



Saga University

佐賀大学有明海総合研究プロジェクト 成果報告集〔第2巻〕



佐賀大学
有明海
総合研究
プロジェクト

2006(平成18)年7月

ごあいさつ

有明海総合研究プロジェクト
プロジェクト長 荒牧 軍治

文部科学省の特別教育研究経費の支援を受けて5年計画の研究プロジェクトとして平成17年度から新たにスタートした「佐賀大学有明海総合研究プロジェクト」は、無事1年間を乗り切り、成果報告会を開くことができるまでになりました。

新たに迎え入れた新進気鋭のプロジェクト専任研究者5名、非常勤研究員3名と佐賀大学の教員研究者との総合研究プロジェクトチームを結成するまでには、多くの方々に有益な提言とご協力を戴きましたし、研究室、事務室の確保、実験機器類の購入整備、委員会等のプロジェクト推進システムの整備を行うに当たっては、学長、学部長をはじめ多くの教員、事務員の方々に多大なご支援とご協力を仰ぎました。成果報告会を開催するにあたり、これまでご支援を戴いた皆様方に心より感謝の意を表します。

当初の計画では、1年目は研究体制の整備と予備的調査、研究レビュー及び研究計画の策定に重点を置き、2年目から本格的な研究を開始することとしていましたが、研究プロジェクトに集まった研究者の熱意と集中力により、個別研究テーマに関しては1年目から多くの成果を得ることができたと自負しています。本成果報告集は、ページ数の制限もありこれまでに得られた研究成果を十分に記述できていない恐れがあります。有明海総合研究プロジェクトでは、研究者が得た成果は、学術雑誌、学会等で広く公表することを奨励しています。「有明海総合研究プロジェクト年次報告書」ではそれぞれの研究者がどのような研究報告を行ったかの一覧を公表していますし、同じ内容をホームページでも公表する準備を進めています。成果報告集では十分に理解しがたい点は、他の論文を参照していただくか、直接研究者にコンタクトをとっていただければ、より詳細な成果を示すことができると思います。

プロジェクト研究の2年目も個別テーマ研究に集中することになると思いますが、一方ではプロジェクト研究で得られた個々の成果を総合化する作業にも着手しなければなりません。得られた個別のデータは有明海の一つの像を表しているに過ぎません。それぞれの研究者が得た成果を総合化し、有明海異変の全体像が見える形にし、再生の道筋を探るのは非常に困難な作業です。しかし、有明海のような総合的な課題についてプロジェクト研究を行う場合は避けて通ることができない作業だと認識しています。今回の成果報告会がそのような作業の端緒になることを心から願っています。皆様方のご批判とご助言をお待ちいたしております。

なお、本成果報告集は、後日、ホームページ上にカラー版で掲載する予定にしています。白黒図面で理解しがたい点がありましたら、ホームページ上のカラー版をご参照下さい。

佐賀大学有明海総合研究プロジェクトホームページ

<http://www.ariake.civil.saga-u.ac.jp/>

目次

ごあいさつ

底泥・干潟研究部門

- 有明海湾奥における底質環境の形成要因に関する研究 1
山本浩一・速水祐一・笠置尚史・宮坂仁・吉野健児・大串浩一郎・平川隆一・西本潤・大森浩二
- 有明海における重金属イオンの濃縮されやすい底泥環境 7
田端正明・衛藤勇男・西本潤
- 雑木炭と火山性灰土を用いた代かき期水路の水質浄化に関する研究 13
原田浩幸・山本浩一・川喜田英孝・井上勝利・足立辰夫・楠田哲也・野正博之
- 有明海湾奥部におけるベントス相 21
吉野健児・山本浩一・速水祐一・大串浩一郎・平川隆一
- 浚渫土壌を基盤とした人工干潟の水質浄化能力に関する研究 25
川喜田英孝・原田浩幸・滝川清
- 干潟域・感潮域における土砂収支推定に関する研究 31
山本浩一・古賀勝喜・横山勝英・山田文彦
- 筑後川感潮皮道における地形・底質の季節変動に関する研究 33
横山勝英・山本浩一

赤潮・生態系研究部門

- 有明海奥部における物質輸送と低次生態系の動態について -初年度の成果- 37
速水祐一・山本浩一・濱田孝治・加玲美・吉野健児・大串浩一郎・平川隆一・宮坂仁・大森浩二
- 有明海奥部における干潟域の脱窒と西岸域の貧酸素水塊の発生について 47
瀬口昌洋・郡山益実・石谷哲寛・古賀あかね
- 有明海湾奥部干潟域の珪藻 55
加(槻木)玲美, 後藤敏一, 吉野健児, 速水祐一
- 有明海奥部西岸域における鉛直拡散係数及び酸素消費速度の季節変動について 59
郡山益実・瀬口昌洋・石谷哲寛

環境モデル研究部門

- 数値モデルを用いた有明海湾奥の残差流に関する考察 63
濱田孝治・速水祐一・山本浩一・大串浩一郎・平川隆一
- 有明海湾奥部の残差流観測と衛星画像を用いた陸域・水域環境の推定 69
大串浩一郎・速水祐一・濱田孝治・山本浩一・平川隆一

佐賀県沖有明海の覆砂による底質の経時変化について	79
加藤治・原口智和・瀬口昌洋・郡山益実	
廃材炭化物および植物の利用によるクリークの水質負荷削減	85
原口智和・加藤治	
夏季の有明海奥部における懸濁物輸送とその水質への影響	89
平川隆一・速水祐一・山本浩一・大串浩一郎・濱田孝治・宮坂仁・大森浩二	

微生物相研究部門

有明海に生息する細菌の生産する II 型制限酵素	95
加藤富民雄・村田昌子・神田康三・小林元太	
有明海由来の微生物に関する研究	99
小林元太・田代幸寛・加藤富民雄	
有明干潟の微生物環境有明干潟生息細菌叢の変動に關与する生物学的要因の検索	107
神田康三	
魚卵由来リン脂質の栄養生理機能に関する研究	111
柳田晃良・城内文吾・永尾晃治	
有明海海苔由来成分のヒト好中球に対する生理活性と含有ポリペプチドの検索	115
林良・杉山大輔・吉木政弘・長田聰史・藤田一郎・兒玉浩明	

食水系感染症研究部門

ビブリオ・バルニフィカス感染症対策 臨床医学的アプローチ(第一報)	119
中島幹夫・大石浩隆	
ビブリオ・バルニフィカス感染症対策 基礎医学的アプローチ(第一報)	127
大石浩隆・中島幹夫	
救命しえた敗血症を伴う壊死性筋膜炎の 2 症例	133
集中治療部(三溝慎次・香川嘉彦・雨森泰己・浦由紀子・前田祥範・荒木和邦)・大石浩隆・中島幹夫	
発色合成基質寒天培地(CVA1)を利用した <i>Vibrio vulnificus</i> の検出と迅速同定法の開発	137
検査部(中島由佳理・高柳恵・草場耕二・永沢善三)大石浩隆・中島幹夫・小松理・馬目功	

地域文化・経済研究部門

日韓両国の干潟生態系における食用水族資源の再生産力と採捕量に関する経時的・計量的比較研究 2: 韓国の現状	141
武田淳	
有明海沿岸域における漁業集落の構造	151
山下宗利	

有明海・八代海沿岸域エコトーンにおける複合的文化景観の保全（１） 出水平野のツル越冬地における冬季湛水田と湿地のワイズ・ユース 五十嵐勉	159
有明海、及びアジア諸地域における干潟のワイズ・ユースに関する比較研究、 及び干潟の生業・生活文化のデジタルアーカイブの構築 - 第１報 五十嵐勉・稲岡司・辻一成・藤村美穂	167

CONTENTS

■ Preface

■ Research Division of SEDIMENT AND MATERIAL TRANSPORT

FACTOR OF THE FORMATION OF THE BENTHIC ENVIRONMENT IN THE INNER PART OF THE ARIAKE SEA Koichi YAMAMOTO, Yuichi HAYAMI, Takashi KASAGI, Hitoshi Miyasaka, Kenji YOSHINO, Koichiro OHGUSHI, Ryuichi HIRAKAWA, Jun NISHIMOTO, Koji OHMORI	1
SEDIMENTAL ENVIROMENTS FOR ACCUMURATION OF HEAVY METALS IN ARIAKE SEA Masaaki TABATA, Isao ETOH AND Jun NISHIMOTO	7
CHARCOAL AND VOLCANIC ASH TO PURIFY CREEK WATER POLLUTED BY AGRICULTURE Hiroyuki HARADA, Koichi YAMAMOTO, Hidetaka KAWAKITA, Katsutoshi INOUE, Tatsuo ADACHI, Tetsuya KUSUDA, Hiroyuki NOMASA	13
BENTHIC FAUNA OF INNER PART OF ARIAKE SEA Kenji YOSHINO, Koichi YAMAMOTO, Yuichi HAYAMI, Koichiro Ohgushi, and Ryuichi HIRAKAWA	21
WATER QUALITY CHARACTERISTIC OF SYNTHETIC TIDAL FLAT IN THE ARIAKE SEA THAT MADE FROM DREDGED SEDIMENT AT KUMAMOTO HARBOR WITH EBB AND FLOW Hidetaka KAWAKITA, Hiroyuki HARADA and Kiyoshi TAKIKAWA	25
ESTIMATION OF SEDIMENT BUDGET FROM THE BATHMETERY CHANGE OF THE ESTUARY AND TIDAL FLAT Koichi YAMAMOTO, Katsuki KOGA, Katsuhide YOKOYAMA,	31
A FIELD STUDY ON SEASONAL CHANGE OF CHANNEL BED TOPOGRAPHY AND SEDIMENT IN THE CHIKUGOGAWA RIVER ESTUARY Katsuhide YOKOYAMA, Kouichi YAMAMOTO	33

■ Research Division of ECOSYSTEM DYNAMICS

MASS TRANSPORT AND ECOSYSTEM DYNAMICS IN THE INNER AREA OF THE ARIAKE SEA -RESULTS OF THE 1 st YEAR- Yuichi HAYAMI, Koichi YAMAMOTO, Takaharu HAMADA, Narumi KUWAE, Kenji YOSHINO, Koichiro OHGUSHI, Ryuichi HIRAKAWA, Hitoshi MIYASAKA and Koji OMORI	37
DENITRIFICATION IN THE TIDAL FLAT OF THE INTERIOR PARTS OF THE ARIAKE SEA AND OCCURRENCE OF HYPOXIC WATER IN ITS WESTERN PARTS Masahiro SEGUCHI, Masumi KORIYAMA, Tetuhiro ISHITANI and Akane KOGA	47
DIATOMS IN THE NORTH OF TIDAL FLAT IN ARIAKE SEA, JAPAN Narumi T. Kuwae, Toshikazu Gotoh, Kenji Yoshino and Yuichi Hayami	55
SEASONAL VARIATIONS IN VERTICAL DIFFUSION COEFFICIENT AND OXYGEN CONSUMPTION RATE IN THE INTERIOR WESTERN PARTS OF ARIAKE SEA Masumi KORIYAMA, Masahiro SEGUCHI and Tetuhiro ISHITANI	59

Research Division of ENVIRONMENTAL MODELING

Core Researchers

- DISCUSSION ABOUT THE RESIDUAL CURRENT OVER THE HEAD OF ARIAKE BAY 63
WITH NUMERICAL MODEL
Takaharu HAMADA, Yuichi HAYAMI, Koichi YAMAMOTO, Koichiro Ohgushi and Ryuichi Hirakawa
- RESIDUAL CURRENT OBSERVATION OF THE INNERMOST PART OF THE ARIAKE SEA 69
AND ENVIRONMENTAL ESTIMATION OF LAND AND SEA IN THIS FIELD BY USING
SATELLITE IMAGES
Koichiro OHGUSHI, Yuichi HAYAMI, Takaharu HAMADA, Koichi YAMAMOTO and Ryuichi HIRAKAWA
- TENPORAL VARIATIONS OF THE SAND BANKING SEDIMENT IN THE ARIAKE SEA 79
Osamu KATO, Tomokazu HARAGUCHI, Masahiro SEGUCHI and Masumi KOORIYAMA
- REDUCTION OF WATER QUALITY LOADS IN CREEK USING CARBONIZED WASTES 85
AND PLANTS
Tomokazu HARAGUCHI, Osamu KATO
- TRANSPORT OF SUSPENDED SEDIMENTS AND ITS EFFECT ON THE WATER 89
QUALITY IN THE INNER AREA OF THE ARIAKE SEA IN SUMMER
Ryuichi HIRAKAWA, Yuichi HAYAMI, Koichi YAMAMOTO, Koichiro OHGUSHI,
Takaharu HAMADA, Hitoshi MIYASAKA and Koji OMORI

Research Division of MICROBIAL TECHNOLOGY

- STUDY ON TYPE RESTRICTION ENDONUCLEASE OF BACTERIA ISOLATED FROM 95
THE ARIAKE SEA
Fumio KATO, Masako MURATA, Kozo KANDA, Genta KOBAYASHI
- A STUDY OF MICROORGANISM IN ARIAKE SEA 99
Genta KOBAYASHI, Yukihiro TASHIRO and Fumio KATO
- MICROBIAL ENVIROMENT IN ARIAKE SEA TIDELAND DETECTION OF BIOLOGICAL 107
FACTOR RELATED TO THE MOVEMENT OF BACTERIAL FLORA
Kozo KANDA
- PHYSIOLOGICAL FUNCTION OF FISH-EGG PHOSPHOLIPIDS ON LIPID METABOLISM 111
IN OBESE RATS
Teruyoshi YANAGITA, Bungo SHIROUCHI and Koji NAGAO
- BIOLOGICAL ACTIVITIES OF THE COMPONENTS DERIVED FROM NORI SEAWEED 115
FROM THE ARIAKE SEA IN HUMAN NEUTROPHILS AND INVESTIGATION OF
POLYPEPTIDES IN THESE COMPONENTS
Ryo HAYASHI, Daisuke SUGIYAMA, Masahiro YOSHIKI, Satoshi OSADA, Ichiro FUJITA and
Hiroaki KODAMA

Research Division of MARINE & FOOD –BORNE INFECTION

- A VIBRIO VULNIFICUS MEASURES APPROACH OF CLINICAL MEDICINE 119
-THE FIRST REPORT-
Hiroataka OISHI and Mikio NAKASHIMA

A VIBRIO VULNIFICUS MEASURES APPROACH OF BASIC MEDICINE	127
-THE FIRST REPORT-	
Hirotaoka OISHI and Mikio NAKASHIMA	
TWO CURED CASES OF SEPTIC SHOCK WITH NECROTIZING FASCIITIS IN	133
SAGA MEDICAL SCHOOL HOSPITAL	
Shinji MITSUMIZO, Yoshihiko KAGAWA, Hiroko AMEMORI, Yukiko URA, Yoshinori MAEDA, Kazukuni ARAKI, Hirotaoka OISHI and Mikio NAKASHIMA	
DEVELOPMENT OF RAPID IDENTIFICATION AND ISOLATION OF VIBRIO VULNIFICUS	137
USING THE CHROMOGENIC SUBSTRATE CULTURE PLATE	
Yukari NAKASHIMA, Megumi TAKAYANAGI, Kouji KUSABA, Zenzo NAGASAWA, Hirotaoka OISHI, Mikio NAKASHIMA, Osamu KOMATSU and Isao MANOME	

Research Division of REGIONAL CULTURE AND ECONOMY

TRADITIONAL FISHING–GLEANNING STRATEGIES ON TIDAL FLATS OF JAPAN AND KOREA ...	141
2: A CASE STUDY IN SOUTH KOREA AS VIEWED FROM ECOLOGICAL ANTHROPOLOGY	
Jun TAKEDA	
CHARACTERISTICS OF FISHERY COMMUNITIES ON THE ARIAKE SEA, SAGA, JAPAN	151
Munetoshi YAMASHITA	
CONSERVATION OF MULTIPLE CULTURAL –LANDSCAPE IN THE INSHORE ECOTONE,	159
ARIAKE AND YATSUSHIRO SEA (1):	
The ARTIFICIAL AND TEMPORARY WETLAND IN WINTER-PADDYFIELD AND THE WISE USE IN THE IZUMI RECLAIMED LAND, CRANE- WINTERED (MIGRATORY BIRDS)	
Tsutomu IGARASHI	
COMPARATIVE STUDY ON THE WISE USE OF TIDAL LAND IN ARIAKE SEA AND	167
ASIAN COASTAL REGIONS	
Tsutomu IGARASHI, Tsukasa INAOKA, Jun TAKEDA, Kazunari TSUJI and Miho FUJIMURA	

有明海湾奥における 底質環境の形成要因に関する研究

FACTOR OF THE FORMATION OF THE BENTHIC ENVIRONMENT
IN THE INNER PART OF THE ARIAKE SEA

山本浩一¹・速水祐一²・笠置尚史³・宮坂 仁⁴
吉野健児⁵・大串浩一郎⁶・平川隆一⁷・西本潤⁸・大森浩二⁹

¹博(工) 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト 講師(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²博(農) 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト 助教授(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³佐賀大学 大学院理工学研究科 修士課程(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁴理博 愛媛大学COE研究員沿岸環境科学研究センターCOE研究員(〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5)

⁵博(水) 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト 研究機関研究員(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁶工博 佐賀大学工学部都市工学科・有明海総合研究プロジェクト 助教授(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁷博(工) 佐賀大学工学部都市工学科 助手(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁸博(理) 佐賀大学工学部機能物質工学科 助教授(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁹理博 愛媛大学COE研究員沿岸環境科学研究センター 助教授(〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5)

Wide area survey of the sediment in the inner part of the Ariake Sea was carried out. Classification of the sediment was occurred in the study area by the distance of the river mouths and effect of the morphology. Fine silt and clay was deposited in the western part of the Ariake Sea, there was far from the river mouths. In contrast, sand and coarse silt deposited around the river mouths. Terrestrial organic carbon deposits around the river mouths as well as the center of the study area. It seems that the areas were particular high concentration area of the discharged matter from the rivers.

Key Words : sediment, mud, clay, silt, sand, stable isotope, ORP, Ariake Sea

1. はじめに

有明海奥部はその約4分の1の面積が泥質・砂泥質の干潟である。これらの干潟には特徴ある生物が生息している。よって生物の生息基盤としての底質環境の形成要因を明らかにすることが重要であるが、これまで浅海域と干潟部の両方を含む調査は少なく、横山らによる筑後川河口域における調査報告¹⁾があるのみであり、底質分布特性や底質環境形成要因を明らかにするまでには至っていない。そこで、本研究では有明海湾奥域における底質環境の形成要因を明らかにすることを目的とし、有明海奥部の干潟と浅海域を含む高い空間解像度で底質調査を行った。

2. 研究方法

研究対象地域は有明海奥部(図-1)および有明海流入河川(筑後川・矢部川・菊地川・白川・緑川)である。有明海奥部海域に計100地点を設定して調査を行った。期間は2005年8月18日~23日のうち計4日間で行った。試料採取は2隻の漁船を借り上げて2班編成で実施した。現地では多項目水質計(アレック電子AAQ-1183, Compact-STD, YSIナノテックYSI-600QS)によって水温、塩分、溶存酸素、濁度、クロロフィル蛍光を測定し、多項目水質計で水深を確認しながらペリスタポンプによって底泥直上50cmから採水した。採泥はエクマン・バージ採泥器で行い、採取直後に泥温、酸化還元電位(Eh)を測定した。底質は採泥器内に内径4.7cmのアクリルパイプを差し込み、表層0~1cmと1~5cmに分取した。

そのうち表層部分については粒状の窒素と有機炭素の安定同位体比，下層の底質については粒子状の窒素と有機炭素含有量の分析および粒度分析を行い，一部の底質についてはメッシュやフルイで粒径別の安定同位体比を測定した。

河川からの懸濁物質の寄与を明らかにするため，筑後川水系・白川水系・緑川水系・矢部川水系において出水時（2004年6月26日，8月31日，9月7日，2005年7月10日）の河川水を15L～30L採取し，懸濁物質を遠心分離して真空凍結乾燥し，底質と同様に分析した。

底質中の有機態窒素・有機炭素および安定同位体比の分析の前処理として底質試料は凍結乾燥後メノウ乳鉢で粉碎し，体積比で底質：HCl = 1：5となるよう1NHClを添加して24時間静置で試料中の炭酸カルシウムを処理した。これをmilli-Q水で洗浄した。塩酸処理は2回繰り返す，処理終了後60℃で24時間乾燥した。間隙水中の溶解態有機炭素や無機態窒素成分は1NHCl中に溶出するのでこれらは本法では測定されない。

前処理した底質および懸濁物質は安定同位体質量分析計（PDZ Europe Ltd製，ANCA-SL）によって粒子態有機炭素・粒子態窒素濃度およびそれらの安定同位体比を測定した。もっぱら粒子態有機炭素・粒子態窒素濃度を計測するためにはCHNコーダ（ジェイ・サイエンス製JM-10）を使用した。

粒度分析はフルイ分析とレーザー粒度分析の組み合わせで行った。まず目あい75 μmのフルイで湿泥をふるい，底質に含まれた貝殻を除去するため1NHClを，CO₂ガスが発生しなくなるまで75μm以上の湿泥に添加した。その後JIS1204 1990のフルイ系列（4250，2000，850，425，250，125，106，75 μm）でふるい，75 μmを通過した残さの土砂溶液は容積とSS濃度を計測して75 μm通過成分とした。土砂の全乾燥重量は(1)式で算出した。

$$W_{total} = W_{4250} + W_{2000} + W_{850} + W_{425} + W_{250} + W_{125} + W_{106} + W_{75} + CV \quad (1)$$

ここで W_{total} ：土砂の全乾燥重量(g)， W_d ： d μm メッシュのフルイ上に残留した重量(g)， C ：75 μm通過成分の懸濁溶液のSS濃度 (g/l)， V ：75 μm通過成分の懸濁溶液の容積

細粒分はレーザー回折式粒度分析装置（島津SALD-3100）で体積粒度分布を測定した。このときの屈折率は1.7-0.2*i*とした。以上より，各粒径の頻度は下記のように得た。

$$a_d = \begin{cases} CVb_d / W_{total} \times 100 & (d \leq 75 \mu\text{m}) \\ W_d / W_{total} \times 100 & (d > 75 \mu\text{m}) \end{cases} \quad (2)$$

ここで a_d ：目あい d のフルイ上の残留物の重量割合 (%)， b_d ：レーザー粒度分析における仮想目あい d (μm) のフルイ上残留物の重量割合 (%)

底質の分級度合いを示す淘汰度は(3)式で定義した。

$$S_0 = \sqrt{D_{75} / D_{25}} \quad (3)$$

ここで D_{75} ：75%粒径， D_{25} ：25%粒径

3. 有明海奥部底質の分布特性

(1) 粒径集団別の底質分布特性

有明海の底質の粒度分布特性を解析するため，三つの粒径集団を考えた。：砂(0.063mm以上)，：粗粒シルト(0.016 - 0.063 mm)，：細粒シルトおよび粘土(0.016 mm以下)である。河川の洪水時懸濁物質(白川12.6KP，2002年6月24日21:45)と有明海西部(鹿島町沖)の懸濁物質の粒度分布を図-2に示す。有明海の懸濁物質の中央粒径は0.0045 mmであり，0.016 mm以下の成分が88%を占め非常に細粒であるのに対して河川の洪水時懸濁物質は粗粒であり，中央粒径0.016 mm，90%粒径が0.050 mmであった。よって，およびは主に出水などによって陸域から供給される可能性のある土砂であるのに対しは有明海の細粒懸濁物質の主構成成分であって，河口から離れた海域を浮遊する懸濁物質の分画であるといえる。

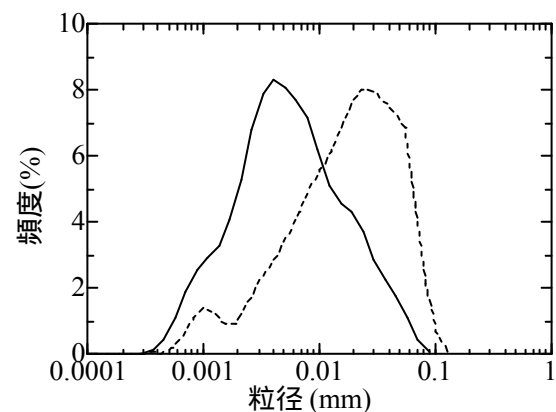


図-2 有明海湾奥西部の懸濁物質（2005年8月23日採取，実線）の粒度分布と白川の洪水時懸濁物質（2002年6月24日採取，波線）の粒度分布の比較例

図-3 から 図-5 に有明海奥部における粒径別の底質分布を示す。0.063 mm以上の砂分は筑後川河口デルタと三池港沖に分布している。いっぽう住之江川沖海底水道よりも西方では砂分はほとんど認められない。

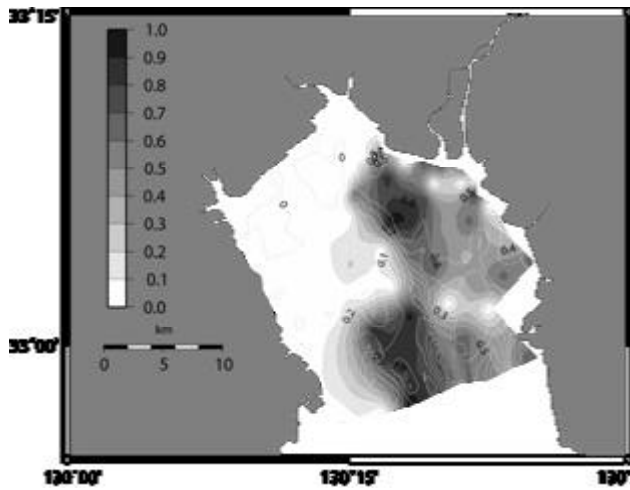


図 - 3 砂分(0.063mm以上)の分布

0.016-0.063 mmの成分(粗粒シルト)は白石町沖泥質デルタ, 佐賀県大掬干潟, 筑後川・矢部川河口付近に集積域を形成している。粗粒シルトは細粒シルト(0.002-0.016mm)および粘土(0.002mm以下)に比較してそれらの凝集を考慮しないことにすると沈降速度は16~1000倍程度と大きいので, 河川から流出したあと比較的河口に近い領域に堆積すると考えられる。

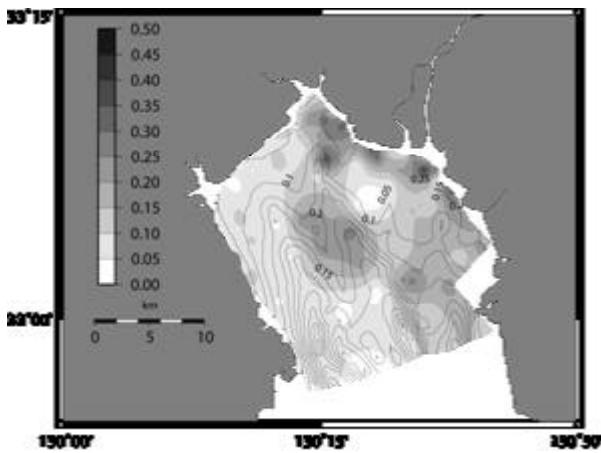


図 - 4 底質中の粗粒シルト(0.016-0.063mm)の分布

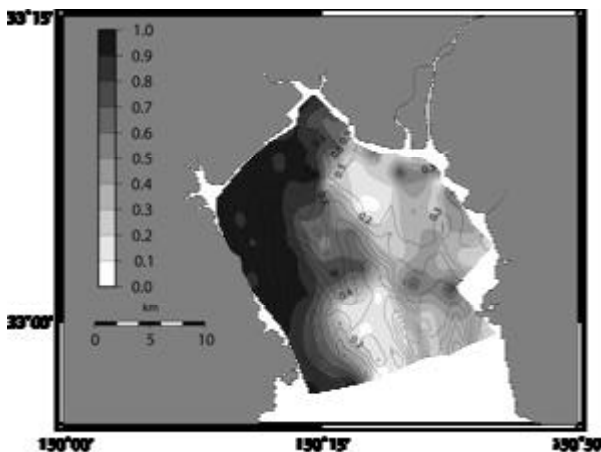


図 - 5 底質中の細粒シルト・粘土(0.016mm以下)の分布

0.016 mm 以下(細粒シルト・粘土)の成分は有明海北西部において広範な分布が認められる。西方での含有率が高く, 長期間海中を浮遊した懸濁物質が終局的に有明海西方に堆積して細粒な底泥を形成しているとみられる。

(2) 淘汰度

有明海湾奥部では砂から粘土に至る広範囲の粒径で土砂の分級が起こっているが, 分級度合いを淘汰度で評価した。図 - 6に表層底質の淘汰度を示す。砂を主成分とする底質の淘汰度は低く, 砂質域は海底において波浪・潮流により分級が進んだ底質であるといえる。一方で白石町沖デルタや筑後川・矢部川河口近傍では淘汰度の高い(=淘汰されていない)底質が存在している。この底質は砂質に粗粒シルトが混入したものであり, 2峰性の粒度分布を有する。淘汰度は粗粒シルト(0.016-0.063 mm)とほぼ同一の分布をするから, 淘汰度の高い領域は短期的に河川からの土砂の流入があったことを意味しているとみられる。

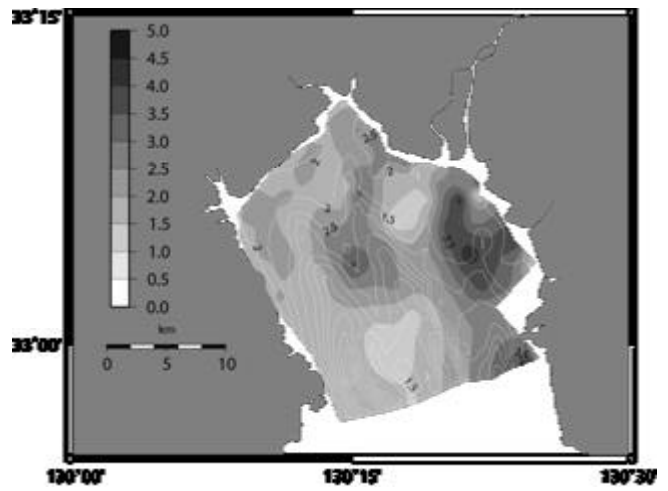


図 - 6 底質の淘汰度

4. 有明海奥部の底質中の有機物

図-7に底質中の有機炭素濃度を示す。有機炭素濃度は西方で高い濃度になる傾向があるほか, 局所的に濃度が3%以上になる領域が存在する。底質中の有機物の起源として河川から出水に伴い供給される陸域起源の懸濁態有機物やプランクトンの遺骸をはじめとする海域由来の有機懸濁物質が混入していると考えられる。陸域を起源とする懸濁態有機物と海域で生産された有機物の安定同位体比は異なるのでそれぞれのエンドメンバーを設定することにより炭素安定同位体比から炭素の起源を推定す

ることが可能である²⁾。そこで、(4)式で陸域起源の有機物の寄与率 f を算出した。

$$f = \frac{d^{13}C_{marine} - d^{13}C_{sample}}{d^{13}C_{marine} - d^{13}C_{terr}} \quad (4)$$

ここで $d^{13}C_{marine}$ については海域由来懸濁物質として2005年7月20日に有明海奥部の表層から採取した植物プランクトンを主構成物とする有機懸濁物質の-18.7‰、 $d^{13}C_{terr}$ については陸域由来懸濁物質として2004年6月と2005年7月に採取した有明海流入河川の出水時懸濁物質の $d^{13}C$ の平均値である-24.5‰

図-8に表層底質の炭素安定同位体比(^{13}C)を示す。 ^{13}C は湾奥部東岸および白石町沖デルタで低く、海底水道や湾奥西部では ^{13}C はやや高い。

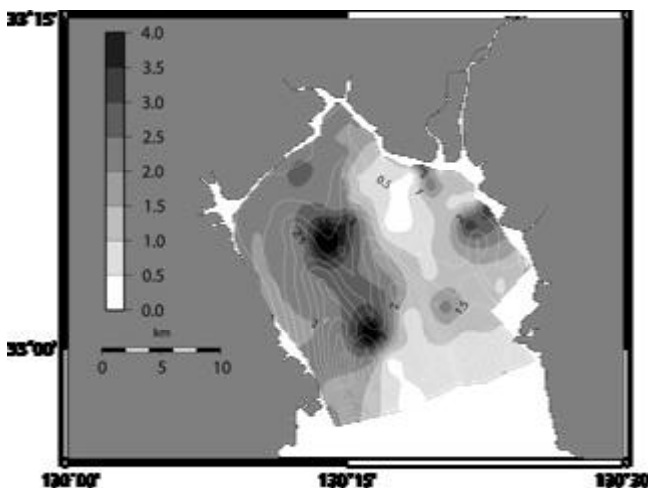


図-7 下層底質(1-5cm)の有機炭素濃度(%)

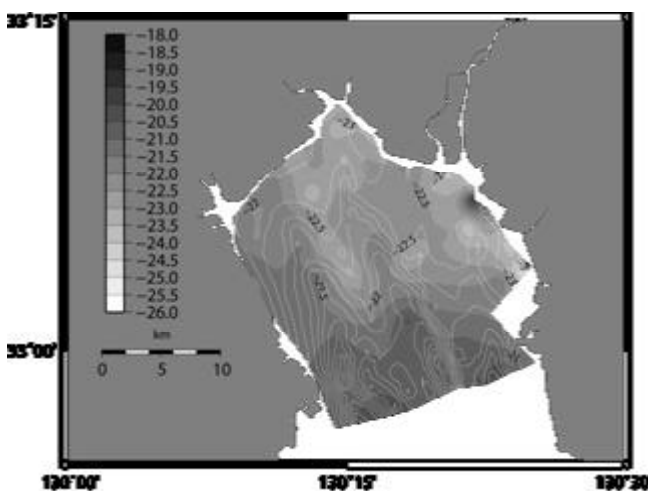


図-8 表層底質の ^{13}C (‰)

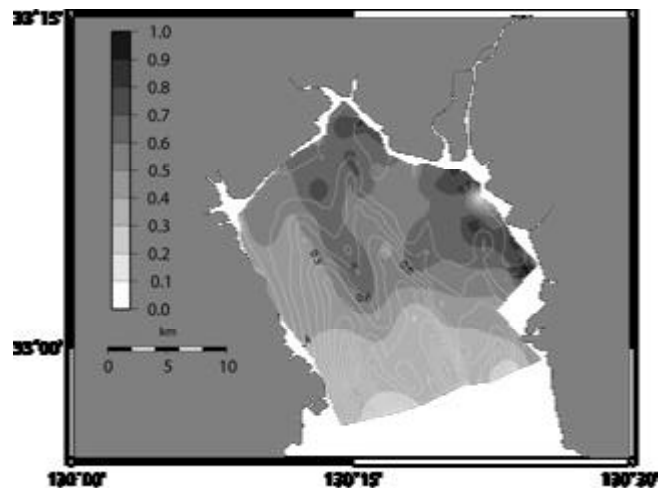


図-9 表層底質の陸域起源割合 f

図-9に(4)式で計算した寄与率 f を示した。白石町沖デルタ・筑後川河口・矢部川河口では陸域起源の有機炭素が卓越し、湾奥南部では海域起源の有機炭素が卓越していることがわかる。表-1に算出した f を含めて相関マトリクスを示した。細粒シルトおよび粘土含有量とC、N含有量は良い相関があった。これは底質中の有機物の多くが海域を起源とする細粒シルトおよび粘土粒子径の粒状有機物であるか、粘土粒子に吸着した状態の有機物であることを示している。

表-1 有明海底質における各粒径集団の含有量と有機物含有量の相関マトリクス(n = 81)

	粘土	細粒 シルト	粗粒 シルト	砂	C	N	f
細粒 シルト	0.796						
粗粒 シルト	-0.149	-0.199					
砂	-0.836	-0.939	-0.119				
C	0.452	0.462	-0.052	-0.466			
N	0.632	0.636	-0.161	-0.616	0.900		
f	-0.129	-0.071	0.486	-0.066	0.140	0.014	
淘汰 係数	-0.037	-0.223	0.554	0.015	-0.068	-0.101	0.375

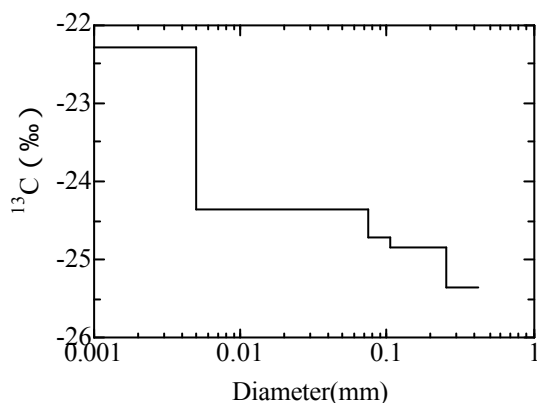


図 - 10 粒径別の炭素の安定同位体比
(筑後川沖底質, 2005年8月)

さらに底質の一部についてナイロンメッシュおよびフルイでサイズ分画して安定同位体比を測定した結果、シルト分画の $\delta^{13}\text{C}$ は河川の洪水時懸濁物質に近い -24.4 ‰ 、粘土の分画はそれよりも重い -22.3 ‰ となった(図-10)。これは粘土が海域由来の有機物を多く含有していることを示すものである。有明海奥部底質の有機物は微細な懸濁物質として存在しているか、懸濁物質に吸着しているものが大勢を占める。しかしながら白石町沖デルタや筑後川・矢部川河口域に認められる高い有機炭素含有量には局所的には陸域起源の粒径の大きな有機物の寄与も大きい。底質下層(1-5cm)でも高い有機炭素濃度になっていることから、慢性的に陸域由来の有機懸濁物質があまり分解が進まないまま蓄積していることを示している。有明海湾奥部には陸域の粗大な有機物が堆積しやすい特定の領域が存在することが明らかになった。

5. 干潟域・浅海域底質における酸化還元環境

底質の還元層の酸化還元電位(Eh)は東側海域干潟で高く、西側全般で低い傾向にあった。干潟環境では砂泥($D_{90} > 75\mu\text{m}$)およびシルト質泥(粒径 0.005 mm 以下含有率 40%)はEhが顕著に上昇したが粘土質泥(粒径 0.005 mm 含有率 $> 40\%$)では干潟部でもEhの顕著な上昇はみられない(図-11)。さらに、重回帰分析の結果から、Ehを良く説明するのは海底直上水の溶存酸素濃度(偏相関係数: -0.350)と粒径 0.005 mm 以下の含有率(同 -0.258)、SS濃度(同 0.239)であり、 0.005 mm 以下含有率はEhと負の相関、DO濃度およびSS濃度とEhは正の相関があった。粘土のような細粒物質は土壌の透水係数を低下させるから、粘土含有率が高いと大気や干潟直上水中の酸素は底質中に輸送されず、還元的な状態が保たれると説明できる。また、SS濃度は底質再懸濁の指標であって、頻繁に再懸濁が起こることで酸化層が厚くなり底質のEhが上昇している可能性がある。

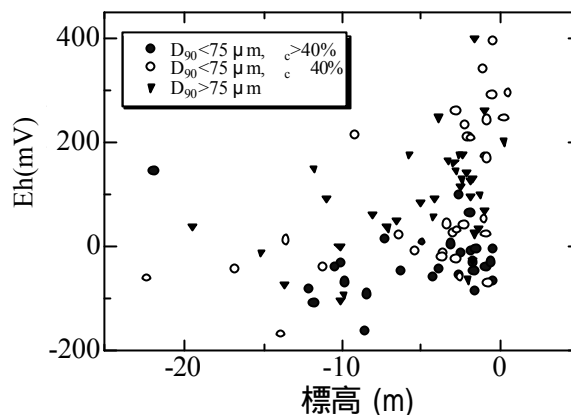


図 - 11 底質表層下3cmにおけるEh (mV) と標高 (m) の関係、低潮線は -2.5 m

6. 考察

陸域から流出した土砂は、粗粒シルト、細粒シルト、粘土の順に分級されて湾奥西部に輸送されていると考えられた。有明海湾奥西部の泥干潟・浅海域を構成する底質は中央粒径 $5\mu\text{m}$ 程度の細粒懸濁物質からなるが、これは海域で生産される有機物を含んでおり、陸域から流出して長期間海域で再懸濁・沈降を繰り返すうちに海域で生産された有機物を含むようになったと考えられる。一方、砂は河口域に堆積域を形成して地形的な遮断により西方に輸送されていないとみられる。粗粒シルトは河口デルタの外縁のほかデルタから若干離れた湾中央部にも堆積域を形成している。淘汰度の分布も共通した特徴を示していることから、出水によって河川から供給された土砂の堆積しやすい環境となっていることを示している。さらに炭素安定同位体の分析結果からこのような陸域由来土砂の集積域はそのまま陸域由来の有機物の集積域となっていることが分かった。この湾中央部の陸域由来有機物の集積域では底層で低濃度の溶存酸素(2 mg/L 前後)が観測されており、このような貧酸素環境は陸域由来の有機懸濁物質の分解を遅くする要因となっているともいえよう。逆に陸域由来の高濃度の有機懸濁物質は貧酸素水塊の形成にも寄与している可能性がある。八木ら³⁾や速水ら⁴⁾は夏季有明海湾奥において懸濁物質の集積が岸向きに起こることで底層の懸濁物質の輸送が起こるとしている。このようなプロセスにより河川から流出した有機懸濁物質が湾奥に堆積していると考えられる。

7. まとめ

有明海湾奥部の高密度な底質調査を行い、以下の知見を得た。筑後川から有明海に流出した土砂は距離によって分級されている。砂分は河口近傍に堆積域を形成しており、住之江川沖海底水道を越えて西方に輸送されることは少ない。有明海における懸濁態有機物のほとんどは

16 μ m以下の細粒懸濁物質に含有されていて、細粒懸濁物質は湾奥西部まで広範囲に運ばれるが、河川から出水時に供給された粗粒シルトおよび有機物の堆積しやすい特定の領域が湾中央部に存在する。

粘土粒子を多く含んだ泥質は還元的になりやすく干出によっても底質の深部まで酸化的環境にはならない。加えて貧酸素環境は底質をより還元的にすることがわかった。今後は底質中の有機物含有量の季節変動について詳細に調査する予定である。

謝辞：現地調査、データ解析にご協力いただいた佐賀大学都市工学科の野口技官、および大串研究室の学生諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 横山勝英・河野史郎・山本浩一（2005）有明海湾奥部の地形・底質分布に関する現地調査，海岸工学論文集52，pp936-940。
- 2) Wada, E., M. Minagawa, H. Mizutani, T. Tsuji, R. Imaizumi and K. Karasawa (1987): Biogeochemical studies on the transport of organic matter along the Otsuchi River watershed, Japan, Estuarine Coastal and Shelf Science, 25, pp. 321-336.
- 3) 八木宏・井瀬肇・松村航裕・木元克則（2006）：有明海奥部干潟前縁域の流動構造と懸濁態物質輸送特性に関する現地観測，水工学論文集，第50巻，pp. 1465-1470。
- 4) 速水祐一・山本浩一・大串浩一郎・濱田孝治・平川隆一・宮坂仁・大森浩二（2006）夏季の有明海奥部における懸濁物輸送とその水質への影響，海岸工学論文集53，（印刷中）。

（2006.5.31受付）

有明海における重金属イオンの 濃縮されやすい底泥環境

SEDIMENTAL ENVIROMENTS FOR ACCUMURATION OF HEAVY METALS IN ARIAKE SEA

田端 正明¹・衛藤 勇男²・西本 潤^{1,3}

Masaaki TABATA, Isao ETOH AND Jun NISHIMOTO

¹理博 佐賀大学教授 理工学部機能物質化学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²学士(理学) 佐賀大学 理工学部機能物質化学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³博士(理学) 県立広島大学助教授 生命環境学部環境科学科 (〒727-0023広島県庄原市七塚町562番地)

Sediments and seawaters were collected at 100 different points in Ariake Sea. The concentrations of metals (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn, Sr, Zn) in the seawaters, interstitial waters involved in sediments and sediments were determined by inductive coupled plasma (ICP) and atomic absorption spectrophotometry (AAS). Metals are originated from mountains and transferred to sea through rivers. Al, Fe and Mn exist mainly as suspended materials in the seawater, but other metals exist as soluble forms in the seawater. The concentrations of Al and Fe in interstitial involved in the sediments were lower than those of in seawater compared to other metals, however Mn showed high concentration in interstitial of sediments. Al, Fe and Mn are supplied from rivers and precipitate to form colloids in estuary due to high concentration of electrolytes (NaCl) in seawater. Metals were much accumulated in the muddy sediments at west coast of Ariake sea, which contained high concentration of suspended substances (SS). Tin and lead were accumulated in the middle of Ariake sea with high concentration, where the oxygen concentration was very low. Deficiency of oxygen causes high accumulation of heavy metal in sediments. There were good linear correlations between Zn and Cd or Al and Fe accumulated in the sediments. Chemically similar metals move together in seawater and precipitate with suspended mud particles. Finer suspended substances in Arake sea easily adsorb heavy metals and thus reduce high concentrations of heavy metals in the sea water.

Key Words : Metal, seawater, sediments, interstitials, accumulation, correlation between metals accumulated in sediments.

1. 序

有明海は九州西部の佐賀、長崎、福岡、熊本の四県に囲まれた南北96キロメートル、幅は平均18キロメートルの北から南に向かって大きく入り込んだ内湾である。その総面積は約1700km²である。この有明海には約1万年の間に、阿蘇・久住山系からの火山灰質の土砂や、背振・天山山系の花崗岩質砕せつ物が筑後川、本明川、六角川、嘉瀬川、矢部川、菊池川、白川、緑川の河川により有明海へ運ばれてきた懸濁粒子が堆積して形成された厚さ15~20mの堆積物が存在する。このため有明海の平均水深は約20mと非常に浅い。それに加えて、干満の差が最大で6mと非常に大きく、潮流が速いために干潮時には国内の総干潟面積の約42%にあたる263km²もの広大な干潟(海岸線から最大6km)が出現する。そして、この

干潟をつくる堆積物を、古くから「有明粘土(潟土)」といい、軟弱な泥層(泥質干潟)で出来ている。特に、湾奥西側に発達している。一方、東側の筑後川河口沖のデルタ上や熊本県沿岸部の干潟は、砂質~砂泥質堆積物よりなる。

有明海の特異な環境を反映してムツゴロウはじめ有明海特産の動物も多く、広大な干潟には貝類、底魚、甲殻類が多量に棲息し、冬期には干潟のほぼ全域がノリ漁場となる。ノリ養殖は全国の40%の生産を占めている。有明海の高い生産性は河川からの栄養塩の流入と底泥の巻き上げによる栄養塩の補給と干潟および浮泥「ニゴリ」の浄化作用である。

有明海は河口域を中心として褐色あるいは茶褐色を呈している。湾奥部の筑後川河口域のニゴリは満潮時に200-500 ppm、干潮時に500-2,000ppmを示す。¹⁾「ニゴリ」は有明海底泥の巻き上げの他、降雨時に山や

陸上から河川を通して海域に流入する粘土粒子に由来する。粘土粒子はモンモリロナイトとカオリナイトを主成分²⁾とするので、鉱物由来の金属を含み、更に負電荷をもつので河川や河口域に溶解している金属イオンを吸着する。また河川が海域に達すると高濃度の塩化物のために電解質によるコロイドや浮遊物が凝縮・沈殿する。そのために、河口には広大な干潟が発達し、そこには河川から流入する全ての金属が濃縮される。

重金属は有明海に注ぐ地域の環境を示す指標である。我々は、今まで有明海干潟の金属イオン濃縮作用と干潟に棲息するアサリへの金属濃縮抑制作用について研究してきた。

本研究では、有明海湾奥部の100地点で底泥、海水を採取し、地域別の金属イオン濃度、特に重金属イオンの濃度を求め、重金属イオンが濃縮され易い地域を明らかにした。そして、濃縮され易い金属イオンと底泥の性質及び有明海の環境について検討した。

2. 実験

(1) 試料採取地点

有明海湾奥部の100地点（湾中央部：26点・筑後川東側：24点・筑後川西部：23点・西部干潟：27点）を対象にして、平成17年8月18日、19日、21日、23日に底泥直上50cmの海水と底泥土を採取した（図1）。湾奥部とは竹崎島と熊本県の三池港を結ぶ線より北側の海域である。

(2) 試料処理

底泥はエクマンバージ型採泥器を用いて採取し、ポリ袋に入れ採取後冷蔵庫に保存した。

(a) 海水

海水は2種類の方法で前処理を行った。一つは採水後、上澄み液を、100mlポリ容器に採取し、 3 mol/dm^{-3} (= M) 塩酸1mlを添加した（海水1（懸濁態+溶存態））。もう一つは、海水を $0.45 \mu\text{m}$ メンブランフィルタ-でろ過し、3 M 塩酸 1mlを添加した（海水2（溶存態））。

(b) 間隙水

採取した泥を遠沈管に詰め、回転数2800rpmで25分間遠心分離器にかけた。この上澄み液を $0.45 \mu\text{m}$ メンブランフィルタ-でろ過し、上澄み液24mlに3 M塩酸1mlを加え、25mlのサンプル溶液とした。この溶液を底泥中の間隙水分析試料とした。

(c) 底泥

間隙水を取り除いた後の湿ったままの泥を量りとり、105 の恒温器で24時間乾燥させ、含水率を計算した。乾燥した底泥を約4gは量りとり、25 の恒温室に一夜放置した。0.1M塩酸20mlを加え、水平振り混ぜ機で25、1時間振とうして、底泥に蓄積していた金属イオンを溶

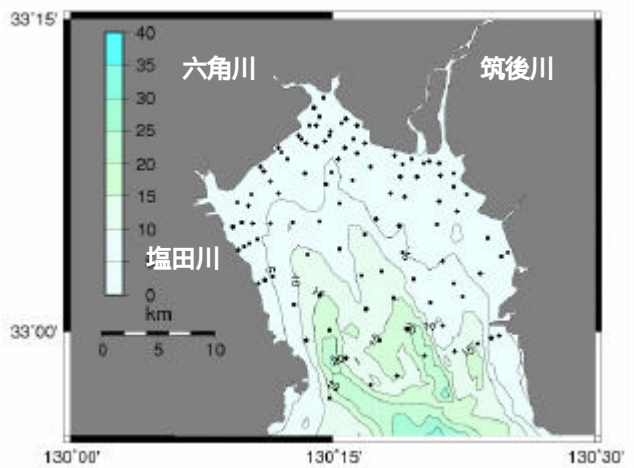


図 - 1 試料採取地点

出させた。この懸濁液を $0.45 \mu\text{m}$ メンブランフィルタ-でろ過し、分析試料とした。

(3) 試薬及び実験装置

有害金属分析用（和光純薬工業製）塩酸、各々の金属標準溶液（和光純薬工業製 1000mg/l ）、誘導結合プラズマ発光分光分析装置（ICP AES）PERKIN ELMER社 Optima 3100RL、偏光ゼーマン原子吸光度計（GFAAS）Hitachi High-Technologies社 Z 2000。

3. 結果及び考察

海水（懸濁態）、海水（溶存態）、間隙水及び底泥中の13種の金属イオン（Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn, Sr, Zn）の分析した。

(1) 海水中の金属イオン分布と傾向

2種類の海水（懸濁態+溶存態）と（溶存態）の測定を行った。測定値から（懸濁態）の値を求めた（図2）。Al、Fe、Mn は、溶存態よりも懸濁態の方が多く存在していた（溶存態<懸濁態）。一方、それら以外の金属イオンは、それとは逆の結果（溶存態>懸濁態）であった。この結果から有明海に注ぐ河川からの流入量が比較的多いAl、Fe、Mn は海水中で溶存態だけでなく、水酸化物、硫酸塩、硫化物、炭酸塩および有機物、巻き上げられた泥粒子などの懸濁態として存在していると考えられる。また、Al、Fe、Mn、Sr は他の金属よりも100倍~1000倍近く海水に懸濁態として存在していた。これらの金属は地殻（岩石、鉱物）中に多く存在していることが主な原因である。しかも、懸濁態のAl、Fe、Mn は六角川河口、塩田・鹿島川河口および筑後川河口に高濃度で分布していた（図2）。これらの濃度分布は懸濁物(SS)の濃度分布と一致した。一方、溶存態のAl、Fe、Mnは有明海西部七浦、飯田)に多く分布していた（図2）。Znも類似の傾向であったが、溶存態は西側に広く分布していた。これ

は底泥からの溶出のためと考える。加水分解しやすいAl, Fe, Mnは河口付近で急激にコロイド粒子変化したり、浮泥粘土に吸着している(図2)。例外として、溶存態のカドミウムが有明海東部、大和、大牟田付近の海水中に他の重金属と比べて集中して分布していた(0.04ppm)。更に、Sn, Pbは懸濁態及び溶存態とも有明海湾奥中央部に分布していた。後述するように貧酸素域と関係がある。

また干潮時に干潟の現れる地域(干出域)と常に水没している地域(水没域)に分類した。懸濁態の金属イオンの濃度を海水のSS濃度で割り、単位浮遊物質あたりの金属イオン保持量を求めた。その値は地域による違いをそれほど顕著に示さなかった。湾奥部全域でほぼ一定となった。これは干出域と水没域では泥の巻き上げ量が異なるだけで、巻き上げ量が懸濁態の金属濃度を大きく左右していることが分かった。

(2) 間隙水中の金属濃度分布

有明海底泥は20~50%の海水を含んでいる。砂泥に比べて泥化したほど高い含水率である。底泥に含まれる海水は底泥や干潟に棲息する生物の栄養補給域であるので、間隙水の環境は底泥生物の生育に影響する。間隙水中の金属イオン濃度は底泥に含まれる金属イオンの濃度とその溶解性に依存する。

海水に比べて、間隙水中に高濃度で存在する元素はBa(~1.5 ppm)、Mn(2~50 ppm)、Sr(~9 ppm)、Sn(0.0~0.04 ppm)、Zn(0.1~2 ppm)であった。BaとSrはそれぞれ硫酸塩として底泥に沈殿し、それが溶解して間隙水にも高濃度に存在する。Mnは還元状態にある間隙水でMnO₂がMn(II)として溶解してくる。³⁾ Znは底泥に多量存在し、底泥から溶出してくる。一方Al、Feは加水分解しやすく、また、間隙水に溶解しているリン酸と結合して、安定な不溶性の化合物となるので、間隙水中に溶出しにくい。

地域的に見ると、Cd、Cu、Ni、Sn、Pb、Znは中央部に多く分布していた。Ba、Fe、Mnは筑後川河口域と東側に分布していた。Alは中央部と東側に多かった(図3)。他の地域に比べて中央部への金属濃縮は中央部の溶存酸素(DO)濃度が低いことに関係していると考えられる。底泥に金属の沈殿物(水酸化物、炭酸塩、硫化物、硫酸塩)として堆積していた金属が貧酸素下で底泥からイオンとして溶出し、間隙水中に留まっていたと考えられる。東側への濃縮は河川からの流入の影響が大きい。干出域と水没域の比較においてMn、Al、Fe以外の金属は差がなかったが、Mn、Al、Feは干出域に多く存在していた。これは河川からの流入量の多い金属が間隙水中に蓄積したと考えられる。

(3) 底泥中の金属濃度分布

(a) 地域別分布

有明海底泥への吸着金属イオンは多くの金属で、東側

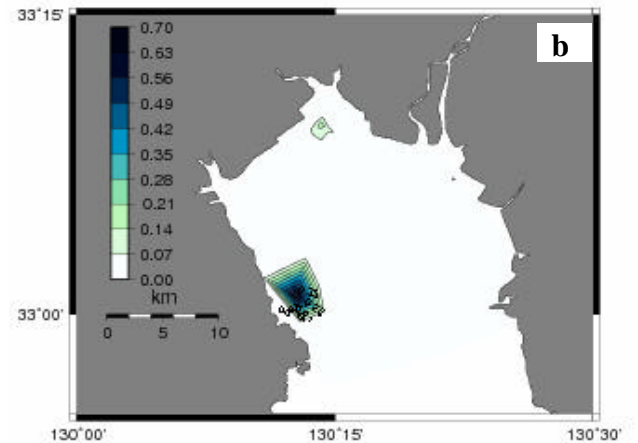
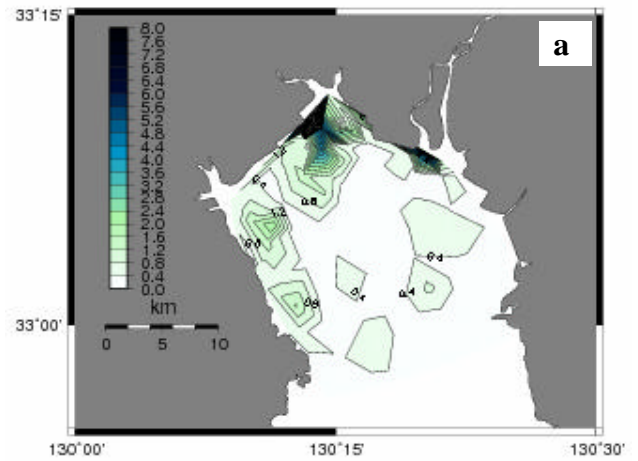


図 - 2. 海水中の鉄の分布、(a), 懸濁態; (b), 溶存状態

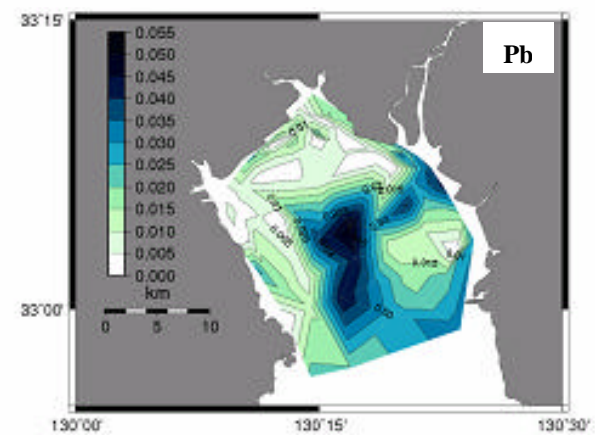
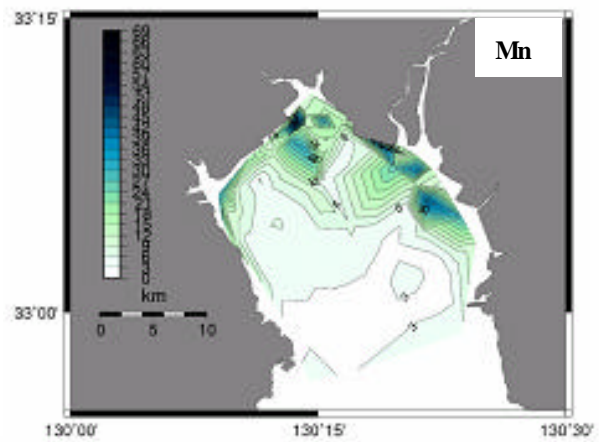


図 - 3. 間隙水中の金属分布

よりも西側に多く分布しており、そして水没域よりも干出域に多く分布していた(図4)。粒径の分布を見ると、六角川から西の有明海沿岸と中央部並びに筑後川河口付近に粒径の小さな泥が存在する。粒径の小さな底泥には比較的多くの金属が吸着しやすいので、一部の金属は粒径分布と関係づけられた(Al、Ba、Cd、Co、Fe、Mn、Pb、Zn)。

海水に堆積する底泥の化学成分は、通常は海に注ぐ河川中の金属イオン、ひいては河川の源流である山の鉱物の組成に依存する。しかし、有明海では、海流が半時計周りであるので、多量の土砂を運ぶ筑後川の二ゴリは有明海の西側に移動する。更に、潮の干満による底泥の巻き上げは一層河川から流入する金属イオンの河口付近への濃縮傾向を不確定にしている。人工衛星LANDSATの写真解析は浮泥が六角川河口から西側有明海沿岸に多く集まっていることを示している。更に、SSの分布はそれを指示している。有明海の周辺には西側では多良岳、北側では背振山、天山、東側では阿蘇山などがあるが、河川

の支流の岩石の影響は少ないと考える。Snは有明海中央部の底泥に濃縮されていた。賓酸素海域は硫化物を生成しやすく、金属硫化物として濃縮される易いと考える。Cu、Niは東側の大和、大牟田北部の海域の底泥に高濃度であった。Crは六角川から塩田川・鹿島川河口に濃縮していた。SSとは異なり東側にニッケルが濃縮しているのは沿岸産業の影響が考えられる。

(b) 金属間の相関関係

Znを基準として各々の金属の相関を見た。(図5)にZnとCd及びAlとFeのそれぞれの濃度の相関関係を示す。非常に良い相関関係があることが分かる。化学的性質が似ている元素は有明海で同じように移動し、集まる。ソフトな金属イオン(Cd、Zn)はソフト同士、固い金属元素(Fe、Al)はハード同士挙動する。加水分解しやすい金属であるAl、Mn、Fe、Cr間の相関も高くなっていた。他の金属間の相関係数を表1. に示す。

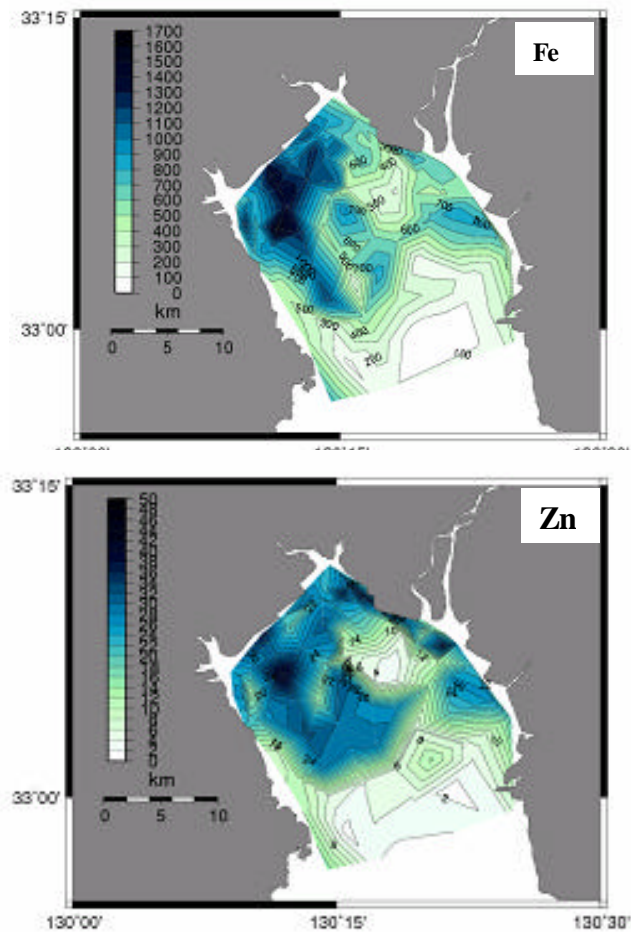


図 - 4 . 底泥中の金属分布

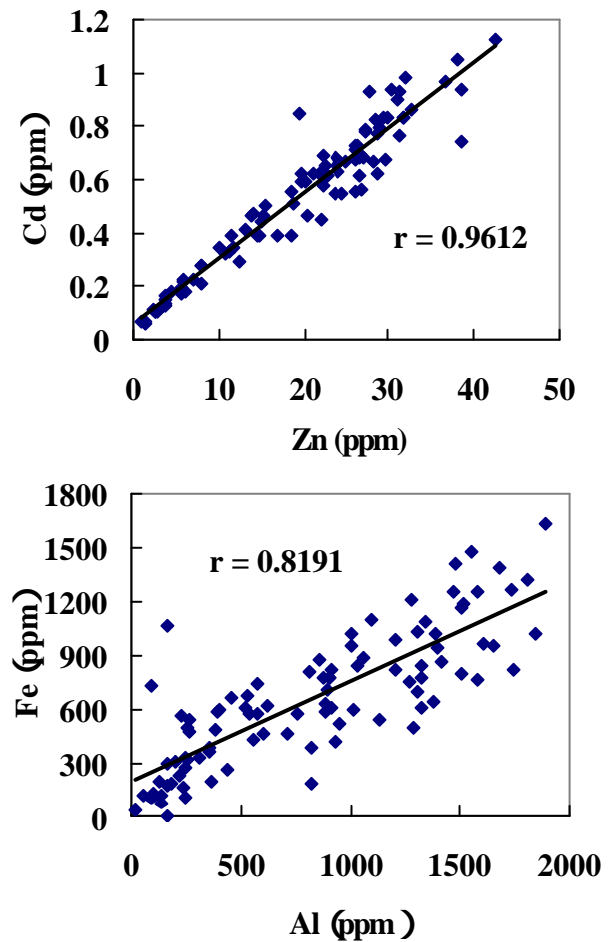


図 - 5. 底泥中のZnとCd 及びAl とFeの相関関係

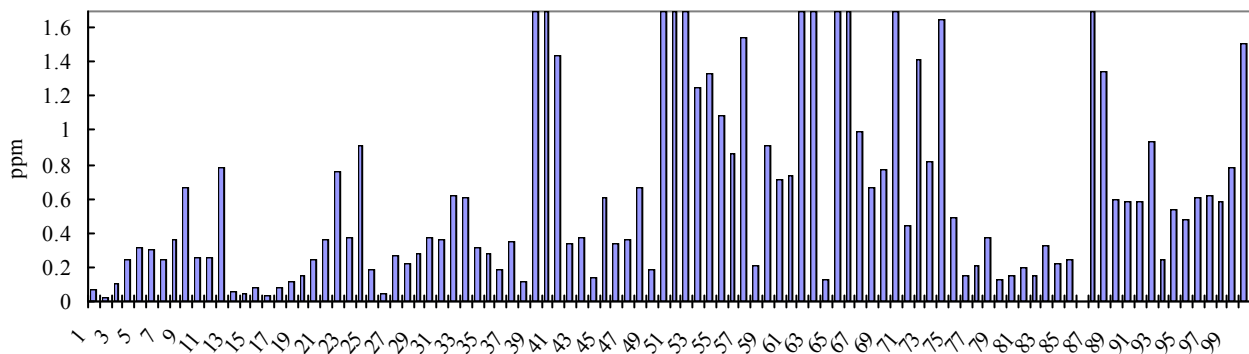


図6. Fe 懸濁態 + 溶存態

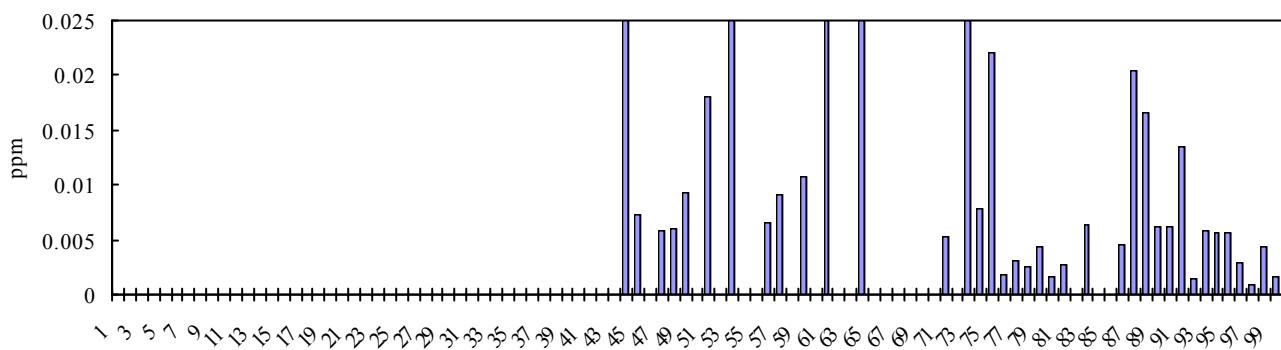
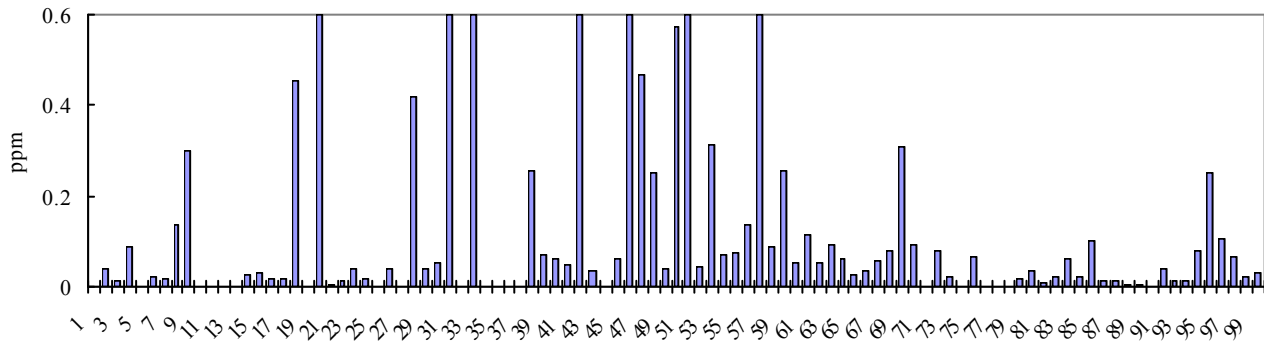


図6. Fe 溶存態



Fe 間隙水

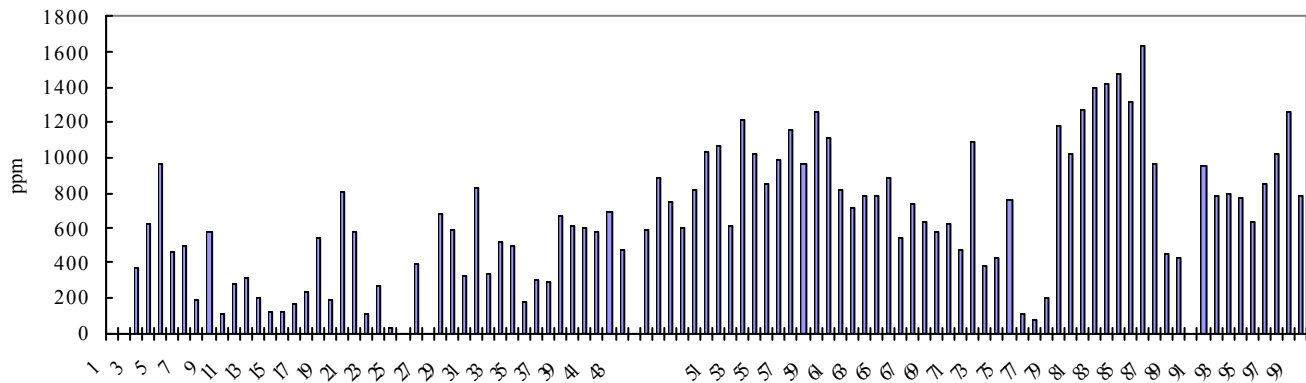


Fig.6. Fe 吸着

図-6 Feの4つの濃度分布状態（懸濁態、溶存態、間隙水及び吸着）

表1. 底泥中の金属イオン濃度の相関係数

	Zn	Co	Cr	Cd	Mn	Fe	Al
Zn	1.000	0.932	0.896	0.961	0.8094	0.793	0.785
Co		1.000	0.876	0.874	0.7856	0.795	0.818
Cr			1.000	0.863	0.8026	0.843	0.876
Cd				1.000	0.7775	0.808	0.765
Mn					1.000	0.731	0.725
Fe						1.000	0.819
Al							1.000

まとめ

有明海湾奥部の100地点の海水、底泥の採取によりAl、Fe、Ba、Sr、Cd、Co、Cr、Pb、Mn、Ni、Sn、Cu、Znの分布を求めた。有明海に存在する金属イオンは、海水中では、浮泥と一緒に挙動する懸濁態と、コロイドや有機高分子と結合した可溶性の状態、更には、底泥に含まれる海水（間隙水）と底泥に分布する。言うまでもなく、重金属イオンは底泥に100～1000倍濃縮される。金属の4つの濃度分布状態をFeを例に図6に示す。Feは懸濁として、1ppm前後存在し、溶解性のFeは数十ppbである。間隙水では海水より少ないものの数十ppbのFeが溶解性Feとして存在する。底泥には1000ppm存在する。このように、海水中のFeは河川からの流入のほか、底泥からの溶出によりコントロールされている。

底泥に吸着していた金属イオンは、例外（Cu、Sn、Ni）はあるが、有明海西側（六角川河口よりも西側）に多く分布していた。各々の金属は河川から有明海に流入する。流入する金属イオンの違いは流入量と河川の上流域にある山（背振山、多良岳、阿蘇山）又は流域にある工業地域の規模に依存すると考えられる。有明海の東側に位置する筑後川から多量の水が有明海に注ぎ、しかも、比較的都市域を流れるにも関わらず東側の底泥への金属濃縮は、大牟田河口のCuとNiを除けば少ない。これは東側の底泥が西側に比べて大きい

めである。粒径の大きな東側地域では金属吸着量が少なく、粒径が小さな有明海の西側に多くの金属が濃縮されている。更に、蓄積された金属の濃度との間には互いに相関関係があるので、西側には種々の金属が濃縮され易い環境となっている。

金属イオンは有明海に棲息する魚介類に濃縮されるのでそれらの生育に大きな影響をもたらす。更には、微量有用金属、例えばFeは海苔の生育の促進と珪藻プランクトンの異常発生をもたらすので、微量金属イオンの地域別濃縮は有明海の再生には重要な要因と考える。

謝辞

本研究に用いた海水および底泥の採取には有明海総合研究プロジェクトの研究員の方々に多大な協力を頂いた。厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 代田昭彦：有明海の栄養塩と二ゴリの特性、海洋科学、12(2)、30-40、1980.
- 2) 青峰重範、東俊雄、井ノ子昭夫：有明海の粘土鉱物、九州大学農学部学芸雑誌、14(3)、387-398、1954.
- 3) 飯盛喜代春：有明海および筑後川底泥の化学成分、低平地研究、3、6-13、1994.

(2006.5.31受付)

雑木炭と火山性灰土を用いた代かき期 水路の水質浄化に関する研究

CHARCOAL AND VOLCANIC ASH TO PURIFY CREEK WATER
POLLUTED BY AGRICULTURE

原田 浩幸¹・山本浩一²・川喜田英孝³・井上 勝利⁴・足立 辰夫⁵・
楠田 哲也⁶・野正 博之⁷

¹ 学術博士 佐賀大学助教授 理工学部機能物質科学科 (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄1番地)

² 博士(工学) 佐賀大学講師 有明海総合研究プロジェクト (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄1番地)

³ 博士(工学) 佐賀大学助手 理工学部機能物質科学科 (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄1番地)

⁴ 工博 佐賀大学教授 理工学部機能物質科学科 (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄1番地)

⁵ 国土交通省九州地方整備局川辺川砂防事務所 (〒863-0093 熊本県球磨郡相良村 3317)

⁶ 工博 九州大学工学研究院特任教授 (〒812-8581 福岡市 箱崎6丁目 10番1号)

⁷ 日水コン九州支部 (〒810-0001 福岡市中央区天神 1-10-24)

As a result of plowing rice fields at the beginning of spring, high concentrations of clay particles, nitrogen and phosphorous from drainage load agricultural creeks. We used charcoal made of timber thinnings and volcanic ash pellets to remove fine clay particles, adsorbed organic substances and phosphorous from agricultural creek water. Soil absorption experiments using various charcoals were conducted in batch experiments in laboratory. The adsorption efficiency of charcoal made from timber thinnings are greater than bamboo and oak charcoal in respect to chemical oxygen demand and phosphorous. The distribution constants for phosphorus and for the Freundlich equation were 16.3 $\mu\text{g/g}$ and 1.7 mg/g respectively. Creek water was feed into 1.5m high, 1.7m wide and 10m long experimental equipment made from concrete that already contained both timber charcoal and volcanic ash soil pellets. The creek water feed into the equipment would first contact large size timber charcoal, then small size timber charcoal and finally infiltrate volcanic ash soil. The results showed that 50-60% of BOD and 40% of TP were removed by the charcoal, and after that TP was further decreased by the volcanic ash layer with a 1hr hydraulic retention time.

Key words : absorption , water purification , agricultural creek , charcoal , volcanic ash pellets

1.はじめに

農業の中の米作については、秋に稲を刈った後の田んぼを春先に掘り起こし、水を入れてかき混ぜ、田植えのできる状態にする代かきの時期に比較的濃度の高い、窒素、りん、SSが排出される。このため負荷軽減技術の早期確立が望まれ、方法のひとつとして水稻不耕起が検討されている¹⁾。本研究では、この環境問題に対して、汚濁が進んでいない川に放流されるケースを地場で産出される木炭と土壌浄化材を用いた接触ろ過法によるアプローチを試みる。場所は熊本県の球磨川流域とある親曾川を想定している。この川の周辺には田んぼがたくさんあり、かつ親曾川とつながっている球磨川は鮎が生息する清流な川なので、一時的な負荷といっても削減の必要がある。

球磨川流域の人吉地区は農業のみならず林業が盛んで、木炭製造も行われていること、さらに土壌が浄化ろ材によく用いられる鹿沼土と同じく火山性灰土が多いことからこの浄化方法を発想した。代かきの時期は、数ヶ月なので簡易、安価かつ効率的な処理方式としなければならない。そのため、木炭は現地で作られている間伐材の木炭を用いることにした。流木塵芥を活用した木炭による水質浄化⁴⁾が報告されている。これによると広葉樹よりも針葉樹木炭の浄化能力が大きいとされる。しかし、針葉樹炭は九州ではあまり製造されていない。人吉地区での木炭づくりは樹種が特定できる木炭のほかに、数種類の間伐材を木炭(雑木炭と称する)にしている。これを代かき期の河川の浄化に用いることを考えた。しかし数種類の樹種に関する情報はない。また、いままで

表3 供試土壌の物理的性状

	含水率 (%)	土粒子密 度 (g/cm ³)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指 数	均等係 数	曲率係 数
黒ぼく土	87.8	2.28	109.5	75.45	34.05	19.1	0.4
赤ぼく土	131.2	2.62	149.5	97.04	52.46	221.1	0.7
黄土	6.4	3.41	46	38.04	7.96	358.8	0.6

検討されてきた浄化接触材としての木炭は、生物が付着した生物木炭の効果が期待³⁾されているが、このように短い間で付着も不明である。木炭の後段処理としリウの除去を目的する火山性灰土の浸透能力は極めて低く、通常は微細木炭を混ぜたり、鹿沼土のように焼結して団粒化して用いる⁴⁾。本研究では水に浸すのは数ヶ月の対応なので、ある一定の強度を維持できればよいと考え、水を加えて混練してその後、圧縮成型して調整したものを実験に用いた。

まず、浄化材について回分式で有機性人工排水を与えた実験室レベルでの評価⁵⁾、次に実験施設に実河川水を通して槽内の濃度変化を調べて実際の評価をおこなった。

2. 代かき排水

5月から6月に田おこしの時期をここでは代かき期の排水と称している。この時期に直接に田んぼから排出されている水を採水し濁度を測定した。図1は静置したときの濁度の変化を示す。2時間静置してもわずかに3度だけしか低下しない。これは微細な粘土に起因していると思われる。表1は熊本県人吉市新首川を代かき期とそれ以外の普通期の水質の違いを示す。代かき期は普通期に比べてSSは約10倍度、COD、TNは約3倍、TPは2～7倍程度高くなっている。

3. 材料

(1) 木炭

1mmから2mmに調整し十分に水洗いした雑木炭のほか比較対象として、同様に市販の竹炭とカシ炭も評価に用いた。水銀圧

入法によりそれぞれの木炭を測定した物理的性状を表2に示す。雑木炭は細孔径が大きく、容積がカシ炭、竹炭の4倍程度となっている。単一の樹種の木炭の物理的性状を調べた結果⁶⁾を見ても、雑木炭の全細孔容積は大きな値となっている。

表1 普通期と代かき期の水質

	期普通期	代かき
SS(mg/l)	4～6	35～48
COD(mg/l)	2.2～2.5	6.2～6.5
TN(mg/l)	0.39～1.07	1.12～1.18
TP(mg/l)	0.02～0.06	0.12～0.15

表2 供試木炭の物理的性状

	雑木炭	カシ炭	竹炭
全細孔容積 (cm ³ /g)	2.13	0.57	0.45
比表面積(m ² /g)	39.15	43.45	37.27
気孔率(%)	68.61	45.06	40.73
中央細孔直径 (μm)	11.68	0.26	0.19
平均細孔径 (μm)	0.22	0.05	0.05

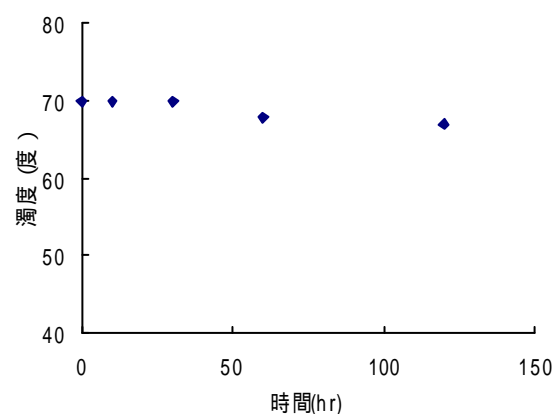


図1 代かき排水の濁度の変化

表 4 供試土壌の化学的性状

	Fe(g/Kg)	Si(g/Kg)	Al(g/Kg)	Ca(g/Kg)	含水率(%)	lg - Loss
黒ぼく土	130	130	30	17	12.2	24.2
赤ぼく土	39	206	29	5.6	6.1	8
黄土	470	34	14	19	4.5	13.9

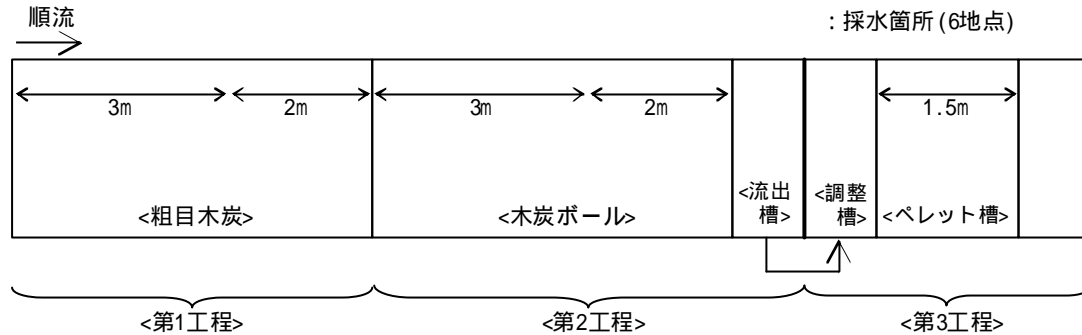


図 2 実験施設外略図

(2) 土壌と土壌ペレット

材料に選定した土壌の物理的性状を表 3 にまた化学的性状を表 4 に示す。黄土は分類上赤ぼくに分類されるが、ここでは区別のため黄土と称する。黄土は鉄の含有量が高い。比較として用いた、黒ぼく、赤ぼく土とも火山性灰土でりんの吸着が見込める。ペレットは圧縮成型し円筒状にしたもので、直径約 1cm、長さ 3cm から 5cm である。

4. 実験方法

(1) 木炭と生物木炭の吸着評価

針葉樹の木炭評価⁵⁾と比較するために表 1 に比べて濃度は高くなるが、同じ組成の人工排水を用い、その濃度を変えて回分式で固液比を 1:10 として 20 での吸着実験をおこなった。24 時間後に 0.45 μm メンブレンフィルターでろ過後水質を分析した。原水は調整時でおおよそ COD 4000mg/l, NH₄-N 340mg/l, PO₄-P 240mg/l となる。生物木炭をつくるには熊本県北部浄化センターの活性汚泥を用いて人工排水を希釈したものを Fill and drown 方式で木炭浸漬した容器で 3 週間馴養し附着させた。その後、木炭の浄化能力評価と同様の実験をおこなった。そのときには生物膜に影響がないよう

後の乾燥重量変化を付着微生物量とした。

(2) 土壌吸着の評価

りんの吸着を評価するために、りん酸二水素カリウム溶液回分式で固液比を 1:10 として 20 での吸着実験をおこなった。20 分後に採取し、0.45 μm メンブレンフィルターでろ過後水質を分析した。飽和にいたる途中過程を明らかにするためにペレット 2.5kg に対して人工排水を固液比 1:2 で接触させる吸着実験をおこなった。24 時間後静置した後、処理水と原水を入れ替えることを繰り返した。

(3) 実験施設での評価

九州地方整備局川辺川砂防事務所が熊本県人吉市相良村内に建設した縦 1.5m、高さ 1.7m、横 15m の実験施設で実際の河川水の処理をおこなった。この実験では河川水の一部を導入する間接浄化処理の形態をとっているが、これは充填材の評価が主な目的であって、代かき期が 3ヶ月程度であることなどを考慮すると実際的には河川、水路の流れを妨げないところに、袋につめて設置するような直接浄化の簡易処理が適切と考えられる。施設の概略を図 2 に示す。流入口から 5 m の第 1 工程までは製造した木炭をそのまま充填した。第 2 工程ではその木炭を細かく砕き、ネットに入れて

設置した。ペレット槽は別に実験を行えるつくりとなっている。滞留時間は供給速度を変えることで変化させた。

5. 結果と考察

5.1 木炭による吸着と生物木炭の効果の評価

木炭による吸着に関して図3、4に原水の希釈倍率を変えておこなった実験結果を示す。まず、CODについてフロイントリッヒの吸着等温式

$$q = k \cdot C_e^{1/n}$$

q: 単位木炭重量あたりの吸着量 mg/g

k: 吸着係数 1/n: 係数

Ce: 処理後の濃度 mg/l

吸着係数kは、雑木炭1.87mg/g、カシ炭0.53mg/g、竹炭0.86mg/gであった。その値は雑木炭が一番大きく、カシ炭のおよそ3倍、竹炭のおよそ2倍のCOD吸着能力があることを示している。リ酸態リンに関する吸着係数は雑木炭について1.74mg/g、カシ炭および竹炭はそれぞれ1.19mg/g、1.04mg/gであった。カシ炭は原水濃度が低いときには全くの減少が見られなかった。また、アンモニア態窒素は吸着しなかった。針葉樹であるナラ炭とヒノキ炭でCOD除去率は15%、50%となっていて、またリ酸態リンの最大吸着量は250μg/g、アンモニア態窒素は215μg/gである⁵⁾のに対して、雑木炭のリ酸態リンの最大吸着量はそれは16.3μg/gであった。製造法によっても、その浄化能力は変わり⁷⁾、また町田⁸⁾が指摘しているように使用する木炭の比表面積や接触時間によっても異なるが、同じ排水を使って粒径の近い範囲での比較をおこなうことで、針葉樹炭に比べるとその吸着能力は小さい中でも複数の樹種からなる雑木炭の吸着能力高いことが確認できた。これは生産された木炭の浄化能力を反映していると考えている。

生物木炭の調整により各炭付着した汚泥はそれぞれ1gの炭あたり雑木炭33.4mg、カシ炭6.9mg、竹炭15.0mgであった。ここで汚泥量は実験後110の乾燥器に18時間以上入れたときの重量から木炭の重量を差し引いて求めた。これから

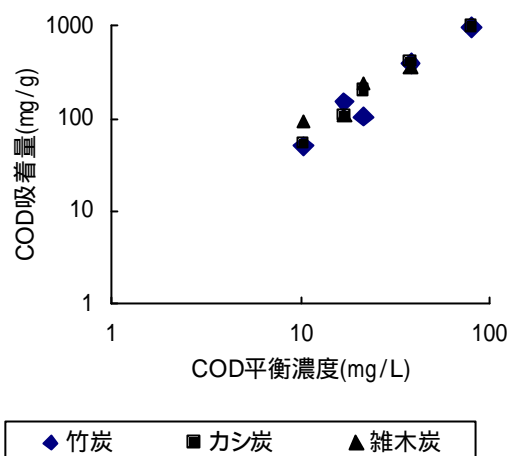


図3 木炭によるCOD成分の等温吸着

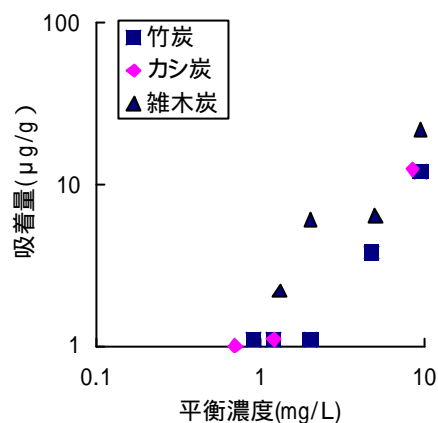


図4 木炭によるPO₄P成分の等温吸着

雑木炭には微生物が付着しやすいことがわかる。また生物木炭1.0gあたりから付着させないときの吸着量を差し引いたものを生物分解量として評価した。

CODとアンモニア態窒素についての結果を図5,6に示す。CODについて高濃度の処理においては樹種による差異が認められるが、低濃度において差はない。これから生物木炭の処理量の7割近くが炭による吸着で残りの3割程度が生物による分解であると推定される。アンモニア態窒素については雑木炭の減少量が比較的少ない。また、リンについては付着させないときには吸着を示したが、ここでは濃度は減少しなかった。生物木炭の充填カラムによる吸着試験では従属栄養最近が増殖し、硝化細菌は少ないとされ、処理水のBODIは20mg/L以下になったとしている⁹⁾。また、木炭の効果よりも

生物分解による効果が大きいとされる¹⁰⁾。本研究においてもアンモニア態窒素の減少量が少なく硝酸態窒素の増加がほとんどないことから従属栄養細菌が主であると思われる。また、CODについて生物分解による効果が小さく、また低濃度で樹種による差が小さいのは、四万十川方式で検討されているように、木炭のチャージを打ち消していない¹¹⁾ので、微生物が十分に内部に生息せず、そのため、表層に付着した微生物に対する環境条件に影響されたためと思われる。

5.2 土壌の吸着特性と飽和過程の評価

図7にペレット化していないときの川の吸着に関する結果とあわせて、黄土について実施設で用いたためにペレットに成型したときの結果を示す。赤ぼく土の吸着能力が高く、ついで黄土、黒ぼく土という結果であった。吸着係数は赤ぼく土で1.20mg/g、黒ぼく土で0.10mg/g、黄土0.79mg/gであった。処理後のpHは黄土で3.20、黒ぼく土で5.37、赤ぼく土で5.80となった。一方で図に示すようペレット化すると吸着係数が0.01mg/gまで低下するがpHは4.4から4.9の範囲にあった。pHが低下することは火山性灰土の浸透性につながるため、ペレット化することはそれを防ぐことにも役立つ¹²⁾。実際に測定するとペレット化することで浸透能力は50倍になった¹³⁾。また火山灰土に硫酸鉄を加えて焼結した土壌の平衡濃度1mg/L前後の値と比較すると図中の赤ぼく土と比べてそれは7倍の吸着量、黄土と比べて10倍程度吸着量を示した¹⁴⁾。しかし表1に示しているように、代かき期でもT-P濃度は0.15mg/L程度なので、その濃度範囲ではエネルギーをかけて作成した団粒浄化材との差はさらに小さくなるものと思われる。

飽和吸着の評価をおこなうために川の濃度を10mg/Lと2.0mg/Lとした排水を投入し、処理後入れ替えた。結果を図8に示す。原水濃度を約10mg/Lとしたときには処理水は0.08～.15mg/Lの範囲にあり除去率にして78.2%から99.2%と高い浄化能力を示している。処理水量が70Lまでは毎回90%以上と高い除去能力を示していたが、70L以降は

徐々に除去率が低下して100Lになると除去率が75%程度となった。原水濃度2.0mg/Lのときには処理水濃度が0.06から0.21mg/Lの範囲にあった。原水濃度10mg/Lの結果からの推定では2mg/Lを飽和吸着に達したと判断すると、ペレット量に対して

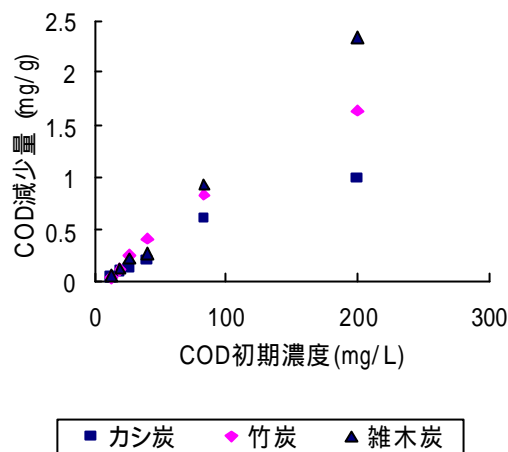


図5 生物木炭を用いたときのCODの減少

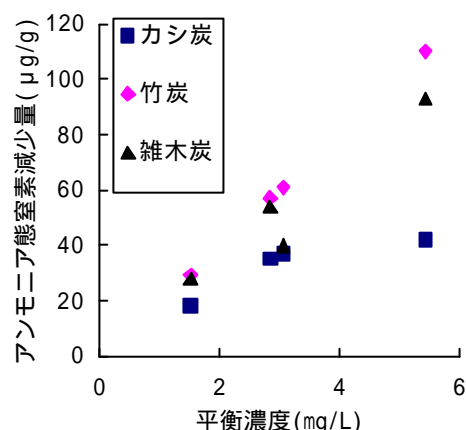


図6 生物木炭を用いたときのアンモニア態窒素の減少

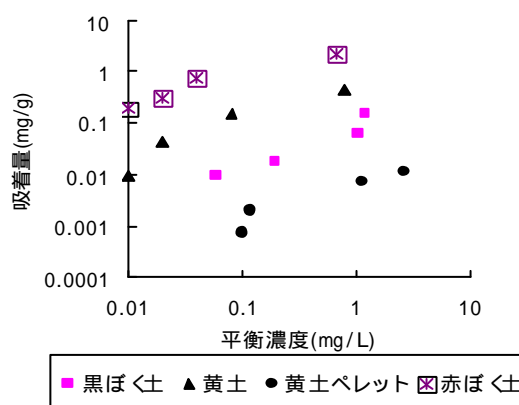


図7 土壌と黄土ペレットによる川の等温吸着

約 50 倍の容積の処理が可能とであり、水路のリ
濃度がおおよそ 0.2mg/L 程度であること考慮する

と 2500 倍以上の処理が可能であると思われる。

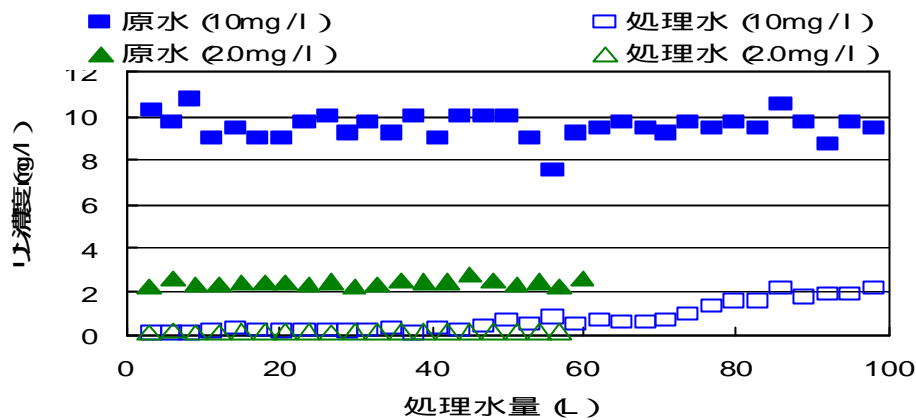


図 8 繰り返し試験による処理水のリ濃度変化

5.3 実施設での適用

図 1 の第一工程から第二工程の木炭について
代かき期の流入水の施設内での濃度変化につ
いて検討した。図9から図132に施設内の流入にとも
なってSS, COD, BOD, T-N, T-Pの変化を示す。SSにつ
いて2mのところまで、その減少は50-60%に達した。
またこのときのVSSは10mg/Lであることから流入
するSSの80%は無機性のSSであることがわかっ
た。流入して2m以降の濃度の低下はわずかである
が、最終的には10mg/L程度に減少した。このこと
から木炭との接触による粒子の捕捉がおこって
いることがわかる。

有機物について流入水のBODとCODの比は約0.2
~ 0.25であるのでやや生物分解性に乏しく、その
ためBOD成分で50~60%まで除去されるがCODの減
少は20%程度であった。この減少は木炭かあるい
は生物木炭の付着した微生物による分解による
ものかは明確でない。また溶解性COD減少のごく
わずかであった。

T-Nについては約20%、T-Pは50%の除去が見られ
た。窒素除去に関しては木炭を用いた浄化のとき
に有機性排水が用いられる場合が多く、評価はア
ンモニア態窒素の除去が重要となる。しかし、今
回は硝酸性窒素が多く、そのために回分実験と異
なって吸着挙動を示したと考えている。

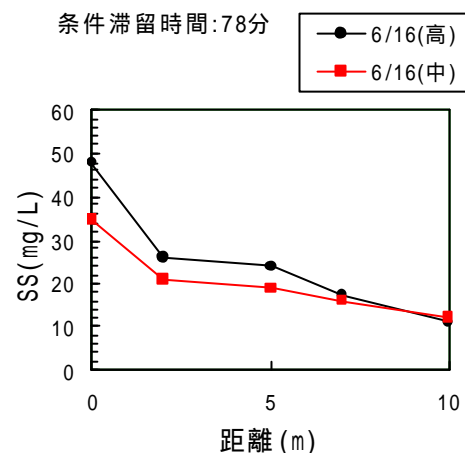


図9 施設内でのSS変化

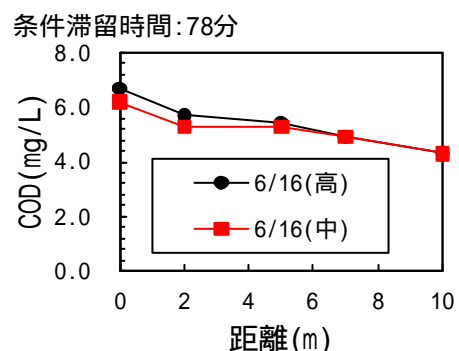


図10 施設内でのCOD変化

たとえば図中の分析値では $\text{NO}_3\text{-N}$, 0.96mg/L、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.006mg/L、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.09mg/Lとなっている。またアモニア態窒素が生物木炭により硝化されても濃度的に影響は小さい。流入濃度や時期によっても除去率に変動があるが、どの条件でも濃度の減少が見られたのは亜硝酸態窒素であった。

またT-Pについても $\text{PO}_4\text{-P}$ の減少が見られていないことから、その減少はSS性のりんが捕捉されたためと思われる。以上のことから、有機性排水でない代かき濁水が流入する河川の木炭の浄化は主にSS、BOD成分とT-P成分の除去が期待できることがわかった。

土壌ペレット層の処理は先に述べたpHの低下の問題により、洗浄に時間がかかり、木炭部からの連続処理はできなかったため、個別に通水して得た結果を表5に示す。T-Pで36~47%の除去率を得た。したがって成型しても低濃度であれば、十分に対応可能であるし、低濃度のリン除去については活性アルミナが0.1から1.0で適用範囲とされる¹⁵⁾ので、自然の素材で対応できることは価値が高い。

5. まとめ

代かきに期に田んぼの水が排出されている水路河川の水質をはかると通常期に比べてのSSは8倍以上、CODは3倍、T-Pは2倍以上の水質となった。

本研究は複数種の間伐材からつくられた木炭と火山性灰土を活用し、最初に木炭と接触させて、その後土壌処理をおこなって浄化することを提案し、評価を検討した。

得られた主な結果は以下とおりである。

- (1) 回分法で得られた結果をバッチ式で適用した。雑木炭の吸着能力は同様な実験の針葉樹での結果と比べると劣るものの、比較として用いたカシ炭や竹炭に比べて高い値を示し、CODとリンの吸着係数はそれぞれ16.3mg/g、1.7mg/gであった。

- (2) 実験施設に滞留時間78分で木炭槽導入して槽内での濃度の変化を調べた。BODとT-Pの除去率はそれぞれ50~60%、40%であった。木炭部を流出

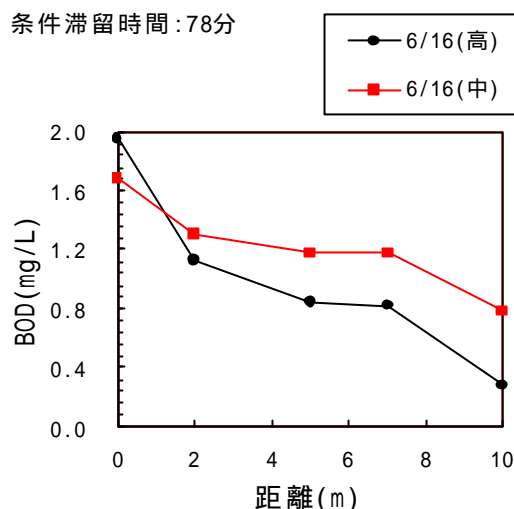


図11 施設内でのBOD変化

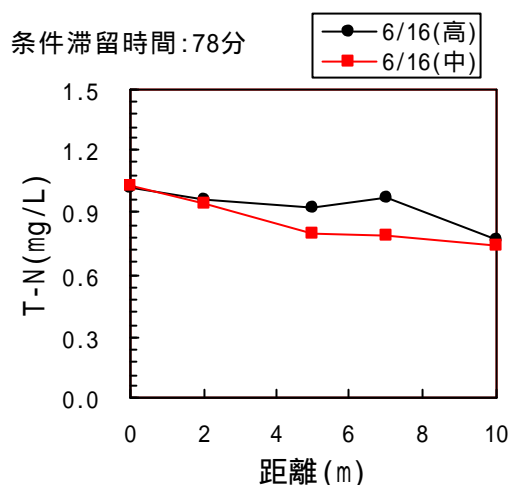


図12 施設内でのT-N変化

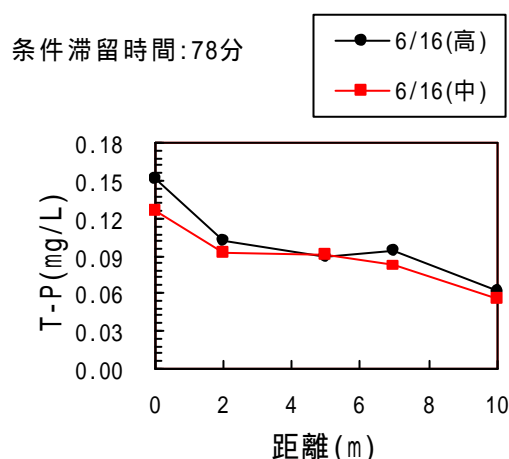


図13 施設内でのT-P変化

した処理水を土壌ペレット槽に通すと、さらにその濃度が低下した。なお、本論文は投稿中であることを付記しておく。

表5 土壌ペレット層でのリン吸着

	原水T-P mg/L	処理水T-P mg/L	除去率 %
実験(1)	0.038	0.017	46.9
実験(2)	0.032	0.020	37.5
実験(3)	0.025	0.016	36.0

謝辞

論文の回分実験による評価は当時熊本大学工学部環境システム工学科 足立葉子さんの卒業研究に負うところが大きい。それに関して、多くの助言を鈴木教授(当時)、北園教授からいただいた。実施設の実験は川辺川砂防事務所との協力、日水コンの方々の実施によります。記して感謝します。

参考文献

- 1) 金田吉弘・土屋一成：育苗箱全量施肥による水稲不耕起移植栽培における窒素の利用率と気象変動の関係,土肥誌,68,112-115,1997
- 2) 宇都宮高栄、坊栄二、松永浩美：天然素材を用いる河川浄化の基礎研究、267号、福井県衛生公害研究書年報、2004
- 3) 齊藤孝則、凌祥之：木炭による水質浄化機能の効果、水と土、126号,pp.77-83,2001
- 4) 石崎勝義・棚橋由彦・杉山和一・石橋康弘・糸永貴範・宮本貴之：団粒ろ材を利用した排水高度処理に関する研究、第55回年土木学会次学術講演会概要集、第7部、pp.312-313,2000.
- 5) 堀克敏：微生物固定化法による水処理 第一編 第二講 木炭および生物木炭の水質浄化機能、pp.39-45,NTS,2000
- 6) <http://www.kumagayacarbon.co.jp/>

[carbon_2/#1-1](#) (木炭の物性)

- 7) 山岡賢・凌祥之・齋藤孝則、水質浄化のための木炭の適用方法の比較、平成14年度農業土木学会大会講演要旨集、754-755、2002
- 8) 町田大蔵：炭の水質浄化に関する基礎実験
- 9) Yoshizawa Kazuya,Tutumi Mitutoshi:Basic Study of water purification using charcoal, 山梨県衛生公害研究所年報、34号、pp.49-51、1990 (in Japanese)
- 10) Imaoka Masaharu;Hirayama Kimiaki,Hirayama Keiko,Sato Hideo,The effects of using charcoal for river water qualityconservations、山梨大学工学部研究年報、45、pp.91-102,1994(in Japanese)
- 11) 松本聡：全循環方式による排水の高度処理、最新高度水処理技術、pp.89-107 エヌ・ティエーエス、1999
- 12)T.Nakagawa and I.Ishiguro: Hydraulic conductivity of an allophanic andsoil as affected by solution pH,J. Environ.Qual.,23,pp.208-210,1994
- 13)原田浩幸、橋口純也、井上勝利、川喜田英孝、倉本厚一、大渡啓介：生物処理された豚舎排水の脱色とリン除去の簡易処理、環境技術、34巻、9号、pp.645-652、2005
- 14)江耀宗、柳田友隆、三谷知代：カラム実験を用いた硫酸第一鉄混合処理・加熱処理火山灰土による水中のリン除去、水環境学会誌、28巻、5号、pp.327-332、2005
- 15) 板坂 直樹、水中低濃度リンの除去・回収用吸着剤の開発状況と課題、用水と廃水、41巻、3号、pp.5-14、1999

(2006.5.31受付)

有明海湾奥部におけるベントス相

Benthic fauna of inner part of Ariake Sea

吉野健児¹・山本浩一²・速水祐一³・大串浩一郎⁴・平川隆一⁵
Kenji YOSHINO, Koichi YAMAMOTO, Yuichi HAYAMI, Koichirou Ohgushi
and Ryuichi HIRAKAWA

¹水博 佐賀大学研究機関研究員 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²工博 佐賀大学講師 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³農博 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁴工博 佐賀大学助教授 理工学部都市工学科(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁵工博 佐賀大学助手 理工学部都市工学科(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

We examined benthic fauna in the inner part of Ariake Sea (called “Maeno-Umi”) in August 2005. From the 100 stations in the Maeno-Umi, sediment was taken by Eckman sampler. The sediment was sieved with a 1mm mesh, and the benthic organisms were sorted, identified and weighed by their wet weight. We also measured the particle size, ORP, and C/N ratio of sediments and DO and SS of bottom water. Of four bivalve species, *Ruditapes philippinarum*, *Theora lubrica*, *Scapharca kagoshimensis*, and *Potamocorbula laevis*, which dominated at the biomass, fishery species *S. kagoshimensis* showed a wide range of distribution, suggesting that *S. kagoshimensis* play an important role for material cycles in Maeno-Umi. However, Shannon-Wiener diversity index averaged over 100 stations was low, 0.64 ± 0.56 (1SD), and the diversity was related to aerobic conditions of the benthic environment. The poor fauna of the present study may reflect the effect of hypoxia that occurs in summer on benthic communities.

