

調査観測兼清掃船による有明海・八代海 の環境調査について

国土交通省九州地方整備局
沿岸防災対策官

奥村靖浩

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

調査観測兼清掃船による有明海・八代海の環境調査について

The environmental research of the Ariake sea and the Yatsushiro sea by an investigation observation and sea surface cleaning vessel

国土交通省 九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所

熊本新港分室（有明・八代海海洋環境センター）

奥村 靖浩

Yasuhiro OKUMURA

1. はじめに

有明海・八代海は閉鎖性の浅海域であり、阿蘇の火山灰土等の微細な土砂が全域に堆積し、独特の干潟性の海岸が形成されている。また、主として大規模な河川等から輸送される様々な物質の循環作用や周辺海域からの栄養塩類の供給等から豊かな生態環境を有し、古くから「宝の海」として、活発な水産活動が展開されてきた海域である。

しかしながら近年、漁獲量の減少、魚種の変化、水質の悪化、浮泥の堆積等様々な環境問題が生じ、深刻化した閉鎖性海域での環境問題に対して総合的な海域環境の保全・再生が求められていた。

このような中、国土交通省 九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所では、総合的な海洋環境整備事業の一環として、調査観測兼清掃船（以後、環境整備船という）「海輝」を導入し、平成 16 年度から海面の浮遊ゴミを回収する海面清掃に加え、定期的な海域環境のモニタリングである定期環境調査を実施してきた。また、平成 24 年度からは新たな環境整備船「海煌」を導入し、2 隻の環境整備船により海面清掃と定期環境調査を実施している。

本稿では、先ず環境整備船の役割及び性能を示し、次いで現在実施している定期環境調査の概略、トピック事項等について紹介する。

2. 「海輝」及び「海煌」の業務内容

「海輝」及び「海煌」が所属する熊本港湾・空港整備事務所の海洋環境整備事業の主な担務海域は、図 1 に示す有明海、八代海及び橘湾であり、合計約 3,728km²の海域を担当している。（表 1 参照）。

「海輝」及び「海煌」は、それぞれ熊本港及び八代港を基地港として、定期環境調査や海面清掃等に従事している（表 2 参照）。

表 1 海輝及び海煌の担務海域とその面積

海域名	有明海	八代海	橘湾
面積	1,700km ²	1,253km ²	775 km ²
合計	3,728km ²		



図 1 「海輝」及び「海煌」の担務海域

表2 「海輝」及び「海煌」の業務内容

	業 務 内 容
定期環境調査	有明海・八代海の海域環境の長期的な変動を把握すること及び環境特性（未解明事象）の解明に資することを目的として実施している。
海面清掃	船舶航行の安全を確保し、海域環境の保全を図るため、海域（港湾区域、漁港区域を除く）において、海面に漂流する流木等のゴミの回収を実施している。

3. 調査観測兼清掃船「海輝」「海煌」の性能

熊本港湾・空港整備事務所で保有している2隻の環境整備船「海輝」、「海煌」の概略性能を表3に示す。

「海輝」は平成15年11月、「海煌」は平成24年4月に就航した双胴船であり、ともに調査観測用として、採水器、採泥器、高性能音響測深機、潮流観測装置等を装備している（写真1参照）。

表3 熊本港湾・空港整備事務所が保有する環境整備船

船名	海輝（かいき）	海煌（かいこう）
外観写真		
就航年月	平成15年11月	平成24年4月
船種	調査観測兼清掃船	調査観測兼清掃船
船型(材質)	対称型双胴船(耐食アルミニウム合金)	非対称型双胴船(鋼)
総トン数	99トン	195トン
大きさ	全長27.0m,幅9.0m,深さ2.8m,吃水1.2m	全長35.0m,幅11.0m,深さ4.1m,吃水2.2m
回航速力	27.6ノット(ウォータージェット方式)	14.8ノット(固定ピッチプロペラ)
係留水深	3m(基地港…熊本港ー3m泊地)	4m(基地港…八代港ー4m泊地)
ゴミ回収能力	コンテナ(7.5m³)×2個=15m³ (概ね水深4m以上の水域に対応)	コンテナ(7.5m³)×4個=30m³ (概ね水深5m以上の水域に対応)
主要設備	<調査観測機器：常時搭載> グラブ型採泥器(スミス・マッキンタイヤー型採泥器) 遠隔自動採水器(LW10141、ケーエンジオリンク) 自動水質測定装置(YSI-6600、ワイエスアイ・ナノテック) 水中調査装置(ROV) 高性能音響測深器(HS-600F、古野電気) 超音波式多層流速計(Workhorse600kHz、RDI)	
	<調査観測機器：必要時に搭載> 柱状採泥器(コアサンプラー) 泥層密度計測装置	
	<海面清掃用機器> ・多関節クレーン、塵芥回収装置など	<海面清掃用機器> ・多関節クレーン、塵芥回収装置 ・小型ゴミ回収船「むつごろう」など



遠隔自動採水器と自動水質測定装置 グラブ型採泥器(スミ・マッキンタイヤー型採泥器) 北原式プランクトンネット

写真1 主な調査観測機器

また、海面清掃用としてスキッパー式の塵芥回収装置、チェンソー付の多関節クレーン等の海面清掃用の装置も装備している。「海輝」は総トン数が99トンと小型であるが、ウォータージェット方式の推進装置を備え、27.6ノット(51km/h)で高速に移動することができ、7.5m³の塵芥回収コンテナを2個搭載している。「海煌」は、総トン数が195トンと「海輝」の2倍で、回航速度は14.8ノット(27.4km/h)と「海輝」に劣るが、7.5m³の塵芥回収コンテナを4個搭載し、漂流ゴミの回収能力は「海輝」の2倍である。また、「海煌」には、浅海域対応の小型ゴミ回収船「むつごろう」を配備し、環境整備船が侵入することができない浅海域における漂流ゴミの回収が行えるようになっている。

4. 2隻体制による調査

(1) 定期環境調査の方向性

有明・八代海の海域環境の長期的な変動を把握すること及び環境特性(未解明事象)の解明に資することを目的として実施している。

定期環境調査の計画は、有明・八代海の湾奥から湾口までの長軸断面を1日で観測することが可能であるという環境整備船の特徴を活かしつつ、①他機関が実施する調査を俯瞰的に捉える調査、②他の機関で実施できていない調査といった2つの観点から策定している(表4参照)。

具体的には、①の観点からは、福岡県・佐賀県・長崎県・熊本県により一斉に実施されている「浅海定線水質調査」を俯瞰的に捉え、湾全体の成層状況を詳細に把握するために、有明海及び八代海の湾軸ラインでの「水塊構造調査」を行っている。②の観点からは、計画策定当時に経年変化を評価できるデータが取得されていなかった、底質・底生生物に焦点を当て、経年変化の評価が可能なデータの取得を目的に「底質・底生生物調査」を実施している。また、有明・八代海では最大6mもの干満差があり、潮位変動に伴う水質変動が大きいと言われているものの、そのような基本的なデータの報告が少なかったことから、環境整備船を八代海湾奥部の定点に係留して1潮汐間の水質・流動の鉛直分布の変化を把握する「定点連続水質調査」を実施している(表5参照)。

なお、平成22年度以降の定期環境調査計画は、環境特性及び環境変動を把握することを目的として「水塊構造調査」、「定点連続水質調査」及び「底質・底生生物調査」について、調査点の追加等の計画見直しを行った。

表4 定期環境調査の基本理念

①他機関の調査を俯瞰的に捉える調査	②他の機関で実施できていない重要な調査
➤ 水塊構造調査	➤ 底質・底生生物調査 ➤ 定点連続水質調査

(2) 調査内容

定期環境調査の概要を表5、調査位置を図2、年度別の調査実施状況を表6に示す。

1) 水塊構造調査

「水塊構造調査」は、多項目水質計を用いて水質の鉛直分布を計測するものであり、水温・塩分等の水質の鉛直断面特性から①水塊構造の季節変化及び経年変化の把握、②貧酸素水塊及び赤潮の発生と水塊構造の関係を把握す

ることを主目的として、各月の大潮期と小潮期に各 1 回を基本に実施している。

有明海では、有明中央ラインの 10 地点に加え、平成 23 年度以降は有明東ラインの 8 地点を追加し、計 2 ライン 18 地点で行っている。この有明東ラインは、有明海東側浅海域(干潟前面海域)の水塊構造を把握することを目的に追加したものである。

八代海では、八代中央ラインの 10 地点に加え、平成 24 年度から八代西ラインの 6 地点と元ノ尻瀬戸 1 地点を加えた計 2 ライン 17 地点で行っている(図 2 参照)。

2) 底質・底生生物調査

「底質・底生生物調査」は、底質の変化及び底生生物減少の関係について把握するため、年 1 回 5～6 月に、有明海 10 地点と八代海 7 地点の計 17 地点で実施している。

3) 定点連続水質調査

「定点連続水質調査」は、八代海における水質の時間的変動を把握し、同時に貧酸素水塊の発生の有無等を把握するため、球磨川河口沖に 2 点設定し、貧酸素水塊が発生しやすい夏季(8 月)に 2 回実施している(図 2 参照)。