Key Words :Ariake Sea, benthic communities, environmental gradients, Maeno-Umi

1. はじめに

有明海は広大な干潟と日本最大の干満差を有する内湾であり、産業上重要な水産資源をはじめ、国内では有明海だけに限られる特産種や準特産種が約80種も生息する¹⁾日本でも極めて貴重な海域である。重要なのはこれらの特産・準特産種の大部分が我々の生活とは直接関係のないベントスと呼ばれる小さな無脊椎動物で占められていることである。ベントスは有用魚類の餌資源や渡り鳥の餌になる等^{2, 3)}、生態系の中で重要な役割を持っている。地域の人々の生活を支える水産資源をはじめ、有明海の生態系からもたらされる恩恵は、ベントスの豊かさに支えられてきたといってもよいだろう。

そのような豊饒の海であるはずの有明海では、タイラギやアゲマキ、アサリなどの有用種の漁獲量の激減をはじめ^{1, 4, 6)}、様々な問題が生じてきており、これらの問題はしばしば有明海異変と呼ばれている。そのような問題のうち近年深刻化しつつあるのが表層の赤潮と底層

の貧酸素水塊である⁵⁾。

ベントスは通常表層から降ってくる有機物を餌としており、底層に堆積する有機物を浄化する最初のステップであるフィルターとしての機能をもっている。最終的にベントスが捕食や漁獲によって系外へ取り除かれることにより、系は浄化される。しかし赤潮が発生すると、その大量の遺骸が底層に沈降し、ベントスの摂餌が追いつかなくなる。すると、バクテリアなどがこの大量の有機物の分解に多くの酸素を消費するため、貧酸素状態を誘起する。長期的な貧酸素はベントスの生息を脅かし、状況はさらに悪化するという悪循環になりやすい。

ベントスがいなくなると系の浄化能力は低下するため、ベントスがどこにどれだけ生息しているのか、それらの分布はどのような要因と関連するか、そして彼らが生態系の中でどのような有機物源を餌として利用しているかを把握しておくことは有明海の再生・保全にとって重要である。しかしながら、佐賀県沿岸の有明海湾奥部で有用種以外のベントス相について研究された例は古賀⁶⁾興石ら⁷⁾があるものの、基礎的な情報が乏しく、今後の

有明海環境の予測に十分なデータがあるとは言い難い。

そこで本研究では知見の少ない有明海湾奥部での生物相の現況を把握するため、佐賀県から福岡県にいたる湾奥部広域でのベントス相の調査を行い、バイオマス、個体数、多様性について底質、水質との関連性を評価し、若干の結果が得られたのでここに報告する。

2. 方法

(1) 調査地点

調査地点は図1に示すように湾奥に干潟域、浅海域を含む100地点設定した。その底質環境から西側の泥質域、東側の砂質域に大きく分けられ、さらにそれらの干潟域と浅海域に分けられる⁶⁾。より近年の湾奥部の底質環境については山本ら⁸⁾に示されている。

(2) 調査項目

調査は2005年8月18～23日にかけて行った。それぞれの地点で1回エクマン採泥器で底泥を採取した。採取した泥は1mm目合いの篩でふるい、篩上の堆積物を実験室に持ち帰った。堆積物からベントスをより分け、種の同定、個体数、湿重量の計測を行った。同定はできる限り種まで行ったが、多毛類、ヨコエビ類は科までとした。各種の全地点での平均個体数および平均バイオマスを算出し、1平方メートルあたりの個体数、バイオマスを推定した。また出現種のバイオマスから各地点でShannon-Wiener多様性指数を算出した。

また、この調査と平行して底質と水質の分析を行った。水質として塩分、濁度(SS)、溶存酸素濃度(DO)を測定し、底質は採取した底泥の一部を用いて底質の酸化還元電位(ORP)、粒度(Md)、C/N比を分析した。

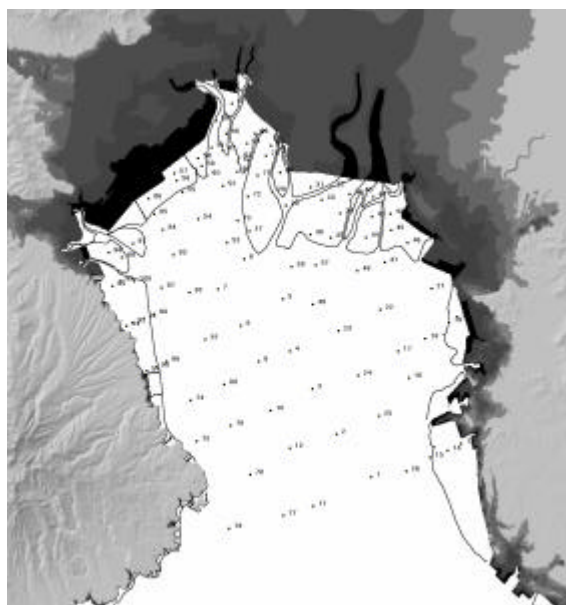


図1. 調査地点

(3) データ解析

種数、多様性と環境傾度については重回帰分析を行った。それぞれの種は地点間で出現の有無による変異が大きかったため、優占種と環境傾度との関連については各地点での出現の有無を従属変数としてロジスティック回帰分析を行った。独立変数となる環境傾度はお互いに相関が強く、共線関係にある傾向がみられたため、どちらの分析においても主成分分析による変数の縮約を行った後、これらの主成分を独立変数として上記の回帰分析を行った。なお、環境傾度項目のいずれかに欠失値を伴う地点のデータは解析から除外した。

3. 結果

(1) 湾奥部における生物相

全調査地点をあわせて出現した生物は81種であるが、多毛類等の科レベルまでの分類を考慮すれば実際にはこれよりも10～20種程度多くなると思われる。多様性指数は最小値が全く生物の出現しなかった地点の0から最大1.954の値をとり、全地点での平均は0.64 ± 0.56 (1標準偏差)であった。

主な分類群の構成についてみると甲殻類で18種、腹足類で17種、多毛類17種、二枚貝24種であった。これらの分類群中、二枚貝は全出現生物の約80%のバイオマスを占め(図2a)、二枚貝群集自体はアサリ、シズクガイ、サルボウ、ヒラタヌマコダキガイの4種で90%以上が占められていた(図2b; アサリ: 72.8個体/m²、26.2g/m²、シズクガイ: 158.8個

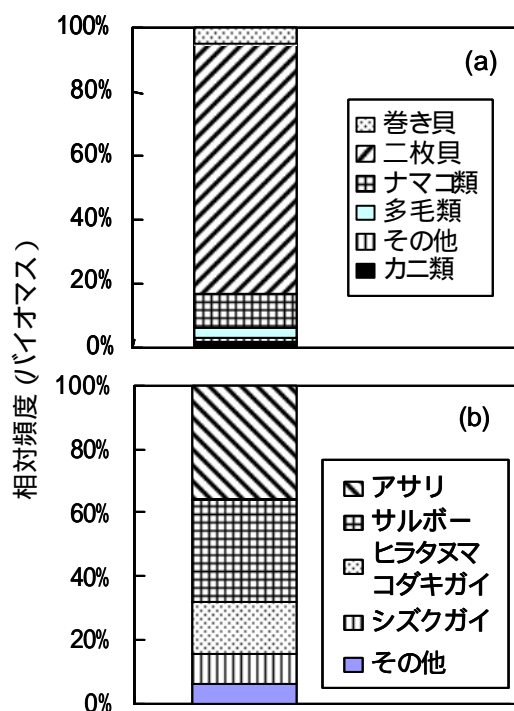


図2. 全地点種組成(a)と二枚貝群集組成(b)

体/m²、7.17g/m²、サルボウ：135.7個体/m²、23.9g/m²、ヒラタヌマコダキガイ：32.7個体/m²、11.7g/m²）。これら4種の分布様式を個別にみていくと、アサリは筑後川より東側の砂質の干潟域に局所的に高密度で出現していたのに対し、サルボウ、シズクガイ、は湾奥東側の砂質から西側の泥質干潟にいたる広範囲に出現していた。ヒラタヌマコダキガイは西側の泥質干潟上に多く出現した(図3)。

二枚貝以外ではイトゴカイ科多毛類(43.7個体/m²、0.77g/m²)やトゲイカリナマコ(9.3個体/m²、10.9g/m²)が広域に出現し、カワグチツボ(32.1個体/m²、0.12g/m²)、ミズゴマツボ類(25.3個体/m²、0.16g/m²)が干潟上の地点で頻出した。また、全体的にバイオマスは干潟上の潮間帯の地点で多く(平均207g/m²)、潮下帯の地点(平均58.3g/m²)では少なかった(Mann-Whitney U-test, Z = -2.61, P < 0.01)。

(2) 環境傾度との関連

欠失データを除いた74地点分のデータで環境傾度の主成分分析を行ったところ、第3主成分までで約70%の寄与率を示し、3つの主成分で湾奥部の環境傾度を代表できると考えられる(表1)。第1主成分は標高、ORP、DOの寄与が大きく、環境の好気性を表す成分であると考えられる。第2主成分は塩分と底質を表す成分であり、Mdの符号が負であることは底質粒度の荒さを表している。第3主成分はSSとC/N比の寄与が大きく、ベントスにとっての餌環境の良さを表すと考えられる。

表1 環境傾度の主成分係数と寄与率(括弧内数値)

	主成分係数		
	PCA1 (27.9)	PCA2 (24.9)	PCA3 (16.6)
標高(m)	0.56	-0.12	-0.13
SS(mg/L)	0.25	-0.24	0.67
ORP(mv)	0.51	0.303	0.042
C/N	0.062	0.37	0.603
Md	0.018	-0.60	-0.103
塩分(psu)	-0.203	0.57	-0.20
DO(mg/L)	0.56	0.13	-0.34

表2 環境傾度と種数、多様性の関係

要因	偏回帰係数(標準誤差)	
	種数	多様性
切片	4.04 (0.35)	0.79 (0.07)
PCA1	0.51 (0.25)*	0.09 (0.05)†
PCA2	0.12 (0.27)	0.04 (0.05)
PCA3	-1.10 (0.33)**	-0.22 (0.06)**

* P < 0.05, ** P < 0.01, † P = 0.06

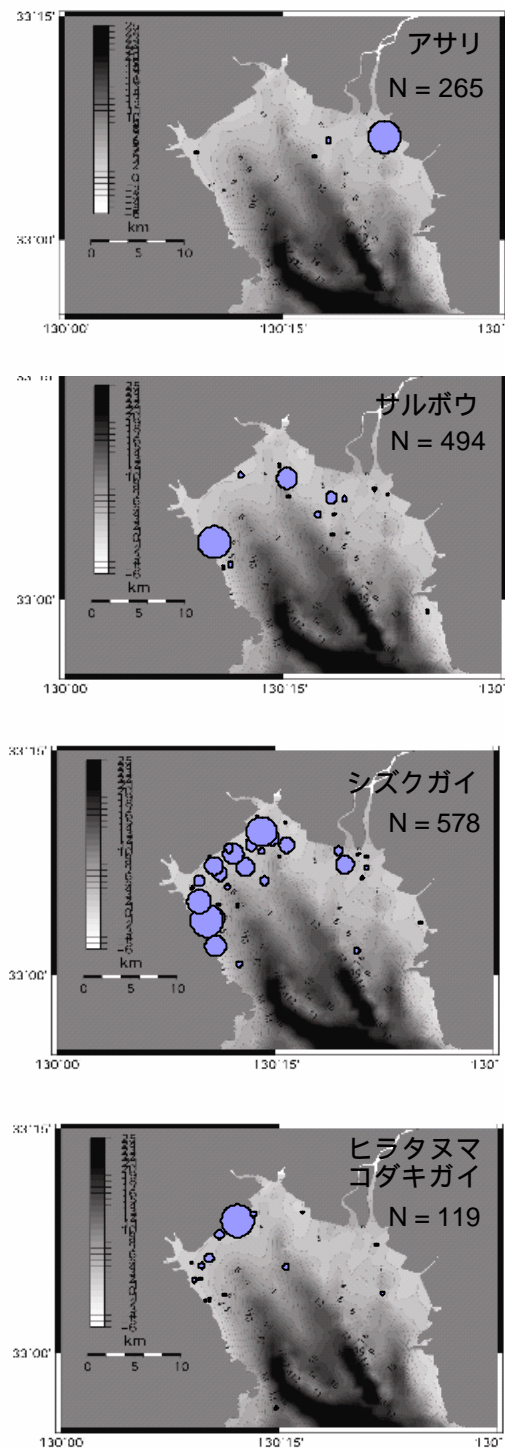


図3 優占二枚貝4種の分布様式

これら3つの主成分のうち第1、3主成分は群集内の種数と多様性に有意、またはほぼ有意に影響を与えていた(表2)。このことから種数、多様性は環境が好気的で餌環境が良い(C/N比が低い)ほど高くなるが、底質粒度には大きく影響されないことが示唆された。

アサリは出現地点が極めて限られていたため解析からは除外したが(図3参照)、優占した3種の二枚貝であるシズクガイ、サルボウ、ヒラタヌマコダキガイの出現

表3 .環境傾度と優占二枚貝の出現確率の関係

要因	偏回帰係数 (標準誤差)		
	シズクガイ	ヒラタヌマコダキガイ	サルボウ
切片	-0.49 (0.28)	-2.43 (0.07)	-2.10 (0.47)
PCA1	0.43 (0.21)*	-0.01 (0.31)	0.08 (0.30)
PCA2	-0.74 (0.29)*	-1.46 (0.48)**	0.55 (0.35)
PCA3	0.08 (0.38)	-1.11 (0.53)*	-1.98 (0.82)*

* P < 0.05, ** P < 0.01

確率と環境パラメータの関連をみたところ(表3)、シズクガイは第1主成分と第2主成分と有意な関係にあり、標高、あるいはORPやDOが高い好気的な環境、底質粒径の細かい環境で出現率が高い。ヒラタヌマコダキガイはシズクガイと似た分布を示したが、第2主成分と第3主成分と有意であり、底質粒径の細かさと餌環境が分布に影響を与えることを示している。サルボウは第3主成分とのみ有意な関係にあり、餌環境がよければ比較的どこにでも出現するといえる。これらの結果は図3に示した分布様式にも現れていた。

4 . 考察

今回の調査で採取された種数は81であるが、その中でもわずかに数種の二枚貝がバイオマスの約80%を占め、二枚貝を中心とした群集特性が際立った。本調査と近い季節に調査した古賀⁶⁾においても、優占種に違いがみられるものの、湾奥部では二枚貝が種組成の約70%を占める結果が得られており、今回の結果と符号する。群集内で優占する生物は季節によって変動するため、夏期以外の群集構造についても調査する必要があるが、二枚貝は有明海湾奥部の中心的ベントスであろう。特に漁獲対象種でもあり、広域に分布するサルボウは湾奥部での物質循環に大きな役割を果たしていると考えられる。

二枚貝各種の分布様式においても古賀による結果と一致し、サルボウは特に底質環境とは有意な関連は認められなかった。シズクガイも標高の高い干潟域に分布が集中したものの泥質海域で優占していた。ヒラタヌマコダキガイは近年有明海で増えている二枚貝¹⁾であり、シズクガイと似た分布を示したが、シズクガイでは有意な関連のなかった懸濁物量、C/N比を反映する第3主成分と強い関連を示した。近縁種*P. amurensis* が濾過食者である⁹⁾ことから、ヒラタヌマコダキガイもおそらく濾過食者である。これに対しシズクガイは堆積物食者である¹⁰⁾。濾過食者であるサルボウも第3主成分と有意な関連があることから、第3主成分に対する関連の違いは摂餌様式の違いを反映している可能性が高いが、この違

いを説明する具体的な機構については現在のところ不明である。出現地点が少なかったため統計的解析は行わなかったアサリの湾奥東海域での局所的分布はアサリが生息場所として砂底を好むことの反映であろう。

本調査で得られた86の種数は科までしか分類されなかった種を考慮しても古賀⁶⁾によって得られた206種のマクロベントスと比較して極めて少ない。シズクガイについても古賀の結果では標高の高い干潟域に限らず広範囲の地点で出現していた。また、単純な比較はできないが、興石らによる6月の多様性指数が1~5までの値を示しているのに対し⁷⁾、本調査では0~2までの低い値を示した。種数と多様性が底層の好気性に影響を受けていたことから、6月から7月の夏期に湾奥部浅海域で発生する貧酸素水塊⁵⁾がベントス相に強い影響を与えていることが推察される。本調査でも干潟域に比べ浅海域で生物の出現量が有意に少なかった。優占する生物種に季節だけでなく年変動が生じていることも⁷⁾湾奥部の環境の不安定性を示していると考えられ、今後の湾奥部環境の予測のためにも継続的な調査が必要である。

謝辞

本研究の遂行にあたり佐賀大学理工学部の笠置尚史氏には調査でのご協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 佐藤正典：有明海の生きものたち，海游社，2000．
- 2) Mann, K. H. Ecology of Coastal Waters, Blackwell, 2000.
- 3) Little, C. The Biology of Soft Shores and Estuaries, Oxford, 2000.
- 4) 藤井明彦，山本憲一：諫早湾におけるタイラギ・アサリの現状と問題点，月刊海洋，35，235 - 240．2003.
- 5) Tsutsumi, H. Critical events in the Ariake Bay ecosystem: Clam population collapse, red tides, and hypoxic bottom water, Plankton & benthos research, 1, 3-25, 2006.
- 6) 古賀秀昭：有明海北西海域の底質及び底生生物、佐賀有明水試研報，13，57 - 79，1991．
- 7) 興石裕一，清水節夫，鈴木健吾：二枚貝等の生産阻害機構の解明と生産回復手法の開発，農林水産省農林水産技術会議事務局研究成果，432，113 - 125，2005．
- 8) 山本浩一，速水祐一，大串浩一郎，吉野健児，笠置尚史．有明海湾奥域における干潟・浅海域底質の分布特性，第40回日本水環境学会年会講演要旨集，182，2006．
- 9) Canuel, E. A., Cloern, J. E., Ringelberg, D. B. and Guckert, J. B. Molecular and isotopic tracers used to examine sources of organic matter and its incorporation into the food webs of San Francisco Bay, Limnology and Oceanography, 40, 67-81, 1995.
- 10) Yokoyama H., Ishii Y. Feeding of the bivalve *Theora lubrica* on benthic microalgae: isotopic evidence. Marine Ecology Progress Series, 255, 303-309, 2003.

(2006.5.31受付)

浚渫土壌を基盤とした人工干潟の 水質浄化能力に関する研究

WATER QUALITY CHARACTERISTIC OF SYNTHETIC TIDAL FLAT
IN THE ARIAKE SEA THAT MADE FROM DREDGED SEDIMENT
AT KUMAMOTO HARBOR WITH EBB AND FLOW

川喜田英孝¹・原田浩幸²・滝川清³

Hidetaka KAWAKITA, Hiroyuki HARADA and Kiyoshi TAKIKAWA

¹ 博士(工学) 佐賀大学助手 理工学部機能物質化学科(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

² 博士(学術) 佐賀大学助教授 理工学部機能物質化学科(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³ 工学博士 熊本大学教授 熊本大学沿岸環境研究教育センター(8602 熊本市黒髪2丁目39-1)

Synthetic tidal flats were made in Kumamoto harbor to preserve the Ariake Sea. The material are dredged are sediment at Kumamoto harbor which consisted mainly silt. The total area of tidal flats is 23000m². This study was investigated of water quality on and in the marine sediment from 2002. The ammonia and phosphorus concentration in sediment are higher in the ebb, its shows about from 1 to 2 mg/l. In concentration of ammonia of ebb is higher than flow; however concentration of phosphorus is slight smaller than Nitrogen.

Key words: synthetic tidal flat, water purification ability, denitrification, ebb and flow

1. はじめに

有明海は九州の西部に位置し、長崎、佐賀、福岡および熊本の4県に囲まれている南から北に大きく入りこんだ閉鎖性内湾であり、生態系を含む熱・水・物質循環の微妙なバランスによって形作られた独特の自然環境にある。その総面積は約1700km²でありここに日本の干潟の総面積の40%にあたる207km²の干潟が広がっている。近年、干潟生態系は大きく損なわれ、それによって維持されてきた干潟の多面的機能も失われつつある。これまでは、有明海奥部での強い潮流効果や浮泥の効果もあり、環境悪化に関する現象が表面化することはなかったが、近年赤潮の発生や川の色落ち被害が顕著になってきた¹⁾。そのためミチゲーションとして知られる浄化機能の補償の人工干潟が考えられ始めた。熊本県はそのテストケースとして熊本港親水緑地公園内に人工干潟「野鳥の池」を造成した²⁾。その造成材料は熊本港の浚渫土壌で、主な構成粒子は粘土質となっている³⁾。これを用いた人工干潟が水質浄化能力を有するようになれば、有明海干潟の浄化能力の強化がはかれ、浚渫底泥の有効利用につながる。人工干潟に浚渫土壌を用いた報告も見られるが⁴⁾、そのほとんどが生物の定着に関するものであり、水質に関する報告は少ない⁵⁾。

2. 調査と浄化能力評価

(1) 調査概要

調査は平成15年から同年12月の間、熊本新港の一角(図-1)に製造された人工干潟の「野鳥の池」で毎月大潮時におこなわれた。この池は図2に示すように石積み護岸によって外海と隔てられ、池の東側と北側に2箇所ずつ計4箇所に通水パイプがあり、潮汐の干満に応じて海水が出入りしている。水深は浅く、干潮時で平均水深0.3mと最深部でも1.0m未満である。池内右上端は干潮時においても海水が残り、溜まり水となる亜潮間帯となっている。また、池の周囲を取り囲むヨシ原は満潮時でも冠水しない潮上帯にあり、亜潮間帯と潮上帯に挟まれた部分が干出を繰り返す潮間帯となる。それぞれの面積は亜潮間帯1028m²、潮間帯4222、潮上帯17750m²である。池内の底泥は図-3に示すように含泥量60%程度の泥質干潟で、これは熊本港の浚渫土壌を用いた。干潟の中には生物の棲家となるように潮間帯に2箇所岩場が設置されている。野水水質調査では水質分析をおこなうための採水と東亜電波工業(株)の水質チェッカーWQC-22Aを用いた現地測定をおこなった。また、間隙水分析のためコアサンプルを採取し遠心分離によって間隙水を抽出した。分析は海洋環境調



図 - 1 野鳥の池位置図

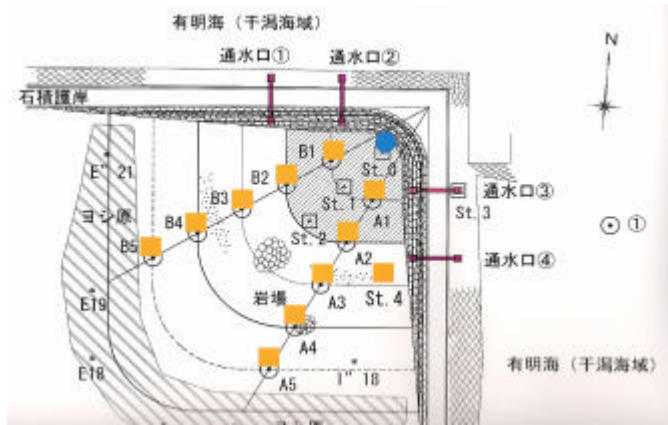


図 - 2 野鳥の池詳細図とサンプリング位置図

査方法⁶⁾に従った。直上水のモニターは図 - 2 中の St.0 でおこなった。亜潮間帯から潮上帯にかけて水質がどのように変わるかをサンプリング A ライン、B ライン上に 10 地点でおこなった。また潮汐による間隙水の池内東部の st.4 でモニターした。

(2) 浄化能力評価

秤量した底泥を 50mL のバイアルビンに入れ、ついで海水 10mL、これに硝酸カリウムを 5mg/L になるようにくわえる。アルミキャップシールをして 20、120rpm で振とうした。0, 0.5, 3 時間にそれぞれヘッドスペースからガスを採取してガスクロマトグラフィーで発生した亜酸化窒素を測定した⁷⁾。

(3) 溶出試験

干潟に直径 30cm 塩ビパイプを 30cm 挿入し、干出直後と 5 時間後の水質分析を行った。

3 . 結果と考察

(1) 潮汐に伴う直上水の変化

7 月から 12 月までのデータに関して、測定の一例を表 1 に示す。上げ潮時にもなって池内に海水が

流入し、3:00 に満潮となって潮間帯はすべて冠水する。その後、5 時より下げ潮となって 6 時半に亜潮間帯のみ冠水が見られ、その状態から 0.5 時間、2.5 時間、4.5 時間後に採水をし、水の分析をおこなう。D0 は満潮から下げ潮、亜潮間帯で減少する。SS は池内に堆積することがわかる。アンモニア態窒素、硝酸態窒素は、満潮から下げ潮時に緩やかに減少した。また、亜硝酸態窒素については 0.04mg/L から 0.08mg/L の範囲にあった。リン酸態リンとクロロフィル a は亜潮間帯で増加の傾向にあった。

潮汐にともなう水質変化は、流入時の濃度変化は急激な分子拡散や乱流拡散によるものと思われる⁷⁾、また亜潮間帯における濃度変化は、硝化・脱窒や溶出によるものと考えられる。浄化は各研究者によって、種々の方法で検討されている。たとえば佐々木らは干潟の満潮時と干潮時における COD の減少をもって浄化能力としている⁸⁾。本研究でも、満潮時と干潮時の変化において減少があれば浄化とあるいは分解と考える。7 月(夏)、9 月(秋)、12 月(冬)におけるアンモニア態窒素と硝酸態窒素についての結果を図 - 4 に示す。

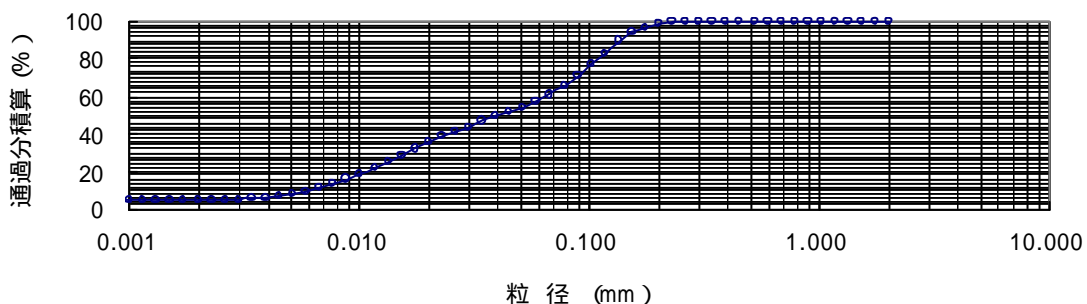


図 - 3 粒度分布曲線

表 - 1 測定の一例

項目	流入	満潮	下げ潮	0.5 時間後	2.5 時間後	4.5 時間後
採水時刻	3:00	3:00	5:00	7:00	9:00	11:00
地点名	S1	S2	S2	S2	S2	S2
水温 ()	27.1	27.4	27.1	27.1	28.1	31.2
pH	8.06	8.06	7.96	8.03	8.06	8.05
DO (mg / l)	7.26	5.90	4.65	3.97	4.66	5.64
濁度 (mg / l)	-	-	-	5	9	10
塩分濃度 (%)	2.78	2.94	2.85	2.90	2.85	2.92
伝導率 (S/m)	4.50	4.71	4.58	4.66	4.59	4.69
SS (mg / l)	71.6	37.3	57.0	33.6	92.5	156.6
アンモニア態窒素 (mg / l)	0.22	0.11	0.16	0.09	0.27	0.21
亜硝酸性窒素 (mg / l)	0.017	0.021	0.027	0.037	0.023	0.067
硝酸性窒素 (mg / l)	0.08	0.03	0.04	0.05	0.05	0.02
リン酸態リン (mg / l)	0.27	0.25	0.25	0.32	0.29	0.36
クロロフィル a (mg / l)	0.053	0.005	0.007	0.008	0.01	0.007

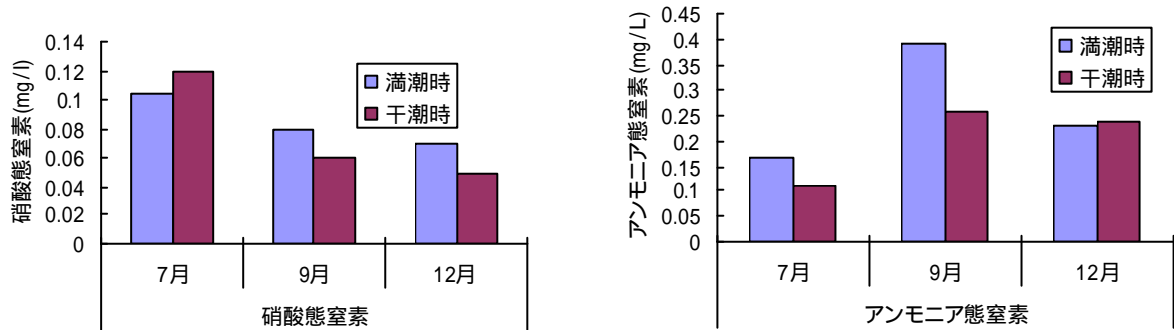


図 - 4 満潮、干潮時の硝酸態窒素とアンモニア態窒素

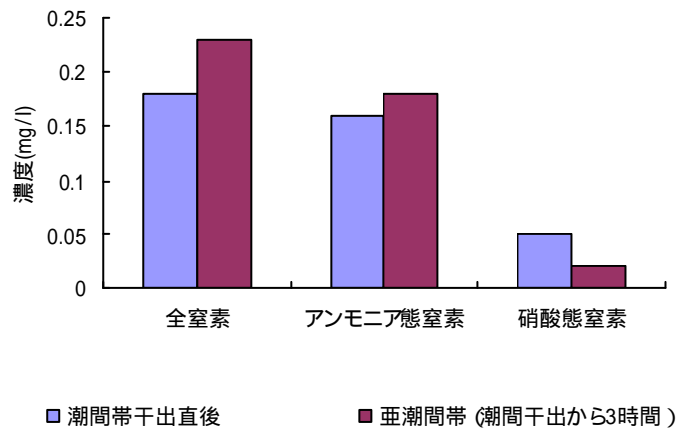


図 - 5 潮間帯と亜潮間帯の水質変化

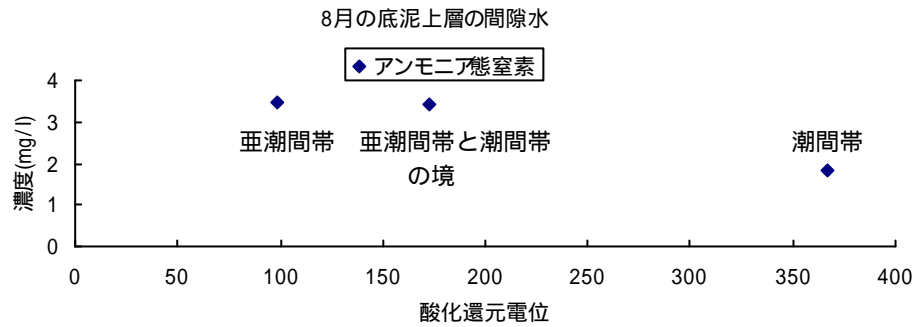


図 - 6 酸化還元電位とアンモニア態窒素濃度

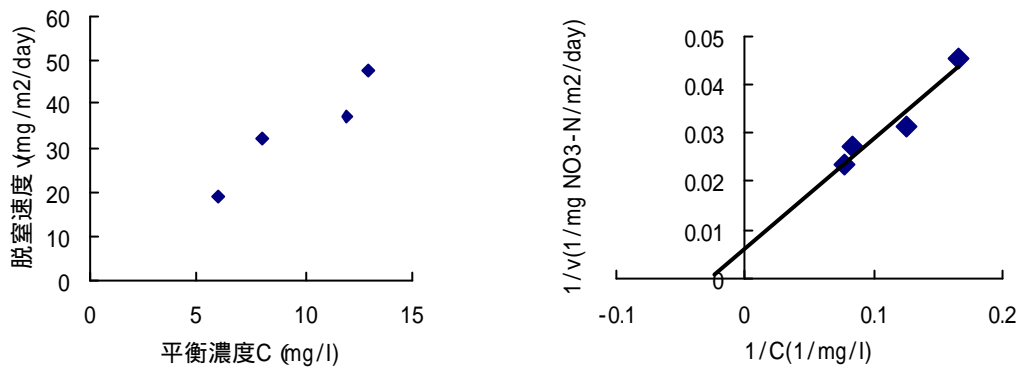


図 - 7 平衡濃度と脱窒速度の関係とその Lineweaver-Burk plot

表 - 2 溶出試験の結果

項目	単位	10:30 採水	15:30 採水
pH		8.15	8.16
SS	mg/l	55	84
アンモニア態窒素	mg/l	0.02	0.06
亜硝酸態窒素	mg/l	0.01	0.01
硝酸態窒素	mg/l	0.08	0.06
全窒素	mg/l	0.17	0.13
リン酸態リン	mg/l	0.17	0.33
全リン	mg/l	0.20	0.39
CODMn	mg/l	7.00	6.80
TOC	mg/l	2.70	2.50
クロロフィル a	mg/l	0.203	0.260
硫化物	mg/l	0.002	0.003

7月にはアンモニア態窒素の減少、硝酸態窒素のわずかな増加があることは、硝化と脱窒がおこっているものと思われる。また、12月については硝酸態窒素のみが減少した。硝化がおこっていない理由は水温に関係し、硝化菌のほうが温度に影響されやすいためと考えている。

(2) 間隙水と亜潮間帯の水質変化

全体的に硝化・脱窒素がおこっていると思われるのでどの部分でそれが起こるかを明らかにするため

にまず亜潮間帯の水質と間隙水を調べた。図 - 5 は 8月における亜潮間帯の水質変化を示す。潮間帯が干出直後とその3時間後の亜潮間帯部を比較した。下げ潮時によって潮間帯が干出した直後、そのときには当然、亜潮間帯は冠水状態で全窒素濃度、アンモニア態窒素でそれぞれ 0.08mg/l、0.04mg/l の差が見られた。これに対して硝酸態窒素は 0.03mg/l 亜潮間帯部で小さくなった。

このことから亜潮間帯の濃度のアンモニア増加は底質からの溶出によるものと思われたので、潮間帯との間隙水を比較した。結果を図 - 6 に示す。亜潮間帯から潮間帯に向かって酸化還元電位は増加した。そして間隙水のアンモニア態窒素の亜潮間帯と潮間帯の窒素との差は 1.6mg/l となっている。

この溶出を明らかにし、脱窒を明確にするためにカラムを打ち込んだ溶出試験、および脱窒速度の測定をおこなった。表 2 に溶出試験の結果を示す。これによりアンモニア態窒素とリン酸態リンの溶出・硝酸態窒素と全窒素の減少が確認できた。

脱窒素速度について測定した結果を図 - 7 に示す。Lineweaver-Burk plot で整理した結果、最大脱窒素速度 92.59 mg - N/m²/day を得た。この値は近郊の自然干潟の底泥で測定した値とほぼ同等であった。

図 - 8 は平成 14 年からの変化を示す。濃度は増加の傾向にあるが、今回、浄化能力を有することが確認できた。

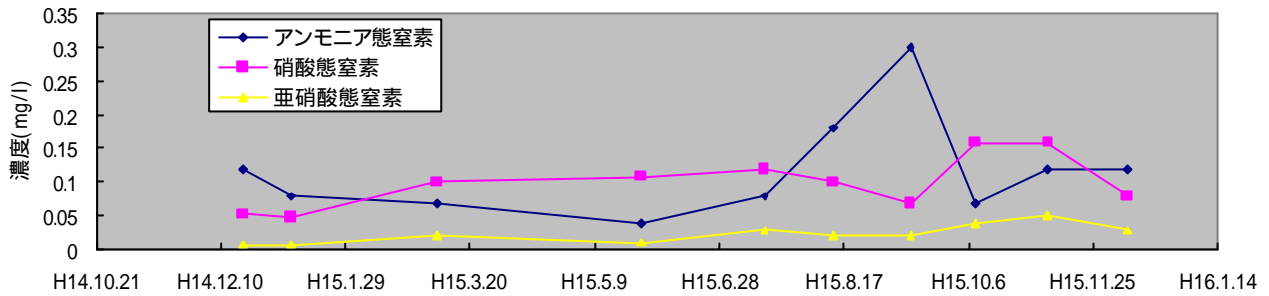


図 - 8 野鳥の池の平成14年からの変化

まとめ

浚渫土を基盤とする人工干潟の潮汐にともなう窒素の変化について測定した。アンモニア態窒素と硝酸態窒素は上げ潮から満潮に至り、引き潮時の間に減少が見られ、常時、冠水している部分はアンモニア態窒素とリン酸態リンの溶出と硝酸態窒素のわずかな減少が確認できた。また最大脱窒素速度は $92.59 \text{ mg} \cdot \text{N} / \text{m}^2 / \text{day}$ となった。このことからこの干潟は水質浄化能力を有しており、浚渫土壌の干潟に使うことの水質面からのマイナスは見られないことがわかった。

参考文献

- 1) 瀬口昌洋・郡山益実・永松沙哉：有明海干潟底泥の水質浄化パワーについて、3 大学合同未来有明/不知火シンポジウム講演集、pp.9-1~9-8,2003
- 2) 熊本大学・NPO 法人未来有明不知火・熊本県土木事務所・アジアプランニング株式会社；干潟創生調査（第2期）調査計画書、pp.1~11,2003
- 3) 熊本大学・NPO 法人未来有明不知火・熊本県土木事務所・アジアプランニング株式会社；干潟創生調査調査計画書、pp.4-11~4-41,2003
- 4) 国分秀樹、吉村英基、佐藤邦彦、加藤進、高橋正昭、上野成三、高山百合子：浚渫汚泥を用いた干潟造成開発研究 - 三重保環研年俵、第5号、pp.29-37、2003
- 5) 清木徹、平岡喜代典、李正奎、西嶋渉、向井徹雄、瀧本和人、岡田正光：広島湾における水質浄化能力に関する研究 - 有機物の分解特性について - 水環境学会誌、第21巻、第7号、pp.421-428、1998
- 6) 日本海洋学会、海洋調査法、pp.272~277、恒星社、1979
- 7) 清木 徹、岡田正光：前浜干潟の水質浄化能力、水環境学会誌、第22巻、第7号、pp.537-532、1999
- 8) 佐々木克之：干潟の物質循環、沿岸海洋研究ノート、26、pp.172-190、1989
- 9) 中村由行：空港研での干潟研究、平成14年港湾空港技術講演会講演集、pp.57-74、2002
(2006.5.31 受付)

干潟域・感潮域における 土砂収支推定に関する研究

ESTIMATION OF SEDIMENT BUDGET FROM THE BATHMETERY
CHANGE OF THE ESTUARY AND TIDAL FLAT

山本浩一¹・古賀勝喜²・横山勝英³・山田文彦⁴

¹博(工) 佐賀大学講師 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²博(工) 佐賀大学講師 理工学部都市工学科(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³博(工) 首都大学東京准教授 都市環境学部(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

⁴博(工) 熊本大学助教授 大学院自然科学研究科(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39番1号)

To estimate the change of the amount of the sediment in the estuary and tidal flat, it is important to measure the accurate bathymetry and dry density of the sediment. To establish the calculating method to measure sediment budget from the morphology change, we used Real time Kinematic GPS (RTK-GPS) and two-frequency type sonar to measure the bathymetry. Simultaneously, we measured the density of mud to convert the bathymetry change to the sediment mass. Estimation of the sediment mass from the bathymetry change was successful for the Chikugo River.

Key Words : sediment, sonar, density probe, sediment budget, tidal flat, estuary

1. はじめに

海域や感潮域における地形変化は現存土砂量の変動を示すものである。地形変化の観測で重要なのは音響測深の精度と土砂の乾燥密度である。

前者についてはこれまで特に干潟域の測量はD-GPSと音響測深を組み合わせる方法で行われる場合がほとんどであり、その場合、潮位から自船の鉛直位置を特定することになる。しかし、船は揺動するうえ、特に潮位差の大きい有明海の干潟域の潮位は沖合で測定した潮位と整合しない場合が多くなる。1cmのずれがあったと仮定すると、地形変化から土砂量の変動を見積もる際には数cmの誤差が膨大な土砂量の誤差をもたらす。たとえば対象領域が10km²の場合、1cmの誤差のもたらす土砂量の誤差は10万m³となる。よって自船位置出来るだけ正確にリアルタイムで測定出来る方法が必要になる。近年、深浅測量にRTK-GPSを用いて測量が行われており、これは自船位置の特定精度の向上に有効であるが、陸上からの無線の伝送距離に制限があるため、干潟域の広域測量にはこの点の改善が必要である。

地形変化から土砂重量に換算するためには地形変化のみを観測するだけでは十分でなく、底泥の体積含水率を考慮する必要がある。これを土砂量に換算する場合には、土砂の乾燥重量を求めることが必要となる。すなわち、単位体積あたりの土砂の質量である。

本研究では、有明海における干潟地形変化に伴う土砂量変動を算出することを目的として、そのための基礎的

検討を行った。

2. 研究方法

(1)地形変動から土砂量への換算方法

地形変化に伴う土砂重量への換算式は下記で表される。

$$M = \Delta V \frac{(r_{wet} - r_w)}{(1 - r_w / r_s)} \quad (1)$$

ただし M : 土砂乾燥重量 (kg), ΔV : 変動体積 (m³), r_{wet} : 湿潤密度 (kg/m³), r_s : 土砂の密度 (kg/m³) r_w : 間隙水の密度 (kg/m³)

(2)地形測量方法

地形測量は音響測深装置 (Kongsberg Maritime 製 EA400SP) と RTK-GPS (Topcon GB-1000) を併用して行った。音響測深装置および RTK-GPS のデータはそれぞれ 2Hz, 5Hz で取り込み、後処理でデータを合成して海底地形データとした。現地では水温・塩分の鉛直プロフィールを取得し、音速を補正した。RTK-GPS は基準局からの電波の送信に 1W の陸上無線を用いているが、電波到達距離を伸長するため、新たに八木アンテナを自作し、受信機側に取り付けた。この工夫により見通し距離 6km 以内の測量が十分可能となった。

(3)密度取得方法

現地での密度の取得には音響密度プローブ（Hydramotion製Mud Bug）を用いた。本装置は長さ10cmの金属製のプローブを底質に差し込んで共振周波数の変化を観測することで、周囲の媒体の湿潤密度を計測することが可能な装置である。

(4)研究対象水域

平成17年度は平成18年度から開始する干潟域の土砂収支観測のための予備観測として筑後川感潮域（10KPおよび14KP）において平成18年2月4日に測量を行った。本測線は首都大学東京がDGPSと従来の音響測深装置を用いて平成17年5月から観測を継続して行っている測線である（図-1）。

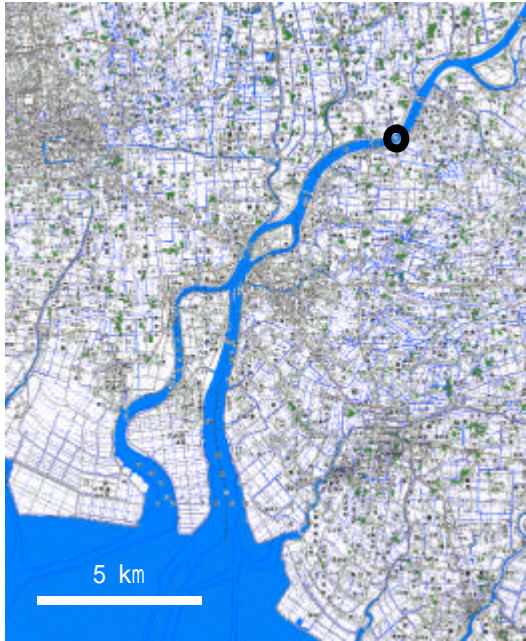


図-1 調査対象水域（筑後川）
：14KP地点

3. 研究結果

(1)筑後川14km地点における新規シルト・粘土堆積状況

2周波音響測深の結果、14km地点においては200kHzで検出された河床面より下層に低周波（38kHz）の音波の反射する層（不連続面）が検出された（図-2）。

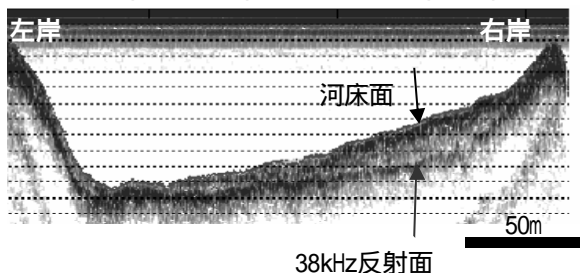


図-2 38kHzの超音波による音響測深結果（筑後川14KP，2006年2月），破線の間隔は50cm

これは2005年7月の出水後に首都大学東京が実施した測量時で河床面であったことが判明した。この不連続面は出水に侵食された当時の河床面を示しており、出水後潮汐の作用によってシルト・粘土が新規に堆積したことを示している。

(2)筑後川14km地点における鉛直湿潤密度分布

筑後川に堆積した浮泥は密度1050～1300kg/m³の密度を有していた（図-3）。干潮時に干出す河岸の干潟は比較的浮泥（1100kg/m³程度）の厚さが薄く、締まっているのに対して河道中央部（左岸基準点からの距離300m付近）では厚さ15cm程度の浮泥が認められ、底質内部にも1250kg/m³程度であり比較的含水率が高い底質となっていた。

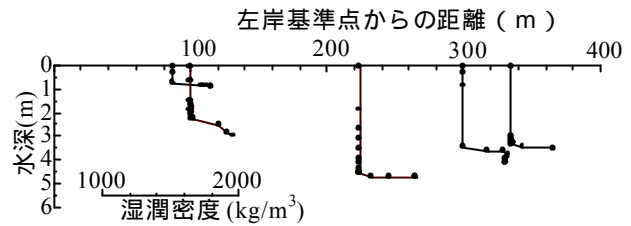


図-3 音響密度プローブにより取得した湿潤密度の鉛直分布（筑後川14KP，2006年2月），ただし垂直のラインは水であることを示し、1030kg/m³である。測点に合わせて描画している。密度はスケールを参照のこと

(3)筑後川14km地点における新規シルト・粘土堆積状況

38kHzの不連続面より上部のシルト・粘土が洪水後7ヶ月間の間に堆積した新規堆積物として、現地の密度からその単位長あたりの土砂量を求めた。14KP地点における河道の減少量すなわち土砂の堆積量は流下方向あたり160.8m³/mであった。これに現地の湿潤密度を考慮し式(1)で計算すると、土砂量は70t/mとなった。ただし $r_s=2650\text{kg/m}^3$ とした。この土砂量は河道1kmあたり7万tのシルト・粘土が新規に堆積したことに相当し、さらにこれは2004年6月18～10月31日にかけて筑後川瀬の下地点から流出したSS負荷量13.6万tを基準にするとおよそ2分の1の量に相当する（山本，未発表）。

4. おわりに

干潟・感潮域における土砂収支の観測方法を確立するため、筑後川感潮域を対象にRTK-GPSと2周波音響測深装置、音響密度プローブを用いた観測・土砂収支算出のためのデータとりまとめ方法を確立した。現在白石町沖の干潟を対象に毎月継続して観測を行っている。次年度は白石町沖干潟の地形変動ベースの土砂収支について報告する予定である。

（2006.5.31受付）

筑後川感潮河道における地形・底質の 季節変動に関する研究

A FIELD STUDY ON SEASONAL CHANGE OF CHANNEL BED TOPOGRAPHY
AND SEDIMENT IN THE CHIKUGOGAWA RIVER ESTUARY

横山勝英¹・山本浩一²

Katsuhide YOKOYAMA and Kouichi YAMAMOTO

¹博(工) 首都大学東京准教授 都市基盤環境コース(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

²博(工) 佐賀大学講師 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

A field survey on seasonal change of channel bed topography and bed materials in the Chikugogawa river estuary was undertaken during 2005. The cross sectional topography was surveyed and bed sediment was sampled every month at sections 10km and 14km from river mouth. The result shows that the estuarine muddy bed was eroded 1.5m depth by flood flow, it correspond to cross sections increase of 10%. The bed silt and clay were flushed, then the sand or hard clay sprang after flood. New silt and clay layer was formed during low flow conditions and eroded cross sections returned 50-100%. This suggests that the sediment transport by turbidity maximum plays a significant role in forming a estuarine topography.

Key Words: *sediment transport, bed erosion, sedimentation, flood, turbidity maximum*

1. はじめに

河川感潮域は生態系にとって重要な場であるが、洪水疎通能力を維持・増大させるために掘削が計画されることがある。一般に河川では、洪水時には河床が洗掘されて断面積が増大する可能性がある。しかし、感潮河道には砂と泥が混在し、それらの力学的特性は異なることから河床変動特性はよくわかっていない。また、カニなどの生物にとっては水際の緩斜面が重要であると言われており、底質の横断分布特性を明らかにする必要がある。

横山ら¹⁾は筑後川の感潮河道において洪水期の前後に横断測量を実施し、洪水によって河床が低下している可能性を示した。また、横山ら²⁾は白川において、川西ら³⁾は太田川放水路において平水期に高濁度水塊が発生し、SSが内陸側に輸送されることを示した。これらの知見から、感潮河道の地形と底質は洪水と潮汐の作用により1年の間にダイナミックに変動すると予想されるが、変動過程を連続的に明

らかにした研究は見あたらない。

そこで本研究では筑後川の感潮河道を対象にして、月ごとに横断測量と底質採取を行い、洪水による河床の変動状況と復元過程について調べた。

2. 研究方法

筑後川には河口から23kmの地点に河口堰(筑後大堰)が設置されており、そこまでが感潮域となっている。河口の朔望平均満潮位はT.P. 2.55mであり、干潮位は-2.26mであり(2002年)、水位変動が約5mになる。筑後大堰は流量が1000m³/sを超える洪水時には全開となる。

感潮区間の底質は河口付近と大堰直下で砂質分が主体であるが、河口から8~20kmの区間ではシルト・粘土が卓越する。特に14~16kmにかけては含泥率(0.075mm以下の割合)が95%を超え、完全に泥化している。横山ら¹⁾は10~16kmの領域において洪水時に河床が洗掘される可能性を示しているため、本研

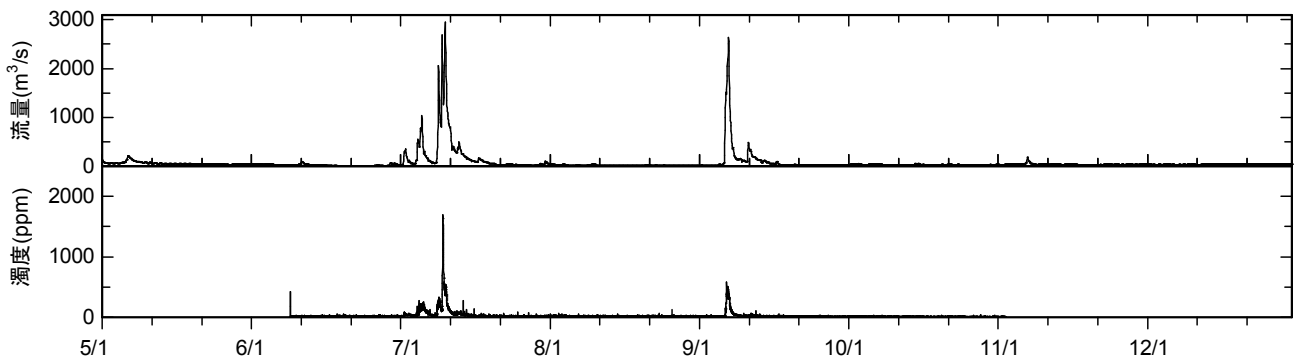


図-1 河川流量 (37km) と濁度 (24km) の時系列

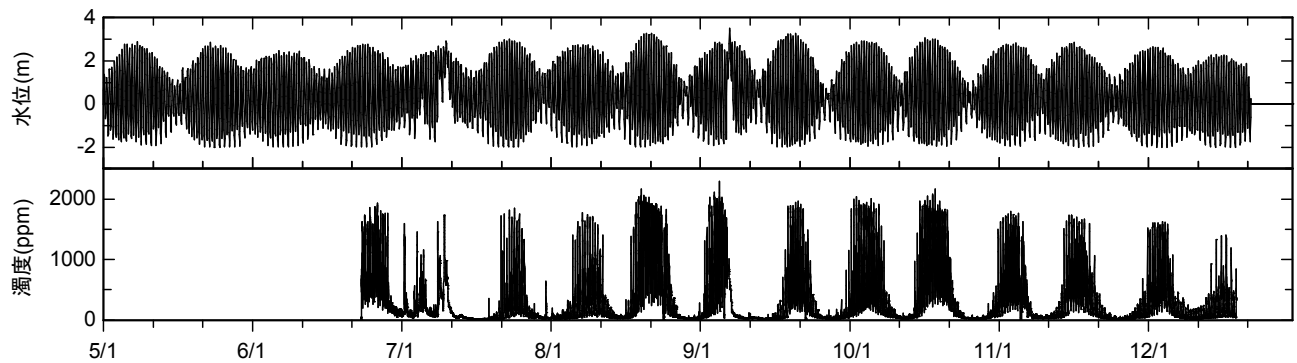


図-2 感潮河道 (14.6km) の水位と濁度の時系列

究では10kmと14km地点に観測測線を設定した。

各測線において2005年5月から12月まで1ヶ月ごとに河床の横断測量と底質採取を行った。底質採取は各測線の12地点で実施した。横断分布の特徴を把握するために、10km測線では低水路幅330mに対して30m間隔で、14km測線では幅250mに対して22.5m間隔で採取した。採取した底質は含水比、土粒子密度、強熱減量、粒度分布を測定した。

また、懸濁土砂の移動状況を把握するために、河川の24km地点と感潮河道の14.6km地点に濁度計（アレック電子製Compact-CLW）を設置し、10分間隔で連続計測した。表示値はカオリン相当濃度であるが、SSの採水分析によるキャリブレーションは行われていない。

3. 河川流況

図-1に上流流量と濁度の時系列を示す。洪水は7月2日～14日、9月6日～8日に発生した。7月は2週間に5回の洪水が発生し、ピーク流量は7月11日の3000m³/sである。9月は台風により洪水が発生し、ピーク流量は2600m³/sである。筑後川の過去50年間における平均年最大時間流量は2700m³/sであり、7月の洪水は平均を上回り、9月の洪水は平均程度の規模であった。濁度は平常時には概ね20ppm以下であるが、洪水時には流量波形に対応するように上昇して

おり、7月洪水のピーク時には1700ppmに達し、9月洪水では590ppmとなった。

図-2に感潮河道の水位と濁度を示す。水位は潮汐にしたがって半月周期で変動しているが、洪水時には干潮水位が上昇している。濁度も水位と同様に半月周期の変動が見られ、大潮では最大で2000ppmに達し、小潮では20ppm程度にまで落ち込み、変動幅が非常に大きい。

感潮河道で潮汐と共に変動する濁度は高濁度水塊の移動によるものと考えられる。筑後川感潮域では強混合状態で塩水が移動しており（横山ら¹⁾）、強い流れの影響で高濁度水塊が活発に運動していると考えられる。また、7月と9月の洪水時には潮位から予想される濁度よりも低い値を示している。一般に河川では洪水時に土砂が大量に輸送されるが、筑後川の感潮河道では平常時の濁度が非常に高く、平均年最大流量程度の洪水で発生する濁度を上回ることが分かった。図-2において洪水時に感潮河道で濁度が低下するのは、上流から土砂濃度の薄い淡水が流入することで、高濁度水塊を押し出しているものと推測される。

4. 河床変動

10kmと14kmの横断測量図を図-3に示す。7月洪水の前後比較として、洪水の2週間前（6月23日）、

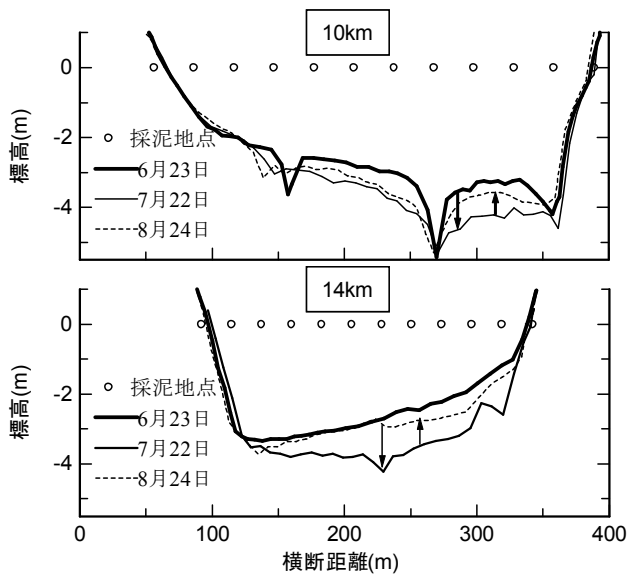


図-3 洪水前後の横断地形

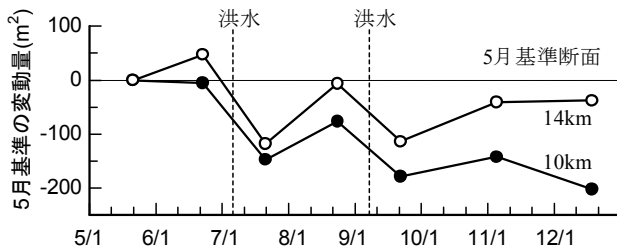


図-4 断面積変化量

10日後(7月22日), 6週間後(8月24日)を図示している。

7月11日の洪水から約10日を経た7月22日には10kmと14kmのいずれの断面においても河床が最大1.5m程度侵食されている。しかし、洪水から6週間を経た8月24日には、10kmでは0.5m程度堆積し、14kmでは洪水前の形状にほぼ復している。

図-4に調査初回の河床を基準とした断面積変化量を示す。洪水の前(6月23日)までに14kmでは基準面からの増加が見られており、平水期にも堆積が生じていることが分かる。その後、7月洪水を経て大幅に侵食が生じており、低水路断面積の7%(10km)ないし13%(14km)が侵食された。8月24日までの1ヶ月間で河床面上昇が見られ、9月6日の洪水を経ると再び侵食が生じ、低水路の5%(10km)ないし8%(14km)が侵食された。さらに11月5日までに緩やかな堆積が生じた。

このように洪水の規模が大きいほど侵食量も大きく、さらに川幅が狭い14kmの方が侵食率が大きい。また、洪水後には1ヶ月という短期間に河床が20%~100%復元しており、特に上流側の14kmにおいて回復が早い。

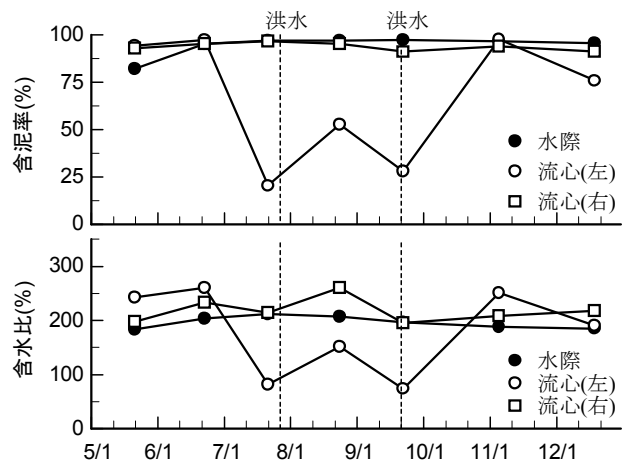


図-5 10kmの含泥率と含水比の時間変化

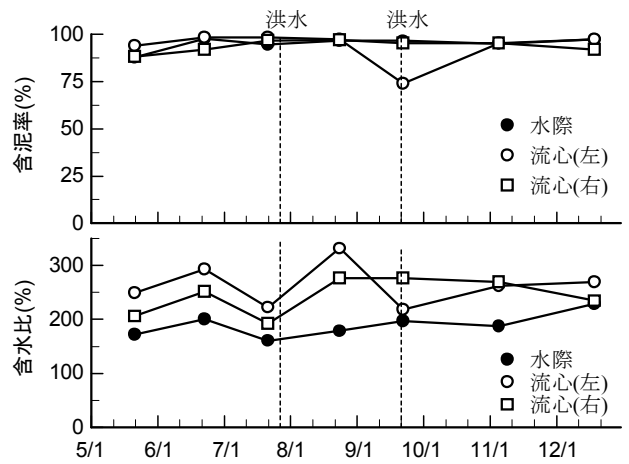


図-6 14kmの含泥率と含水比の時間変化

5. 底質変化

図-5に10kmの含泥率(シルト・粘土含有率)と含水比の時間変化を、図-6に14kmに関する同様の図を示す。領域を河床変動が顕著であった流心部と変化がほとんど見られなかった潮感帯に分けて、各領域内の平均値を求めた。潮感帯はT.P.-2mよりも上部とした。

10kmにおいて流心の左右で傾向が全く異なり、左岸側では洪水後に含泥率が大きく低下して砂質に変化した。右岸側は含泥率が高いまま変化がなかった。左岸側の底質の変動傾向は河床変動(図-3)と対応しており、河床が侵食を受けると砂質河床になり、堆積によって泥質に変化している。一方、岸際の含泥率は季節によらずほぼ一定で96%を示しており、含水比も180~230%の範囲で推移している。

14kmでは含泥率は常に90%以上であり、泥質河床からの変化がないが、含水比は洪水の後に低下している。すなわち河床変動(図-3)との対応で見ると、洪水後に河床が侵食されると含水比が低下すること

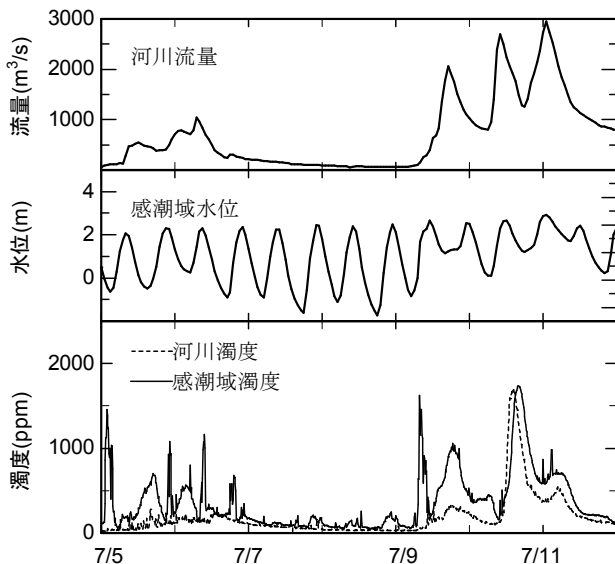


図-7 洪水時の河川と感潮河道における土砂輸送状況

から、古い締め固まった泥が出現していると推測される。7月洪水の前後で粒子密度と強熱減量を比較すると、流心部の平均値として洪水前は粒子密度が 2680kg/m^3 であったが洪水後には 2720kg/m^3 へと上昇し、強熱減量は9.9%から3.3%へと低下しているため、洪水後には分解の進んだ古い泥が現れたと考えることができる。また、岸際の状況は10kmと類似しており、含水比は常に流心部よりも低い。

6. 考察

(1) 河床の侵食特性

定期測量の結果から感潮区間の泥質河床が洪水の侵食作用を受けることが明らかになったが、その様子を詳しく見るために図-7に7月洪水時の上流流量と濁度、14.6km水位と濁度の時系列図を示す。洪水中は平常時の高濁度水塊がフラッシュされていたため、上流河川と感潮域の間に大きな支川がないことを考慮すれば、両者の濁度は等しくなるか懸濁土砂の沈殿により下流の濁度の方が低くなるはずである。しかし、14.6kmでは上流よりも濁度が高い傾向にあり、7月10日を除けば、1.5～2倍の値を示している。2地点間の外部からの土砂供給はほとんど無いと考えられるので、感潮河道の底質が供給源になって濁度が増加していると推察される。

14.6kmで濁度が高くなるのは洪水が流入したときの干潮時である。感潮河道では潮汐の影響で上げ潮から満潮にかけては淡水が貯留され、下げ潮から干潮にかけて吐き出される。そのため、干潮付近で水面勾配が大きくなり、底面剪断応力の増大によって底質が侵食されると考えられる。

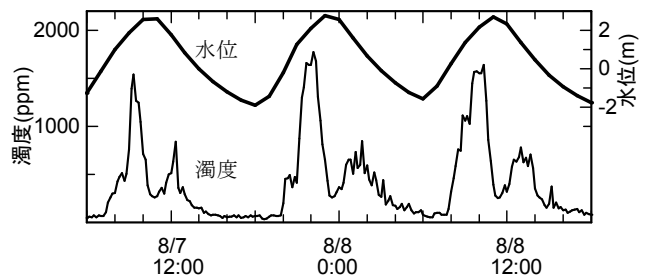


図-8 平常時の感潮河道における土砂輸送状況

(2) 河床の堆積特性

図-8に平常時の14.6kmにおける濁度時系列を示す。高濁度水塊による土砂移動は上げ潮において活発であり、濁度は下げ潮の2倍近い値を示している。また、洪水後の河床の復元量は上流側の14kmの方が10kmよりも大きかった。これらは、平常時の土砂輸送が上流側に向いている可能性を示している。横山ら²⁾や川西ら³⁾は強混合型の感潮河道では高濁度水塊による正味の土砂輸送量が上流側に向くことを示しており、筑後川でも同様のメカニズムにより微細土砂が上流側に輸送されて河床に堆積すると考えられる。

(3) 底質材料の変化特性

10kmも14kmも洪水前には含泥率が90%を超える状況であったが、洪水後には10kmでは締め固まった砂質分が河床に出現した。一方、14kmでは河床が侵食されると締め固まった泥質が出現したが砂は現れなかった。下流側で粒径の大きい砂が現れたことから、10kmに出現した砂が今回の洪水により上流から運ばれてきたものではなく、もともと堆積していた砂が露出したことを示している。

謝辞：現地調査では国土環境株式会社九州支店にご助力頂いた。国土交通省筑後川河川事務所および水資源機構筑後大堰管理所からは貴重なデータの提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 横山勝英, 河野史郎, 山本浩一: 有明海湾奥部の地形・底質分布に関する現地調査, 海岸工学論文集52, pp936-940, 2005.
- 2) 横山勝英, 宇野誠高, 森下和志, 河野史郎: 超音波流速計による浮遊土砂移動量の推定方法, 海岸工学論文集49, pp1486-1490, 2002.
- 3) 川西澄, 荒木大志: 感潮域における潮汐流と土砂輸送の数値解析, 水工学論文集50 (CD-ROM), 2006.

(2006. 5. 31 受付)

有明海奥部における物質輸送と低次生態系の動態について -初年度の成果-

MASS TRANSPORT AND ECOSYSTEM DYNAMICS IN THE INNER AREA OF THE ARIAKE SEA -RESULTS OF THE 1ST YEAR-

速水祐一¹・山本浩一²・濱田孝治²・加玲美³・吉野健児⁴・
大串浩一郎⁵・平川隆一⁶・宮坂仁⁷・大森浩二⁸

Yuichi HAYAMI, Koichi YAMAMOTO, Takaharu HAMADA, Narumi KUWAE, Kenji YOSHINO,
Koichiro OHGUSHI, Ryuichi HIRAKAWA, Hitoshi MIYASAKA and Koji OMORI

¹農博 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²工博 佐賀大学講師 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³理博 佐賀大学研究機関研究員 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁴水博 佐賀大学研究機関研究員 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁵工博 佐賀大学助教授 理工学部都市工学科(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁶工博 佐賀大学助手 理工学部都市工学科(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁷理博 愛媛大学COE研究員 沿岸環境科学研究センター(〒790-8577 松山市文京町2-5)

⁸理博 愛媛大学助教授 沿岸環境科学研究センター(〒790-8577 松山市文京町2-5)

The following studies were carried out by our research group about the inner area of the Ariake Sea in 2005. 1)Analysis of environmental changes in last 30 years. 2)Tidal and neap-spring tidal cycle variation in hydrography and water quality. 3)Study on particulate matter transport. 4)Study on phytoplankton production. 5)Study on microphytobenthos on the mudflat. Recently, 4 environmental problems became evident in the inner area of the Ariake Sea: the increase of red tides, change in sediment size to finer, decrease in bivalve catch and increase of transparency. According to the 30 years data analysis, all of these problems would be related to the particulate matter dynamics. Therefore, field surveys were carried out to estimate the distribution of net particulate matter flux during a tidal period. Then, it was found that the residual current system act as the trap of particulate matter in this area.

Key Words : red tide, transparency, tidal cycle, neap-spring tidal cycle, particulate matter, mass transport

1. はじめに

我々の研究プロジェクト(佐賀大学有明海総合研究プロジェクト・コア研究1)は、「有明海異変の原因解明と再生」を研究目的として2005年度に開始された。プロジェクト研究をおこなう場合、問題を明確化して効率よく研究を進める必要がある。そのためには、最初に過去の研究情報を十分に把握するとともに、既存データの予備的な解析をおこなうべきである。また、有明海には日本の他の海域では見られないような大きな潮位差があり、特殊な海域であると言われている。したがって、本格的

な海洋調査を開始する前にこうした潮汐変動の影響を評価しておく必要がある。さらに、佐賀大学ではこれまで海洋研究があまりおこなわれてこなかったため、現場調査、実験室での分析ともにインフラが整っていなかった。そこで、初年度のうちに早急に調査、分析体制を整える必要があった。こうしたことから、コア研究1ではプロジェクト研究を開始するにあたって、以下の3項目が初年度の目標として定められた。

1. 既存資料の整理
2. 観測定線決定のための予備調査(潮汐周期・大潮小潮周期変動を捉えた集中観測)
3. 実験系の方法論確立

プロジェクトの研究方向を明確にするもう一つの方法として、初年度については、研究の対象を我々が地の利を得ている有明海奥部に絞ることとされた。ここで言う有明海奥部とは、三池港と竹崎島を結んだ線よりも北を指す(図1)。広大な泥干潟を含めた浅海域が広がるこの水域は、有明海でもっとも「有明海らしい」水域である。また、筑後川から流入する淡水の影響を強く受ける海域として、沖合海域とは区別される(濱田, 2005¹⁾)。透明度についても、この海域は年間を通して3m以下であり、沖合に比べて非常に濁った海域として区別される(代田, 1980²⁾)。特に夏季には、竹崎島-三池港ライン付近を境に透明度は急に変化する(代田, 1980²⁾)。

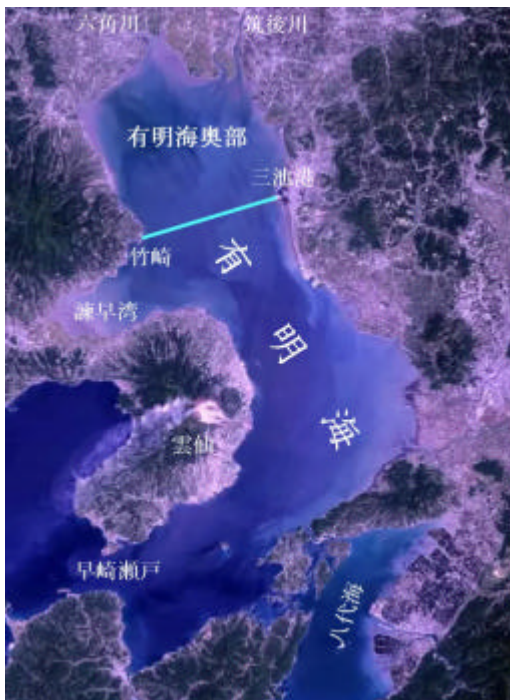


図1 有明海の衛星写真と有明海奥部の定義。

2. 既存資料の整理・解析

研究を始めるにあたって、研究の方向性を定めるために、有明海に関するこれまでの研究成果を整理するとともに、既存データの予備的な解析をおこなった。

現在、有明海では様々な環境問題が顕在化しており、まとめて「有明海異変」と呼ばれている。これらのうちで、有明海奥部において生じている主要な問題を整理すると、以下ようになる。

1. 潮流・水位の変化(？)
2. 赤潮の増加
3. 底質の細粒化
4. 貝類(アゲマキ・タイラギ)の漁獲減少
5. 透明度の上昇
6. ノリの色落ち被害*
7. 貧酸素水塊形成の深刻化(？)

8. 底棲魚を中心とした魚類の減少(？)

9. 干潟の環境悪化?

これらのうち、定量的なデータによる裏付けがないものは?をつけている。(?)としたものについては、後で説明を加える。また、*を付したノリの色落ち被害については、2000年の大規模な色落ち発生以降、継続してはいない。そうすると、明確にデータによる裏付けがある問題は2~5の4つとなる。

潮流・水位の変化については、近年になって潮流の減少や西偏、水位の上昇が生じていることが漁業者によって指摘され、問題となっている(宇野木, 2004³⁾)。最も湾奥に位置する水位モニタリング点である大浦の平均水位は、1981年から2001年までの間に9.1cm上昇しており(藤原ほか, 2004⁴⁾)、より湾奥部でも同程度の上昇は生じていると考えられる。ただ、このような平均水位の上昇は外海の影響によると考えられ、人為的な影響によるものとは考えにくい。潮流については、残念ながら、明確にその変化を実証するデータはこれまで示されていない。潮汐振幅に関しては、宇野木(2002)⁵⁾、塚本・柳(2002)⁶⁾によって、有明海においてM2潮汐振幅が減少していることが指摘された。このような潮汐振幅変化に対する潮流の減少については数値シミュレーションによって推定されており、湾奥部では6~2%程度(藤原ら, 2004⁴⁾)と報告されている。しかし、シミュレーションで推定された潮流減少量は、現場漁業者に対するアンケート結果に比べると小さい(宇野木, 2006⁷⁾)。

貧酸素水塊に関しては、その発生が問題になっているのは確かであり、多くの報告がある。しかし、長期的に見た場合に明確な増減傾向は見られない(有明海・八代海総合調査評価委員会, 2006⁸⁾)。ただし、この問題については、平川ほか(本報告集)で検討を加えている。

湾奥部における魚類あるいは水産資源の長期変動については、これまで研究自体が少ない。ただし、最近になって、山口(2006)⁹⁾が、ニベ・グチ類など有明海で漁獲される硬骨魚類の多くについて漁獲量が減少していること、さらにそれらの稚魚の多くが湾奥部に出現することを示し、湾奥部の環境悪化による初期減耗の増大が生じている可能性を指摘している。

さて、先に記したように、有明海奥部における「異変」のうち、データによる明確な裏付けがあるものは2~5の4つである。これらの問題に対して、もし単一の大きな要因が存在するならば、4つの問題は互いに関係があるはずである。そこで、これら4つの問題の関連性について検討した。

有明海の透明度の上昇については、中田・野中(2003)¹⁰⁾が指摘している。しかし、湾奥部について詳しく調べた報告はない。そこで、1972年から2005年までの佐賀県水産振興センターによる浅海定線調査データを解析した。その結果、過去30年間、明瞭に透明度が増加してきていることが確認できた(図2)。10年ごとに区

切ってみると、特に冬季の透明度上昇が著しい(図3)。

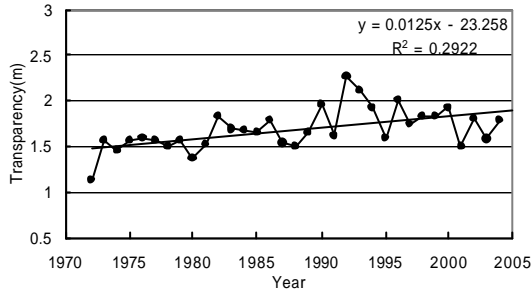


図2 有明海奥部の透明度変化(佐賀県浅海定線10定点の年平均値)。

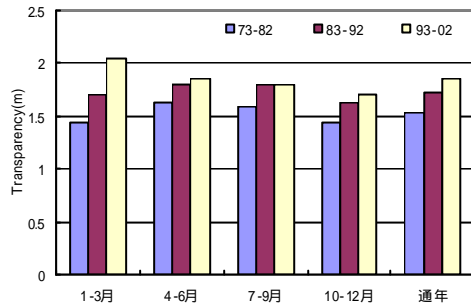


図3 有明海奥部の透明度変化(季節による上昇傾向の違い)。

赤潮の増加(大規模赤潮の頻発化)については、堤ほか(2004)¹¹⁾等によって報告されている。堤(2005)¹²⁾は、特に近年になって秋季～冬季に大規模赤潮が発生するようになってきたと述べている。ただし、これらの報告も有明海奥部に限ったものではない。そこで、有明海等環境情報・研究ネットワークから提供された佐賀県海域における1985年から2003年までの赤潮データを解析した。年間の赤潮発生件数については、一貫した増加は見られず、1985年から1996年にかけて一度減少した後、再び増加していた(図4a)。それに対して、年間赤潮日数(件数に各赤潮の継続日数をかけた値)は全体として有意(P=0.05)な増加傾向にあった(図4b)。さらに、年間赤潮日数を赤潮件数で割った値を年平均赤潮継続日数とすると、その値も有意な増加傾向にあった(図4c)。どの季節の赤潮が増加しているのか調べるために、月別の赤潮日数を6年ずつ平均した値を比較したところ、夏季はそれほど変わっていないのに対して、秋から冬の増加が顕著であった(図5)。以上の結果は、有明海奥部では確かに赤潮が増加しており、それは主に秋から冬にかけて生じていること、増加の主要因は赤潮の長期化であることを示している。次に、赤潮の増加と透明度上昇の関連性について検討しよう。秋季～冬季の赤潮は浮遊珪藻による場合が多い。佐賀県水産振興センターによる浅海定線調査では、透明度と同時にプランクトン沈殿量を測定している。プランクトン沈殿量については、珪藻の細胞数と正の相関があることが示されている(福岡県有明水産試験場ほか、1988)¹³⁾。そこで、1994年から

2000年までの佐賀県の浅海定線調査データを用いて、各年の10～4月の透明度とプランクトン沈殿量の平均値を比較した。その結果、両者の間には非常に良い正の相関があり、透明度が良いほどプランクトン沈殿量も多いことが分かった(図6)。これは、有明海奥部における秋季～冬季のプランクトン量の多寡には光環境が大きく影響していることを示しており、近年の赤潮発生日数の増加には、透明度の上昇の影響が大きいことを示唆する。

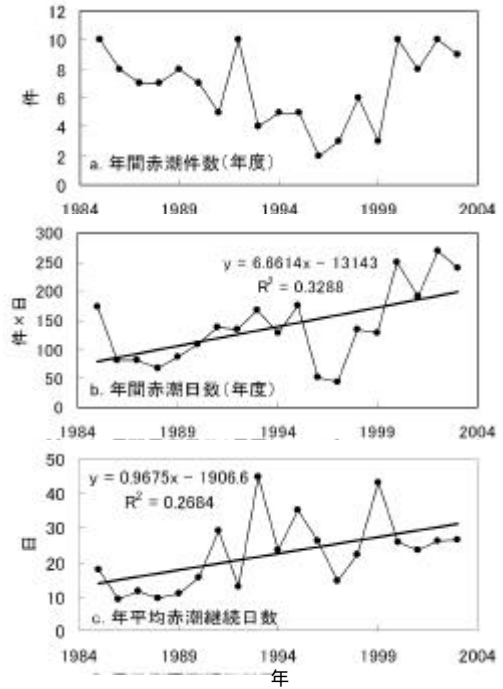


図4 有明海奥部佐賀県海域における、a)年間赤潮件数、b)年間赤潮日数、c)年平均赤潮継続日数の変化。

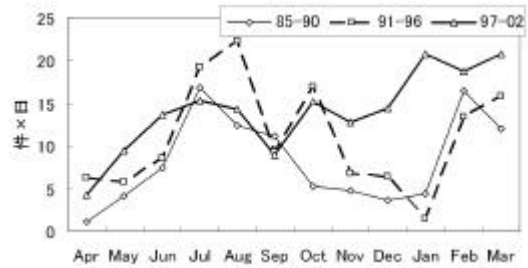


図5 有明海奥部佐賀県海域における月別赤潮日数の変化。

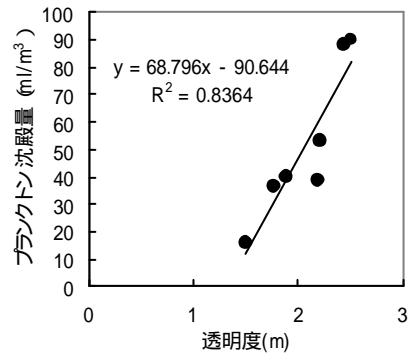


図6 有明海奥部における透明度とプランクトン沈殿量の関係(1994～2000年、10～4月)。

湾奥部における貝類漁獲減少としては、タイラギとアゲマキが問題になっている。このうちアゲマキについては、被害の拡大パターンから、病気の影響が強く疑われている（佐賀県有明水産振興センター、私信）。一方で、タイラギについては環境要因が強く疑われている。有明海におけるタイラギ漁獲量は、かつては3万トン以上あり、その大半を佐賀県が占めていたが、それが現在ではほとんど壊滅している（塚本ほか、2005¹⁴⁾）。それに対し、東（2005）¹⁶⁾は、有明海湾奥部では1989年には湾奥部西部に限られていた底質の粒径がMd 7よりも小さい領域が、2000年には湾奥中央部まで広がり、それに対応するようにタイラギの生息域が狭まったことを示している。奥石ほか（2004）¹⁶⁾は、1981、82年には湾奥西部水域で多く見られた稚貝が、2003年には見られなくなったことを報告しており、底質の細粒化による着底の有無や初期生残の低下がこうしたタイラギ減少の原因の1つであると考えられている。

ここまで述べてきたことから、有明海奥部では上記2～5の問題が明らかに生じており、赤潮と透明度、貝類漁獲量と底質の問題についてはそれぞれ互いに関係があることが分かった。さて、有明海奥部の場合、濁りの主体は粘土粒子である（代田、1980²⁾）。したがって、透明度の増加とは表層を浮遊する粘土粒子の減少を示す。清本ほか（2005）¹⁷⁾は、有明海奥部における透明度の変動と河川からの懸濁物供給量の間には直接的な関係はないことを示している。河川からの供給量に関係なく、表層を浮遊する懸濁粒子量が減少したとすると、それは湾外への流出量が増加したか、堆積量が増加したことを意味する。堆積量が増加したとすると、それは底質が細粒化したという事実と一致する。すなわち、底質の細粒化が、かつては浮遊していた細かい粘土粒子の堆積量が増加したことによると考えると、2～5の問題は全て懸濁物質の動態に関係していることになる。以上の結果から、有明海奥部に限ると、近年の「異変」を解く鍵になるのは懸濁物質の動態を解明することだと考えられた。

3. 潮汐周期変動の評価

有明海奥部は日本で最も潮差の大きい水域であり、大潮時には6mにも達する。その結果、1潮汐のあいだに海水は大きく水平移動する。また、大潮小潮周期の海況変動も大きいと考えられる。そのため、有明海奥部において研究を進めるためには、こうした潮汐周期変動の影響をあらかじめ充分把握しておく必要がある。そこで、2005年度には、有明海奥部を縦断するような測線を設け、半日の間、繰り返し往復して断面観測をする形式の調査を季節毎におこなった。大潮小潮周期の海洋構造の変化を解像できるような調査もおこないたかったが、体制が整わず、代わりに農林水産省による調査データの解析を

おこなった。以下に、それぞれの結果を示す。

(1) 潮汐周期変動

有明海奥部は非常に潮汐の影響を強く受ける海域であるにもかかわらず、1潮汐の間の海洋構造や、水質・生物分布の変動について調査した例は少ない。多くの調査は満潮時におこなわれている。そこで我々は、潮時による海洋構造・水質分布の変動を調べる目的で、図7に示した測線に沿って、1潮汐間の往復観測をおこなった。最初に観測をおこなったのは、2005年5月24日（大潮）と6月1日（小潮）である。この時は、図8に示した各潮時において断面観測をおこなった。本章では、これらの調査結果について述べる。さらに、7月15日、11月1日および2006年3月10日には、1潮汐間の正味の懸濁物輸送量と残差流を見積もることを主目的に、調査をおこなった。これらの調査結果は次章で述べる。

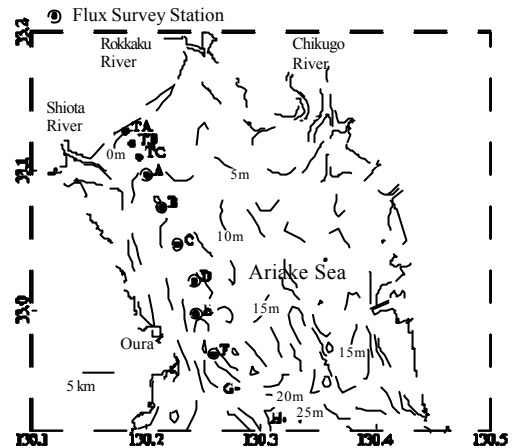


図7 有明海奥部の地形と測点配置

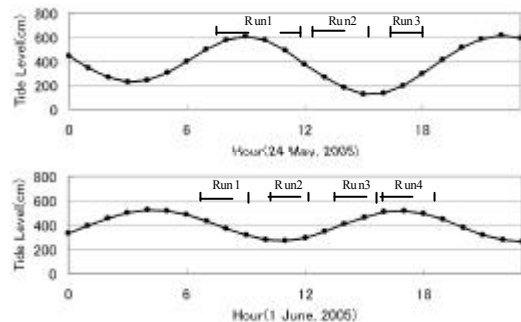


図8 大浦における潮位変動と観測時間。

図9、10にそれぞれの観測日における水温、塩分分布の変動を示す。5月24日には、干潮に近いRun2の際に測点EF間に水温・塩分フロントが見られた。このようなフロントは満潮に近いRun1では測点D付近にあったものであり、満潮と干潮の間でフロントの位置は少なくとも5km以上移動している。水温、塩分は特に湾奥表層で変化が大きく、これは満潮時に干潟上にあった海水が引き潮で沖に移動したためと考えられる。しかし、基本的に

は水塊の水平移動であり，海洋構造自体に大きな変化はない．小潮である6月1日には水塊の水平移動はより小さく，3km程度にとどまっている．基本的な海洋構造に潮時による違いはないが，水温20 付近の水温躍層（塩分31.8付近の塩分躍層）に顕著な振動が見られ，内部潮汐の存在を示唆している．

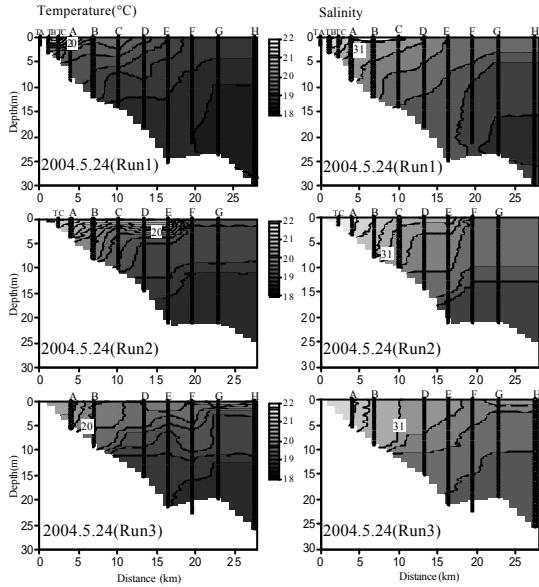


図 9 5月24日の水温・塩分分布変動．

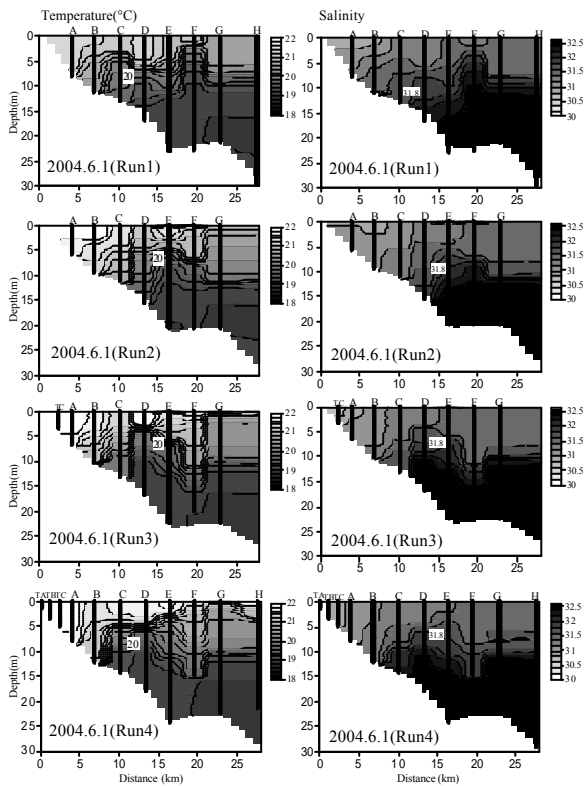


図 10 6月1日の水温・塩分分布変動．

水温・塩分に対して，濁度とクロロフィルa濃度分布には潮時による大きな違いが見られた．大潮時（5月24

日）には，満潮をはさんだRun1に比べ，下げ潮，上げ潮時にあたるRun2，3では測点AからDにかけての浅海海底層で非常に高濁度になった（図11）．クロロフィルa濃度も濁度と同様に底層および干潟直前で高濃度となった（図11）．小潮の6月1日には，干潮時（Run2）に測点AからCにかけて顕著な濁度上昇が見られ，測点CD間にフロントが形成された（図12）．しかし，クロロフィルa濃度には明瞭な潮汐周期変動は見られなかった（図12）．

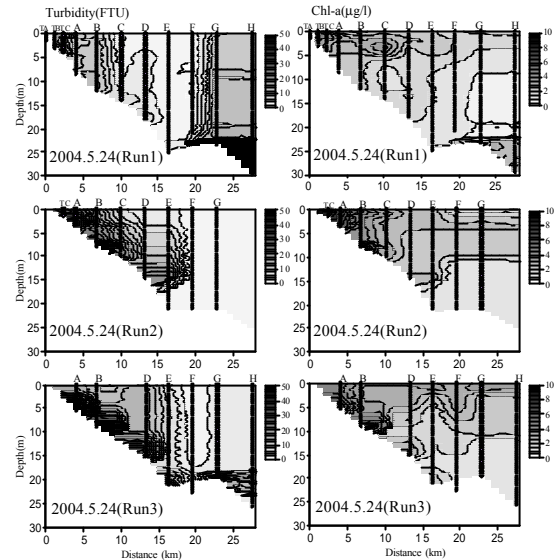


図 11 5月24日の濁度・クロロフィルa濃度分布の変動．

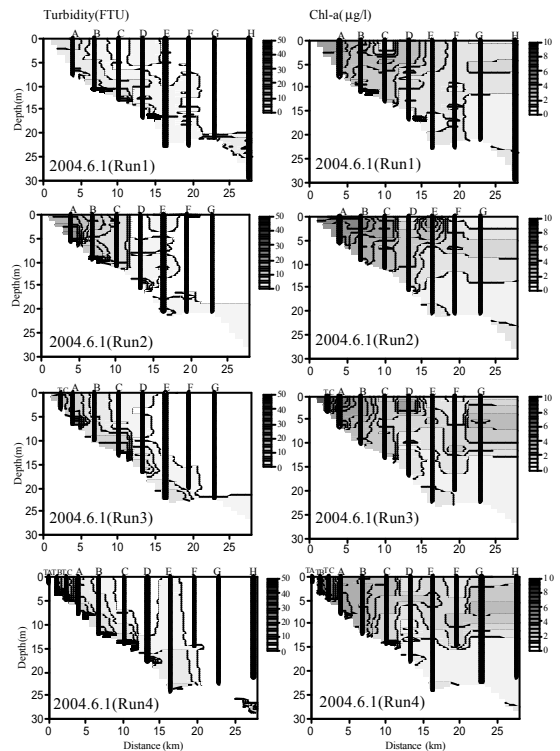


図 12 6月1日の濁度・クロロフィルa濃度分布の変動．

以上の結果は，1潮汐間の変動について，次のことを示している．基本的に海洋構造は上げ潮・下げ潮にとも

なって全体が平行移動するだけで大きく変化することはない。ただし、濁度、クロロフィル濃度分布は大きく変動する。満潮時だけの観測では、特に大潮時には、濁度（懸濁物質濃度）は過小評価になる。これは、懸濁物質の輸送量を見積もるためには1潮汐を通した調査データが必要なことを示す。

(2) 大潮小潮周期変動

大潮小潮周期にともなった海洋構造、水質分布の変動を把握するためには、2004年の夏季に農林水産省農政局によっておこなわれたモニタリングデータを解析した。このモニタリングでは、図7の測点A～Fの6点において、7月15日から9月16日までほぼ1週間間隔で合計10回、船舶による水温・塩分、濁度、DOおよびクロロフィル濃度の観測をおこなうとともに、測点D、Fに係留系を設置し、海底上1mと海面下1mにおける流向流速、水温、塩分の連続測定をおこなっている。

図13に測点D、F底層における塩分変動を大浦における潮位変動と合わせて示す。これを見ると、大潮から小潮前にかけて低下し、小潮から大潮前にかけて上昇するという大潮小潮周期変動が生じていることがわかる。図14は測点A、Dにおける塩分とDOの変動である。この図からも小潮時における底層の高塩分化が見てとれる。また、こうした底層の高塩分化にともなって、底層のDOが低下し、貧酸素化が生じている。さらに特徴的な現象として、測点Dでは海底直上よりもむしろ中層の方が低酸素濃度となっている。この時の断面構造の例として、7月22日と29日の塩分とDOの断面分布を示す（図15）。この図から、7月29日には7月22日には見られなかった塩分31.5以上の高塩水が沖から海底に沿って進入していることがわかる。さらに7月29日のDOの分布を見ると、こうした高塩分水が溶存酸素濃度の低い海水を押し上げる形で進入していることがわかる。

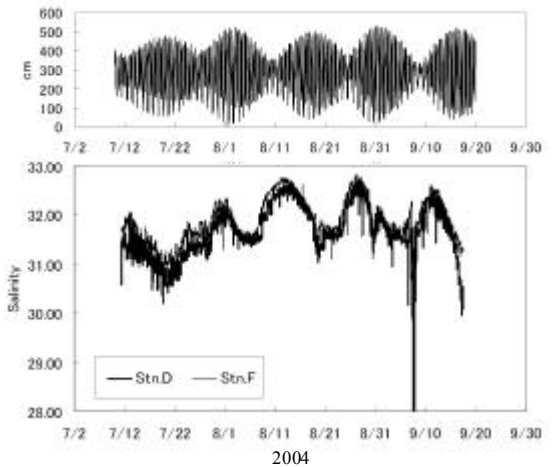


図13 大浦における潮位変動と測点D、F底層における塩分変動。

有明海奥部では、大潮時に強い潮流によって鉛直混合され、小潮時には潮汐混合が弱まる結果成層が強まり、

それが主要因となって底層が貧酸素化されているとされている（瀬口ほか、2005¹⁸⁾）。しかし、鉛直混合が弱まるだけでは塩分は上昇しない。こうした塩分上昇は、沖合からの高塩分水の進入を示している。すなわち、有明海奥部では、大潮小潮周期で沖合の高塩分水が底層に密度流として進入しており、それが貧酸素水塊の発達および「中層貧酸素」の発生の要因になっていると考えられる。密度流と鉛直混合、すなわち潮汐振幅が逆相関の関係にあることはLinden and Simpson (1986)¹⁹⁾によって示されており、上記の結果を支持する。こうした密度流の進入と、それにともなった貧酸素水塊の変動は、東京湾（Fujiwara and Yamada, 2002²⁰⁾）や伊勢湾（Fujiwara et al, 2002²¹⁾）でも知られており、国内における湾奥に大河川をもった主要内湾の多くで共通して見られる現象である。

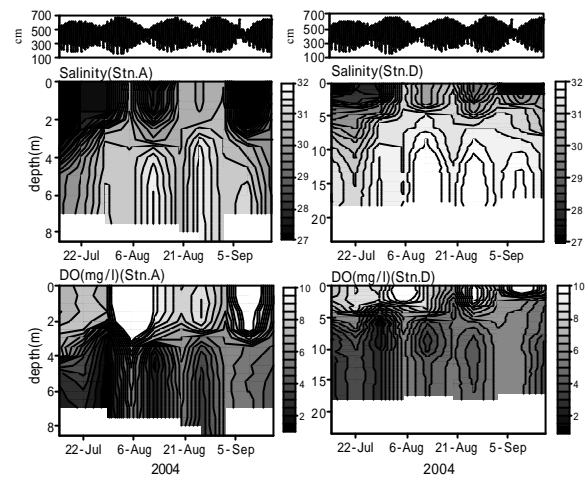


図14 測点A、Dにおける塩分・DO分布の変動および大浦の潮位。

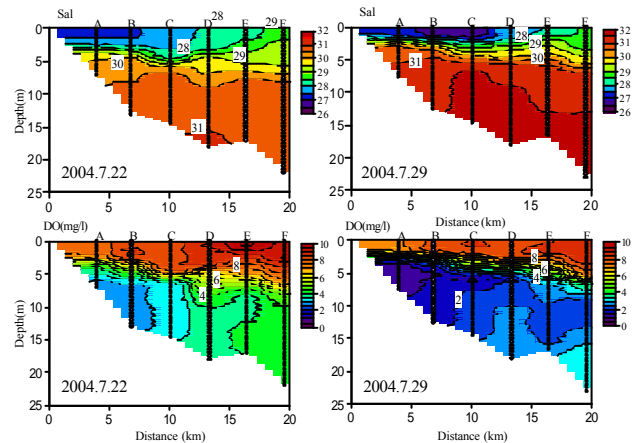


図15 7月22日及び29日における塩分、DO分布。

4. 有明海奥部における懸濁物質の輸送機構

(1) 背景と目的

2章で述べたように、有明海奥部では、透明度が増加

するとともに湾奥部で底質の細粒化が進んでおり、貝類の漁獲減少や赤潮の増加に影響している。懸濁物の動態を解明することが、こうした問題を解く鍵となると考えられる。有明海奥部における懸濁物質濃度の変動要因や輸送特性については、これまで研究がおこなわれてきた（例えば、中川ほか、2002²²⁾；田中ほか、2004²³⁾）。しかし、懸濁物質の水平的な輸送機構そのものについてはまだよく分かっていない点が多い。そこで本研究では、有明海奥部において1潮汐間の正味の懸濁物輸送量を見積もると共に、その輸送プロセスを明らかにする目的で定線に沿った往復観測をおこなった。観測及びデータ解析手法の詳細、および7月における結果の詳細は、平川ほか（本報告集）を参照されたい。また、これらの観測では同時に残差流の見積もりもおこなったが、それについては大串ほか（本報告集）で述べられている。

(2) 方法

2005年7月15日、11月1日および2006年3月10日の計3回、図7の測点A～Fを結ぶ定線上で、1潮汐（12時間、3月のみ13時間）の間、繰り返し往復観測をおこなった。1往復には2時間を要した。観測では各点で停止し、CTDによる水温・塩分・クロロフィルa蛍光・濁度の測定、表層採水と共に、舷側に取り付けたADCPによって海面から海底までの流向流速を測定した。採水試料については栄養塩濃度を分析した。CTDで測定された濁度については、採水して得られた懸濁物濃度と濁度の回帰直線を用いて懸濁物濃度に変換した。こうして得られた懸濁物質濃度とADCPで測定された流速データから、懸濁物のフラックスを見積もった。さらに1潮汐間各時刻の懸濁物フラックスについて調和分解することにより、潮流の影響を除いた正味の懸濁物フラックスを求めた。

(3) 結果

図16は、この観測によって得られた測線に沿った方向の1潮汐間の正味の懸濁物フラックスの分布である。7月15日には、正味の懸濁物フラックスは測点Aを除いていずれも湾奥向きになっていた。測点Aではフラックスはほぼ0であった。これは、輸送された懸濁物質が湾奥部に集積する構造になっていたことを意味する。11月1日には、正味の懸濁物フラックスは湾奥では沖向き、沖の測点E、Fでは湾奥向きとなっていた。すなわち、この時には懸濁物質は測点D、Eを中心に集積していた。それぞれの観測時の密度構造と測線方向の残差流分布は、いずれも湾奥表層側が低密度で沖底层側が高密度となり、上層流出、下層流入のエスチュアリー循環型の流動構造となっていた（図17）。密度および残差流の構造と懸濁物フラックスの分布を比較すると、懸濁物質が集積していた点は、7月、11月ともに下層の湾奥向きの流れの末端で躍層が海底に接する点のすぐ沖側であった。これらに比べると、3月10日の懸濁物フラックスは全体に小さ

かった。フラックスの方向としては、測点Fを除いて湾奥向きであった。

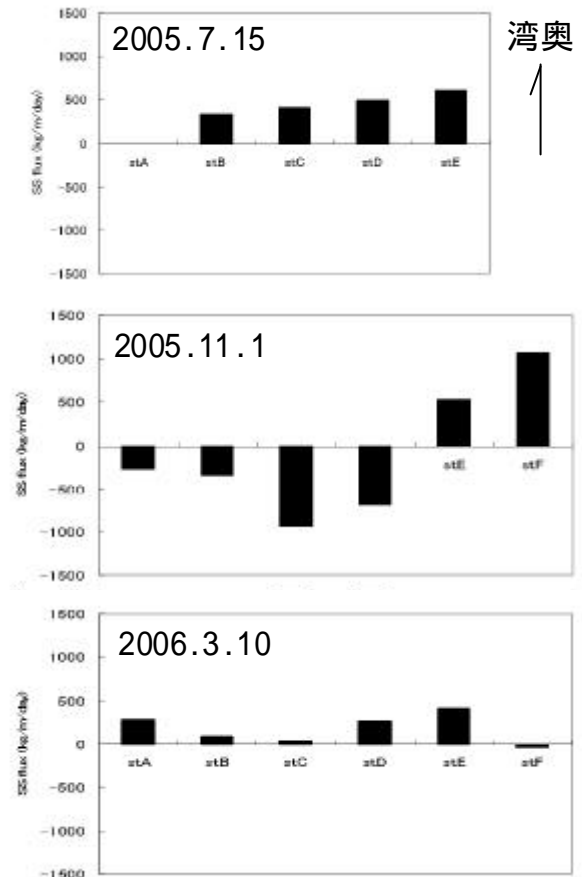


図 16 2005年7月15日、11月1日、2006年3月10日における測線に沿った方向の懸濁物質フラックスの分布。

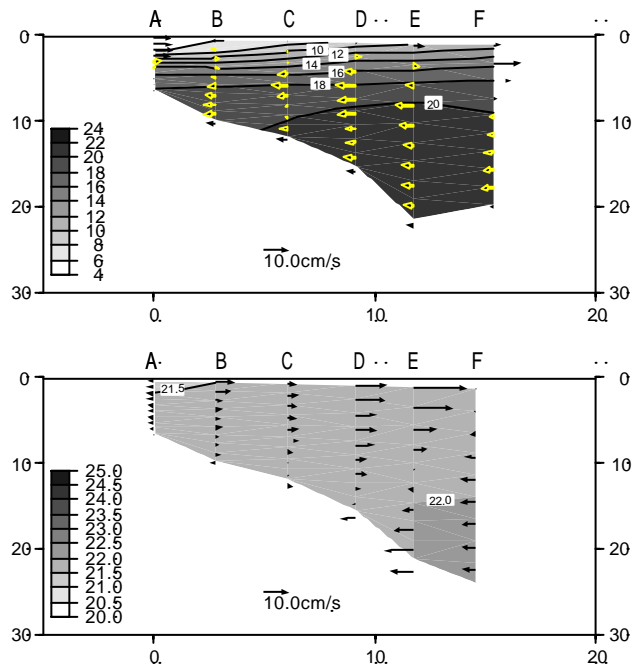


図 17 2005年7月15日（上）および11月1日（下）における測線方向の残差流分布と密度構造。

(4) 考察

これらの観測は、いずれも1日だけの調査によるものであり、その代表性について検討の必要がある。7月の観測結果については、平川ほか(本報告集)にあるように、ほぼ同じ点で前年度におこなわれた係留観測結果と比較することにより、その代表性が確かめられている。また、八木ほか(2006)²⁴⁾は2005年8月に本研究の測線の東で観測をおこない、SSの輸送方向がやはり岸向きであることを示しており、本研究の結果が塩田川沖海谷部のローカルな現象ではないことを示している。11月の観測については、ほぼ同じ点で2001年に係留観測がおこなわれており、その結果(中川ほか, 2002²²⁾)とフラックスの方向と大きさが一致する。こうしたことから、本研究による懸濁物フラックスの見積もりは、ほぼそれぞれの観測時期を代表した結果になっていると考えられる。

次に、このようなフラックスが生じる原因について考察する。流速 u 及び懸濁物濃度 c の変動を時間平均成分とそこからの残差に分ける。

$$u = \bar{u} + u' \quad (1)$$

$$c = \bar{c} + c' \quad (2)$$

次に、これらの項をさらに空間平均(鉛直平均、 $\langle \rangle$ で表す)とそこからの偏差(添字 d で表す)に分解する。例えば、流れの時間平均成分は次のように分解される。

$$\bar{u} = \langle \bar{u} \rangle + \bar{u}'_d \quad (3)$$

このようにすると、懸濁物フラックスの時間空間平均 $\langle \bar{F} \rangle$ は次式のように表される。

$$\langle \bar{F} \rangle = \langle \bar{u} \bar{s} \rangle = \langle \bar{u} \rangle \langle \bar{s} \rangle + \langle \bar{u}' \bar{s}' \rangle + \langle \bar{u}'_d \bar{s}'_d \rangle + \langle \bar{u}'_d \bar{s}'_d \rangle + \text{その他} \quad (4)$$

このうち右辺第1項は移流項である。第2項はバロトロピックな変動成分による輸送であり、表面潮汐による輸送が卓越する。第3項は残差流のシアによる輸送である。第4項はバロクリニックな変動成分による輸送であり、内部潮汐による輸送などが含まれる。その他とはストークスドリフトなどである。7月15日の測点A~Eの1潮汐間の懸濁物フラックスについて、このように成分分けすると図18のようになる。この結果は、移流による輸送が最も大きく、次いで残差流のシアとバロトロピックな潮流

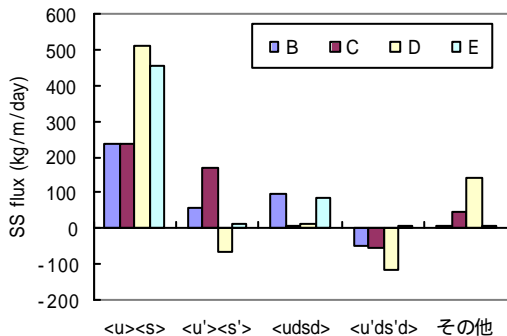


図 18 7月15日の測点B~Eにおける測線方向の懸濁物フラックスの成分分け(湾奥向きが正)。

による輸送が同程度であることを示している。測点Dでは特異的にその他の項が大きい、この原因は不明である。残差流のシアによる輸送が湾奥向きになるのは、湾奥向きの流れが卓越する下層ほど懸濁物濃度が高いためである。また、バロトロピックな潮流による輸送が湾奥向きとなるのは、底層の懸濁物濃度が下げ潮時よりも上げ潮時の方が高くなることが原因である。

11月1日の結果について成分分けすると図19のようになる。この結果は、測点A~Dの沖向きの輸送についてはバロトロピックな潮流による輸送が主要因であること、一方で測点E, Fの湾奥向きの輸送については、残差流と残差流のシアによる輸送の寄与が大きいことを示す。測点A~Dでバロトロピックな潮流による輸送が沖向きになるのは、上げ潮に比べて下げ潮時の方が、海底高濁度層の発達著しいためである。

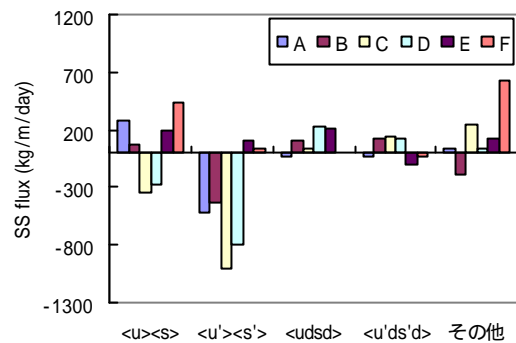


図 19 11月1日の測点A~Fにおける測線方向の懸濁物フラックスの成分分け(湾奥向きが正)。

以上の解析結果は、7月、11月ともに湾奥方向への懸濁物輸送を引き起こす主要な原因は残差流と残差流のシアであることを示している。すなわち、有明海奥部では、底層で岸向きの残差流が存在することによって懸濁物質が正味で湾奥に輸送されている。これは、陸域から流入あるいは湾奥部表層で生産された懸濁物が底層に沈降すると、湾奥向きに輸送され、懸濁物が湾奥部にトラップされやすい構造になっていることを意味する。

このような懸濁物輸送構造が存在すると、底質の再懸濁が生じて、沖合に流れる表層まで巻き上げられなければ、移流によって沖に流出することはない。再懸濁物質が底層にとどまっていれば、底層の残差流は湾奥向きであるため、懸濁物はむしろ湾奥部に集積することになる。このような機構は、表層の浮遊懸濁物質が減少すると、湾奥に懸濁物質が集積することを意味しており、透明度上昇と湾奥部の底質細粒化が同時に生じるメカニズムの1つになっている可能性がある。

(5) 今後の方針

以上のように、2005年度は有明海奥部における懸濁物質の輸送機構について解明を進めた。2006年度については、水平方向の懸濁物輸送にとどまらず、表層の懸濁物

濃度，あるいは透明度の変動機構を明らかにしてゆく計画である．その結果，秋季～冬季における植物プランクトン量変動機構，ひいては赤潮増加機構の解明につながると考えている．

5．有明海奥部における植物プランクトン生産機構

赤潮・生態系研究部門では，前章の研究とは別に，直接的に赤潮の発生機構を明らかにすることが求められている．赤潮の発生機構を解明するためには，物理的な集積機構と同時に，植物プランクトンの生産機構を明らかにする必要がある．植物プランクトンの生産については，光と栄養塩の分布，そして海洋構造（特に鉛直構造）が影響する．しかし，有明海奥部において，周年にわたってこれらの調査がおこなわれているのは水産試験場による毎月の浅海定線調査だけであり，それも湾奥部の海洋構造を十分なスケールで解像するには，測定点数が不足である．そこで我々は，図7の測線に沿ってできる限り毎月1回は断面調査をおこない，海洋構造と水質分布の把握をおこなうようにつとめている．これについてはまとまった結果が得られるような状況ではないが，一例として7月20日における海洋構造と水質分布を示す．この時は水柱は強く成層しており，干潟直前の躍層以深に貧酸素水塊が形成されていた．クロロフィルa濃度は表層で非常に高く，赤潮状態であった．栄養塩濃度分布の特徴としては，最も貧酸素が進行していた測点TCから干潟上にかけてアンモニア態窒素が高濃度になっていたことである．硝酸，亜硝酸態窒素についても貧酸素水塊に対応する形で極大域が存在する．また，リン酸態リンと亜硝酸態窒素は中層に押し上げられた低酸素の水と一致するような分布をしていた．

6．残された課題

ここまで述べてきたように，「有明海異変」のうちでデータによる裏付けがある問題については，問題を解く糸口がつかめてきた．しかし，実際に起きている問題は，データによる裏付けがあることばかりではない．むしろ，既存データがない部分で，有明海としてより本質的な変化が生じている可能性がある．例えば，湾奥の泥干潟の環境については調査データがあまりに少ない．また，国内における有明海という環境の位置づけを考えると，この海で最も重要な点は，国内の他の内海では減少してしまった生物が現在も数多く生息していること，そして，固有の生き物が多く生息していることだろう．しかし，こういった高次の生物に関する調査データもまた，あまりに少ない．したがって，少し長い目で見た課題として重要なことは，1) 泥干潟の生態系について，浅海域と

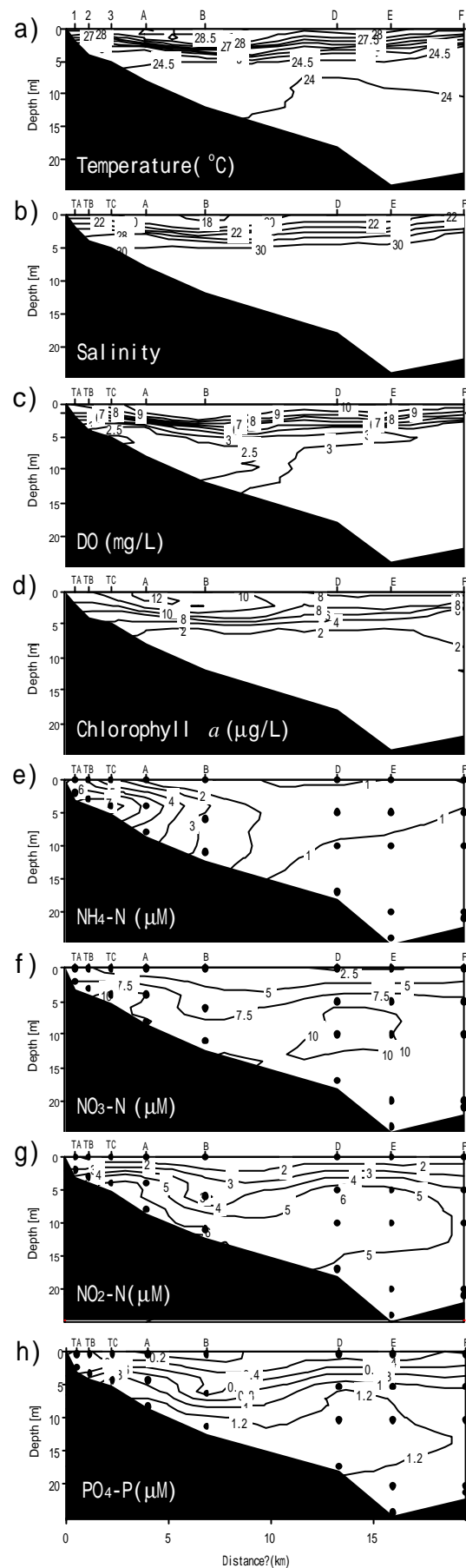


図 20 7月20日における水温，塩分，DO，クロロフィルa及び栄養塩濃度分布．

の関係を考えながら研究を進めること、2) これまで明らかになってきた「有明海異変」問題が、より高次の生物群集にどのように影響しているのか明らかにしていくこと、の2点だと考えている。

現在、我々の研究グループでは海域の研究と平行して、泥干潟の調査も進めている。特に、泥干潟上の底棲微細藻類については、有明海奥部では植物プランクトンに匹敵する重要な基礎生産者であり、その生産する有機物は環境変動に大きな影響を与えていると考えられる。しかし、これまで有明海における底棲微細藻類研究は非常に遅れており、出現する種類や量、分布に至るまでまとまった報告はほとんどない。そこで、昨年度から、加研究員が中心になって泥干潟の調査を進めている（加ほか、本報告集）。また、高次食物段階の生物への影響については、底泥・干潟研究部門と共同で、安定同位体比を用いた食物網解析を進めつつある。安定同位体分析は、底質・POMの起源推定にも用いており、その結果は山本ほか（本報告集）を参照されたい。

謝辞：データを提供された佐賀県有明水産振興センター、農林水産省農政局、有明海等環境情報・研究ネットワークに感謝する。また、現地調査、データ解析にご協力いただいた東と賀町、佐賀大学都市工学科の野口技官、および大串研究室の学生諸氏に感謝する。

参考文献

- 1) 濱田孝治：有明海湾奥における循環流とその変動に関する研究，九州大学総合理工学研究院博士論文，2005。
- 2) 代田昭彦：有明海の栄養塩類と二ゴリの特性，海洋科学，12，pp127-137，1980。
- 3) 宇野木早苗：有明海の潮汐・潮流の変化に関わる科学的問題と社会的問題，沿岸海洋研究，42，pp85-94，2004。
- 4) 藤原考道・経塚雄策・濱田孝治：有明海における潮汐・潮流減少の原因について，海の研究，13，pp403-412，2004。
- 5) 宇野木早苗：有明海における潮汐と流れの変化 - 諫早湾干拓事業の影響を中心として - ，海と空，78，pp19-30，2002。
- 6) 塚本秀史・柳哲雄：有明海の潮汐・潮流，海と空，78，pp31-38，2002。
- 7) 宇野木早苗：有明海の自然と再生，築地書館，2006。
- 8) 有明海・八代海総合調査評価委員会：有明海・八代海総合調査評価委員会 - 中間取りまとめ - ，2006，（<http://www.env.go.jp/info/iken/h180328a/a-all.pdf>）。
- 9) 山口敦子：有明海中央部における魚類の動向，NPO法人有明海再生機構平成17年度成果発表会予稿集，pp32，2006。
- 10) 中田英昭・野中裕子：有明海における海況の経年的な変化，月刊海洋，35，pp256-260，2003。
- 11) 堤裕昭・木村千寿子・永田沙矢香・佃政則・山口一岩・高橋徹・門谷茂：広域定期観測による有明海水環境の現状，沿岸海洋研究，42，pp35-42，2004。
- 12) 堤裕昭：赤潮の大規模化とその要因，有明海の生態系再生をめざして（日本海洋学会編），pp105-118，恒星社厚生閣，2005。
- 13) 福岡県有明水産試験場・熊本県のり研究所・佐賀県有明水産試験場・長崎県水産試験場：昭和63年度赤潮対策技術開発試験報告書，1988。
- 14) 込本達也・前野幸男・渡辺康憲：二枚貝類の漁獲量変動過程の解析とその検証，有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明，pp90-96，農林水産省農林水産技術会議事務局，2005。
- 15) 東幹夫：底質の変化，有明海の生態系再生をめざして（日本海洋学会編），pp96-104，恒星社厚生閣，2005。
- 16) 奥石裕一・鈴木健吾・込本達也・前野幸男・相島昇・筑紫康博・吉田幹英・伊藤史郎・川原逸朗・山本憲一・藤井明彦・松田正彦・平山泉・那須博史・渡辺康憲：有明海におけるタイラギ稚貝及び浮遊幼生の分布 - 22年前と比較した2003年分布量と分布域 - ，2004年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会講演要旨集，pp15，2004。
- 17) 清本容子・山田一來・中田英昭・田中勝久：筑後川からの懸濁粒子負荷量と有明海奥部における透明度の長期変動，2005年度日本海洋学会春季大会講演要旨集，pp198，2005。
- 18) 瀬口昌洋・郡山益美・石谷哲寛・加藤治：有明海奥部西岸域における貧酸素水塊の発生機構の解明とその防止法に関する研究，佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集，1，pp7-14，2005。
- 19) Linden, P. F. and J. E. Simpson: Gravity-driven flow in a turbulent fluid, J. Fluid Mech., 172, 481-497, 1986。
- 20) Fujiwara, T. and Y. Yamada: Inflow of oceanic water into Tokyo Bay and generation of a subsurface hypoxic water mass, Journal of Geophysical Research, 107, NO.C5, 10.1029/2000JC000749, 2002。
- 21) Fujiwara, T., T. Takahashi, A. Kasai, Y. Sugiyama, and M. Kuno: The role of circulation in the development of hypoxia in Ise Bay, Japan, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 54, pp19-31, 2002。
- 22) 中川康之・今林章二・末次広児：有明海の底泥輸送現象に関する現地データの解析，海岸工学論文集，49，pp566-570，2002。
- 23) 田中勝久・児玉真史・熊谷香・藤本尚伸：有明海筑後川河口域における冬季のクロロフィル蛍光と濁度変動，海の研究，13，pp151-162，2004。
- 24) 八木宏・井瀬肇・松村航裕・木元克則：有明海奥部干潟前縁域の流動構造と懸濁物質輸送特性に関する現地観測，水工学論文集，第50巻，pp. 1465-1470，2006。

(2006.6.12受付)

有明海奥部における干潟域の脱窒と西岸域の 貧酸素水塊の発生について

DENITRIFICATION IN THE TIDAL FLAT OF THE INTERIOR PARTS
OF THE ARIAKE SEA AND OCCURRENCE OF HYPOXIC WATER IN ITS
WESTERN PARTS

瀬口昌洋¹ 郡山益実² 石谷哲寛³ 古賀あかね³

Masahiro SEGUCHI, Masumi KORiyAMA, Tetuhiro ISHITANI and Akane KOGA

¹農博 佐賀大学教授 農学部生物生産学科 (〒840 8502 佐賀市本庄町1番地)

²農博 佐賀大学助手 農学部生物生産学科 (〒840 8502 佐賀市本庄町1番地)

²農修 鹿児島大学大学院 連合農学研究科 (〒840 8502 佐賀市本庄町1番地)

In this study, the spatial and temporal distributions of denitrification rate and denitrifying bacteria in the tidal flat, and the occurrence mechanism of hypoxic water in the interior parts of the Ariake Sea were investigated on the base of experimental and filed observation data. As a result, the denitrification rate was different greatly by 2004 and 2005. It was supposed that the difference was due to the environmental changes of tidal flat by typhoons which approached or hit the Ariake Sea from 2004 to 2005. Moreover, the denitrification rate and the number of denitrifying bacteria in the tidal flat of Higashiyoka Beach, where was a typical muddy tidal flat in the interior parts of the Ariake Sea, changed similarly with season, and their values were the highest from September to November. On the hand, it was considered that hypoxic water occurred frequently in the neap tide of summer in the interior western parts of the Ariake Sea with much mud content and quantity of organic matter in the sediment. More, it was guessed that the fall of the ability for transportation of oxygen from surface to lower layers due to the formation of density stratification and pycnocline was one of the main causes of the occurrence of hypoxic water.

Key words : tidal flat, Ariake Sea, denitrification, denitrifying bacteria, DO, hypoxic water, density stratification, pycnocline

1. まえがき

近年、有明海の奥部では、底質の泥化、赤潮発生の激化、貧酸素水塊発生の顕在化さらには二枚貝類の激減など種々の異変が明らかとなっている¹⁾。これらの異変はそれぞれ単独に発生しているのではなく、湾内で互いに密接に関連していると考えられる。すなわち、1つの異変の発生が他の異変を誘発し、更なる環境悪化を引き起こすような“環境悪化スパイラル”が形成されていると想定される。このような有明海奥部を中心とする環境悪化の連鎖を断ち切り、再生への道筋を探るためには、個々の異変の発生原因を的確に究明すると同時に、異変間の相互関

連性や自然的及び人為的環境改変要因との関連性を物質循環の側面から総合的に究明することが不可欠である。

現在、大学や研究機関を中心に有明海異変の原因究明や再生に向けた取り組みが活発に行われている²⁾。その結果、有明海異変の実態や原因も急速に明らかとなっている。しかし、最も典型的なコンプレックスシステムである生態系に関わる、これらの異変の原因究明には、更なる詳細な現地観測とそれに基づくより深遠な考察が必要である。

今回の研究では、このような観点から2つの研究課題を取り上げた。すなわち、その1つは、湾内の窒素循環において大きな比重を占める干潟域にお

る脱窒量³⁾の分布性の把握と他の1つは、二枚貝類の死滅なども密接に関連していると言われている貧酸素水塊⁴⁾の発生機構の究明である。本報では、これらの課題について順次報告する。

2. 奥部干潟域の脱窒量の分布性

(1) 研究の概要

Fig.1は、柳ら³⁾により1999年の浅海定線データを用いて推定された有明海のTNの収支量を示したものである。図示されるように、この年の脱窒量は年間約8,500tと推算され、湾外へのN除去量として大きな割合を占めている。したがって、この研究では、有明海奥部干潟域の脱窒量を実験により算出し、底質環境や脱窒菌数との関連性について検討した。

実験に用いた試料は、Fig.2に示す佐賀県の竹崎海岸、有明干拓地先、東与賀海岸、福岡県の大和干拓地先、熊本県の長洲海岸の5箇所で採取された。これらの試料は、内径83mm、長さ210mmのアクリル製コーサンプラーを用いて潟面から深さ150mmまでの底質を未攪乱状態で採取した。

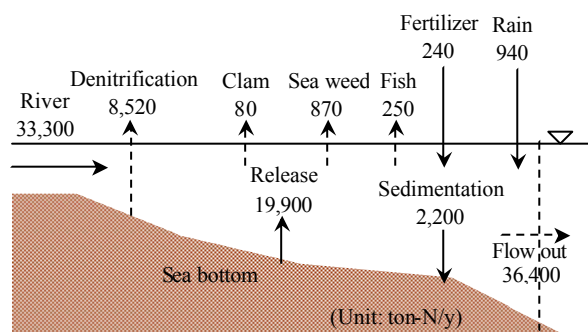


Fig.1 有明海におけるTNの収支



Fig.2 底質試料の採取地点

脱窒実験は、アセチレン阻害法⁵⁾を適用し、試料から放出される亜酸化窒素量をガスクロマトグラフを用いて24時間測定した後、単位面積当たりの窒素

量で評価した。また、この実験に合わせて試料の酸化還元電位(Eh)、底質間隙水の硝酸濃度、含泥率、強熱減量(IL)、底質中の温度を測定した。

一方、脱窒菌数の測定実験は、Table.1の培地を用いて、MPN法⁶⁾により行われた。

Table 1 脱窒菌用培地

KNO ₃	1.0g
アスパラギン	1.0g
BTB溶液(1w/v%)	5ml
クエン酸ナトリウム	8.5g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1.0g
FeCl ₂ ·6H ₂ O	0.05g
KH ₂ PO ₄	1.0g
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.2g

pH 7.0 ~ 7.2に調整

(2) 結果及び考察

a) 脱窒量と底質

Fig.3は、2004年と2005年の夏季(7月,8月)及び冬季(12月,1月)における各試料の脱窒量を比較したものである。図示されるように、各試料の2004年と2005年における脱窒量は大きく異なっている。特に東与賀を除いた4地点の試料では、2005年の脱窒量は2004年のそれの100倍以上に増加している。しかし、長洲を除いた各地点の試料の夏季と冬季の脱窒量の差異は、比較的小さい。

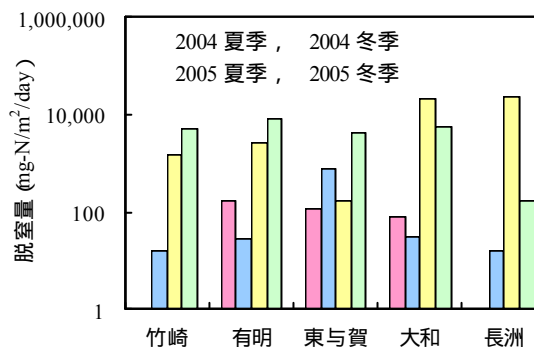


Fig.3 各地点の脱窒量

一方、Fig.4は、2004年と2005年の冬季における各試料の含泥(シルト+粘土)率を比較したものである。図示されるように、もともと含泥率が100%に近い東与賀の試料を除いた各試料の2005年冬季の含泥率は、2004年のそれに比べて大きく増加している。特に本来砂質の底質である長洲の試料では、含泥率が2004年から2005年の間に2%から15%へと急増している。このように各試料において、2005年の試料の含泥率が2004年のそれに比べて大きく増加したのは、2004年に台風16号(8月30日)と

18号(9月7日)が有明海をかすめたこと,また2005年に台風15号(9月6日)が有明海を直撃したことにより,海水が激しく攪拌されて海底の泥が巻き上げられ,沿岸域の広範にわたって堆積したためによるものと考えられる.

さらに Fig.5 は,2004年と2005年の夏季及び冬季における各試料の IL を示したものである.図示されるように,いずれの試料も2005年のILは2004年のそれよりも増加している.これも含泥率の場合と同様に,2004年と2005年の台風の影響によるものと考えられる.

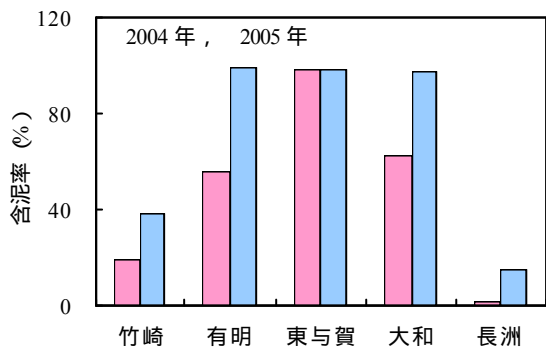


Fig.4 各地点の含泥率

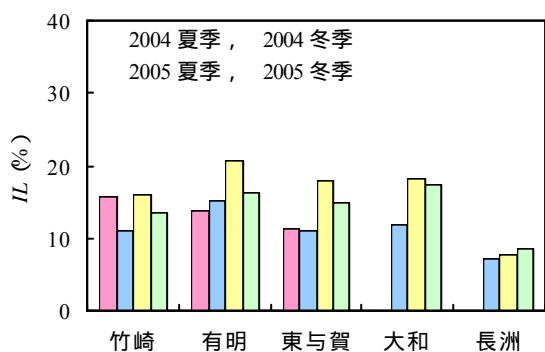


Fig.5 各地点のIL

以上の結果より,各試料の2005年の脱窒量が2004年のそれに比べて大きく増加したのは,台風の影響による干潟域の含泥率の増加に伴い,底質環境が脱窒菌の生息に適した還元的環境へと移行したこと,また電子供与体としての底質中の有機物量が増大したことなどが,大きく寄与したものと推察される.さらに,このことから,干潟域の脱窒量は自然的あるいは人為的作用による底質環境の変化に対し,かなり敏感に変動するものと考えられる.

b) 脱窒量と脱窒菌数の分布性

Fig.6 は,東与賀の試料について脱窒量と脱窒菌数の季節変化を示したものである.図示されるように,脱窒量は真夏の8月よりも初秋の9月から晩秋の11月にかけてもっと高くなっている.また,脱窒菌数も脱窒量の季節変化に対応した変動を示している.

さらに, Fig.7 及び Fig.8 は,試料採集日に合わせて測定した深さ10cmまでの底質中の平均温度と平均 Eh 及び海水中の NO₃ 濃度を示したものである.図示されるように,底質中の平均温度は夏季から冬季に向けて次第に低下し,逆に平均 Eh は夏季から冬季に向けて負値から正値へと増加している.また,海水中の NO₃ 濃度は6月末に大きな値を示した後,8月には一旦減少している.しかし,10月,11月には,その NO₃ 濃度は再び増加している.このような海水中の NO₃-濃度の変化は河川からの流入負荷量と底質からの溶出量の増加を反映したものと考えられる.

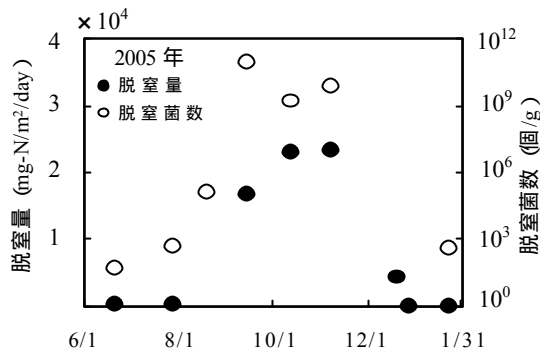


Fig.6 脱窒量と脱窒菌数の季節変化

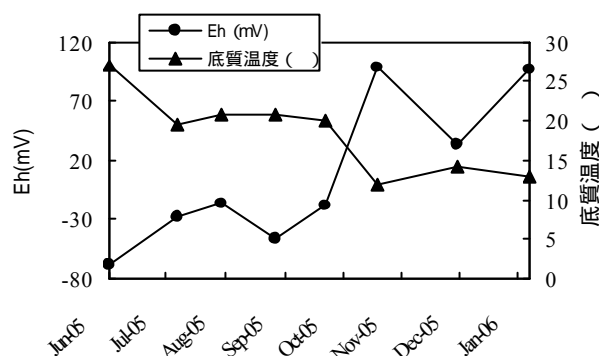


Fig.7 底質温度及び Eh の季節変化

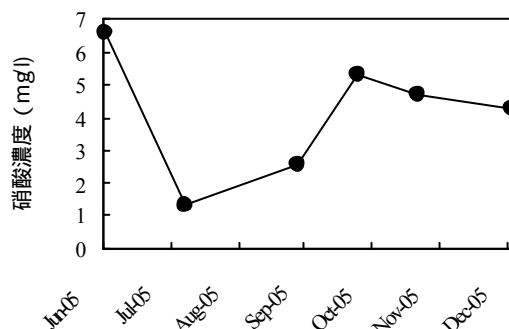


Fig.8 海水中の NO₃⁻ の季節変化

一方, Fig.9 は,有明海奥部の最も典型的な泥質干潟のある東与賀海岸の底質中の脱窒菌数と Eh の鉛直プロファイルの季節変化を示したものである.図示されるように脱窒菌は,夏季では表面付近に多く分布しているが,夏季から秋季にかけては表面より

少し下がった深さ 3~5cm 付近に多く生息する傾向が伺われる。このような脱窒菌数の分布性的変化は、上述したように脱窒菌の生息に適した環境の季節に伴う変化を反映したものと推察される。特に脱窒菌の生息環境に重要な影響を及ぼすと考えられる Eh を見た場合、脱窒菌の多く分布する深さと Eh=0 付近の不連続(RPD)層とがほぼ対応する傾向が伺われる。これは、脱窒菌が通性嫌気性菌であることを大きく反映したものと見える⁷⁾。さらに底質中の Eh の鉛直プロファイルや季節変化には、底質中のベントスの生息数やその巣穴の分布数が大きく関わっているもの

と推測される⁸⁾。

以上の結果より、脱窒量と脱窒菌数の分布性は、脱窒菌の生息環境を左右する底質中の温度、Eh、有機物量さらには電子受容体としての海水中の NO₃ 濃度が総合的に影響しているものと考えられる。すなわち、脱窒速度や脱窒菌数の高い値を示す 9月~11月の期間においては、平均温度が 20 と比較的高く、また平均 Eh も 0mV 前後と RPD 層付近に分布し、さらには NO₃ 濃度も高い。このような環境が脱窒菌数と脱窒活性の増加をもたらしているものと推察される。

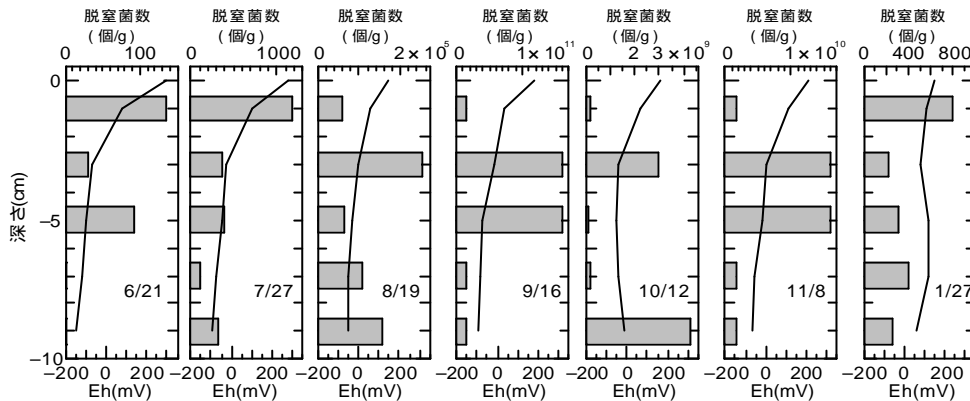


Fig.9 東与賀海岸における脱窒菌数と Eh の鉛直分布 (■ : 脱窒菌数, — : Eh)

3. 奥部西岸域における貧酸素水塊の発生

(1) 研究の概要

後述するように、近年有明海では奥部西岸域を中心に貧酸素水塊が広域的に頻発する傾向が見られる。しかし、その発生には潮流、水質、底質などの海域環境のみならず、各年の雨量、風速、気温、日射量など種々の気象要因が深く関わっているものと考えられる。したがって、現在のところ、この海域での貧酸素水塊の発生原因は、必ずしも十分に解明されているとはいえない。

に関わる現地観測データを収集すると同時に、各研究機関から公表されている既存のデータを収集、整理し、これらのデータに基づいて貧酸素水塊の発生機構について検討した。

現地観測は、Fig.10 に示される有明海奥部西岸域の観測点 St.1, 2 で 2004 年と 2005 年の 7月~9月に DoPa 型多項目計測装置 (Fig.11) を用いて行われた。

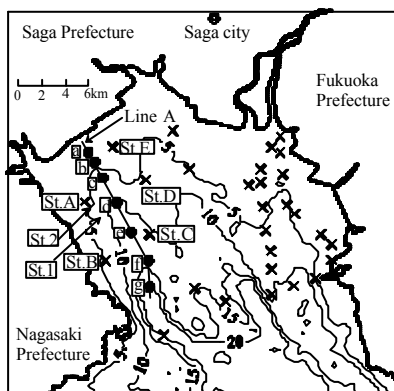


Fig.10 現地観測点 (×: 佐賀県及び福岡県による浅海定線調査の観測点)

この研究では、有明海の奥部西岸域で貧酸素水塊

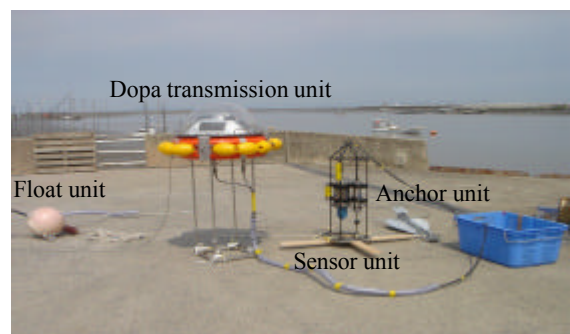


Fig.11 DoPa 型多項目計測装置

この観測では、センサーを海底上約 20cm の位置に設置し、海底付近の DO、流向、流速、塩分、水温、濁度、クロロフィルを 1 時間ごとに約 1 ヶ月間連続測定した。また、図示される観測点 a~g では、多項目水質計を用いて、2005 年の 8 月 9 日と 8 月 16 日の 2 回にわたり、DO、水温、塩分、クロロフィルを

深さ 50cm 毎に測定し、それらの鉛直プロファイルを求めた。さらに佐賀県及び福岡県が 1972 年～2000 年にわたって測定した浅海定線データを収集し、整理した。

(2) 結果と考察

a) 貧酸素水塊の発生状況

Fig.12 及び Fig.13 は、浅海定線データより求められた約 30 年間の有明海奥部における貧酸素水塊の発生頻度と 2002 年 8 月に測定された底質の含泥率と COD の分布を併示したものである。なお、ここでは貧酸素水塊を $DO < 40\%$ で定義した。図示されるように底質の含泥率及び COD の高い奥部西岸域で貧酸素水塊の発生頻度が高い。このことは、この海域の貧酸素水塊の発生に弱い潮流と底質や水中に含まれる多くの有機物が深く関わっていることを示唆している。

Fig.14 は、DoPa 型多項目計測装置を用いて 2004 年及び 2005 年にそれぞれ St.1 及び St.2 で計測された海底上約 20cm の位置における DO と潮位及び佐賀市における雨量、さらには St.1, 2 における波高の経時変化を示したものである。図示されるように 2004 年の夏季においては、DO は潮位変動に呼応するように変化している。すなわち、小潮時には $DO < 数 \text{ mg/l}$ の貧酸素水塊が発生している。しかし、大潮時には貧酸素水塊は消滅し、DO は回復している。一方、2005 年の夏季においては、2004 年に見られたような DO と潮位変動の対応性は見られない。すなわち、8 月 16 日前後の小潮時には貧酸素水塊が発生しているが、7 月 30 日前後の小潮時には、逆に DO が大き

く増加している。このような兩年の夏季における DO と潮位の対応性の差異には、兩年の波高分布の差異が大きく影響していると考えられる。

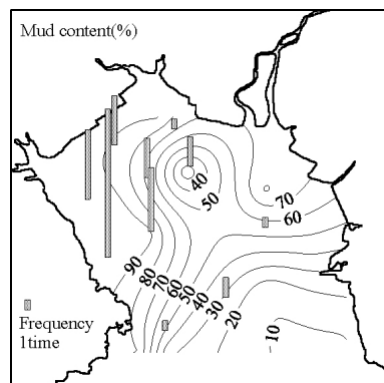


Fig.12 貧酸素水塊の発生頻度と底質の含泥率分布

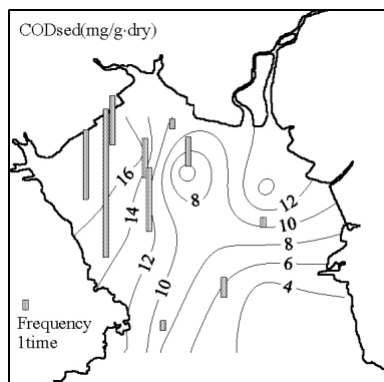


Fig.13 貧酸素水塊の発生頻度と底質の COD 分布

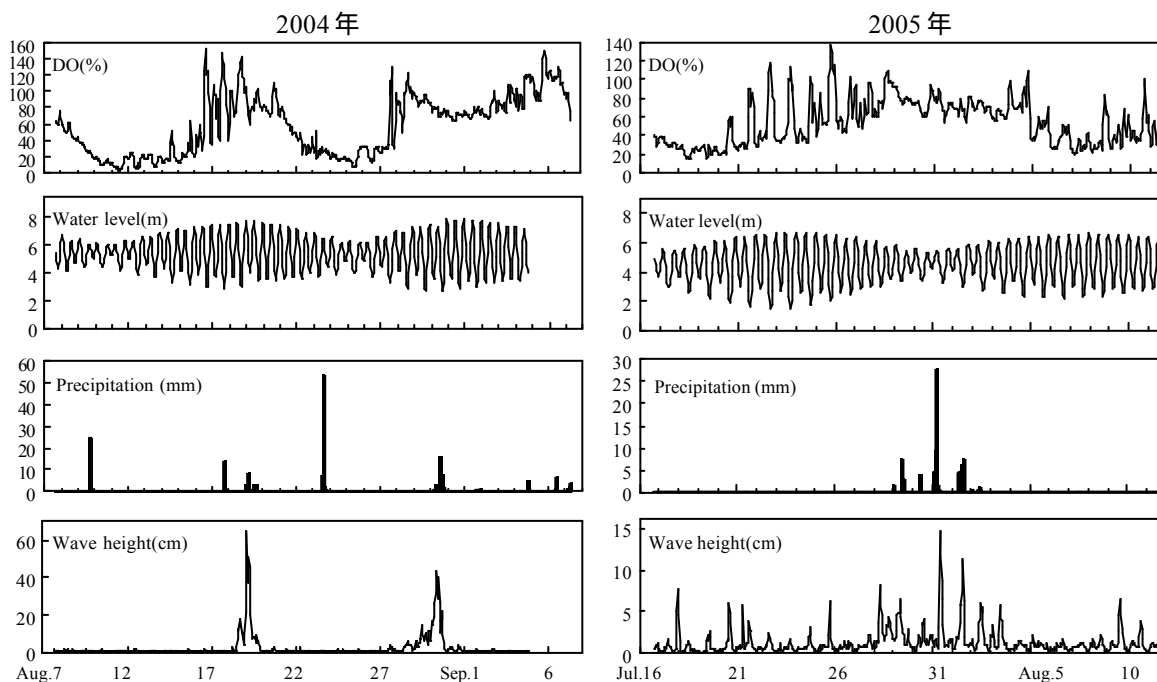


Fig.14 2004 年及び 2005 年における DO, 潮位, 降水量及び波高の経時変化

すなわち、7月30日前後の小潮時にDOが大きく増加したのは、図示されるように小潮時に波高が比較的高かったために、海水が攪拌されて海底付近にDOの高い表層の海水が流入したためによるものと考えられる。

以上の結果より、有明海奥部における貧酸素水塊は、特に波高の低い、穏やかな夏季の小潮時を中心に、底質の含泥率や有機物量の高い西岸域で頻発していると推測される。

b) 貧酸素水塊の発生と密度成層

Fig.15は、約30年間の浅海定線データに基づいて求めた海底上約50cmの位置におけるDO及び表層

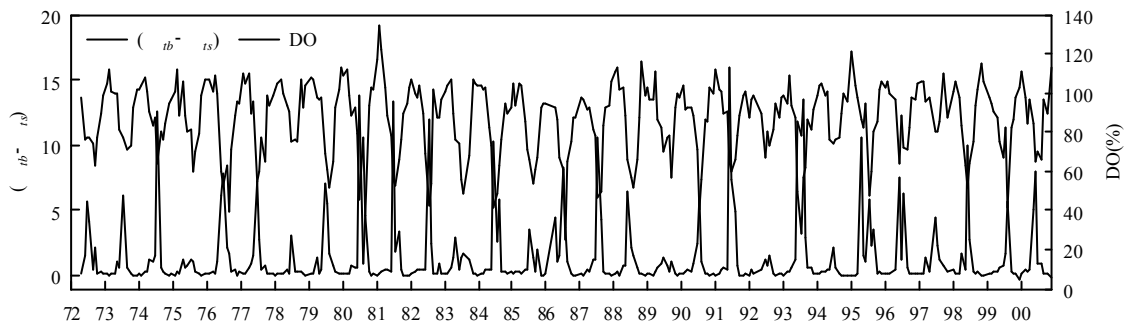


Fig.15 $(s_{ib} - s_{is})$ 及び底層のDOの経年変化

さらにFig.17は、浅海定線の観測日前7日間の佐賀市における雨量 R_7 と $(s_{ib} - s_{is})$ の関係を示したものである。図示されるように R_7 と $(s_{ib} - s_{is})$ の間には、高い正の相関性が見られ、 $(s_{ib} - s_{is})$ は R_7 の増加に伴って増大している。

これらの結果より、対象海域における底層のDOは、 $(s_{ib} - s_{is})$ により強く影響され、さらに $(s_{ib} - s_{is})$ は、 R_7 すなわち周辺流域からの河川流入量により大きく左右されていると考えられる。

一方、Fig.18は、貧酸素水塊の未発生時(2005年8月9日大潮時)と発生時(2005年8月16日小潮時)における観測点a~gのDO及び密度 σ_t の分布構造を示したものである。図示されるように貧酸素水塊の未発生時においては、 σ_t は奥部の海岸に近いaから沖合のgに進むにつれて、強混合から緩混合さらには弱混合の分布へと移行している。そして、DOは表層で飽和度100%以上の過飽和に、また下層でも飽和度60%以上の比較的高い値を示している。さらに貧酸素水塊の発生時においては、 σ_t はaからgに至る広範囲にわたって弱混合の分布となり、密度成層や躍層が形成されている。また、DOは躍層直上の表層では飽和度60~70%以上となり、一部過飽和の状態となっている。しかし、躍層直下では飽和度30%以下の貧酸素水塊が広範囲にわたって分布

と底層の間の密度差 $(s_{ib} - s_{is})$ の経時変化を示したものである。なお、DOと $(s_{ib} - s_{is})$ のデータは、奥部西岸域の5観測点St.A~St.E(Fig.10)のデータの平均値である。

また、Fig.16は、上記の夏季における底層のDOと $(s_{ib} - s_{is})$ の関係を示したものである。図示されるように底層のDOは、 $(s_{ib} - s_{is})$ が増大する夏季を中心に低下し、貧酸素水塊の発生へと繋がっている。また、底層のDOと $(s_{ib} - s_{is})$ の間には、かなり高い負の相関性が見られる。

している。

これらの結果より、貧酸素水塊の発生には、密度成層さらには躍層の形成が重大な役割を果たしていることがわかる。

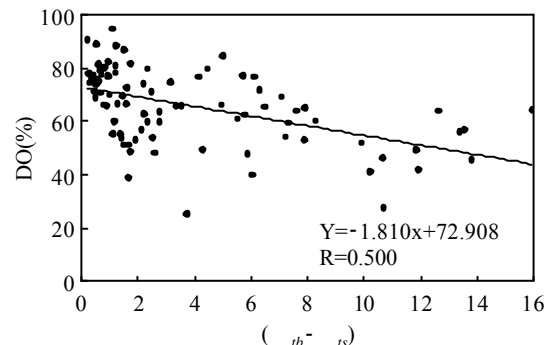


Fig.16 $(s_{ib} - s_{is})$ と底層DOの関係

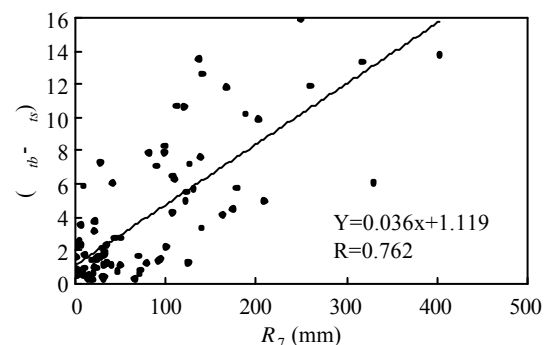


Fig.17 $(s_{ib} - s_{is})$ と R_7 の関係

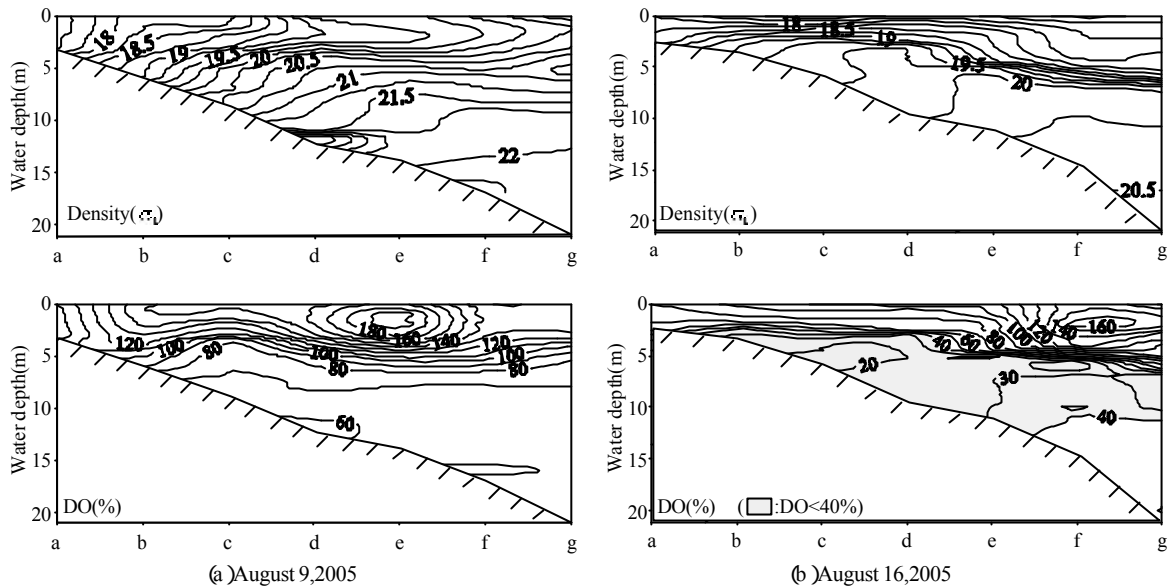


Fig.18 観測点 a~g における海水密度及び DO の分布構造

さらに Fig.19 は、(1)式で表される水温の鉛直拡散モデル⁹⁾を平成 15 年及び平成 16 年の観測データに適用し、躍層を挟んだ表層及び下層の間の拡散係数 K_{sl} と(2)式で定義された成層強度 P の関係を示したものである。

$$H_l \frac{dT_l}{dz} = K_{sl} \frac{T_s - T_l}{H_{sl}} \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{H} \int_0^H |\mathbf{r}(z) - \bar{\mathbf{r}}| g z dz \quad (2)$$

$$\bar{\mathbf{r}} = \frac{1}{H} \int_0^H \mathbf{r}(z) dz \quad (3)$$

ここで、 H_l : 下層の厚さ、 H_{sl} : 表層と下層の中心間の距離、 H : 水深、 T_s, T_l : それぞれ表層及び下層の水温、 $\mathbf{r}(z)$: 海水密度、 z : 海面からの距離である。

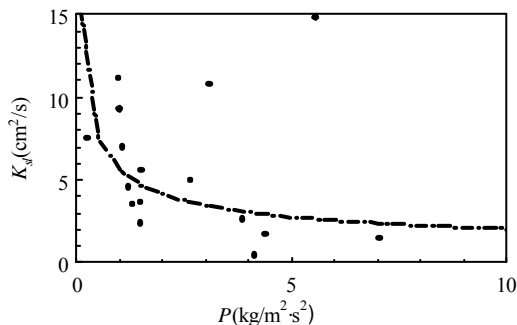


Fig.19 K_{sl} と P の関係

図示されるように K_{sl} は P の増加に伴って指数関数的に急減している。すなわち、表層から下層への O_2 の供給能力は、密度成層化さらには躍層の形成に伴い、大きく減少する。

以上の結果から、有明海奥部の西岸域においては、周辺地域の雨量や河川流入量の増加により密度成層さらには躍層が形成される。そして、それに伴う表層から下層への O_2 の補給能力の大きな低下が、貧酸素水塊発生要因の1つとなっていると考えられる。

4. まとめ

本報では、有明海の異変の原因究明と再生を前提に、2つの研究課題すなわち干潟域の脱窒量の分布性と貧酸素水塊の発生機構の解明について検討した。その結果、いくつかの新たな知見が得られた。それらの成果を要約すると、次のようになる。

(1)有明海奥部干潟域の試料採取地点において、2005年の脱窒量が2004年のそれを大きく上回った。その原因として、2004年から2005年にかけて接近あるいは襲来した台風の攪乱作用による底質中の含泥率や有機物の増加が考えられた。また、このことから、干潟域の脱窒量は自然的あるいは人為的作用による底質環境の変化に対し、敏感に変動するものと推察された。

(2)有明海奥部の典型的な泥干潟である東与賀海岸の試料の脱窒量と脱窒菌数は、よく対応した季節変化を呈した。そして、脱窒量と脱窒菌数は共に9月から11月において高い値を示した。その原因として、この期間の底質中の温度や E_h が脱窒菌の生息に適していたこと、さらには海水中の NO_3^- 濃度が高かったことなどが寄与しているものと考えられた。また、底質中の脱窒菌数は、夏季に干潟表面付近に多く分布していたが、夏季から秋季にかけては深さ3~5cm

付近に多く生息する傾向が見られた。このような分布性の変化は、 $E_h = 0$ 付近の不連続層の季節変化ともほぼ対応するものであった。

(3)有明海奥部における貧酸素水塊は、波高の低い、穏やかな夏季の小潮時を中心に、底質の含泥率や有機物量の高い西岸域を中心に頻発していると推測された。

(4)西岸域における貧酸素水塊の発生には、密度成層さらには密度躍層の形成が重大な役割を果たしていること、またこれらの形成には、周辺地域の雨量や河川流入量が大きく影響していることが推察された。

(5)躍層を挟んだ表層と下層の間の拡散係数は、成層強度の増加に伴って急減した。このことより、密度成層さらには密度躍層の形成に伴う表層から下層への O_2 の補給能力の大きな低下は、貧酸素水塊発生の要因の1つとなっていると考えられた。

参考文献

- 1) 農林水産省有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会：最終報告書 - 有明海の漁業と環境の再生を願って - , 1 - 11 , 2003 .
- 2) 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト：佐賀大有明海総合研究プロジェクト成果報告集(第1巻), 1 - 172 , 2005 .
- 3) 柳 哲雄：人間活動による有明海のリン・窒素・珪素循環の変化，平成 15・16 年度(財)自然保護助成基金財団創立 10 周年記念特別助成金 研究成果報告書，83 - 90，2005 .
- 4) 農林水産技術会議事務局・独立行政法人水産総合研究センター：平成 15 年度行政対応特別研究 有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明 平成 15 年度研究報告，54 - 58，2004 .
- 5) 伊藤和男・土山秀樹・山守英朋・浦野久美子：干潟底泥における脱窒量の測定法の比較，水質汚濁研究，14(12)，867 - 875，1991 .
- 6) 土壌微生物研究会：土壌微生物実験法実験法，p.45 - p.52，養賢堂，1997 .
- 7) 日本微生物生態学会：微生物の生態 19 物質循環における微生物の役割，p.22，学会出版センター，1996 .
- 8) 瀬口昌洋・郡山益実・加藤 治：泥質干潟におけるマクロベントスの巣穴形成とその硝化・脱窒過程への影響 水工学論文集，46，1169 - 1174，2002 .
- 9) 柳 哲雄：沿岸海洋学，p.138，恒星社厚生閣，1989 .

(2006.5.31 受付)

有明海湾奥部干潟域の珪藻

Diatoms in the north of tidal flat in Ariake Sea, Japan

加(槻木)玲美¹, 後藤敏一², 吉野健児³, 速水祐一⁴

Narumi T. Kuwae, Toshikazu Gotoh, Kenji Yoshino and Yuichi Hayami

¹理博 佐賀大学研究機関研究員 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²水博 近畿大学助教授 医学部基礎医学部門研究室(〒589-8511 大阪府大阪狭山市大野東377-2)

³水博 佐賀大学研究機関研究員 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁴農博 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

The Ariake Sea has a huge tidal flat area, which accounts for approximately 40 percent of total area in Japan. In the tidal flat of Ariake Sea, a benthic diatom bloom as a major primary producer supports various organisms in the tidal flat ecosystem, however, until now benthic diatom community has been little reported. We examined taxonomically benthic diatoms from surface (0-5mm) sediment sample obtained from site1 (33°07'46"N, 130°10'08"E) and site2 (33°10'48"N, 130°15'36"E) of the north of tidal flat area in Ariake Sea. Sampling was carried out on 26th December, 2005 and 24th January 2006 when each site was not flooded. As a result, a total of 186 taxa belonging to 42 genera were recognized. In this report, we present the photograph of major benthic diatom taxa in the north of tidal flat area in Ariake Sea.

Key Words : benthic diatom, tidal flat, Ariake Sea

1. はじめに

有明海は日本一の干潟面積を有しており、現時点の干潟面積は180-190 km²程度で、日本に現存する干潟面積全体の約40%を占めるといわれている¹⁾。この広大な干潟上の一次生産者として重要なのが、底生珪藻類である。有明海沿岸の干潟では、しばしば泥の表面が黄褐色に見えるほど底生珪藻類が高密度に繁茂し、潟華(がたばな)と呼ばれている²⁾。これら底生珪藻類による高い生産が、ムツゴロウのような干潟に生息する様々な生き物の栄養源となっている³⁾。つまり、底生珪藻類は干潟生態系の生き物、それらの食う-食われる関係と言った食物網の基盤となる一次生産者として、重要な生物群である。しかしながら、これまで有明海の干潟や、日本の干潟に生息する底生珪藻類に関する研究は大変少なく、干潟にどのような底生珪藻種が生息しているのかといった基礎的な知見が得られないのが現状である。

そこで本研究は、まず有明海湾奥部の干潟にどのような底生珪藻類が生息しているのかを明らかにするために、毎月1回の調査を2005年12月から開始し、種を同定するための写真のカタログ作りを行い、どのような種類が生息しているのか若干の結果が得られたので、ここに報告する。

2. 研究方法

(1) 調査地点

本研究の調査地点は2箇所、地点1: 白石町(33°07'46"N, 130°10'08"E)、地点2: 東与賀町(33°10'48"N, 130°15'36"E)を設定した(図1)。調査時期は2005年12月26日、2006年1月24日のいずれも干出時に実施した。分析用試料は、干潟上の底泥の表層5mmを採集し、ホルマリン固定を行った後、分析するまで冷蔵保存した。

(2) 珪藻分析

珪藻分析用のプレパラート作成方法は、一般的な手法⁴⁾を簡略した方法で以下の手順で実施した。一定の堆積泥、質量約2-3gを秤量し、バイアル瓶へ入れ、蒸留水を30mlになるまで満たす。そのバイアル瓶を超音波洗浄器に10分間入れて、攪拌させた後、再び手で攪拌させ試料が均一に攪拌されている事を確認した後、マイクロピペットで一定量を取り、カバーグラスにのせ、封入剤のマウントメディア(和光純薬株式会社)あるいはnew M. X.(東京硝子器械株式会社)を用いて永久プレパラートを作成する。

プレパラートは種の同定を行うために写真を撮影し、

各種のカタログを作る．珪藻種の同定は様々な資料⁵⁻²²⁾を参考にした．

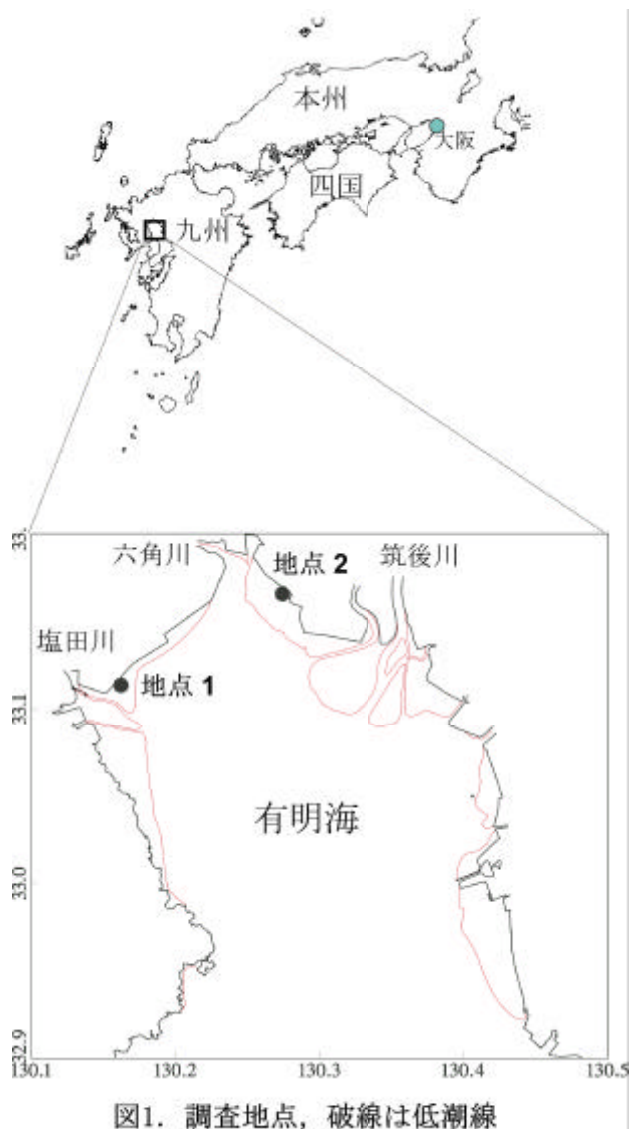


図1. 調査地点，破線は低潮線

3. 結果と考察

これまでの顕微鏡検鏡から，地点1と2を合わせて，底生珪藻類は42属186分類群（種，変種）の出現が確認された．有明海の底生珪藻類に関する報告は，1996年に諫早湾の干潟を調査した報告^{2), 5)}があるだけだが，本研究ではこの報告で指摘された優占種 *Nitzschia gyrosigma* Ohtsuka や *Haslea nipkowii* の出現を確認する一方で，先の報告では掲載されていない種類も数多く見られた（図2-69）．例えば，*Nitzschia epithemoides*, *N. vexans*, *N. constricta*, *N. cocconeiformis*, *N. compressa* である．

現在，出現する珪藻種の同定作業を進めている段階であるが，これまでの調査や顕微鏡観察から，地点1と2で，底生珪藻類の生産性や出現する優占種，その群集構造が大きく異なっていることが判明しつつある．すなわち，有明海の広大な干潟は，地点によって群集構造の変異が多様で，高次の栄養段階に属する生物への餌としての機能が大きく異なる可能性が高い．

今後の調査・分析によって，まず底生珪藻類の群集構造を明らかにするための種同定の基礎となる，出現種の一覧とその写真のカタログ作りを完成させ，有明海湾奥部の干潟にどのような種が生息しているのか，地点毎にその季節的な変化を定量的に明らかにする予定である．

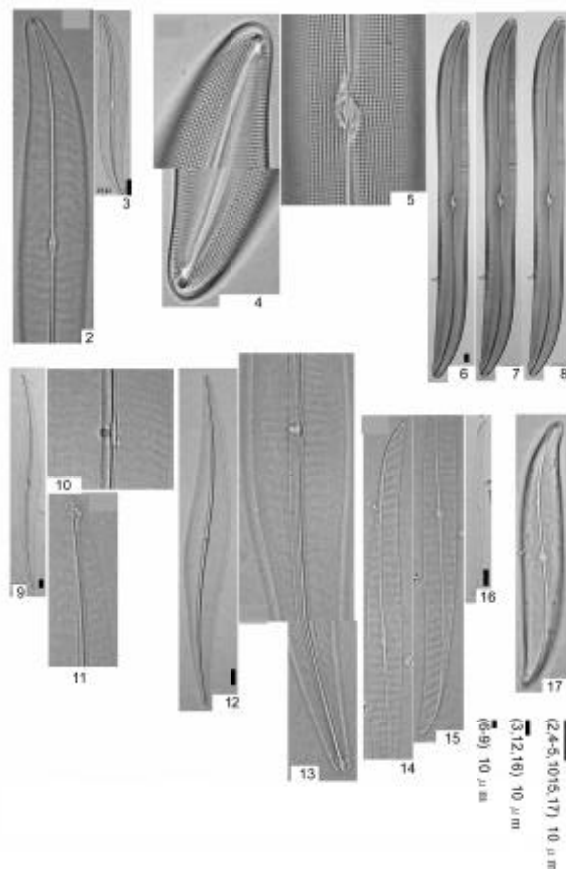


図2-17. 有明海湾奥部干潟域の底生珪藻類

2, 3. *Gyrosigma* sp.1. 4-8. *Gyrosigma* sp.2. 9-13. *Haslea nipkowii* (F.Meister) Poulin et G.Massé. 14-16. *Gyrosigma* sp.3. 17. *Gyrosigma* sp.4

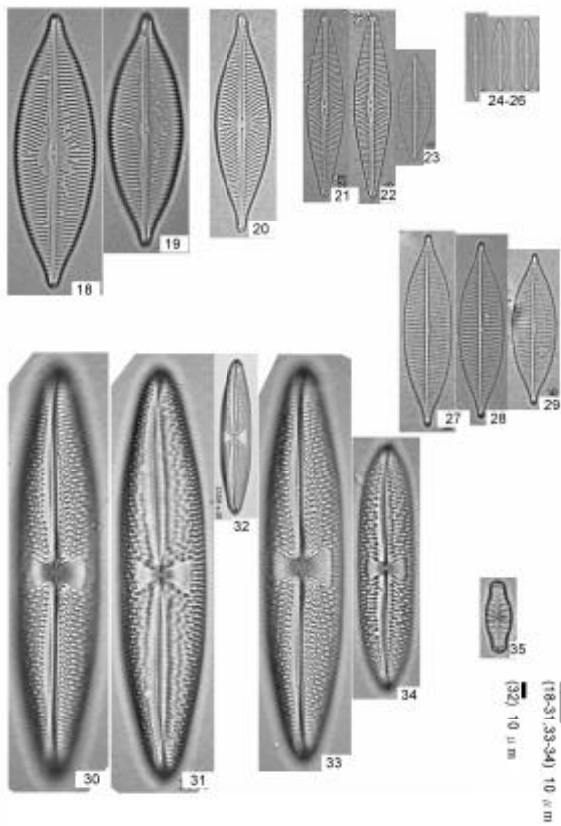


図18-35. 有明海湾奥部干潟域の底生珪藻類
 18, 19. *Navicula* sp.1. 20. *Navicula* sp.2. 21-23. *Navicula* sp.3. 24-26. *Navicula* sp.4. 27-29. *Navicula* sp.5. 30-34. *Trachyneis aspera* (Ehrenb.) Cleve. 35. *Hippondonta capitata*.

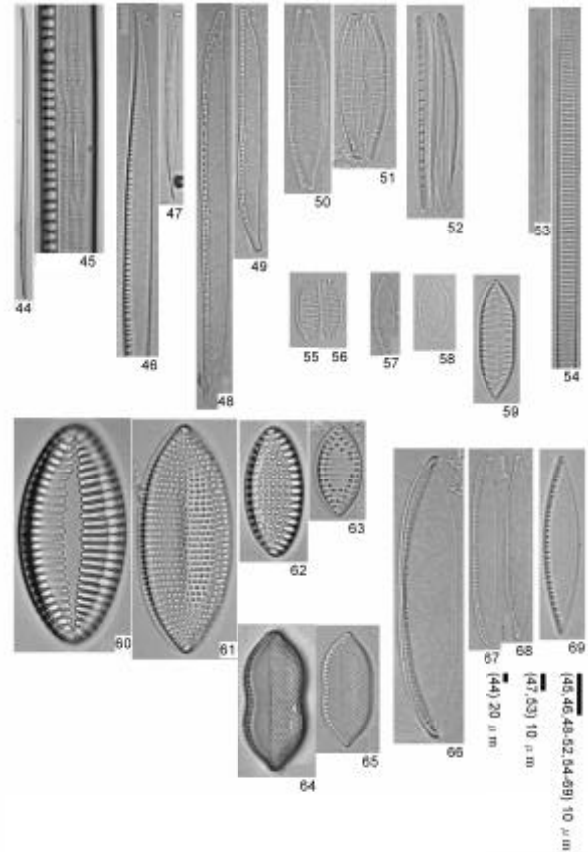


図44-69. 有明海湾奥部干潟域の底生珪藻類
 44, 45. *Nitzschia gyrosigma* Ohtsuka 2005. 46, 47. *Nitzschia* sp.1. 48, 49. *Nitzschia* sp.2. 50, 51. *Nitzschia epithemoides*. 52. *Nitzschia* sp.3. 53, 54. *Nitzschia* sp.4. 55, 56. *Nitzschia vexans*. 57. *Nitzschia* sp.5. 58. *Nitzschia* sp.6. 59. *Nitzschia constricta*. 60. *Nitzschia cocconeiformis*. 61. *Nitzschia compressa*. 62. *Tryblionella granulata*. 63. *Tryblionella* sp.1. 64, 65. *Psammodictyon* sp.1. 66. *Nitzschia* sp.7. 67, 68. *Nitzschia* sp.8. 69. *Nitzschia* sp.9.

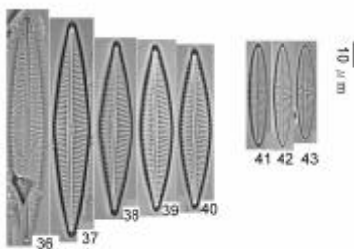


図36-43. 有明海湾奥部干潟域の底生珪藻類
 36-40. *Navicula flautica*. 41-43. *Navicula* sp.6.

謝辞：本研究を遂行するにあたり，顕微鏡をご提供頂いた，有明海総合研究プロジェクトの小林元太助教授，佐賀大学工学部古賀憲一教授に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤正典，田北徹 (2000) 有明海の生物相と環境．(佐藤正典編) 有明海の生きものたち 海遊舎 東京 pp. 10-35.
- 2) 大塚泰介 (2000) 諫早湾の干潟の珪藻．(佐藤正典編) 有明海の生きものたち 海遊舎 東京 pp. 69-71.
- 3) 田北徹 (2000) 魚類．(佐藤正典編) 有明海の生きものたち 海遊舎 東京 pp. 213-252.
- 4) Battarbee, R. W. (1986) Diatom analysis. In: Berglund, B. E. (Ed.), Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. J. Wiley, New York, pp. 527-570.
- 5) Ohtsuka, T. 2005. Epipellic diatoms blooming in Isahaya Tidal Flat in the Ariake Sea, Japan, before the drainage following the Isahaya Bay Reclamation Project. Phycological Research, 53, 138-148.
- 6) Robinson, S. K.: Coherent motions in the turbulent boundary layer, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, Vol.23, pp.601-639, 1991.
- 7) Tennekes, H. and Lumley, J.L.: *A first course in turbulence*, The MIT Press, 1972.
- 8) Kamiadakis, G.E, Orszag S.A. and Yakhot, V.: Re-normalization group theory simulation of transitional and turbulent flow over a backward-facing step, *Large Eddy Simulation of Complex Engineering and Geophysical Flows*, Galperin, B. and Orszag, S.A. eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp.159-177, 1993.
- 9) Cleve, P. T. & Grunow, A. 1880. Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar 17(52):1-121. 7 pls.
- 10) Cox, E.J. 1995. Studies on the diatom genus *Navicula* Bory. VII. The identity and typification of *Navicula gregaria* Donkin, N. *cryptocephala* Kütz. and related taxa. *Diatom Research* 10:91-111.
- 11) Cox, E. J. 1990. *Biremis ambigua* (Cleve) D.G.Mann, an unusual marine epipellic diatom in need of further investigation. pp. 63-72. In: Ricard, M. (ed.) *Ouvrage dédiée à la Mémoire du Professeur Henry Germain (1903-1989)*. Koeltz, Koenigstein.
- 12) Grunow, A. 1860. Ueber neue oder ungenügend gekannte Algen. Erste Folge. Diatomaceen, Familie Naviculaceen. Verhandlungen der kaiserlich-königlichen zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien. 10: 503-582. 5 pls.
- 13) Hendey, N.I. 1958. Marine diatoms from some West African port. *Journal of the Royal Microscopical Society* 77: 28-85.
- 14) Hendey, N.I. 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Part V. Bacillariophyceae (Diatoms). Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London. (Reprinted 1976. Koeltz, Koenigstein).
- 15) Hustedt, F. 1959. Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. 2. Teil. In Dr. L. Rabenhorst's *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. Band VII. Die Kieselalgen 2. Teil. (Reprint 1977 by Koeltz, Koenigstein).
- 16) Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1986. Bacillariophyceae 1.Teil: Naviculaceae. In: Ettl, H. et al. (eds) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Band 2/1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- 17) Kützing, F.T. 1844. Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. 152 pp. 30 pls. F. Fritsch, Nordhausen.
- 18) Lange-Bertalot, H. 1980. Zur taxonomischen Revision einiger ökologisch wichtiger "Naviculae lineolatae" Cleve. Die Formenkreise um *Navicula lanceolata*, N. *viridula*, N. *cari*. *Cryptogamie: Algologie* 1:29-50.
- 19) Lange-Bertalot, H. 2001. *Navicula* sensu stricto 10 genera separated from *Navicula* sensu lato *Frustulia*. 526 pp. In: Lange-Bertalot, H. (ed.) *Diatoms of Europe Vol. Lange-Bertalot, H. & Genkal, S. I. 1999. Diatoms from Siberia I. Iconographia Diatomologica* 6: 1-271.
- 20) Meister, F. 1932. *Kieselalgen aus Asien*. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- 21) Ricard, M. 1987. *Atlas du phytoplancton marin. vol. 2. Diatomophycées*. 297 pp. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- 22) Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. *The diatoms biology & morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge.

(2006.5.31受付)

有明海奥部西岸域における鉛直拡散係数及び 酸素消費速度の季節変動について

SEASONAL VARIATIONS IN VERTICAL DIFFUSION COEFFICIENT AND
OXYGEN CONSUMPTION RATE IN THE INTERIOR WESTERN PARTS OF
ARIAKE SEA

郡山益実¹・瀬口昌洋²・石谷哲寛³

Masumi KORIYAMA, Masahiro SEGUCHI and Tetuhiro ISHITANI

¹農博 佐賀大学助手 農学部生物生産学科 (〒840 8502 佐賀市本庄町1番地)

²農博 佐賀大学教授 農学部生物生産学科 (〒840 8502 佐賀市本庄町1番地)

²農修 鹿児島大学大学院 連合農学研究科 (〒840 8502 佐賀市本庄町1番地)

From the data measured by Saga prefecture research in 1972-2000, sea water density difference and density stratification parameter, which were one of the formation factors of hypoxic water, were clarified in the interior western parts of Ariake Sea. Sea water density difference tended to rise in summer due to increase of precipitation and river flow, resulting in an increase in density stratification parameter because of formation of stable density stratification. Next, vertical diffusion coefficient and oxygen consumption rate in the sea area were calculated by the box model. As a result, vertical diffusion coefficient tended to increase in summer-autumn and to decrease in winter-spring, and the seasonal variation of vertical diffusion coefficient was closely related to that of density stratification parameter. On the other hand, oxygen consumption rate tended to be positive (O_2 consumption) in spring-summer and to be negative (O_2 production) in autumn-winter.

Key words : hypoxic water, density stratification, box model, vertical diffusion coefficient, oxygen consumption rate, Ariake Sea

1. まえがき

近年、有明海ではノリ不作や二枚貝の斃死等の水産業を取り巻く環境悪化が問題視されており、その要因の1つとして貧酸素水塊の発生が指摘されている^{1),2)}。一般に、閉鎖性の強い海域では、夏季に密度成層が発達し、海水の鉛直混合が阻害されやすくなる。その結果、底層への酸素供給が減少し、さらに生物及び化学的作用により底層の酸素が消費され、底層は容易に貧酸素化しやすくなる。底層の貧酸素化は、二枚貝等の底生生物の生息環境を悪化させるだけでなく、底泥からの栄養塩や硫化物の溶出を促進させるため、湾内の水質環境の悪化や生態系の劣化を誘発するものと考えられる。

本研究では、有明海奥部西岸域を中心に、夏季に

広域的かつ長期的に頻発する貧酸素水塊の発生機構の解明を前提に、1972～2000年の浅海定線調査データから、ボックスモデルを用いて対象海域における鉛直拡散係数及び酸素消費速度の解析を行い、それらの季節変動の平年像について検討、考察した。

2. 使用データ

本研究で用いた水温、塩分及び溶存酸素(DO)データは、Fig.1に示されるSt.A～Hで、佐賀県有明水産研究センターが毎月大潮時に観測したデータを水産総合研究センター西海区水産研究所が取り纏めたものである。各測点の水温、塩分及びDOデータは、海面下0m, 5m, 10m, 20m, 30m, 40mで得られており、本研究では、これらのデータを水深1m間隔に

線形補間した。なお、海水の密度は塩分及び水温のデータより算出した。

気象データに関しては、佐賀地方気象台で得られた毎月の平均値を用い、有明海奥部西岸域に流入する河川流量に関しては、集水面積と月降水量から推定した。

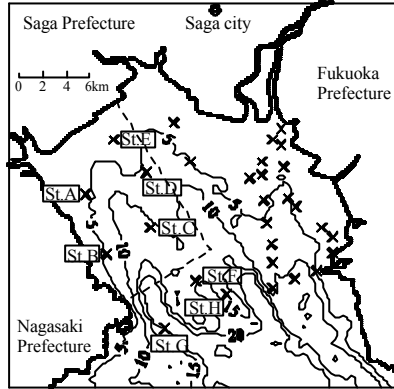


Fig.1 浅海定線調査観測地点

3. ボックスモデル解析

本研究では、貧酸素水塊が頻発する有明海奥部西岸域の Fig.1 の破線で囲まれた海域を Fig.2 に示される 2 層のボックスモデルで近似した。上下ボックスの境界深さ ($H_1=4\text{m}$) は 2005 年 8 月の現地観測で得られた密度躍層の水深に合わせた。上下層の海水の密度差に対する水温と塩分の寄与率を梶原³⁾にない算出した結果、塩分差による寄与率は 76.4%、水温差によるそれは 23.6%となるため、塩分の観測値を用いてモデルを構築した。上下層内の塩分 (S_1, S_2) 及び DO (C_1, C_2) は、St.A~E (Fig.1) のデータを水深 1 m 間隔で線形補間し、各層内に含まれる塩分と DO の値を平均して求めた。また、ボックス外の塩分 (S_3, S_4) 及び DO (C_3, C_4) は、St.F~H (Fig.1) の塩分及び DO を水深 1 m 間隔で線形補間し、それぞれ水深 0 ~ H_1 と H_1 以深で平均した値を用いた。

ここで、各ボックスにおける塩分の時間変動を支配する物理量を上層の水平流速 (U_1)、下層の水平流速 (U_2)、上下層間の鉛直流速 (W_{12}) 及び鉛直拡散係数 (K) とすると、上下ボックスの塩分の時間変動を支配する方程式はそれぞれ次式で表される⁴⁾。

BOX1

$$V_1 \frac{\partial S_1}{\partial t} = -A_1 U_1 \frac{S_1 + S_3}{2} + A_{12} W_{12} \frac{S_1 + S_2}{2}$$

$$+ A_{12} K \frac{S_2 - S_1}{Z_{12}} \quad (1)$$

$$A_1 U_1 = A_{12} W_{12} + Q \quad (2)$$

BOX2

$$V_2 \frac{\partial S_2}{\partial t} = -A_2 U_2 \frac{S_2 + S_4}{2} + A_{12} W_{12} \frac{S_1 + S_2}{2} - A_{12} K \frac{S_2 - S_1}{Z_{12}} \quad (3)$$

$$A_2 U_2 = -A_{12} W_{12} \quad (4)$$

ここに、 V_1, V_2 はそれぞれ上層及び下層ボックスの体積、 A_{12}, A_1, A_2 はそれぞれ上下ボックスの水平断面積、上層ボックスの鉛直断面積、下層ボックスの鉛直断面積、 Z_{12} は上下ボックスの中央点間距離、 Q は上層ボックスへの淡水流入量で、河川からの流量と蒸発や降雨を考慮した正味の値であり、蒸発量 (E) は次式により推定した⁶⁾。

$$E = k(E_s - E_a)W \quad (5)$$

ここに、 k は蒸発係数 ($=0.17\text{mmd}^{-1}\text{hPa}^{-1}\text{sm}^{-1}$)⁷⁾、 E_s は観測された海面水温から計算した飽和蒸気圧、 E_a は佐賀気象台で観測された月平均大気蒸気圧、 W は佐賀気象台で観測された月平均風速である。

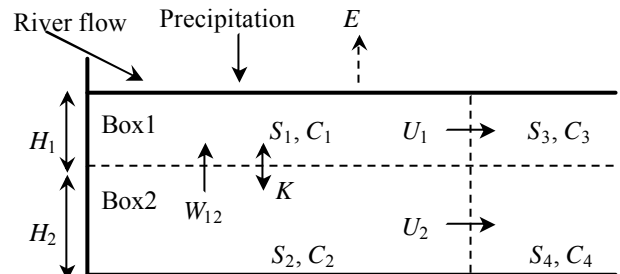


Fig.2 ボックスモデルの概略

Table 1 各ボックスの諸元

Volume (km ³)	V_1	0.426
	V_2	0.533
Interface Area (km ²)	A_{12}	106.56
Cross Section Area (km ²)	A_1	0.029
	A_2	0.037
Vertical Distance (m)	Z_{12}	4.50

また、下層の DO 濃度 (C_2) の時間変化を支配す

る方程式は次式で表される．

$$V_2 \frac{\partial C_2}{\partial t} = -A_2 U_2 \frac{C_2 + C_4}{2} - A_{12} W \frac{C_1 + C_2}{2} + A_{12} K \frac{C_1 - C_2}{Z_{12}} - V_2 R \quad (6)$$

ここに， R は生化学的な酸素消費速度である．
 なお，各ボックスの諸元は Table 1 に一覧される．

4. 結果及び考察

(1) 密度差及び成層度の季節変動

Fig. 3 は，1972～2000 年の St. A～E (Fig. 1) における底層の DO 及び表層水と底層水の海水密度差 ($s_{tb} - s_{ts}$) の経年変化を表したものである．なお，DO 及び ($s_{tb} - s_{ts}$) は 5 地点の平均値である．図示されるように，底層における DO は夏季に低下し，冬季に上昇する季節変動を示し，($s_{tb} - s_{ts}$) のそれとは逆の対応関係が見られる．

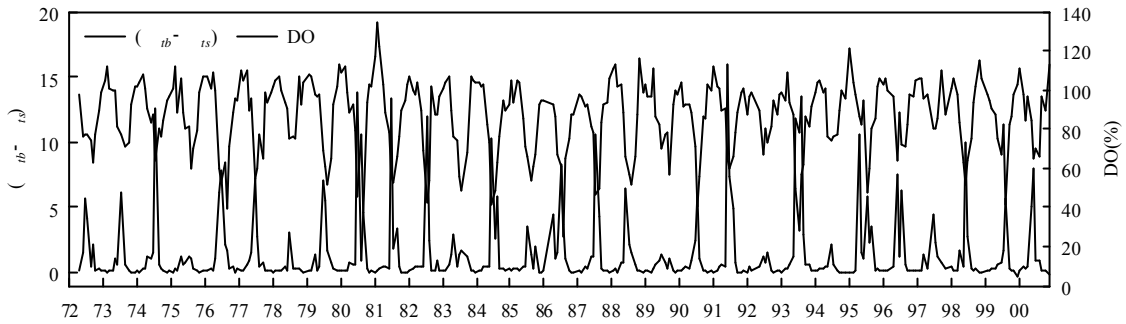


Fig. 3 ($s_{tb} - s_{ts}$) 及び底層の DO の経年変化

Fig. 4 は，1972～2000 年の夏季 (6～8 月) における浅海定線観測日前 7 日間の佐賀市の降水量と ($s_{tb} - s_{ts}$) の関係を表したものである．図示されるように，降水量の増加に伴い ($s_{tb} - s_{ts}$) も増大する傾向が見られる．このことから，夏季に降雨やそれに伴う河川からの淡水流入量の増加により ($s_{tb} - s_{ts}$) が増大し，密度成層が形成されるものと考えられる．

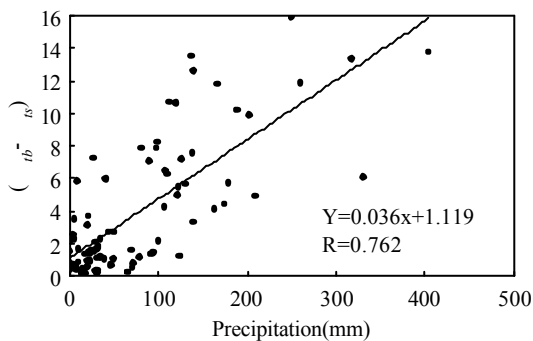


Fig. 4 ($s_{tb} - s_{ts}$) と降水量の関係

Fig. 5 は，1972～2000 年の St. A～E (Fig. 1) における成層度 (S) の月平均値を表したものである．ここで， S は密度成層の安定度を示す指標であり，(7)式及び(8)式により算出された⁵⁾．

$$S = \int_{-H}^0 |r(z) - \bar{r}| g dz \quad (7)$$

$$\bar{r} = \frac{1}{H} \int_{-H}^0 r(z) dz \quad (8)$$

ここに， H は水深， r は海水の密度， g は重力加速

度， z は鉛直座標で海面を原点とし鉛直上向きを正とする．

図示されるように， S は 6～8 月の夏季にかけて大きく増加する傾向が見られる．これは，夏季に河川流入量の増加や海面加熱により ($s_{tb} - s_{ts}$) が増大し，密度成層が形成され，安定した成層構造が比較的長期間継続したためと考えられる．

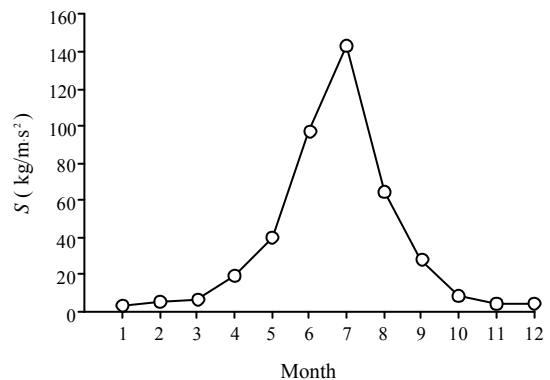


Fig. 5 S の季節変動

(2) 鉛直拡散係数及び酸素消費速度の季節変動

Fig. 6 及び 7 は，ボックスモデルにより得られた対象海域における K 及び R の月平均値を表したものである．図示されるように， K は夏季～秋季に減少し，冬季～春季に増加する季節変動を示す．一方， R は春季～夏季に正となり，秋季～冬季に負となる傾向を示す．ここで，特に K の季節変動は (1) で示した S のそれと密接に関連しているものと考えられる．すなわち，夏季～秋季においては河川流入量の

増加や海面加熱などにより密度成層が発達したために海水の鉛直混合が抑制された結果、 K は減少する。しかし、秋季～冬季にかけて台風の襲来や河川流入量の減少、さらには海面冷却などにより密度成層が弱まり、その結果海水の鉛直混合が促進されたために、 K は増加するものと推察される。

一方、 R の正負の変化は、下層での生化学的な O_2 の消費と生産の季節変動を示すものであり、春季～夏季における O_2 の消費には、海水温の上昇や海水中の有機物量の増加が、秋季～冬季における O_2 の生産には、海水温の低下や透明度の上昇による植物プランクトンの光合成の活性化が大きく関与しているものと考えられる。なお、本解析で得られた夏季の R は $1.0 \sim 1.5 \text{ mgL}^{-1} \text{ d}^{-1}$ で、他海域で報告されている酸素消費速度 ($0.1 \sim 1.29 \text{ gO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)⁸⁾ とほぼ同程度であった。しかし、本研究で用いたデータは大潮期に観測されたものであるため、小潮期を中心に発生する貧酸素水塊海況下の R は、ここで得られたそれより高くなるものと予想される。

今後、夏季を中心により詳細な現地観測データを集積すると同時に有明海奥部東岸域を考慮したモデルを構築し、有明海奥部における貧酸素水塊の発生機構について明らかにする必要がある。

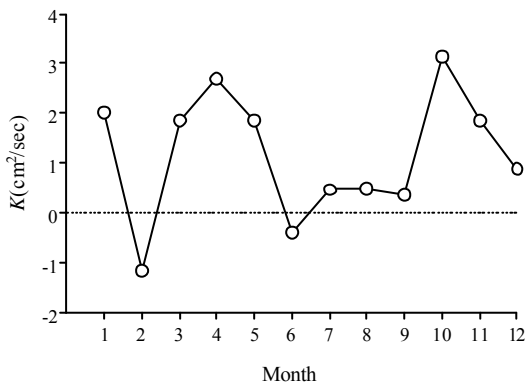


Fig. 6 K の季節変動

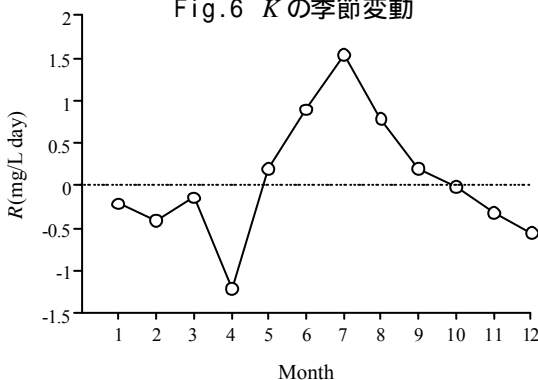


Fig. 7 R の季節変動

5. まとめ

本研究では、1972～2000年の浅海定線調査データを用いて、有明海奥部西岸域における貧酸素水塊の発

生要因に関連する $(s_{tb} - s_{ts})$ 及び S の季節変動を明らかにした。更に、ボックスモデルにより同海域における K 及び R の解析を行い、それらの季節変動の平年像について検討、考察した。ここで得られた主の知見は、次のように要約される。

- (1) 対象海域における $(s_{tb} - s_{ts})$ と底層の DO の季節変動は概ね逆の対応関係が見られ、 $(s_{tb} - s_{ts})$ は降水量の増加に伴い増大する傾向を示した。
- (2) 1972～2000年の対象海域における S の月平均値を計算した結果、 S は6～8月に大きく増加した。このことから、対象海域において夏季に降水量やそれに伴う河川流入量の増加により $(s_{tb} - s_{ts})$ が増大し、安定した密度成層が形成されるものと推察された。
- (3) ボックスモデルより対象海域における K 及び R の解析を行った。その結果、 K の季節変動は S のそれと密接に関連し、夏季～秋季に減少し、冬季～春季に増加する変動傾向を示した。また、 R は春季～夏季に正 (O_2 消費)、秋季～冬季に負 (O_2 生産) となる季節変動を示した。

参考文献

- 1) 佐藤正典, 東幹夫, 佐藤慎一, 加藤夏絵, 市川敏弘: 諫早湾・有明海で何が起きているのか?, 科学7月号, 岩波書店, pp.882-894, 2001.
- 2) 関口秀夫, 石井亮: 有明海の環境異変 有明海のアサリ漁獲量激減の原因について, 海の研究, 2, pp.21-36, 2003.
- 3) 梶原義範, 宮田友幸, 中野拓治, 磯野雅彦: 有明海奥部西岸域における2002年夏季の貧酸素水塊の発生状況について, 土木学会論文集, No.747/-65, pp.187-196, 2003.
- 4) 山口創一, 経塚雄策: 諫早湾における貧酸素水塊の形成機構, 海の研究, 15(1), pp.37-51, 2006.
- 5) 柳哲雄, 下村真由美: 有明海における成層度の経年変動, 海の研究, 13(6), pp.575-581, 2004.
- 6) 柳哲雄, 安部良平: 有明海奥部における塩分とDIP・DIN収支の経年変動, 海の研究, 14(1), pp.21-33, 2005.
- 7) 斉藤信弘, 大石興弘, 穴井功一, 森淳子, 今村修, 森崎澄江, 宝来俊一, 金城義勝, 広中博見, 大和康博, 広野岩男: 平成3年度九州・沖縄地方酸性雨共同調査結果, 全国公害研究会誌, 19, pp.147-156, 1994.
- 8) 柳哲雄: 貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響, 海の研究, 13(5), pp.451-460, 2004.

(2006.5.31 受付)

数値モデルを用いた有明海湾奥の 残差流に関する考察

Discussion about the residual current over the head of Ariake Bay with numerical model

濱田孝治¹・速水祐一²・山本浩一³・大串浩一郎⁴・平川隆一⁵

Takaharu HAMADA, Yuichi HAYAMI, Koichi YAMAMOTO,
Koichiro Ohgushi and Ryuichi Hirakawa

¹博士(工学) 佐賀大学講師 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²博士(農学) 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³博士(工学) 佐賀大学講師 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁴博士(工学) 佐賀大学助教授 佐賀大学工学部(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁵博士(工学) 佐賀大学助手 佐賀大学工学部(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

The formation of residual current over the head of Ariake bay is discussed with numerical model. Density current field and tidal residual current field are reproduced with the diagnostic model and tide model based on MEC numerical model and the contribution of them to the observed residual current field is examined. Wind induced current is neglected in this study because of the calm weather in the observation. The model may underestimate the density current, however, it is shown that its contribution can not negligible even in the vertically homogeneous condition with less river discharge and spring tidal phase.