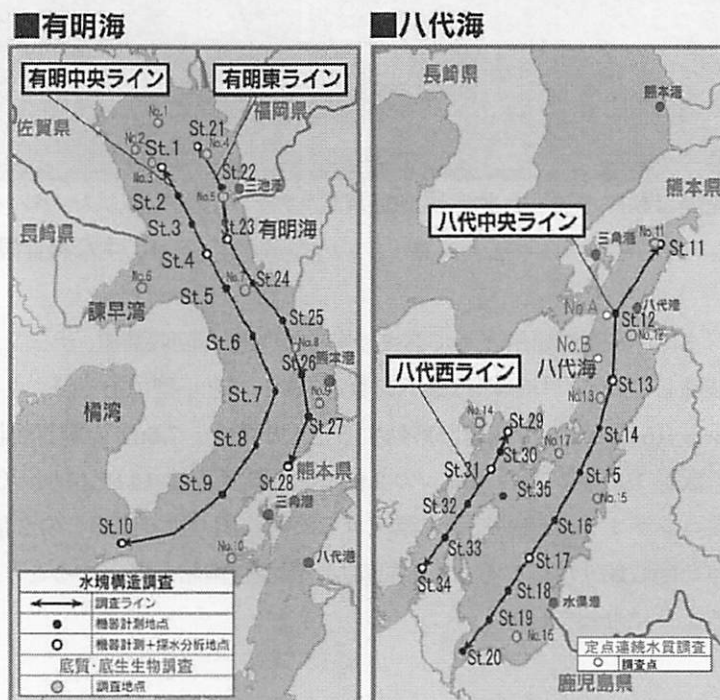


図 2 環境調査位置図

表 5 定期環境調査の概要

調査名	調査の目的・概要	検討項目	項目	時期
水塊構造調査	- 全域での水温・塩分等の水質の鉛直断面特性から水塊構造の季節変化、経年変化を把握。また貧酸素水塊や赤潮の発生と水塊構造の関係を把握 - 大潮期と、貧酸素水塊が発達するとされる小潮期にも調査を実施 - 各県が実施している浅海定線調査と調査日をあわせて実施	- 水塊構造の季節変化、経年変化 - 貧酸素水塊の発生状況と平面的分布状況 - 貧酸素水塊発生と水塊構造の関係 - 赤潮発生時の水塊構造	<機器計測> - 多項目水質計：水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィルa <採水分析> 3点3層で採水：濁度、SS、クロロフィルa、植物プランクトン、動物プランクトン	基本 月 2 回
底質・底生生物調査	底質、底生生物の分布、経年変化を把握	- 底質、底生生物の経年変化 - 底質、底生生物の長期的変動 - 底質と底生生物減少の関係	<機器計測> - 多項目水質計：水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィルa <底質分析> - 採泥分析：粒度組成、全硫化物、含水率、単位体積重量、強熱減量、T-N、T-P、COD、クロロフィルa、ORP <底生生物> - マクロベントス	年 1 回 (春季)
八代海定点連続水質調査	水質の時間的変動を把握し、貧酸素水塊の発生の有無等について把握	- 水質の時間的変動 - 貧酸素水塊発生状況	<機器計測> - 超音波式多層流速計：流動の鉛直断面 - 多項目水質計：水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィルa	年 2 回 (夏季)

表 6 年度別の調査実施状況一覧

年度	水塊構造調査	底質・底生生物調査	定点連続水質調査	備考
実施状況	H16～21 有明中央ライン(St.1～10) 八代中央ライン(St.11～20)	有明海:No.1～10 八代海:No.11～16	(年2回 夏・冬) 有明海:1 地点 八代海:1 地点	・断面流況調査実施 有明海湾奥・有明海湾口 八代海 (年4回)
	H22～23 有明中央ライン(St.1～10) 八代中央ライン(St.11～20) 有明東ライン (St.21～28)	有明海:No.1～10 八代海:No.11～17	(年2回 夏のみ) 八代海:1 地点	・新計画による調査 ・有明東ラインを追加 ・底質調査地点を1点追加 ・定点連続水質調査の有明海を取りやめ
	H24～26 有明中央ライン(St.1～10) 八代中央ライン(St.11～20) 有明東ライン (St.21～28) 八代西ライン (St.29～34)	同上	八代海:1 地点 (計画では2 地点)	・「海煌」就航 ・八代西ラインを追加 ・定点連続水質調査の八代海を2 地点に

5. 調査方法

(1) 水塊構造調査

水質調査における観測機器は、多くの水質項目の鉛直分布を高精度で迅速かつ同時に測定できるという観点から多項目水質計 (YSI-6600) を採用している。この多項目水質計を船上から海底付近まで垂下して、表 7 に示す項目について海面から海底面上 1m まで 0.5m ピッチで測定している(写真 2 参照)。

これらの測定項目のうち、濁度とクロロフィル a については、海中懸濁物や植物プランクトンの種類や量等、海域特性や当日の条件に測定値が左右され、採水して室内分析した値 (分析値) と大きな差が生じることがある。このため、それぞれの調査ラインのうち 3 地点において、表層 (水深 0.5m)、中層 (水深 5.0m)、下層 (海底面上 1m) の 3 層で採水し、分析値と多項目水質計による測定値との関係式を求め、測定値を補正している。

室内分析試料の採取に用いる採水器は、遠隔自動採水器 (LW10141) とバンドン採水器を併用している。遠隔自動採水器は、上記の多項目水質計と組み合わせることで採水水深とその測定値を確認しながら採水できるという利点がある。表層採水では、船の動揺による気泡の混入や漂流物など異物が混入する恐れがあるため、海面の状況を直接目視確認しながら採水できるバンドン採水器を使用している。採水試料は直ちに冷蔵保存し、帰港後速やかに室内分析を実施して、分析値と機器測定値との関係から最小二乗法により補正式を作成している (図 3 参照)。

植物プランクトンは水質調査と同じ採水器を用いて海水 1L を採水して分析試料としている (採水法)。動物プランクトンは、北原式ネット (目合い 100 μm) を用いて、水深 10m から海面まで (水深が 10m より浅い調査点では、海底面上 1m の深さから海面まで) を曳網距離が 50m になるように繰り返し曳網し、定量性に留意して試料を採取している。採取したプランクトン試料は、固定液を加えて固定して持ち帰り、顕微鏡で室内分析を行っている。

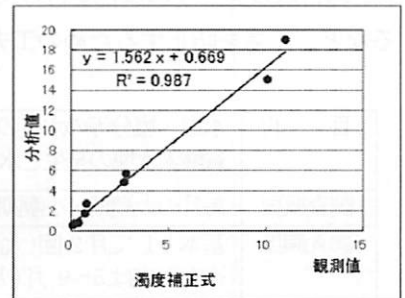
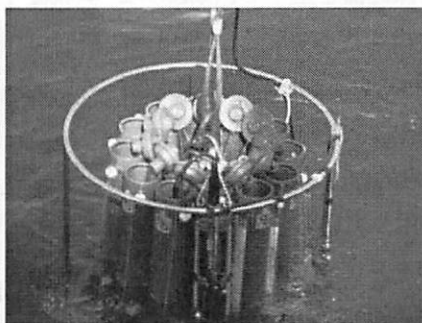


図 3 機器測定値の補正式
補正式は、分析値を正值として最小二乗法により算出している。なお、観測値と分析値の関係は、通常とは縦横軸を入替え、関係式 $y=ax+b$ を直感的に把握できるように表現している。



バンドン採水器



遠隔自動採水器



試料瓶への分取作業

写真 2 水塊構造調査の使用機器と作業状況

なお、水塊構造調査では、以下のようなことに注意して実施している。

○多項目水質計及び遠隔自動採水器の垂下速度

多項目水質計及び遠隔自動採水器は、甲板にあるジブクレーンを使って海中に垂下し、船室のモニター画面でリアルタイムに水深を確認しながら、遠隔操作によって採水を行う。多項目水質計は、水深が 50cm 増す度にデータを収録してゆくが、この時、垂下速度がセンサーの反応速度よりも速すぎると、欠測となったり異常値を取得することがある。海が荒れて船が大きく揺れると、センサーの潜行速度が急変して欠測が生じやすくなるため、低速でクレーンを操作するよう、特に注意して実施している。

○調査時の海況条件

湾口部では、海が荒れると外海の影響を受けて波が高くなり、調査を行えないことがある。また、湾口付近は海底の地形変化が大きい上に潮流が速く、水深が急激に変化して海中に下した多項目水質計のセンサーが海底に衝突し破損してしまう危険がある。特に海嶺は、海中に下した機器がプロペラに巻き込まれてしまうことのないようにエンジンを停止して調査を行っており、海底への衝突事故が起きないように細心の注意を払って測定している（写真 3 参照）。

○人為的なミスの防止

遠隔自動採水器には合計 8 本の採水筒があり、遠隔操作で順に蓋を閉じていく。全水深の半分の水深（中層）で 4 本、海底面上 1m の水深（下層）で 4 本の試料を採取しているが、試料瓶に分取する際に取り違えることのないように、シリンダーの番号を確認するとともに、試料瓶のラベルには色を付けて、視認性を高めて区別しやすくするなど、ミスを防止するための工夫も行っている。



写真 3 湾口での調査状況
(潮流が速く多項目水質計が横に流れる)

表 7 水塊構造調査の概要

目 的	水温・塩分等の水質の鉛直断面特性から水塊構造の季節変化、経年変化を把握する。 貧酸素水塊の発生と水塊構造の関係を把握する。		
調査概要	毎月の大潮期・小潮期の前後に水温・塩分等の鉛直分布を計測する。		
調査頻度	基本として月 2 回(大潮期・小潮期) ※有明東は 5～9 月(大潮期・小潮期)に実施。		
調査地点 調査項目	〈機器計測〉 有明海: St. 1～10、St. 21～28 八代海: St. 11～20、St. 29～35	0.5m 間隔	多項目水質計: 水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィル a
	〈採水〉 有明海: St. 1、4、10 八代海: St. 11、13、17	表層(水深 0.5m) 中層(水深 5.0m) 下層(海底面上 1.0m)	濁度、SS、クロロフィル a、 植物プランクトン、動物プランクトン

(2) 底質・底生生物調査

環境整備船からジブクレーンを使って採泥器を垂下し、海底の堆積物を採取して底質と底生生物の室内分析を行っている（表 8 参照）。底質・底生生物調査では、他の機関による調査結果と比較対照できるように、定量性のある一般的な機器を用いるという観点から、海底堆積物を定量採取するときの一般的なグラブ型採泥器であるスミス・マッキンタイヤ型採泥器を使用している。また、調査方法、分析方法は、海洋観測指針や JIS 等を基に設定している。