Key Words : tidal residual current, density current, numerical model

1. はじめに

有明海には反時計回りの循環流があるとされており、多くの研究・報告が支持している。しかしながら、その内容を詳細に検討してみるとばらつきが多く、必ずしも整合性の取れたものになっておらず、その理解は定性的なものに留まっている。近年問題となっている有明海異変の原因解明のためには、湾内の物質循環機構を明らかにする必要があり、より定量的な把握が必要である。そこで本研究では、有明海湾奥(竹崎-三池以北)を対象海域とし、残差流場の構造解明と成因の考察を行うことを目的として診断モデルと潮汐・潮流モデルにより密度分布と潮汐が残差流場に与える影響の評価を行った。

2. 有明海湾奥の残差流の概要

本論に入る前に、有明海湾奥の残差流場について分かっていることを簡単にまとめておく。

海上保安庁発行の恒流図によれば、有明海湾奥には筑後川河口から北上し、岸を右に見ながら湾口に向かう反時計回りの循環流が存在する。ただしこれは既往の観測結果を基に総合的に判断されたものであり、季節変動や鉛直循環については考慮されていない¹⁾。

この反時計回りの循環の形成には、潮汐、河川流入、風が作用していることが考えられる。潮汐の作用としては、水平地形(岬など)の影響で生じる潮汐残差流、屈曲した地形で遠心力の作用により生じる2次流、潮流が等深線を横切ることにより生じるtidal rectificationなどがある。河川流入の作用は浮力注入による密度流の形成および洪水時の河口からの運動量の供給などが考えられる。風の影響によっては吹送流が形成される。

また、潮汐による鉛直混合が密度成層を壊し、密度流を変形するなどの複合した作用を考慮する必要もあると考えられる。

潮汐による残差流形成については、数値モデルによる研究がある(千葉・武本²⁾, Isozaki and Kitahara³⁾)。どちらも地形に対応して複雑な流れの構造が見られ、海上保安庁の恒流図とは若干傾向が異なり、潮汐による作用は

大きいとそれ以外の要素が働いていることを示唆している。実際、密度を考慮したモデルによる結果では反

などが考えられる。諫早湾干拓事業の影響としては、筑後川河川水が潮受堤防完成後大浦側により多く回るよう

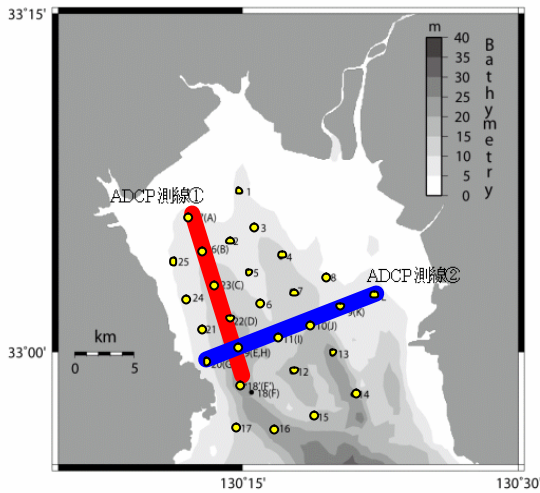


図-1 有明海湾奥．点は本文中の水質観測点，線は ADCP観測線を示す．

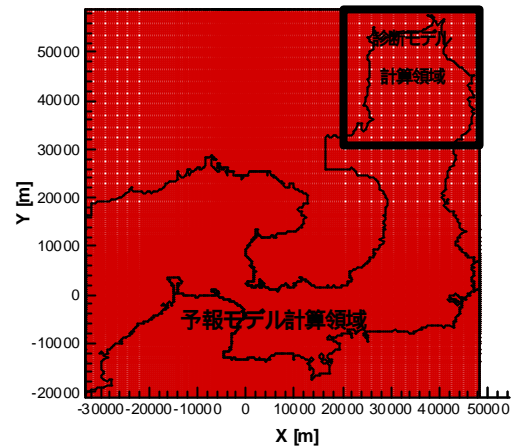


図-2 数値モデルの計算領域と格子分割例．

時計回りの循環流が得られている(田中ら⁴⁾、農水省ら⁵⁾)。特に、田中らは、モデルの結果から、湾奥の残差流分布が単純なエスチャリー循環を示さず、筑後川河口沖で河川流がいったん北上する傾向をしめすのは、潮汐の存在により河口で成層が維持されないためであろうと述べている。風の影響については、ここで取り上げている海域より若干南側についての議論になるが、木谷⁶⁾が実測データに基づき論じている。木谷⁶⁾によれば、冬には底層東側で流入、表層西側で流出と言う平均流パターンが存在し、その形成には季節風の影響が無視できない。

有明海湾奥の残差流は15昼夜観測の間でも大きく変動していることが小田巻ら⁷⁾によって示されている。濱田ら⁸⁾は、流速長期観測データの重回帰分析と数値モデルによりこれらの変動の原因を推定し、成層期には風の変動が、非成層期には潮汐の影響が大きく現れることを示した。なお、佐賀県太良町沖では、成層期と非成層期では潮汐の大潮・小潮変動の影響の現れ方が異なり、成層期には小潮期に、非成層期には大潮期に表層での流出傾向が強くなる(濱田,未発表)。

残差流の季節変動については、柳・下村⁹⁾がボックスモデルによる海水交換の季節変動の解析を行っており、有明海奥部では河川流量の違いによりRossbyの変形半径が変化するため、冬は底層流入・表層流出の鉛直循環、夏は東側流入、西側流出の水平循環パターンが卓越すると述べている。また、田中ら⁴⁾は、夏季には密度流と潮汐残差流、冬季には潮汐残差流と吹送流が卓越すると述べている。

経年変動の原因としては、諫早湾干拓事業をはじめとする干拓・埋め立てによる地形変化、河川流量の変動、気温、日射量、降水量などの気象状態の変動、外洋側の潮汐振幅の変動、平均水位や外洋水の水温・塩分の変動

になったという指摘がある¹⁰⁾¹¹⁾。柳ら¹²⁾は、主要四分潮の振幅の和と湾奥の海水交換に負の相関があることを示し、潮流による水平拡散の効果が無視できないためであるとしている(ただしこれは、潮流のさまざまな効果を総合して述べているもので残差流の変化についての直接的な言及では無い)。なお、潮汐振幅の変動に伴う海水交換の変化については、白木¹³⁾らが数値モデルによる解析をもとに現象の分類を試みているが、現在のところ単純化された矩形湾における成果のみである。下村¹⁴⁾らは、1990年から2000年の間で河川流量の減少と平均風速の増大により湾奥の成層強度が減少していることを示している。残差流について直接述べたものではないが、湾奥の残差流もこの変化に伴い変動していると考えられる。

3. 手法

有明海の残差流形成機構を明らかにするためには、残差流をまず潮汐によるもの(潮汐残差流, Tidal rectification等)、密度流によるもの、風によるもの(吹送流)など成因別に分離し、それらの寄与を明らかにすることが必要である。そこで本研究では、有明海総合研究プロジェクトによって2005年に行われた2回の海洋観測で得られた残差流分布について、診断モデル・潮汐・潮流モデルの二つの数値モデルを用い、密度流と潮汐残差流を求め、その寄与について考察した。

(1) 観測

観測の概要は大串らに詳しく述べられているので、ここではその概要のみを述べる。観測は2005年7月15日お

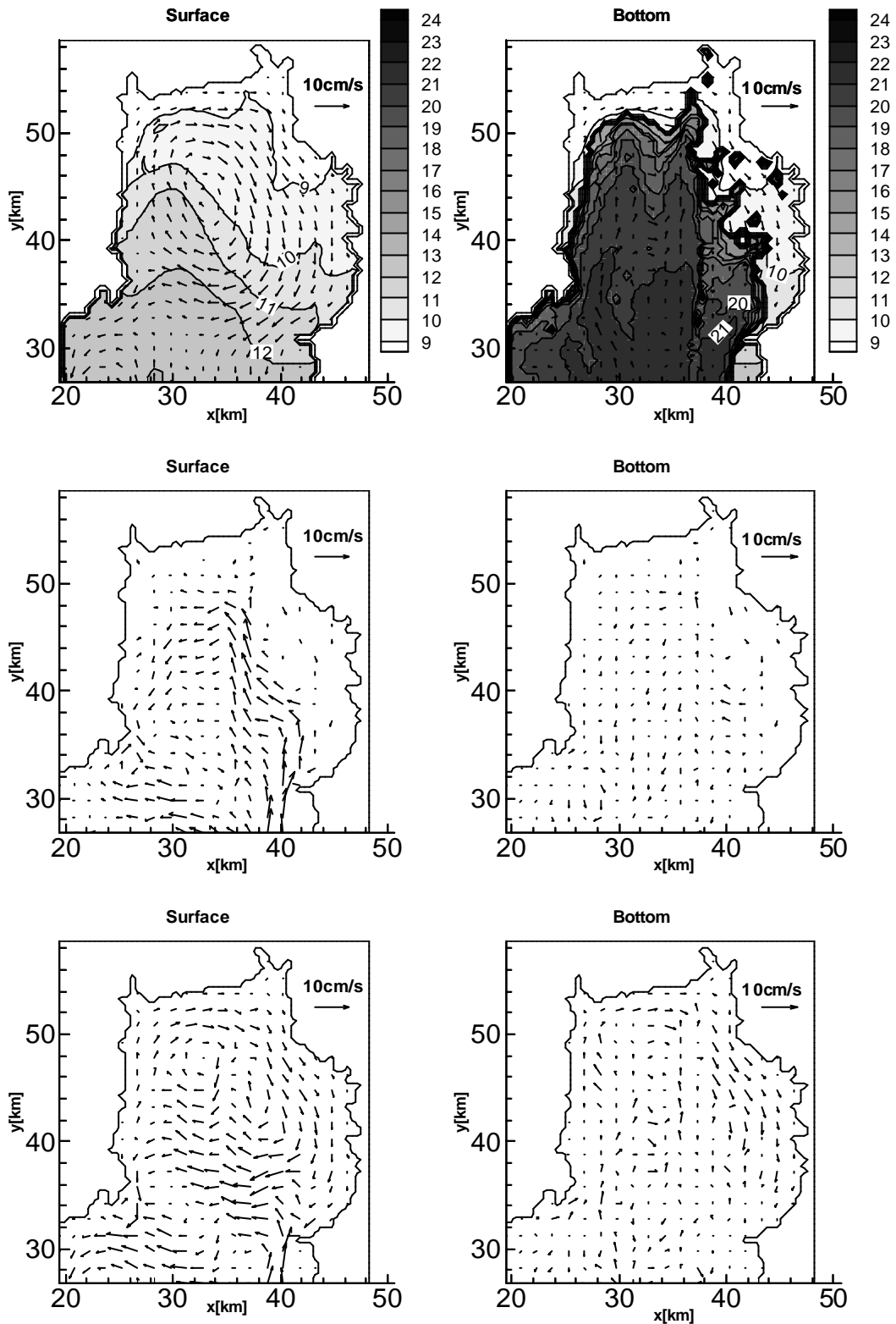


図-6 2005年7月15日の条件での残差流 (上)診断モデル(中)潮汐・潮流モデル(下)両者の重ね合わせ。左は表層、右は底層を表す。コンターは密度(t)。

よび同11月1日に行われた。水温・塩分観測は湾奥全域にわたり1潮汐間に2回行われた。流速観測は船載 ADCP(超音波流速計)により二つの観測線にそって1潮汐

間行われ(7月15日観測については観測線1のみ)、調和解析によって残差流の鉛直プロファイルが求められた。7月15日は強い成層が観測された。また、潮汐は小潮で

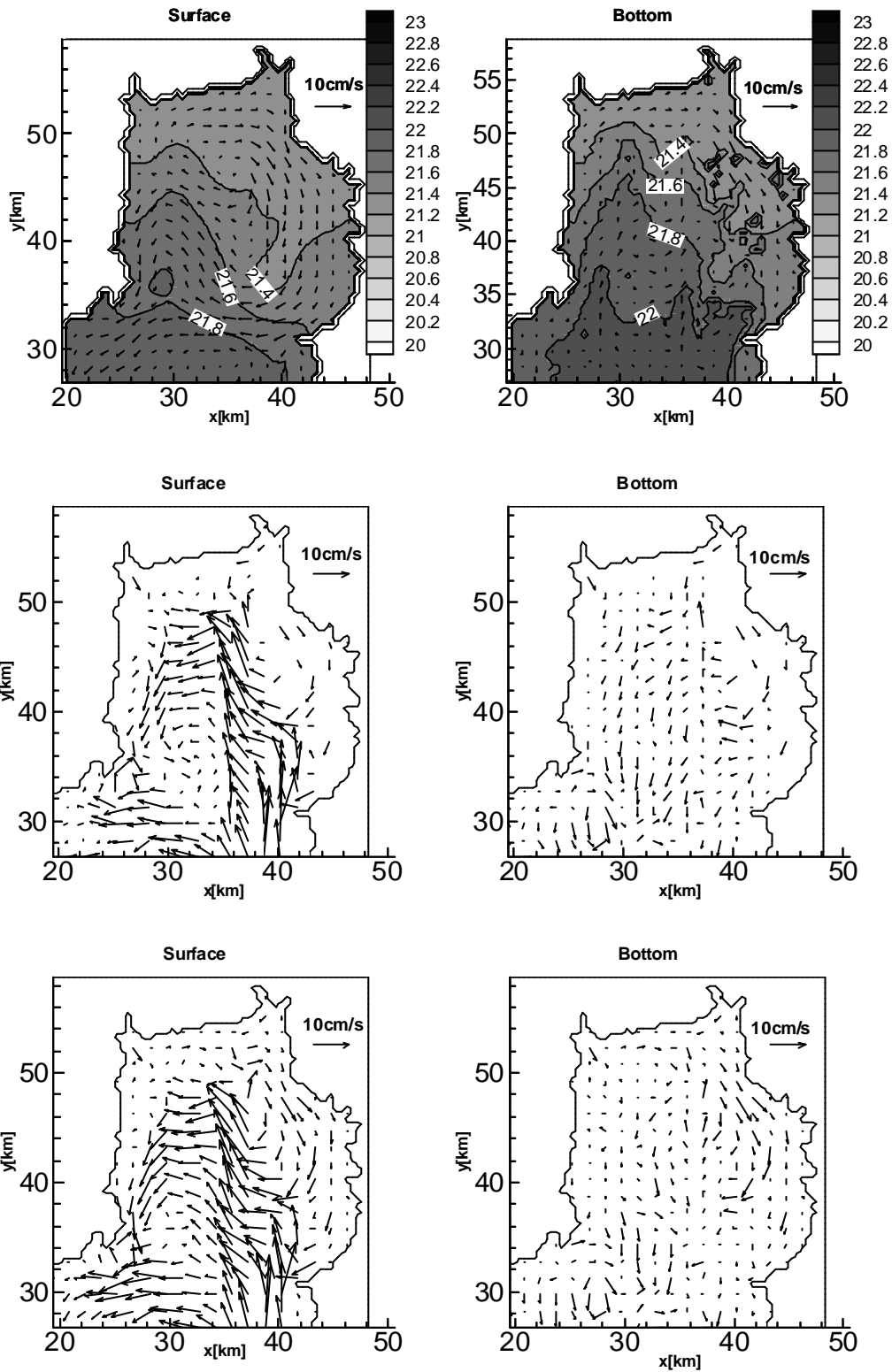


図-7 2005年11月1日の条件での残差流 (上)診断モデル(中)潮汐・潮流モデル(下)両者の重ね合わせ。左は表層、右は底層を表す。コンターは密度(t)。

あった。一方11月1日は非成層期であり、潮汐は大潮であった。このように2回の観測はそれぞれ密度流の影響が最も強く現れる状態と潮汐の影響がもっとも大きく現れる状態にあった。また、観測当日前後は風が弱かった

ので、今回の解析では吹送流の影響は考慮しないこととした。

(2) 数値モデル

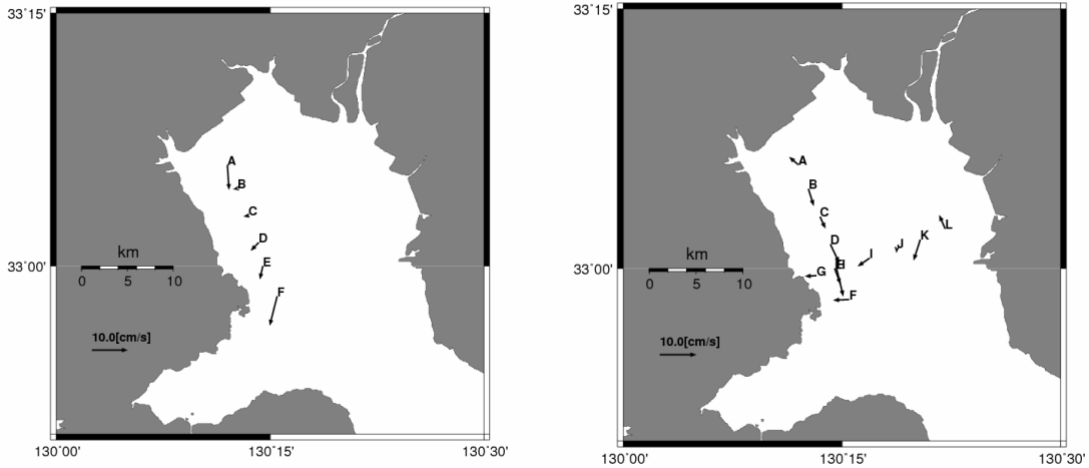


図-8 観測によって得られた表層残差流。(左)7/15 (右)11/1

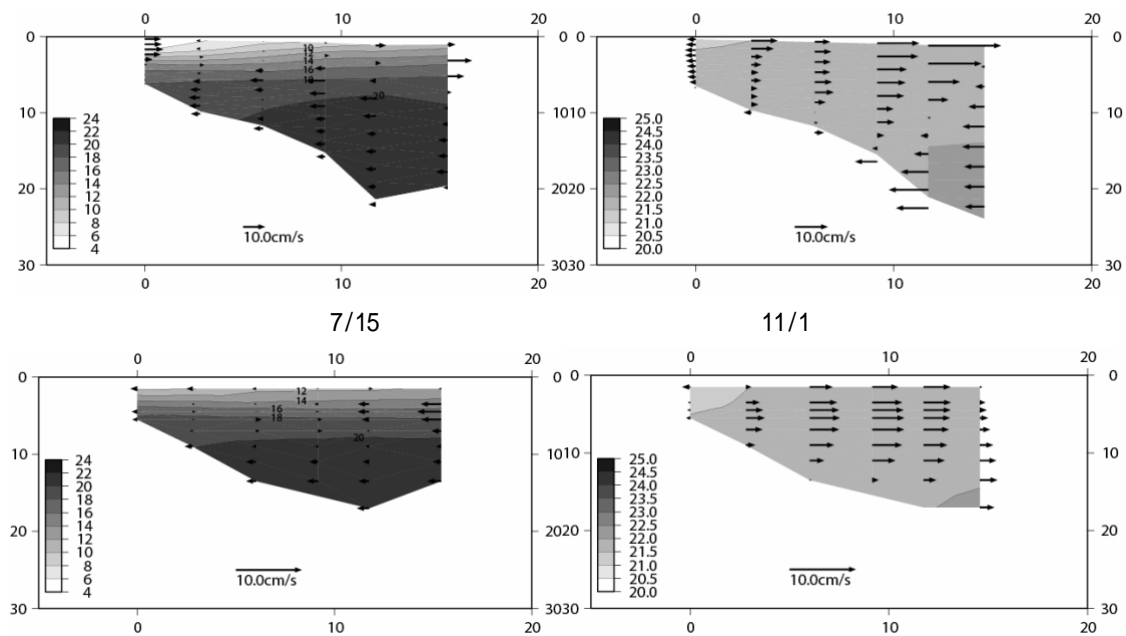


図-9 観測線1に沿った残差流鉛直分布の比較。(上)観測(下)計算

数値モデルにはMEC Modelをベースとした有明海数値モデルを使用した。

診断モデルはナッジング法を適用することとし、 $\nu = 1 \text{ 日}^{-1}$ とした。水温・塩分場は上記水質観測によって得られたものをスプライン補間したものを与えた。一方、潮汐・潮流モデルは密度一定とし、潮位変化のみを開境界で与えたものである。開境界で与える潮汐の周期は12時間とし、振幅は月齢を考慮して7月15日は1.11m、11月1日は2.06mとした。

計算領域を図1に示す、潮汐・潮流モデルでは残差流の再現性を高めるため橘湾を含む有明海全域とした。一方診断モデルの計算領域は、水温・塩分データを全域で与える必要があることから湾奥に限定した。使用した海

底地形データと格子分割は藤原ら¹⁵⁾のものを一部改変して使用した。

4. 結果と考察

(2) 7月15日観測に対応した計算結果

図-6に、診断モデル、潮汐潮流モデルそれぞれによって得られた表層および底層の残差流分布を示す。診断モデルの結果から、密度流として表層全域にわたり時計回りの渦が、また、底層では湾奥へ流入する流れが形成されていることがわかる。一方、潮汐・潮流モデルの結果から、特に湾の東側で強い流入傾向が見られ、また、湾西側ではそれより若干弱い流出傾向が見られる。両者

を重ね合わせた結果、筑後川河口沖でいったん南下して西岸に向かい、西岸に達した後一部が湾から流出するような傾向の残差流が形成されていることがわかる。

(2) 11月1日観測に対応した計算結果

図-7に、診断モデル、潮汐潮流モデルそれぞれによって得られた表層および底層の残差流分布を示す。診断モデルの結果からは、夏季ほど強いものではないが、同様に湾奥に時計回りの循環流が形成されていることがわかる。潮汐・潮流モデルの結果には強い残差流が形成されており、両者を重ね合わせると潮汐の影響が支配的になることが分かる。ただし、湾西側表層の流出傾向は密度流の影響によって強化されていることが読み取れ、非成層期大潮という潮汐の影響が最も強く、密度流の影響が最も小さい時期においても密度流の影響が無視できないことを示している。

(3) 観測結果との比較

まず残差流の水平分布について比較する。図-8に、観測によって得られた表層残差流分布を示す。7月15日観測については、湾西側で全体に西よりの流れとなっており、南側で流出傾向となるなどの特徴が一致していることが分かる。また、11月1日観測については、三池港北側に流入傾向が見られること、住吉川海底水道に沿って流出傾向がみられ、いったん西向きとなり湾西側の塩田川海底水道に沿っては流出傾向となるなどの特徴が計算においてよく再現されていることがわかる。

次に、図-9に、観測線1に沿った残差流の鉛直分布について比較した結果を示す。7月15日については底層側で流入傾向にあり、特に中層付近に弱い流入傾向があることなど定性的に一致している部分もあるが、全体に流速が弱く再現されている。また、11月1日については、とくにエスチャーリー循環に特徴的な下層流入・表層流出のパターンが潮汐残差流による全層流出のパターンに覆い隠されてしまっている。こうしたことから、モデルの密度流の再現についてはまだ改善の余地があると言える。

5. おわりに

本研究では有明海湾奥の残差流の形成機構を明らかにするため、成層期小潮・非成層期大潮という密度流の影響と潮汐の影響が最も卓越すると考えられる状況につい

て、診断モデルと潮汐・潮流モデルを用いて成因ごとに残差流の分離を試み、残差流形成への寄与について考察した。その結果、非成層期大潮の条件の下でも密度流の影響は無視できないことが分かった。ただし、密度流による鉛直構造が本モデルでは過小評価されており、さらに詳細な考察を行うためには改善の余地がある。

参考文献

- 1) 海上保安庁水路部: 有明海・八代海海域環境調査報告書, 1974
- 2) 千葉賢, 武本行正: 諫早湾潮受け堤防設置に伴う有明海の流況変化に関する研究, 海岸工学論文集, 50, 2003
- 3) Isozaki, I. And Kitahara, E.: Tides in the Bays of Ariake and Yatsushiro, The Oceanographical Magazine, 28, 1-2, 1977
- 4) 田中昌宏, 稲垣聡, 山本克則: 有明海の潮汐および三次元流動シミュレーション, 海岸工学論文集, 49, 2002
- 5) 農林水産省水産庁・農村振興局, 経済産業省資源エネルギー庁, 国土交通省河川局・港湾局: 有明海海域環境調査報告書, 2003
- 6) 木谷浩三: 有明海における冬季の平均流について, 海と空, 78, 4, 2003
- 7) 小田巻実, 大庭幸弘, 柴田宣昭: 有明海の潮流新旧比較観測結果について, 海洋情報部研究報告, 39, 2003
- 8) 濱田孝治, 経塚雄策: 有明海湾奥における循環流とその変動について, 海の研究, 投稿中
- 9) 柳哲雄, 下村真由美: 有明海における河口循環流の季節変動, 2006年度日本海洋学会春季講演会講演要旨集, 2006
- 10) 宇野木早苗: 有明海の自然と再生, 築地書館, 2006
- 11) 程木義邦: 有明海浅海定線調査データでみられる表層低塩分水輸送パターンの変化, 有明海の生態系再生をめざして, 恒星社厚生閣, 2005
- 12) 白木喜章, 柳哲雄: 河口循環流の潮汐振幅依存性, 2005年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 2005
- 13) 柳哲雄, 阿部良平: 有明海奥部における塩分とDIP・DIN収支の経年変動, 海の研究, 14, 1, 2005
- 14) 柳哲雄, 下村真由美: 有明海における成層度の経年変動, 海の研究, 13, 6, 2003
- 15) 藤原考道, 経塚雄策, 濱田孝治: 有明海における潮汐・潮流減少の原因について, 海の研究, 13, 4, 2004

(2006.5.31受付)

有明海湾奥部の残差流観測と衛星画像を用いた陸域・水域環境の推定

RESIDUAL CURRENT OBSERVATION OF THE INNERMOST PART OF THE ARIAKE SEA AND ENVIRONMENTAL ESTIMATION OF LAND AND SEA IN THIS FIELD BY USING SATELLITE IMAGES

大串浩一郎¹・速水祐一²・濱田孝治³・山本浩一³・平川隆一⁴

Koichiro OHGUSHI, Yuichi HAYAMI, Takaharu HAMADA,
Koichi YAMAMOTO and Ryuichi HIRAKAWA

¹博士(工学) 佐賀大学助教授 理工学部都市工学科(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²博士(農学) 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³博士(工学) 佐賀大学講師 有明海総合研究プロジェクト(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁴博士(工学) 佐賀大学助手 理工学部都市工学科(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

Residual currents in the innermost part of the Ariake Sea were obtained from 12 hours velocity measurements with ADCPs. The results indicate that estuarine circulation was dominated not only in autumn but also in summer even if a distinct density-stratification was formed.

Secondly, a method to estimate the water quality of innermost part of the Ariake Sea by satellite images was studied. The estimation models for not only the water transparency and temperature but also the chlorophyll-a were developed through regression analysis. The satellite images were also utilized to obtain terrestrial environment information. Land use changes in Chikugo River Basin for twenty years are estimated by this analysis.

Key Words: residual current, Ariake Sea, innermost part, estuarine circulation, ADCP, satellite images, water quality, Chikugo River Basin, terrestrial environment information

1. はじめに

有明海は、九州の4県に囲まれた閉鎖性内湾で、主に早崎瀬戸を通じて外海の東シナ海と海水交換を行っている。この水域の面積は約1,700km²、平均水深は約20mである。有明海は約6mの潮位差を有し国内最大である。

有明海湾内の流れは、近年、多くの研究機関や行政機関により観測が行われるようになった。しかしながら、湾内の物質輸送に重要な影響を与えらるる残差流の分布に関するデータは、現在の所、木谷の研究¹⁾以外ではほとんど得られていない。本研究では、湾奥部に限定し、ADCPを用いた流速観測から残差流を求め、CTDによる密度構造の観測結果と合わせて考察を行った。

また、有明海異変を解明していくためには、この内湾環境の長期的モニタリングが重要となってくる。しかし

ながら、この広い海域の調査を長期に行うには、非常に大きい時間とコストが要求される。したがって、広い海域をモニタリングするための効果的な手法の1つとして、衛星リモートセンシングが有力となる。

Ganら²⁾やOhgushiら^{3),4)}は、現地調査データと地球観測衛星LANDSAT-TM/ETM+画像を用いて有明海の透明度、海面温度、クロロフィルaなどの平面分布を推定するためのモデルを開発してきた。また、桐本ら⁵⁾は、地球観測衛星TERRAに搭載されたASTERセンサにより、諫早湾のSSの分布状況を観察する試みを実施している。

本報告の後半では、LANDSATと比較して空間解像度やバンド数で有利なTERRA-ASTER衛星画像を用いた水質情報、特に透明度、海水面温度やクロロフィルaの推定方法を検討するとともに、陸域環境の経年変化を定量的に把握するためにLANDSAT-TM/ETM+画像を用いた解析を併用して行った。

以上のように、本研究では、現地観測による有明海湾奥部の残差流構造の解明と、衛星画像を利用した海域・陸域環境の推定についての研究成果を報告する。

2. 有明海湾奥部における残差流の観測

(1) 観測方法

2005年7月15日（小潮、数日前に年最大規模の降水）並びに2005年11月1日（大潮）の2時期に、図-1のような海域で12時間にわたりADCPによる流速測定とCTDによる広域水質観測を実施した。図中の破線は、ADCPによる観測測線を示している。ADCPについては、7月15日は縦断方向A-Fライン（ADCP測線）のみ1隻で観測し、11月1日はそれに加え横断方向G-Lライン（ADCP測線）の観測を同時並行で2隻それぞれにADCPを取り付けを行った。ADCP船は、各測点で停止し、RD Instruments社

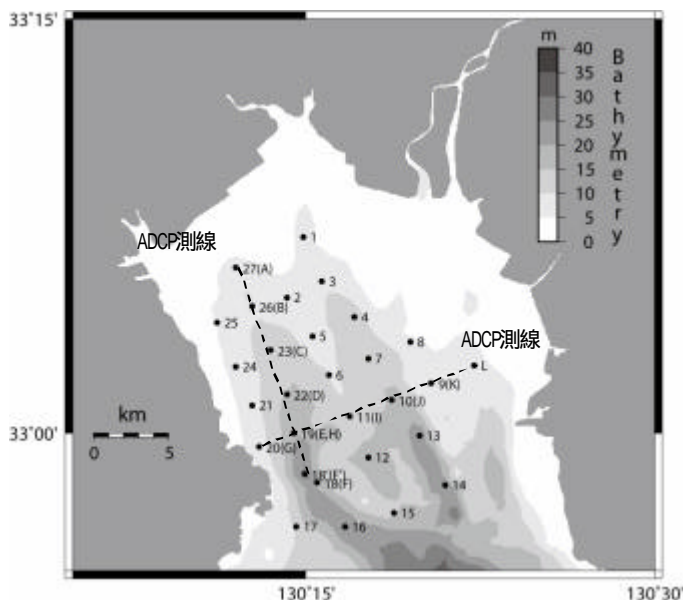


図-1 観測地点と平均水深分布

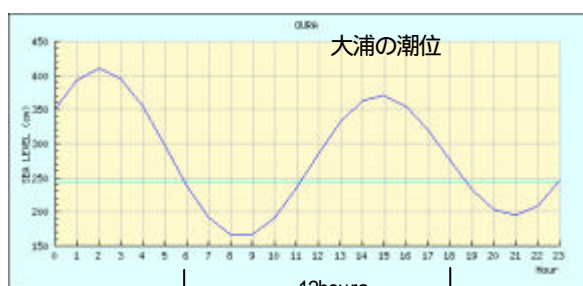


図-2 ADCPによる往復6回の観測

製Workhorse(1200kHz)により、流速の鉛直プロファイルを一時間測定の後、水質センサによる水温・塩分などの鉛直プロファイルを観測し、さらに、表層採水し、栄養塩濃度の分析を行った。この測線に沿った観測では、2時間につき1往復のスピードの測定を合計6往復実施した（図-2）。一方、CTD船は、別途、図-1の点1～点27を1隻にて2周周回し、アレック電子社製AAQ1183により、各点における水温、塩分、クロロフィル、濁度などの鉛直プロファイルを広域で観測した。

さらに、上記の2時期の観測に追加する形で2006年3月10日（中潮）に7月と同様の調査を実施した。

(2) 観測結果と考察

図-3は、ADCP測線とADCP測線に沿った残差流と海水比重の分布を示している。残差流は、調和解析により半日周潮成分を除去して求めた。測線上で得られた残差流は、上層で南へ流出、下層で湾奥の北に流入するという2層構造を示している。図-3(a),(b)には明瞭な密度成層が見られ、水深5m付近に密度躍層が存在しているのが分かる。

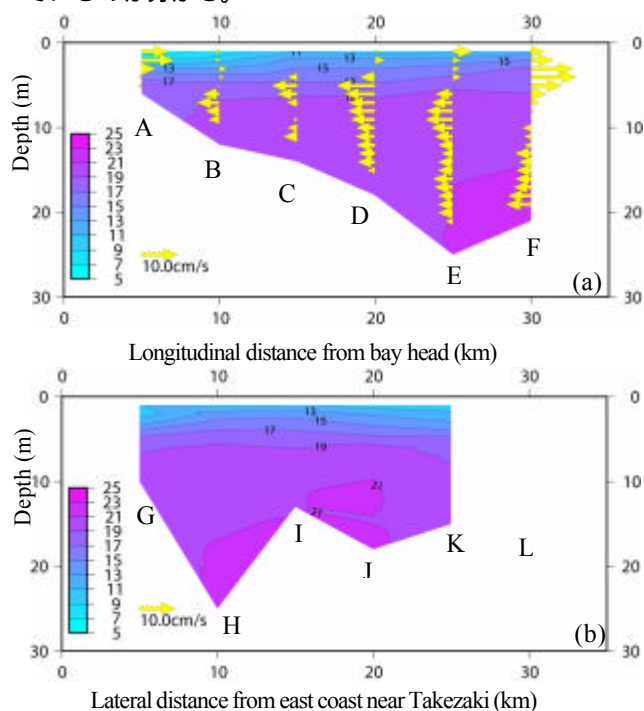


図-3 測線に沿った残差流の分布と測線、に沿った海水比重の分布（2005年7月15日小潮）
(a) 測線、(b) 測線

図-4(a)は、2005年11月1日に観測した測線上の残差流分布である。この日の残差流の分布は夏季と同様、上層流出、下層流入の2層構造となっていた。図-4(b)は、測線に沿った残差流を示している。この図における流速ベクトルの右方向は沖向き（南向き）を表し、左方向は岸向き（北向き）を表す。この測線上で最深部の測点Hにおいて沖向き流れが卓越しており、一方、西

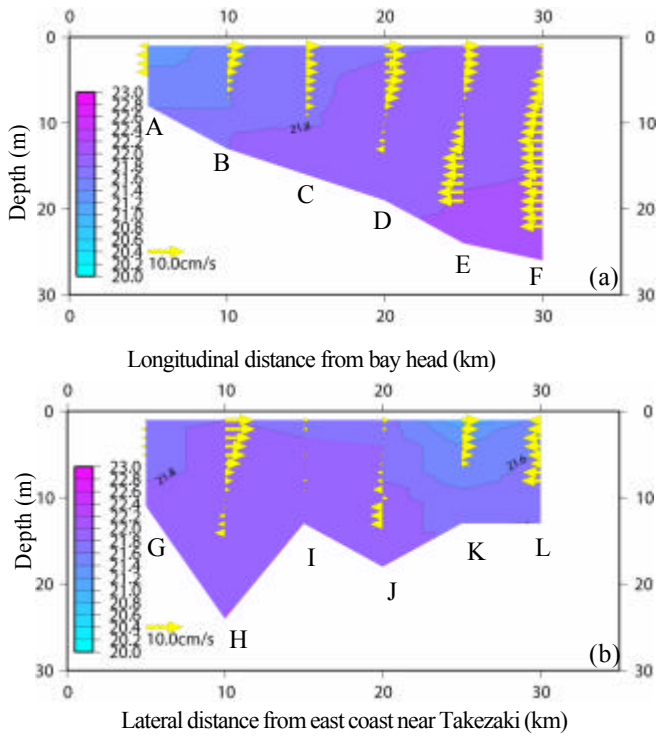


図 - 4 測線 A及び Bにおける残差流と海水比重の分布 (2005年11月1日大潮) (a):測線 A、(b):測線 B

岸付近の流れは岸向きの流入方向の流れとなっている。図中には海水比重の分布も示している。海水柱は鉛直方向に十分混合し、夏季のケース (図 - 3) と対照的である。

図 - 5, 6 にそれぞれ2005年7月15日 (夏季小潮) と2005年11月1日 (秋季大潮) の残差流の水平分布 (水深3m, 7m, 13mにおける) を示す。7月15日の表層 (水深3m) においては、測点Fで南向きの残差流がある以外は全て西向きである (図 - 5)。この西向きの残差流は、湾奥からの淡水供給によって上層で発散領域が発生したためだと考えられる。しかし、同日の下層7m、13mでは岸向き (北向き) となっている。7月15日は5m以浅に密度成層が発達していたが、それでも密度躍層の下層で湾奥へ流入する上層流出・下層流入のエスチャリー循環が形成されていて、上層ではそれと同時に急激な淡水供給による密度効果で西向き流れが作られたと考えられる。一方、11月1日については、水深3m、7mともに南向きの流出 (7m層では若干東西成分が入っているが) で、13m層では北向き (湾奥方向) の流入となっている (図 - 6)。この時期は成層が弱く、上層流出、下層流入が顕著となっていた。

2つの観測日とその数日前の気象条件について見てみると、7月15日については、3日前に降雨のため筑後川 (瀬の下) で日平均流量1700m³/sを超えた。一方、11月1日については、降雨の影響はなく同地点の流量は40m³/s程度であった。また、2時期とも風速は2m/s程度以下と小さかった。残差流の影響因子としては、水温や塩分の分布特性による密度流と風による吹送流、潮汐残

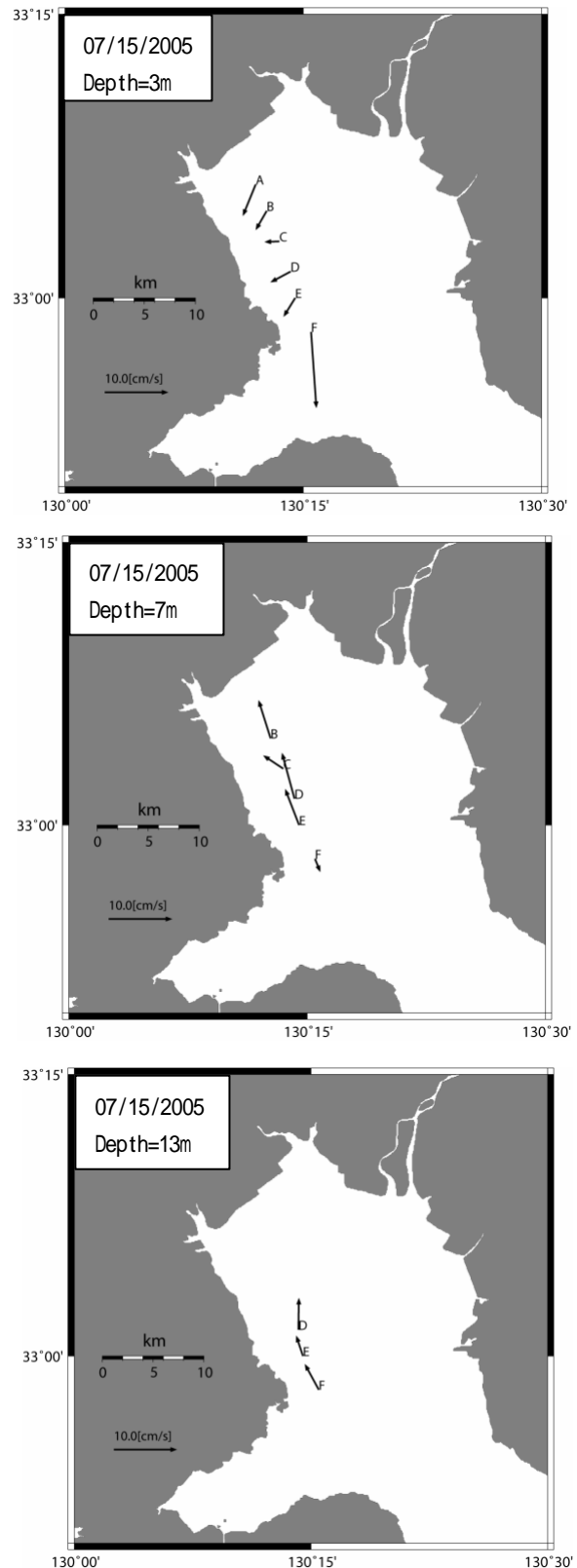


図 - 5 2005年7月15日の水深3m, 7m, 13mにおける残差流の水平分布

差流などが考えられるが、7月15日、11月1日ともに風の影響は小さいと考えて良く、一方、密度効果としては塩分分布の影響が大きく、夏季小潮期、秋季大潮期ともにエスチャリー循環が形成されていたと考えられる。た

だし、短期的な淡水供給のため、夏季小潮期には表層で別の流れが加わったものと思われる。また、11月1日の測線上の東側で流入と流出部分が見えるのは、主として地形性の潮汐残差流に基づくものと推定される。参考のために2005年7月15日に実施したCTD船による広

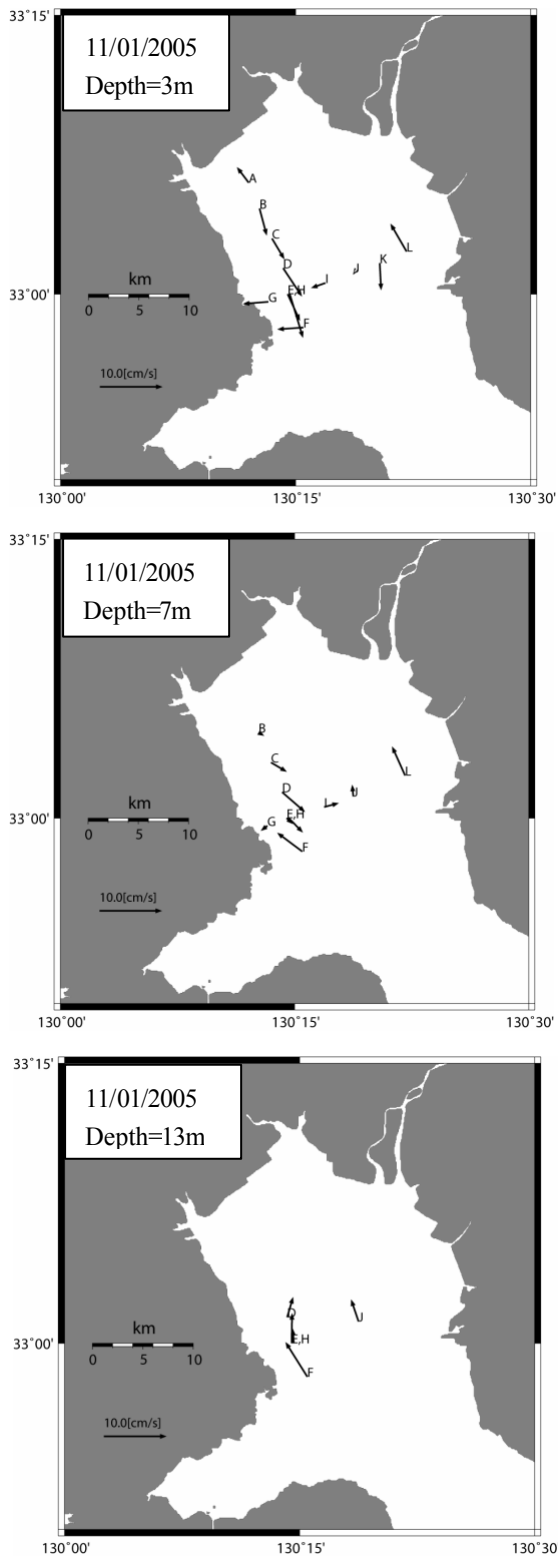


図 - 6 2005年11月1日の水深3m, 7m, 13mにおける残差流の水平分布

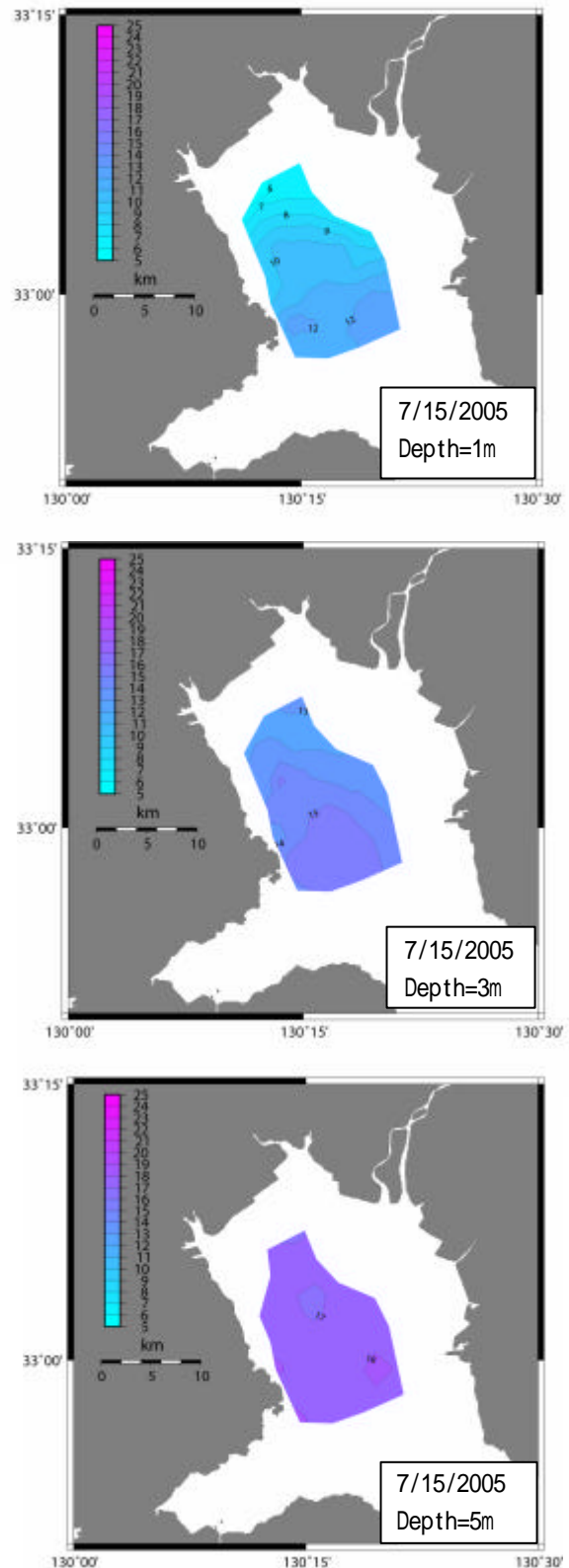


図 - 7 2005年7月15日の水深1m, 3m, 5mにおける海水の密度分布 (比重分布)

域の水質分布観測の一部を図 - 7 に示す。CTD船は27地点を2周回り12時間で観測しているので、この図は、日中の平均的な密度場を示している。表層付近に水平的な密度勾配が現れており、この影響で表層に西向き流れが生まれたものと考えられる。

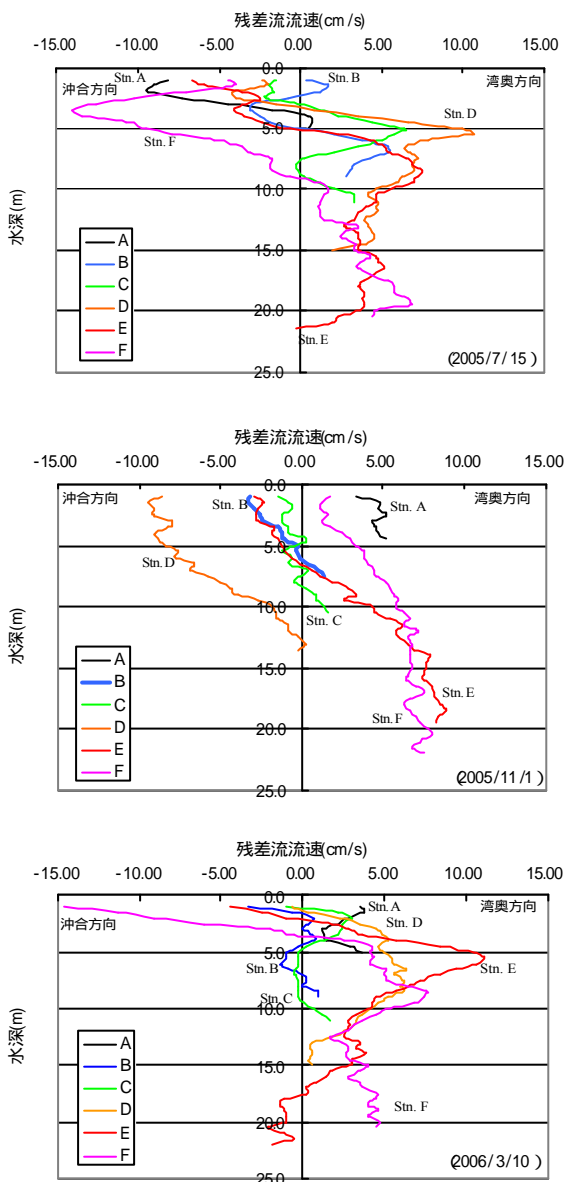


図 - 8 残差流の鉛直分布（上から 2005/7/15, 2005/11/1, 2006/3/10, 測点 A~Fの位置は図 - 1参照）

以上の調査と同様の調査を2006年3月10日（中潮）に実施した。その観測で得られた測線における残差流の分布を図 - 8 に示す。図 - 8 には比較のために2005年7月15日、11月1日の残差流分布も示している。3月10日は、塩分成層していたことと、沖合から湾奥に向けて中層に流入する残差流成分が現れる3層構造を示しており、下層での流入はそれほど顕著ではなかった。

3. 衛星画像を用いた陸域・海域の環境推定

(1) TERRA-ASTER画像による海域環境推定

a) TERRA-ASTERセンサについて

NASAは、近年顕著な地球規模の環境問題のメカニズムを説明するためにEOSプロジェクト（Earth Observing

System Project）を立ち上げた。EOSプロジェクトの一環として地球観測衛星TERRAが1999年に打ち上げられた。TERRAのプラットフォームには5種類のセンサが搭載されている。ASTER（Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer）はそのうちの1つのセンサであり、我が国によって開発されている。ASTERセンサは、LANDSAT-TM/ETM+センサの後継機としての強力なツールとなることが期待されている。ASTERセンサは、可視域から熱赤外域まで14バンドという広いスペクトル範囲をカバーしている。ASTERは次の3つのサブシステムから構成されている。すなわち、可視近赤外放射計（VNIR）、短波長赤外放射計（SWIR）、そして熱赤外放射計（TIR）である。VNIRは可視域から近赤外域までカバーする空間解像度15mのセンサである。一方、SWIRは短波長赤外域を受け持ち、空間解像度は30mである。一番波長の大きい熱赤外域はTIRで観測され、空間解像度は90mとなっている。その概要を表 - 1 に示す。

表 - 1 TERRA-ASTERセンサの観測波長域と空間解像度

放射計	バンド番号	波長域 (μm)	空間解像度 (m)
VNIR	1	0.52 - 0.60	15
	2	0.63 - 0.69	
	3	0.76 - 0.86	
SWIR	4	1.60 - 1.70	30
	5	2.145 - 2.225	
	6	2.185 - 2.225	
	7	2.235 - 2.286	
	8	2.295 - 2.365	
	9	2.360 - 2.430	
TIR	10	8.125 - 8.475	90
	11	8.475 - 8.825	
	12	8.925 - 9.275	
	13	10.25 - 10.95	
	14	10.95 - 11.65	

b) ASTER画像を用いた水質推定方法

有明海は我が国最大の潮位差を有するため、広い区域で潮汐による規則的な干出が繰り返され、広大な干潟が形成されている。ここは、生物にとっても最も活気に満ちた場所であるとともに環境学的にも重要な所である。また、本研究で使用するTERRA-ASTER衛星画像は、バンド数が多いことに加え、空間解像度が高いため、1枚の画像で有明海全体をカバーすることはできない。以上のような理由で、本研究では、研究対象地域として有明海湾奥部に焦点を当て、解析することとした。

本研究で利用したTERRA-ASTER画像は、有明海湾奥部が含まれる2002/3/13、2002/9/21ならびに2004/12/15の3シーンである。これらのデータを選んだ理由は、現地観測（観測地点は図 - 9 を参照）を同日同時刻に実施し



図 - 9 本研究で用いた有明海灣奥部における水質観測地点

ていることと、2002/3/13ならびに2002/9/21については、LANDSAT-ETM+の衛星画像が利用可能であるため、それぞれの衛星から推定される水質指標の精度を比較検討することが可能であるためである。現地観測による観測項目は、透明度、水温、塩分、クロロフィルaなどである。これらの衛星画像は幾何補正ならびに大気補正を行うことで、お互いの比較が可能となる。幾何補正としては、国土地理院発行の数値地図海岸線・行政界のベクトルデータを参照画像として用いた。視程などの気象情報はそれぞれの画像に対する大気補正に用いた。以上の幾何補正ならびに大気補正については、ERDAS IMAGINE[®]ならびにATCOR⁷⁾というソフトウェアを用いて解析を行った。

前者のソフトウェアにより衛星画像のインポートならびに幾何補正を行い、後者のソフトウェアにより大気補正を行った放射輝度情報の画像を取得した。次に、LANDSAT-TM/ETM+画像データに対しては7つのバンド、TERRA-ASTER画像データに対しては、14のバンドのDN値と実測値との回帰解析を統計解析ソフトウェアS-PLUSを用いて行い、そこから得られる回帰式を用いて有明海灣奥部の水質指標の推定分布図を作成した。

c) 回帰解析の結果

水質指標として海面温度、透明度、クロロフィルaならびに塩分を選び、観測値に対して回帰解析を行った。TERRA-ASTERについては前述の通り3枚のシーンをを用い、一方、LANDSAT-TM/ETM+については8枚の画像を解析に用いた。これらの画像から水質を推定する推定式の精度を比較するためにLANDSAT画像の大気補正についても、大気補正プログラムATCORを用いて再度補正作業を行った。その理由は、LANDSAT-TM/ETM+画像の大気補正については、以前、LOWTRAN⁷⁾を用いた補正を行っていたが、今回、TERRA-ASTER画像に施す補正と全く同じ補正を行うことで正確な比較が可能であると考えたためである。回帰解析によりASTER画像による海面温度（SST）推定のための回帰式が以下のように得られた。

$$SST = \exp(k + a_1 DN_1 + a_2 DN_2 + a_3 DN_3 + a_6 DN_6 + a_7 DN_7 + a_8 DN_8 + a_9 DN_9 + a_{13} DN_{13}) \quad (1)$$

ここで、各定数はそれぞれ、 $k = 3.2134$, $a_1 = 0.0014$, $a_2 = -0.0228$, $a_3 = 0.0365$, $a_6 = 0.0404$, $a_7 = -0.3010$, $a_8 = 0.1429$, $a_9 = 0.0760$, $a_{13} = 0.0090$ であり、 $DN_i (i = 1, 2, \dots)$ は大気補正後のバンド*i*のデジタルナンバーである。熱赤外バンドについては、バンド13のみを使用しているが、他の熱赤外バンドも使用したモデルと比較して結果の差がほとんど出てこなかったため省略することとした。これは、他の水質指標でも同様である。

図 - 10(a)はTERRA-ASTER画像から得られた推定海面温度と観測値の比較のための散布図である。この図の中でさまざまな季節のデータが含まれているが、これにつ

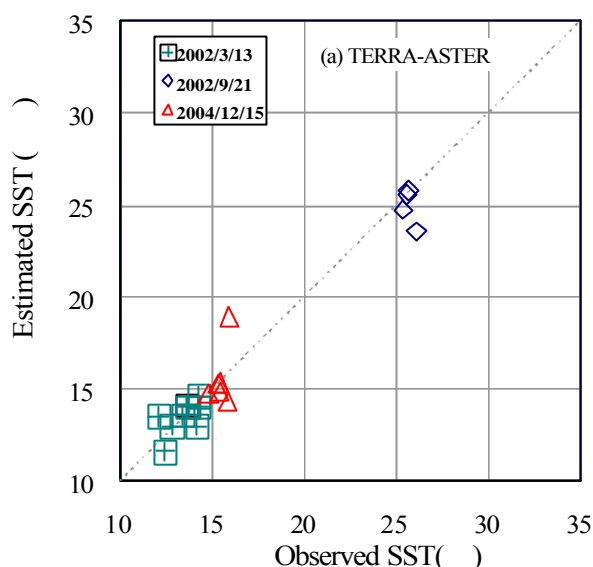


図 - 10(a) TERRA-ASTER画像により得られた推定海面温度と観測値の比較

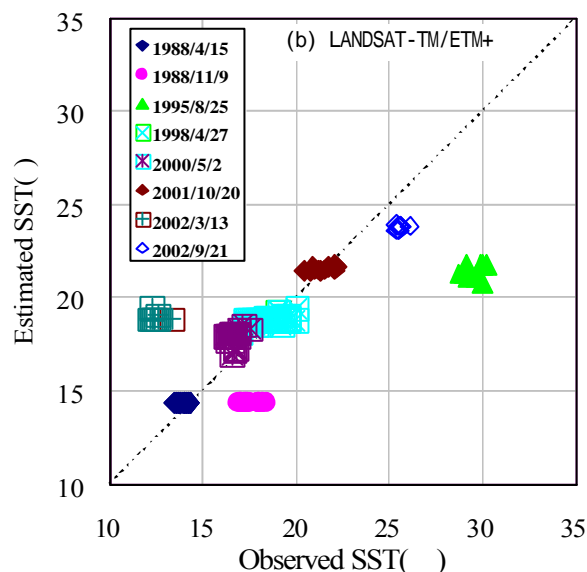


図 - 10(b) LANDSAT-TM/ETM+画像によって得られた推定海面温度と観測値の比較

いては既往の研究²⁾の中で、1つの季節のみを回帰解析に用いて得られたモデルでは、他の時期の推定が困難であり、複数の季節の情報を取り込むことでより精度が向上することと、さらに、大気補正を適切に行えば、多時期のデータを同じように扱えるということが理由としてあげられる。決定係数 (= 相関係数²) は $R^2 = 0.9362$ である。

一方、図 - 10(b)はLANDSAT-TM/ETM+画像による結果である。この場合の決定係数は $R^2 = 0.5377$ であった。LANDSAT-TM/ETM+に比べてTERRA-ASTERの推定精度が格段に向上した理由としては、この衛星画像の高い空間解像度とスペクトル解像度の両方が影響したと考えられる。LANDSATでは、1995/8/25や2002/3/13の水温の推定精度が悪いが、これは、LANDSATのモデルでバンド6のみ用いていたためであると考えられる。ASTERでは可視域から近赤外域までの情報を取り入れたことも精度向上に役立ったと思われる。LANDSATの場合、同様のバンドをモデルに用いた解析も行っているが²⁾、敢えてモデルに取り込むまでの精度向上にはつながらなかった。その理由としては空間解像度の問題があげられる。

海水面温度と同様の線形回帰解析により、ASTER画像による透明度 (SDD) を推定する回帰式が以下のように得られた。

$$SDD = 1 + b_1 DN_1 + b_2 DN_2 + b_3 DN_3 + b_6 DN_6 + b_7 DN_7 + b_8 DN_8 + b_9 DN_9 + b_{13} DN_{13} \quad (2)$$

ここで、各定数はそれぞれ、 $1 = 12.1623$, $b_1 = 0.0220$, $b_2 = -2.7063$, $b_3 = -0.7135$, $b_6 = 0.3033$, $b_7 = -1.7940$, $b_8 = 7.7106$, $b_9 = 0.5256$, $b_{13} = 0.0240$ であり、 DN_i は上述と同様、各バンドのデジタルナンバーである。

図 - 11(a)にTERRA-ASTER画像により求めた推定透明度と観測値の比較を示す。一方、図 - 11(b)にはLANDSAT-

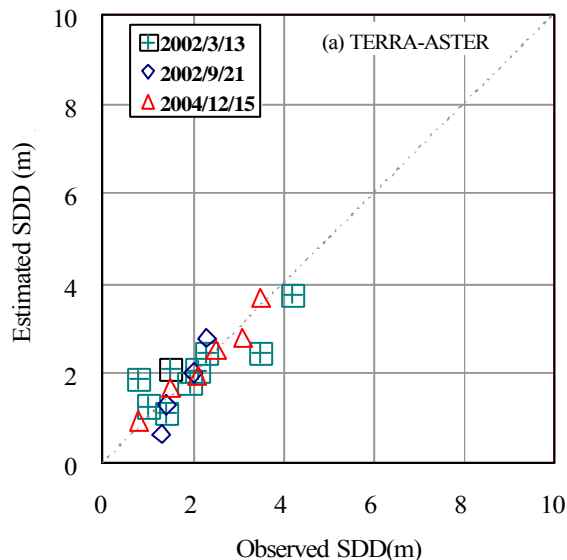


図 - 11(a) TERRA-ASTER画像による推定透明度と観測値の比較

TM/ETM+画像による推定透明度と実測値の比較を示している。前者の R^2 は 0.7689、後者は0.4678であった。推定精度の違いの理由は、海水面温度の時と同じと考えられるが、一方、LANDSATでは、1998/4/27の観測における一部の透明度の高い測定データがうまく再現されていないため精度を落としていると言える。ASTERの場合の透明度が高い水域での比較検討が必要である。

一方、線形回帰解析により、以下のようにASTER画像によるクロロフィルa濃度 (CHL) の推定式が得られた。

$$CHL = m + g_1 DN_1 + g_2 DN_2 + g_3 DN_3 + g_6 DN_6 + g_7 DN_7 + g_8 DN_8 + g_9 DN_9 + g_{13} DN_{13} \quad (3)$$

ここで、それぞれの定数は、 $m = -19.1775$, $g_1 = 0.2404$, $g_2 = 0.7241$, $g_3 = 0.6714$, $g_6 = -1.9499$, $g_7 = 2.9247$, $g_8 = -7.9891$, $g_9 = -0.2075$, $g_{13} = 0.0523$ である。

図 - 12(a)は、TERRA-ASTER画像を用いて推定したクロロフィルa濃度と実測値の比較を表したグラフである。一方、図 - 12(b)はLANDSAT-TM/ETM+画像による推定クロロフィルa濃度と実測値との比較図である。それぞれの決定係数は、前者が $R^2 = 0.9667$ 、後者が $R^2 = 0.4509$ であった。LANDSAT-TM/ETM+においては、高い濃度のクロロフィルa濃度の時、特に2000/11/10で大きな誤差が表れている。図 - 13は、観測地点毎の推定クロロフィルa濃度と実測値との比較を示している。2004/12/15では、ほぼ完全に推定クロロフィルa濃度と実測濃度の値が一致している。この日のクロロフィルa濃度は比較的高いが、TERRA-ASTER画像による回帰モデルはLANDSATの場合に比べてより高い精度で推定していると言えるであろう。その理由としては、クロロフィルa濃度の場合、特に可視域バンドの空間解像度の違いが大きく効いているのではないかと考えられる。現地観測の際にもクロロフィルa濃度が高い水塊が見られ、30mの解像度ではそれが捉え

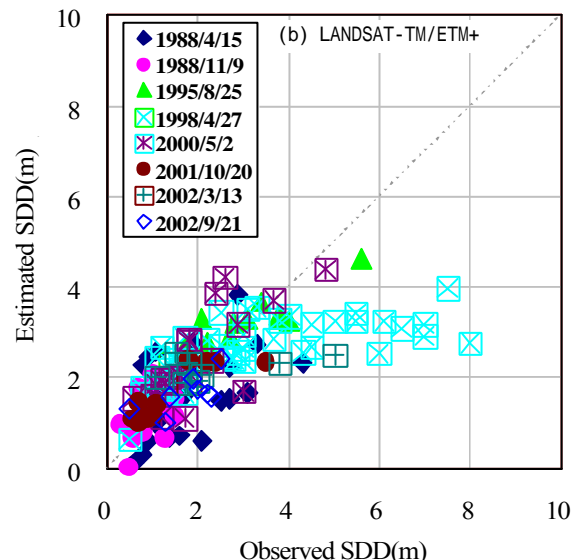


図 - 11(b) LANDSAT-TM/ETM+画像による推定透明度と観測値の比較

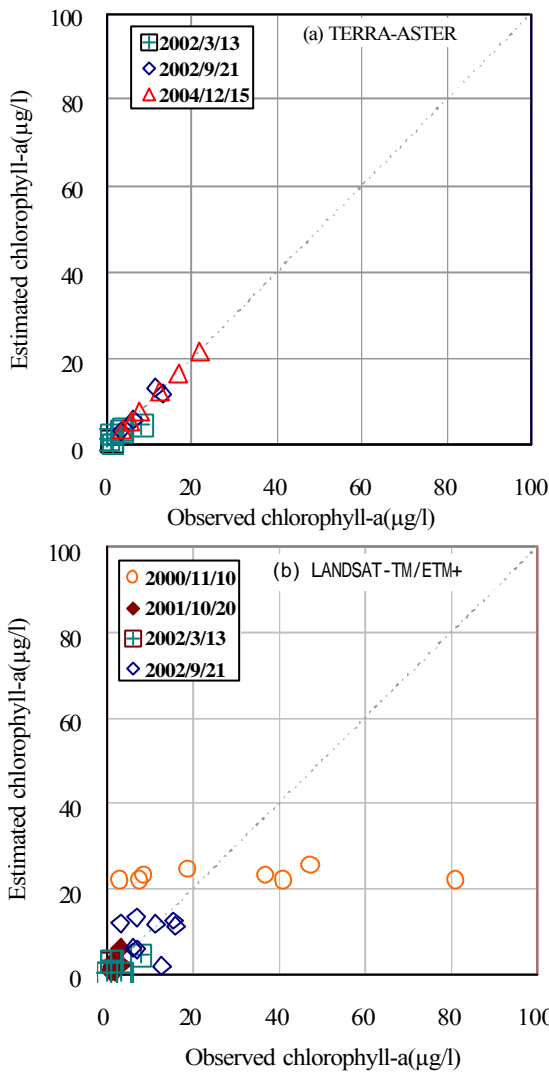


図 - 12(a)(b) TERRA-ASTER 画像・LANDSAT-TM/ETM+による推定クロロフィルa濃度と実測値の比較

にくかったのではないかとと思われる。

d) 湾奥における海水面温度分布の推定

有明海湾奥部の海水面温度を式(1)により推定した。2002/3/13ならびに2002/9/21に取得されたTERRA-ASTER衛星画像を幾何補正・大気補正後に海水面温度分布に変換した画像が、図 - 14である。この図によれば、干潟付近の水面温度は他に比較してより高い値を示しているのが分かる。これは、河川からの流出並びに春と初秋の日中の浅海域であることなどが理由であると考えられる。さらに、諫早湾と諫早干拓付近においても高い海水面温度が分布していることが分かる。このように衛星画像を利用することで、これらの様子が面的に確かめられる。

(2) LADSAT-TM/ETM+画像による陸域環境推定

有明海を取り囲む陸域の流域面積は約8,300km²と有明海のほぼ5倍の広さである。2000年度のノリ不作を契機とした有明海問題の研究が各方面の研究機関で始められ

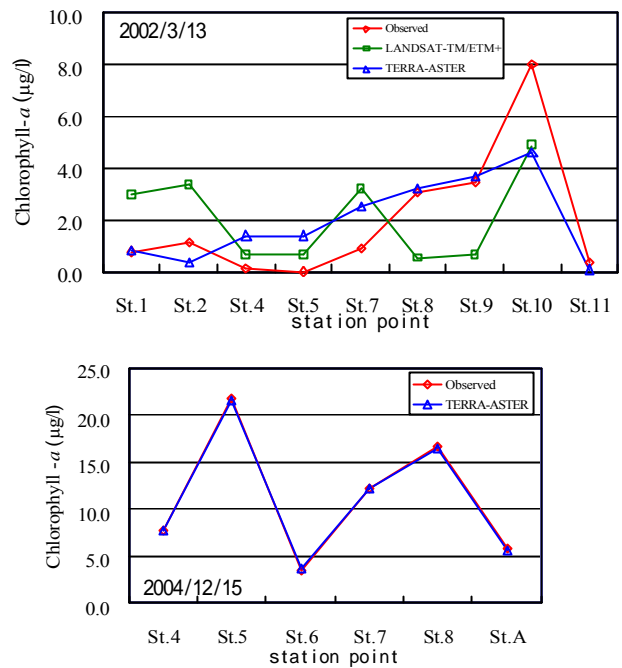


図 - 13 クロロフィルa濃度の推定精度比較

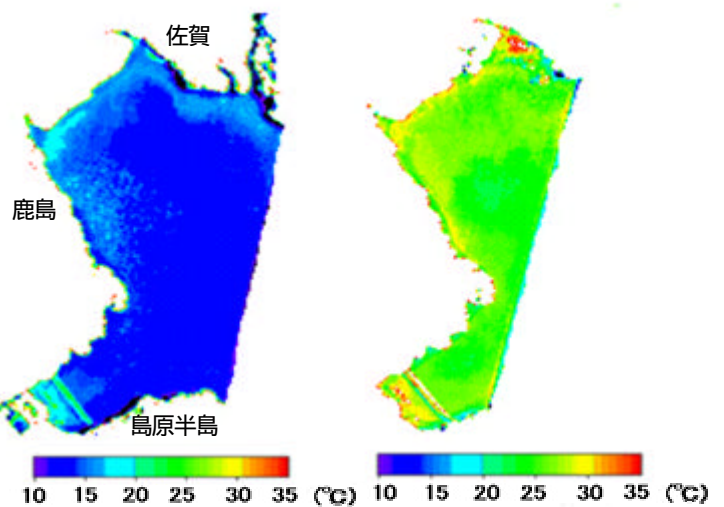


図 - 14 TERRA-ASTER画像により得られた海水面温度分布 (左 : 11:12JST, 2002/3/13, 右 : 11:12JST, 2002/9/21)

ているが、陸域からの流入負荷がどの位影響しているのかについてはまだ詳しく分かっていない。本研究では、陸域から有明海へ流入する各種物質の負荷量を定量的に捉えるため、各河川流域からの流入変動がどのように起きるのかを明らかにし、有明海の流動・物質輸送・生態系モデルの境界条件としての高精度化を図ることを目的としている。具体的な手法としては、有明海を取り囲む流域全体の土地利用変化を衛星リモートセンシングによる広域の解析により明らかにする手法を採用した。地球観測衛星LANDSATの画像のうち、有明海とその流入河川

流域を包含し、1つは比較的古い衛星画像（1984年）、さらにもう一つは比較的新しい画像（2002年）を選定し、幾何補正・大気補正・モザイク処理などを行い、教師なし分類により土地利用状況の分類を行った。その結果を主要河川流域毎に流域界で分け、流出解析との組み合わせにより有明海への流入負荷の空間的・時間的変動特性を解析するためのツールの開発の一部を今年度は実施した。

図 - 15は、幾何補正したLANDSAT-TM衛星画像2枚（1984年9月27日及び1984年10月22日）をATCORという大気補正プログラムを用いて大気補正を行い、さらにモザイク処理を行って得られた画像である。この画像をもとに、教師なし分類手法の1つであるISODATA法を用いて、土地被覆分類を行ったものが、図 - 16である。分類項目は水域、田畑、森林、裸地、都市域など計10項目とした。また、有明海流入主要河川のうち、嘉瀬川、筑後川、矢部川、菊池川の4河川流域の流域界を同図に黄色線で表示している。図 - 17は、図 - 15のモザイク画像を筑後川流域で切り出した画像である。なお、この流域には便宜上、佐賀市も含ませている。図 - 18は図 - 17に対してISO-DATA法により土地被覆分類を行ったものである。同

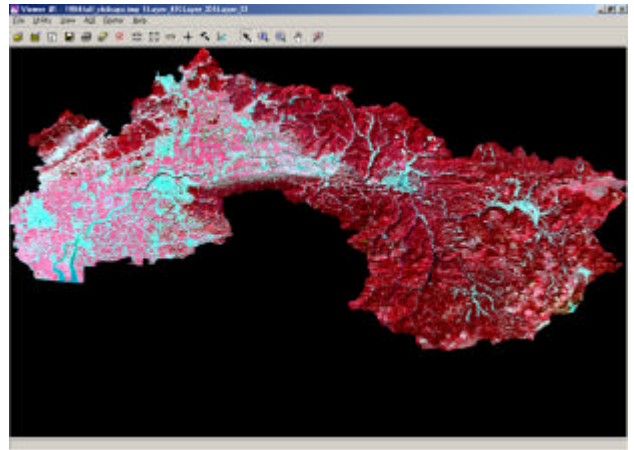


図 - 17 1984秋の筑後川流域で切り出したLANDSAT-TM画像

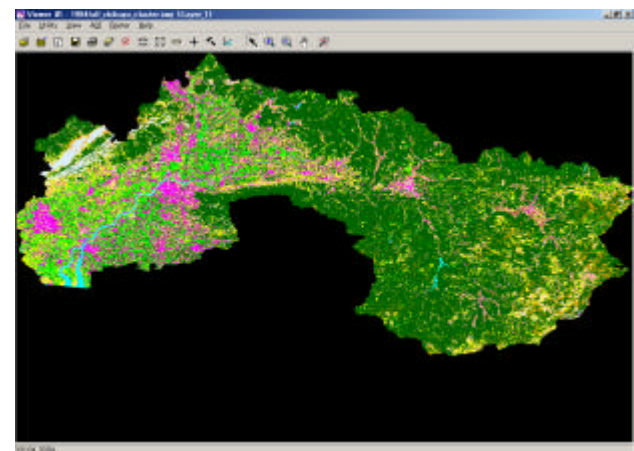


図 - 18 1984秋の筑後川流域の推定土地被覆分類画像

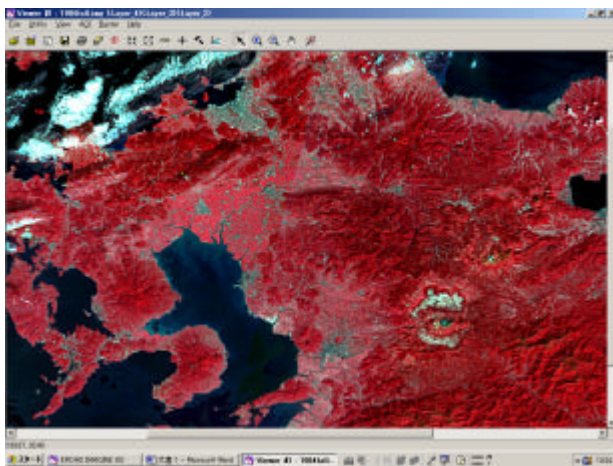


図 - 15 モザイク画像（1984年秋）

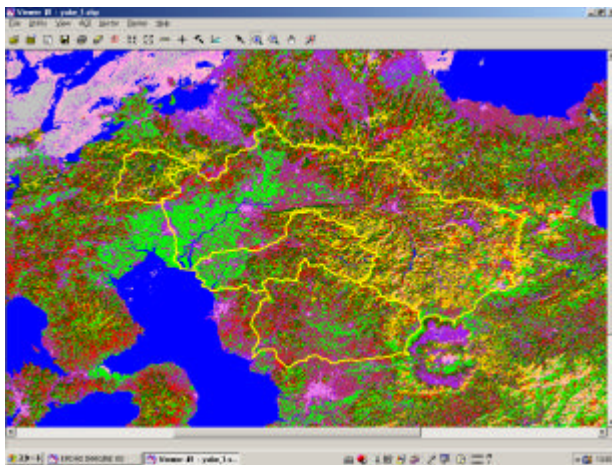


図 - 16 土地被覆分類画像（1984年秋）

様に2002年夏と秋の画像を利用して2002年の筑後川流域の土地被覆分類を行った。1984年秋と2002年秋の推定土地被覆分類画像を用いて、ピクセル毎のDN値を集計することで、この期間の土地利用の変化を求めた。図 - 19は、LANDSAT画像から推定した筑後川流域の土地利用変遷を示している。有明海流入河川のうち、特に筑後川流域の土地被覆状況の時間的な変化を追うことで、約20年間で森林と裸地が減少したと、都市域（道路含む）が増加したことが分かった。

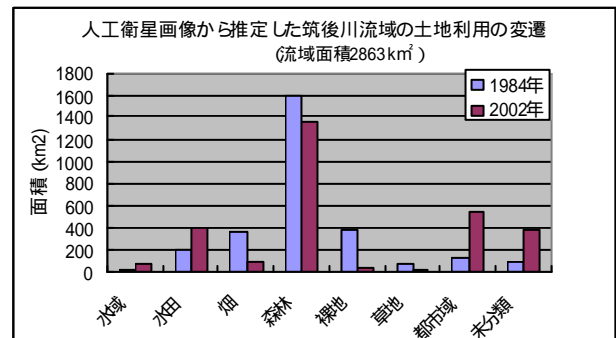


図 - 19 LANDSAT-TM/ETM+衛星画像から推定した筑後川流域の土地利用変遷

今後、さらに詳細な土地利用の変化を調査し、それに基づいた流出解析・負荷変動解析を実施する予定である。

4. おわりに

本研究の前半では、現地観測をもとに有明海湾奥部の残差流分布の調査結果を示した。その主な結論としては、1) 基本的には季節を問わず上層流出・下層流入のエスチャリー循環の流れとなっていた、2) 急激な淡水供給があった場合に、上層における1)とは異なる流れや沖合から湾内中層に流れ込む流れが生じる、3) 残差流の水平方向の変化は、地形の影響によるものであることが推定された。

次に、本研究の後半では、衛星画像を用いた有明海海域ならびに流入する陸域の環境推定を試みた。海域環境推定については、TERRA-ASTER画像を利用することで、水温、透明度、クロロフィルの推定式を構築することができた。陸域環境の推定については、LANDSAT-TM/ETM+の長期的な観測データを利用して、筑後川流域の土地利用変遷を把握することができた。

今後、海域の流れや水質の変動特性をモデル化し、さらに陸域からの負荷変動についても境界条件として組み込む予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、海域の現地観測で牧田淳君をはじめ大串研究室のメンバーに協力いただいた。また、衛星リモートセンシングでは、同じく当研究室の押川典由君の協力を得た。記して感謝の意を表す。さらに、LANDSAT-TM/ETM+衛星画像は独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)より、TERRA-ASTER衛星画像は財団

法人資源・環境観測解析センター(ERSDAC)より提供を受けたものであることを付記する。

参考文献

- 1) 木谷浩三.: 有明海における冬季の平均流について、海と空、Vol.78, No.4, 129-134, 1991.
- 2) Gan, T.Y., Ohgushi, K. and Araki, H.: "Estimating water quality of the Ariake Sea in Japan using Landsat-TM data -Evaluation of SDD and SST-", Lowland Technology International, Vol.2, No.1, 47-64, 2000.
- 3) Ohgushi, K., Gan, T.Y. and Araki, H.: "A study on estimation of water environment in Ariake Sea using remotely sensed data", Proc. of 12th Congress of APD-IAHR, Bangkok, Vol.2, 597-607, 2000.
- 4) Ohgushi, K., Araki, H and Gan, T.Y.: "Water quality monitoring of the Ariake Sea by remote sensing and utilization of field observation", Lowland Technology International, Vol.6, No.2, 1-9, 2004.
- 5) 桐本賢太・河原洋平・緒方純俊: ASTERおよびSAR画像に有明海の環境観察、日本リモートセンシング学会学術講演会論文集、Vol.33, 193-194, 2002.
- 6) Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC.: *ERDAS IMAGINE Tour Guides*, 2801 Buford Highway, NE, Atlanta, Georgia 30329-2137, USA, 2003.
- 7) Geosystems GmbH.: *ATCOR for ERDAS IMAGINE User Manual*, Riesstrasse 10, D-82110, Germany, 2002.
- 8) Kneizys, F.X., E.P. Shettle, L.W. Abreu, J.H. Chetwynd, G.P. Anderson, W.O. Gallery, J.E.A. Selby and S.A. Clough: *Users Guide to LOWTRAN7*, AFGL-TR-88-0177 Geophysics Directorate/GPOS, 29 Randolph Rd., Hanscom AFB, MA 01731-3010, USA, 1988.

(2006.5.31受付)

佐賀県沖有明海の覆砂による 底質の経時変化について

TENPORAL VARIATIONS OF THE SAND BANKING
SEDIMENT IN THE ARIAKE SEA

加藤 治¹・原口智和²・瀬口昌洋¹・郡山益実²

Osamu KATO, Tomokazu HARAGUCHI, Masahiro SEGUCHI and Masumi KOORIYAMA

¹農博 佐賀大学教授 農学部生物環境科学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²農博 佐賀大学助手 農学部生物環境科学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

The sand banking method appears to be useful for improvement of bottom sediment in the Ariake Sea. It is usually thought that its effect become less after only a few years. The present study investigates the change of the bottom sediment in sand banking area constructed by Saga Prefecture from 2001 to 2003.

Key Words : Ariake clay, improvement of bottom sediment, the sand banking, particle size analysis

1. まえがき

全国の干潟の40%以上を占める有明海沿岸域には、陸と海から多くの栄養物質が集積し、良好な漁場として活用されてきたが、近年さまざまな環境問題が深刻化し、漁獲高の減少が続いている。この原因として、湾奥部を中心とした底質の環境変化が一因であるといわれている。国が2001年に設置した第三者委員会では、「底質の貧酸素化、底質の泥化、有害プランクトン、有害化学物質などが原因ではないか」と推定しているが未だに明確にされていない。そのような状況のなかで、底質環境を改善する方策として、覆砂、耕耘、作零、堆積物除去等が施工されてきた。このうち耕耘については、平成16年度に農水省は国見沖で約5km²、大浦沖で約5km²にわたって耕耘を行って耕耘による効果の検討がなされている。その結果、耕耘前と耕耘後(3ヶ月後)で強熱減量が約30%減少、CODで約17%減少、底生生物の種類数の増加、大型ゴミの除去による浮泥の堆積防止効果が報告されている。これの1年後、2年後の調査も継続されるとのことである。一方、覆砂については、施工後2、3年でその効果が薄れてしまうという報告がある一方、熊本県ではその効果が10年以上継続している例も報告されている。これらの違いが何によるものか、具体的に追跡調査をした事例はほとんどない。

本研究は、佐賀県が平成13年から平成15年にアサリの

養殖場の改良を目的として実施した覆砂地点における粒度組成を測定し、覆砂の持続性の検証を行うことを目的とした。

2. 覆砂による環境改善効果と持続性

覆砂による環境改善効果としては、底質の改善、溶出量の削減、溶存酸素消費量の削減、水質の改善および生物相の回復が考えられる。具体的には、底泥有機物量の減少は、栄養塩溶出量の削減・溶存酸素(DO)消費量の削減をもたらし、それが水中栄養塩の低下・底層水DOの増大・動物性プランクトンの増大、植物プランクトンの低下となり、生物群集の多様化、懸濁有機物量の低下、赤潮発生の減少の効果をもたらすものと期待される。また覆砂による底泥硫化物の減少がベントスの多様化と生物量の増大・生物相の回復も期待される。

また、アサリの生育と底層の粒径との関係は、アサリの稚貝は足糸で砂礫粒子に付着して体を保持するため底質の粒径は0.5~4mmに着底のピークがあると云われている¹⁾。また、漁場の調査結果から砂の安定性から0.5mm以上の粒径が望ましく、中央粒径値が平均で0.3mm以下であるとアサリの分布が少なくなるとの報告もある²⁾。さらに泥質が進むと泥によりアサリの水管が閉塞して斃死することもある。養殖種類に適合した生息環境を整える

ための覆砂事業が必要である。

一方、覆砂の効果が持続しない理由として色々検討させているが、覆砂材の移動の観点から図-1に示すように3つの理由、すなわち

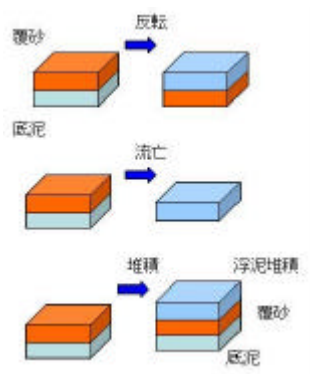


図-1 覆砂材の移動原因

覆砂した材料が汚濁底泥と入れ替わる、
覆砂材が流亡する、
覆砂材の上に浮泥が堆積する、

ことが考えられる。覆砂は堆積した汚泥を良質な砂質土で覆うことであるから、 のように覆砂材が流亡するだけの流体力があるならば汚泥も流亡すると考えられるので、 が主な原因と考えることができる。

3. 佐賀県沖の覆砂事業実施区域

近年、有明海奥部佐賀県沖においては底質の泥化が進んでいると言われている。佐賀県有明水産振興センターによる1989年8,9月と2000年9月の調査の結果を図-2に示す。図には底質の中央粒径値 (Md) の分布とタイラギの生息状況を示している。

この図から、1989年ではMd >7の海域が湾奥部西岸域に限られていたものが、2000年には湾奥部中央部まで拡大していることがわかる。

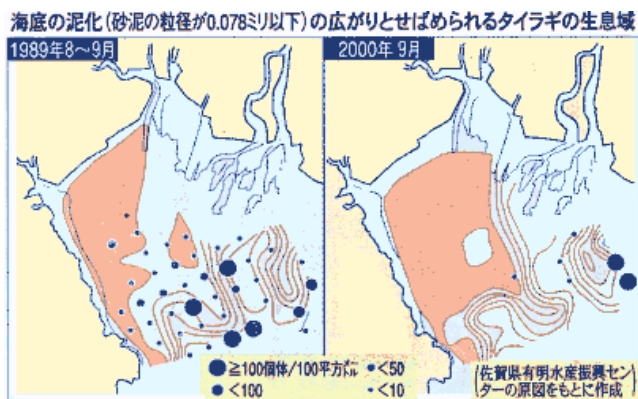


図-2 有明海奥部底質のMd とタイラギ生産量の推移 (佐賀県有明水産振興センター)

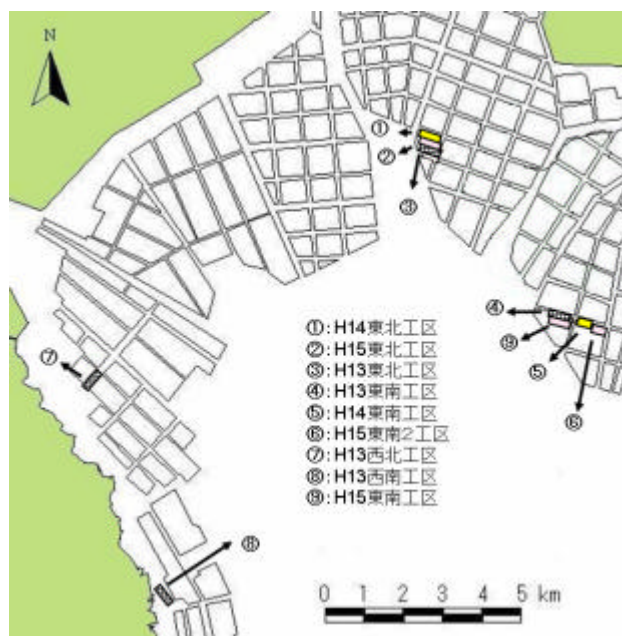


図-3 平成13年～平成15年に施工された覆砂地点 (有明水産振興センターの図より作成)

図-3において、地点名につけているH は施工年度を表す。各地点は、 西北工区は肥前七浦沖、 は太良町沖、 、 、 は住之江港沖・六角川澗筋沿い、 、 、 は筑後川の澗筋沿いの地点である。

4. 覆砂地点での底質組成分布

4.1 覆砂材

平成13年～15年に施工された覆砂の材料に関するデータが得られていないので、平成9年度佐賀県沖での覆砂材に関するデータを参考として示す。図-4は平成9年度に佐賀県沖で施工された覆砂材の粒径加積曲線である。

表-1 佐賀県が実施した覆砂事業

	平成13年	平成14年	平成15年
覆砂面積 (ha)	16	7.6	8.3

佐賀県ではアサリの増殖場として、平成13年から水産庁が実施する水産基盤整備事業の補助により平成15年までに図-3に示す箇所において覆砂がおこなわれた。その面積は表-1に示す。

覆砂をおこなった1区画の面積は、標準が400m×100m×0.28m (面積：40,000m²、土量12,320m³) であるが、H14 東南工区は360m×100m (面積：36,000m²、土量：10,080m³)、H15東南工区は390m×100m (面積：39,000m²、土量：10,920m³)、H15東南2工区は40m×100m (面積：4,000m²、土量：1,120m³) で施工されている。

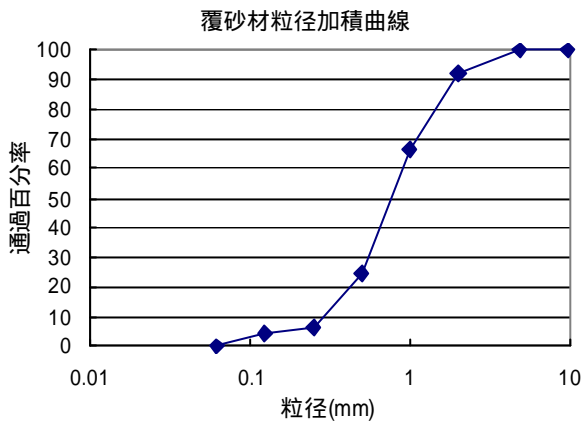


図-4 覆砂材の粒径加積曲線（平成9年）

図から中央粒径値：0.78mm、均等係数：3.10、曲率係数：1.04となる。

4.2 西北工区および西南工区

有明海の湾奥部では反時計回りの環流がある。有明海東岸域に流れ込む筑後川等の河川群によって運搬されてきた浮泥のうち粒径の比較的大きいものは東岸域に、粒径の細かいものはこの環流によって西岸域に運ばれ堆積する。従って、湾奥部西岸域の底質は有明海のなかでも最も粒径の細かい粘土・シルト質で構成されている。西北工区・西南工区はこのような状況のもとで覆砂が平成13年に施工された。図-5に西北工区における覆砂工区と覆砂対象外での表層（0から5cm）の粒径組成分布を示す。

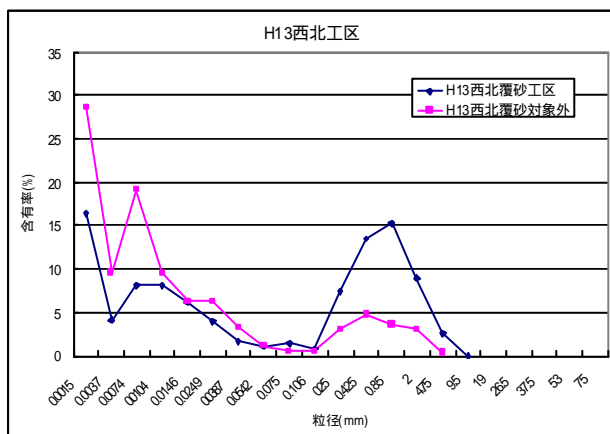


図-5 西北工区覆砂地点の粒径組成分布

この図から、覆砂対象外では中砂分が8.5%に対して覆砂工区では中砂分が28.8%、シルト・粘土分が覆砂対象外で84.5%に対して覆砂工区では51.4%となっている。覆砂材が図-4に類似したものと仮定すると、覆砂工区は中砂が覆砂材の60%は残留しているがシルト・粘土分が相当堆積していることを示している。

西南工区の粒度組成分布を図-6に示す。

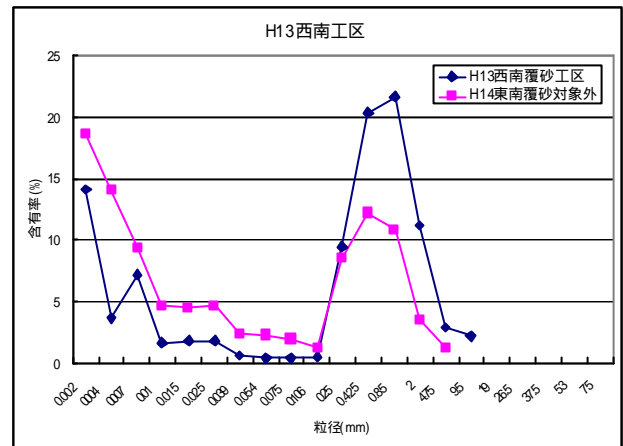


図-6 西南工区覆砂地点の粒径組成分布

この図から、覆砂工区では粗砂分11.2%、中砂分42.1%、シルト・粘土分31.6%に対して、覆砂対象外では粗砂分3.5%、中砂分23.0%、シルト・粘土分62.6%となっている。前述のように、この地域は有明海の環流によって浮泥が運搬されるところであるがシルト・粘土分の堆積は避けられないが、覆砂後4年経過していても覆砂の効果が結構持続していると考えられることができる。これは潮汐による流れの影響とみることができる。

4.3 東北工区

東北工区は住之江港沖約6.8kmの六角川滞筋で施工された。この地域では平成13年から3年間にわたって覆砂が施工されている。この地域では、直径10cm、長さ1mの透明アクリルパイプでサンプリングをおこなっている。目視の結果から底泥表面から2～6cm間隔で粒度分析をおこなった。

図-7に平成13年東北覆砂工区、図-8に覆砂対象外の粒径組成の深度別変化を示す。

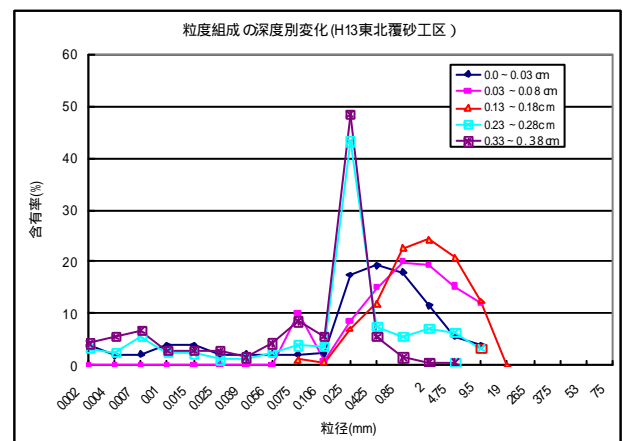


図-7 東北覆砂工区（平成13年施工）

覆砂工区では、表層でシルト・粘土分が堆積し始めているが、深さ3～18cmまでは中礫分が12.0～12.3%、細礫分で15.2～20.7%、粗砂分で19.1～24.1%、中砂分で34.6

～34.3%、シルト・粘土分は9.9～1.1%に対して、覆砂対象外では表層から13.5cmまでで見ると、中礫2.0～2.8%、細礫0.9～1.5%、粗砂分1.8～3.6%、中砂分34.3～51%、シルト・粘土分17.1～21.9%となっており、覆砂の効果が持続していることがわかる。

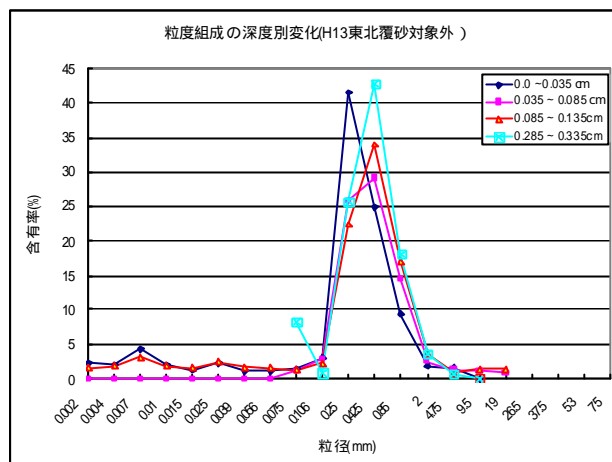


図-8 東北覆砂対象外

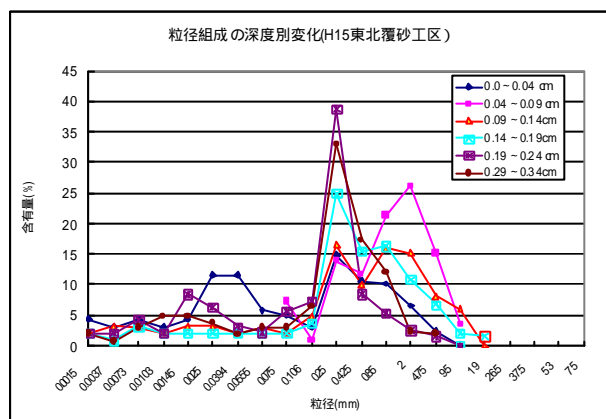


図-9 東北覆砂工区（平成15年施工）

図-9に平成15年に施工された東北工区の粒度組成深度別変化を示す。また、図-10に覆砂対象外の区域における結果を示す。

この地域の特徴は、表層において、覆砂工区のシルト・粘土分が52.5%、対象外のシルト・粘土分が64.1%と高い値を示している。しかも両者のシルト・粘土領域の分布形が良く似ていることである。これは、覆砂材が下層の污泥層に沈み込んだことによると考えられる。深さ4cm以上では覆砂材が残っていることがわかる。表層の状況は、平成15年の結果より平成13年の結果の方が持続性が良いと考えられる。

4.4 東南工区

東南工区は、川副町佐賀空港沖約8.2kmの筑後川滞筋で施工されている。平成13年～平成15年の間に11.9haの面積で覆砂が施工された。図-11に平成13年の覆砂工区における粒径組成の深度別変化を、図-12に覆砂対象外

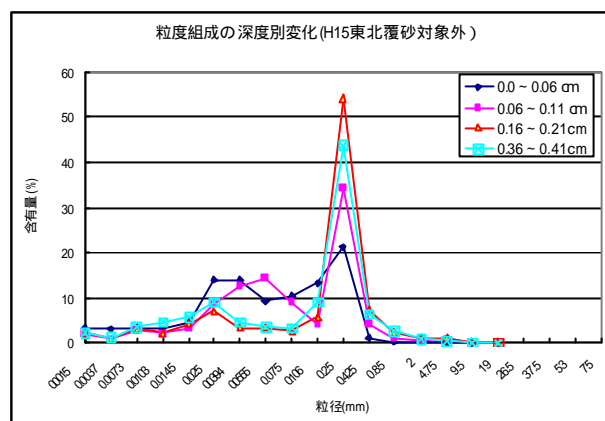


図-10 東北工区覆砂対象外

の変化図を示す。表層では、覆砂工区でシルト・粘土分が3.8%に対して、覆砂対象外では26.2%となっており、施工後シルト・粘土分の堆積が少ないことを示している。深さ20cm前後では、覆砂工区で中礫分が58.1%に対して対象外では30.9%となっている。覆砂工区では全ての深さでシルト・粘土分が10%以下であるのに対して

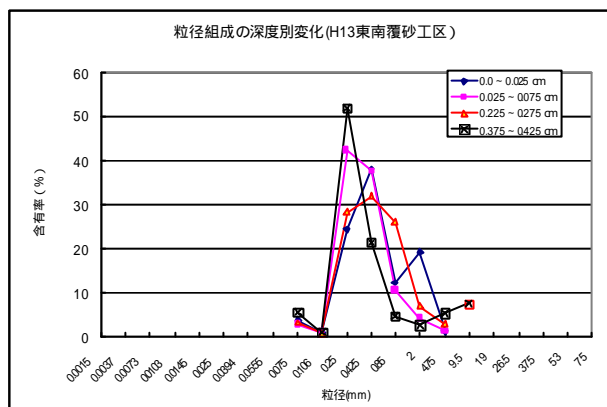


図-11 東南覆砂工区（平成13年施工）

対象外では、30～40%含有しており、覆砂の効果が持続しているといえる。

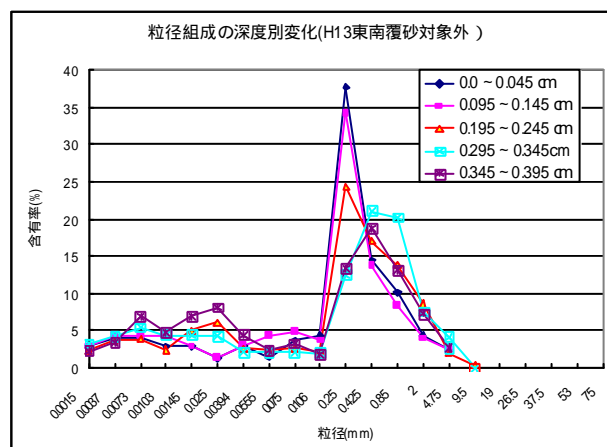


図-12 東南工区覆砂対象外

この地域は筑後川の滞筋に近いので、流れは速いと思われる。その結果、覆砂工区のシルト・粘土分の含有量が少ないことは理解できるが、それから僅かにはずれた覆砂対象外の区域ではシルト・粘土分の含有量が著しく増加することにたいしては、流れ構造、粘土分の土質学的性質の詳細な検討が必要である。

図-13に平成15年に施工された東南工区の粒径組成の深度別変化を示す。図-14に東南工区覆砂対象外の変化図を示す。

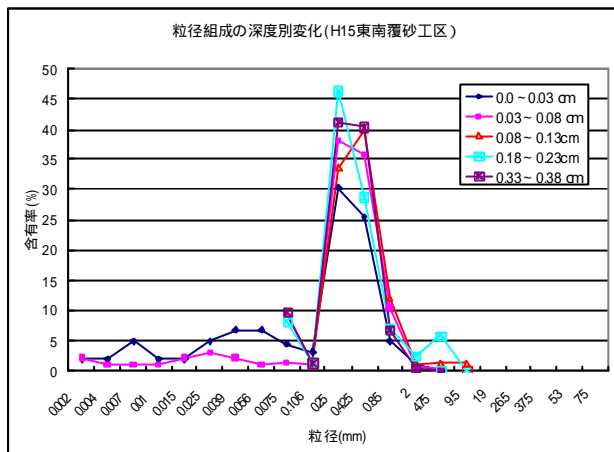


図-13 東南工区覆砂（平成15年施工）

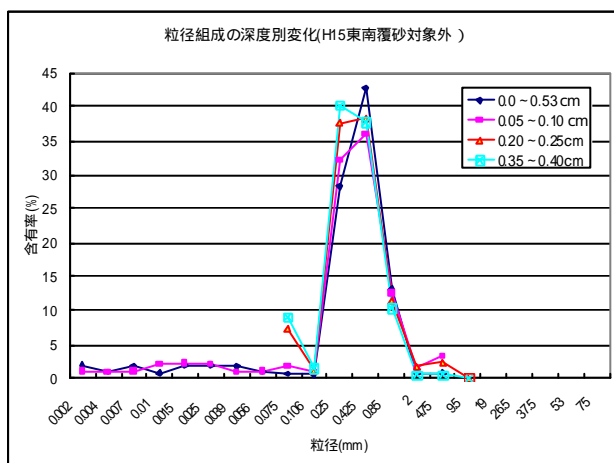


図-14 東南工区覆砂対象外

この地域の特徴は、表層において覆砂工区のシルト・粘土分は35.2%に対して、覆砂対象外では13.4%と覆砂によりシルト・粘土分の堆積が増加したことになる。ある意味では環境悪化を招いたともいえる。深さ10~20cmでは覆砂工区の中砂分で35.8~51.8%、細砂分で35.1~47.8%含有しているのに対して、覆砂対象外では中砂分が48.6~49.7%、細砂分で33.1~49.7%とほとんど含有量変わらない。すなわち覆砂の効果はほとんどない、と考えられる。

なお、図-3において調査した、H14東北工区、H14東南工区およびH15東南2工区における表層（深さ0~5cm）

での覆砂工区と覆砂対象外地区の粒径組成分布をそれぞれ図-15、図-16および図-17に示す。

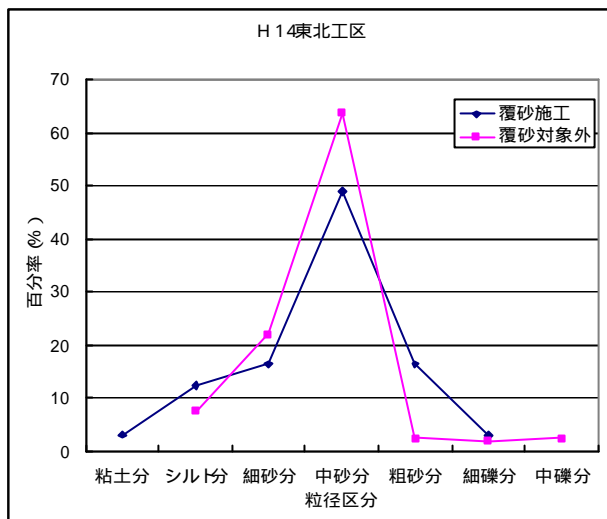


図-15 東北工区覆砂の有無による粒度変化

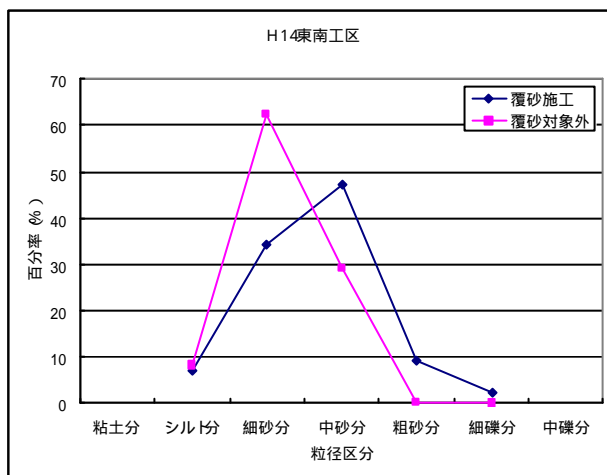


図-16 東南工区覆砂の有無による粒度変化

図-15から覆砂によってシルト・粘土分は減少したがアサリの着床に良いと云われる中砂分は覆砂対象外の方が含有量が多い結果となっている。図-16から覆砂により中砂分の比率が増えていることからこの地区は覆砂の効果が続いていると考えることができる。

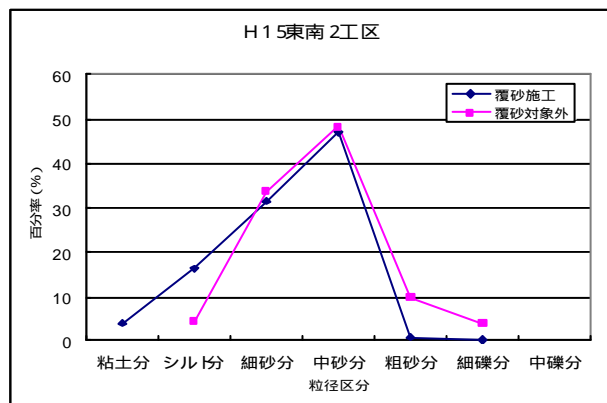


図-17 東南2工区覆砂の有無による粒度変化

図-17からは覆砂による効果は現在のところほとんどないと考えられる。

5. まとめ

本研究では、有明海で各県が取り組んでいる覆砂についてその効果の持続性を検証するために、佐賀県が実施した覆砂地点で採土し、粒度組成分布から考察をおこなった。地点によりその効果が充分持続していると考えられるものや覆砂によって底質の悪化が懸念されるものがあった。現在、覆砂地点における潮流解析を行っており、流れによる底質の移動との関連を調査中である。

また、より緻密な覆砂の効果・影響の評価のためには、底泥有機物量の変化、底泥硫化物量の減少、底泥粒径の変化、栄養塩類の溶出量変化、DO消費量の変化、底生生物の多様化の検証、底生魚類の多様化および生物群集の多様化等の検証も必要である。

参考文献

- 1) 岩男 昂：アサリ漁場の環境特性、大分海水研調研報、no.4、pp57-63、2003
- 2) 藤本敏昭・中村光治・小林 信・林 功・滝口克己・尾田一成・鶴島治市：アサリの漁場形成について、昭和58年度福岡県豊前水産試験場研究業務報告、34-106、1983
- 3) シップ・アンド・オーシャン財団：沿岸域における海洋環境改善技術に関する調査研究報告書、2000

廃材炭化物および植物の利用による クリークの水質負荷削減

REDUCTION OF WATER QUALITY LOADS IN CREEK USING CARBONIZED WASTES AND PLANTS

原口智和¹・加藤 治²

Tomokazu HARAGUCHI, Osamu KATO

¹農博 佐賀大学助手 農学部生物生産学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町 1 番地)

²農博 佐賀大学教授 農学部生物生産学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町 1 番地)

Two types of experiment were conducted for the reduction of water quality loads in creek. Carbonized matter of thinned Japanese cedar tree and dead pine-needles were used for one experiment, and ice-plant and sugarcane were used for the other experiment. For the reduction by using carbonized wastes, decrease in total nitrogen concentration was larger for charcoal of Japanese cedar, and that in inorganic nitrogen concentration was larger for carbonized pine-needles. For the purification by using plants, the significant reduction of nitrogen was observed for ice-plant, which grew during the experimental period.