底生生物については、平成 16 年度に採泥回数の違いによる結果の違いに関して検討を行った。1 回の採泥毎に個別分析した計 10 試料分の種類数、個体数、湿重量について、r 回抽出する際の組み

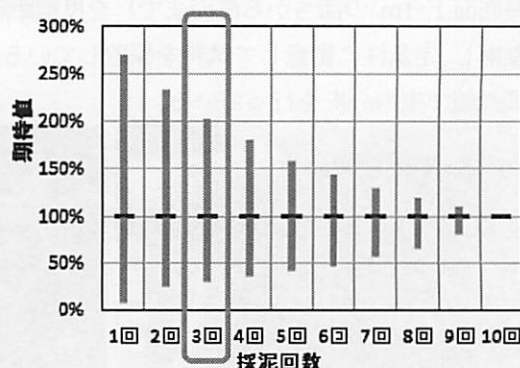


図 4 10 回採泥の結果に対する期待値
(例として No.4 の個体数について示す)
採泥回数が増える毎に 10 回分の結果である 100% に収束していく。3 回分では約 40～200% まで大きな幅があることがわかる。

合せを rC_{10} により計算した（図 4 参照）。

一般的な調査では、採泥面積 $22\text{cm} \times 22\text{cm}$ のスミス・マッキンタイヤ型採泥器で 3 回分の 0.15m^2 前後の採泥が行われることが多い。上記の検討の結果、個体数・湿重量についての 10 回採泥の結果に対する従来の 3 回採泥時の期待値は、個体数で $40 \sim 200\%$ 、湿重量では $8 \sim 110\%$ と大きな幅があることがわかった。そこで、本調査では、底生生物の経年的な生息状況の変化をより正確に把握するため、スミス・マッキンタイヤ型採泥器で 10 回採泥し 0.5m^2 を混合して 1 試料として、 0.5mm メッシュの篩でふるい、篩上に残った残滓を底生生物の分析試料としている（写真 4 参照）。

なお、底質・底生生物調査では、以下のようなことに注意して実施している。

○採取時の事故防止

採泥器は重く、揺れる船の上でジブクレーンで吊り上げる際に、振り子のように揺れることがあり、作業員や船体に当たる事故が生じやすい。このため、クレーン操作する船員と他の甲板員の連携・コミュニケーションを重視し、細心の注意を払って実施している。

○底生生物試料の抽出

採泥した底泥のうち 0.5mm メッシュの篩に残ったものを底生生物の分析試料としている。篩のメッシュが細かいため、砂の多い底質の調査点では、船上で底生生物を思うように選別できない。このため、試料の容量は多くなるものの、残った全量を持ち帰り、分析室で漏れがないように慎重に選別している。

○危険生物

有明海や八代海には、全身に毒針が生えたウミケムシの仲間（写真 5 参照）が生息しており、誤って素手で触ると火傷のような炎症を起こし、赤みや痒みがあるので、危険生物の有無を確認しながら慎重に採取している。



写真 4 底生生物調査作業状況
（ふるい分け作業）



写真 5 ウミケムシの一種
（細かい体毛は毒針で、刺されると大変痛い）

表 8 底質・底生生物調査の概要

目 的	底質・底生生物の分布、経年変化を把握する。 底質の変化と底生生物の減少の関係について把握する。		
調査概要	年 1 回春季に調査を実施する。底生生物は、1 地点における採泥回数を 10 回とする。		
調査頻度	年 1 回(春季)		
調査地点 ・ 調査項目	有明海: No. 1~10	<機器計測>	多項目水質計: 水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィル a
	八代海: No. 11~17	<底質>	粒度組成、全硫化物、含水率、単位体積重量、強熱減量、T-N、 T-P、COD、クロロフィル a、ORP
		<底生生物>	マクロベントス

(3) 定点連続調査

定点連続調査は、八代海の湾奥の定点に投錨し、超音波式多層流速計（写真 6 参照）で流動（流向及び流速）を 1 時間毎に計測するとともに、1 時間に 1 回多項目水質計を垂下し、水質の鉛直分布を計測している（表 9 参照）。超音波式多層流速計（ADCP）は、整備船から海底に向かって発信し、海中の懸濁物によって反射してくる反射波のドップラーシフトを測定することにより、層別に詳細な流向・流速を測定するものであり、本調査では、海面下 4m 以深を対象に、鉛直方向に 1m 毎の流向・流速を取得している。

写真 6 定点連続調査使用機器
（超音波式多層流速計（ADCP）の
センサー部分）

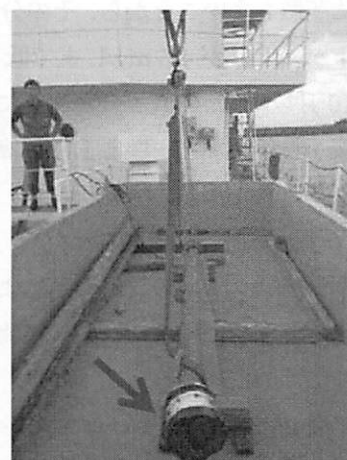


表 9 定点連続水質調査の内容

目 的	八代海における水質の時間的変動の詳細を把握する。		
調査概要	貧酸素水塊が発生する可能性の高い夏季に「海輝」「海煌」を定点に停泊させ、昼間の10～12時間、1時間毎に流動、水温、塩分、DO等の多層観測を実施する。		
調査頻度	年2回(夏季)		
調査地点・調査項目	八代海：No. A、B	〈機器計測〉	超音波式多層流速計：流動の鉛直断面 多項目水質計：水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィルa

5. 環境調査の結果

(1) 水塊構造調査

1) 水質(機器測定)

有明海及び八代海における平成25年度の夏季(8月)及び冬季(2月)の水塊構造調査結果を図5に示す。

【成層の発達状況】

有明海・八代海は、閉鎖性の高い海域であり、そこに筑後川や球磨川をはじめ多くの河川が流入しているため、春季から夏季にかけて成層が発達する。成層が発達した平成25年8月の水温・塩分の結果をみると、有明海奥部(St.1)から南部(St.9)の上層に高温・低塩分な水塊が分布し、湾口部(St.10)には低塩分水の分布はみられない。また、湾口部(St.10)の下層から高塩分・低水温の外海水が湾奥に向かって侵入している状況が伺える。八代海でも有明海同様に、上層に高温な水塊が分布しているが、低塩分な水塊は、北部海域(St.11～14)までであり、球磨川河川水の影響は南部海域にまで及んでないことが示唆される。一方、10月以降は、河川からの淡水流入が減少することに加え、海面から冷却されるため、上層～下層までほぼ様な鉛直分布を示す。平成26年2月の水温・塩分の結果をみると、鉛直的には水温・塩分ともに上層～下層までほぼ同じ値を示しているが、縦断面でみると、湾奥(St.1)で低温・低塩分で湾口(St.10)に向かうにしたがって高温・高塩分になっている状況が伺える。

【貧酸素水塊の発生状況】

有明海・八代海では、他の閉鎖性海域である東京湾・伊勢湾・大阪湾等と同様に、春季から夏季に下層に貧酸素水塊が出現し、魚介類等に多大な被害を及ぼすことがある。貧酸素水塊には公式的な定義がないため、ここでは2mg/L未満、酸素飽和度30%未満のどちらかが観測されている場合を貧酸素水塊とする。

平成25年8月20、21日(大潮)のDOの結果をみると、有明中央ラインでは、湾奥のSt.1の海底面付近に2.0mg/L(酸素飽和度29%)の貧酸素水塊がみられる。DOは、主に海面からの供給、植物(海藻草類、植物プランクトン等)の光合成により増加し、生物の呼吸や化学的な分解過程で消費される。有明海では湾奥海域の底層にほぼ毎年、貧酸素水塊が出現しているが、この要因としては、前述したように湾奥では河川流入等に伴い強い成層が生じ、鉛直混合が抑制され底層に酸素が供給されにくくなること、底質中に有機物が多く、赤潮の発生等に伴う生物死骸も多いことから、その分解過程で多くの酸素を消費していることが疑われる。八代中央ラインでは、湾奥の下層のDOが4.5mg/Lまで低下しているものの、貧酸素水塊は確認されていない。

10月以降は、鉛直混合が次第に盛んになるために貧酸素水塊は消滅し、平成26年2月のDOの結果をみると、表層から下層まで一様にDOが高い水塊が分布している。

【クロロフィルaの分布状況】

クロロフィルaは、植物プランクトンの増減の指標として測定している。有明海・八代海では、主として夏季に、植物プランクトンの異常増殖によりしばしば赤潮が発生している。このため、機器観測によりクロロフィルaを測定するとともに採水を行い、植物プランクトン等を分析している(後述)。ここでは、主にクロロフィルaの分布特性について述べる。

平成25年8月のクロロフィルaの分布状況をみると、有明海では湾奥上層、八代海では北部海域で高くなっており、この付近で潜在的に赤潮が発生しやすいことが伺える。毎年、夏季には上層に高温・低塩分な水塊が分布す

るが、この時期に増殖する植物プランクトンは、幅広い塩分条件下で増殖可能な広塩性の種が主体となっている。河川由来の栄養塩類が豊富な低塩分の水塊中で、広塩性の植物プランクトンが増殖することが、この海域でクロロフィル a の値が高くなる要因となっている。

また、平成 26 年 2 月の分布状況をみても、夏季とほぼ同じ海域で高くなっている。これは低水温を好む、夏季とは別の植物プランクトンが増殖するためである。ただし、調査結果を 1 年を通してみると、4~5 月頃や 11~12 月頃には有明海、八代海とも全域でクロロフィル a の値が低下しており、高水温期と低水温期の間の移行期には、植物プランクトンの増殖が低調になることが窺える。

【濁度の分布状況】

濁度は、海中懸濁物の量をみるための指標であり、平成 25 年 8 月、平成 26 年 2 月の結果とも、有明海湾奥海域、八代海北部海域でやや高い値がみられる。これらの海域は、大河川である筑後川、球磨川が流入している海域であり、河川からの濁水流入の影響に加え、広大な干潟等の浅海域に隣接しており、潮流の影響による底泥の再浮遊等により濁度が高くなりやすい海域である。