Key Words : Purification of creek water, thinned tree, pine-needle, ice-plant, sugarcane

1. はじめに

有明海沿岸農業地帯では、施肥量の増加や生活系負荷の増大により、クリークに排出される負荷が増加している。また、クリーク水域の滞留性のため有機性汚濁や富栄養化が顕在化し、負荷の蓄積による水質悪化が問題となっている。このことを踏まえ、高度な生産性を維持しつつ、農業地帯からの排出負荷を削減すると同時に水質環境の保全を図ることが重要な課題である。

有明海沿岸域の農業地帯で行われている農地排水の循環・反復利用による物質循環の条件を踏まえ、クリークを活用した排出負荷対策の技術を開発する。ここでは、廃材の炭化物を利用した浄化技術と植物の養分吸収を利用した栄養塩の除去技術について検討した。

2. 廃材炭化物によるクリーク水の浄化

(1) 実験方法

実験は内径50mm、長さ250mmの透明塩化ビニールパイプ製の小型カラム通水装置を用いて行った(図-1)。このカラムに木炭および松葉炭を200mmまで充填した。木炭の材料は杉の間伐材であり、篩い分けにより粒径

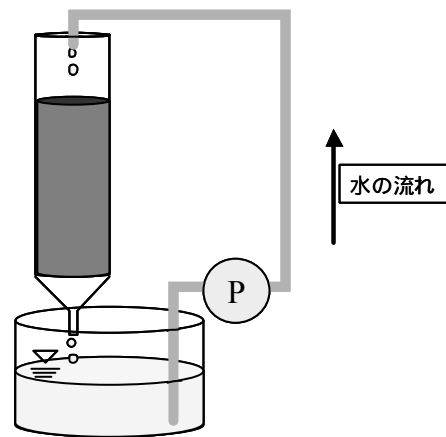


図-1 実験装置の概観図

2.0mm以上(木炭大)と2.0mm未満(木炭小)の2種類に分けた。松葉炭はカラムに充填する前に5~10mmの長さに調整した。貯留容器に入れた試料水4リットルをマイクロチューブポンプで汲み上げてカラム上端より滴下させ、カラムから出てきた試料水は再び同じ容器に入るようにした。

試料水を一定流量で循環させ、貯留容器内の試料水水質の時間変化を調査した。通水開始後数時間おきに採水を行い、pH、電気伝導度(EC)、COD、PO₄-P、NH₄-N、

表-1 クリーク原水の水質

pH	電気伝導度 (mS/cm)	COD ($\mu\text{g/L}$)	$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)	$\text{NO}_2\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)
7.38	0.206	5.6	78.0	31.1
$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)	T-N ($\mu\text{g/L}$)	$\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g/L}$)	T-P ($\mu\text{g/L}$)	水温 ()
172.2	870.0	17.2	51.0	20.5

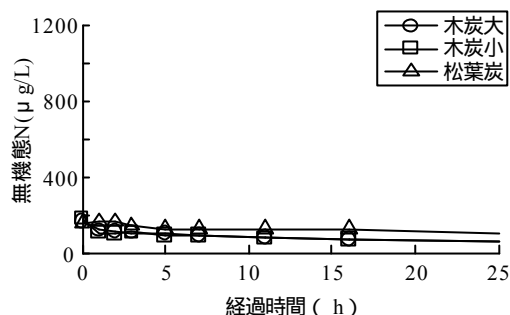


図-2 好気条件下での無機態窒素濃度の変化 (実験1-1)

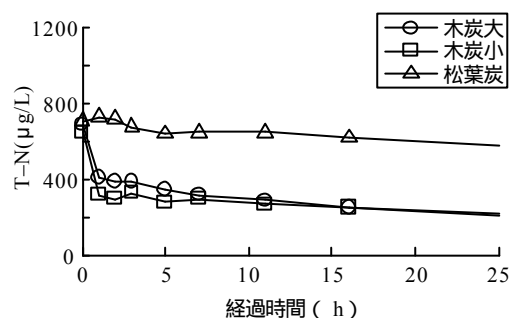


図-3 好気条件下での全窒素濃度の変化 (実験1-1)

$\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, T-Pについて分析した。

a) 実験1

クリークより採水した水に水田土壌を混合させ、代かき後の田面排水を想定した試料水を用いた。クリークより採取した原水の水質を表-1に示す。通水流量は2リットル/時である。なお、試料水が不飽和状態でカラム内を通過する好気型(実験1-1)とカラム内全体に試料水が満たされ飽和状態になるように流出水を調整した嫌気型(実験1-2)の2つの通水条件で行った。

b) 実験2

炭による無機態窒素の吸着機能を検証するため、試料水として純水に硝酸カリウムを溶解させた水を使用し、嫌気条件で通水させた。流量は実験1と同様2リットル/時である。

(2) 実験結果

a) 実験1

好気型の実験1-1では、硝酸態窒素に関しては3種の炭で濃度減少量に大きな差はなかったが、無機態窒素に関しては木炭(大・小)が松葉炭よりも削減効果が高

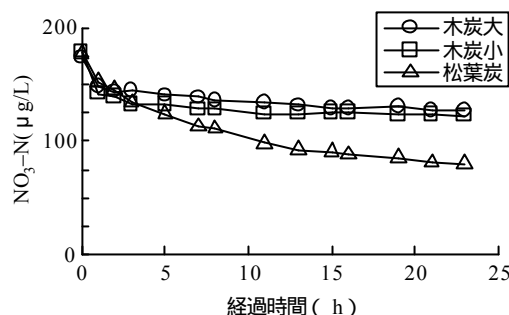


図-4 嫌気条件下での硝酸態窒素濃度の変化 (実験1-2)

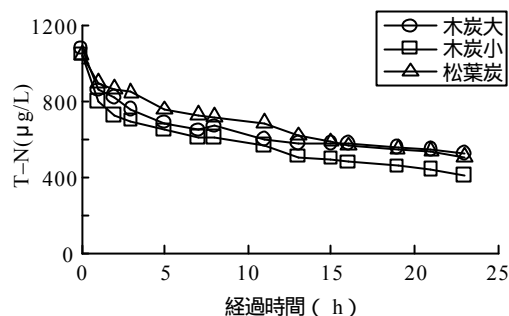


図-5 嫌気条件下での全窒素濃度の変化 (実験1-2)

く(図-2)、全窒素についてはその除去能力の差は広がった(図-3)。これは、木炭(大,小)が松葉炭よりも過機能が優れていることを示している。

嫌気型の実験1-2では、硝酸態窒素に関しては3種全ての炭で好気条件(実験1-1)より除去量が大きくなり、とくに松葉炭でその能力が大きい(図-4)。無機態窒素についても松葉炭で削減効果が高かった。全窒素の削減量は木炭小が最も大きかった(図-5)。

リンについては、好気と嫌気の両条件において木炭(大,小)では、リン酸態リンと全リンの濃度が時間の経過とともに低下したが、松葉炭については、これらの濃度はどちらの条件でも増加した。

b) 実験2

炭の持つ無機態窒素の吸着能力を調べる実験では、硝酸態窒素の削減効果は松葉炭で大きく(図-6)、無機態窒素についても松葉炭で濃度が最も低下した(図-7)。また、この2つの図から、実験開始から15時間までの硝酸態窒素濃度と無機態窒素濃度の低下速度に差があるのが分かるが、これは硝酸態窒素の濃度の低下が炭への吸着に加え、亜硝酸態窒素やアンモニア態窒素への還元化によって起きていることを示している。全窒素に関しては、炭に含まれている成分の溶出によって、全ての炭で実験初期に濃度の上昇が起きた。

リン成分に関しては、実験開始後1時間ほどでリン酸態リンと全リンの濃度が急激に上昇し、その後も実験終了時まで増加し続けた。実験2でのリン濃度の増加量は懸濁水を試料水とした実験1よりも顕著に大きかった。

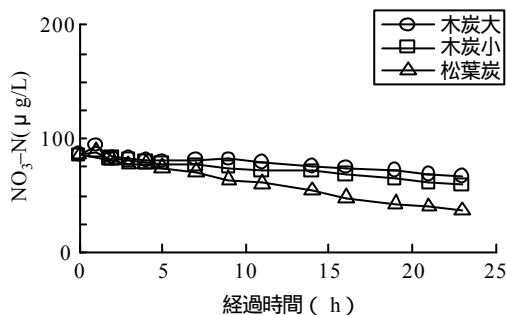


図-6 嫌気条件下での硝酸態窒素濃度の変化 (実験2)

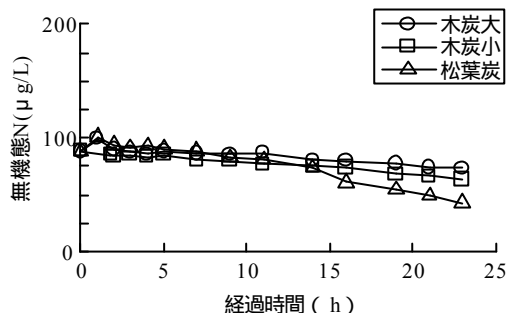


図-7 嫌気条件下での無機態窒素濃度の変化 (実験2)

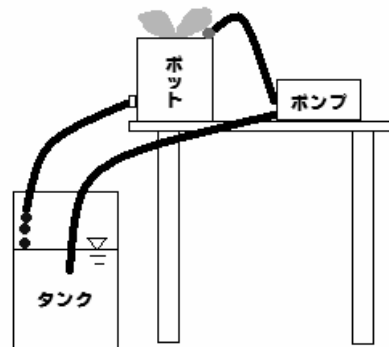


図-8 植物を用いた浄化に関する実験の概観

表-2 植物・試料水・流量の組み合わせ

ポットNo	植物	試料水(10?)	流量
- 1	アイスパラント	クリーク水	小
- 2	アイスパラント	KNO ₃ 水溶液	(108m ³ /h)
- 3	サトウキビ	クリーク水	
- 1	アイスパラント	クリーク水	大
- 2	アイスパラント	KNO ₃ 水溶液	(216m ³ /h)
- 3	サトウキビ	クリーク水	

3. 植物による浄化

(1) 実験方法

植物1株を植えた1/5000アールのワグネルポットに、ポリタンクに入れた10リットルの試料水をマイクロチューブポンプを用いて一定流量で循環させ、タンク内の水質の時間変化を調べた(図-8)。なお、実験は室内で17日間行った。

栽培土壌には透水性が高く吸着性の低い砂を用いた。土壌面蒸発による試料水の濃縮を抑えるためにポットの表面をアルミホイルで覆った。植物は移植後1ヶ月以上経過し十分に活着したものをを用いた。使用した植物、循環させた試料水、流量の組み合わせは表-2のとおりである。採水は1週間に3回行い、pH、EC、COD、PO₄-P、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-N、T-Pについて分析を行った。

気象条件については、日射量と温湿度を測定した。また、採水前にポット及びタンクの重量を測定し、蒸散量を求めた。

(2) 実験結果

日平均気温、日平均相対湿度、および日射量の実験期間平均値は、それぞれ26℃、19%、0.59 MJ m⁻²であった。流量の大きいアイスパラント(-1, -2)では明らかな生長が認められたが、他のポットの植物の生長量は小さかった。実験期間中の蒸散による各ポットの損失水量は436g(-1)、393g(-2)、

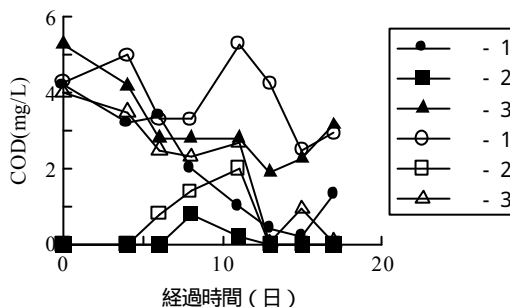


図-9 CODの変化

796g(-3)、640g(-1)、544g(-2)、804g(-3)と、個体の大きいサトウキビの方がアイスパラントのものより大きく、またアイスパラントに関しては流量の大きい、すなわち生長量の大きい方が蒸散量も大きくなった。

図-9はCODの時間変化を示したものである。硝酸カリウム水溶液を用いたポット(-2, -2)では、実験開始時にゼロ近くであったものが、ポットからの浸出水に含まれる有機物により徐々に増加し、10日目ごろから低下した。クリーク水を流したポットでは、全てで減少する傾向が見られた。

硝酸態窒素および全窒素の濃度の時間変化を図-10および図-11に、リン酸態リンおよび全リンの濃度の時間変化を図-12および図-13に示す。試料水の通水開始直後、窒素成分・リン成分ともに増加しているのは、もともと栽培土壌中に存在した液肥の成分が試料水とともに浸出したためである。

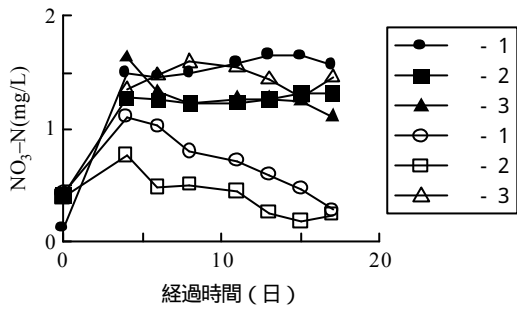


図-10 硝酸態窒素濃度の変化

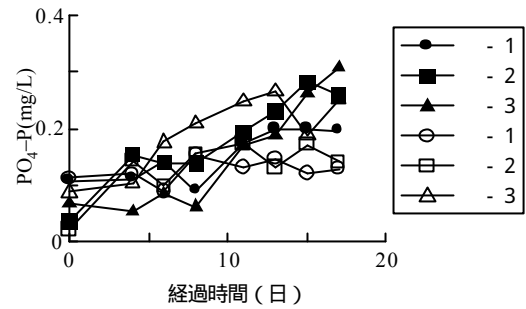


図-12 リン酸態リン濃度の変化

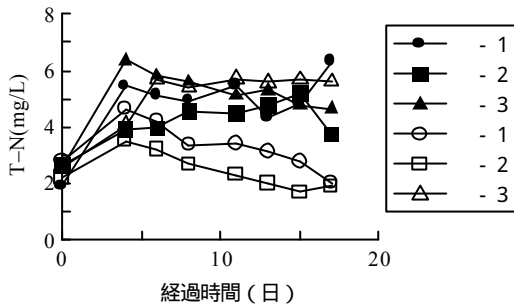


図-11 全窒素濃度の変化

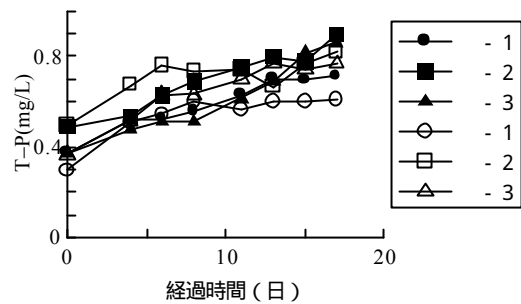


図-13 全リン濃度の変化

窒素成分に関しては、4日目以降、流量の大きいアイスプラントを植えた2つのポット（ - 1， - 2 ）で濃度が低下し、他は変化が小さかった。これは、この2つのポットの植物生長量が他よりも大きく、窒素の吸収量も大きかったためである。

一方、リン成分に関しては時間の経過とともに濃度が増加し続けているが、これは土壌からの浸出量が植物吸収量よりも大きかったためである。流量の大きいアイスプラントを植えた2つのポットは、他よりも濃度上昇が小さかったことから、リンの吸収も他より大きかったことが窺える。

4. おわりに

廃材炭化物の利用によるクリーク水の負荷削減に関する実験から、

- ・ 木炭は好気条件、嫌気条件ともに松葉炭よりも全窒

素の除去能力が高い。

- ・ 無機態窒素の除去には嫌気条件下での松葉炭の利用が有効である。
- ・ 懸濁水を通したときのリン濃度の上昇は、硝酸カリウム水溶液を通した場合よりも小さい。

ことが示された。今後、微生物の作用による栄養塩の除去に着目した実験や実用レベルの実験を行う。

植物によるクリーク水中の栄養塩の吸収除去に関する実験から、生長の大きかったアイスプラントで窒素及びリンの除去効果が高かったことが分かった。また、サトウキビは蒸散量が大きいのにもかかわらず窒素の除去量（吸収量）が小さかったことから、植物による栄養塩の除去には生長量の大きい種の選定が重要と言える。今後は、作物生長の大きい夏期に実験を行い、実験系全体について成分ごとの収支を把握し、植物の除去能力を定量的に評価する。また、圃場レベルの栽培実験を行う予定である。

(2006.5.31受付)

夏季の有明海奥部における懸濁物輸送と その水質への影響*

TRANSPORT OF SUSPENDED SEDIMENTS AND ITS EFFECT ON THE WATER
QUALITY IN THE INNER AREA OF THE ARIAKE SEA IN SUMMER

平川隆一¹・速水祐一²・山本浩一³・大串浩一郎⁴
濱田孝治³・宮坂仁⁵・大森浩二⁶

Ryuichi HIRAKAWA, Yuichi HAYAMI, Koichi YAMAMOTO, Koichiro OHGUSHI,
Takaharu HAMADA, Hitoshi MIYASAKA and Koji OMORI

¹博(工) 佐賀大学助手 理工学部都市工学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²博(農) 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト(同上)

³博(工) 佐賀大学講師 有明海総合研究プロジェクト(同上)

⁴博(工) 佐賀大学助教授 理工学部都市工学科(同上)

⁵博(理) 愛媛大学COE研究員 沿岸環境科学研究センター(〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5)

⁶理博 愛媛大学助教授 沿岸環境科学研究センター(同上)

The distribution of the net suspended sediment flux during a tidal cycle was estimated with a field survey in the Ariake Sea in summer. The quality of the suspended sediments was also analyzed. Sediments were transported toward the bay head and accumulated at the area where the pycnocline touched the bottom. Such an inward transport of sediments was induced mainly by the residual current flowing inward in the bottom layer. The mean concentration of organic carbon in the suspended sediments which were transported inward was 9 %. According to the stable isotope analysis, a half of them would have terrestrial origin. In the intratidal time scale, the sedimentation and resuspension of sediments occurred actively. These processes would be one of the essential reasons for the hypoxia in the innermost area of the Ariake Sea in summer.

Key Words : Ariake Sea, Suspended Sediment, Net Transport, Stable Isotope

1. はじめに

濁度の高い有明海奥部では、懸濁物の輸送が物質循環の中で重要な位置を占めている。そのため、近年問題になっている有明海の環境変化の原因解明のためには、懸濁物の分布や輸送過程を明らかにすることが重要である。そこで本研究では、夏季の有明海奥部で現地観測をおこない、懸濁物輸送量(SSフラックス)の空間分布を明らかにし、さらにその水質、特に溶存酸素濃度(DO)に対する影響について検討した。

2. 現地観測と残差流・フラックスの見積もり

有明海の流れは潮流が卓越する。しかし、潮流は基本的に往復流であるため、海域の物質輸送を評価する上では潮汐周期変動を除去した正味の輸送量を見積もることが重要である。そこで、2005年7月15日に有明海奥部の塩田川沖海底水道に沿った測線を12時間の間に6往復し、流速と水質の反復観測をおこなった(図-1)。測定は、測線上の6測点で停船しておこない、船の舷側に取り付けたADCP(RD Instruments製, Workhorse 1200kHz)によって鉛直0.5m毎の流速を測るとともに、CTD(アレック電子製, Compact CTD)によって水温・塩分・濁度・クロロフィルa蛍光の鉛直分布を測定した。濁度については、あらかじめ同じ海域で得た濁度とSS濃度の関係式

* 速水祐一・山本浩一・大串浩一郎・濱田孝治・平川隆一・宮坂仁・大森浩二(投稿中) 海岸工学論文集 第53巻。

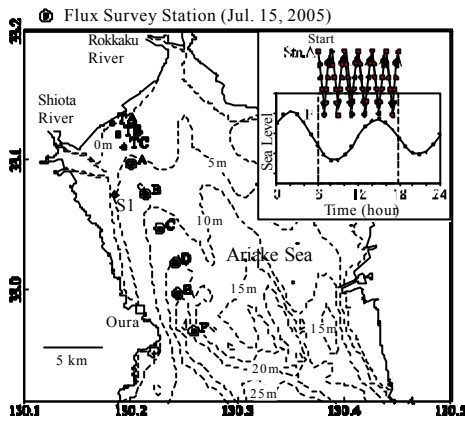


図-1 測点位置，7月15日の予報潮位（大浦）と観測順序

を用いてSS濃度に変換した。同時に，湾奥部全域の海洋構造と水質分布を把握するため，もう1隻の船によって測点A～Fを含む湾内27点で多項目水質計（アレック電子製，AAQ1183）を用いて水温・塩分・濁度・クロロフィルa蛍光・DOの測定をおこなった。また，7月20日には5日前のフラックス観測と同じ測線上で，多項目水質計による水質計測とバンドン採水器による層別採水をおこなった。この時には，冠水した干潟上を含む岸よりの3測点（TA～TC）を追加している。試水は栄養塩，懸濁態の炭素・窒素およびそれらの安定同位体比の測定に用いた。懸濁物については，GF/Fフィルターでろ過後，60℃で乾燥，デシケーター内で24時間塩酸蒸気で燻蒸した後，ミリQ水で洗浄，再び60℃で十分に乾燥させた後，電子天秤で重量を秤量し，安定同位体質量分析計（PDZ Europa Ltd製，ANCA-SL）によって炭素・窒素濃度およびそれらの安定同位体比を測定した。なお，両観測日も晴天で，風は弱く静穏であった。両観測日間の5日間も比較的好天が続く，降水はなかった。

7月15日の観測で得られた流速については，測線方向（340°）とそれに直交する成分に分け，最小二乗法を用いた調和分解によって半日周潮成分と残差流成分を求めた。懸濁物フラックスを求めるにあたっては，まず各測点各深度で得られた流速とSS濃度を掛け合わせ，鉛直積分することにより，各時刻における懸濁物の水平輸送量を求めた。それを流速と同様に調和分解することにより，半日周潮成分を除いた正味の輸送量を求めた。なお，12時間の調査では日周潮成分を除去できないが，本研究では小潮の日潮不等が小さい時期を選んで調査をおこない，その影響が小さくなるようにした。

3. 断面構造とSSフラックスの分布

7月15日の測線に沿った水温，塩分，SS濃度の断面分布を図-2に示す。いずれも観測期間の平均である。観測

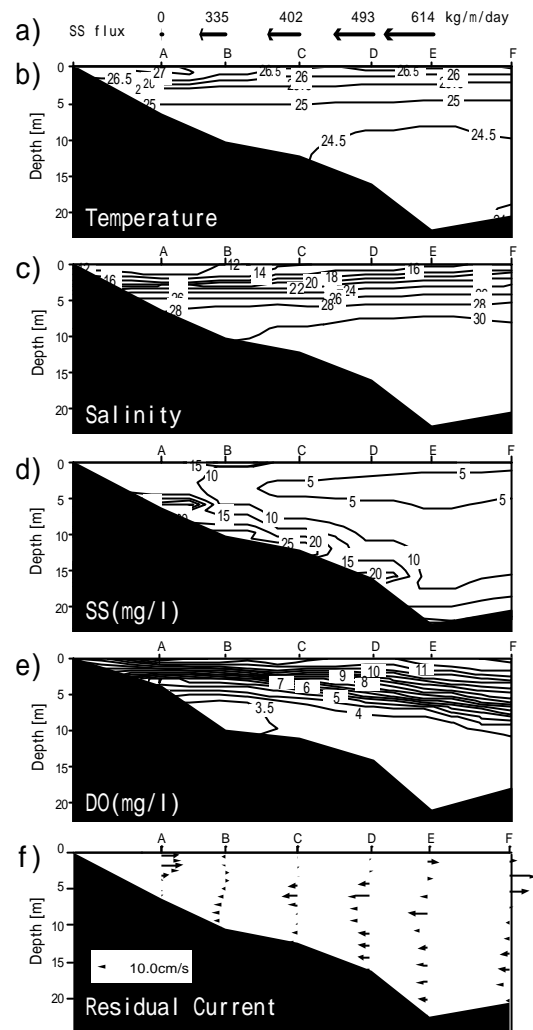


図-2 7月15日の a)鉛直積分SSフラックス，b)水温，c)塩分，d)SS濃度，e)DO，f)測線方向の残差流の分布

海域は強く成層しており，特に塩分差が大きく，3m付近に顕著な塩分躍層が存在した。これは，7月9日から10日にかけて大雨が降ったことが影響している。水平的には湾奥の方が低塩分になっており，弱混合型エスチュアリー構造となっていた。SS濃度は潮汐周期で変動したが，平均すると底層に高濁度層を形成していた。図-2fは測線方向の残差流分布である。全体として上層流出・下層流入のエスチュアリー循環型の流れである。下層の流れは湾奥ほど弱くなる傾向にあり，測点Aではほとんど下層の流れはない。その結果，底層に水平収束域が形成されている。図-2eは干潮から上げ潮にかけて測定されたDOの分布である。躍層を境に下層で低い値になっているが，特に湾奥の測点Bで3.5mg/l以下と低酸素濃度になっていた。1)潮汐間の正味の鉛直積分SSフラックスの分布を図-3に，その測線方向成分を図-2aに示す。SSフラックスは測点Aではほぼ0であったが，それ以外の点ではいずれも海底地形に沿って（測線に平行方向）湾奥に向いており，沖側の点ほど大きくなっていった。この

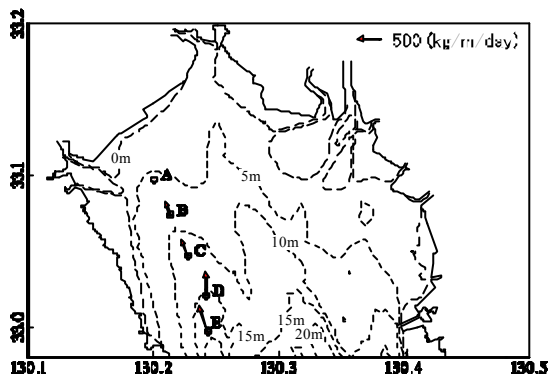


図-3 7月15日の鉛直積分SSフラックスの水平分布

結果は、懸濁物が沖合から湾奥に輸送され、浅海域、特に測点AB間に集積する傾向にあったことを示している。図-4は7月20日の測線に沿った塩分と水質の分布である。塩分分布が示すように、基本的な海洋構造は5日前と変わっていない。ただし、下層のDOが低下し、2.5mg/L以下の貧酸素水塊が出現している。表層は赤潮状態で、高いクロロフィルa濃度を示している。懸濁態炭素(PC)・窒素(PN)濃度は赤潮の影響を受けて表層で高く、海底直上でも高い値が見られた。懸濁物の ^{13}C は表層では-16~-20‰であったが、下層では-21‰以下の低い値であった。懸濁物の ^{15}N は、測点Bの底層から測点D、Eの中層にかけて9‰以上の高い値が分布していた。

4. 潮汐周期内でのSS濃度変動

次に、SS濃度の潮汐周期以下の短周期変動について見てみる。7月15日の観測期間中、いずれの測点においても底層の濁度・SS濃度には顕著な潮汐周期内変動がみられた。測点BにおけるSS濃度と測線方向の流速分布の時間変動を図-5に示す。期間を通して底層には高濁度層が見られるが、干潮と満潮の2回の憩流時には底層SS濃度は低下している。一方、10時から12時にかけては著しいSS濃度の上昇が生じている。流速は潮汐周期の変動が卓越するが、決して鉛直的に一様ではなく、かなりの鉛直シアが存在する。高濁度層が発達した12時前には湾奥向きの強い流れがあり、海底直上でも20cm/s以上に達した。このような高濁度層の変動は、SSの海底への沈降と再懸濁、それに移流によって引き起こされる。ここで測線に沿ってx軸をとり、x軸方向の流速をu、それに直交するy方向の流速をv、SS濃度をCとする。潮流による移流が卓越するので水平拡散は無視できるとすると、点(x,y)におけるSS濃度変動は以下のように表される。F_Bは海底との間の沈降・再懸濁フラックスである。

$$\frac{\partial C(x,y)}{\partial t} = -\frac{\partial uC}{\partial x} - \frac{\partial vC}{\partial y} + F_B \quad (1)$$

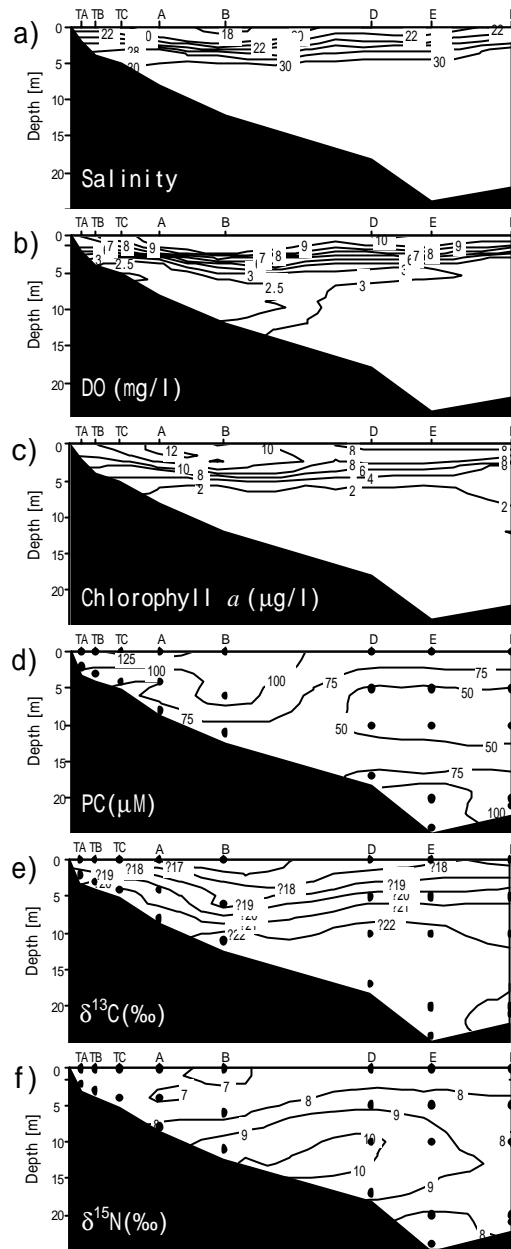


図-4 7月20日の a)塩分, b)DO, c)クロロフィルa, d)懸濁態炭素, e)懸濁物の $\delta^{13}C$, f) $\delta^{15}N$ の分布

今回の測線はほぼ潮流楕円の長軸に沿っており、x軸方向の流れが卓越する。そこで、y軸方向の移流が相対的に小さく、無視できるとすると、式(1)は次のようになる。

$$\frac{\partial C(x,y)}{\partial t} = -\frac{\partial uC}{\partial x} + F_B \quad (2)$$

このような仮定が可能かどうか、塩分の移流と時間変動を比較することで検討した。保存量である塩分(S)の場合は、沈降・再懸濁がないため、式(2)は次のようになる。

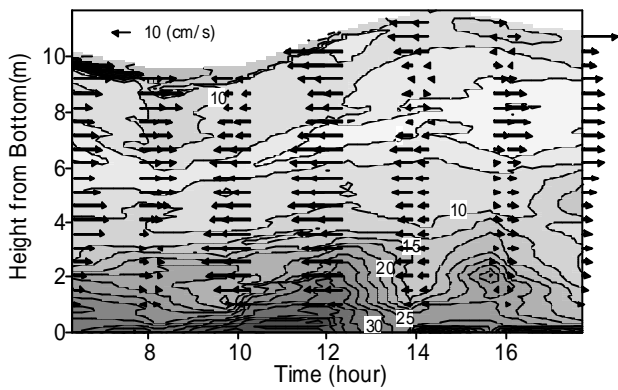


図-5 7月15日の測点BにおけるSS濃度(mg/l)と測線方向の流速変動

$$\frac{\partial S(x, y)}{\partial t} = -\frac{\partial uS}{\partial x} \quad (3)$$

そこで、測点Bにおける塩分変動から左辺の時間変動項を、測点AとCの流速・塩分から右辺のx軸方向の移流項を求めて比較した。その結果、両者の変動はよく一致しており、測点Bにおける潮汐周期内の塩分変動の85%が測線方向の移流によって説明された(図-6a,b)。このことは、上記の仮定がかなりの精度で成り立つことを示す。そこで、同様の解析をSSについても試みた。塩分の場合と異なって、時間変動項とx軸方向の移流項の変動の関係は一致せず、よい相関はみられなかった(図-6c,d)。時間変動項からx軸方向の移流項を引いた残差を沈降・再懸濁フラックス(F_B)とすると、時間変動項の変動への寄与は移流項よりも F_B の方が大きかった。このことから、測点Bにおける懸濁物濃度の短期変動(潮汐周期内変動)については、移流よりも現場付近における巻き上げ・沈降の影響の方が大きいと考えられた。

5. 考察

生態系内の有機物の ^{13}C は陸上植物起源と海域の内部生産起源のもので異なる。ここで $^{13}\text{C}_{\text{marine}}$ を海域の内部生産有機物の、 $^{13}\text{C}_{\text{ter}}$ を陸起源有機物の、 $^{13}\text{C}_{\text{sample}}$ を試料の ^{13}C とすると、試料に含まれる陸起源有機物の寄与割合(f)を次式で推定することができる¹⁾。

$$f = \frac{d^{13}\text{C}_{\text{marine}} - d^{13}\text{C}_{\text{sample}}}{d^{13}\text{C}_{\text{marine}} - d^{13}\text{C}_{\text{ter}}} \quad (4)$$

今回の観測で得られた躍層以深の下層で湾奥に輸送される懸濁物の ^{13}C は $-21.5 \pm 1.8\text{‰}$ であった。それに対して、植物プランクトン主体の湾内表層の懸濁物の ^{13}C は $-18.7 \pm 2.1\text{‰}$ であり、7月10日に筑後川で採取したものを含めた流入河川水中の懸濁物の ^{13}C は $-24.8 \pm 1.6\text{‰}$ で

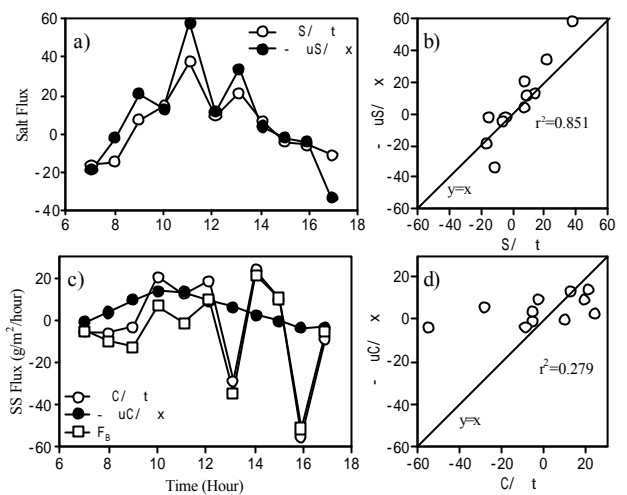


図-6 測点Bにおける a)塩分の時間変動項と移流項の比較及び b)相関関係、c)SS濃度の時間変動項、移流項と両者の残差(F_B)の比較及び d)相関関係

あった。そこで、 $^{13}\text{C}_{\text{marine}}$ を -18.7‰ 、 $^{13}\text{C}_{\text{ter}}$ を -24.8‰ として湾奥に輸送される下層の懸濁物について f を求めると46となった。これは、湾奥に輸送される有機懸濁物の半分が陸起源であったことを示している。一方で ^{15}N は測点Bの底層から測点Eにかけて高くなっていった。水域で脱窒が起きると同位体分別によって ^{15}N が高くなる²⁾。脱窒に必要な貧酸素な環境もあることから、この結果は浅海域底層で活発な脱窒が起きていることを示唆している。

今回得られたSSフラックスの分布は、夏季の有明海奥部では、正味の懸濁物輸送は湾奥向きであり、特に湾奥のごく浅海域に懸濁物が集積する傾向にあることを示している。正味のSSフラックスが湾奥向きになる最大の要因は残差流による輸送である。SS濃度が高い底層で湾奥向きの残差流があることが大きな原因になっている。このような下層の湾奥向きの流れはエスチュアリー循環によるものと考えられ、湾奥に流入河川をもつ多くの内湾に共通して見られる特徴である。また、下げ潮に比べて上げ潮の方がSS濃度が高くなる(図-5)この効果も湾奥向きのSS輸送に寄与している。

懸濁物が最も集積するのは測点AB間で、躍層が底面に接する位置のすぐ沖側であった。これは底層の残差流の収束域に一致する。また、この位置は貧酸素水塊にも一致する。今回得られた湾奥向きに輸送される躍層以深の下層の懸濁物の平均炭素含有率は9%であった。この値を用いて単位時間に測点AB間に集積する懸濁物量を炭素換算すると、 $10.6\text{gC}/\text{m}^2/\text{day}$ となった。これは、清本ら³⁾が報告した有明海表層の基礎生産量の年間最大値よりも大きい。4章の結果は、この付近では潮流の変動にともなって底層で活発な懸濁物の沈降・再懸濁が起きていることを示す。すなわち、湾奥の躍層が海底に接する位置のすぐ沖側では、流れによって有機懸濁物が水平的

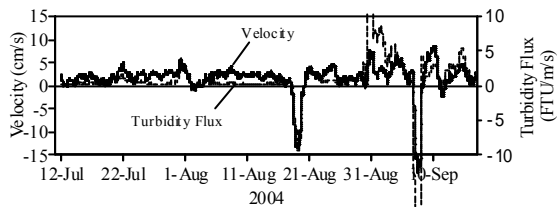


図-7 測点 D 底層における測線方向（湾奥向きが正）の流速と濁度フラックス（25時間移動平均）

に集積されながら、活発に沈降・再浮上を繰り返している。阿部ら⁴⁾、徳永ら⁵⁾は、有明海奥部の貧酸素水塊の形成に対して再懸濁物質による酸素消費が重要であることを指摘し、SSによる酸素消費速度は底泥の約7倍にもなると述べている。このような高い酸素消費が生じる大きな理由は、懸濁物による酸素消費が水柱内部で生じ、体積で効くのに対し、底泥による酸素消費は水柱の底面に限られるためである。この知見と本研究の結果を合わせて考えると、有機懸濁物質が湾奥に輸送、集積され、沈降・再懸濁を繰り返していることが夏季の有明海奥部に貧酸素水塊が形成されるための重要な機構ではないかと考えられる。

本研究で問題なのは、その時空間的な代表性である。そこで、2004年の7月から9月に農林水産省によって測点Dでおこなわれた係留観測データを図-7に示す。台風の影響を受けた8月19日と9月7日を除くと、25時間移動平均した海底上1mにおける測線方向の流速および濁度フラックス（濁度計の測定値に流速を掛けた値）は、常に湾奥向きである。正味のSS輸送を引き起こす主な原因が残差流による底層の高濁度水の輸送であることと考え合わせると、我々の観測結果は夏季の一般的な懸濁物輸送構造を捉えていると考えてよいだろう。また、八木ら⁶⁾は2005年8月に本研究の測線の東の峰部で観測をおこない、SSの輸送方向がやはり岸向きであることを示した。これは、本研究の結果が塩田川沖海谷部のローカルな現象ではないことを示している。

最後に長期変化との関係について考察する。夏季の有明海奥部では、成層が強いほど底層のDOが低い⁷⁾。成層強度は河川流量によって変動するため、毎年同じ期の大潮時に調査していても、底層DOは年によって大きく異なり、明瞭な経年トレンドはみられない。そこで、1972年から2002年までの佐賀県の浅海定線データから、測点Bに近い定点1（図-1, S1）における7月の成層強度と底層DOについて連続した11年ずつ回帰直線を求め、得られた回帰直線上で同じ成層強度（全期間の平均値、 0.92kg/m^4 ）の時のDO（ DO_s ）を求めた（図-8a）。こうすることで、年々の成層強度変動の影響を除いた長期的な底層DOの変化を調べることができる。成層強度は表底層間の密度勾配で表した。こうして求めた DO_s は1970年代から80年代にかけて低下しており、過去30年間に同じ成層強度であっても底層のDOが低くなったこと、す

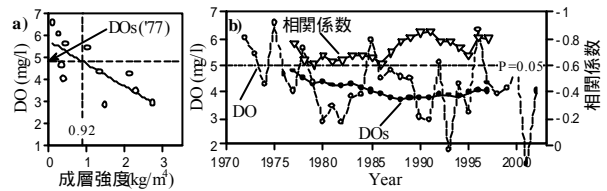


図-8 佐賀県による浅海定線定点1における a)1972-82年7月の底層DOと成層強度の関係および DO_s の定義、b)7月の底層DO、 DO_s および11年ずつの底層DOと成層強度の相関係数の変動

なわち貧酸素化し易くなったことを示している（図-8b）。なお、対象とした全期間について、各11年間で成層強度と底層DOの間には有意な負の相関が見られた。長期的な貧酸素化の進行に対して成層強度が無関係となると、酸素消費速度が大きくなったことが要因である可能性が高い。酸素消費速度は水温が高いほど大きい。しかし、底層水温の変化には DO_s の変化に対応したトレンドは見られなかった。したがって、酸素消費速度が増加したとすると、それは分解される有機物の増加を示すと考えられる。徳永ら⁵⁾は有明海奥部では底泥の有機物量が多いほど酸素消費速度が大きいことを示している。夏季の有明海は湾奥部に懸濁物が輸送・集積される構造になっている。そのために、海域への有機懸濁物の供給が増加すると、湾奥部底層に蓄積されることになる。さらに、集積域では懸濁物が水柱内に巻き上げられ、活発な分解、酸素消費が引き起こされる。このような一連のプロセスの結果、湾奥部底層で貧酸素化が進行したのではないかと考えられる。また、山本ら⁸⁾は、有明海奥部の底質分布を調べ、細かい粒子ほど有機物含有量が高いことを示している。このことから、近年問題になっている有明海奥部の底質細粒化⁹⁾についても、底質に有機物が蓄積されたと考えることで説明できる。

6. まとめ

夏季の有明海奥部では、主に残差流によって懸濁物が湾奥向きに輸送され、躍層が海底に接する地点よりも沖側に集積する。このような構造により、陸から流入した有機懸濁物は沖合に流出しにくく、湾奥部にトラップされている。また、海域で生産された有機物も沈降すると湾奥に輸送される。湾奥に集積した有機懸濁物は潮流によって活発に巻き上げ、沈降を繰り返している。再懸濁物質による酸素消費は体積で効くため、海底による酸素消費よりもはるかに大きくなる。そのために、成層が強まるなどの原因で、底層への酸素供給量が減少すると、速やかな貧酸素化が生じる。河川の増水にもなった有機物供給量の増加が貧酸素化の引き金になっている可能性もある。7月の浅海定線データによると、同じ成層強

度で比較すると，有明海奥部の底層DOは長期的に低下している．これは酸素消費速度が長期的に増大していることを示唆する．また，この海域では底質の細粒化が進んでおり，これはおそらく底質の有機物含量が増加したことを意味している．これらのことから，有明海では過去30年の間に有機物の供給が増加し，湾奥への有機物集積量が増加，その結果酸素消費量が上昇して貧酸素水塊が形成されやすくなったのではないかと考えられる．

謝辞：貴重なモニタリングデータをご提供いただいた農林水産省農村振興局，現地観測の実施にご協力いただいた佐賀大学理工学部都市工学科の野口剛志氏および学生諸氏に感謝する．浅海定線データは有明海等環境情報・研究ネットワークから提供を受けた．

参考文献

- 1) Wada, E., Y Kabaya, K. Tsuru and R. Ishiwatari: 13C and 15N abundance of sedimentary organic matter in estuarine area of Tokyo Bay, Japan, *Mass Spectroscopy*, 38, pp.307-318, 1990 .
- 2) Wada, E., M. Minagawa, H. Mizutani, T. Tsuji, R. Imaizumi and K. Karasawa: Biogeochemical studies on the transport of organic matter along the Otsuchi River watershed, Japan, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 25, pp.321-336, 1987 .
- 3) 清本容子・横内克巳・木元克則・田中勝久・熊谷香・梅田智樹・黒木善之・山本憲一：有明海表層における基礎生産量の季節変動，2004年度海洋学会秋季大会要旨集，p209，2004 .
- 4) 阿部淳・松永信博・児玉真史・徳永貴久・安田秀一：有明海西部海域における高濁度層の形成と酸素消費過程，*海工論文集*，第50巻，pp.966-970，2003 .
- 5) 徳永貴久・松永信博・阿部淳・児玉真史・安田秀一：有明海西部海域における高濁度層の観測と懸濁物質による酸素消費の実験，*土木学会論文集*，No.782/II-70，pp.117-129，2005 .
- 6) 八木宏・井瀬肇・松村航裕・木元克則：有明海奥部干潟前縁域の流動構造と懸濁態物質輸送特性に関する現地観測，*水工学論文集*，第50巻，pp.1465-1470，2006 .
- 7) 瀬口ら：（投稿準備中）
- 8) 山本ら：有明海奥部における表層底質の分布特性と底質環境の形成要因，*海工論文集*，第53巻（投稿中） .
- 9) 東幹夫：底質の変化，*日本海洋学会編，有明海の生態系再生をめざして*，pp.94-104，2005 .

(2006.5.31受付)

有明海に生息する細菌の生産する II型制限酵素

STUDY ON TYPE II RESTRICTION ENDONUCLEASE OF BACTERIA
ISOLATED FROM THE ARIAKE SEA

加藤富民雄¹・村田昌子²・神田康三¹・小林元太³

¹農博 佐賀大学教授 農学部応用生物科学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町 1 番地)

²農学部応用生物科学科 4 年 (〒840-8502 佐賀市本庄町 1 番地)

³農博 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト (〒840-8502 佐賀市本庄町 1 番地)

Type II restriction endonuclease activity in 50 strains of soil bacteria isolated from the Ariake sea tideland at 55 °C was investigated. The endonuclease activity was found out 18 strains among tested strains. Five kinds of restriction endonuclease activity were determined by the DNA digestion pattern. The occurrence of active strain was same as isolated at 30 °C in our report of last year.

The producing strains are able to grow at 55 °C rapidly, but they could not grow at 30 °C. The change of temperature of Ariake sea tideland seemed to be wide range though a year, so many kinds of microorganisms alive in this sea and they may affect each other.

Key Words : Ariake sea, Bacteria, Type II restriction endonuclease, Growth curve, Isolation

1. はじめに

II型制限酵素はDNA塩基配列中のパリンドローーム構造を認識して切断する酵素¹⁾で、遺伝子工学における重要な試薬として数多く市販されている。この酵素は細胞に外来のDNA (例えばバクテリオファージ) が進入するのを防ぐためのシステムであり²⁾、細胞自身のDNAは対応するメチラーゼでメチル化することで切断されるのを防御しており、これらは細菌の制限・修飾系と呼ばれている^{3), 4), 5)}。

有明海は半閉鎖系の内海で、独特の生物が生息していることや干満の差が大きいことなどの特徴を有している。この有明海から分離した細菌の生産するII型制限酵素を検索し、それらの特徴を明らかにすることで、有明海に生息する細菌相の変動がバクテリオファージの影響を受ける場合、細菌相の変動に制限酵素生産菌の存在がどのように関わっているかを解明できるのではないかと考えた。

有明海泥土から分離した細菌には様々な環境浄化機能を持つものがあると考えられるが⁶⁾、昨年その一種の細菌にBamH Iと同じII型制限酵素活性があることを明らかにした⁷⁾。前報では30 °Cで生育する細菌の制限酵素

について報告したが、今回は干潮時の干潟が高温になると考えられることから55 °Cで生育可能な細菌のII型制限酵素活性の検索を行った。バクテリオファージとの関連が明らかになればさらに興味深い。

2. 材料と方法

(1) 細菌の分離

(a) 分離用サンプル

土壌サンプルは、有明水産センター近くの干潟泥土および六角川河口観測塔の海底泥土を用いた。

(b) 分離培地

分離培地は3種類用意し、ブイヨン培地 (1% 肉エキス、1%ポリペプトン、0.3%酵母エキス、0.5%NaCl) および 1/2 ブイヨン培地 (ブイヨン培地組成の 1/2)。さらに海底土から細菌の分離には Difco Marine Broth 2216 (ペプトン 5g、酵母エキス 1g、クエン酸鉄 0.1g、NaCl 19.45g、MgCl₂ 3.25g、CaCl₂ 1.8g、KCl 0.55g、Na₂CO₃ 0.16g、KBr 0.08g、SrCl₂ 34mg、ホウ酸 22mg、NaF 2.4mg、NaSi 4mg、硝酸アンモニウム 1.6mg、リン酸二ナトリウム 8mg、蒸留水 1 リットル) を

用いた。固形培地には寒天 1.5%を加えた。

(2) 制限酵素活性のスクリーニング

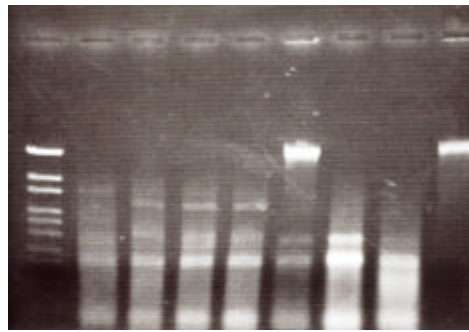
(a) 使用菌株

上記で分離された 50 株を制限酵素活性のスクリーニングに用いた。

(b) 制限酵素活性スクリーニング法

分離培地と同様の液体培地で、55℃、一晩振とう培養後集菌、超音波による菌体破碎し、抽出液を得た。抽出液 5μl、0.2μg DNA 1μl、2 × 666buffer(6mMTris-HCl、6mMMgCl₂、6mM2-mercaptoethanol) 10μl、H₂O 5μl からなる反応混合液を 55℃ で 30min 反応させ、アガロースゲル電気泳動により活性を確認した。

1 2 3 4 5 6 7 8 9



Lane1: マーカ - 6, Lane2:K-1, Lane3:K-2, Lane4:K-3, Lane5:K-4, Lane6:K-5, Lane7:K-6, Lane8:K-7, Lane9:K-8

図1 観測塔付近の海底土に生息する細菌の制限酵素活性の検索

切断され数本の切断断片が観察された。レーン 3 ~ 5 は同じパターンであり、同じ活性を持つ酵素と考えられた。この結果、2種の制限酵素の存在が確認できた。

3. 結果

(1) 制限酵素活性のスクリーニング

上記の細菌の制限酵素活性を検討したところ表1に示すように分離し 50 株のうち 18 株にヌクレアーゼ活性が見られた。

表1 制限酵素活性のスクリーニング

菌名	土壌	分離培地	分離株数	制限酵素活性株数
K	観測塔海底土	DefcoMarine Broth 2216	13	4
H	有明水産	ブイヨン培地	28	11
2H	センター	1/2ブイヨン培地	9	3
計			50	18

制限酵素活性を有する 18 株は、観測塔海底土から Difco Marine Broth を用いて分離した 13 株中 4 株、有明水産振興センター付近の干潟からブイヨン培地で分離した 28 株中 11 株、同じく 1/2ブイヨン培地で分離した 9 株中 3 株であった。

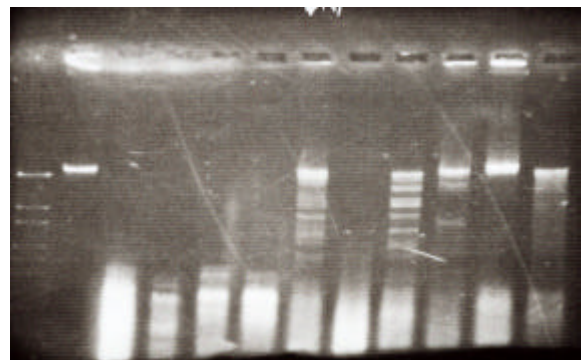
制限酵素活性のあった菌株は今後 16S リボソーム DNA の解析により菌の同定を行う予定である。

(2) 制限酵素の DNA 切断パターン

材料と方法(2)に述べた方法で、溶菌液上清を用いて、DNA を基質として 55℃ で 30 分反応させ、アガロース電気泳動によりその切断パターンを検討した結果、図 1 から図 5 に示すような結果が得られた。

図 1 に示すようにレーン 2 から 5 では、DNA が

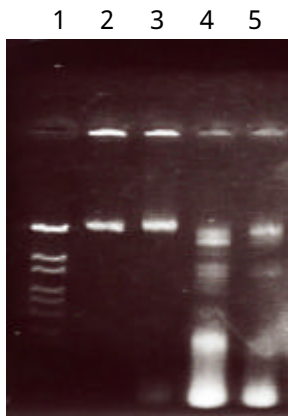
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



Lane1: マーカ - 6, Lane2: 未消化 DNA, Lane3: H-1, Lane4: H-2, Lane5: H-3, Lane6: H-4, Lane7: H-5, Lane8: H-6, Lane9: H-7, Lane10: H-8, Lane11: H-9, Lane12: H-10

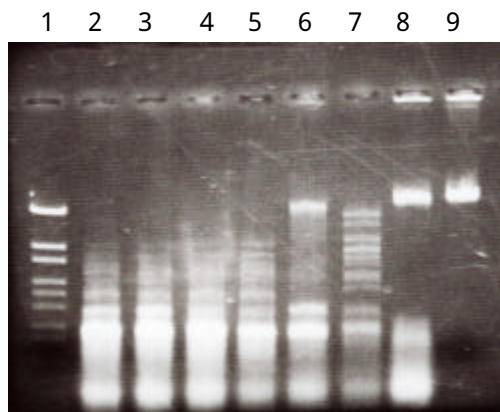
図2 干潟土壌の細菌における制限酵素活性の検索

図 2 ではレーン 7, 9, 10 および 12 に活性が確認できるが、レーン 7 と 9, 10 と 12 は同一の活性と考えられ 2 種の酵素が存在することが確認できた。



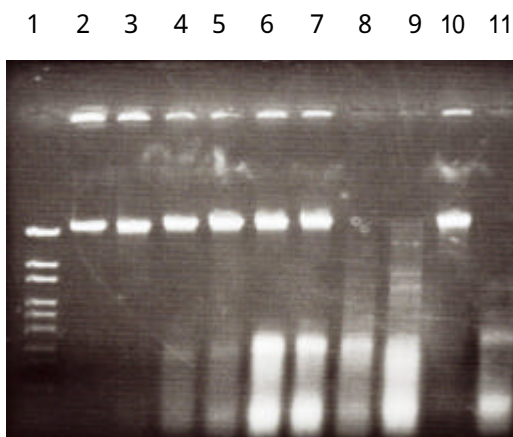
Lane1: マーカ-6, Lane2: 未消化 DNA, Lane3: H-11, Lane4: H3-1, Lane5: H3-2

図3 干潟土壤細菌における制限酵素活性の検索



Lane1: マーカ-6, Lane2: H5-1, Lane3: H5-2, Lane4: H5-3, Lane5: H5-4, Lane6: H7-1, Lane7: H7-2, Lane8: H-8, Lane9: 未消化 DNA

図4 干潟土壤細菌における制限酵素活性の検索



Lane1: マーカ-6, Lane2: 未消化 DNA, Lane3: 2H-1, Lane4: 2H-2, Lane5: 2H-3, Lane6: 2H-4, Lane7: 2H-5,

Lane8: 2H-6, Lane9: 2H-7, Lane10: 2H-8, Lane11: 2H-9

図5 干潟土壤細菌における制限酵素活性の検索

図3、4、5においては図3のレーン4及び5、図4のレーン2から5およびレーン7、図5のレーン8、9及び11に切断活性が確認できた。しかし、図3のレーン4、5と図4のレーン7の切断パターンは同一と考えられ、図4のレーン2から5までも同じパターンであると考えられた。

図5のレーン8、9および11は明確ではないが同一と考えられた。

これらの結果から、今回分離した50株の細菌の内活性を示した18株は5種の型制限酵素を生産するものがあると考えられた。

(3) 制限酵素生産菌の培地による生育の相違

観測塔付近の海底土から分離した制限酵素生産菌K-20とK-21は当初Difco Marine Broth培地で分離したが、プイオン培地での生育を検討したところ、図6及び図7に示すように、プイオン培地における生育が優れていた。

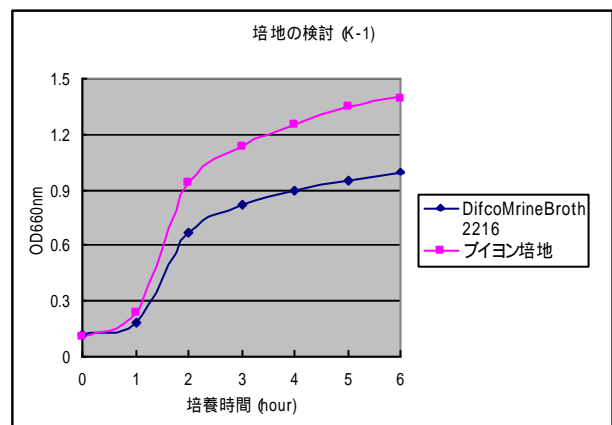


図6 K-1の培地の違いによる生育

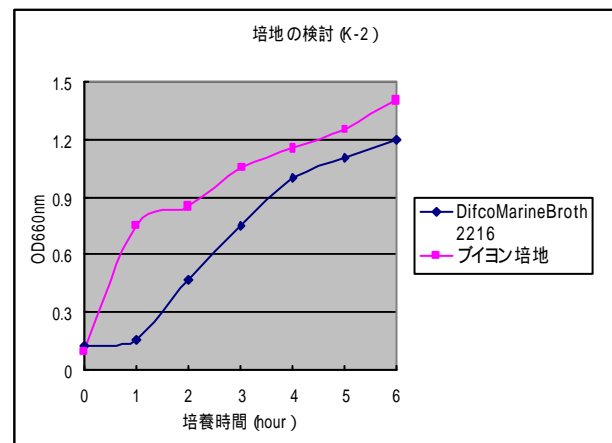


図7 K-2の培地の違いによる生育

K-1 はバイオン培地では接種後約 2 時間半で OD660 が 1.0 を越えるが、Difco Marine Broth では 6 時間以上かかる。

同様に K-2 も OD660 が 1.0 になるのにバイオン培地では約 3 時間であるが、Difco Marine Broth では約 4 時間と、バイオン培地での生育が早かった。

(4) 制限酵素生産菌の生育温度

今回分離した制限酵素生産菌は、夏場干潮時には干潟の温度がかなり高温になることを考慮して、55 で生育

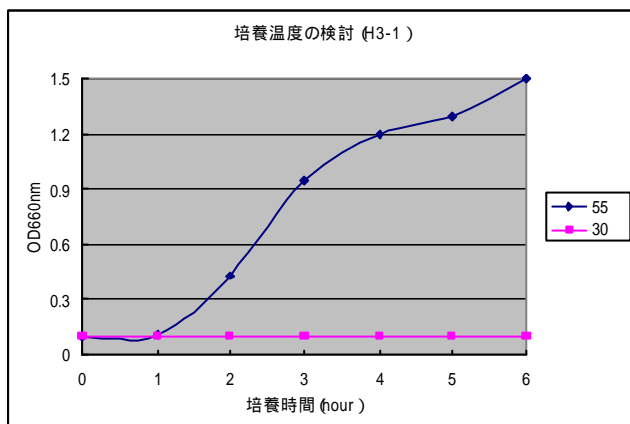


図 8 H3-1の生育温度の検討

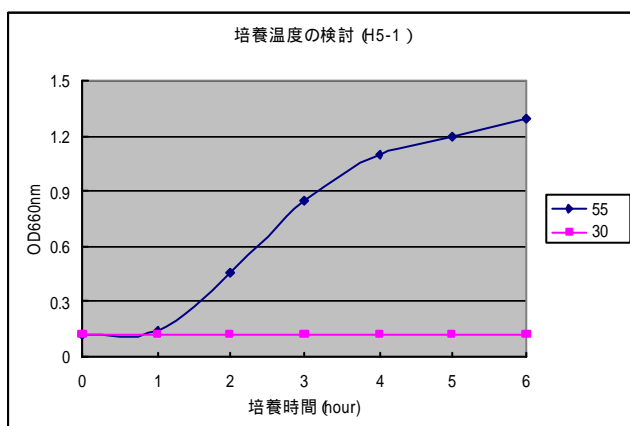


図 9 H5-1の生育温度の検討

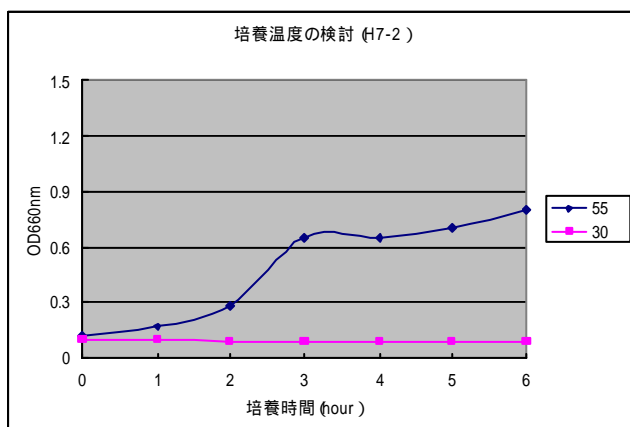


図 10 H7-2の生育温度の検討

する株であるが、これらの菌株が 30 以下でも生育できるのかを検討した。バイオン培地に菌を接種し、55 及び 30 で培養し、OD660 の変化を測定した。

その結果を図 8 から 10 に示す。

いずれの 3 株も 55 ではよく生育するが 30 ではまったく増殖が見られないことが明らかとなった。

3. まとめ・考察

有明海より分離した 50 株について制限酵素活性を検索した結果、18 株が制限酵素活性を有していた。これらの DNA 切断パターンから 5 種の制限酵素が存在すると考えられた。昨年 30 で生育する細菌 64 株から 10 株の制限酵素生産菌を分離したが、30 では生育できず、55 で生育する細菌からも同様に制限酵素生産菌が分離されたことは有明海には多様な微生物が生息し、それぞれが複雑に影響しあって生存していることを示すものと考えられた。

謝辞： 土壌サンプルをご供与頂いた有明水産振興センター・三根崇幸氏に感謝します。

参考文献

- 1) Meselson, M., and R. Yuan, DNA Restriction enzyme from Escherichia coli, Nature (London) 217, 1110-1114, 1968.
- 2) Arber, W., DNA modification and restriction, Prog. Nucleic Acid Res. Mol. Biol. 14, 1-37, 1974.
- 3) Linn, S., J. A. Lautenberger, B. Eskin, and D. Lackey, Host-controlled restriction and modification enzymes of E. coli B, Fed. Proc., 33, 1128-1134, 1974.
- 4) Christoph Kessler, Peter S. Neumaier and Werner Wolf, Recognition sequences of restriction endonucleases and methylases a review, Gene, 33, 1-102, 1985.
- 5) 安藤 忠彦, 柴田 武彦, 風見 潤, 制限酵素, 蛋白質・核酸・酵素, 30, 1429-1445, 1985.
- 6) H-R. Kariminiaae-Hamidaani, K. Kanda, and F. Kato, Denitrification activity of the Bacterium Pseudomonas sp. AMS-2-3 isolated from the Ariake sea tideland, J.Biosci.Bioeng., 97, 39-44, 2004.
- 7) 加藤富民雄, 増子朝貞, 神田康三, 有明海干潟から分離した細菌の型制限酵素に関する研究, 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集 [第 1 巻], 93-96, 2005.

(2006.5.31受付)

有明海由来の微生物に関する研究

A STUDY OF MICROORGANISM IN ARIAKE SEA

小林元太¹・田代幸寛²・加藤富民雄³

Genta KOBAYASHI, Yukihiro TASHIRO and Fumio KATO

¹農博 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト (〒840-8502 佐賀市本庄町 1 番地)

²農博 佐賀大学講師 (研究機関研究員) 有明海総合研究プロジェクト (〒840-8502 佐賀市本庄町 1 番地)

³農博 佐賀大学教授 農学部生命機能科学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町 1 番地)

Many marine products have reduced year after year in Ariake Sea. The ecological system (including microflora) in Ariake Sea has been unbalanced by environmental pollutions. We study on the dynamics of marine microflora in Ariake Sea and the screening for useful microorganisms and materials in the Sea. *Vibrio vulnificus* is an estuarine bacterium that is capable of causing a rapidly fatal infection. In Japan, a recent study reported a fatality rate of over 68%. Especially, there were many reports of *Vibrio vulnificus* infections in Ariake Sea. We isolate and characterize *Vibrio vulnificus* from Ariake Sea. Then we prevent against *Vibrio vulnificus* and some diseases in nori *Porphyra* species such as Suminori disease by microorganisms.

Key Words: Marine microflora, Suminori disease, *Vibrio vulnificus*, DGGE, 16S rDNA

1. 序論

有明海はこれまでに「豊穡の海」と呼ばれ、その豊かな生態系によって沿岸地域の社会にも多大な自然の恵みをもたらしてきた。ところが、広大な干潟のあちこちでアサリやタイラギ等の貝類が激減し、沖合では季節を問わず赤潮が頻発するようになった。有明海漁業の中心であるアサリやタイラギ等の貝漁業とノリ養殖漁業は、ともに甚大な被害を受け、その経済的基盤の崩壊によって危機的な状況が発生している。

微生物は、それらが生態系における食物連鎖の原点に位置し、干潟域の物質循環にも重要な役割を果たしていることから、その分類と分布の検討は有明干潟がもつ自浄機序の解明に大きく貢献すると考えられる。

近年、微生物群のプロファイリングにはDNAをマーカーとする方法が多用されており、細菌では主に16S rDNAの配列が利用されている。変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法 (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis; DGGE) は染色体DNAの点変異検出に用いられた技法であるが、1992年バルセロナ (スペイン) で開催された第6回微生物生態学シンポジウムにおいてオランダ人研究者 Gerard Muyzerは微生物生態分野にもDGGE法が利用可能であることを世界で初めて紹介した¹⁾。

そこで、干潟における微生物相解析には、干潟泥土か

ら直接微生物由来のDNAを抽出した後、それらの16S rDNAの塩基配列を基準としてPCR-DGGE法により棲息微生物の推定を行う。この微生物の検索では研究期間内を通じて微生物相の季節的変動調査も行うことから、調査結果はプロジェクトの他の分野で得られる物理・化学データと総合的に検討することで、有明海の生態を解き明かす重要な役割を演ずることが期待される。

次に、当研究部門では有明海の「人食いバクテリア」と言われる *Vibrio vulnificus* の微生物学的性状やその発症予防法の確立を当プロジェクト食水系感染症研究部門や医学部検査部と共同で行うことも重要な目的としている。これまでに、佐賀大学医学部検査部では多数の *Vibrio vulnificus* を有明海自然環境および発症患者より分離している。そこで分子生物学的手法を用いて分離源が明確な *Vibrio vulnificus* 保存株の16S rRNA解析を行うことにより、それら分離保存株の再分類を行い、Nilsson²⁾から報告に従って病原性の高い菌種と低い菌種の2種類に分類することが可能であるかの検討を行い、有明海由来 *Vibrio vulnificus* の性状解析を行う。また、*Vibrio vulnificus* に対して特異的抗菌作用を有する細菌やバクテリオファージの検索を行うことにより *Vibrio vulnificus* 症に対する微生物学的防除法の可能性を探る予定である。

さらに、有明海の主要産業のひとつである海苔養殖に深甚な被害をもたらす「スミノリ病」に対する防除法を微生物によって行う方法、すなわち微生物学的防除法の

確立を行うことも本研究部門では目的としている。スミノリ病はFlavobacterium属やVibrio属などの細菌感染によって引き起こされると言われている³⁾。スミノリ病原菌に対して抗菌活性を有するバクテリオファージの分離・性状解析、その消長による微生物相解析については学内共同研究者の農学部・神田康三教授の報告を参照することとし、我々は当該スミノリ病原菌の16S rRNA解析による同定を行った。

2. 実験方法

2 - 1 有明海干潟中の微生物相解析

DGGE法とは、DNA変性剤（尿素とホルムアミド）の濃度勾配をつけたポリアクリルアミドゲル中でDNA電気泳動を行うことにより、長さの同じ複数種の2本鎖DNA（例えばPCR産物）でさえも塩基配列の違いにより分離できる方法である。GCクランプ（GCに富む配列）付きプライマーセットを用いたPCRにより増幅された2本鎖DNAを上方（-極）から下方（+極）へ向かってDNA変性剤濃度が高くなるように形成されたポリアクリルアミドで泳動するとDNA変性剤濃度上昇とともに2本鎖DNA間の水素結合が切断され2重らせん構造から1本鎖DNAに変性する。しかしGCクランプ部分は結合力が強いために2本鎖を維持し、そのDNAは3方向に伸びた形になる。そのような形に変性したDNAはゲルの網目を移動する速度が著しく小さくなるため、その地点に集まり、バンドを形成する。塩基配列の異なる複数の2本鎖DNAはA-T、G-C間の水素結合の数及び、配列の違いにより異なるDNA変性剤濃度で解離するため、異なる位置にバンドを形成する。PCR-DGGEは、PCRで増幅させたDNA断片をDGGEで配列の違いによって分ける方法である。微生物群集構造の変化を捉える方法としては、迅速かつ簡便な有力なツールとされており、培養が困難な生物にも対応可能である。そこで、有明海各地の干潟泥からゲノムDNAを抽出し、GCクランプ付きプライマーによるPCR反応によって細菌由来16S rDNA（V2-V3領域）の約200bpを増幅させる。そのPCR増幅産物をDGGE法に供し、当該泥中の微生物相解析を行い、検出されるバンドと同じ位置のバンドのクローンから微生物種を同定する操作を行う。

2 - 1 - 1 ゲノムDNA抽出法の検討

干潟泥中のゲノム抽出には、土壌DNA抽出キットISOILおよびISOIL for Beads Beating（ニッポンジーン、日本）を用いた。菌体破碎には、ビーズ式細胞破碎装置MicroSmash MS-100R（トミー精工、日本）を用いた。破碎条件は4200rpm、45秒間とした。得られたDNAは、微量分光光度計NanoDrop ND-1000RP（NanoDrop Technologies、USA）にてDNA収量を測定した。

2 - 1 - 2 PCRによる16S rDNA(V2-V3領域)の増幅

土壌より抽出されたDNAおよび既知の細菌種由来のDNAを鋳型として、表2 - 1に示すプライマーとPremix Ex Taq（TaKaRa、日本）を用いて16S rDNAのV2-V3領域をTグラジエントサーモサイクラー96（バイオメトラ、ドイツ）によりPCR反応を行った。

表2 - 1 プライマー配列

HAD1	5'-CGC CCG GGG CGC GCC CCG GCG GGG GCG GCA CGG GGG GAC TCC TAC GGGAGG CAGCAG T -3'
HDA2	5'- GTA TTA CCG CGG CTG CTG GCA C -3'

反応液組成は表2 - 2に示す通りである。

表2 - 2 PCR反応溶液組成

	μL
Template DNA	2.0
Primer Forward (HDA1)	2.0
Primer Reverse (HDA2)	2.0
Premix Ex Taq	25.0
H ₂ O	19.0
Total	50.0

PCR反応条件は、以下のように変性を95℃で30秒間、アニーリングを56℃で30秒間、伸長を72℃で1分間とし、このサイクルを30回行った。

95 °C	5min	} 30 cycle
95 °C	30 sec	
56 °C	30 sec	
72 °C	1 min	
72 °C	10 min	
10 °C	pause	

さらにPCR産物は、精製キット（QIAquick PCR Purification Kit, QIAGEN, USA）を用いて精製してゲル電気泳動に供し目的バンドの確認を行った。

2 - 1 - 3 PCR-DGGE

40%(w/v)アクリルアミド/ビス混合液（ナカライテスク、日本）、ホルムアミド（ナカライテスク、日本）、尿素（ナカライテスク、日本）ペルオキシ二硫酸アンモニウム（ナカライテスク、日本）、N,N,N'-テトラメチルエチレンジアミン（ナカライテスク、日本）を用いて変性剤濃度勾配を35%-60%に調製した。DCodeシステム

(BIO-RAD, USA) を用いて電気泳動は120Vで4.5時間行った。

2 - 1 - 4 完全16S rDNAの増幅

芦刈干潟泥より抽出されたDNAを鋳型として、表2 - 3に示すプライマーとPremix Ex Taq (TaKaRa, 日本) を用いて16S rDNAの全領域を増幅させるためにTグラジエントサーモサイクラー96 (バイオメトラ、ドイツ) によりPCR反応を行った。

表2 - 3 プライマー配列

8-519-S	5'-AGA GTT TGA TCC TGG CTC AG-3'
1510r	5'-GTG AAG CTT ACG GYT ACC TTG TTA CGA CTT-3'

反応液組成は表2に示す通りである。

表2 - 4 PCR反応溶液組成

	μL
Template DNA	2.0
Primer Forward (8-519-S)	2.0
Primer Reverse (1510r)	2.0
Premix ExTaq	25.0
H ₂ O	19.0
Total	50.0

PCR反応条件は、以下のように変性を95℃で30秒間、アニーリングを55℃で30秒間、伸長を72℃で1分間とし、このサイクルを30回行った。

95°C	5min	} 30 cycle
95°C	30 sec	
55°C	30 sec	
72°C	1 min	
72°C	5 min	
10°C	pause	

さらにPCR産物は、精製キット (QIAquick PCR Purification Kit, QIAGEN, USA) を用いて精製した。

次にpGEM-T Easy vector System (Promega, USA) を用いたTAクローニングと大腸菌への形質転換を行った。得られたクローンに目的のDNA断片が入っていることを確認するためにコロニーPCRを行った。

コロニーPCRの原理はプラスミドのマルチクローニングサイトの両側に相補的なプライマー対を合成し、このプライマーを用いてPCRを行うことにより目的遺伝子断片が挿入されたプラスミドを鋳型とした場合は、挿入断

片 + マルチクローニングサイトの部分が増幅され、この両者は電気泳動により簡単に区別できるというものである。

目的のコロニー (白コロニー) をオートクレーブ滅菌した爪楊枝で軽く突き刺し、PCR反応液に懸濁し、表2 - 5に示すプライマーとKOD Dash (TOYOBO, 日本) を用いてPCR反応を行った。

表2 - 5 プライマー配列

M13 Forward	5'- CGC CAG GGT TTT CCC AGT CAC GAC -3'
M13 Reverse	5'- TCA CAC AGG AAA CAG CTA TGA C -3'

反応液組成は表2 - 6に示す通りである。

表2 - 6 PCR反応溶液組成

	μL
Primer Forward (M13 Forward)	0.1
Primer Reverse (M13 Reverse)	0.1
dNTPs	1.0
Buffer	1.0
KOD Dash	0.1
H ₂ O	7.7
Total	10.0

PCR反応条件は、以下のように変性を94℃で30秒間、アニーリングを52℃で30秒間、伸長を74℃で70秒間とし、このサイクルを30回行った。

94°C	5 min	} 30 cycle
94°C	30 sec	
52°C	30 sec	
74°C	70 sec	
74°C	7 min	
10°C	pause	

得られたPCR産物をゲル電気泳動に供し、挿入断片の確認を行った。目的断片が挿入されていたコロニーを培養して、Mag Extractor (TOYOBO, 日本) にてプラスミドを抽出し、-20℃にて保存した。

2 - 2 有明海由来Vibrio vulnificusの16S rDNA解析

表2 - 5に示す佐賀大学医学部検査部保存の有明海由来Vibrio vulnificus 27株 (患者由来10株と環境由来17株) を実験に供した。

表 2 - 7 *Vibrio vulnificus*被験株一覧

Strain	Isolate origin
C1001A	Clinical
C1002O	Clinical
C1003KUG	Clinical
C1004KUS	Clinical
C1005KO	Clinical
C1006T	Clinical
C1007N	Clinical
C1008F	Clinical
C1009W	Clinical
01470	Clinical

01006	Sea water
01288	Sea water
01303	Sea water
01304	Sea water
01331	Sea water
01333	Sea water
01334	Sea water
01339	Sea water
01340	Sea water
01342	Sea water
01344	Sea water
01348	Sea water
01351	Sea water
01353	Sea water
01354	Sea water
01355	Sea water
01434	Sea water

それぞれの株をM58羊血清培地（栄研、日本）、Marine Broth 2216（Difco, USA）もしくはMarine Agar 2216（Difco, USA）を用いて増殖させ（37℃）、平板培地上のコロニーもしくは液体培養液を遠心分離操作により菌体を回収した。さらにゲノム抽出キットであるQIAmp DNA Mini Kit（QIAGEN, USA）により上記の29株のゲノムDNAを抽出した。

大腸菌を基準とした16S rDNAのポジション8～519は比較的塩基置換が激しく、配列の変化が比較的大きい領域とされており、一般的な菌株同定に用いられる領域であることから、この約500bpの領域をPCRにより増幅し、

シーケンス解析を行った。

抽出したゲノムDNAを鋳型として表2 - 8 に示すプライマーとTaq DNA polymerase（Promega, USA）を用いてPCR反応を行った。

表 2 - 8 プライマー配列

8-519-S	5'-AGA GTT TGA TCC TGG CTC AG-3'
8-519-A	5'-ATT ACC GCS GCT GCT G-3'

反応液組成は表 2 - 9 に示す通りである。

表 2 - 9 PCR反応溶液組成

	μL
Template DNA	2.0
Primer Forward (8-519-S)	2.5
Primer Reverse (8-519-A)	2.5
dNTPs	1.0
MgCl ₂	5.0
Buffer B	5.0
Taq Polymerase	0.5
H ₂ O	31.5
Toatal	50.0

PCR反応条件は、以下のように変性を94℃で30秒間、アニーリングを53℃で30秒間、伸長を72℃で1分間とし、このサイクルを30回行った。

94℃	3 min	} 30 cycle
94℃	30 sec	
53℃	30 sec	
72℃	1 min	
72℃	10 min	
10℃	pause	

さらにPCR産物は、精製キット（QIAquick PCR Purification Kit, QIAGEN, USA）を用いて精製した。得られたPCR生成産物をゲル電気泳動に供し目的バンドの確認を行った。次に目的PCR産物の配列解析を行うために、（株）ジネット（日本）にシーケンス解析を依頼した。得られた配列は、データベース（BLAST program of the National Center for Biotechnology Information, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>）で相同性検索を行った。

2 - 3 スミノリ病原菌の分子生物学的手法による同定 佐賀県有明水産振興センターにてスミノリ病原菌とし

て分離されたH16LY株の菌種同定のために16S rRNA解析を行った。

H16LY株をZoBell 2216E改良培地を用いて好氣的に20で増殖させ遠心分離操作により菌体を回収した。ゲノム抽出キットであるQIAmp DNA Mini Kit (QIAGEN, USA)によりゲノムDNAを抽出した。

まず初めに、2-1で示した*Vibrio vulnificus*と同様に大腸菌を基準とした16S rDNAのポジション8~519を基準とした約500bpの領域の解析を行った。

抽出したゲノムDNAを鋳型として表2-8に示すプライマーとTaq DNA polymerase (Promega, USA)を用いてPCR反応を行った。反応液組成は表2-9に示す通りである。PCR反応条件は2-2で示したとおり、変性を94で30秒間、アニーリングを53で30秒間、伸長を72で1分間とし、このサイクルを30回行った。

さらにPCR産物は、精製キット (QIAquick PCR Purification Kit, QIAGEN, USA)を用いて精製し、得られたPCR生成産物をゲル電気泳動に供し目的バンドの確認を行った。

次に完全16S rRNA解析を行うために、抽出されたゲノムDNAを鋳型として、表2-3に示すプライマーとPremix Ex Taq (TaKaRa, 日本)を用いて完全16S rDNAを得るためにPCR反応を行った。反応液組成は表2-4に示す通りであり、操作条件等は全て2-1-4で述べた方法と同じである。

3. 実験結果

3-1 有明海干潟中の微生物相解析

3-1-1 ゲノムDNA抽出法の検討

表3-1に示すように市販キットのみでは非常にDNA抽出効率が悪いことが明らかであった。

表3-1 ISOILによる泥中全DNA抽出結果

サンプル名	DNA収量 (ng/μl)
No.25	8.6
No.45	ND
No.56	ND
No.64	ND
No.74	ND
Ashikari	1.5
Rokkaku	18.9

そこで、ビーズによる菌体破碎効果を調べるために、同じ泥サンプルに対して、ビーズ破碎しない場合と種々

のビーズで破碎した場合のISOILによるDNA抽出結果、ビーズを含んだ抽出キットであるISOIL for Beads BeatingによるDNA抽出結果を表3-2に示す。

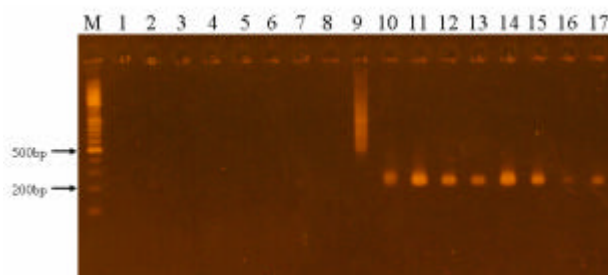
表3-2 DNA抽出に及ぼすビーズ破碎効果

サンプル名	DNA収量 (ng/μl)
ISOIL	
ビーズ破碎無し	4.8
ガラスビーズ (0.1mm)	13.5
ガラスビーズ (0.5mm)	27.0
ジルコニアビーズ (0.5mm)	49.6
ISOIL for Beads Beating	40.4

微量泥サンプルからDNA抽出を行う場合はビーズ式細胞破碎装置のような前処理が必要であることが明らかとなった。

3-1-2 PCRによる16S rDNA(V2-V3領域)の増幅

図3-1 16S rDNA(200bp)PCR産物の電気泳動



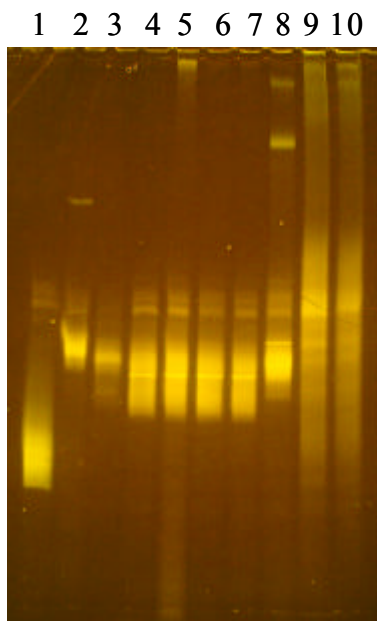
M: 100bp DNA Ladder, 1: No.25, 2: No.45, 3: No.56, 4: No.64, 5: No.72, 6: Kashima, 7: Ashikari, 8: Soil, 9: Ashikari2, 10: Rokkaku, 11: ACC2756^T, 12: C1008F, 13: C1007N, 14: 01434, 15: 01470, 16: JCM3732, 17: H16LY

レーン1~10までは泥由来PCR産物を、レーン11~17は純粋種由来PCR産物を示す。全ての純粋種由来PCR産物は目的断片と思しき200bp付近にバンドを検出したが泥由来PCR産物では六角川河口域泥由来PCR産物以外は検出されなかった。

3-1-3 PCR-DGGE

図3-にDGGEの結果を示す。レーン1~8までは純粋種由来のPCR産物を、レーン9と10はそれぞれ芦川干潟と六角川河口域の泥由来PCR産物の結果である。純粋種由来PCR産物は幾つかの明確なバンドが検出されたが泥由来PCR産物では明確なバンドは検出されなかった。

図3 - 2 PCR-DGGE



1: JSBH-1, 2: H16LY, 3: JCM3732, 4: 01470, 5: 01434, 6: C1007N, 7: C1008F, 8: ATCC27562^T, 9: Rokkaku, 10: Ashikari

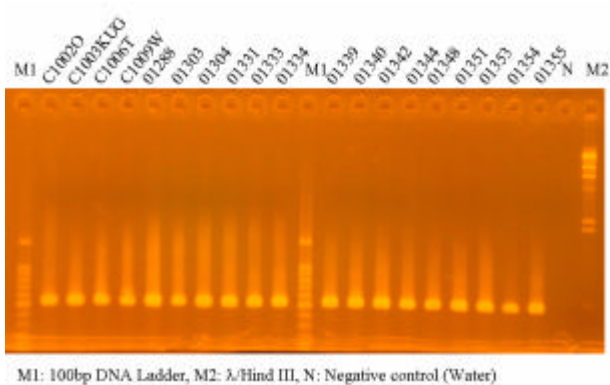
3 - 1 - 4 完全16S rDNAの増幅

芦刈干潟泥由来の完全16S rDNAのPCR増幅産物を含むクローンを41個得ることが出来た。

3 - 2 有明海由来Vibrio vulnificusの16S rDNA解析

V. vulnificus 29株由来のPCR産物を電気泳動に供した結果の一部を図3 - 3に示す。

図3 - 3 各*V. vulnificus*株由来のPCR産物の電気泳動



全ての株において約500bpのバンドを確認することが出来た。よって目的とする16S rDNAのPosition8-519に相当する500bpの目的遺伝子が増幅できたものと判断し、シーケンス解析を行い、BLASTによって相同性検索を行った。

その結果を表3 - 3に示す。

表3 - 3 BLASTによる相同性解析

Strain	Identities (%)
C1001A	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
C1002O	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
C1003KUG	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
C1004KUS	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
C1005KO	<i>V. vulnificus</i> (ATCC27562 ^T) 16S rRNA 100
C1006T	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
C1007N	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
C1008F	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
C1009W	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
01470	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
01006	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
01288	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
01303	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
01304	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
01331	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
01333	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
01334	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
01339	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
01340	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
01342	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
01344	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
01348	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
01351	<i>V. vulnificus</i> (ATCC27562 ^T) 16S rRNA 100
01353	<i>V. vulnificus</i> (ATCC27562 ^T) 16S rRNA 99
01354	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 99
01355	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100
01434	<i>V. vulnificus</i> (C7184) 16S rRNA 100

3 - 3 スミノリ病原菌の分子生物学的手法による同定
スミノリ病原菌H16LY株の16S rRNA (500bp) シーケ
ンスよりBLAST解析を行った結果を表3 - 4に示す。

表3 - 4 H16LY株のBLASTによる相同性解析

Strain	Identities (%)
H16LY <i>Flavobacterium</i> sp. 5N-3 16S rRNA	99

4 . 結論

4 - 1 有明海干潟中の微生物相解析

ビーズ式細胞破碎装置を使用することにより、泥サン
プル中から十分量のDNAを抽出できることが明らかと
なった。抽出効率を向上させるために破碎操作を繰り返
すことにより、100-200ng/μlのDNA収量を得ることが可
能となった(データ未掲載)。DGGEに供するための約
200bp長である16S rDNA(V2-V3領域)のPCR増幅は純粋
種においては問題なく行うことが可能であったが泥サン
プルでは目的バンドが検出されない場合があった。これ
は泥から抽出するDNA量が微量であるためと考えられ
たが上述のようにビーズ式細胞破碎装置および温度条件
等を考慮することによりDNA収量向上に成功したため
に今後の実験では問題なく行えるものと考えられる。

PCR-DGGEにおいても純粋種由来のバンドはクリアー
に検出できるものの、泥由来の種々雑多なDNAフラグ
メントが含まれていると考えられるレーンは明確なバン
ドが確認できなかった。この原因は不明であるがDGGE
ゲルの調製上の問題であるか否かはDGGE用マーカ
(ニッポンジーン、日本)をロードすることにより検証
する。また泥サンプル由来PCR増幅DNA断片の濃度は非
常にまちまちであると考えられるので濃度を測定しロ
ードするDNA量を各サンプル全てそろえて再度実験を行
う予定である。

また、16S rRNA解析による泥中の微生物相解析につ
いては、佐賀県有明水産振興センターより提供された芦
刈干潟泥より抽出した細菌由来である約1.5kbpの16S
rDNAを組み込んだクローン41個を獲得しており、こ
れらのシーケンス解析を行い、菌種の同定を行う予定で
ある。また上述のPCR-DGGEにて検出されるバンドとの
相関関係を求めていく予定である。さらに、同センター
より定期的に提供される4地点の泥の季節的変動と地域
差異について検討を行っていく予定である。

4 - 2 有明海由来Vibrio vulnificusの16S rRNA解析

Nilssonら²⁾によると*Vibrio vulnificus*は16S rRNA遺伝子
の一部の配列の差異によりTypeAとTypeBに識別が可能
であり、TypeAはATCC27562^Tに代表される非病原性の
株が多く、TypeBはC7184株に代表される病原性株が多

く見出されると報告されている。TypeAとしてGeneBank
Accession numbersがX76333 (ATCC27562^T)、TypeBと
して同X76334 (C7184)のPosition 39-530における配列
を図4 - 1に示す。

図4 - 1 X76333とX76334の配列の比較



X76333とX76334ともに*AluI*の切断部位がPosition202と
244、*HaeIII*の切断部位がPosition168と372にあるが、数
力所の塩基配列の違いがあるために、*AluI*で消化した場
合にX76333(TypeA)では140、62、42、248bpのフラグメ
ントが生成され、X76334(TypeB)では202、42、248bpの
フラグメントが生成される。また*HaeIII*で消化した場合、
X76333(TypeA)では168、204、120bpのフラグメントが
生成され、X76334(TypeB)では147、21、204、120bpのフラ
グメントが生成される。このようにTypeAとBを識別す
るのに制限酵素切断断片による識別が簡便であると論じ
ている。Nilssonらの報告では、非患者(環境)株3株
のうち3株がTypeAであったが患者株では3株のうち2
株がTypeBであった。明らかに患者株と非患者
(環境)株では差違がみられ、本法により患者株と非患
者(環境)株の識別に有効であると報告している。そこ
で佐賀大学医学部検査部保有株に対しても同様に区分を
行った結果を表4 - 1に示す。シーケンス例として患者
株であるC1001A株(TypeB)とC1005KO株(TypeA)、比較
対照としてのX76333とX76334の配列を図4 - 2に示す。

図4 - 2 16S rRNA遺伝子配列比較

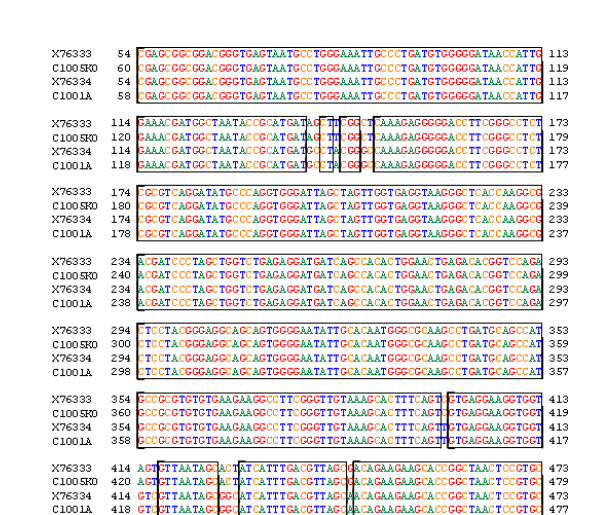


表 4 - 1 *Vibrio vulnificus*の 16S rRNA type

Strain	16S rRNA type
C1001A	B
C1002O	B
C1003KUG	B
C1004KUS	B
C1005KO	A
C1006T	B
C1007N	B
C1008F	B
C1009W	B
01470	B

01006	B
01288	B
01303	B
01304	B
01331	B
01333	B
01334	B
01339	B
01340	B
01342	B
01344	B
01348	B
01351	A
01353	A
01354	B
01355	B
01434	B

表 4 - 1 に示すように、佐賀大学医学部検査部保有の *Vibrio vulnificus* 株に対して 16S rRNA type を区分した結果、患者株 10 株中 TypeA が 1 株、TypeB が 9 株であり、非患者（環境）株 17 株中、TypeA が 2 株、TypeB が 15 株であった。患者株で TypeB が多数を占める結果であることは Nilsson らの報告と同様であるが、非患者（環境）株でもほとんどが TypeB であるという

結果は全く異なる結果であった。この結果から有明海由来 *Vibrio vulnificus* は TypeB が優占株であると考えられる。しかし、この識別では毒素生産や発症メカニズムとの相関が明らかとされていないため、有明海由来 *Vibrio vulnificus* のほぼ全てが病原性株ということではない。また、Rosche ら⁴⁾は RAPD 法により患者株と非患者（環境）株との識別を簡便に行えるとしている。今後は病原性とこれら分類との因果関係について検討していく予定である。

また *Vibrio vulnificus* の遺伝情報はインターネット上のデータベースに数多く登録されていることより、それらの情報をもとに有明海由来株の特徴を精査する予定である。

4 - 3 スミノリ病原菌の分子生物学的手法による同定

H16LY 株は 16S rRNA 解析の結果より、*Flavobacterium* 属と同定されたが、種までは決定できていない。一方、佐賀県有明水産振興センターではスミノリ病原菌 H14LY 株も分離しており、*Gelidibacter* 属と同定している。そこで完全 16S rDNA のクローニングを行い本スミノリ病原菌の種までの同定を行う予定である。

謝辞：泥・海水サンプルならびにスミノリ病原菌 H16LY 株をご提供いただいた佐賀県有明水産振興センターの川村嘉応博士および三根崇幸研究員に深謝するものである。

参考文献

- 1) 石井浩介, 中川達功, 福井学, 微生物生態学への変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法の応用, *BMicrobes and Environments*, Vol. 15, pp. 59-73, 2000.
- 2) Nilsson, W.B., Paraniyep, R.N., DePaola, A., and Strom, M.S.: Sequence Polymorphism of the 16S rRNA Gene of *Vibrio vulnificus* Is a Possible Indicator of Strain Virulence., *J. Clin. Microbiol.*, Vol. 41, pp. 442-446, 2003.
- 3) Kawamura, Y. Suzuki, S., Gasa, S., and Kusuda, R.: Partial purification of a pathogenic substance from *Flavobacterium* species which cause Suminori disease in nori *Porphyra* species., *Microbios.*, Vol. 92, pp. 139-145, 1997.
- 4) Rosche, T.M., Yano, Y., and Oliver, J. D.: A Rapid and Simple PCR Analysis Indicates There Are Two Subgroups of *Vibrio vulnificus* Which Correlate with Clinical or Environmental Isolation., *Microbiol. Immunol.*, Vol. 49, pp. 381-389, 2005.