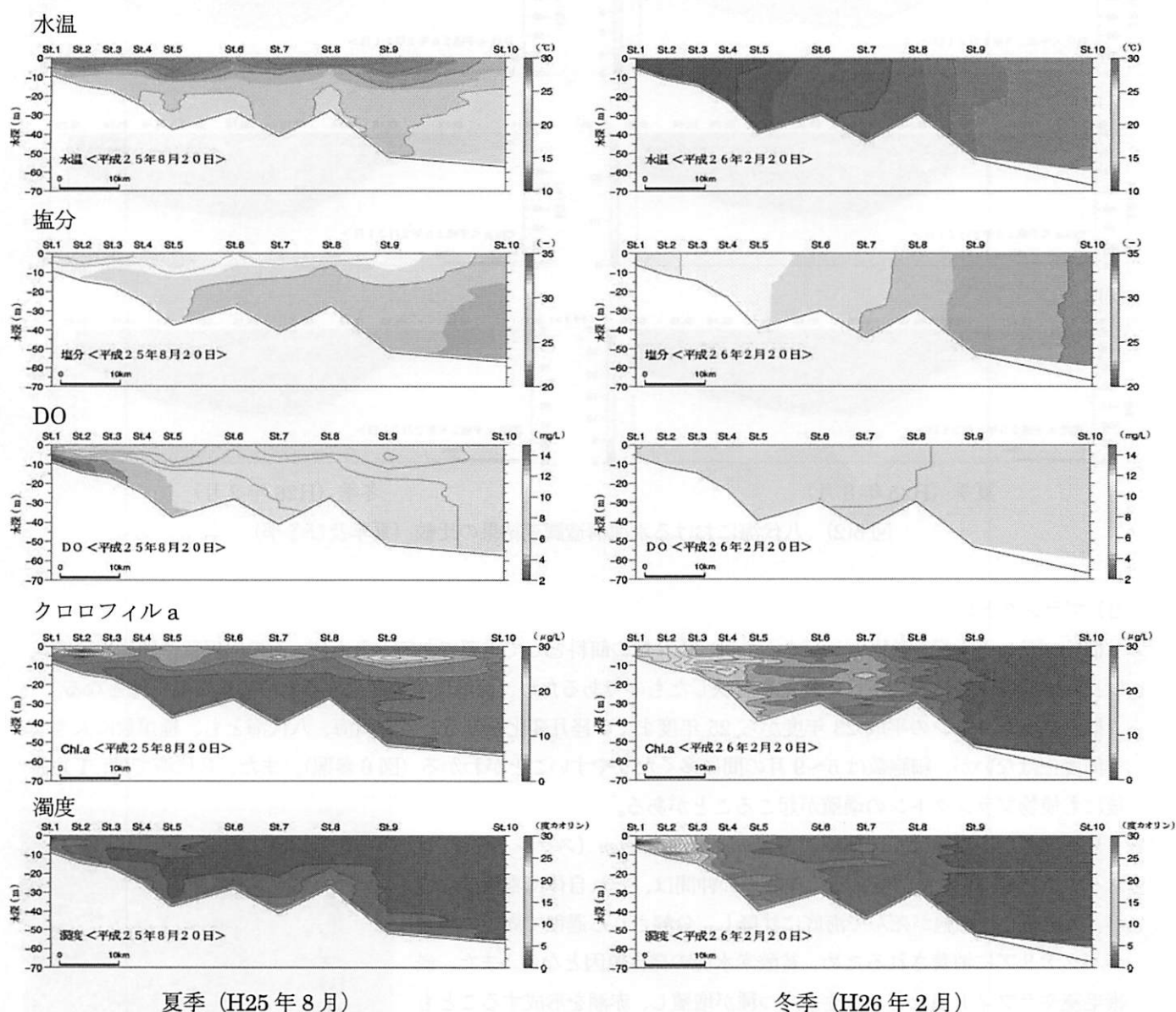


図 5(1) 有明海における水塊構造調査結果の比較 (夏季及び冬季)