(2006.5.31受付)

有明干潟の微生物環境 有明干潟生息細菌叢の変動に関する生物学的要因の検索

MICROBIAL ENVIROMENT IN ARIAKE SEA TIDELAND

DETECTION OF BIOLOGICAL FACTOR RELATED TO THE MOVEMENT OF BACTERIAL FLORA

神田康三

農博 佐賀大学教授 農学部応用生物科学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

The seasonal and monthly dynamics of bacterial flora in the Ariake sea tideland has been investigated with physicochemical factors, such as temperature and nutritional condition. Among those physicochemical factors, the temperature and the precipitation were considered to slightly influence the dynamics of bacterial flora, however, the relationship among them was still obscured. Thus, the existence of bacteriophage as the biological factor for the dynamics of bacterial flora was investigated in this study. It is known that the pathogenic bacterium of *Suminori* disease is detected in the winter when *Nori* cultivation has been started in the Ariake sea. When the appearance of bacteriophage infectious to *Suminori* pathogenic bacterium was investigated, the bacteriophage was detected only after *Suminori* disease was observed. According to the result obtained in this study, it is strongly suggested the existence of bacteriophages specific to certain bacteria and they have possibility to be the biological factor for the dynamics of bacterial flora in the Ariake sea.

Key Words : *dynamics of bacterial flora, biological factor, bacteriophage*

1. 序論

これまで有明干潟に生息する環境浄化細菌叢の分布と消長に関して研究を行ってきた。特に、細菌叢の消長に関して長期変動と短期変動を調査した結果、その変動に関する要因として考えられた気象条件(気温、降水量)やアンモニア塩や硝酸塩などの栄養塩濃度などの物理化学的環境要因の変化が必ずしも細菌叢の変動を明確に反映していないことが明らかとなってきた¹⁾。

ところで、自然界では細菌叢の変動に関する要因として、細菌が生育する物理化学的環境の変化とともに細菌感染性ウイルス(いわゆるバクテリオファージ)の存在が一般に指摘されている。このことは水圏に生息する細菌についても同様の事象が考えられたことから、1960年初頭から活発な研究がなされ始め、海洋において多種・多数のバクテリオファージの存在が知られるようになった²⁾。

水圏におけるこれらのバクテリオファージの働きは、これまでの研究の結果から水圏環境の細菌叢に対して非常に重要な役割を担っていることが次々に明らかにされて

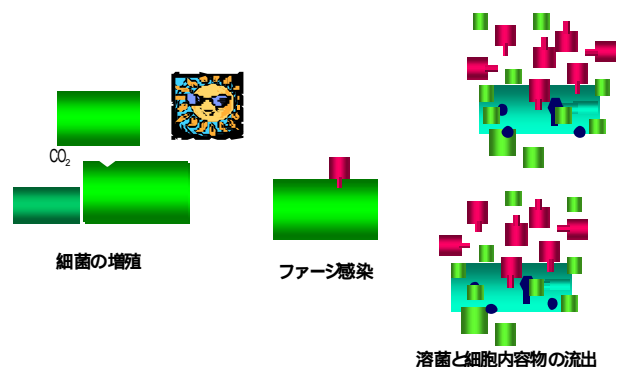


図-1、海洋細菌とファージ

いる³⁾。特に注目すべきバクテリオファージの働きとしては、図1に示すように水圏における食物連鎖の出発点であるとの考えである⁴⁾。すなわち、空中窒素固定能と光合成による炭酸同化作用を有するある種の独立栄養性細菌(Cyanobacteria等)は、貧栄養状態にある外洋においても太陽光が十分であれば、大気中の窒素ガスと炭酸ガスを同化することで無機体から有機体の化合物を体内で合成し、生育・増殖することが可能である。このようにして増殖した独立栄養性細菌にバクテリオファージが感染すると、細菌は溶菌して細胞内容物は水中に放出される。この時、きわめてわずかであるがその周辺の栄養塩の濃度は高くなるはずであるが、この栄養塩を従属栄養性細菌が利用して増殖し得る。すると、次にこれらを真核細胞性生物が捕食等で摂取し増殖してゆき食物連鎖がつづいてゆく。このような考えが現在では定着しうようになってきている。また、近年検索・分離される多種のファージに関する報告からもこのことは裏付けられてきている。

以上のべた世界的研究から、有明海干潟における環境浄化細菌叢(主に窒素化合物を浄化する細菌)の変動にも、これまで行ってきた物理化学的環境要因の他に生物学的要因の関与が考えられるようになってきた。そこで、本研究では有明海における細菌とそれに感染可能なバクテリオファージの出現を検討するため、冬季ノリ養殖時期にのみ検索が可能であることから出現時期が判明している(有明水産振興センター私信)スミノリ症細菌に着目して、細菌の出現に呼応してバクテリオファージが出現する可能性を検討した。

2. 実験材料および方法

スミノリ症細菌の同定

スミノリ症細菌は感染・発症が確認されたものを有明水産振興センターより分与されたものを供試した。細菌種の同定には培養菌体よりDNAを抽出後、16S rDNA領域をプライマーF(5' AACGAGCGMRACCC3')およびプライマーR(5'GACGGGCGGTGTGTRC3')を用いて⁵⁾、PCRで増幅した。次にこの増幅DNA断片の塩基配列を決定後、GenBankデータベースを利用して、細菌種の検索を行った。細菌種の決定はPCR法によって増幅した16S rDNAの塩基配列および細菌の生物学的特性に基づいて行った。

スミノリ症細菌の培養条件

培地はZoBell 2216E培地(表1)を用いた。培養温度は20で、液体培養では振とう培養を行い、固体培養ではZoBell 2216E培地に終濃度が1.5%となるように寒天を加えた培地を使用した。

表1. ZoBell 2216E 培地組成

Polypepton	0.5%
Yeast Extract	0.1%
海水(NaCl: 0.25%)	
pH 8.0	

スミノリ症細菌の増殖速度

ZoBell 2216E培養液に接種したスミノリ症細菌は20で48時間振とう培養を行なった(1次培養)。次に、細菌の1次培養液を新鮮なZoBell 2216E培養液に1/100量接種した後、経時的に培養液の濁度を計測することで細菌の増殖を検討した。

細菌の比増殖率(μ)は対数増殖期にある培養細菌数(n)の経時(t)な変化率として下記の式より導いた。

$$dn / dt = \mu n$$

バクテリオファージの検索

海水および干潟出泥土からのバクテリオファージの検索は図2に示す方法で行った。

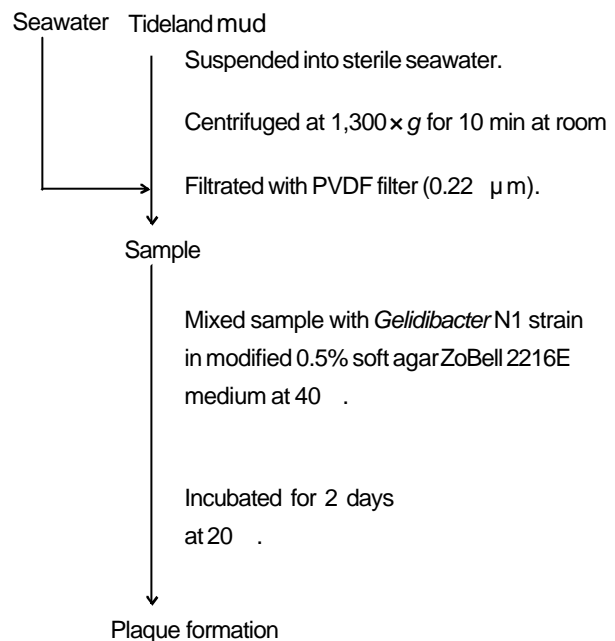


図-2. バクテリオファージの検索

干潟泥土からのバクテリオファージの検索では、予め泥土を滅菌した海水に懸濁したのち、遠心してその上清を用いた。海水および泥土懸濁液の上清は孔径0.22 μmのPVDFミリポアフィルターでろ過してバクテリオファージ検索の試料とした。バクテリオファージ検索試料液は、20で6時間振とう培養して対数増殖期初期に達したス

ミノリ症細菌 *Gelidibacter* N1株を接種した0.5%寒天を含むZoBell 221E培地 と混合し、直ちに混合液を固形BoBell 12216E培地上に注加した。バクテリオファージ検索試料液とミノリ症細菌 *Gelidibacter* N1株を混合した試料は20 で2日間培養し、溶菌斑（ブランク）形成を観察することで、試料中のバクテリオファージの存在を検討した。

バクテリオファージの検索期間

海水および干潟泥土中におけるミノリ症細菌に感染性のバクテリオファージの検索は、ノリ養殖が終了した2005年4月からノリ養殖が実施されていた2006年1月にかけて定期的に海水および干潟泥土を採集して行った。

3. 実験結果および考察

ミノリ症細菌種の同定

ミノリ症細菌の生物学的特性では、本細菌は淡黄色のコロニーをZoBell 2216E 固形培地上で形成する、大きさ約 $1.0 \times 10.0 \mu\text{m}$ のグラム陰性細菌であり、顕微鏡観察によって運動性は認められなかった。一方、16S rDNAの塩基配列による細菌種の検索では、本菌は *Flabobacter* 属および *Gelidibacter* 属と高い相同性を示した。これまでの知見から、ミノリ症細菌は従来 *Flabobacter* 属細菌とされてきたが、今回、新たに *Gelidibacter* 属細菌の可能性が示唆される結果が得られた。そこで両者の相違点である鞭毛の有無を基準として検討した結果、本菌が運動性を欠くことから、*Gelidibacter* 属細菌と同定し、本菌を *Gelidibacter* sp. N1株と呼称した。

なお、*Gelidibacter* 属細菌は新たな海洋細菌として1997年に南極から *Gelidibacter algens* が記載されたが⁶⁾、現在に至るまでに数種の *Gelidibacter* 属細菌が分離されているにすぎない⁷⁻⁹⁾。今回、*Gelidibacter* 属細菌として同定されたミノリ症細菌では、種名の決定までには至っておらず、種の決定は現在検討中である。

ミノリ症細菌の増殖

Gelidibacter sp. N1株をZoBell 2216E培養液に接種後、20 で振とう培養を行い、経時的に培養液の濁度 ($\text{OD}_{660\text{nm}}$) を計測することで細菌の増殖率を検討した。*Gelidibacter* sp. N1株の20 での増殖曲線から、本菌の増殖における対数増殖期の期間は培養後約1時間半から7時間までであることが確認された (図-3)。

対数増殖期にある細菌の菌数と培養時間から *Gelidibacter* sp. N1株の比増殖率 (μ) を求めたところ、 $\mu = 0.3 (\text{hr}^{-1})$ となり、この値から算出される平均倍加時間は2.3 (hr) であった。すなわち、本菌

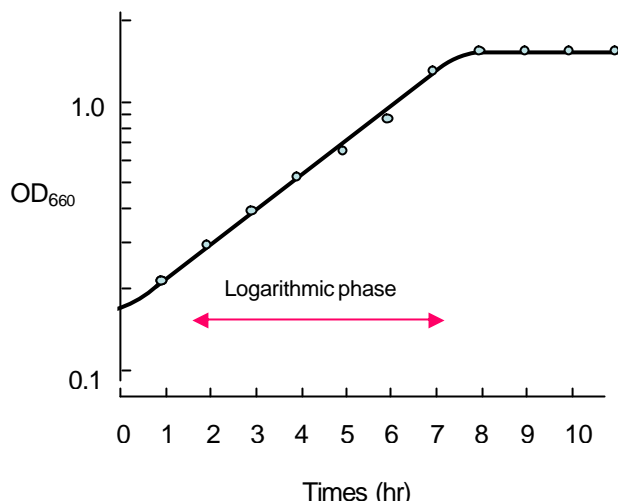


図-3. *Gelidibacter* sp. N1株の増殖曲線

はZoBell 2216E培養液中、20 では2.3時間に1分裂する、遅い増殖速度をもつ細菌であることが明らかとなった。

バクテリオファージの検索

ノリ養殖が終了した2005年4月からノリ養殖が実施されていた2006年1月にかけて定期的にバクテリオファージの検索を行った。その結果、春から晩秋にかけてはバクテリオファージは全く検出されなかったが、ノリ養殖が開始されて1月ほど後の12月初旬に海水試料の試験区で *Gelidibacter* sp. N1株を指示菌とした寒天平板にブランク形成が認められた (図-4)。



図-4. *Gelidibacter* sp. N1株を指示菌とした寒天平板上に認められたブランク

さらに、出現したブランクを白金線で突き、対数増殖期の *Gelidibacter* sp. N1株培養液に接種して培養を

継続した結果、顕著な溶菌現象が認められた(図-5)。

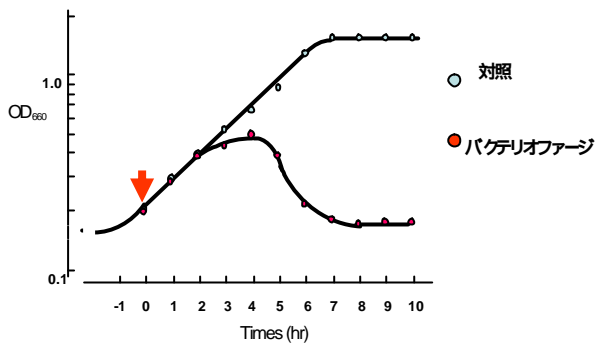


図-5. バクテリオファージによる溶菌曲線

以上の結果から図-4に認められるブランクは明らかにバクテリオファージの出現を証明するものと判断した。

ブランクの出現時期(12月初旬)において、すでにノリ養殖場においてスミノリ症細菌は検索されていた(私信;有明水産振興センター)ことから、バクテリオファージは宿主細菌の出現後に検出可能な状態に複製・増加することが明らかとなった。

結論

これまでの脱窒素細菌を指標とした微生物生態研究によって、干潟域を含む有明海における細菌叢の経時変化の概略をつかむことができた¹⁾。さらに、これら細菌の生育環境に影響を及ぼす環境因子では温度(泥土表層および水温)が重要な因子として揚げられたが、短期的には降雨の影響が示唆された。しかしながら、微生物叢の変動はこれまで研究指標とした物理化学的環境要因のみでは完全とは言いがたいのが現状である。そこで、本研究では微生物叢の変動に関する生物学的要因を検討するため、細菌に感染するバクテリオファージの出現・検索を試みた結果、細菌の出現後それに感染可能なバクテリオファージが出現することを見出した。このことから、有明海における細菌叢の変動に関する生物学的要

因の一つとして、バクテリオファージの存在が重要視されるものと考察した。

謝辞: スミノリ症細菌の分与および六角川河口の海水、泥土の採集を快くお引き受け頂いた、有明水産振興センター・川村嘉応博士、三根崇幸氏に深く感謝いたします。
参考文献

- 1) 神田康三: 有明干潟泥土における窒素化合物浄化に関する細菌群の微生物生態と浄化機構の検討, 佐賀大学有明総合研究プロジェクト成果報告集 第1巻, pp35-38, 2005
- 2) Spencer, R.: Indigenous marine bacteriophages, *J. Bacteriol.*, Vol. 79, p. 614, 1960
- 3) Suttle, C.A., Chan, A.M. and Cottrell, M.: Infection of phytoplankton by viruses and reduction of primary productivity, *Nature*, Vol.347, pp.467-469, 1990
- 4) Fuhrman, J.A.: Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects, *Nature*, Vol. 399, pp.541-548, 1999
- 5) Oyaizu, H. Identification of bacteria and analysis of microflora by 16S rDNA sequences. Business Center for Academic Society of Japan, Tokyo 1992
- 6) Bowman, J.P., McCammon, S.A., Brown, J.L., Nichols, P.D. and McMeekin, T.A., *Psychroserpens burtonensis* gen. nov., sp. nov., and *Gelidibacter algens* gen. nov., psychophilic bacteria isolated from Antarctic lacustric and sea ice habitats, *Int. J. Sys. Bacteriol.*, Vol. 47, pp.670-677, 1997
- 7) Macian, M.C., Pujalte, M.J., Marquez, M.C., Ludwig, W., Ventosa, A., Garay, E. and Schleifer, K.H.: *Gelidibacter mesophilus* sp. nov., a novel marine bacterium in the family *Flavobacteriaceae*, *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, Vol. 52, pp. 1325-1329, 2002
- 8) Brown, J.P. and Nichols, D.S. : Novel members of the family *Flavobacteriaceae* from Antarctic marine habitats including *Subsaximicroblum wynnwilliamsii* gen. nov., sp. nov., *Subsaximicroblum saxingullinus* sp. nov., *Subsaxibacter broadly* gen. nov., sp. nov., *Lacinutrix copepodicola* gen. nov., sp. nov., and novel species of the genera *Bizionia*, *Gelidibacter* and *Gillisia*, *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, Vol. 55, pp. 1471-1486, 2005

(2006.5.31受付)

魚卵由来リン脂質の栄養生理機能に関する研究

PHYSIOLOGICAL FUNCTION OF FISH-EGG PHOSPHOLIPIDS ON LIPID METABOLISM IN OBESE RATS

柳田晃良¹、城内文吾²、永尾晃治³

Teruyoshi YANAGITA, Bungo SHIROUCHI and Koji NAGAO

¹農博 佐賀大学教授 農学部生命機能科学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²農修 鹿児島大学大学院博士課程 連合農学研究科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³農博 佐賀大学助手 農学部生命機能科学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

Dietary effect of fish-egg phospholipids on lipid metabolism was compared to that of chicken-egg phospholipids in obese, hyperlipidemic Otsuka Long-Evans Tokushima (OLETF) rats. Two groups of rats (6 rats each) were fed for 4 weeks diet containing 2% of phospholipids from fish-egg or chicken-egg. After 4 weeks feeding, OLETF rats revealed obesity and hyperlipidemia. Although growth parameters, such as food intake, food efficiency, and body weight gain were not affected by dietary phospholipids, liver weight and abdominal white adipose tissue weight were significantly decreased by fish-egg phospholipids feeding. Dietary fish-egg phospholipids lowered serum lipid levels and suppressed hepatic lipids accumulation, compared with chicken-egg phospholipids. Those effects were attributable to the suppression of fatty acid synthesis and the promotion of fatty acid β -oxidation in the liver by fish-egg phospholipids. In addition, fish-egg phospholipids increased adiponectin level and diminished glucose level in the blood of OLETF rats. These results suggest that fish-egg phospholipids have beneficial physiological activities for prevention and alleviation of life-style diseases.

Key Words : *Fish-egg phospholipids, adiponectin, lipid metabolism, OLETF rats*

1. 序論

近年、食生活や生活スタイルの変化が原因となって発症する生活習慣病(癌、高脂血症、動脈硬化、糖尿病、高血圧)は、日本を含め先進工業国においてその罹患率が増大し、人口の高齢化が急速に加速する中において、今や医学領域のみならず社会経済的にも最も重要な課題となっている。現在の日本人の3大死因は、癌・心疾患・脳血管障害であるが、これら死に直結する疾患の発症においても、肥満・高脂血症・糖尿病・高血圧などの「死の4重奏」と呼ばれる生活習慣病が、動脈硬化に伴う脳溢血や心筋梗塞の惹起、脂肪肝から肝臓癌への進展などを引き起こす重大なリスクファクターであることが知られている。生活習慣病の原因ならびに発生病理に関しては、その3? 6割が過食・運動不足などの生活習慣を基盤とした肥満、特に内臓脂肪の蓄積に起因している

ことが明らかとなっており、日本人では20? 25%が肥満を発症しているとの報告がある。このような内臓肥満発症の原因の一つとして、食生活の欧米化に伴い食事の脂質エネルギー量が急激に増大したことが挙げられている。また食事脂肪の栄養生理作用に関しては、量の問題だけでなく、質の重要性についての検討が進められている。

食事脂肪の主成分である脂肪酸は、炭素鎖中の二重結合の有無及び数によって飽和脂肪酸・一価不飽和脂肪酸・多価不飽和脂肪酸に分類される。リノール酸(18:2,n-6)や α -リノレン酸(18:3,n-3)などの多価不飽和脂肪酸は、生体内では合成できないために食事から必ず摂取しなければならない必須脂肪酸であり、これらは植物性油脂に多く含まれる。一方で、貯蔵脂肪として体内に蓄積されやすいことが知られている飽和脂肪酸は、牛脂や豚脂などの動物性油脂に多く含まれる。しかしながら、魚介類由来の油脂は、動物性油脂でありなが

らエイコサペンタエン酸 (EPA, 20:5, n-3) やドコサヘキサエン酸 (DHA, 22:6, n-3) などの高度多価不飽和脂肪酸を豊富に含むことから、特異な生理作用を持つことが指摘されている。

日本の干潟の40%の面積をもつ有明海は、極めて高い漁業生産力を有し、日本の他の海域では見られない特産魚介生物の宝庫として知られている。本研究は、魚介類中に含まれる、生活習慣病の予防・改善に役立つ生体調節機能成分を検索する事を目的とする。特に、食事の脂肪酸は遊離脂肪酸・トリグリセリド・リン脂質として存在するが、それらの栄養生理機能の違いについての研究に乏しいのが現状であるため、魚卵由来リン脂質を調製し、その栄養生理機能についての検討を行った。

2. 実験方法

実験動物には、肥満モデルであるOtsuka Long-Evans Tokushima Fatty (OLETF)ラットを用いた。

表1 食餌リン脂質の脂肪酸組成

	鶏卵PL	魚卵PL
14:0	1.4	1.4
16:0	29.9	15.0
16:1	1.4	1.2
18:0	17.5	13.9
18:1	27.9	10.5
18:2 n-6	15.4	0.7
20:5 n-3	n.d.	12.0
22:5 n-3	n.d.	5.2
22:6 n-3	n.d.	28.1
Others	7.8	12.0

表2 実験食の組成

	鶏卵PL	魚卵PL
カゼイン	20	20
コーンスターチ	15	15
セルロース	5	5
ミネラル混合	3.5	3.5
ビタミン混合	1	1
DL-メチオニン	0.3	0.3
酒石酸コリン	0.2	0.2
コーン油	5	5
鶏卵リン脂質	2	-
魚卵リン脂質	-	2
スクロース	48	48

魚卵由来リン脂質 (魚卵PL) の調製は、原料であるイクラから溶剤をエタノールとして抽出した。表1には本実験で使用した食事リン脂質の脂肪酸組成を示した。対照としては、構成脂肪酸にEPAやDHAを含まない鶏卵リン脂質 (鶏卵PL) を用いた。食餌組成はAIN-76に準じ、食

事脂肪としてコーン油5%を含み、鶏卵PLもしくは魚卵PLを2%添加した (表2)。以上の食餌を、8週齢雄のOLETFラットに4週間摂食させ、腹部大動脈採血により屠殺を行い肝臓及び脂肪組織 (腎臓周辺・精巣周辺・腸管膜周辺・腹部皮下) を摘出し分析に供した。

血清トリアシルグリセロール濃度はトリグリセライドE-テストワコー (和光純薬) を用いて、GPO-DAOS法により測定した。血清コレステロール濃度は、コレステロールE-テストワコー (和光純薬) を用いてコレステロールオキシダーゼ-DAOS法により測定した。血清グルコース濃度はグルコースC-テストワコー (和光純薬) を用いてムロターゼ-GOD法により測定した。

肝臓脂質はFolchらの方法により抽出、濃縮した¹⁾。即ち、摘出した肝臓0.25gを7.5mlのメタノール、15mlのクロロホルムでホモジナイズした後、37℃、30分間で加温抽出し、クロロホルム:メタノール混液 (C:M=2:1, v/v) で25mlにfill upし濾過した。濾液量測定後、蒸留水を20%溶加え転倒混和し、一晩放置した。翌日、クロロホルム層をエバポレーターを用いて減圧濃縮し、石油エーテルに再溶解した後25mlにfill upした。

肝臓トリアシルグリセロール濃度はFletcherらの方法により定量した²⁾。脂質抽出液を、窒素ガス下でdry up後、クロロホルム5ml及びシリカゲル1.0gを添加し、よく振とうした後、遠心分離を行った (3000rpm、10分間)。そのうち1mlを再び窒素ガス下でdry upし、イソプロパノール:蒸留水 (isopro:H₂O=9:1, v/v) 2ml、5%水酸化カリウム液 (in isopro:H₂O=2:3) 0.6mlを加え、栓をして60~70℃水浴中で30分間加温した (ケン化)。3mMメタ化ヨウ素酸ナトリウム1ml、アセチルアセトン液0.5mlを加え十分混和し、50℃水浴中で30分間加温発色させた。冷却後、405nmで吸光度を測定した。

肝臓コレステロール濃度は、コレステロールE-テストワコー (和光純薬) を用いてコレステロールオキシダーゼ-DAOS法により測定した。脂質抽出液をdry up後、発色液を入れて攪拌し、30℃で5分間加温した。次に、クロロホルム1.5mlを加え、シェーカーで5分間混和し、20分間遠心分離 (3000rpm、10分) 後、波長600nmで吸光度を測定した。

血中のアディポサイトカイン濃度は、アディポネクチン、レプチン、plasminogen activator inhibitor type-1 (PAI-1) をそれぞれrat adiponectin ELISA kit (大塚製薬)、rat leptin ELISA kit (矢内原研究所)、rat PAI-1 ELISA kit (コスモバイオ) を用いてサンドイッチELISA法により測定した。

肝臓酵素活性測定のために、屠殺後摘出した肝臓を氷冷下で6倍容の0.25M Sucrose, 1mM EDTA, 10mM Tris-HCl Buffer (pH7.4) でホモジナイズ後、700×gで10分間遠心し、上清をさらに10,000×gで60分間遠心分離後、上清の細胞質 (サイトソル) 画分及び沈殿したミクロソーム画分を得た。各画分のタンパク質量はLowry法により測

定した³⁾。

脂肪酸合成の律速酵素である脂肪酸合成酵素 (FAS) 活性は、Kellyらの方法に従い、サイトソル画分を用いて測定を行った⁴⁾。

脂肪酸 酸化系の律速酵素であるカルニチンパルミトイル転移酵素 (CPT) 活性は、Markwellらの方法に従い、ミトコンドリア画分を用いて測定を行った⁵⁾。

極長鎖脂肪酸の 酸化を行うペルオキシソーム 酸化活性は、Lazarowの方法に従い、ミトコンドリア画分を用いて測定を行った⁶⁾。

実験によって得られたデータは、Student's t-Testを用いて統計処理を行った⁷⁾。

3. 実験結果

4週間飼育後、食事リン脂質の違いはOLETFラットの体重、摂食量、飼料効率に影響を与えなかった(表3)。しかしながら魚卵PL摂取により、肝臓重量および内臓脂肪組織重量(図1)に有意な減少が認められ、肝肥大抑制作用と抗肥満作用が示唆された。

表3 ラットの成長に及ぼす食餌リン脂質の影響

	鶏卵PL	魚卵PL
初体重 (g)	112±2	112±3
終体重 (g)	329±3	322±5
摂食量 (g)	611±5	607±4
食効率 (g gain/g intake)	0.355±0.006	0.345±0.006
肝臓重量 (g/100g BW)	4.20±0.11	3.35±0.06 *

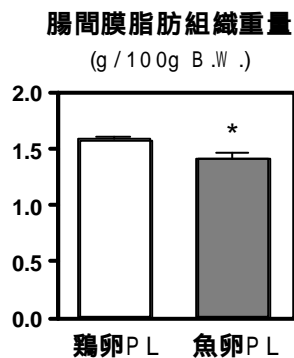


図1 魚卵リン脂質摂取が内臓脂肪組織重量に及ぼす影響
*P<0.05で有意差有り

また4週間の魚卵リン脂質摂取は、OLETFラットの血清脂質濃度を顕著に低下させ、高脂血症発症予防作用を發揮した(図2)。そこで脂質代謝の中心臓器である肝臓における脂質濃度に及ぼす魚卵リン脂質の影響について検討したところ、トリグリセリド濃度を約55%、コレス

テロール濃度を42%、それぞれ顕著に低下させた(図3)。これら肝臓における脂質蓄積の抑制が、肝肥大改善に繋がったものと考えられた。

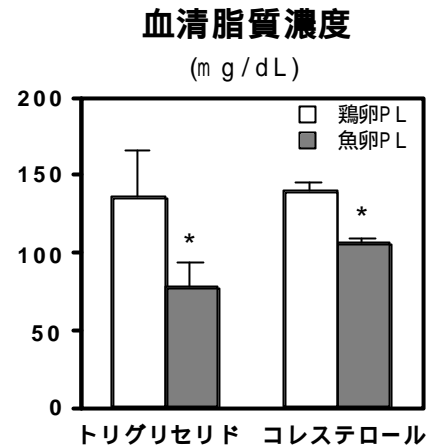


図2 魚卵リン脂質摂取が血清脂質濃度に及ぼす影響
*P<0.05で有意差有り

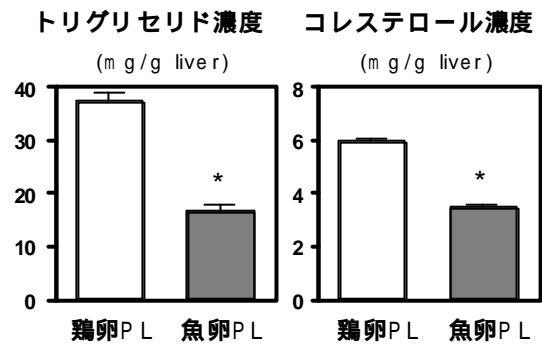


図3 魚卵リン脂質摂取が肝臓脂質濃度に及ぼす影響 *P<0.05で有意差有り

そこで魚卵リン脂質によるこれらの作用機序について、肝臓の脂肪酸代謝関連酵素活性(FAS、CPTおよびペルオキシソーム 酸化)に及ぼす影響を検討した。その結果、肝臓の脂肪酸合成関連酵素であるFASの活性が、魚卵リン脂質摂取により有意に抑制されることが示された(図4)。またミトコンドリアにおける脂肪酸 酸化の律速酵素であるCPTの活性及びペルオキシソーム 酸化活性において、魚卵リン脂質摂取により有意に亢進されることが示された(図5)。従って、魚卵リン脂質摂取による脂質代謝の改善には、肝臓における脂肪酸の合成抑制と分解亢進が寄与していることが示唆された。

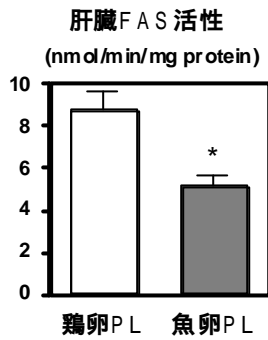


図4 魚卵リン脂質摂取が肝臓脂質合成系酵素活性に及ぼす影響 *P<0.05で有意差有り

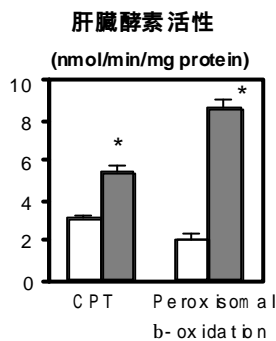


図5 魚卵リン脂質摂取が肝臓脂質燃焼系酵素活性に及ぼす影響 *P<0.05で有意差有り

さらに、魚卵リン脂質摂取が脂肪組織から分泌される生理活性物質：アディポサイトカインの産生に及ぼす影響についても検討した。その結果、食欲制御やエネルギー代謝調節に関与するレプチンの血清濃度には、群間で差が認められなかった。炎症性マーカーであるPAI-1の血清濃度は、魚卵リン脂質摂取により約39%の低下傾向が示された。脂質代謝や糖代謝を亢進させることが知られているアディポネクチンの血清濃度は、魚卵リン脂質摂取により有意に増加した(図6)。さらに血糖値の有意な減少も認められたことから、魚卵リン脂質摂取によるアディポネクチン濃度上昇により糖代謝も亢進されたことが示唆された。

4. 結論

以上の結果から、魚卵由来リン脂質は、抗肥満作用・抗高脂血症作用・糖代謝改善作用を示し、生活習慣病の予防に利用し得ることが示された。

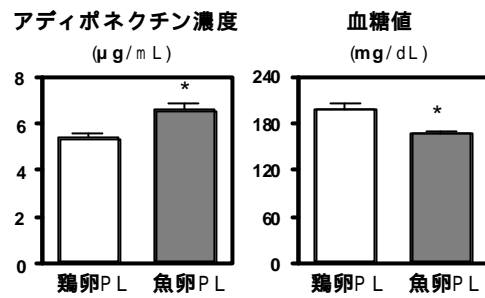


図6 魚卵リン脂質摂取が血中アディポネクチン濃度および血糖値に及ぼす影響 *P<0.05で有意差有り

謝辞：魚卵リン脂質を供与頂いた日本油脂株式会社に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Folch, J. Lees, M. and Sloane-Stanley, G.H.: A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues., *J. Biol. Chem.*, Vol.226, pp.497-506, 1957.
- 2) Fletcher, M.J.: A colorimetric method for estimation of serum triglycerides, *Clin. Chem. Acta.*, Vol.22, pp.393-397, 1968.
- 3) Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J.: Protein measurement with the folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, Vol.193, pp.265-275, 1951.
- 4) Kelly, D.S., Nelson, G.J. and Hunt, J.E.: Ethanol modulation of the hormonal and nutritional regulation of glucose 6-phosphate dehydrogenase activity in primary cultures of rat hepatocytes, *Biochem. J.*, Vol.235, pp.87-90, 1986.
- 5) Markwell, M.A.K., McGroarty, E.J., Bieber, L.L. and Tolbert, N.E.: The subcellular distribution of carnitine acyltransferases in mammalian liver and kidney, *J. Biol. Chem.*, Vol.248, pp.3433-3440, 1973.
- 6) Lazarow, P. B.: Assay of peroxisomal beta-oxidation of fatty acids, *Methods in Enzymology.*, Vol.72, pp.315-319, 1981.
- 7) Fisher R. A.: Tests of significance of means, differences of means, and regression coefficients, *Statistical methods for research workers*, Vol. 14, pp114-176, 1970.
- 8) 「脂質栄養と健康」監修(社)日本栄養・食糧学会(編著者宮澤陽夫、柳田晃良、藤本健四郎)、建帛社、2005

(2006.5.31受付)

有明海海苔由来成分のヒト好中球に対する 生理活性と含有ポリペプチドの検索

Biological activities of the components derived from nori seaweed from the Ariake Sea
in human neutrophils and investigation of polypeptides in these components

林 良¹・杉山大輔²・吉木政弘³・長田聰史⁴・藤田一郎⁵・兒玉浩明⁶
Ryo HAYASHI, Daisuke SUGIYAMA, Masahiro YOSHIKI,
Satoshi OSADA, Ichiro FUJITA and Hiroaki KODAMA

¹理博 佐賀大学非常勤研究員 佐賀大学大学院工学系研究科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²理学士 佐賀大学大学院工学系研究科博士前期課程 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³理博 佐賀県地域支援センター (〒849-0932 佐賀市鍋島町八戸溝114)

⁴理博 佐賀大学助手 理工学部機能物質化学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁵医博 佐賀大学助教授 医学部小児科 (〒849-8501 佐賀市鍋島五丁目1番1号)

⁶理博 佐賀大学助教授 理工学部機能物質化学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

Biological activities of the components derived from nori seaweed from the Ariake Sea was evaluated in human neutrophils. The components exhibited no agonistic activities toward chemotaxis in human neutrophils. However, human neutrophils treated with the components increased in chemotactic activity compared with untreated cells when stimulated with formyl-Met-Leu-Phe-OH. A similar phenomenon is known as 'priming' of human neutrophils. To explore the priming agents composed of polypeptides, quantitative amino acid analyses were carried out by phenylthiocarbonyl method. As the results, it was suggested that the components contained the free amino acids and the polypeptides.

Key Words : nori seaweed from the Ariake Sea, polypeptide, human neutrophil, priming

1. 序論

近年、高等植物や海洋生物から抗菌性・抗腫瘍性など多くの有効な活性を持つ物質の単離・構造決定が報告されている¹⁾⁴⁾。抗がん性、抗腫瘍性、細胞毒性は1982年にSuffnessらの提案⁵⁾を元に定義されており、*in vitro*な系で腫瘍細胞に活性を示した時には細胞毒性 (cytotoxicity)、動物実験の腫瘍細胞に有効性が観察された時では抗腫瘍活性 (antineoplastic or antitumor) と表現され、ヒトのがんにおいて臨床的に有効性が認められた際には制がん性あるいは抗がん性 (anticancer) が用いられる。高等植物から単離された化合物の中には抗がん剤として臨床に用いられているvinblastine、vincristine、podophyllotoxin誘導体、camptothecinなどが知られている¹⁾。また海洋生物も1960年代から未利用天然資源物として注目され、鎮痛薬として利用されているイモガイ *Conus magus* から単離された ω -conotoxin MVIIAなどが成果としてあげられる²⁾。

日本の干潟の40%の面積を占める有明海は、高い漁業生産力を有しており、また他の海域では観察できない特産生物も多く見る事ができる場所として知られている。また有明海の高産量海苔生産量は全体の半分を占めており、有明海に接する各県の重要な産業の一つとなっている。海苔は食用海藻の中でも栄養学的に優れた食品である。例えば海苔に含まれるタンパク質含有量は大豆とほぼ同程度である⁶⁾。また海藻から抗菌性及び抗ウイルス性物質、抗腫瘍性物質、血圧調節作用物質などが明らかにされつつあり、食用及び非食用的な利用として関心が寄せられている⁶⁾。

一般に藻類は水界に棲息し、底生またはプランクトンとして生活している。それらの中で海藻は海中または淡水において光合成が可能な深度で棲息している。現在、食用に利用されている海苔は真核植物—紅藻植物—紅藻類—アマノリ属に分類され、アサクサノリやスサビノリが該当する。アマノリ属の海苔の乾物中には約40%の糖

質が含まれており、さらにその中の80%はポルフィランと呼ばれる海苔特有の水溶性多糖類で構成されている。これらポルフィランにも先の海藻と同様に脂質吸収抑制、腸管免疫の活性化などの生理活性が認められており⁷⁾、効率的なポルフィラン抽出法の開発が研究されている。本研究ではポルフィリン抽出後の有明海海苔由来成分に着目し、その有効活用を指向して、免疫細胞であるヒト好中球における海苔残渣が持つ生理活性とそれら生理活性物質の検索を行った。

2. 実験

(1)有明海海苔由来低分子量化合物の調製

有明海苔から熱水処理によりポルフィランを抽出した後の残渣を乾燥させ、有明海海苔由来成分として用いた。

(2)ヒト好中球の単離

ヒト静脈抹消血をデキストラン沈降分離させ、低張溶解により赤血球を溶解させた後、Ficoll-Paque法により好中球を単離し、血液算定板を用いて白血球の数を計測後、以下の実験に用いた。

(3)遊走活性評価

遊走活性評価には、Boydenチャンパー法を用いて行った。チャンパーの下室は遊走因子fMLP 10^{-9} Mから 10^{-6} Mで満たし、ポリカーボネートフィルターを挟んだ後、上室に好中球を満たした。フィルターを通過する好中球の数を固定し染色後、マイクロプレートリーダーで計測する事で、遊走評価とした。海苔残渣を0.05 mg/mLから0.5 mg/mLの濃度で好中球へ事前に感作させ、遊走能を検討した。

(4)アミノ酸分析

海苔残渣に含まれる遊離アミノ酸及びペプチドまたはタンパク質由来アミノ酸はフェニルチオカルバモイル(PTC)法により検出した。アミノ酸混合標準液H型(和光純薬; アスパラギン酸、スレオニン、セリン、グルタミン酸、プロリン、グリシン、アラニン、システイン、バリン、メチオニン、イソロイシン、ロイシン、チロシン、フェニルアラニン、リジン、ヒスチジン、アルギニン混合溶液) 2.5 μ mol/mL溶液 10 μ Lをアシストチューブに分注した。次に40% メタノール/40% 水/20% トリエチルアミン 20 μ Lを加え中和し、凍結乾燥した。70% メタノール/10% 水/10% トリエチルアミン/10% イソチオシアン酸フェニル(和光純薬)溶液 40 μ Lを加えて、室温で20分間反応させラベル化した後、凍結乾燥し、過剰のイソチオシアン酸フェニルを除去した。分析はLiChrospher 100RP-18(e)カラム(関東化学)を用い、カラムオープン 40、溶離液A 94% 60 mM 酢

酸ナトリウム緩衝液(pH 6.0)/6% アセトニトリル、溶離液B 40% 60 mM 酢酸ナトリウム緩衝液(pH 6.0)/60% アセトニトリル、流速 1.0 mL/min、20分間での溶離液A 100%/溶離液B 0%から溶離液A 30%/溶離液B 70%の直線グラジエント、検出波長 254 nmの条件で行った。標準アミノ酸混合物を用いた基準値を基に各アミノ酸を定量した。海苔残渣は10 mg/mLの濃度で水に溶解させた後、10 μ Lを分析サンプルとした。遊離アミノ酸については凍結乾燥後、ペプチドまたはタンパク質由来アミノ酸は20%塩酸(和光純薬)による110°C、24時間の加水分解後に上記の同条件でPTCラベル化し、分析を行った。

(5)ろ紙電気泳動

電気泳動用ろ紙No. 51A(Advantec)を幅10 cmに切断し、ギ酸—酢酸緩衝液(4.5%ギ酸/6%酢酸/89.5%水, pH 1.9)⁸⁾により500 V(ESP203AA Power Supply, Advantec)の定圧で電気泳動し、0.2%ニンヒドリン溶液により検出した。

3. 結果

(1)ヒト好中球における生理活性

序論に示した通り、海苔の構成成分であるポルフィランは腸管免疫活性化作用がある事から⁷⁾、本研究においても免疫細胞であるヒト好中球に対する生物活性について検討した。ヒト好中球は免疫細胞の主成分で、炎症部位への遊走、活性酸素の放出や分解酵素の分泌、貪食により感染源を排除する細胞応答を示す。これら細胞応答を引き起す物質としてバクテリア由来のホルミルペプチド、広くはformylMet-Leu-Phe-OH(fMLP)が知られている⁹⁾。海苔由来成分の活性評価は好中球の遊走活性に対する影響で評価した。

まず、海苔由来成分に対するヒト好中球の遊走活性について調査した。ポジティブコントロールとしてfMLP 100 nMを用いた。結果をFig. 1に示す。5 mg/mLの海苔由来成分でfMLP 100 nMの約半分の遊走活性が観察されたが、0.5 mg/mLの濃度で顕著な遊走活性は認められなかった。そこで次に海苔由来成分の前投与によるヒト好中球に対する生物活性について検討した。顕著な遊走活性が認められなかった0.5、0.25、0.1、0.05 mg/mLの濃度の海苔由来成分をヒト好中球に投与し、fMLP 100 nMに対する遊走活性を評価した(Fig. 2)。結果、0.5 mg/mLの海苔由来成分を前投与したヒト好中球においてfMLPに対する遊走活性が約1.3倍上昇していた。更に各濃度でのfMLPに対する海苔由来成分の影響を検討したところ、fMLP 1 mMに対して0.5 mg/mLの海苔由来成分を前投与したヒト好中球において約14倍の著しい遊走活性の増強が認められた(Fig. 3)。

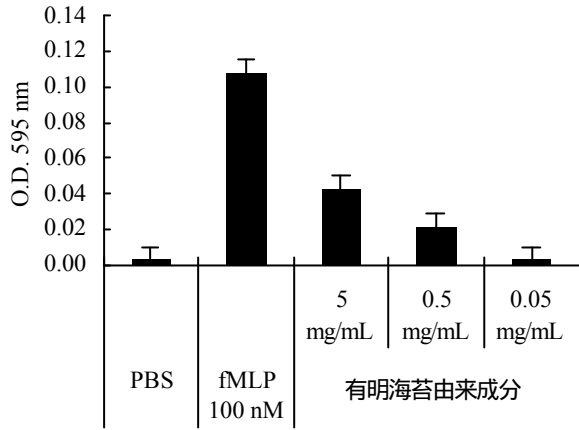


Fig. 1 有明海海苔由来成分に対するヒト好中球の遊走

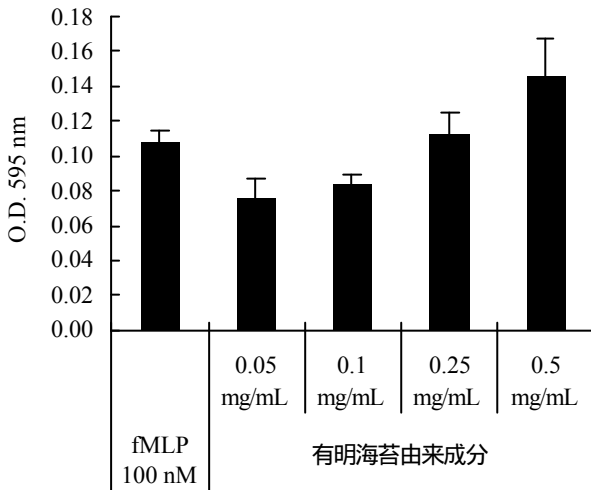


Fig. 2 有明海海苔由来成分の前投与によるヒト好中球のfMLPに対する遊走活性への効果

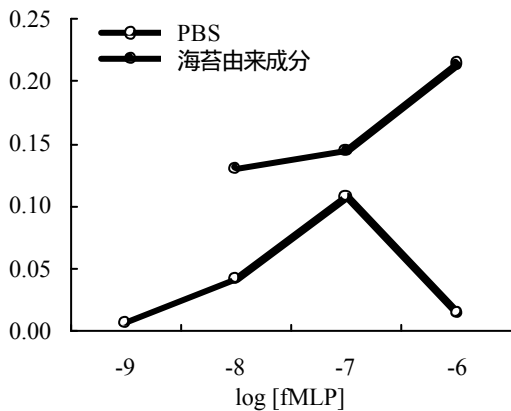


Fig. 3 各濃度のfMLPに対する有明海海苔由来成分のヒト好中球における遊走活性への影響

(2) アミノ酸分析

海苔には多糖類の他、多くのタンパク質も含まれている⁶⁾。よって好中球を活性化状態へと誘導する生理活性物質としてペプチドまたは低分子量のタンパク質の存在が考えられた。そこでポルフィラン抽出後の有明海海苔サンプルに含まれる遊離アミノ酸及び酸加水分解処理後のアミノ酸量を比較した。アミノ酸分析はPTC法により行った。本法はピコモルレベルでの高感度検出が可能である。結果をFig. 4に示す。遊離アミノ酸としてはAlaが最も多く検出され、Glu及びAspも検出されたが、他のアミノ酸については検出限界であった。しかしながら、酸加水分解処理後のサンプルにおいては、Alaの増加と共に、遊離アミノ酸としては検出されなかった他の種類のアミノ酸が検出された。一方でGlx及びAsxの酸性アミノ酸の増加は観測されなかった。これらの結果は海苔由来成分中にペプチドまたはタンパク質成分が含まれている事を示唆している。

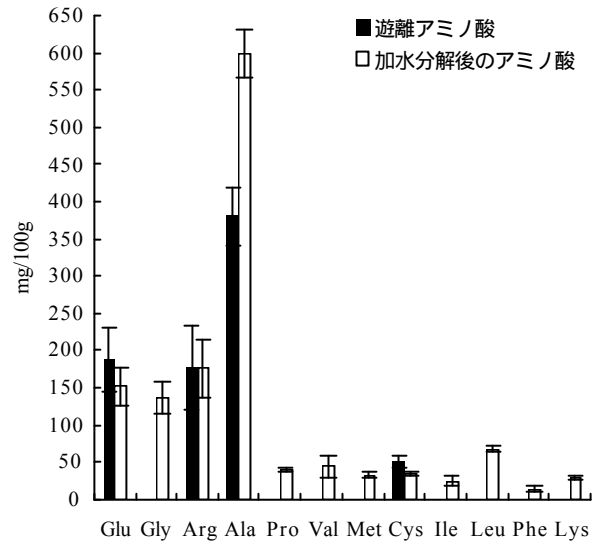


Fig. 4 有明海海苔由来成分における遊離アミノ酸量と酸加水分解処理後のアミノ酸量

(3) ろ紙電気泳動

アミノ酸分析結果から海苔由来成分にはAlaが多く含まれている事が示唆された。しかしながら、海藻中には含硫アミノ酸の一種であるタウリンもまた多く含まれ、タウリンはタンパク質を形成しないアミノスルホン酸である。従って、Alaのカルボン酸とタウリンの硫酸基の pK_a の違い (Ala $-\text{COOH}$, pK_a 2.35; taurin $-\text{SO}_3\text{H}$, pK_a 1.5) を利用し、pH 1.9の緩衝液条件下でのろ紙電気泳動法により遊離アミノ酸の確認を行った(Fig. 5)。PTC法により検出されたアミノ酸はAlaであることを支持する結果であった。また $R_f = 0.37$ にニンヒドリンによる発色が認められ、塩基性ペプチドまたはタンパク質の存在が示唆された。

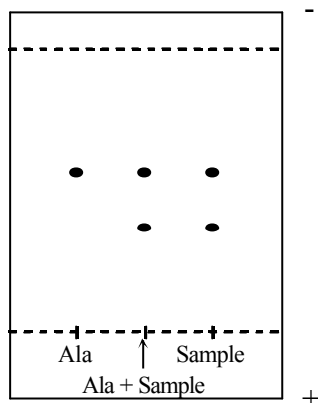


Fig. 5 ろ紙電気泳動による
アミノ酸及びペプチドの検出

4. 考察

本研究では有明海海苔からのポルフィラン抽出後の海苔由来成分に着目し、それら海苔由来成分が主要な免疫細胞であるヒト好中球をアゴニストに対する応答が増大する活性化状態へと誘導することを明らかにした (Figs. 2 and 3)。fMLPはヒト好中球の細胞膜上に存在するホルミルペプチド受容体に結合し、細胞応答を引き起す。ホルミルペプチド受容体はGタンパク質共役型受容体に属し、7回膜貫通型の構造をとる。有明海海苔由来成分を前投与されなかったヒト好中球におけるfMLP 1 mMでの遊走活性の低下 (Fig. 3) は脱感作されたために起こるが、海苔由来成分前投与により脱感作濃度域で遊走活性が増強されたことは、海苔由来成分によりホルミルペプチド受容体の脱感作機構障害を含む高活性化状態へと誘導されたためと考えられた。

前投与により細胞応答が増強される現象は好中球のプライミングとして知られている^{10), 11)}。ヒト好中球におけるプライミングは細菌由来のリポポリサッカライド (LPS) によっても引き起され^{12), 13)}、Toll様受容体が関与していることが報告されている¹⁴⁾。従って、今回の海苔由来成分に残存する多糖類がLPSと同じ経路で好中球のプライミングを引き起したのかもしれない。

さらに活性成分として低分子量のペプチド及びタンパク質の可能性をアミノ酸分析及びろ紙電気泳動法により検討した。海藻中に含まれるアミノ酸量はAla、Glu及びAspが多く、アマノリ100 g中に含まれるそれらの量はそれぞれ4.2 g、4.2 g、3.4 gと多い⁶⁾。海苔由来成分においては最も多いAlaで約380 mgであり、大部分が熱水処理時に溶解したものと考えられる。しかしながら加水分解後のアミノ酸分析結果及びろ紙電気泳動の結果は塩基性

ペプチドあるいはタンパク質の存在が示唆された。好中球のプライミングはサイトカイン、ホルモン及び成長因子など^{10), 11)}、さらには低濃度のfMLPによっても同様に引き起される^{15), 16), 17)}。従って、海苔由来成分中のペプチド及びタンパク質の好中球のプライミングに関わっている可能性も考えられた。

有明海海苔由来成分の免疫細胞の活性化作用は海苔の高機能食品開発の可能性を示唆しており、また存在が示唆されたペプチド及びタンパク質の単離及び同定は免疫機構解明の新たなツールになるかも知れない。

参考文献

- 1) 糸川秀治, 竹谷孝一, 一柳幸生, 森田博史, 薬学雑誌, **119**, 529-583 (1999)
- 2) 松永茂樹, 化学と生物, **40**, 813-819 (2002)
- 3) N. Fusetani and S. Matsunaga, *Chem. Rev.*, **93**, 1793-1806 (1993)
- 4) P. Wipf, *Chem. Rev.*, **95**, 2115-2134 (1995)
- 5) M. Suffness and J. Douros, *J. Nat. Prod.*, **45**, 1-14 (1982)
- 6) 大石圭一, シリーズ食品の科学 海藻の科学, 朝倉書店
- 7) 林信幸, 藤田修二, 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集, **1**, 77-80 (2005)
- 8) C. J. Bailey and J. A. Ramshaw, *Biochem. J.*, **135**, 889-891 (1973)
- 9) E. Schiffmann, B. A. Corcoran, and S. M. Wahl, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **72**, 1059-1062 (1975)
- 10) A. M. Condliffe, E. Kitchen, and E. R. Chilvers, *Clin. Sci. (Lond)*, **94**, 461-471 (1998)
- 11) S. D. Swain, T. T. Rohn, and M. T. Quinn, *Antioxid. Redox. Signal.*, **4**, 69-83 (2002)
- 12) J. E. Hughes, J. Stewart, G. R. Barclay, and J. R. Govan, *Infect. Immun.*, **65**, 4281-4287 (1997)
- 13) L. A. Guthrie, L. C. McPhail, P. M. Henson, and R. B. Johnston, Jr., *J. Exp. Med.*, **160**, 1656-1671 (1984)
- 14) I. Sabroe, L. C. Parker, A. G. Wilson, M. K. Whyte, and S. K. Dower, *Clin. Exp. Allergy*, **32**, 984-9 (2003)
- 15) A. C. Issekutz, K. Lee, and W. D. Biggar, *Infect. Immun.*, **24**, 295-301 (1979)
- 16) A. B. Karnad, K. L. Hartshorn, J. Wright, J. B. Myers, J. H. Schwartz, and A. I. Tauber, *Blood*, **74**, 2519-2526 (1989)
- 17) P. Bellavite, S. Chirumbolo, G. Lippi, P. Guzzo, and C. Santonastaso, *Cell Biochem. Funct.*, **11**, 93-100 (1993)

(2006.5.31受付)

ビブリオ・バルニフィカス感染症対策 臨床医学的アプローチ (第一報)

A *VIBRIO VULNIFICUS* MEASURES
APPROACH OF CLINICAL MEDICINE -THE FIRST REPORT-

中島幹夫¹・大石浩隆²
Mikio NAKASHIMA and Hiroataka OISHI

¹医博 佐賀大学教授 麻酔・蘇生学 (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)

²医博 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)

Necrotizing fasciitis followed with septic shock caused by *Vibrio vulnificus* is relatively rare but life-threatening infection. Our previous report indicates that more than half of patients in Japan are reported from hospitals in northern Kyushu, especially in four prefectures around the Ariake Sea. Instead of the high mortality rate, little information is available about its virulence, pathophysiology, and effective treatment. The aim of this study was to educate people to *V. vulnificus* such as patients with liver dysfunction or immunosuppressive diseases, to prevent an outbreak, and to reduce the mortality rate of this marine and food borne infection. First, we established an information network system among 17 emergency hospitals in the region, where clinical information regarding an outbreak, treatments, clinical course and prognosis of the patients was communized. In 2005, two suspicious cases were reported in the network, and *V. vulnificus* was detected from one patient. In order to identify *V. vulnificus* quickly and accurately, we developed the new culture plate. We also reviewed antibiotics which were recommended for empiric chemotherapy for *V. vulnificus* infection.

Key Words : *Vibrio vulnificus*, Septic shock, Necrotizing fasciitis, Information network, Antibiotics

1. はじめに

*Vibrio vulnificus*は世界の海域、特に汽水域に分布する好塩性グラム陰性桿菌である¹⁾。本細菌は健康人には無害であるが、肝障害あるいは免疫機能低下患者が本菌に感染すると、1~3日で電撃的な四肢の筋組織の壊死とともに敗血症性ショックとなり、集中治療を行っても多くは多臓器不全で死亡する²⁾ため、本菌による感染症は極めて緊急度の高い救急疾患である。

本感染症は、韓国³⁾、台湾⁴⁾、マレーシア⁵⁾などの東南アジアや、地中海沿岸地域⁶⁾でも報告されている。また北米メキシコ湾岸地域でも多数の患者が報告され⁷⁻¹⁰⁾、昨年同地域を襲ったハリケーン・カトリーナおよびハリケーン・リタの被災地域で*V. vulnificus*による死亡例が報告された¹¹⁾。

佐賀大医学部附属病院では、これまで18症例の治療に携わったが全国的には未だ稀な疾患であり、わが国においては詳細な疫学調査も行われていない。また、当院で

の生存例は4例に過ぎない¹³⁾。

*V. vulnificus*のように劇症型感染症を来たす細菌は、俗に“人食いバクテリア”と称され、他にも*Streptococcus pyogenes*、*Streptococcus pneumoniae*、*Haemophilus influenzae*、*Aeromonas hydrophila*、*Escherichia coli*などが同様の症状を起すことが知られている。

壊死性筋膜炎発生頻度上からは、*Streptococcus pyogenes* (化膿性連鎖性連鎖球菌)が圧倒的に多い。しかも、後者の場合、糖尿病患者に好発し、創部から進入し付近の筋膜壊死を起こすものの、適切な治療を行えば比較的予後は良好であり、前者とは極めて対照的である。しかし、佐賀県においては*Vibrio vulnificus*による感染の発生が他県に比べ非常に高い状況にある。我々の調査¹²⁾では、日本国内で135例の患者が過去に報告され、有明海沿岸の佐賀、熊本、福岡、長崎の4県でその約半数が発生していた。

また、2000~2001年の間の1年半にわたる有明海の海水および魚介類の調査では、7月をピークに海水、魚介類ともに高率に本菌が検出され、月別の検出率と患者発生数との間に関連性が認められた。

佐賀県にはC型肝炎ウイルス保有者が多く¹⁴⁾、昭和50年から約30年間、肝臓死亡率は全国最悪を更新している。従って、本感染症は佐賀県では嚴重な警戒と早急な対策を要する疾患の1つである。救命率をあげるためには、早期に確定診断を行い、有効な抗菌薬の選択と外科的治療を含む全身管理を行う必要がある。しかし、現時点では菌の同定には48時間を要し、確定診断が遅れ治療が後手に回る状況にある。

佐賀大学医学部では、平成17年度から『有明海総合研究プロジェクト』の一環として“*V. vulnificus*感染症の撲滅”を目指し、専任助教授を任用し研究を開始した。

有効な治療法が確立されていない現在、最も効果的な対策は予防であり、5年間の本プロジェクト初年度の平成17年は、有明海沿岸に居住する肝障害患者を対象に啓発活動を行うとともに、同地域に医療機関相互の広域情報ネットワークを展開し、診療支援と情報収集を行うこととした。あわせて、従来の診断方法、治療法を検証し、基礎科学的研究成果の臨床的有用性に関し検討することとした。

2. 方法

食水系感染症部門では、今後5年間の研究対象を、「発症予防」「基礎科学研究」「患者実態調査・治療」の3つの分野とし、臨床医学的および基礎医学的な側面から、それぞれの分野についていくつかの具体的な研究項目を記したWorking Breakdown Structureを作成した(表1)。

(1) 発症予防

*V. vulnificus*感染症に対する有効な治療法が確立されていないため、現時点において最も有効な対策は予防である。本疾患はその多くが食中毒として発症するため多発地域に居住する住民への啓発活動とともに、ハイリスク患者への適切な時期での注意喚起と予防方法の徹底をはかるために以下の方策をおこなうこととした。

a) 啓発活動

本疾患は肝障害患者あるいは免疫不全患者における日和見感染症であり、健康人への生命への危険は無い。従って本細菌の危険性を強調するあまり、海産物に対する風評被害が生じることをないよう、啓蒙活動の対象をハイリスク患者とし、各医療機関が情報提供を行えるよう支援することとした。

b) 感染から発病にいたる機序の解明(積極的疫学調査)

本症は経口感染が圧倒的であるが、他の食中毒とは異なり、患者から同定された菌株が摂取した食物から検出

された報告はない。また、発病、あるいは予後を規定すると考えられる肝機能や免疫機能の障害の程度についても明らかにする必要がある。

そのため患者発生早期に患者・家族からの病歴聴取と、感染源の特定を行い、あわせて基礎疾患の程度と経過の追跡調査を行うこととした。

c) 発生危険時期予測の可能性(菌挙動)に関する研究

有明海沿岸地域の気象データや海水データと菌の挙動との関係を、細菌学および疫学的に調査し、人工衛星からの有明海に関する情報をも総合し、沿岸海域で*V. vulnificus*の挙動をモニタリングすることにより、患者発生の危険性が高い時期の予測が可能か否かを検討する。

(2) 基礎科学研究

a) 病原性の本態に関する研究

*V. vulnificus*の病原株と環境株、強毒株と弱毒株とを遺伝子学的に解析し、病原性の本態を明らかにするとともに早期同定に向けた検査法を確立する。

b) 感染動物モデルの作成

動物実験モデルを作成し、感染から発症までの機序を明らかにし、有効な治療法を確立するための基礎的研究を行う。

(3) 有効な治療法の確立

a) 患者実態調査

本感染症に罹患した患者・家族の同意を得て、患者背景、発症時期、感染経路、臨床症状や検査所見、使用された抗菌薬や治療内容、臨床経過や病理所見を詳細に検討し、予後に関与する要因についてさらに詳細な検討をおこなう。

b) 患者通報ネットワーク構築

有明海沿岸地域の基幹病院の間で情報ネットワークを構築し、発生状況や治療法に関する情報交換を行う。

c) 新しい治療法の確立

上記から得られた情報および国内外の報告を収集し、抗菌薬の感受性と投与法の検討、早期外科治療や血液浄化法など現在の治療法の有効性の検討、免疫学的な治療の可能性に関する検討を行い、新しい治療方法を提言する。

表1 食水系感染症部門 研究計画 Working Breakdown Structure

No	活動名	No	研究名称	Pr o n	No	テーマ名称	No	作業内容		
I	発症予防	1.1	菌挙動に関する研究	A	1.1.1	リモートセンシング(RS)技術を応用したピブリオ・バルニフィカス症予見に関する研究	1.1.1.1	RSに関する調査・打ち合わせ		
							1.1.1.2	衛星・センサーの選択		
							1.1.1.3	発症環境閾値に関する研究(レトロスペクティブスタディ)		
							1.1.1.3.1	全国患者報告調査		
							1.1.1.3.2	衛星水温データ検討		
							1.1.1.3.3	衛星海色データ検討		
							1.1.1.3.4	アメダス降水量調査		
							1.1.1.3.5	他因子の検討		
							1.1.1.4	患者発生危険度予測に関する研究(プロスペクティブスタディ)		
							1.1.1.4.1	患者発生探知(佐賀県)		
							1.1.1.4.2	アメダス降水量調査		
							1.1.1.4.3	海水及びVV菌サンプリングと同定		
							1.1.1.4.4	衛星水温データ取得		
							1.1.1.4.5	衛星海色データ取得		
							1.2	啓発活動	D	啓発用一般向けパンフレットの作成
		1.2.2	医療従事者向けパンフレットの作成							
		1.2.3	広報							
		1.2.3.1	配布							
		1.2.3.2	喫食調査							
		1.3	積極的疫学調査	E	1.3.1 聞き取り調査	1.3.1	家族内調査			
1.3.2	保存食品等採集と分析									
1.3.2.1	家族等への指導									
1.3.2.2	食品株と患者株との比較									
1.3.3	検証									
II	基礎科学研究	2.1	病原体特徴に関する研究	F	2.1.1	病原性に関する基礎研究	2.1.1	16SrRNA分析		
							G	2.1.2	新規培地開発に関する研究	2.1.2.1
		2.2	子防治療に向けた基礎的・臨床的研究	2.2.1	ピブリオ・バルニフィカス症患者及び非発症者における血清抗体価測定	H	2.2.1.1	患者血液分析	2.2.1.1.1	患者検体採取
									2.2.1.1.2	検体のMicro-IF assay
									2.2.1.2.1	肝硬変患者検体採取
				2.2.1.2	肝硬変患者血液分析	2.2.1.2.2	検体のMicro-IF assay			
								2.2.1.3	肝機能正常者血液分析	2.2.1.3.1
				2.2.1.3.2	検体のMicro-IF assay					
				2.2.2	ピブリオ・バルニフィカス毒素の研究	I	2.2.2.1	WB解析	2.2.2.1.1	打ち合わせ
									2.2.2.1.2	実験
				2.2.3	LAMP法を用いた菌迅速検出法の開発	J	2.2.3.1	関係機関打合せ 共同研究契約締結	2.2.3.1.1	栄研化・大学事務
									2.2.3.2	共同研究開始
				2.2.4	動物を用いた病態生理実験	K	2.2.4.1	肝不全モデル購入	2.2.4.1.1	動物実験申請書等事務手続き
									2.2.4.1.2	ラット飼育
									2.2.4.2.1	発症検討
		2.2.4.2.2	腸間膜動脈張力測定							
		2.2.4.2.3	向・カルシウム+張力測定							
		2.2.4.2	ラット病態実験	2.2.4.2.4	静止膜電位及びEDHF/NO					
				2.2.4.2.5	毒素に関する検討					
		2.2.5	バクテリオファージを用いた新規治療法可能性に関する研究	L	2.2.5.1	論文検索	2.2.5.1.1	論文検索		
2.2.5.2	V属特異的ファージ探索									
2.2.5.3	検証実験									
2.2.6	ワクチンに関する研究	M	2.2.6.1	協力機関会議	2.2.6.1.1	小動物を用いた治療実験				
					2.2.6.2	実施				
III	患者実態調査治療	3.1	患者実態調査	N	3.1.1	カルテ分析による症例検討	3.1.1.1	佐医大全患者カルテ入手		
							3.1.1.2	好生館カルテ(データ)入手		
							3.1.1.3	他佐賀基幹病院カルテ入手		
							3.1.1.4	1-3項薬因(肝機能)調査・抗生剤感受性評価等		
							3.1.1.5	3.1.1.4項論文		
							3.1.1.6	全国症例報告文献入手		
							3.1.1.7	6項に関する調査(発症年月日天候調査等)		
		3.1.2	患者通報ネットワークの構築	O	3.1.2	3.1.2.1	対象協力機関のリストアップ			
								3.1.2.2	依頼状の作成・決済	
								3.1.2.3	連絡網の作成と配布	
		3.2	治療に関する検討	P	3.2.1	治療に関する検討	3.1.2.4	情報提供		
							3.1.3.1	患者状況調査と研究依頼		
							3.2.1.1	院内体制の確立		
							3.2.1.2	治療法(血液濾過・吸着療法開始時期等)の検討		
							3.2.1.3	腸管洗浄有効性の検討		
3.2.1.4	抗生剤の検討									
3.2.1.5	ペインコントロールの検討									

3. 結果

ここでは臨床医学的側面から平成17年度の成果の概要について報告し、基礎医学的研究成果および個別の研究成果については本報告集の他項に譲る（大石、中島、『ピプリオパルニフィカス感染症対策 基礎医学的アプローチ 第一報』、中島 他『発色合成基質寒天培地(CVA1)を利用した*Vibrio vulnificus*の検出と迅速同定法の開発』、三溝 他『救命しえた敗血症を伴う壊死性筋膜炎の2症例』参照）。

(1) 発症予防

a) 啓発活動

医療機関への注意喚起を行うため医療従事者向けパンフレット(図1)、および医療機関が患者・家族に対し具体的な生活指導を支援するため一般向けパンフレット(図2)を作成し、平成17年5月までに佐賀県内の14の基幹病院に配布した。さらに、佐賀県臨床外科医会に参加する各医療機関に配布するとともに、同年7月16日には教育講演を行った。

b) 患者通報ネットワークの構築

平成17年5月末までに救急医療を担う佐賀県全域および福岡県筑後地区の17の基幹病院と佐賀大学医学部との間に、患者通報ネットワークを構築した(図4)。

本ネットワークを通じ、同年6月、9月に各1名の本症を強く疑わせる情報が寄せられ、他の各医療機関に通報した(図5)。

c) 本疾患発生予測と注意喚起

患者発生時期と降雨量との関係に関する我々のこれまでのデータを下に、平成17年9月8日付で情報ネットワークを通じ、各医療機関に対し文書で注意喚起を行った(図6)。しかし、3日後の9月11日に1名の患者発生をみた(図5)。

d) 患者実態調査・治療

平成17年度にネットワークを通じ情報提供のあった敗血症性ショックを伴う壊死性筋膜炎の2名の患者のうち、6月発症の患者は佐賀大学医学部附属病院に緊急搬送され、直ちに外科的処置と集中治療を受け治癒した。本患者の創部から*Streptococcus pneumoniae*が検出された。

同年9月筑後地区から情報提供があった患者に対しては、直ちに家族からの聞き取り調査を行った。血液から*V. vulnificus*が検出されたが、摂取した海産物はすでに廃棄されていたため感染源の特定は出来なかった。本症例は、当該医療機関入院時、重篤な状態ショック症状を呈していたため外科的処置を行えず発症後4日目に死亡した。

d) 抗菌薬の感受性に関する検討

患者から同定された*V. vulnificus*菌株について各抗菌剤に対する最小有効阻止濃度(MIC)を年度毎に調査した。年度を通じ、患者株はカルバペネム系全般には高い感受性を示したが、セフォペラゾン(第3世代セフェム系)、塩酸セフェピム(第4世代セフェム系)、アンピシリン(ペニシリン系)、ミノサイクリン(テトラサイクリン系)には一部の菌株で抵抗性が認められた(表2)。

表2 *Vibrio vulnificus* 病原株の抗生剤感受性

名前	系	一般名	H7	H10	H11		H12			H15	H16
			静脈血 Y.I	動脈血 M.T	静脈血 A.K	動脈血 Y.S	静脈血 T.M	静脈血 E.O	静脈血 S.Y	静脈血 K.F	静脈血 A.N
ABPC	ペニシリン	アンピシリン	1	1	0.5	*0.25	1	1	0.5	1	1
BIPM	カルバペネム系	ピアベネム								*0.5	*0.5
CAZ	第三世代セフェム	セフトアジム	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5
CFPM	第四世代セフェム	塩酸セフェピム		1						*0.5	*0.5
CMX	第三世代セフェム	セフメノキシム	*0.5								
CPFX	ニューキノロン系	シプロフロキサシン					*0.13	*0.13	*0.13	*0.13	*0.13
CPR	第四世代セフェム	セフピロム	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5		
CPZ	第三世代セフェム	セフォペラゾン	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	1		
CTRX	第三世代セフェム	セフトリアキソン								*0.5	*0.5
CTX	第三世代セフェム	セフトキサシム	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5		
GM	アミノグリコシド	ゲンタシン			1	1	1	1	*0.5		
IPM	カルバペネム系	(イミベネム+シラスチン合剤)	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5
LMOX	オキサセフェム系	ラタモキシセフ	*0.5								
MEPM	カルバペネム系	メロベネム	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5
MINO	テトラサイクリン系	ミノサイクリン	*0.25	*0.25	*0.25	*0.25	*0.25	*0.25	1		
PAPM	カルバペネム系	パニベネム+ベタミプロン合剤	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5
PIPC	ペニシリン	ピペラシリン	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5	*0.5
PIPC/TAZ	複合ペニシリン系	ペニシリン4:タゾバクタム1								*0.5	*0.5

5. 考察

わが国における *V. vulnificus* 感染症の発生動向に関する我々のこれまでの調査¹²⁾により、佐賀、熊本を中心に有明海沿岸の北部九州4県で、生の海産物摂取を契機深刻な健康被害が発生している実態の一端が明らかになった。

本疾患の救命のためには、早期診断、早期治療であるが、発症から敗血症性ショックへの進行が数時間で進行するため、本疾患の治療の基本は確定診断に至る前に、本疾患を疑い、早期に有効と思われる抗生剤を投与するとともに、早期の壊死組織除去（患肢の切断を含む）と全身管理を行うことである。しかし、考えられうる様々な治療を行っても現時点では死亡率の減少につながる有効な対策はない。

したがって、本感染症に対しては予防に重点を置くのが現実的であり、平成17年度初めに有明海沿岸の医療機関および地域住民に対し積極的な啓発活動を展開した。佐賀県福岡県筑後地区の17の病院と佐賀大学医学部の間で組織した情報ネットワークからは同年度に2名の患者情報が寄せられた。うち1名が *V. vulnificus* 感染症の診断が確定したが発症後4日目に死亡した。本症例の発症5日前に、われわれはネットワークを通じ注意喚起を呼びかけたばかりであったが、本患者は救急医療機関で組織したネットワーク外の医療機関に通院中であった。

本年度の啓発活動は、海産物への風評被害を防止する観点から医療機関を通じて行ってきた。しかし、本感染症の発生時期は、腸炎ピブリオ等の食中毒の好発時期と重なり、予防も一般的食中毒の場合と同様であるため、今後は行政機関や地域の医師会等を通じ、適切かつ広範に行う必要がある。さらに、今後、早期に精度の高い注意喚起を行うためには、海水温、塩分濃度、降雨量の他の種々の要因を考慮していく必要がある。

一方、本感染症発症早期には、病原菌が不明なまま治療を開始せざるを得ない。現在、抗菌剤として第3世代セファロスポリン(cefazidimeあるいはcefotaxime)またはカルバペネムに加えテトラサイクリン (minocyclineまたはdoxycycline) が推奨されている¹⁵⁾。今回の我々調査では、minocyclineに対する感受性が低い菌株も認められ、本菌株に対するパルスフィールド結果¹⁶⁾からも本菌はheterogeneityに富むことが示唆されており、抗菌剤の選択には再検討する必要がある。

現在は確定診断に必須の菌の培養・同定には約48時間を要し、このことが抗菌薬の選択や患肢切断等の侵襲的処置の遅れにつながっていることは否めない。我々は、特別な機器を必要とせず *V. vulnificus* を従来の半分の時間で容易に検出できる新しい培地を開発した（本報告集、中島 他『発色合成基質寒天培地(CVA1)を利用した *Vibrio vulnificus* の検出と迅速同定法の開発』参照）。今後臨床例をもとに感受性、特異性について更なる検証を行

う予定であるが、実用化できれば特別な検査機器を持たない診療機関でも早期診断が可能となり、救命率の向上につながる可能性がある。

Vibrio vulnificus 感染症患者の有効な治療法を確立するためには、その病態生理の解明が必要である。本菌はエンドトキシンに加え、数種の強力な外毒素を産生していることが知られている。しかし、本菌が、なぜ肝疾患患者に対して、特異的に壊死性筋膜炎とそれに続く敗血症性ショックを惹起させるかについては未だ不明な点が多く更なる研究が必要である。

また、エンドトキシン吸着療法 (PMX) や持続的血液濾過透析 (CHDF) 等、集中治療の有効性や患部の切断の必要性についても検討を行う必要がある。

V. vulnificus 感染症は、わが国では毎年、有明海や三河湾沿岸地域のほか、西日本各地で散発的に発生しているが、国外では東南アジアや、北米メキシコ湾岸地域でも深刻な健康被害をもたらしている。今後、有明海沿岸地域での調査を行うとともに、三河湾沿岸やメキシコ湾岸での研究機関とも協力し、実効性のある *V. vulnificus* 感染症対策を早期に確立する必要がある。

謝辞： *Vibrio vulnificus* 感染症情報ネットワークに参加いただいた佐賀県立病院好生館、社会保険佐賀病院、国立病院機構嬉野医療センター、多久市立病院、武雄市民病院、唐津赤十字病院、社会保険浦ノ崎病院、伊万里市民病院、有田共立病院、太良町立病院、織田病院、白石共立病院、小柳記念病院（以上佐賀県）、久留米大学救急救命センター、聖マリア病院、高木病院、福岡県立柳川病院（以上福岡県筑後地区）に深謝申し上げる。また本症の対策について多大なご支援を頂いている佐大附属病院皮膚科、同検査部に深謝申し上げる。

参考文献

- 1) Farmer JJ, 3rd. *Vibrio* ("Benecke") *vulnificus*, the bacterium associated with sepsis, septicaemia, and the sea. *Lancet* 2(8148): 903, 1979
- 2) 三溝慎次、中島幹夫 他： *Vibrio Vulnificus*による壊死性筋膜炎11症例の検討、ICUとCCU No.25, :857-861, 2001.
- 3) Park SD, Shon HS, Joh NJ. *Vibrio vulnificus* septicemia in Korea: clinical and epidemiologic findings in seventy patients. *J Am Acad Dermatol* 24(3):397-403, 1991
- 4) Chan KY, Woo ML, Lam LY, French GL. *Vibrio parahaemolyticus* and other halophilic vibrios associated with seafood in Hong Kong. *J Appl Bacteriol* 1989;66(1):57-64.
- 5) Radu S, Yuherman, Rusul G, Yeang LK, Nishibuchi M. Detection and molecular characterization of *Vibrio vulnificus* from coastal waters of Malaysia. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*

- 2000;31(4):668-73.
- 6) Maugeri TL, Carbone M, Fera MT, Gugliandolo C. Detection and differentiation of *Vibrio vulnificus* in seawater and plankton of a coastal zone of the Mediterranean Sea. *Res Microbiol* 2006;157(2):194-200.
- 7) Kelly MT. Effect of temperature and salinity on *Vibrio* (Benecke) *vulnificus* occurrence in a Gulf Coast environment. *Appl Environ Microbiol* 44(4):820-4, 1982
- 8) Ellington EP, Wood JG, Hill EO. Disease caused by a marine vibrio-*Vibrio vulnificus*. *N Engl J Med* 307(26):1642, 1982
- 9) Kelly MT, Dinuzzo A.: Uptake and clearance of *Vibrio vulnificus* from Gulf coast oysters (*Crassostrea virginica*). *Appl Environ Microbiol* 1985;50(6):1548-9.
- 10) Penman AD, Lanier DC, Jr., Avara WT, 3rd, Canant KE, DeGroot JW, Brackin BT, et al. *Vibrio vulnificus* wound infections from the Mississippi Gulf coastal waters: June to August 1993. *South Med J* 1995;88(5):531-3.
- 11) *Vibrio* illnesses after Hurricane Katrina--multiple states, August-September 2005. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2005;54(37):928-31.
- 12) 中島幹夫、大石浩隆、荒木和邦、三溝慎次：わが国における *Vibrio vulnificus* 感染症の発生動向と有明海沿岸地域の状況. *佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集* 2005;第1巻:55-60.
- 13) 小林由実、他：救命し得た *Vibrio vulnificus* 敗血症の1例、臨床と研究 2004;8(2): 299-302,
- 14) 瀬戸口洋一、堺隆弘：地域住民検診HCV抗体出現率 - 佐賀県地域 . *日本臨床* 49 : 123 - 128, 1991
- 15) 青木洋介、福岡麻美：ピブリオ・バルニフィカス重症感染症の臨床病態 化学療法の領域 2006;22(3): 63-9.
- 16) 高柳恵, 永沢善三, 草場耕二, 福富由美子：チオウレア処理の有用性が確認されたパルスフィールド電気泳動(PFGE)法. *医学検査*(0915-8669), 2005:1207-1211.

(2006.5.31受付)

ビブリオ・バルニフィカス感染症対策 基礎医学的アプローチ (第一報)

A *VIBRIO VULNIFICUS* MEASURES
APPROACH OF BASIC MEDICINE -THE FIRST REPORT-

大石浩隆¹・中島幹夫²

Hiroataka OISHI and Mikio NAKASHIMA

¹医博 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)

²医博 佐賀大学教授 麻酔・蘇生学 (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)

Vibrio vulnificus is a halophilic gram-negative rod bacterium in marine waters categorized at 1979 by Farmer. This causes necrotizing fasciitis and sepsis mainly in patients with liver dysfunction through ingestion of raw fish or shellfish, which has high mortality and short latent period. Our previous studies indicate that half of the cases in Japan were reported from northern Kyushu around the Ariake Sea, and that the pathogen is present in high numbers in seawater and oyster samples collected from coastal areas of the Ariake Sea.

However there are not fully understood about the behavior, virulence of *Vibrio vulnificus*, risk factors of the patients, and so on. We are carrying out the prevention promotion, basic and clinical studies as measures of this fatal disease. The approach of basic medicine of *Vibrio vulnificus* infections is discussed. Promotion of basic medical studies may lead to more appropriate treatment and preventive measures.

Key Words : *Vibrio vulnificus*, Basic Medicine

1. はじめに

平成17年4月より、佐賀大学では有明海異変に取り組むために全学部横断的な有明海総合研究プロジェクトが組織され、医学部及び附属病院では致死性の食水系感染症である、*Vibrio vulnificus* (ビブリオ・バルニフィカス) 症、別名“人食いバクテリア”に対する臨床医学的、基礎医学的研究を開始した。

Vibrio vulnificus 菌はグラム染色陰性の鞭毛を持つ短桿菌である (図1)。世界中の海水に存在し、真水と海水が混じりあうような塩濃度が低い海域 (汽水域) を好むが、中島らの過去の調査により、本邦では有明海を取り囲む九州北部地方に多く発生例が見られることが明らかになった¹⁾。

本菌は当初 *Vibrio parahaemolyticus* として分類されていたが、*Vibrio parahaemolyticus* とは乳糖発酵性の違いがあり、*Lactose-fermenting vibrio* あるいは *L-positive (+)- Vibrio* として取り扱われていた²⁾。のちにFarmerらにより *Vibrio vulnificus* の学名が1979年に与えられている³⁾。本邦にお

ける最初の感染者の例は松尾ら²⁾が1978年に *L-positive (+)- Vibrio* 患者 (1976年発生) について報告し、また *L-positive (+)- Vibrio* の髄液からの分離例として北浦らが1981年に報告⁴⁾している (1975年発生)。

本感染症の特徴は、1) 主として肝機能障害があるものが、2) 本菌が付着した魚介類を生食することによって、3) 6~48時間程度の潜伏期ののち、4) 壊死性筋膜炎や敗血症を呈する食水系感染症である。我々の調査¹⁵⁾でも明らかのように、その致死率は6割を超え、感染症法 (感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律) で最も危険度が高い疾病に分類されている第一類 (エボラ出血熱、天然痘、ペスト等) に匹敵する致死率を持つ疾患である。人食いバクテリアとしては激症型A群 溶血性連鎖球菌感染症が有名であり、感染症法第五類に分類されているのに対し、本菌は同法や食品衛生法での規定はなされていないため国内での患者実態がよくわかっていない。米国CDC (Center for disease control and prevention) では、*Vibrio vulnificus* 症に対するサーベイランスシステムが構築されているのに対し大きな違いである。

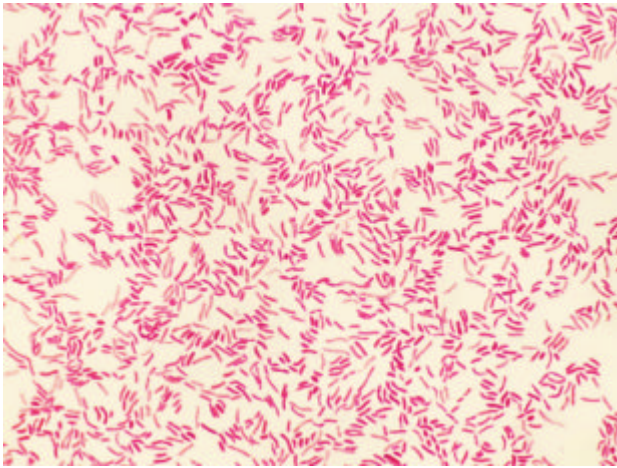


図-1 *Vibrio vulnificus*菌コロニーグラム染色像。
患者創部より採取。グラム染色陰性のコンマ状桿菌
で鞭毛を持つ。x1000倍。

我々は現在国内発生患者に対する紙上調査を行っているが、1975年の初発例から2005年までの30年間で179例が報告されていた。しかしこの数字は、患者を診察した医師がその経緯等を執筆し論文にて公開するという過程を経た数字であり、また劇症型の経緯を取る本疾患では原因不明の死として処理された例も多数存在すると考えられることより氷山の一角にすぎない。事実、国立感染症研究所のOSAKAらが行った国内救急医へのアンケート結果によれば、年間400例近くの発生例があると予測している⁶⁾。

我々は九州北部地方に多くの発生例が見られる本症の対策として「予防」「科学研究」「治療」の3本柱を立て実施中である{本書、中島幹夫・大石浩隆「ピブリオ・バルニフィカス感染症対策 臨床医学的アプローチ - 」Working Breakdown Structure参照}。今回は昨年1年間の本疾患対策での基礎医学的アプローチについて報告する。

2. 発症予防に関する研究

(1) 菌挙動に関する研究

a)人工衛星リモートセンシング技術を応用した*Vibrio vulnificus*感染症発生予見に関する研究

< 目的等 >

*Vibrio vulnificus*患者発生時の海洋環境特徴を把握する。現在までの知見では、*Vibrio vulnificus*菌の増殖に関する海洋環境として、海水温17度以上⁷⁾で菌の増殖活動が活発になることが知られている。また、本菌は魚介類や動物プランクトンキチン質に付着するが、それらの餌となる植物プランクトン(クロロフィルa)の増殖傾向について人工衛星センサーを利用して把握し、地上の環境観

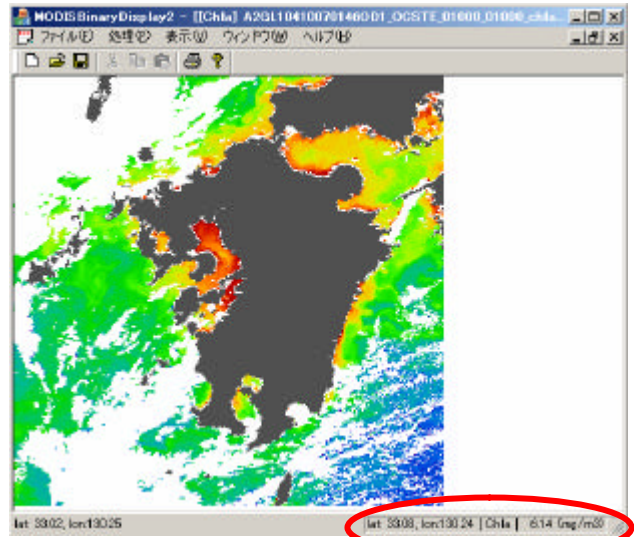


図-2 MODISセンサーによるクロロフィルa濃度表示画面のキャプチャー像。任意の地点での濃度を表示できる。海水表面温度表示も可能。

測装置であるアメダス等と関連した解析を行い菌の増殖傾向を間接的に把握し患者発生予測に役立てる。人工衛星を使用する利点としては、有明海のみならず、日本国内、韓国、香港、マレーシアや米国など⁸⁻¹¹⁾、本感染症の発生地域をカバーできるという点が挙げられる。

< 方法等 >

使用衛星としては米国保有のTERRAとAQUAで、使用光学センサーはそれらに搭載されたMODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrodiometer) を利用する。日中の観測においては、TERRAが午前中に北から南の方向へ赤道を通過し、AQUAは午後には南から北の方向へ赤道を通過している。衛星の回帰日数は16日であるが、MODISの観測幅が約2330kmであるので、1日または2日おきに同一箇所を観測できる。

< 実績等 >

宇宙航空研究開発機構(JAXA)及びリモートセンシング技術センター(RESTEC)との共同研究により、MODISセンサーからの海水表面温度とクロロフィルaについて、任意の地点でのデータをパソコン上で取得できる画像ビューワーを作製した(図2。クロロフィルaに関するデータの例示。赤丸の部分に位置と濃度が示される)。観測データについてはJAXA保有分が2004年7月分よりであるため、現在2004年以降に発生した患者について、その発症前の有明海環境データについてレトロスペクティブに解析中である。

b)有明海からの*Vibrio vulnificus*菌サンプリングと周囲環境の解析

< 目的等 >

有明海の海水を採取し、*Vibrio vulnificus*菌の生育環境の把握を行う。

< 方法等 >



図-3 有明海におけるサンプリング点 (TA ~ TC, A ~ F)。 点は7月における *vulnificus* 検出ポイント。

解析時期；平成17年の6～10, 12月, 平成18年3月。

サンプリング点；図-3に示す。

菌分離培養同定方法；

- 1) 採取した海水を滅菌スピッツ中で3000回転15分遠心
- 2) 沈渣をアルカリペプトン水中で振とう培養後、培養液を血液寒天培地、TCBS培地、CVA1培地 { 本書、中島由佳理、他「発色合成基質培地 (CVA1) を利用した *Vibrio vulnificus* の検出と迅速同定法の開発」参照 } にて分離培養。
- 3) 発育が認められた菌種に関して VITEK2[®] (日本ビオメリュー) を使用し同定。

< 結果等 >

海水温・塩分データは有明海総合研究プロジェクトコア研究第1部門速水、山本らの解析データを使用した。図-4に結果を示す。平成17年度は7月分 (7月20日採取) から *Vibrio vulnificus* が検出された。これは、海水温度の上昇と共に、7月9・10日の降雨による有明海への出水が海水塩分濃度を低下させ、菌が増殖したものと考えられる。検出された場所はTA、TB、TCの干潟部分の海洋表層水からと、TA、A点での海底及び中間層から採水した部分であった。その他の点 (A~F) での表層水からは、TA~TC点と塩分濃度が同じ程度の低さであったにもかかわらず検出されなかった。現在まで報告されている海水環境からの *Vibrio vulnificus* 検出は、ほとんどが河口や漁港からの採取であるが、今回我々の海域調査で沿岸部より離れた海点 (TA~375m, TB~1450m, TC~2650m, A~4350m) より *Vibrio vulnificus* が検出されたことは興味深いと言える。 *Vibrio vulnificus* は水温が17 以上で増殖

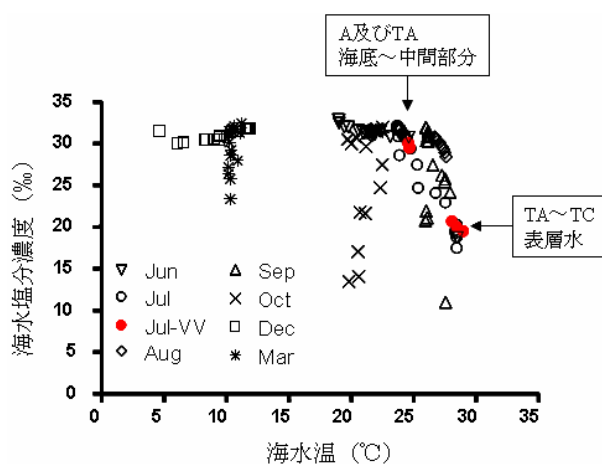


図-4 各月における海水温、海水塩分濃度と *Vibrio vulnificus* 検出 (赤) 状況のプロット。

が活発となり⁷⁾、塩分濃度30‰以上で検出菌数が激減すると言われている¹²⁾。検出された点の海水温や塩分濃度はそれらの報告にある条件と同じであったが、6月や8~10月では条件を満たしていたにもかかわらず検出されなかった。今後は菌が存在している可能性があるにもかかわらず検出 (分離培養) できない状態について、海域の特性や他の因子 (栄養塩やクロロフィルa等) と照らし合わせながら解析を進めていく予定である。

(2) 積極的疫学調査

< 目的等 >

症状、既往歴および魚介類喫食の有無から本症は予測・診断され、その後の組織・血液培養の結果から確定診断がなされている。しかしながら現在まで患者より採取された *Vibrio vulnificus* 菌と、その本人の発症原因となった食品由来の菌が同一であったという証明はなされておらず、原因と結果の関連が証明されたとは言いがたい。したがって患者発生時には速やかに、患者および家族の喫食調査や被害状況、伝播様式等に関する聞き取り調査を行い、ピブリオ・バルニフィカス感染症の疫学に関する研究を推進する。また食品等の保存を実施し、患者検出菌との比較を行うことで原因菌としての確定や感染ルートを特定する。

< 方法等 >

高柳らの方法¹³⁾によるパルスフィールドゲル電気泳動を行い遺伝子的同一性の解析を行う。

< 実績等 >

患者発生時には速やかに患者家族への本疾患の説明と原因と考えられる食品の提供を依頼している。昨年度は2例の *Vibrio vulnificus* 患者が発生したが、患者来院時には既に廃棄されており、食品の提供を受けることは出来なかった。しかしながら本菌のヒトへの感染経路を解明することは予防医学において極めて意義が高いと考えられ、今後も可及的速やかに原因食材の提供を受けるよう体制を持続させる。また、医学部現有の *Vibrio vulnificus* 患者

株と有明海環境から得られた株について同様の解析を行う予定としている。

3. 基礎科学研究

(1) *Vibrio vulnificus* 16S rRNA gene分析

< 目的等 >

*Vibrio vulnificus*の16S rRNA gene解析により、病原性の高い菌種と低い菌種の2型に分類できることがNilsson¹⁴⁾により報告されている。この点に着目し有明海総合研究プロジェクト微生物相研究部門と共同で佐賀大医学部保有の患者株9株、及び環境株18株についての検討を行った。

< 方法と結果等 >

本書、小林元太、他「有明海由来の微生物に関する研究」参照。

(2) 新規迅速同定用培地の開発

< 目的等 >

*Vibrio vulnificus*感染症は激症型の推移を取る為、迅速かつ高感度の検出系が必要である。壊死性筋膜炎を起こす菌のうち、*Vibrio vulnificus*を特異的に培養し早期診断に利用できる培養培地を開発する。

< 方法と結果等 >

佐賀大学附属病院検査部感染制御室及び栄研化学株式会社を中心となり開発を行った{ 本書、中島由佳理、他「発色合成基質培地 (CVA1) を利用した *Vibrio vulnificus* の検出と迅速同定法の開発」参照 }。通常の菌培養操作に *Vibrio vulnificus* を高感度に培養するCVA培地を追加することにより、早期に本菌による感染症を鑑別する事が可能となった。また、分子生物学的同定作業が困難である機関等においても簡便に利用できると考えられている。

(3) 血清抗体価測定

< 目的等 >

患者の発症や重症度を左右する因子を検索する目的で、本菌に対する血清抗体価を測定した。未だ本症に対する有効な治療法が確立していない現在では、感染・発症前に重症化しやすい患者を洗い出し、適切な生活指導による予防が重要かつ効率的であると考えられる。

< 方法等 >

Micro-IF assay法を用いてヒト血清中の *Vibrio vulnificus* 菌抗体価を測定した。

検体；

*Vibrio vulnificus*患者血清 9例

実験手順；

1) 上記保存血清を希釈

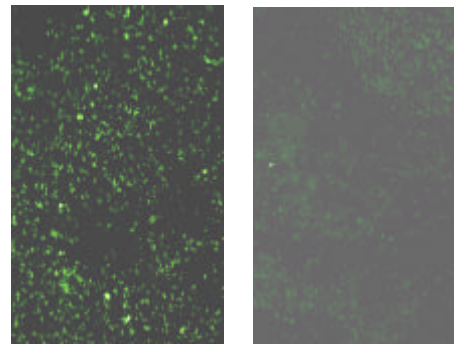


図-5 蛍光顕微鏡による観察像。左が陽性像。

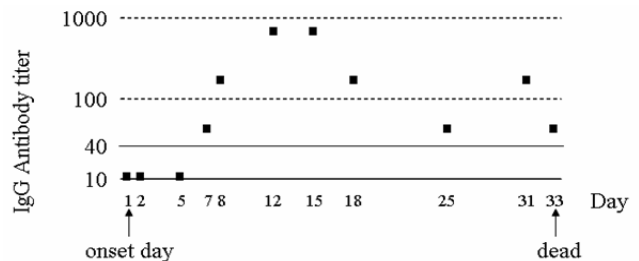


図-6 *Vibrio vulnificus*患者（死亡例）の血清抗体価推移。発症1週間目に抗体価が上昇。

スライドウェル上で、希釈血清（一次抗体）と1%ホルマリン固定菌体（*Vibrio vulnificus*患者株5株、環境株-有明海からの採取株-1株、標準株2株）を37-30分間反応後、洗浄。

- 2) FITC (fluorescein isothiocyanate) 標識抗 IgG 抗体を37-30分間反応させ、グリセリンにて封入。
- 3) 蛍光顕微鏡（波長488nm）で観察。
- 4) 40倍以上の希釈でも蛍光反応がある場合を、抗体陽性のカットオフ値とした（図-5）。

< 結果等 >

- 1) *Vibrio vulnificus*患者抗体価のタイムコースについて

図-6に示すように、*Vibrio vulnificus*患者（死亡例）の抗体価は発症から1週間で上昇しており、その後死亡するまで高い値を示していた。本結果から、抗体価が上昇する発症1週間目までは積極的な対外からの薬物投与（抗生剤等）や全身管理（呼吸循環管理、エンドトキシン吸着療法、血液浄化法等）が非常に重要であることが判明した。

- 2) *Vibrio vulnificus*患者の血清抗体価について

図-7に示すように、発症初期の血清抗体価を見てみると死亡例は全例低値を示し、一方救命例（治癒群）では高い抗体価であった。本結果より次の仮説を立てた。海水中に生育している *Vibrio vulnificus* 菌を魚介類等の生食を通して我々は日常的に摂取しているが、通常の肝機能（正常な食細胞機能、門脈-大静脈シャントが無い、遊離鉄の上昇無しなど）を保持していれば免疫系を発動

Pt number	prognosis	Vv from patient						Vv from marine	Standard strain		blood sampling day
									ATCC27562	JCM3731	
Pt1	dead	10	<10	<10	10	40	40	10	40	onset day	
Pt2	dead	<10	10	10	10	10	40	10	40	unknown	
Pt3	dead	10	10	10	40	10	<10	40	10	onset day	
Pt4	dead	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10	onset the second day	
Pt5	cured	160	40	40	160	160	160	160	160	onset day	
Pt6	cured	40	40	40	160	40	40	40	160	onset the second day	
Pt7	cured	40	160	160	160	40	10	640	40	onset the second day	
Pt8	cured	640	160	160	640	640	640	640	640	onset one month later	
Pt9	cured	40	40	40	160	160	160	40	160	onset one month later	

図-7 Micro-IF assay法による*Vibrio vulnificus*患者（死亡4例、救命5例、全て当院患者）の血清抗体価。死亡例では発症初期の抗体価が低く、一方救命例では高い値を示した。Vv, *Vibrio vulnificus*菌。

することなく菌が処理され未発症に終わる。

一方肝機能障害があるものでは、肝臓での適切な菌の処理が行われず、免疫機能が働きたすが、その時に抗体価が高いものは未発症か、或いは発症しても予後が良く、抗体を持たない患者については重症化すると考えられる。今後は未発症の肝機能障害者や肝機能正常者での抗体価の解析を更に進め、抗原の同定作業を行う予定である。

4. 治療に関する研究

(1) カルテ分析による症例検討

< 目的 >

*Vibrio vulnificus*患者のカルテを基に、患者特性（血液生化学検査特に肝機能検査、予後、身体所見）に着目し、患者予後等について分析する。

< 方法 >

ロジスティクス回帰モデルを使用した。目的変数として「死亡」又は「救命」を用い、独立変数には性別、肝機能項目のChild-pugh分類項目（岩手医大変法）、GIP、GOT/GPT、血小板数、身体所見として発熱、下痢の各項目を用いた。

< 結果 >

患者生存予測確率は、図-8となった。また興味深いことに、下痢をしている患者は有意に（ $p=0.034$ ）生存確率が高いことが判明した。陳らの報告¹⁵⁾によると、*Vibrio vulnificus*死亡患者の剖検所見では、全例に腸病変を認め、感染経路として経腸管性感染と考えられる。従って経口感染である本疾患に、入院早期に下痢を誘発させるような処置（例：腸管洗浄等）を行い、菌を対外に積極的に排出させることで、予後を向上させるという治療戦略を臨床医学的アプローチに取り入れる予定としている。ま

患者生存予測確率

$$= \frac{1}{1 + e^{(-1.471 \times \text{Sex (0: female, 1: male)} + .645 \times \text{Bil} + .777 \times \text{Alb} - .084 \times \text{PT}(\%) + .002 \times \text{rGTP} + .001 \times \text{GOT} - .04 \times \text{GPT} - .021 \times \text{Plt} (10^9) - .418 \times \text{Fever} (^\circ\text{C}) - 5.784 \times \text{diarrhea (0: negative, 1: positive)} + 22.039)}}$$

図-8 ロジスティック回帰モデルを用いた患者生存予測確率式。佐賀県内*Vibrio vulnificus*患者データを基に算出。

た腸管内殺菌のために入院早期より経口的な抗生剤投与を積極的に行うようにしている。

5. まとめ

平成17年度の研究成果について報告した。我々は平成17年度をテーブルフェイズと位置づけ、主に予防活動と基礎科学研究の芽だし作業を行った。今後の予定であるが、平成18～19年度はデフィニッションフェーズと位置づけており、現在実施中の各対策、及び更に発展的なテーマ等について推進していく予定としている。具体的には、

- 1) リモートセンシング技術を応用した患者発生予測に関するプロスペクティブスタディ
- 2) 九州北部に次いで報告患者数が多い愛知県の海洋環境調査
- 3) 積極的疫学調査の継続
- 4) 肝機能異常者、正常者（*Vibrio vulnificus*未発症者）を対象とした抗原抗体価測定
- 5) 動物感染モデルの確立
- 6) 新規治療法開発の基礎科学研究
- 7) 新規の遺伝子増幅法（LAMP法；栄研化学）を用いた迅速診断法に関する研究
- 8) ウエスタンブロット、二次元電気泳動等を利用し

た菌毒素に関する研究

9) ワクチン開発に関する研究
等に取り組む予定としている。

謝辞： *Vibrio vulnificus*患者血清取得にご尽力頂いた聖マリア病院吉貝先生、海水サンプルを御供与頂いた有明海総合研究プロジェクト速水・山本先生に深謝申し上げます。また各研究のキックオフや実施に際し、佐賀大学医学部肝臓糖尿病内分泌内科水田先生及び教室員の皆様、宇宙航空研究開発機構、リモートセンシング技術センター、栄研化学株式会社、北里大塚バイオメディカルアッセイ研究所和山先生にご教示頂いた。心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 中島幹夫、大石浩隆、荒木和邦、三溝慎次：わが国における *Vibrio vulnificus* 感染症の発生動向と有明海沿岸地域の状況。佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集 2005第1巻:55-60.
- 2) Matsuo T, Kohno S, Ikeda T, Saruwatari K, Ninomiya H.: Fulminating lactose-positive *Vibrio* septicemia. *Acta Pathol Jpn* 1978;28(6):937-48.
- 3) Farmer JJ, 3rd.: *Vibrio* ("Benecke") *vulnificus*, the bacterium associated with sepsis, septicaemia, and the sea. *Lancet* 1979;2(8148):903.
- 4) 北浦敏行：髄液からのLactose Positive *Vibrio*の分離について。 *臨床と細菌* 1981;8:98.
- 5) 三溝慎次、中島幹夫、前田祥範、吉田昌人、十時忠秀：*Vibrio vulnificus*による壊死性筋膜炎11症例の検討。 *ICUとCCU(0389-1194)*, 2001:857-861.
- 6) Osaka K, Komatsuzaki M, Takahashi H, Sakano S, Okabe N.: *Vibrio vulnificus* septicemia in Japan: an estimated number of infections and physicians' knowledge of the syndrome. *Epidemiol Infect* 2004;132(5):993-6.
- 7) Kelly MT.: Effect of temperature and salinity on *Vibrio* (*Benecke*) *vulnificus* occurrence in a Gulf Coast environment. *Appl Environ Microbiol* 1982;44(4):820-4.
- 8) Chan KY, Woo ML, Lam LY, French GL.: *Vibrio* parahaemolyticus and other halophilic vibrios associated with seafood in Hong Kong. *J Appl Bacteriol* 1989;66(1):57-64.
- 9) Kelly MT, Dinuzzo A.: Uptake and clearance of *Vibrio vulnificus* from Gulf coast oysters (*Crassostrea virginica*). *Appl Environ Microbiol* 1985;50(6):1548-9.
- 10) Park SD, Shon HS, Joh NJ.: *Vibrio vulnificus* septicemia in Korea: clinical and epidemiologic findings in seventy patients. *J Am Acad Dermatol* 1991;24(3):397-403.
- 11) Radu S, Yuherman, Rusul G, Yeang LK, Nishibuchi M.: Detection and molecular characterization of *Vibrio vulnificus* from coastal waters of Malaysia. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 2000;31(4):668-73.
- 12) 福島博：島根県における腸炎ビブリオおよびビブリオ・バルニフィカス感染症予防に関する研究(II) 島根県沿岸における腸炎ビブリオおよびビブリオバルニフィカスの分布調査。 *島根県保健環境科学研究所報(0915-9967)*, 2004:51-62.
- 13) 高柳恵、永沢善三、草場耕二、福富由美子：チオウレア処理の有用性が確認されたパルスフィールド電気泳動(PFGE)法。 *医学検査(0915-8669)*, 2005:1207-1211.
- 14) Nilsson WB, Paranjypte RN, DePaola A, Strom MS.: Sequence polymorphism of the 16S rRNA gene of *Vibrio vulnificus* is a possible indicator of strain virulence. *J Clin Microbiol* 2003;41(1):442-6.
- 15) 陳永きん、佐藤敏美、徳永藏：HIVとHTLV-1感染を伴う肝硬変患者に見られた *Vibrio Vulnificus* 感染症。 *福岡大学医学紀要(0385-9347)*, 2003:63-64.

(2006.5.31受付)

救命しえた敗血症を伴う壊死性筋膜炎の2症例

TWO CURED CASES OF SEPTIC SHOCK WITH NECROTIZING FASCIITIS
IN SAGA MEDICAL SCHOOL HOSPITAL

三溝慎次¹・香川嘉彦²・雨森泰己³・浦由紀子⁴
前田祥範⁵・荒木和邦⁶・大石浩隆⁷・中島幹夫⁸

Shinji MITSUMIZO, Yoshihiko KAGAWA, Hiroko AMEMORI, Yukiko URA
Yoshinori MAEDA, Kazukuni ARAKI, Hirotaka OISHI and Mikio NAKASHIMA

1	医博 佐賀大学講師	医学部附属病院集中治療部	(〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
2	佐賀大学助手	医学部附属病院手術部	(〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
3	佐賀大学医員	医学部附属病院麻酔科蘇生科	(〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
4	佐賀大学医員	医学部附属病院集中治療部	(〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
5	佐賀大学大学院	医学系研究科生態制御系	(〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
6	医博 佐賀大学講師	医学部附属病院手術部	(〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
7	医博 佐賀大学助教授	有明海総合研究プロジェクト	(〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
8	医博 佐賀大学教授	医学部麻酔・蘇生学	(〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)

We experienced two septic shock cases with necrotizing fasciitis (NF). Both patients had eaten raw shrimps a few days before the onset. In the first case, a 35-year-old female with multiple endocrine adenomatosis was admitted to our hospital with general fatigue, high fever and eruption of the lower legs. *V. vulnificus* was isolated from the venous blood culture performed before admission to Intensive Care Unit. The other 66-year-old male with chronic liver disease due to hepatitis C virus had sudden onset of severe pain with upper extremity and high fever. In the second case, *Streptococcus pneumoniae*, but not *V. vulnificus* was proven by blood culture. In spite of the severity of the clinical pictures, both patients survived due to intensive care including extensive treatment with antibiotics and surgical debridement. Because of the high morbidity and mortality associated with severe soft tissue damage in patients with liver cirrhosis or immunosuppressive condition, effective treatment would include preventive measures to educate high-risk individuals, early search for and recognition of the disease, aggressive antibiotic therapy, supportive care, and, in the case of NF, aggressive debridement.

Key Words : *Necrotizing Fasciitis, Vibrio vulnificus, Streptococcus pneumoniae*

1. はじめに

壊死性筋膜炎は皮下組織から筋膜に及ぶ急性の細菌感染症である。激痛を伴う発赤、腫脹等の炎症症状が突然出現したのち急激かつ重篤な経過をとることが多い。一般に壊死性筋膜炎の起因菌としては、発生頻度上からは *Streptococcus pyogenes* (A群 溶血性連鎖球菌) が圧倒的に多く、*Vibrio vulnificus* (ビブリオ・バルニフィカス) によるものは少ない。しかしながら我々の過去の調査により、西日本、特に有明海を囲む北部九州四県において、*Vibrio vulnificus* 感染症の発生例が他地域より多く

見られることが明らかになった¹⁾。*Vibrio vulnificus* は世界中の海水中に広く存在し、健康者には病原性はないが、肝疾患患者や免疫能低下患者が生魚介類摂取により本菌に感染すると数日以内に敗血症性ショックや壊死性筋膜炎を起こす²⁾。本症は急激な経過を取り、致死率が非常に高い為に集中治療医や救急医が常に念頭において治療を行う必要がある疾患である。

佐賀大学有明海総合研究プロジェクト食水系感染症研究部門では、佐賀県と福岡県の一部の病院との間に *Vibrio vulnificus* 患者通報ネットワークを構築し、本症に対する対策を行っている。今回壊死性筋膜炎の診断のもと、*Vibrio vulnificus* 感染症患者と *Vibrio vulnificus* 感染症を

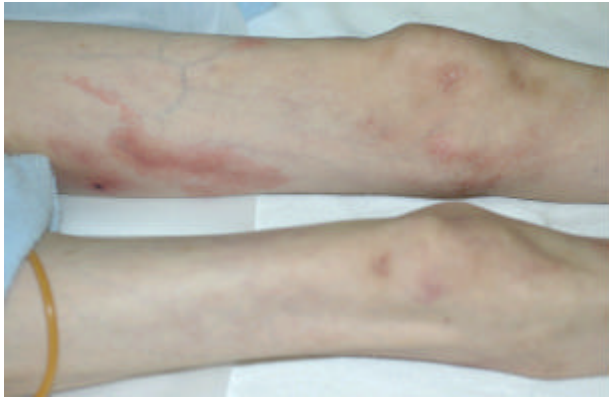


図1 両下肢の紫斑及び紅班。

疑った患者を経験したので報告する。

2. 症例 1

(1) 症例呈示

患者：35歳、女性

主訴：全身倦怠感、発熱、両下肢疼痛

既往歴：多発内分泌腫瘍（MEN-I型）にて副甲状腺腫瘍摘出、膵頭十二指腸切除。貧血にて鉄剤内服中。肝機能障害の指摘なし。

現病歴：生海老を食した後、発熱及び全身倦怠感、下痢が出現。両下肢痛も出現した。発症3日後に疼痛激しく近医受診。腸炎を疑われ当院転院となる。

入院時身体所見（図1）：両下肢に疼痛を伴う紫斑及び紅班。

入院時検査所見（表1）：体温39.2度。血圧116/67mmHg。心拍数157回/分。経皮的酸素飽和度（SpO₂）99%。T-Bil 1.6 mg/dl AST 145 IU/L、ALT 71 IU/L、GTP 485 IU/Lと軽度肝機能検査値上昇。CRP 20.6 mg/dlと著明な炎症性反応を示していた。

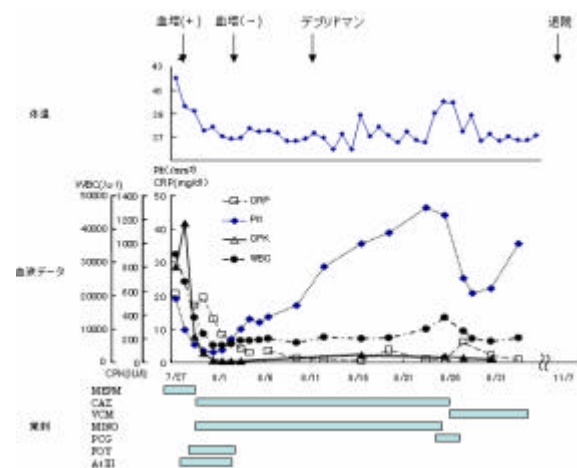
(2) 入院後経過と考察

生鮮魚介類の喫食歴、及び両下肢の敗血症疹、及び血液培養から *Vibrio vulnificus* が検出され集中治療室（ICU）入室となった（表2）。急変に備え、人工呼吸管理やエンドトキシン吸着療法（PMX-DHP）等を準備し全身管理を行った。また、播種性血管内凝固症候群（DIC）が出現した為、ガベキサートメシレート（FOY）とATIIIの投与、及びミノサイクリンやセフトラジムの抗生剤投与を継続したが全身状態の改善は芳しくなく、両下肢の患部に対する壊死組織除去（デブリドマン）は発症後18日目に実施した。その後全身状態の改善が見られ、下肢に対する植皮術を57日目に施行し107日目に退院となった。

表1 症例入院時血液データ

		症例 1	症例 2	
血算	WBC	x 10 ³ /μl	30.2	10.9
	Hb	g/dl	8.3	8.8
	Ht	%	24.7	25.9
	Plt	x 10 ³ /μl	19.1	19.4
凝固系	PT	%	29.9	59.6
	APTT	%	58	45.2
肝機能	T-bil	Mg/dL	1.6	0.5
	AST	IU/L	145	16
	ALT	IU/L	71	19
	γ GTP	IU/L	485	94
炎症反応	CRP	m g/dl	20.6	10.9
	PH		7.461	7.528
	PCO ₂	mmHg	20.4	21.9
	PO ₂	mmHg	103.7	65.3
	HCO ₃ ⁻	mM/L	14.3	18.2
	ABE	mM/L	15	-3.2
	SpO ₂	%	99.3	95

表2 症例1経過。



今回の感染様式としては、症状出現前に、生海老を食していることから経口感染による *Vibrio vulnificus* 感染症と推測された。 *Vibrio vulnificus* 感染症患者の基礎疾患としては肝機能障害者が多いが、本症例は基礎に明らかな肝疾患を有さずMEN-I型で2回にわたる副甲状腺腫瘍切除術、膵頭十二指腸切除術を施行されていた。MEN-I型は20歳までに約半数で副甲状腺機能亢進症があらわれ、ほとんどが40歳までに発症する疾患である。本症例も、19歳時に発症しており、典型的症例であった。

また本症例は膵頭十二指腸切除後に、吸収不良症候群にて約15年間に体重が50kgから30kgまでに減少している。特に *Vibrio vulnificus* を発症する前の半年間で約10kgの体重減少があった。術後吸収不良症候群による、長期にわたる極度の低栄養、脱水状態、低体重により免疫不全状態、易感染状態であったことが推察される。更に *Vibrio vulnificus* がヒトの体内で増殖する条件として、遊離鉄イ



図2 左前腕外側に一部紫斑を伴う暗赤色紅班。同部位に激しい疼痛と圧痛。



図3 上肢MRI画像。部位には造影にて増強効果が見られ、壊死性筋膜炎の所見を呈する。

オンの上昇がある。細菌の鉄獲得機構としては鉄キレート剤であるsiderophoreを産出して微量の鉄を有効に摂取する系があり、*Vibrio vulnificus*にもsiderophoreの存在が報告されている³⁾。今回の例では慢性貧血のため鉄剤を内服しており、このことも、*Vibrio vulnificus*が増殖する起因となったと推測される。

本症例では、治療開始が発症から3日目であったが、その後の集中治療やデブリドマン等により救命できており、基礎疾患として、明らかな肝機能障害がなかったことや、入院後すぐに血液培養を提出し、薬剤感受性試験結果により適切に抗生剤を変更した迅速な治療が効果を出したと考えられる。創部への対応とともに、全身状態をいかに向上させるかが、本症の治療として重要であることが再認識された。

3. 症例 2

(1) 症例呈示

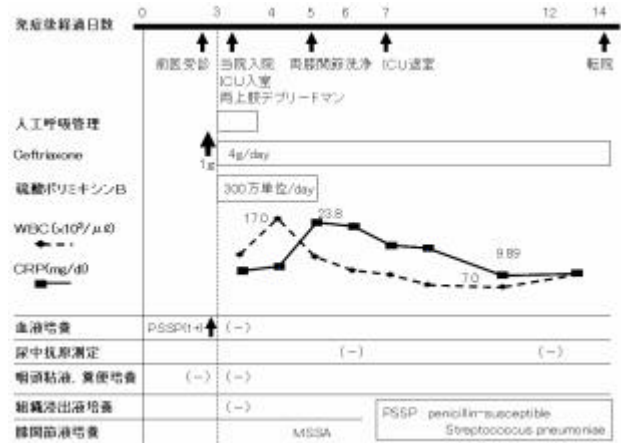
患者：66歳、男性

主訴：両上肢疼痛

既往歴：C型肝炎にて加療中。日本酒2~4合/日。

現病歴：海老を喫食した2日後上肢に疼痛出現し放置。疼痛出現3日後の朝より、発赤・腫脹が出現。近医を受診し*Vibrio vulnificus*感染症が疑われ、血液培養採血とセフトリアキソン投与後、救急車にて当院搬送され、緊急

表3 症例2経過



入院した。

入院時身体所見（図2、3）：両上肢の紅班と疼痛。

入院時検査所見（表1）：体温40度、血圧116/72 mmHg、心拍数102回/分、SpO₂ 95%、GTP 94 IU/l（他の血液生化学肝機能検査には異常値なし）、CRP 10.85 mg/dl、PT活性59.6%。

(2) 入院後経過と考察

肝機能障害の既往、生鮮魚介類の喫食歴、及び上肢の壊死性筋膜炎から当院においても*Vibrio vulnificus*感染症を疑い治療を開始した。直ちに手術室にて両上肢患部に対しデブリドマンを実施し、その後ICU管理とした（表3）。ICU入室後セフトリアキシンの投与と共に、経口的に硫酸ポリミキシンBの投与を行った。また術後より人工呼吸器による呼吸管理も行った。ICU入室2日目に血液培養より起因菌は*Streptococcus Pneumoniae*との報告があった。*Streptococcus Pneumoniae*のうち病原性をもつ株は、一般的にポリサッカライドからなる莢膜を保有し、菌が死滅し処理される際に尿中から抗原として排出される。抗原が腎臓により濃縮されるため、血液中より尿中の抗原濃度が高いとされており、従って*Streptococcus Pneumoniae*診断の重要なツールの一つである。また、*Streptococcus Pneumoniae*尿中抗原は抗菌薬による影響を受けにくく、長期にわたり陽性となる場合が多いが、今回の症例では血液培養陽性後も尿中抗原は陰性であった。我々は尿中抗原測定に米国 Binax社製の NinaxNOW *Streptococcus pneumoniae*キットを使用したが、その感度は80-90%、特異度は75%程度とされており、血液培養陽性・尿中抗原法陰性という非常にまれな症例であった。また、起因菌は別の菌種であり、血液培養ボトルへの肺炎球菌のcontaminationが生じていた可能性も考えられた。本患者は、その後の抗生剤感受性試験においてもセフトリアキソンへの反応がよく、4日目にICU退出となり、11日目に転院となった。

高齢者に多く見られる*Streptococcus Pneumoniae*感染症

を経験した。今後高齢化社会が進むにつれて、高齢者の壊死性筋膜炎患者の場合 *Streptococcus Pneumoniae* が起原菌である可能性も念頭に入れ、治療を行う必要があると考えられる。

4. 結語

壊死性筋膜炎を呈した2症例を経験した。一般的に壊死性筋膜炎では、治療開始時期や合併症の有無が生命的予後を左右し死亡率は約15%程度とされる。中でも特に *Vibrio vulnificus* による壊死性筋膜炎は死亡率60-70%と高率であり、特に注意が必要な疾患である。また *Vibrio vulnificus* 感染症は肝機能障害を基礎に持つ患者に多く見られるが、佐賀県は昭和50年より肝機能障害をベースとした肝癌による死亡率がほぼ全国1位であり、ある意味 *Vibrio vulnificus* 感染者予備軍が非常に多いと言える。

Vibrio vulnificus 感染症の臨床病型としては、(1)敗血症型(2)創傷感染型(3)胃腸炎型があり⁴⁾、敗血症型が半数以上を占める。致命率も敗血症型が圧倒的に高く、症例1も魚介類の摂取後の敗血症を発症していた。

米国の報告では24時間以内に治療開始された場合の死亡率は33%、72時間以降に治療開始した場合は死亡率100%であり⁵⁾、治療開始が遅れるほど致死率が高いことが示されている。当院では *Vibrio vulnificus* 感染症を10例以上経験しているが²⁾、今回の症例1以外はすべて明らかな肝機能障害を認める患者であった。今後の検討課題として、肝機能障害を持つ患者だけでなく、免疫不全や、

低栄養状態の患者など、易感染性の状態である患者に対しても、夏場の生の魚介類摂取を制限する啓発活動が必要と考えられる。また、発症した場合は可及的早期に治療を開始することが、*Vibrio vulnificus* 感染症や他の壊死性筋膜炎患者救命のためには重要であり、医療機関への情報提供や地域との連携が肝要である。

参考文献

- 1) 中島幹夫、大石浩隆、荒木和邦、三溝慎次. わが国における *Vibrio vulnificus* 感染症の発生動向と有明海沿岸地域の状況. 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集 2005;第1巻:55-60.
- 2) 三溝慎次、中島幹夫、前田祥範、吉田昌人、十時忠秀. *Vibrio vulnificus* による壊死性筋膜炎11症例の検討. *ICUとCCU(0389-1194)*, 2001:857-861.
- 3) Simpson LM, Oliver JD. Siderophore production by *Vibrio vulnificus*. *Infect Immun* 1983;41(2):644-9.
- 4) 松本慶蔵、古川佳奈、山下広志、縄田康郎、石田正之、大石和徳、et al. 私達の感染症と化学療法 *Vibrio vulnificus* 感染症について. *化学療法の領域(0913-2384)*, 2000:2110-2117.
- 5) Klontz KC, Lieb S, Schreiber M, Janowski HT, Baldy LM, Gunn RA. Syndromes of *Vibrio vulnificus* infections. Clinical and epidemiologic features in Florida cases, 1981-1987. *Ann Intern Med* 1988;109(4):318-23.

(2006.5.31受付)

発色合成基質寒天培地(CVA1)を利用した *Vibrio vulnificus*の検出と迅速同定法の開発

DEVELOPMENT OF RAPID IDENTIFICATION AND ISOLATION OF *VIBRIO VULNIFICUS* USING THE CHROMOGENIC SUBSTRATE CULTURE PLATE (CVA1)

中島由佳理¹・高柳恵²・草場耕二³・永沢善三⁴
大石浩隆⁵・中島幹夫⁶・小松理⁷・馬目功⁸

Yukari NAKASHIMA, Megumi TAKAYANAGI, Kouji KUSABA, Zenzo NAGASAWA,
Hirotaka OISHI, Mikio NAKASHIMA, Osamu KOMATSU and Isao MANOME

- 1 佐賀大学医学部臨床検査技師 検査部感染制御室 (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
- 2 佐賀大学医学部臨床検査技師 検査部感染制御室 (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
- 3 佐賀大学医学部主任臨床検査技師 検査部感染制御室 (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
- 4 医博 佐賀大学医学部副臨床検査技師長 検査部感染制御室 (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
- 5 医博 佐賀大学助教授 有明海総合研究プロジェクト (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
- 6 医博 佐賀大学教授 医学部麻酔・蘇生学 (〒849-8501 佐賀市鍋島5-1-1)
- 7 栄研化学株式会社 生物化学研究所 (〒329-0114 栃木県下都賀郡野木町野木143)
- 8 栄研化学株式会社 生物化学研究所 (〒329-0114 栃木県下都賀郡野木町野木143)

Vibrio vulnificus is a gram-negative rod bacterium associated with septicemias and necrotizing fasciitis in humans. Although nothing has influence to a healthy person, patients with underlying liver disease are particularly susceptible to life-threatening infection. Early identification of bacteria species, prompt institution of antibiotic therapy and early debridement are the mainstay of successful management. Accordingly, a new technique that can identify the organism quickly and accurately is required. Using a biochemical protocol system, the identification of *Vibrio vulnificus* has been performed as characteristic colonies, grown on thiosulfate, citrate, bile salts and sucrose agar plates, which take around 48 hours.

In date, we are developing the new culture plate contained chromogenic substrate (Chromochecker VA1; CVA1) for identifying *Vibrio vulnificus*. We confirmed that CVA1 could identify *Vibrio vulnificus* among several bacteria species causing NF, and other *Vibrio* species such as *V. cholerae* and *V. parahaemolyticus*.

Key Words : *Vibrio vulnificus*, Chromogenic substrate culture plate, Necrotizing Fasciitis

1. はじめに

*Vibrio vulnificus*は1979年Farmerにより腸炎ビブリオとは異なる海水ビブリオ菌として命名された¹⁾。本菌による感染症の臨床的特徴は、肝硬変や糖尿病など血清中の遊離鉄が上昇する基礎疾患保有患者において、本菌に汚染された魚介類の生あるいは煮沸不十分な状態で摂食した場合に、壊死性筋膜炎や敗血症性ショックを引き起こすことが知られている²⁾。本菌以外にも壊死性筋膜炎

を呈する劇症型感染症の原因菌には *Streptococcus pyogenes*、*Streptococcus pneumoniae*、*Haemophilus influenzae*、*Aeromonas hydrophila*、*Escherichia coli*などが報告されている。一方、佐賀県においてはこれらの感染症の発生率は低く、*Vibrio vulnificus*の生息環境が有明海が有する海域特性と適合していると考えられることにより、本菌感染症の発生率は他県に比べ高く、早急な対策が必要である^{3) 4)}。そこで、本研究では、臨床微生物検査領域で従来48時間必要であった*Vibrio vulnificus*の同定時間を24時間以内に短縮することにより、より迅速・適

確な医療行為が実施できると考え、発色合成基質寒天培地(Chromochecker VA1; CVA1寒天培地)を利用した*Vibrio vulnificus*の検出と迅速同定法について栄研化学株式会社と共同で検討中である。今回は現在までに得られた成果の一部を報告する。

2. 材料および方法

検討菌株は佐賀大学付属病院で各種臨床材料(軟部組織由来検体を含む)及び海水、魚介類から分離された下記20菌種75株を対象とした。

(1) 供試菌株

a) <i>Vibrio</i> 属	
<i>V. cholerae</i>	(14株)
<i>V. parahaemolyticus</i>	(13株)
<i>V. alginolyticus</i>	(13株)
<i>V. vulnificus</i>	(8株)
<i>V. fluvialis</i>	(8株)
<i>V. mimicus</i>	(3株)
<i>V. metschnikovii</i>	(1株)
<i>V. tryogenes</i>	(1株)
<i>V. hollisae</i>	(1株)

以上、9菌種62株

b) *Vibrio*属以外

<i>Proteus vulgaris</i>	(2株)
<i>Proteus mirabilis</i>	(2株)
<i>Aeromonas hydrophila</i>	(1株)
<i>Enterobacter cloacae</i>	(1株)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	(1株)
<i>Escherichia coli</i>	(1株)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	(1株)
<i>Enterococcus faecalis</i>	(1株)
<i>Streptococcus pyogenes</i>	(1株)
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	(1株)
<i>Haemophilus influenzae</i>	(1株)

以上、11菌種13株

(2) CVA1寒天培地による*Vibrio vulnificus*の特異的検出

壊死性筋膜炎および軟部組織感染症は*V. vulnificus*以外にも*Streptococcus pyogenes*、*Streptococcus pneumoniae*、*Haemophilus influenzae*、*Aeromonas hydrophila*、*Escherichia coli*などが原因で発症する。そこで、本院で軟部組織の臨床材料から実際に検出された上記6菌株を用いて、CVA1寒天培地が特異的に*V. vulnificus*のみを検出できるか否かについて検討を行った。接種菌液は各菌

株ともにMcFarland No.1 相当の菌液濃度に調製した。また、使用培地は1) CVA1寒天培地、2) TCBS寒天培地(栄研化学)、3) 羊血液寒天培地(栄研化学)、4) チョコレート寒天培地(栄研化学)を用いた。培養条件は各培地に菌液を塗布した後、37℃で18~24時間好氣的培養を実施し、判定は各培地における発育の有無で行った。

(3) CVA1寒天培地による*Vibrio vulnificus*の迅速同定法

今回、開発中のCVA1寒天培地は選択的に*Vibrio*属の発育が可能であり、かつ*Vibrio*属の各菌種における合成基質の分解性の差異により、コロニーの発色性が異なるように培地組成を調整した。検討菌株は供試菌株で示した*Vibrio*属9菌種62株、及び*Vibrio*属以外の菌種11菌種13株を使用した。接種菌液は各菌株ともにMcFarland No.1相当の菌液濃度に調製した。使用培地は1) CVA1寒天培地および対照培地として2) TCBS寒天培地、さらに(株)関東化学社製の合成基質培地である3) クロモアガー*Vibrio*寒天培地を用いた。培養条件は各培地に菌液を10μl塗布した後、37℃で18~24時間好氣的培養を実施した。判定は各培地における発育コロニーの着色性を比較した。

3. 結果と考察

(1) CVA1寒天培地による*Vibrio vulnificus*の特異的検出

チョコレート寒天培地には検討した6菌種(*V. vulnificus*、*H. influenzae*、*S. pneumoniae*、*S. pyogenes*、*E. coli*、*A. hydrophila*)すべてが発育した。羊血液寒天培地には*H. influenzae*以外の5菌種が発育した。CVA1寒天培地には*V. vulnificus*のみ発育が認められた。この結果、CVA1寒天培地は壊死性筋膜炎および軟部組織感染症から*Vibrio vulnificus*のみを特異的に検出できることが確認された(図1)。

(2) CVA1寒天培地による*Vibrio vulnificus*の迅速同定法

CVA1寒天培地の開発コンセプトは海水や魚介類から食中毒菌として問題となる*V. parahaemolyticus*、*V. cholerae*の発育性能を確保し、さらに海水、魚介類および*V. vulnificus*感染症患者から*V. vulnificus*の検出を目的としている。また、これら3菌種をコロニーの着色性で迅速に鑑別する新たな検査法の確立も同時に目指した。今回、供試菌株で示した*Vibrio*属9菌種62株、及び*Vibrio*属以外の菌種11菌種13株での成績を図2に示す。CVA1寒天培地では*V. vulnificus*(7株)、*V. mimicus*(3株)

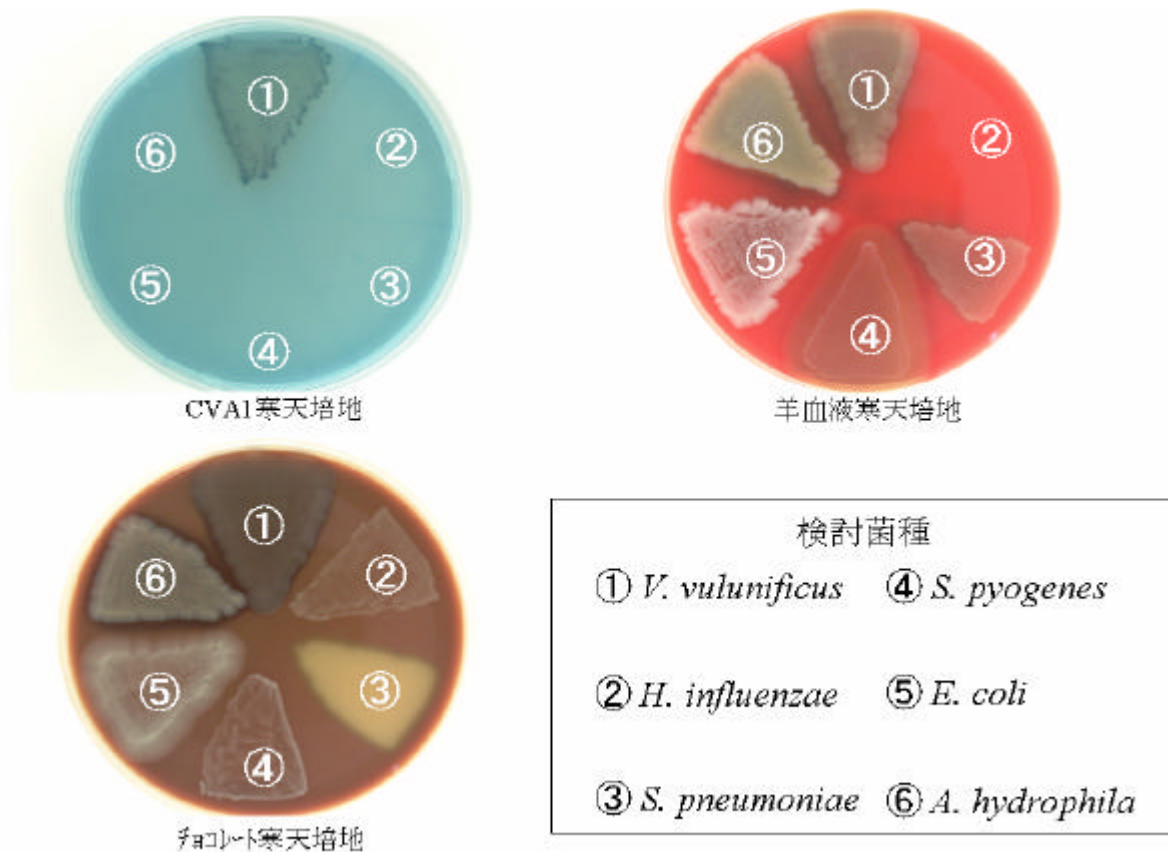


図1 発色合成基質寒天培地（CVA1）を使用した *V. vulnificus* の特異的検出

CVA1寒天培地 (共同開発)	<i>V. vulnificus</i> (7株) <i>V. mimicus</i> (3株) (紺色)	<i>V. parahaemolyticus</i> (11株) (青緑色)	<i>V. metschnikovii</i> (1株) (薄青色)	<i>V. cholerae</i> (1株) (紫色)	
	<i>V. cholerae</i> (14株) (茶色)	<i>V. alginolyticus</i> (2株) (黄色)	<i>V. parahaemolyticus</i> (4株) <i>V. vulnificus</i> (1株) <i>V. alginolyticus</i> (11株) <i>V. fluvialis</i> (8株) <i>V. tryptones</i> (1株) <i>V. hollisae</i> (1株) (発育抑制)	(2株) <i>H. influenzae</i> (1株) <i>S. pneumoniae</i> (1株) <i>S. pyogenes</i> (1株) <i>E. coli</i> (1株) <i>A. hydrophila</i> (1株)	<i>P. aeruginosa</i> (1株) <i>P. vulgaris</i> (2株) <i>P. mirabilis</i> (2株) <i>E. cloacae</i> (1株) <i>K. pneumoniae</i> (1株) <i>E. faecalis</i> (1株)
クロモアガー Vibrio寒天培地	<i>V. cholerae</i> (14株) <i>V. vulnificus</i> (4株) <i>V. mimicus</i> (3株) <i>V. metschnikovii</i> (1株) (青色)	<i>V. parahaemolyticus</i> (9株) <i>V. fluvialis</i> (2株) (紫色)	<i>V. parahaemolyticus</i> (4株) <i>V. alginolyticus</i> (13株) <i>V. fluvialis</i> (6株) (白色)	<i>V. vulnificus</i> (4株) <i>V. tryptones</i> (1株) <i>V. hollisae</i> (1株) <i>H. influenzae</i> (1株) <i>S. pneumoniae</i> (1株) <i>S. pyogenes</i> (1株) <i>E. coli</i> (1株) <i>A. hydrophila</i> (1株) (発育抑制)	<i>P. aeruginosa</i> (1株) <i>P. vulgaris</i> (2株) <i>P. mirabilis</i> (2株) <i>E. cloacae</i> (1株) <i>K. pneumoniae</i> (1株) <i>E. faecalis</i> (1株)
TCBS 寒天培地	<i>V. parahaemolyticus</i> (12株) <i>V. vulnificus</i> (5株) <i>V. mimicus</i> (1株) (緑色)	<i>V. cholerae</i> (14株) <i>V. alginolyticus</i> (12株) <i>V. fluvialis</i> (5株) <i>V. metschnikovii</i> (1株) (黄色)	<i>V. parahaemolyticus</i> (1株) <i>V. vulnificus</i> (3株) <i>V. alginolyticus</i> (1株) <i>V. mimicus</i> (2株) <i>H. influenzae</i> (1株) <i>S. pneumoniae</i> (1株) <i>S. pyogenes</i> (1株) <i>E. coli</i> (1株) (発育抑制)	<i>A. hydrophila</i> (1株) <i>P. aeruginosa</i> (1株) <i>P. vulgaris</i> (2株) <i>P. mirabilis</i> (2株) <i>E. cloacae</i> (1株) <i>K. pneumoniae</i> (1株) <i>E. faecalis</i> (1株)	

図2 発色合成基質寒天培地（CVA1）を使用した *V. vulnificus* の迅速同定法

が紺色、*V. parahaemolyticus* (11株)が青緑色、*V. metschnikovii*(1株)が薄青色、*V. cholerae* (14株)が茶色、*V. alginolyticus* (2株)が黄色に着色した。*V. cholerae*の1株については紫色を呈した。なお、発育が抑制された菌種は *V. parahaemolyticus*(2株)、*V. vulnificus*(1株)、*V. alginolyticus* (11株)、*V. fluvialis*(8株)、*V. tryogenes*(1株)、*V. hollisae*(1株)および *Vibrio*属以外の11菌種13株であった。クロモアガー *Vibrio*寒天培地では *V. cholerae*(14株)、*V. vulnificus*(4株)、*V. mimicus*(3株)、*V. metschnikovii*(1株)が青色、*V. parahaemolyticus* (9株)、*V. fluvialis*(2株)が紫色、*V. parahaemolyticus* (4株)、*V. alginolyticus* (13株)、*V. fluvialis*(6株)が白色に着色した。なお、発育が抑制された菌種は *V. vulnificus*(4株)、*V. tryogenes*(1株)、*V. hollisae*(1株) および *Vibrio*属以外の11菌種13株であった。

また、TCBS寒天培地では *V. parahaemolyticus* (12株)、*V. vulnificus*(5株)、*V. mimicus*(1株)が緑色、*V. cholerae*(14株)、*V. alginolyticus* (12株)、*V. fluvialis*(5株)、*V. metschnikovii*(1株)が黄色に着色した。なお、発育が抑制された菌種は *V. parahaemolyticus* (1株)、*V. vulnificus*(3株)、*V. alginolyticus* (1株)、*V. mimicus*(2株)および *Vibrio*属以外の11菌種13株であった。

以上の結果より、

- 1) クロモアガー *Vibrio*寒天培地では鑑別できなかった *V. cholerae* と *V. vulnificus*、TCBS寒天培地では鑑別できなかった *V. parahaemolyticus* と *V. vulnificus*を、CVA1寒天培地では *V. vulnificus* ; 紺色、*V. parahaemolyticus* ; 青緑色、*V. cholerae* ; 紫茶色のコロニー着色で鑑別することができた。
- 2) 重要な3菌種以外を発育抑制するコンセプトであったが、*V. mimicus*と *V. metschnikovii*および一部の *V. alginolyticus*は抑制されなかった。
- 3) *V. vulnificus*感染症患者から検出された *V. vulnificus* は全株CVA1寒天培地では発育が認められたが、魚介類由来の *V. vulnificus*の一部で発育不良がみられた。ただしクロモアガー *Vibrio*寒天培地では4株、TCBS寒天培地では3株 *V. vulnificus*の発育不良が認められた結果と比較すると発育支持性能は高いと考えられ、さらに種々の菌株を使用し検討する必要がある。

4) 発育コロニーの大きさについても同時に検討した結果、クロモアガー *Vibrio*寒天培地およびTCBS寒天培地と同程度の大きさを示し、臨床検査に際しては問題ないと判断された。

4. 結語

CVA1寒天培地は紺色のコロニー着色性で、*V. vulnificus* を選択的に検出できると判断された。ただし、海水および魚介類からの *V. vulnificus*検出に関しては一部の *Vibrio*属で発育可能であることより、その判断は慎重に行う必要がある。現在の検討では羊血液寒天培地での発育能を併せて判断すれば *V. vulnificus*を迅速に同定できると考えており、さらに検討を実施する予定である。

謝辞：細菌学的検討にご協力頂いた麻酔蘇生学教室森田よう子氏に深謝する。

参考文献

- 1) Farmer, JJ^{III}: *Vibrio* ("Benecke") *vulnificus*, the bacterium associated with sepsis, septicemia and sea, *Lancet*, Vo903, ii, 1979.
- 2) 坂崎利一: *Vibrio.vulnificus*感染症, 日本臨床微生物学雑誌, No.9, pp.133-136, 1999.
- 3) 中島幹夫: 本邦におけるピブリオ・バルニフィカス感染症の地域性, 日本集中治療医学雑誌, No.10(supple), pp.225, 2003.
- 4) 中島幹夫、大石浩隆、三溝慎次、荒木和邦: わが国における *Vibrio.vulnificus* 感染症の発生動向と有明海沿岸地域の状況 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集, 1 pp 55-60, 2005

(2006.5.31受付)

日韓両国の干潟生態系における食用水族資源の 再生産力と採捕量に関する経時的・ 計量的比較研究 2: 韓国の現状

Traditional fishing-gleaning strategies on tidal flats of Japan and Korea 2:
A case study in South Korea as viewed from ecological anthropology

武田 淳
Jun TAKEDA

理博 佐賀大学教授 農学部生物生産学科地域資源学研究室 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

People concern as well as interest about tidal flat resources are also rising greatly. The ebb and flow of tidal flats is nature-intensive. The natural energy of tides and the habits of fish have made the people engaged in marine resource-gleaning activities on tidal flats. A good catch of various kinds of marine resources has endowed the people with self-sufficiency on tidal flats since ancient times. Such ecosystems with reef flats on coral reefs and tidal flats have afforded local people, by giving them a chance to catch species diversity without being regulated by seasonality. Tidal flat ecosystem has so far ensured food sufficiency and availability of biologically diverse marine resources throughout the year. Traditionally, fishing-gleaning activities have been carried out on a daily basis by women, children and the aged, using non-specialized techniques on tidal flats in Ariake Sea, Japan and along the west coast of South Korea. Tidal flats are covered by the sea twice a day when the tide is at flood, and they are uncovered twice a day when the tide is at ebb.

In this paper the traditional fishing-gleaning strategies on tidal flats in South Korea are focussed and examined.

Key Words: *Tidal flats, Traditional fishing-gleaning activities, Marine resources, Ecological anthropology, Hampyeong Bay, South Korea.*

1. はじめに

自然界に見られる生態系は多様である。その特性に応じて人類は多彩な生業活動を展開してきたし、展開している。干潟生態系もその一つである¹⁾。干潟は河川から流入し、そして海から有機物質が絶えず生産・供給されるため、栄養が豊富であり、数千種類の動植物が生息する場になっている。地球上に存在する生物の約20%が生息しているともいわれ、動植物の食物連鎖を通して生物の生産性ももっとも高く、多様性に豊んでいる生態系が干潟である。また、干潟は医学や食糧生産などに利用される海洋水族資源の宝庫でもある。

さらに自然界における腎臓としての浄化機能もある干潟生態系は、魚介類の生産および生息地、生態系の均衡、審美的景観、洪水の調節機能、海水汚染物の浄化機能²⁾、台風の影響や高潮を緩和する機能などをそなえている。干潟は人間に多くの恵みを与えてきたが、その価値は季節ごとに多様な形で現れる^{*1}。

韓国・全羅南道・順天(チョルラナムドスンチョン)湾には、広大な干潟とアシ原もある湿地があり、150種の鳥類と36科92属116種の海洋植物が多く

見られる^{*2}。世界的に保護されているクロヅル(ホトトルミ)やコウノトリ(ハアンセ)などの渡来地でもある。また韓国ではコムシとハイガイがもっとも多く生息する地域である^{*3}。

干潟は潮の干満を利用するだけで採捕が周年可能であり、種の多様性、豊饒性および生活の自給自足が維持されてきたところで、古来、人類の生存に深く関わってきた場である。それにもかかわらず、近年の干拓や埋立てなどによって、消失の危機に瀕している生態系である。

韓国の西海岸も有明海の干潟と同じく、多様な水族資源を産出する場である。西海岸の中でも全羅南道の咸平(ハンピョン)湾(図1)はカキ、イシモチ、ボラ、ハゼ、ムツゴロウ、コチ、カニ、シジミ、マダコ、シバエビなど干潟に多い魚介類が生息していて、伝統的な漁法で多彩な漁撈・採捕活動が展開されているところである。特に韓国の干潟ではカキ^{*4}を養殖するところは少ないが、咸平湾はカキの採捕が盛んなところの一つである。

咸平湾での伝統的な漁撈活動としては、主にボラを捕るケメギ(建干網)ボラとコチを捕るトッサル(石干見)フリッコムル(地引網の一種)モチ(ボラの稚魚)やコノシロやシバエビを捕るトンジャン(定置網の一種)ハゼやムツゴロウ捕るサダル(又

手網)、カニ、ハゼやシバエビを捕るテナム網漁、タイヤズキを捕るズキ延縄やマダコを捕るマダコ延縄などがある3)。

本稿は日韓における干潟の水産資源の伝統的な採捕技術、持続的資源利用および資源の維持管理などを明らかにするために、韓国で行なった現地調査に新たな知見を加えた。干潟生態系がもつ生態人類学的意義は、人類進化史を復元する上でも、重要な作業である。また、現代文明から希薄になりつつある伝統的な干潟資源の利用形態と維持管理の基礎的な調査資料は、干潟の伝統文化の記録にとどまらず、地球に優しい生態系の保全のためにも不可欠である4)5)6)7)。

2. 咸平湾の自然環境

全羅南道・咸平郡咸平邑(ハンピョンオプ)石城里(ソクソンリ)*5は、韓国西南部にある多島海に面した全羅南道の西海岸(黄海)の北端(北緯35度18分、東経126度22分)に位置し、主に農業が営まれている。

咸平郡の北部は、イシモチの名産地である霊光郡(ヨンカァンゲン)、東部は光州広域市(カァジュウカァヨクシ)、南東部は梨の名産地である羅州市(ナジュウシ)、そして西南部は務安郡(ムァンゲン)に囲まれている。この海域は、咸平湾を挟んで咸平邑の孫佛面(ソンブルミョン)と務安郡の海際(ヘチエ)半島と対面している内湾である。したがって、咸平郡は2つの市と2つの郡に接して、新安郡(シンァンゲン)と務安郡など全羅南道西海岸の島嶼地域から半島内陸をつなぐ交通の要衝にあたる海岸部である。また低平地にあるために古くから海上交通を利用して中国など諸地域との交流が盛んに行われたところでもある。平地の面積の方が広い地帯の背後には、海拔300~400mの丘陵性山地が分布している。

気候は温帯に属し、日本と同様に四季の移り変わりが見られる。夏は海洋性高気圧の影響を受けて非常に暑く、冬は大陸性高気圧の影響による黄海(東シナ海)からの北西季節風を受けるために冷涼である。年平均気温は12.6で、月平均気温の最高は8月の25.5、最低は1月の0であるため、韓国においてももっとも温暖な地域の一つといえる。

降水量は、年平均1,321mmで、降水量がもっとも多い月は7月で平均229mm、もっとも少ない月は1月で平均32.8mmである8)38,758?の咸平郡の面積に、人口51,703人(1995年現在)が住んでいるが、減少傾向にある。咸平郡の全世帯の77%が農業(農家人口28,183人)に従事し、総面積の39%を農耕地とする典型的な農業地域である。主な農産物には、コメ、ムギ、サツマイモ、ジャガイモ、ネギ、トウガラシ、ニンニク、タバコなどがある。

水産業には全世帯の0.8%に従事している。漁家は566世帯で、漁家人口は2,151人(1995年現在)である。1993年からわずかに増加する傾向にあり、男性より女性が多く漁業に従事する。農家人口が減

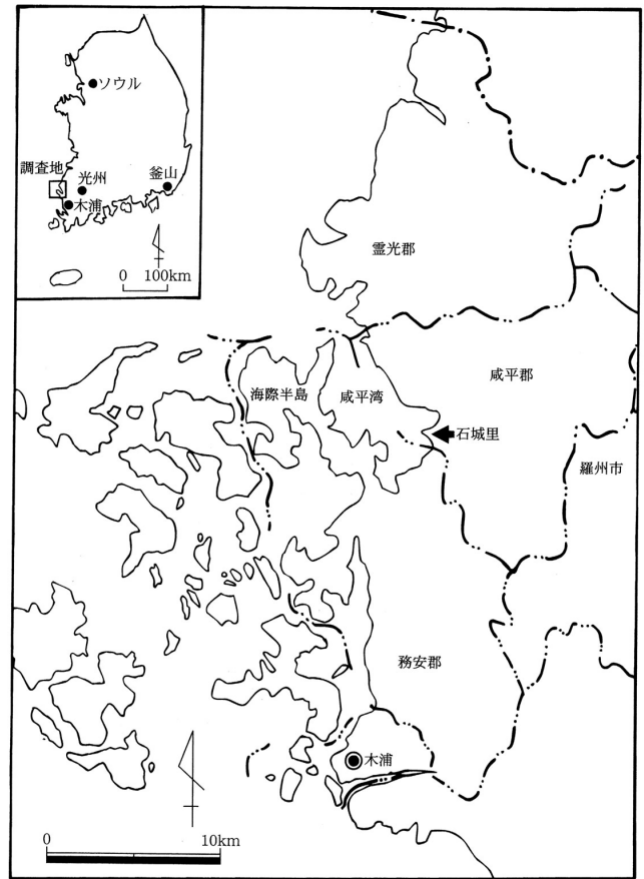


図-1 咸平(ハンピョン)湾の概観図

少する傾向にあるのに対して、漁家人口は増加する傾向が見られる。特に、孫佛面の場合は漁家人口が1,398人で、咸平郡の漁家人口全体の65%程度を占めており、他の地域に比べて漁業従事者数が多い9)。

3. 調査地と調査期間

1998年10月から韓国の全域における広域調査と、それ以降、資料収集と狭域調査を続けている。

調査地の石城里石頭(トルモリ)村は、人口342人(男性:158、女性:184人)で世帯数は106戸である(1997年現在)。職業別の内訳は、農業が7世帯、漁業が13世帯、半農半漁が72世帯、商業が7世帯、公務員が2世帯、日雇労働者が2世帯、牧師が1世帯、その他が2世帯である。

多くの住民たちは自家消費を含み、なんらかの形で咸平湾および干潟における海産物の漁撈・採捕活動に従事している。13世帯が漁業を専業とし、約6トンの船を所有している1世帯、定置網漁業を行う1世帯の他は干潟での採捕業に専念する。

村の中でもっとも大きな組織は当然、漁村係(日本の漁業協同組合に相当する)で“石頭漁村係”と呼ばれる。漁村係はカキとゴカイの採捕活動を主に管理し、シジミ養殖を試みたり、定置網の漁業免許地域での使用料徴収、漁村係員の福祉活動援助などを行う。漁村係の加入には、かならず石城里に居住している人でなければならない。石頭漁村の加入数は106世帯のうち86世帯で、住民の80%以上が加

入している 10)。

咸平湾の干潟におけるカキの採捕活動は、女性だけが従事している。カキとゴカイを採捕する女性たちを対象に直接観察および聞き取り調査も行った。

調査項目は咸平湾で行う伝統的な漁法と漁具、採捕活動時間、カキの採捕量、調査対象者の年齢、家族構成、経験年数、個人史 (personal history) や販売方法である。

4. 咸平湾の漁撈活動

4-1. ケメギ (建干網漁)

ケメギ (図 2) は、伝統的で原始的な漁撈方法の一つである。干潟ないしは浅海に松の杭を打って漁網を張り、干潮時に沖に向かって出ていく魚を囲んで捕る方法である。咸平では長さ約 5.5m の松の杭を 4m 間隔で陸側に向けて半楕円形に打ちこみ、その杭に漁網を張っていく。その漁網の長さは設置場所によって異なり、30~700m ほどの幅がある。一度設置すれば約三年間は使用できる。ナイロン製漁網が使われる以前は、綿糸で漁網を作り、漁網の上綱と下綱も綿糸の縄を作った。

ケメギの操業は満潮のおよそ 1 時間前に始まる。前もって漁網を張っておくと満潮時の魚が漁網の中に入らないので、漁網を杭の下に降ろして、満潮の頃合いを見はからって漁網を杭の上方にあげて広げる。漁網を広げたあとは、村に戻って自分の仕事をし、干潮時にふたたび魚を捕りに出かける。

ケメギは杭に漁網を設置するか、しないかで、二つの異なった作業方法がある。漁網を設置するが、杭を使わない方法は、古いやり方に属する。この方法は、潮の高さが大人の腰くらいまで引いたときに海に直接入ってトルマン (手網) で魚を捕獲することになる。満潮の寸前に漁網の内側に入った魚を捕らなければならない作業であるため、網の内側に入る者が多ければ多いほど魚を捕獲できる。現場に居合わせた村人であれば、誰でもが参加できる漁法である。作業に参加する者は、手網またはタリケ (図 3: 背負子的一种) を持って出かける。捕った魚の半分は漁網の持ち主のものになり、半分は自分で持ちかえられる。人数が多い時には約 100 人の村人が参加して漁網に囲まれた魚を捕獲したという話も伝えられている。この漁法は約 30 年前に既に消えてしまった。

現在は、あらかじめ潟に打ち込んだ杭に漁網を設置して魚を集める方式だけが残っている。この方法は魚を一カ所に集めて捕るために多くの人数を必要としない。二人程度だけで作業が十分可能である。魚を漁網から捕りあげたあと、ふたたび漁網の上端の縄を解いて杭の下方に漁網を降ろして、網をゆっくり足で踏みつけて豊んでいく。

ケメギの操業時間は春と秋 * 6 で、しかも潮の流れがよい大潮 (サリバツ) の潮時 (ムルテ) に集中的に行われる。春にはボラ、秋にはモチ (ボラの稚魚) ヲブサク (コノシロの稚魚) などが主に捕れる。ヨブサクが多く捕れた場合、塩漬け物にしても食べ

た。30 年前までは、一回でボラが 100 kg ほど捕れた時期もあった。特にヨブサクの塩漬け * 7 は咸平の特産物として知られている。ケメギ漁網はナイロン製糸を買ってきて自宅で作る。約 50 kg の糸から 70m の長さの漁網を作ることができる。作業時間は二人で 10 時間ほどの労働を投入し、使用期間は約 3 年可能である。使用しない期間は、ケメギ漁網を設置したい所に穴を掘って埋めておく。

現在、ケメギを専業にする漁師はいないが、孫佛面海倉 (ヘチャン) のボクソンニョン氏と孫佛面ソッケのキムチョンピョ氏などのように他の漁場の仕事や農業をする合間に漁網を張る人が多い。最近では水族資源も漁獲量も減少し、市場に行って売れるほどの漁獲がないため、自家消費かせいぜい村人に販売する程度にしか捕れなくなった。

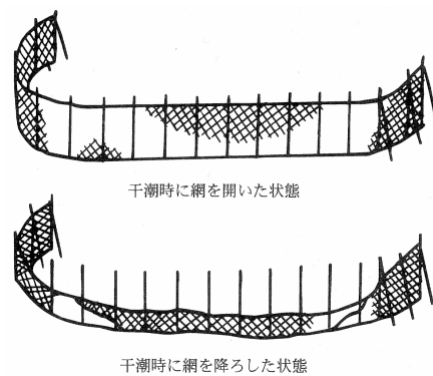


図-2 ケメギ

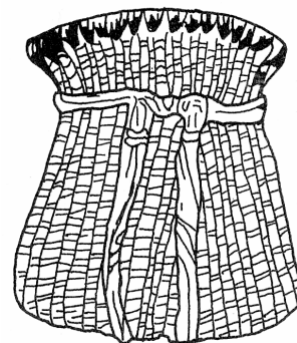


図-3 タリケ

4-2. トッサル (石干見漁の一種)

トッサル (図 4) は、石垣を築いてその中に囲まれた魚を捕獲する石干見漁である (11) (12)。漁網の代わりに石や岩を利用したケメギの原始的形態の一つである。設置場所は、石垣を築きやすく、屈曲された場所を選ぶのがコツである。潮が引いた時でも石垣の両端は、干上がって陸になる。石垣の下側は大きい石を使用して、2 列または 3 列の垣を重ねていき、上段には小さい石を積み上げる。石と石の間に魚が潜入しないように砂利や小石などを埋めてすき間をなくす。石垣の長さは 30~100m ほどで、高さは大人の胸くらいの高さまで築き上げる。

潮流のために石垣の上部が度々破損することが多く、持続的な使用するには補修工事が必要である。作業は年中可能で、ボラをはじめ、種々の稚魚が捕

れる。石垣の内側の潮がほとんど引いた時に手網で魚をとる。また、潮がもっとも遅く引くところに桶網（袋網に相当する）を設置して、そこに集まった魚を捕る場合もある。操業人数として2~3名の人員が必要で、主に家族労働で行われるのが普通である。

孫佛面へオンのベドンミョン氏は、へオン防波堤のとなりに6代前の彼の先祖が作った石垣を使用し、その後1970年代の初めまでこの漁を行っていた。しかし、現在では全て破損してしまい、その痕跡も分からなくなっている。

石垣を利用したトッサル漁撈は現在では行われていない。

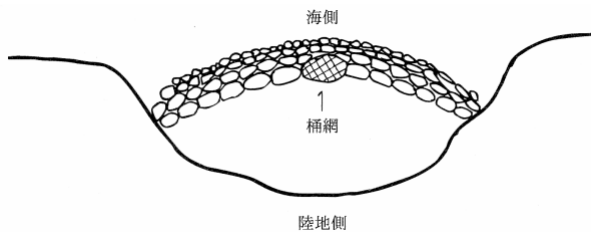


図-4 トッサル

4-3. フリッコムル（地引網の一種）

地引網（図5）は、網の両端に結んだ綱を陸地で引いて魚を捕る漁法である。この漁網の大きさは5m、長さ200mで漁網の両端に約100mの長さの綱（チェジュール）をつなぐ。

伝統的なものでは、8名の人数と1~2トン級の小型船1隻、引き綱が必要である。船が出発する側をメピョンと呼び、そこに三名が乗って綱を囲み、残り5名は乗船する。3名は櫓を漕いで、残りの2名は漁網を海に投入していく。船が着いた地点をベピョンと呼ぶ。着いた地点に降りた5名のうち1名はメピョンの方に移動し、メピョンとベピョン（図6）の両側に4名ずつ等間隔に配置・待機する。この時メピョンの方にいる者は、魚を入れる容器（マンテ）を持ってきてメピョンとベピョンの中間に置く。綱を引っ張って徐々に陸地へ近付ける一方、魚を入れる容器を置いてある所に追い込んで魚を捕獲する。

操業は満潮から2時間過ぎた頃に開始して一度漁網を張ったあと、綱を引き寄せて魚を捕るまでに約3時間要する。旧暦1月30日から3月30日までの期間と秋に集中的に魚を捕る。漁の時間は干満の差がもっとも大きい大潮の時がもっとも適している。ボラは一年中産卵が採餌のために浅瀬の方に寄ってくるために春でも、秋でもモチ（ボラの稚魚）や成魚のボラなどが捕れる。

豊漁の時は一度に約20kgのボラが捕れたこともあった。

漁獲量は船と漁網を提供した船主が40%をもらい、他の7名で残り60%を均等に分ける。主に咸平邑の商人に販売するかまたは直接、咸平邑の市場で販売する場合がある。

漁網製作は木浦の船具店で材料を購入して作る。約8名が4日間作業を行えば、約200mの長さの地引網が一つ作れる。1990年頃まで、材料に要する費用

は約30万ウォンかった。

現在も孫佛面海倉村、白玉（ベッコク）村などで行われているが、販売目的ではなく、親戚や村の住民たちだけで消費するために行われているにすぎない。

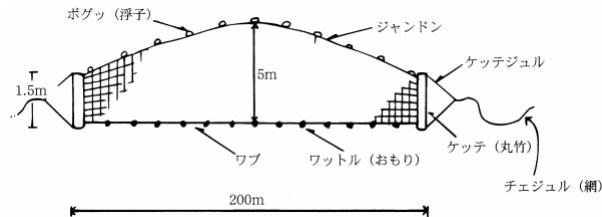


図-5 フリッコムル

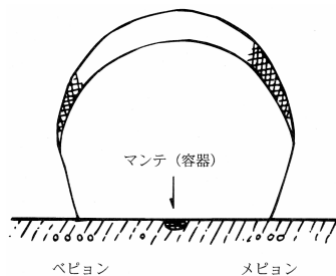


図-6 フリッコムル操業し上げた状態

4-4. トンジャン（定置網の一種）

トンジャンは、二つの袖網（図7）を利用して袋網で魚を捕る漁法である。咸平湾の住民たちは、古くから干潟にトンジャンを設置した。現在も石頭、ソグゲ、ノンアムなどでは主な漁撈活動になっている。

トンジャンは、二つの袖網が直角になって開いた入口が陸地を向いている。海の方にある二つの袖網が交叉するところに一つの辺が約3mの正五角形の袋網を設置し、袋網の下方に三カ所に桶網を結びつけて魚を集める。袖網の長さは約150~200mで、漁網を支える棒は4~5m間隔で設置する。操業は干潮時、または潮が大人の腰ぐらいまで引いて夕日が見える頃に始める。陸地に近い所では歩いて行き、桶網の端の部分解いてその中に囲まれた魚を捕る。陸地から少し離れた所では、干潮時には水没しているので小型漁船に乗って桶網の中を叩いて魚を脅かして追い込んでから捕る。

真冬を除けば、年中操業は可能である。一度トンジャンを設置すると1~2名の人数で干潮時だけ桶網に囲まれた魚を簡単に叩いて捕れるために、今でも咸平湾周辺では活発に行われている。

捕れる魚種は、春はボラやコノシロ、夏にはシバエビ、秋にはボラ、イシモチやコノシロなどである。

漁網の製作は木浦の船具店で材料を購入して作る。5名ほどの人数で約10日間作業すれば一つの漁網を作ることができる。材料費は1991年当時31万ウォンかった。製作された漁網は2~3年間の使用が可能であった。トンジャンを設置するときには村の住民で助け合うか、日雇いを雇い設置する。

トンジャン漁は一度設置すると一人でも作業が可能になるため、人口が減少する傾向にある咸平のような村では、容易に操業できる漁撈の一つである。

干潟で展開される漁撈のなかでもっとも好まれている漁法である。

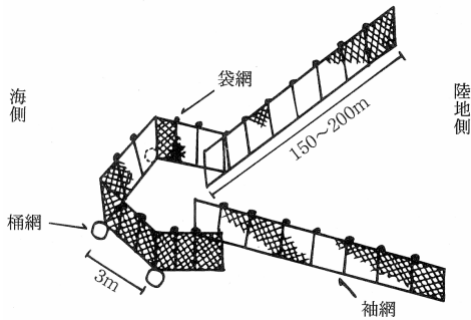


図-7 トムジン

4-5. サダル網（又手網の一種）

サダル網（図8）は、約3mのサダル竹（竹の種類は未特定）を二つ交叉させて結んだあと、開いたサダルの間に一本の取っ手を横に結んだ漁具である。これは運搬が容易なうえに一人で簡単に作業ができる。作業方法は、左手でサダル竹が交叉した部分を握り、右手で取っ手をもって、漁網を5分ぐらい静かに海の中につけておいてから網を一気に引き上げる。網に入った魚を手で捕って背負子に入れてから、ふたたび漁網を降ろす。干潮時には網の方向を陸地の方に向けて、満潮時には海の方に向けて作業を進める。海の中での作業は、干潮時で約5時間である。作業には、サダル網以外に魚を入れて運べるもので背負子とサダル網から魚を捕る容器（バガジ）が必要である。タリケは両肩に担いで、そして容器は頭にかぶって、魚が網入るのを待つ。サダル網は主に旧暦7月15日～8月30日までのあいだ行い、捕れる魚種はハゼ、イシモチやシバエビなどである。一度の潮時にバケツ一杯ほどの量が捕れる。

サダル網の操業は、泥質性の干潟では足が干潟に埋まってしまう、操業しにくいために、一般的に砂質性の干潟を選んで行なう。孫佛面海倉の干潟は砂質性なので、他所よりサダル網の作業が容易である。昔は暇を見つけてはサダルの漁を行っていたが、最近では稀になっている。

夏季に使用したサダル網はネズミに噛まれないように網を巻いてから自宅の軒下に吊して保管する。現在、日本の五島列島などでは、キビナゴ漁に使う網などがネズミにかじられ、網に穴をあけられてしまう損傷を防ぐために、ネコを飼ったり、保管しておく小屋の管理に気をつかう。

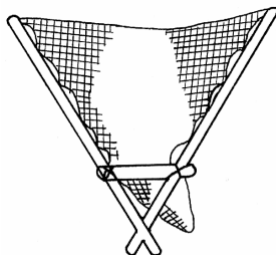


図-8 サダル

4-6. テナム網

テナム網（図9）は、浅い海中で漁網の両端にと

りつけた竹の取っ手を握って陸に向かって網を引いて魚を捕る漁具である。漁網の長さは約50m、幅は左右が1mほどであるが、中間で最も広いところが3mほどある。

干潮時に二人が大人の腰くらいの深さまで入って両端を引っ張って漁網を広げる。広げた漁網を水がないところまで徐々に引っ張っていき、魚を捕る。主にハゼ、カニやエビなどを捕る。捕れたものは隣近所や親戚に分配して自家消費する。海水の中での操業であるため、潮が満ちてくると操業できない漁法である。主に夏にかけて操業し、潮時に合わせて行う。

この地域の住民は、農業を生業とするため自家消費用に小型網を使い、時々出漁するくらいである。孫佛面ソッケのキムスヨル氏が所有しているテナム網は、20年前に木浦で網を購入して作ったものを現在も使用している。

漁獲量の多い時には4時間ほどの作業でバケツが一杯になるくらいの量の魚が捕れた。使わないときには、やはりサダル網と同様に網を巻いて物置小屋にかけて保管しておく。

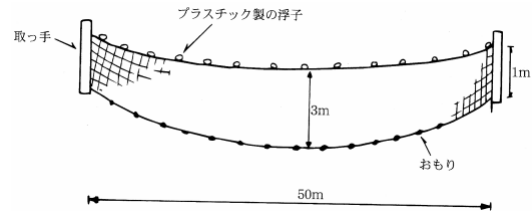


図-9 テナム網

4-7. ノンオジュナク（スズキ延縄）

スズキ延縄（図10）は、長い道糸に適当な間隔で多くの釣針をぶらさげてスズキを釣り上げる。60?70個程の釣針を吊した糸を1トル（1組）と呼び1単位になる。

釣糸は、広いプラスチック製の器に入れ、釣針は器の針をひっかけて、わら縄またはゴムホースにさしておく。1~2トンの小型漁船に普通10トル（10組）の延縄を用意して出漁し、干潮時に投入し、満潮時に引き上げる。

餌としてはエビを使い、主にタイとスズキを捕る。操業人数は3人が適当である。スズキ延縄を投入する時は、一人が船を運転して、もう一人は餌を釣針につけ、残りの一人が釣糸を投入する。引上げる時も同じく一人が運転をし、一人が釣糸を引き上げて、もう一人はかかった魚をはずして、釣糸を器に整理する役割分担で作業を進める。

最近では2人でこのような作業を全部行うようになった。釣糸を投入した後、ブイを浮かべて一旦陸に戻り、満潮時に再度出かける。多い時は1トルにスズキが15匹ほど捕れた。釣糸が消失したり、破損するので漁が終わる度に新しくとりつけるか整備をする手間が必要である。

操業時期は春と秋が適期で、潮が速い大潮を避けて小潮（チョコム）頃に行う。

13年前に作られた咸平邑酒浦（ジュボ）のカンヒ

ヨンギ氏のスズキ延縄は、現在も使用されている。

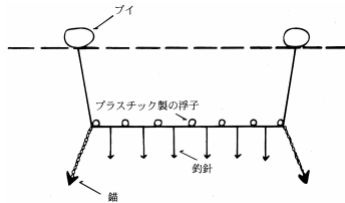


図-10 ノンオジュナク

4 - 8. ナッチジュナク (マダコ延縄)

マダコ延縄 (図 11) は、餌をつけた白いサゴムバリ (陶器のかげら) をぶら下げてマダコを釣り上げる漁具である。150m の長さの縄に 350 個のサゴムバリを下げたものが 1 単位になり、スズキ延縄と同様に 1 トル (1 組) と呼ばれる。

白いサゴムバリの光は、海中でマダコを誘引する。餌のカニ (種類は海や潟で捕獲されるものだが、未同定) をサゴムバリに縛りつける。主に夜間に、1 トルのマダコ延縄を小型漁船に載せて 2 人で操業する。一人は櫓を漕いで、もう一人はサゴムバリを投入し、引き上げる作業を担う。船は作業の速度に合わせなければならないのでエンジンを止めたあとは、櫓を漕いで前に進みながら操業する。

マダコ延縄漁の操業は釣糸を投入後、すぐに引き上げる。かかったマダコを捕ってから、ふたたび海に投入する操業を繰り返し、夜明けまで続ける。多いときには一晩に 400 匹のマダコが釣れたこともあった。

操業期間は旧暦 7 月 30 日? 10 月 30 日のあいだである。潮が速い大潮を避けて小潮の時にマダコ延縄漁を行う。干潟が発達しているハムピョン湾周辺には、マダコが多く生息していて昔からマダコ延縄が活発だったが、1990 年から釣れる量が少なくなり、今ではマダコ延縄はほとんど行われていない。現在、多くの家の納屋には使われなくなったマダコ延縄が見られる。

マダコ延縄 1 トルを製作するのに 2 人で 3 日間かかる。

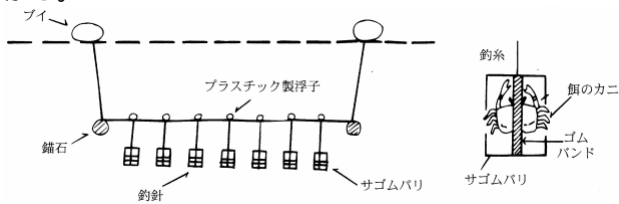


図-11 ナクチジュナク

4 - 9. カキの採捕

カキの採捕は、韓国でキムジャンキムチ (越冬用のキムチ) を漬ける時期にあたる 11 月中旬頃から翌年 4 月中旬頃までに、主に潮が引いた大潮の日昼時に行われる。カキの採捕場である干潟に石が地表にはっきりと露出し始めてから、潮が満ちるまでの 5 時間程度がカキを採捕するのが可能で、一人でおよ

そ 3 ~ 5 kg のくらいのカキを採捕する。

かつては干潟にある岩や石に自然に付着したカキを捕った。現在は、一定地域の干潟に 15 ~ 30 kg ほどの花崗岩の石を 60 ~ 70 cm 間隔で配列させたものにカキが付着し、成長したものが採捕される。投石式方法が主流になっている。

投石式によるカキ採捕は、時間が経つとともにカキが付着する石が干潟に埋っていく欠点がある。ハムピョン湾の石頭では約 10 年前に石を投入して、最近 1991 年に新しい石を入れた。孫佛面石倉里 (ソッチャンリ) では 3 年ごとに石を入れ替える。また投石面積を広げるために新しく石を投入する場合もあり、新しく入れた地域では 3 年後からカキの採捕が可能になる。

採捕されたカキは石頭の漁村係で一定の手数料を引いてから個人が販売する。手数料は各漁村係によって異なるが、石頭では経済状況に応じて、カキを採捕する年のはじめに 1 kg 当たりのカキの値段を決定する。カキの総採捕量の 5% に相当する金額を 1 年総計で後払いする。

組合ではなく個人が管理する酒浦の場合では、カキ 2 kg の 10% に相当する価格である 2 千ウォンを払うことになっている。販売は、個人が市場に行って売るか直接商人や親戚に売りさばく。カキの採捕に従事できる人は漁村係の組合員で 1 世帯当たり一人が参加するが、石倉里では非組合員も参加できる。採捕期間の日時は、漁村係総会で決定され、決められた日以外の採捕は許されない。

採捕道具は主にチョセ (図 12) が使われる。採捕のさいに必要なものとしてゴムバケツ、手袋、長靴、手っ甲などが加わる。チョセは鉄製の刃の部分 (セナル)、木製の柄、鉄製のチョンジルゲからなる。使用法はセナルでカキの殻を石から剥いて、柄のもう一つの端にあるチョンジルゲでカキ殻の合わせ目を切り開いて捕る。石頭のチャンソンス氏のチョセは両方にセナルが付いている珍しいものである。これは、一つのセナルが壊れた時に使用できる予備的なセナルで、咸平邑の市場で 2 千ウォンで購入したものである。

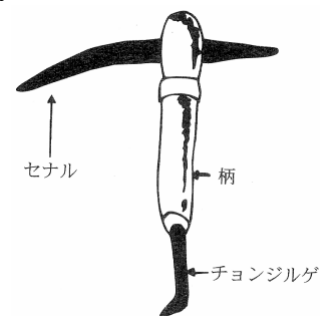


図-12 チョセ

4 - 10. ゴカイの採捕

咸平湾周辺の干潟にはゴカイが生息していて、住民たちの収入源になっている。アカゴカイとアオゴカイの 2 種類が咸平湾で採捕される。アオゴカイはアオムシ (Neanthes virens) で、アカゴカイはイワム

シ (Arabella iriclor) である。2種類とも釣りの餌に使われるが、アカゴカイの方がアオゴカイより値段が2倍ほど高く、住民たちはアカゴカイを採捕する方を好む。ゴカイは釣りの餌として日本に輸出されるばかりか、国内用にも供出される。採捕は年中可能である。

採捕作業は、仲買をする会社と密接な関係がある。買い求める会社が必要な量と日時を漁村係に連絡したあと、漁村係は注文量に応じて組合員の中で採捕する人数を調整・確保する。作業時間は干潮時の約4~5時間が可能であり、一人当たり約800gのゴカイを採捕する。経済状況がよい時には買い取る価格が1kg当たり7~8万ウォンを越えることもあったが、現在は全羅南道・麗水(ヨース)付近でも大量に採捕されることもあって3~4万ウォンに下落した。さらに注文の回数も少なくなっている。

漁村係長は、住民らが採捕したゴカイを集めて買い求めるためにオーダーした会社に渡す。その会社は、ゴカイの料金と別に総額の10%を漁村係に支払う。そのうちの5%が漁村係共同基金に充当され、残りはゴカイを回収、選別、計量作業をする漁村係長に支払われる。

道具には、干潟を掘るセスラン(図13)が使われる。作業に際しては、ゴカイを入れる器、手袋、手っ甲、長靴なども必要である。またゴカイを入れるものも軽い木桶などが使用される。セスランは、刃であるセナルの部分が高く、柄が短いために畑で使われる鍬のセスランとは明らかに異なる。

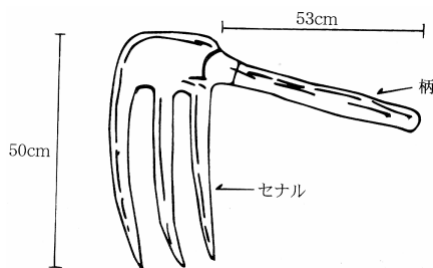


図-13 セスラン

4-11. シジミの採捕

シジミは、石頭、酒浦、石倉里、月川里(オルチョンリ)などで採捕される。各村の漁村係では、一定面積の養殖場に3年に一度、種貝を蒔いて管理し、適当な時期に採捕する。養殖場の下のガス発生防止と汚染物質の除去のために毎年ケウン作業を行われる。

ケウン作業とは、船に大きいセカルクリ(鉤型のつめが多数ついた熊手状の金もの)をつけて干潟の海底をひっかく作業である。熊手のような金ものは有明海の「じょれん」に相当する。採捕作業は、春と秋に漁村係員たちが共同で行う。小型漁船にヘンマン(桁網; 図14)を結んで養殖場の下をかき集める。その際、長さ80cm、幅50cmからなる四角の鉄筋構造に網を付着したヘンマンが使われる。一組に船一隻と7名の操業人数が必要である。一組が1時間ほど操業すれば、シジミ約1,000kgを採捕できる。

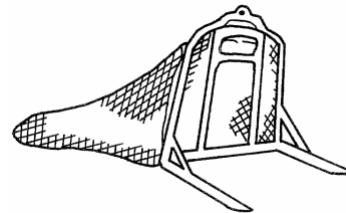


図-14 ヘンマン

4-12. ノリの養殖

ノリは孫佛面の月川里と鶴山里(ハクサンリ)で養殖が行われている。作況が良好な1982年の場合、咸平郡の漁村における総所得の60%を占めた。しかし、最近では作況の不振と販売価格の下落が重なって、1991年には漁村所得の6%程度にしかならなかった。

咸平におけるノリの養殖は、1971年に鶴山里の試験養殖から始まった。鶴山里ヘオン村のベトンミョン氏によると、植民地時代にも旧式な方法でノリの養殖を行っていたが、網簾を利用した現在のようなノリの養殖は1970年代初頭にさかのぼる。

その後、莞島と珍島(チンド)などで養殖の経験が豊富な者たちが咸平に移住してきてからノリ養殖が盛んになった。1978年から建洪棚数*8と養殖漁家が急速に増えて1982年に最高となった。しかし1982年を境目にノリの養殖は減少する傾向にある。

咸平では、主に支柱式の方法でノリの養殖を行っている。支柱式は松の杭(標木)13の一定の高さに網を固定してノリを付着させる方式である。

ノリ簾設置は旧暦のお盆の直後10日頃が適期で、まず松の杭を2列に差し込んで孢子を下げて網簾と他の網簾6~7個を重ねて設置する。一週間後、全ての簾に発芽を確認したあと、重なった網を離して露出時間が3~3.5時間になる地点を選んで水平に固定する。

網簾を設置した後、およそ50~60日を前後にしてノリを採取し始め、翌年2月末まで操業が続く。採取したノリは、加工工場で1トツ(ノリ40枚の束)当たり900ウォン(1991年現在)の製品を生産する。

現在、ノリ養殖場の割り当ては抽選で行う。月川里漁村係の場合、ノリ養殖を試みる組合たちが「くじ引き」をして区域を割り当てる(14)。毎年9月15日前後に開かれる漁村係の定期総会で、養殖場の区域番号を書いた紙を巻いて投げた後、一つずつ拾って該当番号の養殖場を決める。区域区分は、全面積を20単位(テ)づつ分けて番号を書く。一単位(テ)は長さ18m、幅1.2mの網簾2個を設置できる面積である。まず1戸当たり40テづつを割り当てて、残りはさらに希望する者に割り当てられる。

5. おわりに: 韓国の干潟の現状とカキ・ゴカイの採捕

韓国の西南海岸には国土面積の2.4%にあたる2,393k㎡の干潟が発達している。そのうち干潟全体の83%にあたる1,980k㎡が西海岸地域に分布し、残りは南海岸に分布している。また地域別の内訳で

は、全羅南道が 44%、仁川（インチョン）・京畿道（キョンギド）が 35%、忠清南道（チュンチョンナムド）が 13%、全羅北道（チョンラブクド）が 5%、釜山（プサン）・慶商南道（キョンサンナムド）が 3% になり、京畿道と全羅南道だけで韓国の干潟の 80% を占める。

現在の干潟は、1987 年以来全体の約 15%にあたる 422.4 k m²が干拓と埋立てなどで消失した。しかし調査方法や分析方法が異なるため、実際にはもっと多い約 30～40%が失われたともいわれる。始華（シハ）地区とセマンコク地区などでの干拓と埋立て事業で失われた干潟の面積は、810.5 k m²であると見積もられ、これだけでも 29%程度の干潟が失われた計算になる（17）。

干潟がこのように急速に消失したのは、埋立てが容易に行われる脆弱な干潟生態系の機能と価値を無視した開発、特に大規模な干拓事業が大きな原因である。今のような速度で干拓と埋立てが今後も行われれば、韓国の干潟は 2006 年には約 2000 k m²しか残らないといわれている。

韓国における干拓の歴史を見ると、日本の植民地時代に多くの干潟が米の増産のもとに干拓された（18）。特に 1917～1938 年にかけて干拓された面積は 405 k m²に達し、すでにこの時期に重要な干潟の多くが干拓されてしまったと認めざるを得ない。当時干拓された干潟は、いわゆるシチメンソウなどの塩生植物が生育するところであった。また、産業が進んだ 1960～1970 年代以後の干拓面積（1960 年代の 172 k m²と 1970 年代の 194 k m²）を合わせても植民地時代に干拓された面積におよばない*9。植民地時代に干潟がいかに大規模に干拓されたかを容易に推定することができる。1980 年代の総干拓面積は約 100 k m²で、1960～1970 年代の半分に過ぎないが、1990 年代に入ると再び干拓が活発に行われている（表 2）。

現在、干拓と埋立て事業が行われている面積だけでも約 600 万 k m²におよび、首都圏のごみ埋立て場建設、始華地区農工団地造成、仁川新空港建設、セマングム干拓など、今までとは異なってより大規模な干拓工事が行われているのである。

第一段階では榮山江上流の全羅南道長城（ジャンソン）と潭陽（タムヤン）などで 4 つのダムを 1972～1978 年に完了し、第二段階は木浦市周辺の榮山江河口堰で 1981 年に完工した。第三段階では靈岩（ヨンアム）防潮堤と錦湖（コムホ）防潮堤の建設が各々 1981 年と 1994 年に終了した。最後の第四段階では 1992 年に咸平湾をはじめ務安郡、新安郡、靈光郡、木浦市（モクボシ）が候補地に選定された。その中でも咸平湾の干拓は、多くの地域住民たち、環境保護運動の市民団体や学者たちの反対運動によって中止された*10。また、咸平湾は 1997 年に水産資源保全地区*11 に指定された（15）ことで、地域住民たちのあいだでは干潟を尊重する気運が高まった。

今後も干潟の伝統的利用や底生生物相に関する詳細な情報収集と現地における継続調査を行い、木浦・西岸域および忠清南道・ポリョン、京畿道の牙

山湾、平沢湾や仁川・江華島周辺における干潟についても現地調査を押し進める必要がある。

ただし干拓、開発などによる近年の急速な環境変化が進む状況の中で、まさに消滅の危機に瀕している干潟の採捕活動に焦点を当てた、日本と韓国の干潟資源の伝統的な利用や採捕技術の比較研究は、急務を要する課題である。

現地調査地を行った咸平湾は、榮山江（ヨンサンガン）四段階開発事業*12 で干拓計画の対象地域であった。榮山江四段階は 1972 年代の“西南海岸干拓農地開発事業案”の総合計画として、主に全羅南道の西南地域と島嶼地域を対象にしたものである。

彼らがいかに干潟に密着した生活をしているか、その断片を物語るものをここに紹介してみる。咸平湾の干潟におけるカキ採捕活動は、農閑期の 11 月中旬頃に始まって翌年 4 月中旬まで続く。この時期は、韓国ではキムジャンキムチ（越冬用のキムチ）を漬ける時期にあたる。カキ採捕のため干潟に入る時間は主に潮汐*13 によって決まるが、潮が引いた干潮の時に採捕活動が集中する。採捕場である干潟に石がはっきりと出始めてから、潮が満ちてくるまでのおよそ 4～5 時間のあいだにカキが採捕される。

干潟の入口にカキを採捕する女性たちが集まる場がある。まだカキ採捕場の石が見えない時に出てきて、ここで仲間たちと談笑を楽しむ人もいる。この傾向は比較的年長者によく見られるが、逆に若い者たちは潮が引いてカキ採捕場の石が干出し始める干潟で採捕活動ができる時間帯に合わせて現場に集まる傾向がみられた。また作業場に来る様子もさまざまである。徒歩やバイク、数人で一緒に車を利用したり、自分の身内に送迎してもらおう人などもある。カキの採捕作業の終了は潮が満ちてくるころに、漁村係の管理人が大きな声や笛で知らせる。その時の干潟は、妻を迎えにきた男たちで一気に賑やかになる。一方、カキの採捕を終えた女性たちは、仲間と三々五々、大きな声で話しながら、手には捕ったカキとチョセを手にしてカキの計量するところまで戻ってくる。女性たちのいきいきとした姿が見られる時間帯こそ、干潟と一体なって実に美しい光景を呈する。

捕ったカキは、個人がバスで約 20 分かかかる咸平邑の市場まで出かけ、路上で販売する。カキの値段は石頭で買った場合、1 kg 当たり 10,000～15,000 ウォンである。カキの採捕作業が遅く終了したために市場に行けない場合は次の日に行くこともある。また、妻が行けない場合は夫が代わりに行くこともある。

一方、ゴカイの採捕はカキの採捕と異なって、男女を問わず誰でも捕れる。しかし、男性は女性より筋力が優れているにもかかわらず、ゴカイの採捕量は少ない。男性でゴカイの採捕に出かける人が少ないのも、ゴカイを採捕女性たちによれば、長いあいだ腰を曲げて行う仕事は男性たちには概して苦手であるためであるという。

ゴカイは干潮時に干潟の土の中にもぐり込んで生息しているが、生息孔の上方に排泄物を出す。ゴカ

イの採捕のコツとしては、排泄物のわずかな痕跡を干潟の上で見つけてセスランで周辺を掘り起こす。ゴカイの採捕風景は、カキの採捕の場合と異なって石頭漁村系の管理さんは立ち合わない。また主人たちの送迎もほとんど見られないのも、カキの採捕の場合と異なる。

第一報で述べた有明海も韓国の干潟も実に多様な海洋水族資源を産出する場である。海と陸の生態系を同時に兼ね備えた干潟は、人類がいわば半陸半海の「海の畑」としてさまざまな食物を採捕してきた。大した技術を労しないで、女性、子供、老人たちがごく日常的に関わり合ってきた生態系と捉えることができる。一日の潮の干満を利用するだけで採捕が周年可能であること、生物種の多様性、豊饒性や自給自足性が保障される干潟（前浜干潟と河口干潟）は、古くから人類の生活を支え続けてきた場だった。人類がさまざまな食物を採捕・確保するうえで重要であった。

食物確保の自給性（self-sufficiency）と豊饒性（affluence）は、人類の生存に深く関わる重要な要件である。同時に干潟における採捕活動の詳細な把握と分析は、狩猟・採集経済から植物の栽培・動物の飼育という食物生産経済にいたる人類進化史の過程を考察するうえで示唆深いものが多い。ノリ養殖が主体になりつつある有明海の漁労・採捕活動においても、半農半漁の生業で維持される韓国の干潟の多彩な漁労・採捕活動も、生態人類学的視座に立ってもう一度、捉え直すために学術的価値が高いことを心得るべきであろう。

最後に関係諸氏に干潟の重要性を再確認し、安易な埋立てや干拓行政の推進に警鐘を発したい。本稿がその喚起にささやかな寄与ができれば幸甚である。

表-1 カキの採捕集団の年齢、経歴および採捕時間と採捕量

	延べ被調査人数	最高	最低	平均	標準偏差
年齢(歳)	220人	83.0	33.0	57.7	11.0
経歴(年)	207人	68.0	2.0	31.2	17.2
採捕量(kg)	212人	7.1	3.1	5.1	0.8
採捕時間(時間)	225人	6.7	1.3	3.5	0.9

表-2 植民地時代から現在まで干拓された面積

年度別	地区数	面積	備考
1917年以前	—	—	干拓実績未記録
1917～1938	178	405	植民地時代；産米増産計画
1938～1945	—	—	植民地時代；太平洋戦争
1946～1960	177	6	
1961～1969	1,136	172	1次経済開発5ヶ年計画
1970～1979	233	194	農業開発事業推進
1980～1989	63	93	民間企業の大規模干拓参加
1990～1994	8	99	
1995～進行中	21	621	
開発予定	149	2,726	
総計	1,795	1,026	1917～1994年干拓完工地域

資料：農漁村振興公社（1996）、「韓国の干潟」¹⁴⁾

謝辞

今回の調査資料の収集や現地調査にご協力いた

いた木浦大学アジア文化研究所の趙慶萬教授と関係各位に深く感謝の意を表します。またハムピョン湾の現地調査にあたり、貴重な時間を割いて調査に協力していただいた石頭漁村系の書記の金熙徳氏はじめ、多くの組合員の方々にこの紙上を借りて、厚くお礼を申し上げます。

注

*1. 干潟の役割については下記のホームページを参照されたい。

<http://kfem.or.kr/wet/Intro4.html>.1999-7-19.

*2. 順天湾干潟は“生態系の宝庫”と呼ばれ、クロヅルなどが多く生息する。下記のホームページも参照されたい。

<http://kfem.or.kr/wet//news/news/n10.html>.1999-7-20

*3. 南道の自然遺産になる咸平湾については下記のホームページを参照されたい。

<http://www.honam.co.kr/namdo/119071.html>.1999-2-6.

*4. カキを一般的に「グル」と呼ぶ韓国の中で、咸平周辺では「ソッカ」と呼び、佐賀でイワガキを「セッカ」と呼ぶのに近似していることは面白い。

*5. 石城里は、咸平周辺で石頭（トルモリ）と呼ばれ、トルモリ海水浴場やトルモリ海水温泉などで知られている。

*6. 日本の漁村社会では旧暦に基づいた生業サイクルが展開されるが、韓国では、今なお旧暦（陰暦）が日常的に使われていて、主に伝統的な行事が行われる際に利用される。例えば、先祖の祭祀、お盆、正月、誕生日、節気などには旧暦がごく普通に使われる。春は旧暦1月30?3月30日秋は旧暦7月15日?10月15日にあたる。南太平洋のパラオ諸島では旧暦は重要である（19）20）。

*7. コノシロの稚魚で作られるヨブサク塩漬けは、韓国では咸平にしかない特産物である。かつて、王様の進上品（献上品）に使われた。

*8. 建洪冊数（コンホンチェッス）には建洪（コンホン）と冊数（チェッス）それぞれ意味がある。建洪とはノリとワカメの採捕のために海に色々な施設を設置することを指す。しかし、主にノリ網簾を設置する過程が建洪といわれることが多い。ノリ網簾の種類は材料によって本、竹、網に区分される。本は竹、葦、松などの細長い棒を杭にして海にさしてノリを付着させる。竹は竹でできた柵にノリを付着させる。網は、繊維で編んだ網にノリを付着させる方法として、1960年代後半の合成繊維の網洪が開発され従来の竹洪にとって代わるようになった。この浮流式によるノリ養殖が導入されて、現在はほとんどの漁村で使われるようになった。また冊数とは、建洪地の面積を示す単位である。浮流式によるノリ養殖の場合、設置される網一枚の大きさが一冊になる。

9. 干潟の機能と価値については下記のホームページも参照されたい。

<http://kfem.or.kr/wet/intro/intro6.html>,1999-7-19.

10. 榮山江干拓事業については次ぎのホームページも参照されたい。

<http://kfem.or.kr/wet//news/news/n36.html>,1999-7-20.

11. 水産資源保全地区とは、国土利用管理法施行令改訂以前に水産資源保全地域で決定・告示された地域である。さらに改訂規定による自然環境保全地域のうち水産資源保全地区に決定・告示された地域でもある。水産資源保全地区は、浅海養殖場の品種が多様な立地的条件が異なる地域で、画一的に基準を適用するには非常に難しい。自然条件

として浅海養殖の適地は、一般的に浅海が広く発達し、海の底は干潟または砂泥質性であることが相応しく、海上は津波の影響が少ないところが良い。海岸線の場合、屈曲が激しく島嶼が多い地勢では、施設工事がやりやすい地域であれば良い所であると考えられる。また海水の流動および潮流の流通が円滑で、栄養塩類の含有量や、プランクトンなどを含む底生生物(ベントス)が多く、生化学的に生物の成長に適切な容存酸素、塩酸塩類などを含有しているところが良い。

12. 榮山江四段階事業は朴大統領時代に榮山江流域大段位干拓事業として構想された。この事業は榮山江をはじめ金浦(キムポ)、始華、大湖(デホ)、瑞山(ソサン)など西海岸に約 10 カ所が対象になる。事業期間は 1982~2026 年までの 45 年を想定した大規模なものである。

13. 干潟の環境生態系の特徴を複雑にしているのが、潮汐であるといわれている。地球に対する太陽と月の引力によって発生する海面の規則的な乗降運動を「潮汐」とも呼ぶ。特に潮汐差が大きい韓国の西海岸では、満潮と干潮が日に 2 回ずつ、ほぼ 12 時間 25 分の間隔で起きる。地球や太陽と月が一直線になる満月と新月の直後に「大潮」が現われる。反対に太陽と月が地球に対して、直角の関係になる半月直後には「小潮」が出現する。潮汐は、月の引力と地球の遠心力が互いに作用して起こる現象である。地球が月にもっとも近いところで月の引力が大きいために、海面が浮かび上がり満潮になる。地球の反対側も月の引力が遠心力より弱くなるので海面が浮かび上がり満潮になる。満潮になる地域から 90° 離れた地域では、反対に海水が下に押されて干潮になる。潮汐は、気象の状態にも大きな影響を受ける。陸地の方に吹く海風は海岸の海面を高め、海の方に吹く陸風は低くめる。暴風雨を伴う夏期の台風は、海面を高めながら海岸地域に「高潮」を引き起こす。とくに潮差が大きい海岸で高潮が大潮と重なる時は、海岸の低地帯が海水に水没して深刻な塩害が起きる場合もある。干満の程度は、緯度と海の水深、海岸線などその場所の地形によって異なる。深海の潮差は低いが、水深が浅い大陸棚を通過して海岸に寄ると潮差が大きくなる。

韓国の東海岸では、大潮の時も満潮と干潮の差が 30cm しかなく、東海岸は南海岸と西海岸に比べて干潟が発達していない。韓国の西海岸は、世界の中でも有数の潮汐差がある干潟である。仁川では最大 12m ぐらいの潮汐差の記録があり、アジア最大である。一方、潮汐による干潟は干潟の生物分布に決定的な影響を及ぼす。例えば、河口の干潟に生息するアシハラガニとチゴガニは潮水が引いた干潟で採餌行動するが、コメツキガニとヤマトオサガニは干潟の汀線地域だけで活発に行動する。

参考文献

- 1) 武田淳・五十嵐勉・趙慶萬・李應喆 (1998). 干潟の水産資源(第1報)有明海における伝統的採捕技術と多様性, 佐賀大農彙 83: 80-83.

- 2) 田端正明(1999). 干潟が海を浄化する? 化学 54:35-37.
- 3) 国立木浦大学校博物館(1993). 咸平郡の文化遺跡, 304-314.
- 4) 武田淳・五十嵐勉・趙慶萬・李應喆(1998). 前掲1).
- 5) 武田淳(1992). サンゴ礁資源の利用について: 採捕にかかわる伝統漁法の生態学的検討. モンゴロイド 14: 10-17.
- 6) 武田淳(1994). イノリの採捕経済: サンゴ礁海域における伝統漁法の多様性. 九学会連合「地域文化の均質化編集委員会」(編) 地域文化の均質化, 平凡社. 51-68.
- 7) Takeda J. (1994). Plant phenology, animal behaviour and food-gathering by the coastal people of the Ryukyu Archipelago. *Humans and Nature* 3:117-137.
- 8) 国立木浦大学校博物館(1993). 前掲3).
- 9) 韓国産業経済研究院(1998). 榮山江第4段階開発他党性調査, ソウル, 14-119.
- 10) 韓国産業経済研究院(1998). 前掲9).
- 11) 武田淳(1994). 前掲6).
- 12) 武田淳(1993). 海からの捧げもの: 伝統的漁法「石干見」. 潮騒 9:48-51.
- 13) 宣英蘭・趙慶萬・武田淳(1999). 植民地時代の干拓農地拡充による共同体的資源利用方式-韓国全羅南道莞島の新農場と正道新農組合の事例-. 佐賀大学農彙 84: 29-49.
- 14) 宣英蘭・趙慶萬・武田淳(1999). 前掲13).
- 15) バクテユウン・イドンクン(1997). 沿岸湿地保全および効率的利用方案に関する研究, 韓国環境政策・評価研究院, ソウル, 38?39.
- 16) 農漁村振興公社(1996). 韓国の干潟. 農漁村振興公社, ソウル.
- 17) 洪在上(1998). 韓国の干潟. デウォンサ, ソウル, 129-133.
- 18) 宣英蘭・趙慶萬・武田淳(1999). 前掲13).
- 19) Takeda J. (1996). Traditional Palauan lunar calendar and the fishing-gleaning activities on reef flats and/or in lagoons in the western Caroline Islands, Micronesia. *Kagoshima Univ. Res. Center S. Pac., Occasional Papers* 30: 91-106.
- 20) Takeda J. (2004). Traditional lunar calendar in Palau, Micronesia: the meteorology and traditional fishing/gleaning activities. 気象利用研究 17: 5-13. 2004.

(2006.5.31 受付)

有明海沿岸域における漁業集落の構造

CHARACTERISTICS OF FISHERY COMMUNITIES ON THE ARIAKE SEA, SAGA, JAPAN

山下宗利
Munetoshi YAMASHITA

理博 佐賀大学助教授 文化教育学部 地域・生活文化講座 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

The purpose of this study is to clarify the characteristics of fishery communities and its regional background from the geographical point of view of the coastal region on the Ariake Sea, Saga, Japan, with small area statistics and multi-variate analysis. The data sources are the fishery community statistics of the Census of Fisheries 1998, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.

In order to extract the characteristics of the 74 fishery communities, total 28 variables of socio-economy are gathered. The data is subjected to the factor analysis followed by the cluster analysis. The results are described as follows: 1) 7 factors are obtained. The first factor can be interpreted as 'development of fishery communities'. The second is 'productivity of fisheries' and the third is 'employment in fisheries'. 2) The total 74 fishery communities are divided into 7 groups. The main characteristic of fishery communities in the Ariake Sea is clearly defined by seaweed production, while active strategies are also vital.

Key Words : characteristics, fishery community, factor analysis, cluster analysis, Saga, Ariake Sea

1. はじめに

第10次漁業センサスでは、佐賀県内有明海沿岸域において20の漁業地区¹⁾がその対象となっている。また漁港を核に一定の地理的領域と社会的領域によって成立している漁業の地域社会の一体的なまとまりとして74の漁業集落²⁾がそれぞれの漁業地区に設定されている。図1は、佐賀県内の有明海沿岸域における漁業集落の分布を示したものである。内陸部に位置している筑後川流域の千代田町黒津から太良町竹崎までほぼ面的に分布している。特に川副町には大小さまざまな数多くの漁業集落が集中している。上述のように、漁業集落は漁業の地域社会の一体的なまとまりであり、それゆえ漁業形態や漁業経営、地域社会構造の面で漁業集落固有の共通点を含んでいる。一方で、有明海沿岸域の漁業は湾奥部におけるのり養殖業に特化している。2004年(平成16)の有明海区における海面漁業・養殖業をみると、のり海面養殖業が漁業種類別総生産量約7.4万トンの92.1%を占め、小型底びき網漁業4.9%、その他の刺網漁業0.7%、潜水器漁業0.4%、採貝漁業0.3%と続き、のり海面養殖業とその他の漁業との間にはきわめて大きな開きが存在している³⁾。また、漁業

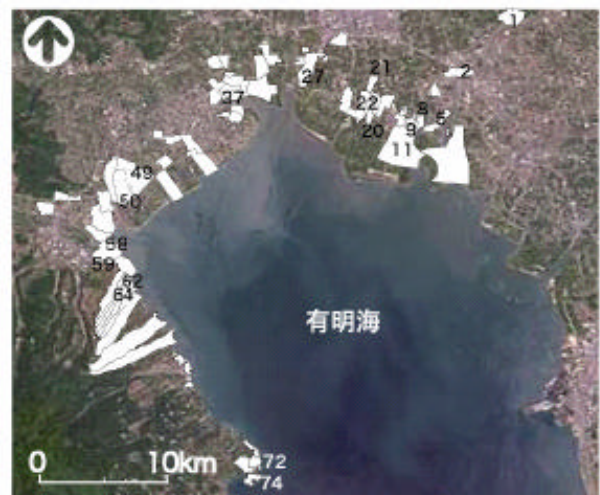


図-1 佐賀県有明海沿岸域の漁業集落
数字は主な漁業集落を示す。

集落別に漁業経営体ののり養殖への依存度をみると(表1)、全経営体がのり養殖を行っている集落が74集落中20集落を占め、有明海沿岸域では明らかに漁業生産はのり養殖に著しく依存していることがわかる。しかもこの傾向が近年強まりつつある。しかしながら、高齢化や後継者不足の問題がのり養殖業においても生じており、これらに対処するため、のり養殖の協業化

表-1 佐賀県有明海沿岸集落におけるのり養殖依存度（1998年）

のり養殖経営体の構成比	集落数
100%	20
80 - 100	13
60 - 80	18
40 - 60	3
20 - 40	1
0 - 20	19
計	74

資料：第10次漁業センサス

が佐賀県において進展してきた⁴⁾。

本研究の目的は有明海沿岸域の漁業集落の性格、とりわけ社会・経済的な性格についてその特徴を明らかにすることである。本稿では多変量解析を援用することによって有明海沿岸域の漁業集落の地域分析を行いたい。これは奥野(1985)が指摘するように、多変量解析は地域を分析するにあたって、複雑に関連しあう地域事象を客観的かつ総合的に評価する最良の方法だからである⁵⁾。

表-2 地域属性の一覧

番号	名 称	定 義
1	漁業就業者数	漁業集落当たり漁業就業者数
2	漁業就業者率	漁業集落当たり漁業就業者数/人口
3	漁業世帯率	漁業集落当たり漁業世帯数/世帯数
4	個人漁業経営体率	漁業集落当たり個人漁業経営体数/漁業経営体数
5	のり類養殖経営体数	漁業集落当たりのり類養殖経営体数
6	小型底びき網漁業経営体数	漁業集落当たり小型底びき網漁業経営体数
7	刺網漁業経営体数	漁業集落当たり刺網漁業経営体数
8	採貝漁業経営体数	漁業集落当たり採貝漁業経営体数
9	平均海上作業従事者数	漁業経営体当たり平均海上作業従事者数
10	漁獲金額	1経営体平均漁獲金額*集落漁業経営体数
11	漁業経営体平均漁獲金額	漁業経営体当たり平均漁獲金額(万円)
12	海上作業従事者1人当たり漁獲金額	漁業経営体当たり平均漁獲金額*漁業経営体数/漁業就業者数(万円)
13	海上作業従事1日当たり漁獲金額	漁業経営体当たり平均漁獲金額/平均海上作業従事日数(万円)
14	海上作業従事者数	漁業集落当たり最盛期の海上作業従事者数
15	海上作業家族従事者比率	漁業集落当たり最盛期の家族海上作業従事者数/海上作業家族従事者数
16	家族のみの海上作業経営体比率	漁業集落当たり最盛期の家族のみの海上作業従事者経営体数/漁業経営体数
17	雇用者を有する海上作業経営体比率	漁業集落当たり最盛期の雇用者がいる海上作業従事者経営体数/漁業経営体数
18	家族漁業経営体比率	漁業集落当たり陸上作業のみ従事者がいない経営体数/漁業経営体数
19	40歳未満男子漁業就業者数	漁業集落当たり40歳未満男子漁業就業者数
20	40歳未満男子漁業就業者比率	漁業集落当たり40歳未満男子漁業就業者数/漁業就業者数
21	女性漁業就業者数	漁業集落当たり女性漁業就業者数
22	漁業専業経営体比率	漁業集落当たり漁業専業経営体数/個人経営体数
23	第1種漁業兼業経営体比率	漁業集落当たり第1種漁業兼業経営体数/個人経営体数
24	農業兼業経営体比率	漁業集落当たり農業兼業経営体数/漁業を主とする兼業経営体数
25	漁業以外の常雇経営体比率	漁業集落当たり漁業以外の常雇経営体数/漁業を主とする兼業経営体数
26	平均海上作業従事日数	漁業経営体当たり平均海上作業従事日数
27	高額漁獲金額経営体比率	漁業集落当たり高額漁獲金額(1,000万円以上)経営体数/漁業経営体数
28	後継者を有する個人経営体比率	漁業集落当たり後継者のいる自営漁業個人経営体数/個人経営体数

出典：第10次漁業センサス

多変量解析は、複雑に関連しあう多変量データを統計的に解析することによって、データの構造をより低い次元に要約したり、あるいはデータの背後に潜む潜在的な構造を引き出すための数学的方法である(村山、1990)⁶⁾。本研究で援用した多変量解析は因子分析とク

ラスタ分析である。前者は変数の背後に潜む新しい因子を探り出し、少数の分布図に要約するものであり、後者は多変量のデータに対して類似度(距離)の大小に基づきグループ化を図る手法である。このような手法を用いた地域分析はきわめて有効とされ、地理

表-3 因子負荷量行列

変数	因子負荷量						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1 漁業就業者数	-0.98						
2 漁業就業者率						0.91	
3 漁業世帯率						0.92	
4 個人漁業経営体率					0.85		
5 のり類養殖経営体数	-0.83						
6 小型底びき網漁業経営体数							0.79
7 刺網漁業経営体数	-0.44			-0.44			
8 採貝漁業経営体数							0.70
9 平均海上作業従事者数							-0.52
10 漁獲金額	-0.90						
11 漁業経営体平均漁獲金額		-0.94					
12 海上作業従事者1人当たり漁獲金額		-0.93					
13 海上作業従事1日当たり漁獲金額		-0.92					
14 海上作業従事者数	-0.96						
15 海上作業家族従事者比率			-0.89				
16 家族のみの海上作業経営体比率			-0.95				
17 雇用者を有する海上作業経営体比率			0.95				
18 家族漁業経営体比率		0.44	-0.46				-0.52
19 40歳未満男子漁業就業者数	-0.95						
20 40歳未満男子漁業就業者比率	-0.98						
21 女性漁業就業者数	-0.96						
22 漁業専業経営体比率		-0.40		-0.74			
23 第1種漁業兼業経営体比率				0.82			
24 農業兼業経営体比率				0.57			
25 漁業以外の常雇経営体比率				-0.89			
26 平均海上作業従事日数					0.90		
27 高額漁獲金額経営体比率		-0.86					
28 後継者を有する個人経営体比率					0.42		
固有値	6.94	4.29	3.35	3.02	2.05	1.95	1.79
変動説明量	24.8	15.3	12.0	10.8	7.3	7.0	6.4
累積変動説明量	24.8	40.1	52.1	62.8	70.2	77.1	83.5

注：絶対値0.4以上の因子負荷量のみを示す。

学のみならずさまざまな研究領域において多数の先行研究が存在する。

本研究の方法は以下になる。因子分析に用いた基本データは、農林水産省統計情報部が平成1998年（平成10年）11月1日に実施した「第10次漁業センサス海面漁業の漁業集落別統計」である。これは漁業センサス海面漁業基本調査と漁業地区調査の結果から漁業生産構造及び就業構造、そして漁業集落の生活環境に関する項目を漁業集落別にまとめたものである⁷⁾。本研究では漁業集落ごとの経済状況全般に関する変数、漁業経営体の生産性に関する変数、そして漁業集落及び漁業経営体の発展性に関する変数の合計28個の変数

を採用した（表？2）。佐賀県内有明海沿岸域の74集落ごとに上記の変数を求め、行方向に74集落、列方向に28個の地域属性を配置した地理行列を作成した。次いで、この地理行列を平均が0、分散が1になるように標準化した後、主因子分析法を用いて因子の抽出を行った。なお、因子の解釈を容易にするため、バリマックス法で因子軸の回転を実施した。このようにして得られた回転後の因子負荷量行列（表？3）を基に、各因子の解釈と命名を行った。そして因子得点行列を求め、各因子ごとに因子得点を地図化し、漁業集落の地域性を考察した。その後、要約された因子群からみた佐賀県有明海沿岸域における漁業集落の類型化を行

うため、各因子得点を変数とするワード法クラスター分析を実施した。なお、本研究では、奥野（1985）の手法を用いて各因子得点に重み付けし、因子得点の集落間の差の小さな地域相互を順次グループ化する方法を採用した⁸⁾。

研究対象とした地域は、佐賀県内の有明海沿岸域に位置する計74集落である（図？ 1）。これらの全集落の特性を生み出す地域属性として、表？ 2に挙げた28項目の社会・経済的属性を拾い上げた。これらの地域属性は、上述の第10次漁業センサス漁業集落カードとして、各集落ごとに網羅されているものである。集落単位で最大限に入手可能なデータ、すなわち漁業集落データ、漁業生産構造データ、漁業世帯構造データ、および漁業集落の生活環境データ、が詳細に記載されており、地域特性を把握するには最良の分析資料である。そこで有明海沿岸域の漁業集落の特性を表現すると思われる地域属性データ行列を作成し、これに対して因子分析を行うことにした。

2. 漁業集落の特性把握

74漁業集落それぞれが持つ28属性の分布パターンから少数の意味のある分布パターンを導出するために因子分析を施した。分析の結果、固有値1.0以上を有する7個の因子を抽出することができた。第7因子までの累積変動説明量は83.5%に達している。28変数の共通度はいずれも0.5以上であった。したがってこれら7つの因子は74漁業集落の特徴を十分に表現しているものといえよう。ここでバリマックス回転後の因子負荷量行列を表？ 3に、そして第1因子から第3因子の因子得点の分布を図？ 2、5、6に示した。以下では因子負荷量の絶対値0.40以上の変数群の構成により各因子の解釈を行いたい。

(1) 第1因子

第1因子は、24.8%の変動説明量を有している。この因子では、1「漁業就業者数」（因子負荷量-0.98）、20「40歳未満男子漁業就業者比率」（-0.98）、14「海上作業従業者数」（-0.96）、21「女性漁業就業者数」（-0.96）、19「40歳未満男子漁業就業者数」（-0.95）などの変数と特に高い負の相関を示し、因子負荷量-0.40以下の8変数により性格づけられている。これらの変数群は漁業世帯構造に関するものであると同時に、特に負の高い負荷量は小規模を表現するものである。しかも5「のり類養殖経営体数」の因子負荷量は-0.83と低い。上述のように佐賀県有明海沿岸域においてはのり養殖への特化が極度に進行しており、のり養殖が有明海沿岸域の基本的性格を形作っていると言っても過言ではない。それゆえこれらの変数が示す

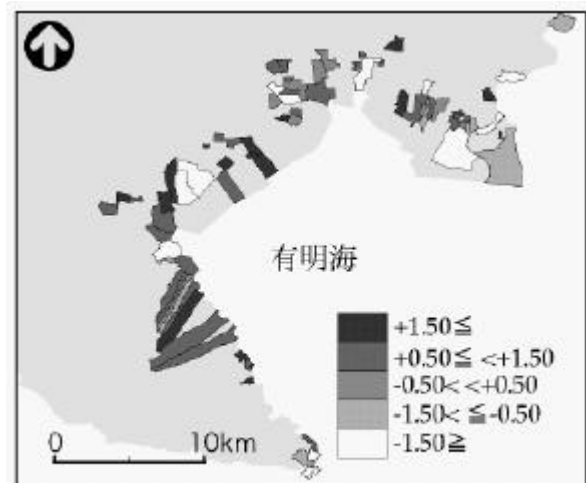


図-2 第1因子の得点分布

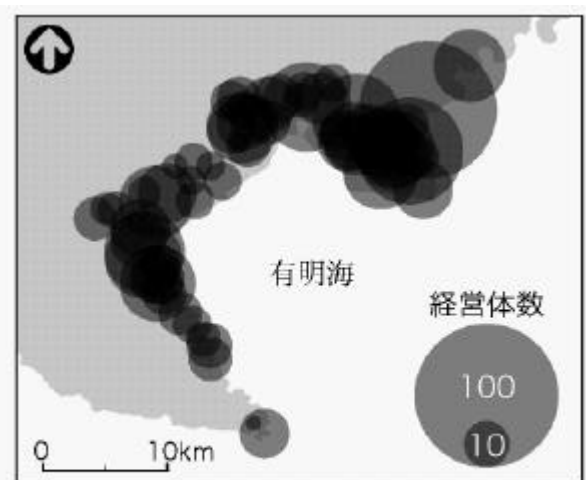


図-3 漁業集落別のり養殖経営体の分布図（1998年）
資料：第10次漁業センサス

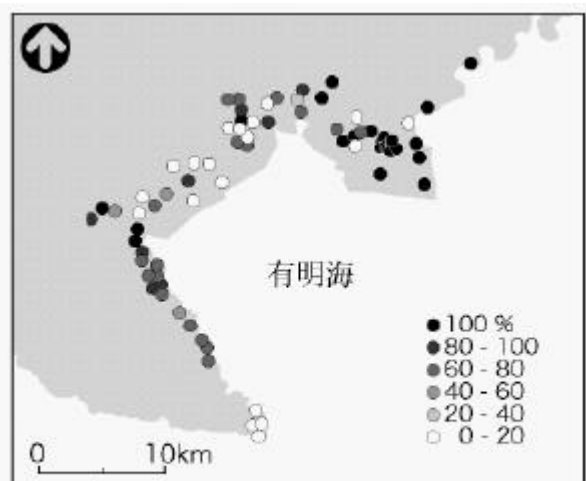


図-4 集落別のり養殖経営体の構成比（1998年）
資料：第10次漁業センサス

高い負の相関は、のり養殖地域におけるのり養殖以外の特異な小規模な漁業集落を浮き彫りにしている。

第1因子の得点を地図化すると（図？ 2）、高得点は太良町本町（2.84）、有明町古渡（2.43）、佐賀市

厘外西(2.39)、白石町築切搦(2.36)といった白石町から太良町に至る有明海西南部の漁業集落に現れている。このうち太良町本町はのり養殖とともに採貝が漁業活動の中心で、13世帯中12世帯が採貝漁業を行っている。図? 3は漁業集落別にみたり養殖経営体の分布図を、図? 4は各漁業集落におけるのり養殖経営体の構成比をそれぞれ示したものである。第1因子の得点が高い漁業集落は、他の集落に較べてのり養殖経営体も少なく、またのり養殖への依存度が低い集落であることが看取できる。またいずれの漁業集落においても漁業経営体数が小さく、高齢化が進行し、漁業後継者不足が深刻で漁業活動の発展性が阻害されている集落である。これとは逆に最小の得点を有する漁業集落は諸富町の寺井津(-14.76)で、漁業経営体数の大きな集落である。したがって第1因子は「漁業集落の発展性」を表す指標であると解釈した。

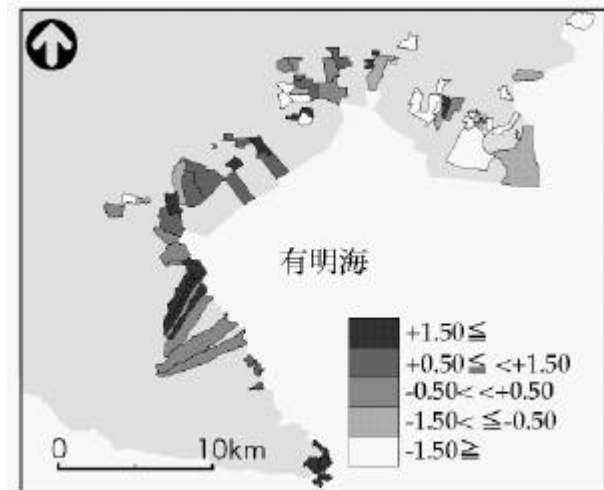


図-5 第2因子の得点分布

(2) 第2因子

第1因子に次ぐ高い説明量(15.3%)を有する第2因子では、18「家族漁業経営体比率」(0.44)に正の因子負荷量が、一方、11「漁業経営体平均漁獲金額」(-0.94)、12「海上作業従事者1人当たり漁獲金額」(-0.93)、13「海上作業従事1日当たり漁獲金額」(-0.92)に負の高い因子負荷量が現れている。この因子得点を地図化すると(図? 5)、太良町の平浜(4.63)、竹崎(4.63)、道越(4.54)、野崎(3.80)の各漁業集落で高得点が現れ、また鹿島市北部から白石町にかけても高得点である。第2因子はその構造から家族経営と漁獲金額との両極が生じており、「漁業生産性」を示す因子であると表現できる。

(3) 第3因子

第3因子は全変動の12.0%を説明する因子であり、第3因子までの累積変動説明量は52.1%に達する。第3因子について高い負荷量を示す変数は、17「雇用者を有する海上作業経営体比率」(0.95)、16「家族のみの海上作業経営体比率」(-0.95)、15「海上作業家

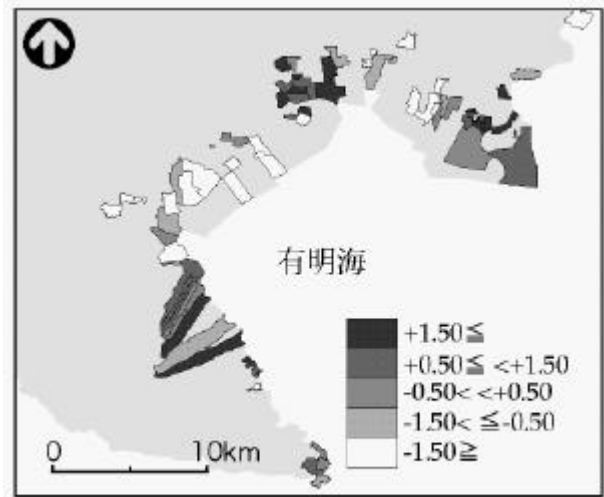


図-6 第3因子の得点分布

族従事者比率」(-0.89)、そして18「家族漁業経営体比率」(-0.46)の4つである。これらの変数群はいずれも漁業の生産構造を示すものである。このうち全2者の雇用者の有無という漁業の発展性を表す属性が高い負荷量を示している。漁業の最盛期には家族従事者のみでは人手が足りず、雇用者を確保しなければならない経営体比率が大きい、といった漁業集落としての特徴を示している。このことは、図? 6の得点分布にも反映されている。すなわち、第3因子で高得点が現れている漁業集落は大きく三つの塊状になっている。一つは東部地区の川副町早津江津(3.51)、同大4区(2.64)、同南6区西(2.40)の漁業集落であり、一つは中部地区の六角川流域の芦刈町新村(2.44)や福富町住ノ江(2.38)の漁業集落であり、もう一つは南部地区の太良町伊福(3.41)や同栄町(2.33)の漁業集落である。これら3地域ではその漁業形態、とりわけのり養殖の経営形態が大きく異なっている。つまり東部地区の川副町では、大規模なりのり養殖業が展開しており、収穫量および生産額とも佐賀県で突出している。またこの地域では個人漁家によるのり生産が中心であり、家族型のり養殖業地域として特徴づけられる。これに対して、中部地区では比較的零細な個人経営者の高齢化が生じ、のり養殖の協業体や委託加工への移行が進展している(山下, 2005)⁹⁾。そして南部地区の太良町ではのり養殖経営はさらに小規模となり、高齢化や後継者難が生じている。したがって3地域とも最盛期には多くの雇用者を要しているが、その中身には大きな違いがある。以上より、この第3因子は「漁業活動に伴う雇用」を示すと解釈することができる。

(4) 第4因子? 第7因子

第4因子以下の変動説明量は、10.8%、7.3%、7.0%、6.4%と小さくなる。しかしこれらの因子も有明海沿岸域の重要な指標と考えられるので、これらの諸因子をそれぞれの変数群から解釈し、命名すると次のように

なる。

- 第4因子「漁業兼業」
- 第5因子「のり養殖の発展性」
- 第6因子「漁業集落の安定性」
- 第7因子「刺網・採貝漁業」

3. 有明海沿岸域漁業集落の類型化

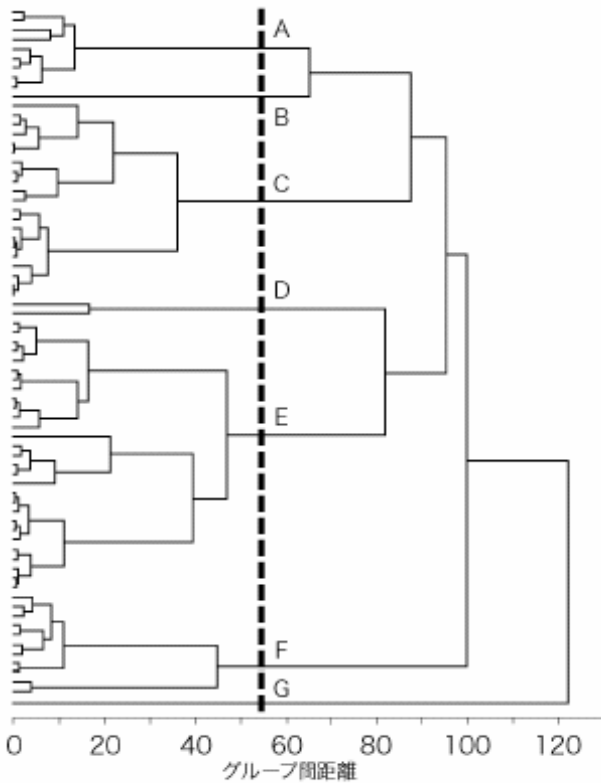


図-7 74漁業集落のグループ化デンドログラム

有明海沿岸域の漁業集落の類型化を行うために、因子分析によって得られた因子得点に対して奥野（1985）の方法を用いて重み付けを行い、この因子得点行列にワード法クラスター分析を施した。図7は74漁業集落のグループ化デンドログラムである。グループ間距離の変化に着目したところ、67段階で不連続となるため、図8に示した7つの地域グループ（A～G）に区分した。図7より、グループAとグループB、グループDとグループEはともに早い段階で一体化するが、グループFはA、B、C、D、Eのグループとはかなり遅い段階で一体化していることがわかる。なお、グループG（福富町東分集落）については考察の対象外としたい¹⁰⁾。

各グループの特徴を平均因子得点（表4）を用いて説明したい。グループAは主に東与賀町と佐賀市の9集落からなる。第I指標「漁業生産性」に負の高得

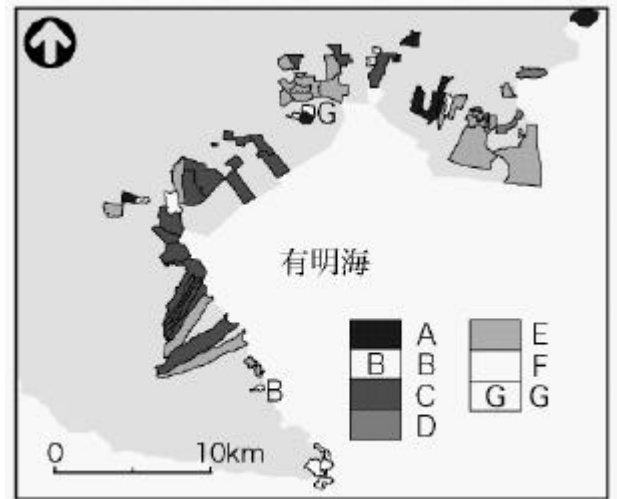


図-8 7グループ地域の分布
各地域の記号（A～G）は図-7に対応。

点-6.95を有しているが、その他の指標に関してはきわだっていない。上述の第2因子の性格と関連づけると、大きな負の値ほど漁業生産性が高いため、このグループAは、有明海沿岸域の漁業集落のなかでは高い漁業生産性を有した漁業集落と位置づけられる。これはのり養殖の協業化の進展の結果であると見なすことができる。

グループBは単一の漁業集落（太良町本町）からなる。このグループは第I指標「漁業集落の発展性」が10.99と大きく、第IV指標「漁業兼業」が-10.75と逆に最低であり、そして第VII指標「刺網・採貝漁業」は5.66と他のグループと比して大きい。これらの値と上述の因子の解釈と総合すると、グループBの太良町本町では小規模な漁家から構成され、第二種漁業兼業を主体とした衰退しつつある集落だと判断できる。

21の漁業集落からなるグループCでは、第IV指標「漁業兼業」に正の小さな得点（2.46）のみが現れている。漁業を主体としながらも農業兼業によって生業を支えている地域である。しかしこれ以外には特異な性格は現れていない。

Dグループは諸富町寺井津と川副町大4区の二つの漁業集落からなる。これらの漁業集落では第I指標の「漁業集落の発展性」（-43.88）にきわめて大きな負の得点が生じている。第1因子は負の大きな値ほどより大きな漁業集落の発展性を有していると特徴づけられる

表-4 7グループ地域の平均得点

グループ	指標						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
A	1.06	-6.95	-3.74	-0.94	-1.31	-0.12	-0.39
B	10.99	1.21	-3.92	-10.75	0.35	0.31	5.66
C	1.05	2.45	-1.59	2.46	0.04	0.40	0.83
D	-43.88	-3.20	1.63	1.08	0.78	-2.04	-0.35
E	1.55	-2.08	2.55	-0.05	0.65	-0.01	-0.15
F	-0.36	6.23	-1.71	-2.93	0.09	-0.25	-1.33
G	4.12	7.94	12.62	-0.93	-10.82	-0.55	0.19

グループ記号は、図-7、8に対応。

ため、このDグループの2漁業集落はのり養殖の中心集落として位置づけられる。

Eグループは29もの漁業集落から構成され、この集落数は全集落の39.2%を占める。Eグループでは、他のグループと比べて特に大きな平均得点を持つ指標は存在せず、いずれの得点も0に近い。それゆえ、有明海沿岸域の漁業集落の平均像に近い性格を有したグループと言える。

Fグループは11の漁業集落から構成される。Fグループでは第II指標の平均得点が高く、これは「漁業生産性」を示している。因子分析の結果より、大きな負の値ほど漁業生産性が高いため、Fグループ生産性は低いということになる。このFグループには太良町大浦漁業地区の全集落が含まれ、小規模な家族経営で支えられていると推察される。このグループは上のA? Eのグループとは大きくかけ離れており、佐賀県有明海沿岸域のなかでは特異な存在である。

4. おわりに

佐賀県有明海沿岸域の74漁業集落の性格、とりわけ社会・経済的な特性把握を試みた。多変量解析の一手法である因子分析法を援用することによって7因子を抽出することができた。その後のクラスター分析によって計7個のグループ地域に区分することができた。

有明海沿岸域ではのり養殖に特化した漁業形態が形作られてきたが、そのような基本的性格が本研究を通して垣間みることができた。とりわけ太良町大浦地区の漁業集落の性格は、のり養殖を積極的に行っている集落のそれとはかけ離れ、刺網を中心とした生産性の低い漁業活動がなされていることが浮き彫りにされた。

漁業就業者の高齢化や後継者難が一層進展しているが、有明海沿岸域の漁業集落においてもこの一般的な傾向が認められ、漁業活動の活力低下が懸念される。

注と参考文献

1) 漁業地区とは、市区町村の区域内において、共通の漁業条件の下に漁業が行われる地区として、共同漁業権を中心とした地先漁場の利用等漁業に係る社会経済活動の共通性に基づいて農林水産大臣が設定するもの

をいう。

2) 漁業地区の区域の一部において、漁港を核に一定の地理的領域と社会的領域によって成立している漁業の地域社会である。当該漁港を利用する個人漁業経営体、漁業従事者世帯及び漁業関連産業に従事する者のいる世帯との社会生活面の一体性に基づいた居住範囲のうち、漁業世帯等が10個以上存在するもの、または、漁業世帯等の数が10戸未満であっても、総世帯に対する漁業世帯等の割合が30%以上のものをいう。

3) 佐賀県(2006):『佐賀県統計年鑑 平成17年版』

4) 山下宗利(2005):有明海におけるのり養殖協業化の進展. 佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集, 1, 41-48.

5) 奥野隆史(1985):長野県における松本盆地の地域性 一数值分類法に基づく考察一. 筑波大学地域調査報告, 7, 1-12.

6) 村山祐司(1990):『地域分析 一地域の見方・読み方・調べ方一』古今書院, 169ページ.

7) 本研究の遂行時点では1998年の第10次センサスが入手可能な最新のデータであった。

8) 因子分析の結果、7つの因子を抽出することができた。最も説明力の低い第7指標の変動説明量を1.00として、それに基づいて他の指標の説明量を基準化した。第1指標から第6指標までの説明量はそれぞれ3.87、2.39、1.87、1.68、1.14、1.09となった。これらの値を各指標の因子得点に乗ずることによって因子得点の重み付けを行った。

9) 前掲4)

中部地区(東与賀町、佐賀市、久保田町、芦刈町、福富町)における協業化率は2004年時点で47.0%であり、これはのり養殖の中心地域である東部地区の29.8%を大幅に上回る。

10) Gグループは第II指標や第III指標、そして第V指標で最高値もしくは最低値を示している。Gグループは福富町の東分集落のみで構成され、しかも漁業経営体は1つのみである。そのため、極端なはずれ値が出たものと思われる。

(2006.5.31受付)

有明海・八代海沿岸域エコトーンにおける複合的文化景観の保全(1)

出水平野のツル越冬地における冬季湛水田と湿地のワイス・ユース

Conservation of Multiple Cultural -landscape in the Inshore Ecotone, Ariake and Yatsushiro Sea(1):
The artificial and temporary wetland in winter-paddy field and the Wise Use in the Izumi reclaimed land,
crane- wintered (migratory birds)

五十嵐 勉

Tsutomu IGARASHI

文修 佐賀大学助教授 農学部生物環境科学科・地域資源学研究室(人文地理学)(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

It is important to consider the ecotone in seashore, especially in the argument of conservation of wetlands. The secondary ecotone as a transitional zone from reclaimed land to tidal flats is very important spaces. Because there is a bio-diversity and multiple subsistence by inhabitants. In addition, these sustainable production and life style formed multiple cultural landscapes.

A great deal of effort has been made on the reclamation or land improvement in tidal land. What seem to be lacking, however, is a consideration on sustainability of the reclaimed land and a sustainable subsistence system. This sustainability was made possible by the single-dike type reclamation before introduction of *inpoldering* (the duplex-dyke type reclamation) in the after World War II. The main reason is that most settlers engaged not only farming in reclaimed land, but also fishery in tidal flat. This multiple subsistence offers the key to an understanding of the sustainable use of tidal land.

In this paper, conservation of multiple cultural landscape in the inshore ecotone, Ariake and Yatsushiro Sea, especially, the artificial wetland in winter-paddy field and the wise use in the Izumi reclaimed land, crane- wintered (migratory birds) are discussed.

Key Words: *Seashore ecotone, Cultural landscapes, temporary wetland, winter-paddy field, sustainability, wise use, Ariake Sea, Yatsushiro Sea, Izumi reclaimed land, reclamation, migratory birds, crane*

1. 沿岸域エコトーンと複合的文化景観の保全

(1) 沿岸域エコトーンと複合的生業

内湾域の有明海と八代海では、継起的な干拓(地先干拓)によって形成された干拓地での農耕と、干拓地内の溝渠(クリーク)や調整池での淡水(水田)漁撈、干潟域での干潟漁撈、そして浅海漁業(その後の海苔養殖)という複合的な生業が持続的に行われてきた。しかしながら、特に、戦後の大規模干拓地の造成と、そこでの米麦二毛作農業を中心とする高投入型近代農業と海苔養殖業への特化は、生業の単一化をもたらし、それは景観の単純化をももたらした。

このような複合的な生業を育ててきた「場」としての沿岸域は、景観生態学(landscape ecology)の分野において、性格の異なるエコトープの移行帯、すなわ

ちエコトーンとして注目されてきた。エコトーンは、森林縁辺部、マングローブ林帯、河口部、干潟など陸域と水域の自然生態系の移行帯(一次のエコトーン)のみならず、農耕地や養殖池、改変跡地など人間の生業や暮らしという介入や攪乱によって形成された場(二次のエコトーン)からなる。秋道は、海辺、水辺、野辺などの「辺」に象徴されるエコトーンは、人間による人為的な分断を極力排除して、生態系の連続性と循環の機能を重視すべき場となみなし、そのような場をエコ・commonsとして管理する必要性を指摘する(秋道、2004)。

干潟域における一時的エコトーンの分断は、干潟を消失させた湾入部の締め切り方式による複式干拓であり、八郎潟・児島湾・諫早湾で実施された(五十嵐、2001)。農耕 水田漁撈 干潟漁撈 浅海漁業という複

合的生業が持続的に行われてきた場としての、干拓地・干潟・浅海の二次的エコトーンの分断は、「近代化」のプロセスに他ならない(五十嵐、2004、2005)。

(2)複合的生業と文化的景観

沿岸域エコトーンにおける生業複合は、干拓地・干潟漁撈景観などからなる複合的な文化的景観を生み出した。文化的景観とは、棚田や里山・里地・里海のような「地域における人々の生活又は生業及び当該地域の風土により形成された景観」とされ、文化財保護法の一部改よって、このような文化的景観が新たな文化財として位置づけられ、地域の歴史や文化と密接に関わる固有の風土的特色を表す文化的資産であり、我が国の歴史、文化等の正しい理解のため欠くことのできないものとして保護することが定められた。これらの文化的景観の保存の動きは、ユネスコの世界文化遺産の指定制度やワイズ・ユースを前提とするラムサール条約登録地などの、人間の営為と自然の結合の所産と見なす文化的景観に関する国際的な動きが背景に存在する。

文化庁文化財部記念物課は、平成12年度から15年度にかけて、「農林水産業に関連する文化的景観の保護に関する調査研究」を実施した。この調査研究に際して、全国的な所在調査がなされ、第1次調査でリストアップされた2,311件から、第2次調査で502件が選ばれ、最終的に180件が「重要地域」として選定された。これらの重要地域は、以下の4つのカテゴリーに分類される。①：水田・畑地・草地・森林・漁場・漁港・海浜・河川・池沼・湖沼・水路・集落景観、②：古来より信仰や行楽の対象となってきた景観・芸術の題材や創造の背景のとなってきた景観・独特の気象によって現れる景観、③：伝統的産業及び生活を示す文化財の周辺の景観、及び④：～の複合景観である。

文化財保護法の改正では、都道府県又は市町村地方公共団体の申出に基づき、景観法(平成16年6月制定)で定める景観計画区域又は景観地区内にある文化的景観のうち、特に重要なものを「重要文化的景観」として選定されるようになり、すでに水郷景観の近江八幡(滋賀県)、水田景観の骨寺荘園遺跡(岩手県)が重要文化的景観地区として選定され、佐賀県唐津市相知町の蕨野の棚田景観も選定に向けた基礎調査を実施している(五十嵐、2005)。

カテゴリー④の複合景観としての文化的景観は、～の複数の景観が、一つの体系の下に有機的につながり機能しているもの、及び農林水産業の異種の景観が組み合わさったもので、この複合景観が「文化的景観」の総体として特に価値を有するものとして位置づけられた。しかしながら、重要文化的景観としての選定、及びその準備が進められる一方で、カテゴリー

の複合景観は、景観の要素が多岐、かつ広域に及ぶこと、及び有機的関連性の析出等の問題から、その保全を前提とする選定作業が進んでいない。

有明海・八代海沿岸域エコトーンにおける重要地域として、<①：八代干拓の景観、菊池川と八幡並木、出水のケタ打瀬漁>と<②：柳川(柳川の条里遺構・漁撈景観・漁港・掘割・永松荒子と導流堤、大木町の堀干し、三橋町のドンコ船)、佐賀平野の掘割(神崎町の姉川城跡掘割、千代田町の掘割でのヒシ実採り・直島城跡の掘割)及び有明海(有明海沿岸の漁撈景観・干拓地景観・干潟)>が選定された。

(3)研究の枠組みと課題

本研究は、有明海と八代海を事例として、複合的文化景観の形成メカニズムとその保全・活用のあり方を、前述の沿岸域エコトーンにおける湿地のワイズ・ユースや複合的生業の視点から考察する一連の研究<①八代海出水干拓地のツル越冬地における冬季湛水田と湿地のワイズ・ユース、②八代干拓地の調整池における淡水漁撈、タブ漁、白石平野における複合的生業、佐賀県鹿島地域における干潟のワイズ・ユースその伝統と変容>の第1報：「八代海出水干拓地のツル越冬地における冬季湛水田と湿地のワイズ・ユース」に関するものである。

2 八代海・出水平野におけるツル越冬地と冬季湛水田

(1) 渡り鳥と湿地保全、及びワイズ・ユース

野鳥や渡り鳥の生息地である湿地が地球的規模で減少し、渡り鳥を保護するための湿地保全を目的としたラムサール条約登録地が増加している。条約発効から30年目の2005年11月に第9回ラムサール条約締約国会議で、日本の登録地はそれまでの13ヶ所から33ヶ所にまで増加した(世界全体では、ラムサール条約締約国数150カ国、登録湿地数1,579ヶ所)。ラムサール条約は、1971年カスピ海に面するラムサール(Ramsar)で開かれた国際会議で採択され、75年に発効した「特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約」の通称である。その目的は、多様な動植物、特に水鳥の生息地として生態学的に重要で、また経済、文化、科学およびレクリエーション上大きな価値を有する湿地、沼沢地、干潟などを対象とし、それらの干拓・埋立てそのた様々な開発や過剰な利用に対し、そこに生息・生育する生物を保全し、湿地の賢明な利用(Wise use)を目指して、国際的に取り組むこととされる。

ラムサール条約登録湿地の中には、バングラデシュのサンダルパンズ、フランスのモン・サン・ミッシェル湾、アメリカ・フロリダ半島南部のエバーグレイズ湿地などのように、登録湿地そのものがユネスコの世

界遺産になっているもの、あるいは世界遺産地域に湿地が含まれているものも20ヶ所以上にのぼる(平井、2006)。湿地のワイズ・ユース(賢明な利用)とは、第3回の締約会議(1987年、カナダ・レジャイナ会議)で定義されたもので、「生態系の自然特性の維持を伴うような共存方法での人類の利益に帰する持続可能な利用」とされ、単なる自然保護ではなく人間による利用との共存が強調された。

このようなワイズ・ユース概念に基づく湿地保全は、地球的規模での湿地の減少に歯止めがかからない状況や外来種問題、生物多様性条約、気候変動枠組条約との関連性、さらには締約国会議の開催国の事情(例えば、2005年の第9回、ウガンダのカンパラ会議における貧困者対策としての湿地での生物資源利用権・水資源確保と食糧対策)などが反映され、持続可能な湿地保全運動は、グローバル・ポリティクスを背景として当初の条約の趣旨を大きく変質させた。特に、湿地の文化的価値や保全・管理への住民参加などは、近年の環境教育を含む湿地保全(「運動」)を考える場合の重要なテーマとなっている。たとえば、名古屋の藤前干潟をめぐるごみ処分場計画の中止からごみ減量・リサイクル運動への展開と、その後のラムサール条約登録による干潟保全運動、特に干潟の環境教育への活用に至る過程、あるいは諫早湾と同時進行で計画された穴道湖・中海の干拓・淡水事業から一転して始まった、湖沼環境の保全・活用に至る近年の動向は注目される。あるいは、ラムサール条約登録地という「お墨付き」が、石川県加賀市の片野鴨池における伝統的鴨猟をワイズ・ユースとしての正当性を付与したとみなされる事例も報告されている(菅、2006)。

有明海沿岸においては、佐賀県の大授搦干拓地がラムサール条約登録への申請を断念したとはいえ(佐賀空港域でのバード・クラッシュがその要因とされる)鹿島市新籠海岸のシギ・チドリネットワーク登録地での干潟環境教育(鹿島市七浦地区振興会干潟環境教育事業部主催)や道の駅鹿島の干潟で開催されるガタリンピック・干潟体験・干潟環境教育(同振興会主催)の開催など、干潟体験や環境教育を中心とする干潟の保全をめぐる動きは各地で増加傾向にある(五十嵐、2006)。

本研究において考察する出水平野におけるツル越冬地の保護・管理は、ラムサール条約登録地や文化的景観の問題に直接かかわるものではない。しかしながら、古くは江戸時代から渡りのツルを保護し、大正10年のツルの天然記念物指定、1952年のツルとその飛来地の特別天然記念物指定による文化財行政としてのツルと越冬地の保護、さらにはツルの集中化を域内で分散させる環境行政としてのツルと越冬地の保護・管理、ツルのねぐらとして買い上げ・借り上げられた沼地・湿

地としての冬季湛水田、干拓農地の農産物や八代海の養殖海苔での食害対策、人工給餌から自然採餌の場として湿地環境の保全など、沿岸域エコトーンにおけるワイズ・ユースと複合的な文化的景観の視点から再考されねばならない。

(2) 出水干拓地におけるツル越冬地の環境

渡り鳥の中でも、ツルは江戸時代ごろまでは、日本全国で越冬し、日本人の生活と密接に結びついていた。しかし、特に経済の高度成長期以降、生息地である湿地の減少や土地利用の変化等により、ツルの固体数が急激に減少した。ナベヅルとマナヅルは、アムール川流域で繁殖し、冬に朝鮮半島や、揚子江下流域、西南日本で越冬する(図1)。日本における代表的な越冬地が鹿島島の出水平野で、ここは南下するナベヅルやマナヅルの「突き当たり」に位置する干潟と干拓地景観のエコトーンである(図2)。

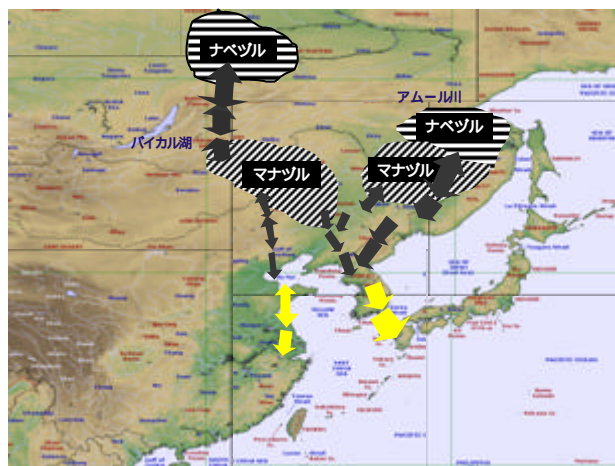


図1 マナヅルとナベヅルの渡りの経路
(中村理恵、2006による)



図2 八代海南岸の沿岸域エコトーン
(国土地理院発行、1/25,000地形図)

八代海南岸の出水平野では、地域住民によるツルへの給餌や「ねぐら」の整備などの保護活動が継続的に行なわれ、八代海の干潟に面する干拓地に多くのツルが集まるようになった。世界全体の個体数から見ても、ナベツルの8～9割が、マナツルの5割前後が出水平野の干拓地周辺で越冬している。

しかし、この集中化による種々の弊害が危惧されるため、ツルの越冬地分散計画が進められている。出水平野では、ツルの増加と、給餌によるカラスやカモ等の飛来増加に伴う農産物や養殖海苔網への鳥害問題、冬期における干拓地の土地利用（裏作）や農薬・化学肥料の投入などの農業との関係も大きな課題となっている。

ツルの越冬地となっている出水平野では、江戸時代以降、八代海の干潟の干拓事業が進展した。現在のツルの主な越冬地は、戦後干拓地の西干拓地（出水市）と東干拓地（高尾野町）である（図3）

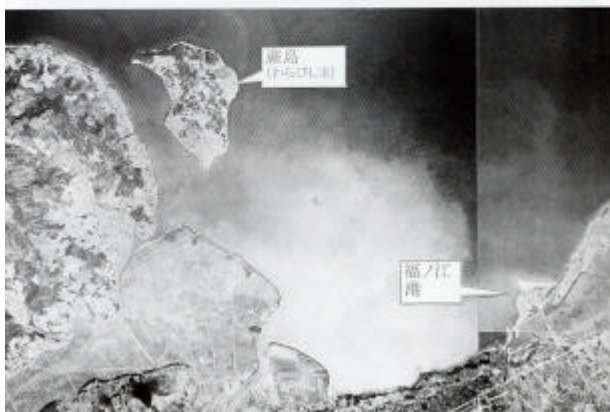
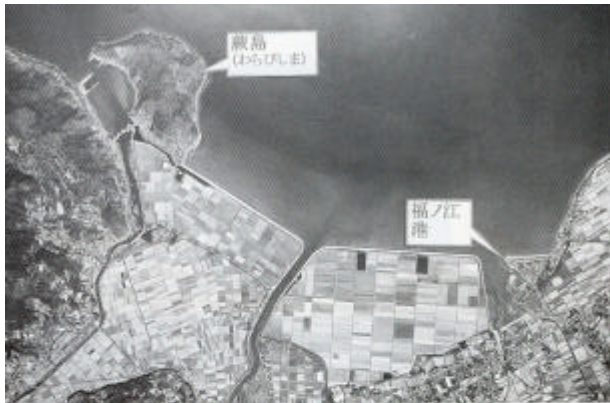


図3 出水平野の干拓地

上：平成12年航空写真、下：昭和22年航空写真
（『出水郷土誌（上巻）』、2005による）

出水平野の干拓は、古くは元禄年間（1688-1703）の「今釜新田」に始まり、戦後の1953年から1966年にかけての大規模な国営干拓が継的に進められた（図

4）

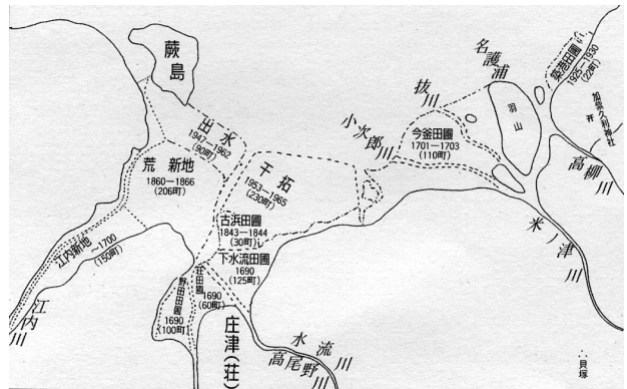


図4 出水平野の干拓進展図

（『出水郷土誌（上巻）』、2005による）

近世の新田開発は、薩摩藩の外城制度の下で、「新地」と呼ばれる開発が郷土や農民層によって進められたが、「荒崎新田」のような大規模は藩営新田も造成された。近世の主な新地は、庄新地（元禄初期）、野田新地（元禄初期）、下知識新地（元禄初期）、江内新地（元禄13年）、今釜新地（元禄14年）、脇本新地（寛政12年）、名古塩田（文政12年）、古浜塩田（天保14年）、古浜新地（天保15年）、庄潟新地（安政4年、万延元年、慶応2年）がある。

このうち、庄潟新地は、藩営による206haの大規模な新田で、干拓工事には経験の豊かな肥後八代の大靱衆や天草の石工、他にも、市来・伊集院からの石工や串木野からの船大工・水夫も多数貼用された。石積み築堤の規模は平堤1700メートル、縦堤1300メートル、河川堤800メートル、干拓地206ヘクタールに及び、その構造と規模の点で特筆される。しかしながら、排水樋門が適切な位置に設置されず、江内川の氾濫が絶えず沼地化する場所も多かった。この沼地には、当時からツルが越冬地していた。この新地の排水の改良は、明治期と戦後の国営干拓に引き継がれた。

昭和初期には、県営築港干拓、戦後には国営（農林省直轄）干拓（西工区・東工区）が実施された。戦後干拓は、高尾野川と野田川を境にして、西工区と東工区で干拓が実施された。西工区は、米ノ津町潟地区地先（現在のツル渡来地の北部）から江内川で、当時離島であった蔵島までを干陸化するもので、東工区は米ノ津町古浜地区と高尾野町下山地区の地先で、蛇淵川までがその対象であった。

干拓地は、昭和40年に完成したが、完成前の入植募集では入所希望者が無く、昭和39年に隣接する潟地区の「まなづる営農グループ」13名が西干拓地の4ヘクタールを借りての水稻を試作し、40年に出水市と高尾野町の農家約50戸が増反入植した。一方、東工区の増

反募集では3倍の応募者があり、西工区の払い下げ代金66,000円/10aに対し、東工区では102,000円/10aとなり、3年据え置き22年間の償還とされた。これらの干拓地では、米麦二毛作の大規模農業が展開したが、昭和49年からの減反政策によって、大豆の転作や、パレイショ・ブロッコリー・ソラマメなどの野菜・飼料作物の作付けが増加している。これらの農作物の増加は、一方でツルや、人工給餌に集まってくるカモやカラスなどの鳥害被害の深刻化をもたらしている。

ツルは、雑食性で水田雑草であるクログワイやコウキヤガラの根茎などを食べる生態的特色があり、このような餌が豊富な干拓地の拡大はそのような生息場として適していたと考えられている。しかし、明治以降、江戸時代の捕獲禁止令が自然消滅し、しだいにツルは狩猟の対象となり、絶滅寸前となった時期もあった。その後、1921年の天然記念物指定により、ツルは再び保護される対象となり、その渡来数は増加したが、同時に農作物への被害が問題になった。その結果、「餌料代」が交付されるようになるが、その動きは日中戦争により消滅し、戦時中には食料として狩られ、個体数は激減した。出水では、戦前～戦後の食糧難の時代においても農民による給餌活動が続けられていた。1952年に文化財保護法に基づいて、ツルとその生息地が特別天然記念物に指定され(約245.3ha)、出水市は給餌用に購入していた水田約1.5haに人工ねぐら(常時湛水池)を設けた。また、ツル保護会による人工給餌も再開され、ツルの渡来数は飛躍的に増加し、最近ではナベツルが1万羽以上、マナツルも2000羽以上を数えるまでに増加した(図5)。この結果、鳥害対策と鳥インフルエンザなどの伝染病への危惧から、山口県周南市(八代盆地)と伊万里市長浜干拓への分散化計画が進められている。

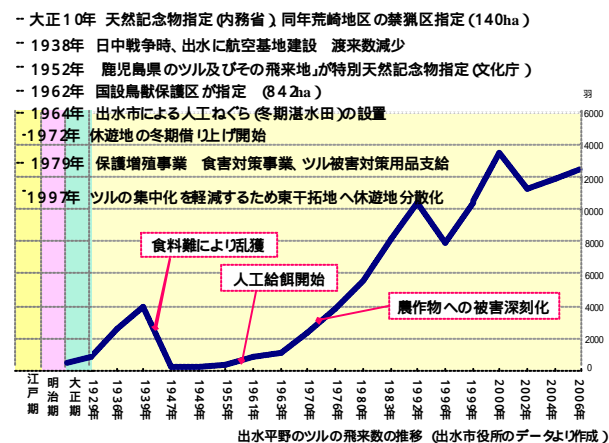


図5 出水におけるツルの飛来数の変化と主な年表 (中村理恵、2006を一部改変)

(3) 冬季湛水田 - ツルと湿地の保全・管理をめぐる

ツルの生息地を確保するために、1964年、出水市は西干拓地内(荒崎)の水田約1.5haを購入し、給餌場用地と、自噴井によって水を張った人工「ねぐら」を確保した。その後のツルの増加に伴い、1972年からはツルが飛来する間(10~3月)干拓地の一部(42.9ha)が文化財行政として、ツル保護会に管理が委託されている。渡来数の増加は、休遊地周辺の農作物被害を拡大させ、1979年には、文化庁の保護増殖事業から食害対策事業へ移行した。さらに、1996年からは休遊地の分散化を目的として、隣接する高尾野町の東干拓地(53.29ha)に新たに休遊地と「ねぐら」が造られ、環境行政として保護・管理されるようになった。

東干拓地での保護・管理は、地元の東干拓土地改良区に委託されている。ツルの保護・管理として、朝の給餌(主に小麦、イワシなど)、畦の補修、ねぐら管理、地元の中学校と協力しての羽数調査などが行われている(図6)。

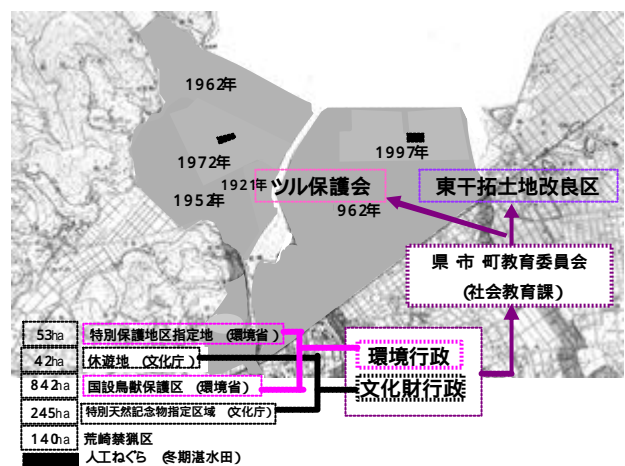


図6 出水干拓地におけるツルと湿地の保護・管理 (中村理恵、2006を一部改変)

休遊地周辺の農家には希望に応じて、防護網やそれを支える支柱などの防護対策用品が県ツル保護会から現地の農業協同組合を通して無料で支給されている。出水平野のツルの生息域は、干潟、休遊地、干拓地、及び周辺の分散地域に分けられる。干潟では、ツル自体よりもカモによる海苔被害が深刻化している。出水東干拓地の3分の1を占める休遊地には、3haの湛水田がツルのねぐらとして整備されている。残りの3分の2の干拓地には、麦、パレイショ、ブロッコリー、飼料などが作付けされている。この裏作に伴って耕起された農地が、ツルの餌場ともなっている(図7)。

このような休遊地周辺の農地には、家族単位のツルがいる割合が高い。ツルが越冬するためには、人工ねぐらの湿地と餌場としての農地が不可欠である。人工ね

ぐらは、干拓地の一部を行政が借り上げて休閑地とし、その中に湛水田を一時的な沼地・湿地として確保している。ツル保護地域は、西干拓地では市民団体のツル保護会が給餌や監視を行い、東干拓は土地改良区によって同様な管理がなされている。保護地域周囲の分散地域は、ツル保護会が鳥害防除のための用具を支給する管理体制をとっている（図8）

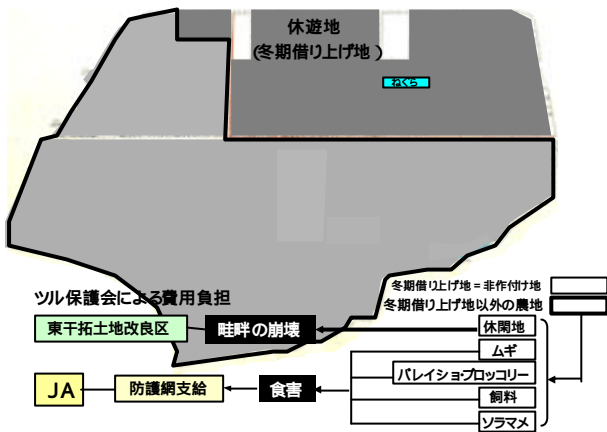


図7 出水東干拓地における冬季の農地利用と鳥害
（中村理恵、2006を一部改変）

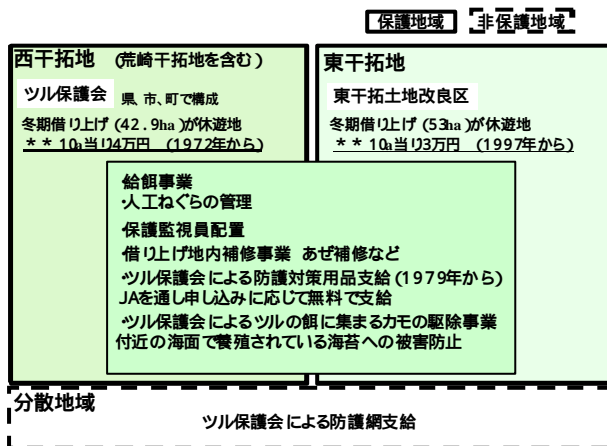


図8 出水干拓地におけるツルと湿地・農地の管理システム
（中村理恵、2006を一部改変）

これは、文化財としてのツルを保護し、季節的・一時的な湿地を含む干拓地での持続的な農業との共存を図るシステム 現段階におけるワイズ・ユースとみなされるであろう。しかしながら、人工給餌と鳥害対策の徹底によってツルを保護・管理するのか、それとも二番穂や裏作農地での自然採餌を前提とする保護・管理を目指すのか。後者の場合には、現在の慣行栽培から環境保全型農業への変更も必要となるだろう。ツルの越冬地について長期的に考えると、ツルがより自然

に近い状態で採餌できるような農業環境と、冬季湛水田の拡大による湿地環境の再生による管理の仕方を模索する必要があるのではない。

ツル保護会は、昭和40年代までドジョウやタニシの水田養殖や用水路での餌用の小魚採取を共同で行っていた。これはかつての伝統的な干拓地での淡水漁撈の再生であったが、近年の環境教育や地域振興イベントとしての水田漁撈の復活（安室、2005）ではなく、ここではツルの保護という目的で行われていた。また、地元の庄中学校では、昭和35年から現在まで、生徒によるツルの羽数調査が継続されており、環境教育のフィールドとしての活用も長い伝統を有している。

(4) おわりに

干拓地に舞う「万羽鶴」は、いまや観光資源でもある。鶴の展望所小屋からはじまったツル観光は、ツル観察センターやツル博物館クレインパークいずみの設立、あるいは出水ツルマラソンなどに発展している。ツルの保護と湿地保全のエコ・ミュージアムとしても注目されるであろう。

出水平野では、裏作時期における休閑農地は、ある意味、季節的な共有資源としてツルの越冬地として活用されてきた。しかしながら、このような干拓地の農業は依然として、ツルの自然採餌に繋がらない高投入型農業が主体であり、環境保全型農業を志向する動きはまだみられない。兵庫県豊岡市におけるコウノトリの野生化計画では、有機栽培による環境保全型農業が同時に進められている。持続的な農業は、有機栽培のみならず、冬季の休閑や湛水による湿地化も有効とされ、乾田化を推し進めてきた農業の近代化を見直す試みとして、各地で復活しはじめた。現在、集中化した出水のツルを出水の外へ分散化させる計画が進められている。分散計画地域としての山口県の周南（八代盆地）や伊万里市長浜干拓地でのツルの保護・管理をめぐっては、出水のように江戸時代から行われてきた干拓地での営農とツルとの深い関わりを築いてきた文化的伝統の視点からも考慮されねばならない。

さらには、干潟や湿地・干拓地は、つい最近まで、淡水漁撈のみならず湿地植物や水鳥の狩猟の場としても多様な生物資源の利用がなされ、エコトーンとしての沿岸域はコモンズ（共有地・共有資源）として、多様な利用システム ワイズ・ユースが見られた（佐野、2005）。このような視点から、沿岸域エコトーンでのワイズ・ユースのあり方に関連する有明海・八代海域でのモノグラフィーの蓄積や関連資料をデジタル・アーカイブして共有することは、環境異変の進む有明海・八代海の再生にとって、不可欠な問題なのである。

参考文献

- 1) 秋道智彌『コモンズの人類学 - 文化・歴史・生態』人文書院、2004
- 2) 五十嵐勉：海面干拓における単式干拓から複式干拓への展開過程と干潟の環境、吉越昭久編『人間活動と環境変化』古今書院所収、pp.83-104、2001
- 3) 五十嵐勉：白石平野の開発過程と複合的生業 - 地先干拓の持続的性格 -、日下雅義編『地形環境と歴史景観 - 自然と人間の地理学』、古今書院所収、180-191、2004、
- 4) 五十嵐勉：海面干拓の展開過程と複合的生業の持続可能性、佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集，第1巻，169-172、2005
- 5) 五十嵐勉：蕨野の集落と棚田・文化的景観の保存と活用、文化庁委託事業『文化的景観「蕨野の棚田」保存活用事業報告書』、佐賀県唐津市所収、2005
- 6) 五十嵐勉：海 - 川 - 森を結ぶ環境教育のネットワーク構築による地域再生支援プログラム、『佐賀大学地域創成学生参加型教育プログラム報告書』2005
- 7) 平井幸弘：日本のラムサール条約登録地の現状と課題、地理、51-4、37-50、2006
- 8) 佐野静代：エコトーンとしての潟湖における伝統的生業活動と「コモンズ」 近世～近代の八郎潟の生態系と生物資源の利用をめぐる、国立歴史民俗博物館研究報告、123、2005
- 9) 菅 豊：「歴史」をつくる人びと 異質性社会における正当性の構築、宮内泰介編『コモンズをささえる仕組み レジティマシーの環境社会学』、55-81、2006
- 10) 中村理恵：鹿児島県出水平野におけるツル越冬地 ツルと湿地の保全・管理をめぐる、3号館フィールド年報（佐賀大学農学部）2005（平成17年度佐賀大学大学院農学研究科修士論文）
- 11) 安室 知：水田漁撈と現代社会 - 環境思想とフォークロリズムの交錯、国立歴史民俗博物館研究報告、123、2005
- 12) 文化庁文化財部記念物課（監修）：『日本の文化的景観 農林水産業に関連する文化的景観の保護に関する調査研究報告書』、同成社、2005

参考資料（干潟の生業・生活文化のデジタルアーカイブスより）

出水平野（干拓地）におけるツル越冬地

2005年11月 筆者撮影



休遊地（休閒地）と裏作野菜地でのマナヅル



人工ねぐらとしての冬季湛水田とツル・カモ類



東干拓工区における鳥害対策用ネットと網



出水干潟での海苔養殖と飛来する

有明海、及びアジア諸地域における干潟のワイズ・ユースに関する比較研究、 及び干潟の生業 生活文化のデジタルアーカイブの構築 - 第1報

Comparative Study on the Wise Use of Tidal Land in Ariake Sea and Asian Coastal Regions

五十嵐 勉¹・稲岡 司²・武田 淳³・辻 一成⁴・藤村 美穂⁵

Tsutomu IGARASHI, Tsukasa INAOKA, Jun TAKEDA, Kazunari TSUII and Miho FUJIMURA

¹文修 佐賀大学助教授 農学部生物環境科学科・地域資源学研究室(人文地理学)(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²健博 佐賀大学教授 農学部生物環境科学科・人類生態学研究室(人類生態学)(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³理博 佐賀大学教授 農学部生物環境科学科・地域資源学研究室(生態人類学)(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁴農博 佐賀大学助教授 農学部生物環境科学科・地域ビジネス開発学研究室(農業経営学)(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

⁵社修 佐賀大学講師 農学部生物環境科学科・人類生態学研究室(環境社会学)(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

Tidal land is recognized as an ecotone which consists of biodiversity. Tidal land produces diversified bio-resources and enables people to use for fishery, marshy plants gathering, water fowl hunting. Such area is well-known as “Commons” and has been wisely used based on various social disciplines of use over the world.

Our research team has been conducting a research on resources use and traditional occupations at tidal lands including neritic ground. The purpose of our research is to find alternative ways to revive Ariake Sea by identifying cases of wise use of tidal land from various viewpoints of ecology, culture, history, community, ethnicity, etc.

Last year, we conducted preliminary researches on wise and sustainable use of tidal lands at Korea, the Yellow River delta in China, the Red River delta in Vietnam, the Gulf of Siam in Thailand, and Sundarbans in Bangladesh as well as Ariake and Yatsushiro Sea. Through those fieldworks, we have found that those areas hold some practical ideas for wise use of tidal land; even vast areas of ecotone in tidal land have been disappearing over the world year by year. We are now preparing for WEB page to present the actual cases we have identified.

Key Words: *ecotone, biodiversity commons, wise use, tidal land, digital archive, Ariake Sea, Yatsushiro Sea, Korea, the Yellow River delta in China, the Red River delta in Vietnam, the Gulf of Siam in Thailand, Sundarbans in Bangladesh*

1. 干潟のワイズ・ユースに関する比較研究の意味 (五十嵐 稲岡 武田 辻 藤村)

水辺エコトーン(生態学的移行帯)としての干潟域は、生物多様性の場としての生態学的機能が強く再評価されている。同時に、この干潟域は生物資源の豊富な場所でもあり、干潟漁撈や湿地植物の採集、あるいは水鳥の狩猟など、多様な生業活動・資源利用の場として、世界各地でつい最近まで、持続的に利用されてきた。そのような資源利用の場の多くは、コモンズと呼ばれる共有地(共有資源)であり、共同体的な規制や文化的慣習・制度などに基づく持続的な資源利用システム ワイズ・ユース(賢明な利用)が存在して

いた。

このような水辺エコトーンにおけるワイズ・ユースは、有明海に限らない普遍性と地域独特の固有性も有している。しかしながら、このようなワイズ・ユースは、近代化やグローバル化の進展とともに世界中から消失しているばかりでなく、干潟そのものが干拓や埋め立てによって急減し、汚染物質の流入をはじめとした陸域の環境変化によって、干潟の水産資源の減少をももたらした。

我々の研究グループは、本研究プロジェクトのみならず、個々の研究におけるフィールドワークにおいても、可能な限り干潟や湿地の水辺エコトーンにおける資源利用や生業システムの調査研究を随時、実施して

いる。これは、干潟の生態的条件や干潟利用の歴史、あるいは資源利用をめぐる文化的・社会的・経済的条件の違いによって、その社会問題としての現れ方、そしてそれに対する対応も、国や地域・民族によって異なっており、そういう干潟全体のなかで有明海問題を再考することが重要であると考えからである。敢えて、有明海の外から有明海を逆照射する視点も総合研究ならではの可能性の選択である。

我々は、これまでのところ、有明海北岸と西岸（鹿島・太良・諫早）、八代海（出水平野のツル飛来地）、韓国西岸・南岸、中国黄河デルタ、ベトナム紅河デルタ、タイのシャム湾、バングラデシュのスダパン等での予備的なフィールドワークで蓄積したワイズ・ユースに関連するデータを、デジタル・アーカイブとして構築し、Webサイトで発信する準備を進めている。これらの基礎的、かつ広域的なデータの収集と、その比較を通じて、「いとも簡単に破壊されたり、過剰な利用が繰り返される干潟」が、その生態系のみならず、人間にとっても、かけがえのない海であることを広報しながら、地域住民自らがその意義を問い直すこと、そして生産至上主義の近代化の中で忘れ去られた人間の知恵やローカル・テクノロジーを再考し、環境負荷を可能な限り軽減する生産システムや生活スタイルを再構築する一助となることを期待している。

さらには、このような水辺エコトーンの破壊や過剰利用への危惧から、オルタナティブな開発として実践されはじめた環境教育を含むエコツーリズムやエコミュージアムなどの世界各地で実践されている「新しいワイズ・ユース」についても、積極的に情報を収集し、データベース化を試みている。我々の研究グループのアーカイブ・データは、オリジナルな収集データをベースとするが、有明海については写真家中尾勘悟氏（大村市在住）による写真データの提供をはじめとした協力を得ている（図1）。デジタルアーカイブの構築には、アーカイブ理論に基づいた検索キーワードの充実が不可欠である。有効な検索キーワードは、ワイズ・ユースに関連する基礎調査による解明が前提となるが、平成18年度には順次、公開する予定である。

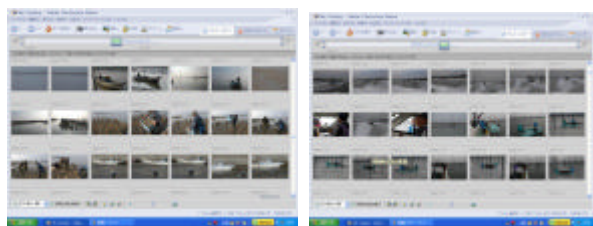


図1 有明海における干潟の生業・生活文化デジタルアーカイブ（サンプル） 写真家 中尾勘悟氏撮影データ 本報告（第1報）に関連する研究は、本報告書掲載の

武田報告（「日韓両国の干潟生態系における食用水族資源の再生産力と採捕量に関する経時的・計量的比較研究2：韓国の現状」）及び五十嵐報告（「有明海・八代海沿岸域エコトーンにおける複合的文化景観の保全（1） 出水平野のツル越冬地における冬季湛水田と湿地のワイズ・ユース」）を同時に参照されたい。なお、本報告に掲載した写真は、我々が構築した干潟の生業・生活文化データベース（原図はカラー）からの引用である。

2 韓国における干潟の現状とワイズ・ユース 消える干潟、持続する伝統的干潟漁撈、及び干潟のエコツーリズム (武田 淳 五十嵐勉)

(1) 消える干潟 (武田 五十嵐)

韓国では、日本の植民地時代の開墾助成法に基づく開発政策によって、多くの干潟が米の増産のもとに干拓された過去がある。とくに1917? 1938年にかけて干拓された面積は405?に達し、すでにこの時期に重要な干潟の多くが干拓された。また、1960? 1970年代以後の干拓面積（1960年代の172?と1970年代の194?）を合わせても、植民地時代に干拓された総面積におよばない。日帝時代と呼ばれる植民地時代にいかに大規模に干拓されたかが、容易に推定することができる。

この日本統治時代に始まる干拓事業の対象地に関する調査は、1962年のオランダからの技術調査団による報告（「第1次報告」）へと受け継がれた。日本においては、すでに戦後まもなくピーター・ヤンセンとフォルカー技師を招聘しての、複式干拓を中心とする大規模干拓のレポートが1954年に出されており、わずか10年後のことである。その後、建設部による第4次までの調査や農水産部の下部機関にあたる農業振興公社による干拓地調査が実施され、これらの報告書がその後の大規模干拓計画の基礎資料として利用された。

韓国の西南海岸には、国土面積の2.4%にあたる2,393?の干潟が発達している。その干潟全体の83%にあたる1,980?が西海岸地域に分布し、残りは南海岸に分布している。また干潟面積の地域別の内訳では、全羅南道が44%、仁川・京畿道が35%、忠清南道が13%、全羅北道が5%、釜山・慶商南道が3%になり、京畿道と全羅南道だけで韓国の干潟の80%を占めている。西海（黄海）岸は、過去50年間で、オランダとともに世界で最も干拓が盛んな場所であった。

榮山江四段階開発事業は1972年代の「西南海岸干拓農地開発事業案」の総合計画として、主に全羅南道の西南地域と島嶼地域を対象に朴大統領時代に構想されたものである。この榮山江流域大段位干拓事業は榮山江をはじめ金浦、始華、大湖、瑞山など西海岸の約10

力所を対象にしたもので、事業期間は1982? 2026年までの45年を想定した大規模なものである。

第一段階では榮山江上流の全羅南道長城と譚陽などで4つのダムを1972? 1978年に完了し、第二段階は木浦市周辺の榮山江河口堰で1981年に完工した。第三段階は靈岩防潮堤と錦湖防潮堤の建設で各々1981年と1994年に終了した。最後の第四段階では1992年に咸平湾をはじめ務安郡、新安郡、靈光郡、木浦市が候補地に選定されたが、咸平湾の干拓は多くの地域住民たち、環境保護運動の市民団体や学者たちの反対運動によって中止されることになった。それには、咸平湾が1997年に水産資源保全地区に指定されたことで地域住民たちのあいだに干潟保全の気運が高まった背景も無視できない。国土拡張期の1970? 1980年代の干拓や埋立ての場合、埋立ての施行主体である韓国水資源公社や韓国農漁村基盤公社などと地元住民とのあいだに適正な補償費をめぐって確執が目立つようになった。

しかし、1987年に着工した始華干拓事業は、その規模が長崎県・諫早湾干拓事業の約6倍という広大なものである。約17,000畝を閉め切り、約6,000畝の淡水湖（始華湖）約5,000畝の農地と工業団地、そして10,000畝の宅地をつくった。韓国での干拓事業の典型的な失敗作だと言われている、韓国での干潟資源の価値を見直す社会的な認識が一気に高まる契機になった。干潟を生活・生業の場とする地域住民たちに補償問題のみならず、自然生態系の破壊、干拓予定地の高密度の空間利用による海域環境汚染など様々な問題意識を生み出したのである。



始華干拓地：締め切り堤と調整池

また最近では閉め切り面積約40,000畝、造成面積約28,000畝の世界最大規模の干拓とされるセマングム総合開発事業（1991年着工）は、干潟資源で生計を立てている地域住民たちのあいだに補償問題を再燃させ、韓国での干潟の多様な機能や価値に対する認識を高まるきっかけになった。セマングム干拓地の干潟は、韓国で消費されるハマグリやアサリの約70%を産出する宝庫であるため、そこを生活の場としている住民には深刻な問題になっている。

現在の干潟は、1987年以来施行された干拓のために

全体の約15%にあたる422.4? が消失した。しかし調査方法や分析方法が異なるため、実際にはもっと多い約30? 40%の面積が失われたともいわれる。始華地区とセマングム地区などでの干拓と埋立て事業で失われた干潟の面積は、810.5? であると見積もられ、これだけでも全体の29%程度の干潟が失われた計算になる。



セマングム干拓地：内部調整池での漁撈



セマングム干拓事業反対運動のモニュメント

干潟がこのような急速に消失したのは、埋立てが容易に行われる脆弱な干潟生態系であることを無視した一方的な開発、特に大規模な干拓事業に大きな原因がある。今のような速度で干拓と埋立てが今後も行われれば、韓国の干潟は2006年には約2000? しか残らないともいわれている。現在、干拓と埋立て事業が行われている面積だけでも約600? におよび、首都圏のごみ埋立て場建設、始華地区農工団地造成、仁川新空港建設、セマングム干拓など、今までとは異なる大規模な干拓工事が行われている。

(2)咸平湾 持続する干潟漁撈 (武田)

全羅南道・咸平郡咸平邑（ハンピョンオプ）石城里（ソクソンリ）は、韓国南西部にある多島海に面した全羅南道の西海岸（黄海）の北端（に位置し、主に農業が営まれている。水産業には全世帯の0.8%が従事している。漁家は566世帯で、漁家人口は2,151人（1995年現在）である。1993年からわずかに増加する傾向にあり、男性より女性が多く漁業に従事する。農家人口が減少する傾向にあるのに対して、漁家人口は増加す

る傾向が見られる。特に、孫佛面の場合は漁家人口が1,398人で、咸平郡の漁家人口全体の65%程度を占めており、他の地域に比べて漁業従事者数が多い。石城里石頭（トルモリ）村は、人口342人（男性：158、女性：184人）で世帯数は106戸である（1997年現在）。職業別の内訳は、農業が7世帯、漁業が13世帯、半農半漁が72世帯、商業が7世帯、公務員が2世帯、日雇労働者が2世帯、牧師が1世帯、その他が2世帯である。

多くの住民たちは自家消費を含み、なんらかの形で咸平湾および干潟における海産物の漁撈・採捕活動に従事している。13世帯が漁業を専業とし、約6トンの船を所有している1世帯、定置網漁業を行う1世帯の他は干潟での採捕業に専念する。

咸平湾の漁撈活動には、ケメギ（建干網漁）、トッサル（石干見漁の一種）、フリッコムル（地引網の一種）、トンジャン（定置網の一種）、サダル網（又手網の一種）、テナム網、ノンオジュナク（スズキ延縄）、ナッチジュナク（ダコ延縄）カキの採捕、ゴカイの採捕、シジミの採捕、及びノリの養殖が行われている。

咸平湾の干潟におけるカキ採捕活動は、農閑期の11月中旬頃に始まって翌年4月中旬まで続く。この時期は、韓国ではキムジャンキムチ（越冬用のキムチ）を漬ける時期にあたる。カキ採捕のため干潟に入る時間は主に潮汐によって決まるが、潮が引いた干潮の時に採捕活動が集中する。捕ったカキは、個人がバスで約20分かかる咸平邑の市場まで出かけ、路上で販売する。

一方、ゴカイの採捕はカキの採捕と異なって、男女を問わず誰でも捕れる。しかし、男性は女性より筋力が優れているにもかかわらず、ゴカイの採捕量は少ない。男性でゴカイの採捕に出かける人が少ないのも、ゴカイを採捕女性たちによれば、長いあいだ腰を曲げて行う仕事は男性たちには概して苦手であるためであるという。

ゴカイは干潮時に干潟の土の中にもぐり込んで生息しているが、生息孔の上方に排泄物を出す。ゴカイの採捕のコツとしては、排泄物のわずかな痕跡を干潟の上で見つけてセスランで周辺を掘り起こす。ゴカイの採捕風景は、カキの採捕の場合と異なって石頭漁村係の管理さんは立ち合わない。また主人たちの送迎もほとんど見られないのも、カキの採捕の場合と異なる。

海と陸の生態系を同時に兼ね備えた干潟は、人類がいわば半陸半海の「海の畑」としてさまざまな食物を採捕してきた。大した技術を労しないで、女性、子供、老人たちがごく日常的に関わり合ってきた生態系と捉えることができる。一日の潮の干満を利用するだけで採捕が周年可能であること、生物種の多様性、豊饒性や自給自足性が保障される干潟（前浜干潟と河口干潟）は、古くから人類の生活を支え続けてきた場だった。

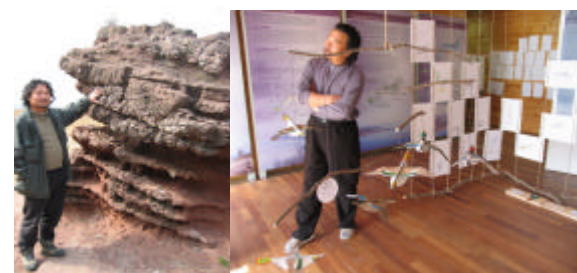
人類がさまざまな食物を採捕・確保するうえで重要であった。



女性が行う潟スキーでのアゲマキ漁

(3)干潟のエコツーリズムと環境教育 始華と京華島から (五十嵐)

2006年3月、科学研究費（研究代表、武田 淳）の調査で、京畿道始華干拓地と京華島を訪ねた。始華では、COASTAL KOREA（海岸保全韓国ネットワーク）のK氏、京華島の京華干潟センターの館長のL氏の案内を受けた。いずれもソウルに本部を置くNGO「環境運動連合・市民環境研究所」のメンバーであった人物である。急激な干潟の開発に対抗する国内最大の自然保護団体の活動家も、今は干潟のエコツアーガイドや環境教育センター長として、干潟・湿地保全運動の新たな主体である。L氏は、2004年3月にも始華での調査の協力を得た人物である。



L氏：大規模干拓反対運動家からエコツアーガイド（左）、そして干潟の環境教育指導者（右）へ

韓国では、干潟の巨大開発が進む一方で、ラムサール条約の理念に近い「湿地保全法」が1999年から施行され、干潟のエコツーリズムや干潟センターなどの環境教育施設の整備も進み、日本湿地ネットワークなどと日本の環境（湿地）保護運動団体との連携も活発になってきている。

始華やセマングム干拓地における「干拓記念館・海洋生態センター」は、干拓事業の偉業を示す展示物とともに「失った」自然・文化遺産もアーカイブとして展示し、始華の水質浄化センターでは、広大な草原を再生し、自然浄化の実験とそこでの野鳥観察を中心とする環境教育が盛んに実践されている。2005年6月にオープンした京華の干潟センターは、干潟の生態や、そこでの生業・生活文化に関連する資料の展示と、文

献・映像ライブラリー、及び干潟体験や渡り鳥のシギ・チドリの野鳥観察会などの環境教育プログラムが充実している。



始華海洋生態センター（左）と京華干潟センター（右）のパンフ

このような施設の運営やエコツアー・環境教育の企画・実践・指導は、K氏やL氏のような自然保護運動家が担っている事が多い。始華干拓地のある安山市はソウル大都市圏内にありベッドタウン化が進んでいる。干拓地には、このような高層集合住宅と工業団地が集中するが、環境志向の高い都市住民の親子を対象とした環境教育が活発になっている。京華干潟センターは、約半年で8,000人の来場者程度であるが、インチョンに近く、週末の家庭教育の一環として干潟体験に訪れる需要の増加が見込まれている（韓国では週末に親子で地域活動を実践することが奨励されている）。この島は、韓国最大の緩慢差と干潟を有する京華湾を望み、コインドル（ドルメン）の世界文化遺産登録地もあり、週末にはソウルからの観光客も増加している。道路沿いには、海産物の直売所も立地し、干潟漁撈も持続的に営まれている。ルーラル（マリーン）ツーリズムやエコツーリズム結びついた干潟生業文化の新しい息吹として注目される。



始華（安山市）の高層住宅と海洋生態センター



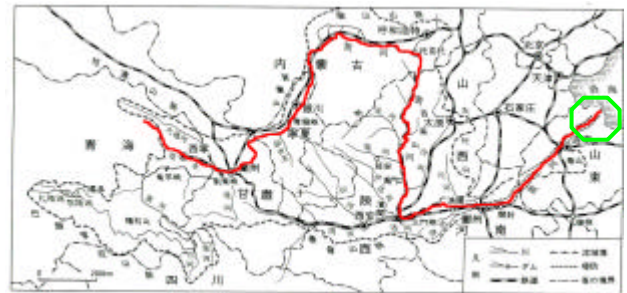
京華島の小規模単式干拓地と海産物の直売所

3 黄河デルタの干潟の現状（藤村美穂）

黄河は青海省に源を発し、山東省の壟利県から海に注ぐ全長5464km、流域面積75万km²の河川である。黄河の水資源は河川流水と地下水の二つがあり、いずれも降水より補給される。年総降水量は3600億立方メートルであるが、6月～10月に年降水量の65～80%があり、古くから、下流部に大規模な洪水災害をもたらしてきた。

逆に11月～翌年の6月は渇水期となる。1970年代以降、黄河下流域に断流が発生し始め、断流時間は年々長くなっている。90年代になると、ほぼ毎年断流が発生するようになり、1996年には136日、683kmの断流となっている。原因としては自然的要因にくわえて、流域の用水量の急増や土壌流出防止のための保全事業貯水ダム建造（主流、支流の流出量）などが指摘されている。

黄河下流の湿地面積は約153000平方キロメートルである。毎年、黄河に運び出される土砂の堆積によって海に2.2キロ伸びている。年平均32、4平方キロメートルの新しい陸地（干潟）が作られている。しかし、近年では黄河の断流によってデルタ地域の地下水に淡水の補給ができなくなるため海水の浸入速度と規模が大きくなり、塩性化面積が増大している。



黄河デルタには19世紀終わり頃から人が暮らし始めたといわれる。1949年に中国が成立されてから1958年まで、政府が600万元を投資して、四つの国营営林場が設置された。その結果、林木総面積は約67000km²、森林占有率は20%以上になった。しかし、五十年代後半に食糧増産（耕地増大）のために多くの天然柳が切り倒された。このことによって、地表面の蒸発が激化し地下に沈殿した塩分が地表面に蓄積されるようになった。土地はアルカリ化し、耕地も利用することができなくなり、現在、塩に強い農作物の栽培や研究が進められている。また、デルタ地域には中国有数の勝利油田があり、石油漏れや掘削・運搬のための干拓など、自然保護の動きと葛藤が生じる可能性も懸念される。デルタ内には確認できるだけで393種の植物、野生動

物は1524種がある。現在では、山東省の黄河デルタに保護区が設定され、運営について半分以上の資金を国と省が出し、残りはデルタでの生産物(林産物や魚類、観光収入)で維持されている。

保護区では一般人が自然資源を取ることは禁じられているが、周辺の農村の人びとはかつてから干潟と密接にかかわった暮らしをしており、おかずとりの漁は続けているようである。二人の男性が、捕った魚を塩漬けにしていた。また、河口付近の海では、家船で生活する人々も見られた。聞き取りを行った漁民によると、家船生活をしているのはほとんど同じ村出身(李村)の人びとで、村にも家があり、年寄りや学童たちは村で暮らしているという。30代後半の夫婦は、両親と子供を村に残し、自分たちは6万元で購入した中古船で漁をして生活を維持しているという。彼らは年のほとんどを船で寝泊りする。夜は岸近くに船をよせて、水をくんだり、同じ村出身者の船に上がりこんで話やゲームに興じる。彼らは自分の現在の生活に満足している。毎日、パイヤーが現金を持って岸边まで魚を買いに来てくれるので漁に行き帰るとその日の収穫は当日のうちに金にすることができる。また、自分の都合によって漁に行くので自由がある。収入としては、デルタ地域の一般の農民の二、三倍ぐらいである。しかし、近年では海洋汚染のため魚の量が急激に減少したという。

このように、黄河デルタの部分では干潟面積は増大し続けてきた一方で、同じ海外線を北上した天津では、波による陸地の浸食、土地のアルカリ化(塩化)が深刻な問題となっている。天津市は、海を大規模に干拓した大工業地帯を建設中である。また、海水の汚染も激しく、海での漁獲量は激減している。漁民は漁だけでは生活することができず、養殖に転じたり、観光客を相手に遊覧船(漁船)を出したり、みやげ物を買ったり、漁村生活体験を行ったりしているものもある。



左上：メンソウとツル 山東省の干潟には国際的に重要な18種のシギ・チドリ類が生息しているほか、マナヅル、タンチョウ、ナベヅル、クロヅルそして、アネハヅルの重要な中継地となっている。

右上：干潮を待つ漁をする人 近隣の漁村の人々がおかずとりの漁を行う。

中央左：家船で暮らす漁民たち 村にも家があって、学校に行く子供や年寄りは陸地で生活をし、それ以外の者は年のほとんどを船で寝泊りするという。夜は岸近くに船をよせて、水をくんだり、同じ村出身者の船に上がりこんで話やゲームに興じる。

中央右：建設中の堤防：説明では塩害防止のためということであった。

左下：ヨシ地帯が広がっている

右下：油田 デルタ内のいたるところに石油の掘削が行われている。黄河デルタは中国大3位の油田地帯でもある。保護区の外には、車で数時間走っても養魚場や塩田が続く。

4 ベトナム紅河デルタ河口域における干潟利用の現状 - ナムディン省ザオトゥイ郡ザオラックとザオアン村の事例 - (辻一成)

本報告は、有明海総合研究プロジェクトコア3の事業の一つである干潟利用に関するデジタル・アーカイブ構築の一環で行ったベトナムにおける干潟利用の予備的調査の結果である。

ドイモイ政策の開始(1986年)により、従前の計画経済から市場経済化への途を歩みはじめたベトナム経済の成長にはめざましいものがある。これについてはすでに多くの報道や研究等によって、周知のことであろう。交通網や輸送手段など社会インフラの整備の進展と国民経済の顕著な成長によってベトナム人の所得水準は急速に高まり、辺境農山漁村においても自給自足経済から商品経済化に向けた動きが活発である。そして、そのことは伝統的な地域資源利用のあり方を急激に変貌させている。

さて、調査地であるベトナム北部の紅河河口域に位置するナムディン省ザオトゥイ郡は、省都ナムディン(省名と同じ)から50kmほど離れた海岸線沿いの地帯である。省都ナムディンは古くから繊維縫製業の盛ん

な町として知られ、一定規模の軽工業の立地によって関連産業を含む相当の労働力市場が形成されてきたが、もちろんその規模には限界があり同省全域の住民に対して十分な雇用機会を提供できてきた訳ではない。しかし、先に指摘したとおり、ドイモイ改革以降の国民所得水準の急上昇によるベトナム国民の食生活の変化と社会インフラ整備の進展に伴う遠隔産地からの生鮮海産物の供給体制の確立は、沿岸干潟地域でのエビや貝類の養殖業のめざましい振興にみられるように、ザオトゥイ郡の干潟利用を大きく変貌させた(写真1・2)。



写真1：収穫した貝の陸揚げ(左)

海産物を取り扱う卸売業者や委託された運搬業者が集まってくる

写真2：貝の陸揚げ(右)

以下、同郡のザオラック社(村)とザオアン社(村)で養殖業に従事する数戸の漁民経営の事例にもとづいて、干潟開発と利用の現状の一端を紹介する。なお、ザオラック村とザオアン村は、紅河の支流 Bop(ポップ)川を挟んで左岸と右岸に位置し、そこで営まれる干潟利用と養殖業の形態もそれぞれ異なっている。

【事例1】ザオラック村の貝養殖業の事例

ザオラック村は、総人口9,000人の約30%が漁家人口である。漁家は村内に若干の水田も保有する半農半漁の形態で、漁業従事者の20%が貝養殖業に従事している。貝養殖場は海岸線から沖合に4~5kmの辺りまで延々と広がっている(写真3、写真4)。

ザオラック村で貝養殖業に従事するタック氏(56歳)とファン氏(42歳)はそれぞれ2haと4haの養殖漁場を経営するが、管理運営を2戸共同で行う事例である。事業を開始するにあたって養殖場整備等に投じた初期投資総額は1,200ドルであった



写真3：貝養殖場の見小屋(左)

経営主が、毎日ここで一晩中、密漁の監視をする

写真4：見張小屋(右)

見張小屋は、海岸線から4~5km先まで点在する。

6haの養殖場を管理するために常雇3名を雇用し、これ以外に貝の収穫作業のために村に居住する多数の女性を雇用する(写真11、写真12)。養殖技術に関しては、沖合の浅地で繁殖する天然稚貝を採取し養殖場に放流する。稚貝の人工ふ化及びその供給の技術は同地ではまだ十分に確立していない。年3回の収穫が可能であり1ha当たり年間収穫高は80~90トンである。これを平均キロ単価9,000ドン(冬期)から15,000ドン(夏期)で販売する。従前の販売先は中国市場への輸出が中心であったが、現在は首都ハノイを中心とする国内市場に変化した。貝養殖業経営上のリスクは、年に2回ほど襲来する台風被害、海水温の上昇による稚貝の死滅、12月頃に顕著になる海水のS04濃度上昇による収穫高の減少である。これらの被害によって毎年20~30%のロスが生じていると推計されている。二人の経営者は被害リスク軽減のため、潮の高さ、海水の色、風向など海象の変化を毎日欠かさず記録している篤漁家であるが、リスク対策の確立は今後の課題である。このように辺境漁村ではビッグビジネスを実現している経営者たちであるが、経営目的は「いい家を建てたいから」「子供の教育費に」と極めて家族経営的である。こうした点に、つい最近まで同地の漁家が経済的に不遇に置かれてきた状況やこうした事業がまだ新興段階にあることが垣間見られる。

とはいえその一方で、この機を恰好のビジネスチャンスと捉え、目敏く新しい事業を展開し始めた漁民もいる。クイ氏(40歳)はそうした一人である(写真5)。



写真5 新しいサーピスを始めたクイ氏の見張小屋

彼女は夫とともに、天然稚貝の採集と放流直前までの育成販売、養殖場底の砂地の洗浄と入れ換えを事業とするビジネスを開始した。その収益性は直接貝養殖を事業とする場合よりも高く、最近ではこの種のサーピスを模倣する漁家も現れはじめている。聞き取り調査時に同伴していた息子(18歳)は高校卒業とともにこの家業を手伝い始めた。両親は息子の大学進学を期待していたらしいが、新しいビジネスに取り組む両親の姿と事業展開の可能性に、息子の就業選択も大いに影響されたようである。

もう一つ別の事例は、外部資本の参入による養殖場

経営の事例である。1 haの養殖場で採取した天然稚貝の育成を行うヒエップ氏（40歳）は雇われ経営者である。オーナーは市街地の銀行に勤務する個人であり、すべての資金を提供する。経営のリスク負担は事前に決定されているだけでなく、甚大な被害があった場合はその都度オーナーが調査に訪れ、協議によって責任の所在とリスク負担割合を決定する。不慮の自然災害による被害の場合には両者が応分のリスク負担を行うが、経営管理や養殖技術上の瑕疵によって生じた被害の場合はヒエップ氏の一方的な負担になる。先の事例でも見たように、当地での貝養殖技術は必ずしも高度に確立しているとはいえず、通常時であっても被害率は20～30%に上る。したがって、こうした外部資本の参入による契約経営が一般化することになれば、漁民経営の安定的かつ持続的な所得向上に必ずしも寄与しないばかりか、干潟の乱開発をいっそう促進しかねないことが懸念される。

【事例2】ザオアン村のエビ養殖業の事例

ポップ川を挟んでザオラック村の対岸にあるザオアン村の人口は約9,800人で、ザオラック村同様、そのうち30%が漁家人口である。漁業従事者の約15%が海岸堤防を挟む干潟と陸地側で、それぞれ海水エビと淡水エビの養殖業を営んでいる（写真6）。



写真6：ザオアン村のエビ養殖場
堤防を挟んで左が淡水，右が海水エビの養殖施設

同村は1964年に開発された入植村で、開発当時は海岸線に天然のマングローブ林がわずかに植生していたらしい。当時からエビの養殖はみられたがそれは自然生態系と調和した極めて小規模のものであった。実質的な市場経済化の動きが活発になったドイモイ政策開始直前の1983年頃から海産物需要市場が拡大し、それ以降同村を含むいくつかの村でエビ養殖業が次第に大きく展開していくことになった。ザオラック村では1995年までにエビ養殖場の開発のために100 haの干潟が開発されている（写真7）。



写真7：干潟を開発して造成されたエビ養殖場（左）
ザオアン村地先の干潟には100 haの養殖場が広がっている
写真8：エビ養殖池の堤防を切って海水の入れ替え（右）

エビ養殖の年間カレンダーは次のとおりである。まず1月に稚エビを養殖池に放流する。4月から7月にかけてが最大の収穫期であり、その後は次第に収穫量が減少するため主力は内陸側の淡水エビに移行する。11月から12月にかけての2カ月間は干潟側養殖池の堤防を一部開放し、養殖場内の海水のサーキュレーションを行い、有害物質の排出を行う（写真8）。

このように閉鎖された養殖池の中で大量の薬剤（抗生物質）や飼料を投与して行われる大規模なエビ養殖業の展開は、水質等、干潟域の環境に大きな影響を与えている。このため、1997年にはザオアン村のエビ養殖場周辺では1,000 haに及ぶマングローブを植林する5年間のプロジェクトが行われた。同プロジェクトは、ベトナム農業農村開発省、国際赤十字、各国のNGOを中心に、一部デンマーク、イギリス、日本などの政府開発援助による支援に頼っている。現在までに植林面積1,000 haのうち70%が定植に成功したと見られるが、干潟環境の保全や修復の難しさと地域住民による今後の管理の重要性を示す一つの例であろう（写真9,10）。



写真9 エビ養殖場の周囲に植林されたマングローブ（左）

漁民が許可なく入場することは制限されている
写真10 ベトナム環境省の研究所分室のマングローブを用いた実験圃場（右）

5 タイ、シャム湾西北部の干潟の現状と干潟ツーリズムの諸相 (五十嵐 勉)

2005年8月、科学研究費(長 安六代表、「アジアにおける農業近代化の地域社会的影響と持続可能な発展方向の模索的研究」)の調査で、タイのイサーン(東北部)とシャム湾北西部を訪れた。前者は、サトウキビと天水稲作農村(コンケン郡ナーファイ村)における共有溜池・湿地と共有農地、及び共有林野(コミュニティ林)での資源利用システムに関する2年目の研究で、後者はチャオプラヤデルタ地帯のマングローブ干潟域での海面干拓と塩田、およびエビ養殖場開発に関する予備的調査であった。

イサーンの農村では、高投入型の輸出用多収量品種米の栽培、多国籍企業による種苗の契約栽培、中華系資本による大規模製糖工場との契約によるサトウキビの単作農業、製紙会社との契約によるユーカリの植林地など、近代化とグローバル化によって「単一化」が進むタイ農村問題のオルタナティブについて分析した。

ナーファイ村では、屋敷林や農地の中の樹木、水路沿いの樹林帯、共有地・共有資源としての樹林に覆われた溜池や共有林の持つ景観の多様性に注目した。トウガラシの商品栽培と、その畝間に植えられた自給野菜を栽培する村の共有地は、小規模な溜池を整理・拡張して掘られた二つの共有溜池から灌漑される。同時に、一つの溜池では村人による自給的漁撈が日常的に行なわれ、漁撈が禁止されているもう一つの溜池では、年に一度の池浚い前に、一斉漁獲が行なわれ、その販売が村の共益費として活用されている。コストダウンを目的とした低投入型農業は、モンスーンアジアの稲作地帯に共通した水田漁撈を復活させ、溜池周囲への果樹をはじめとする有用植物の植栽は複合農業として広範囲に普及し始めた。村人の取り決めによる共用林の伐採禁止による潜在的な自然植生の再生は、キノコや食用昆虫をはじめとする植物資源採取の復活に?がっている。

干潟やマングローブ林が残るシャム湾岸においても、集約的なエビの養殖場と広大な干拓地塩田での塩生産・製炭業など、グローバル化の典型的な土地利用景観に出会うことができる。調査地のアンパワ郡の諸村落は、シャム湾の中でもマングローブ干潟が比較的残されているが、多くは塩田とエビの養殖池に開発されている(図1)。

マングローブ林の伐採によるエビの養殖池の造成や木炭製造は、1960年代にはこの地に普及し、特に1980年代には急激な開発の波にさらされ、マングローブ林の減少が大きな問題となった。



図1 調査地概要

(Royal Thai Survey Department 発行の1/50,000地形図)

図中の沿岸部のうち、白色は灌漑水田、水色は塩田、もしくはエビの養殖池、及び自然湿地、緑地はマングローブ林、ねずみ色は干潟を示している。

灌漑稲作は溝渠灌漑が主で、溝渠や氾濫湿地での淡水漁撈や沿岸域ではマングローブ林内でのカニの採取が行われている。塩田は、一部路上で販売されるが、そのほとんどが輸出用で、「最高の塩」・「宝塩」の商品名で日本に輸出されている。



塩田と日本向けに精製・パッキングされた塩

タイでは、国王の命により1996年12月に天然マングローブ林の伐採禁止が打ち出された。タイのマングローブは、南部のプーケットをはじめとするアンダマン海に面する地域と、ナコン・シ・タマラートなどシャム湾に面する地域に集中する。これらは、同時にタイ有数の観光地に隣接する地域でもある。



エビの閉鎖系養殖池(左)とマングローブ木炭工場(右)

調査地のシャム湾北西部は、バンコクから車で2時間程の距離にあり、終末にはバンコクの中産階級の旅行者で、海水浴や直売所、海鮮レストランが賑わいを見せる。ガザミ、ラックタイガー、カプトガニ、カキなどマングローブや干潟の魚介類が、再び干潟やマングローブでの生物資源利用が活況を呈し始めていた。



海産物直売所の風景

同時に、病害防除や収穫の危険分散をはかるための汽水性の河川域や海水を流入させる開放系の池での自然採捕型のエビ養殖も増加し、閉鎖系の養殖池でも周囲にマングローブを再造林するような複合養殖が見られはじめた。これらの環境負荷の小さい養殖や干潟域の共有漁場における採捕活動は、観光地化が進む沿岸域での海鮮料理店の需要増加（地産地消・地域自給）が支えている。



汽水性河川でのエビ養殖場（左）とエコツーリズム用ゲストハウス（漁家民泊）

このような湾西北部での干潟やマングローブ林は、外国人観光客よりもバンコク大都市圏からの利用者が、そのほとんどを占め、内需型のルーラル（マリーン）ツーリズムが進展している。同時に、マングローブ林を漁船で案内し、来水性河川の抗上家屋を利用した宿泊型のエコツーリズムも現れた。シャム湾岸の沿岸域エコトーンでは、近代化やグローバル化による単一の景観生態系から、多様性を回復する景観も共存し始めた。今後の詳細な調査によって、これらの持つ可能性が検討されねばならない。

6 バングラデシュの干潟の現状（稲岡 司）

（1）スンダバン

Sundarbans（スンダバン、「美しい森林」の意）はベンガル湾の海岸ベルトに沿った、インドとバングラデシュにまたがる広さ 9630km² の地域である。森の多くは処女林で、ガンジス・デルタの何千もの蛇行河川・クリーク・川が流れ、海岸線はマングローブ林が群生している。バングラデシュでは南西部のクルナ県の南に広がり（約 6000 km²）、スンダバン国立公園として 1997 年に世界遺産にも指定された。スンダバンの気候は暖かく、湿度が高い。雨期は 6 月から 9 月までだが、この時期には頻繁にサイクロンに襲われる。また干潟の差が激しく高潮による被害もある。

そこに生息する動物として、世界的に有名なベンガルトラ、アクシスジカ、イノシシ、チータ、ジャングル猫、スナドリネコ、野鶏、アカゲザル、マンゲース、シラサギ、鶴、ハクトウワシ、白ミサゴ、オグロシギ、ダイシャクシギ、チドリ、ムナグロ、オナガガモ、ホシハジロ、コガモ、ワニ、トカゲ、海亀、スッポン、ニシキヘビ、キングコブラ、などが確認されている。スンダバンに入るにはクルナにある森林局から許可を取らねばならず、一般人の立ち入りは規制されているが、それでも船上生活の漁師による漁労（車エビもる）の他、炭作り（10 月中旬～2 月中旬）や蜂蜜採集（4 月～5 月）が行われる。

（2）テクナフ

Technaf はバングラデシュ最東南端（ベンガル湾沿い）にある地域で、川を挟んでミャンマーと接している。ベンガル湾側には砂浜が広がっており荒れることも多いが、ベンガル湾の豊富な魚介類をとる漁業の町として、また塩田から塩を作る所として、あるいは海水浴をする観光地として有名である。川が流れ込むミャンマー国境側の汽水地域にはマングローブ林が広がり、2つの国をまたいで専門の漁師が盛んに漁労活動を行っているほか、エビの養殖も行っている。



【連絡先】

佐賀大学有明海総合研究プロジェクト

Ariake Sea Research Project, Saga University

〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町 1 番地

Phone/Fax : 0952-28-8846

URL : <http://www.ariake.civil.saga-u.ac.jp/index.html>



<http://www.ariake.civil.saga-u.ac.jp/index.html>