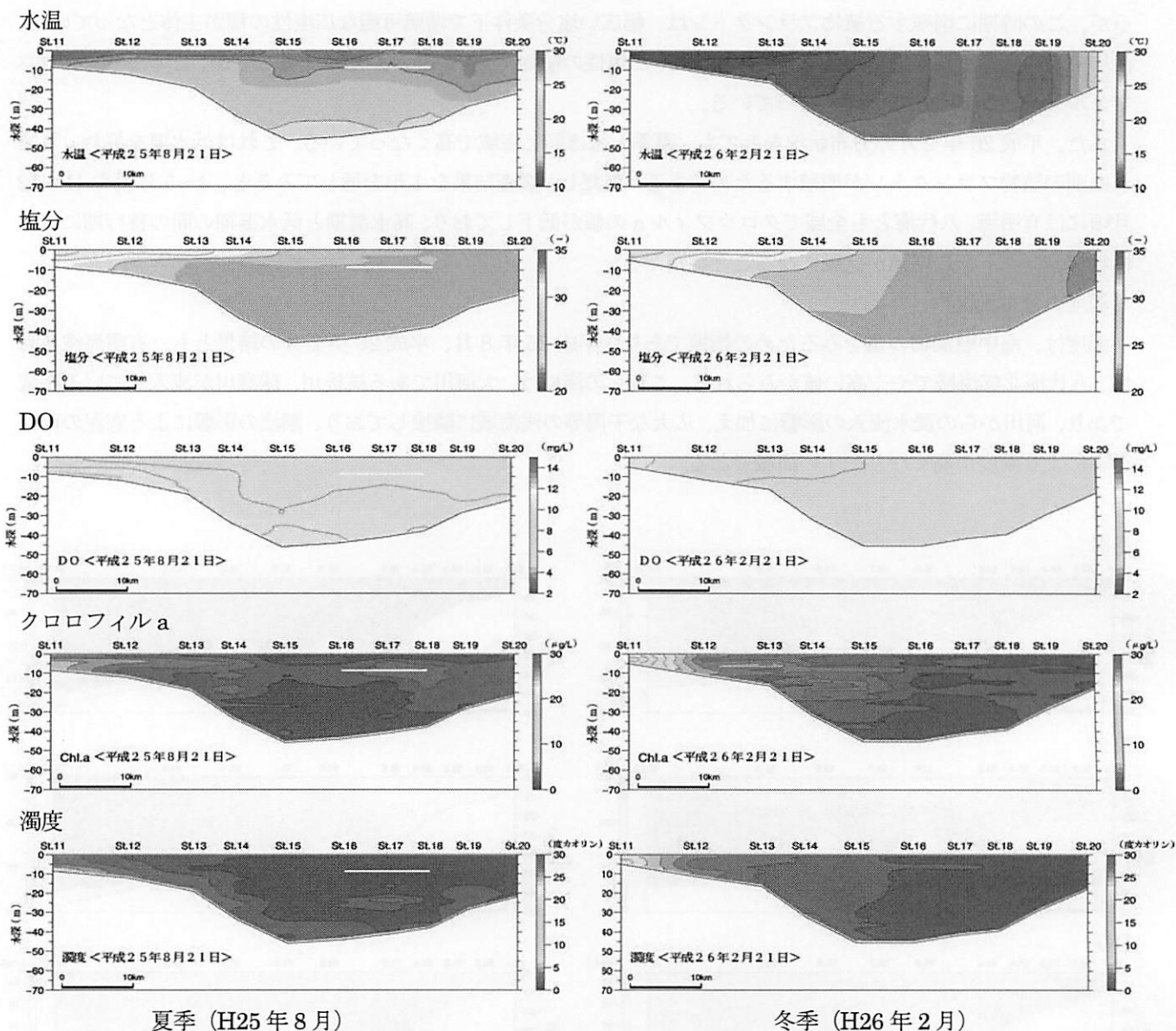


図 5(2) 八代海における水塊構造調査結果の比較 (夏季及び冬季)

2) プランクトン

植物プランクトン、動物プランクトンは、魚介類の餌料として重要であるとともに、その出現種や個体数の増減は、海域環境（特に水環境）の変化を反映したものであるため、海域環境の変化みするための重要な指標となる。

植物プランクトンの平成 23 年度から 25 年度までの経月変化をみると、有明海、八代海とも、種類数に大きな季節変化はないが、細胞数は 5～9 月の間に多くなりやすいことがわかる（図 6 参照）。また、八代海では、1 月前後にも植物プランクトンの増殖が起こることがある。

夏季の主な出現種は、珪藻綱の *Skeletonema costatum*（スケレトネマ コスタツム）（写真 7 左）である。珪藻綱の仲間は、それ自体に毒性はないが、大增殖した細胞が死んで海底に沈降し、分解される過程で周辺の酸素がバクテリアに消費されるため、貧酸素水塊の発生原因となる。また、渦鞭毛藻やラフィド藻など、毒性を持つ種が増殖し、赤潮を形成することもある。

冬季にも、珪藻綱の *S. costatum* の他、*Eucampia zodiacus*（ユーカンピア ゴーディアカス）（写真 7 右）などが増殖し、赤潮を形成することがある。

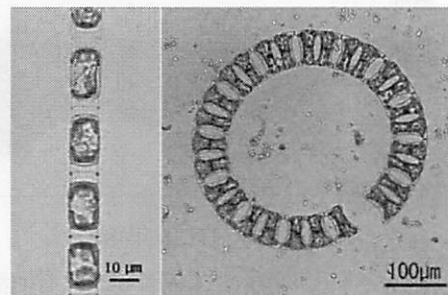


写真 7 *Skeletonema costatum* (左) と *Eucampia zodiacus* (右)

冬季の赤潮は、夏季に比べて規模は小さいが、有明海ではこれらの植物プランクトンが養殖ノリの品質に悪影響を及ぼすことが指摘されており、本調査でもその動向に注目している。

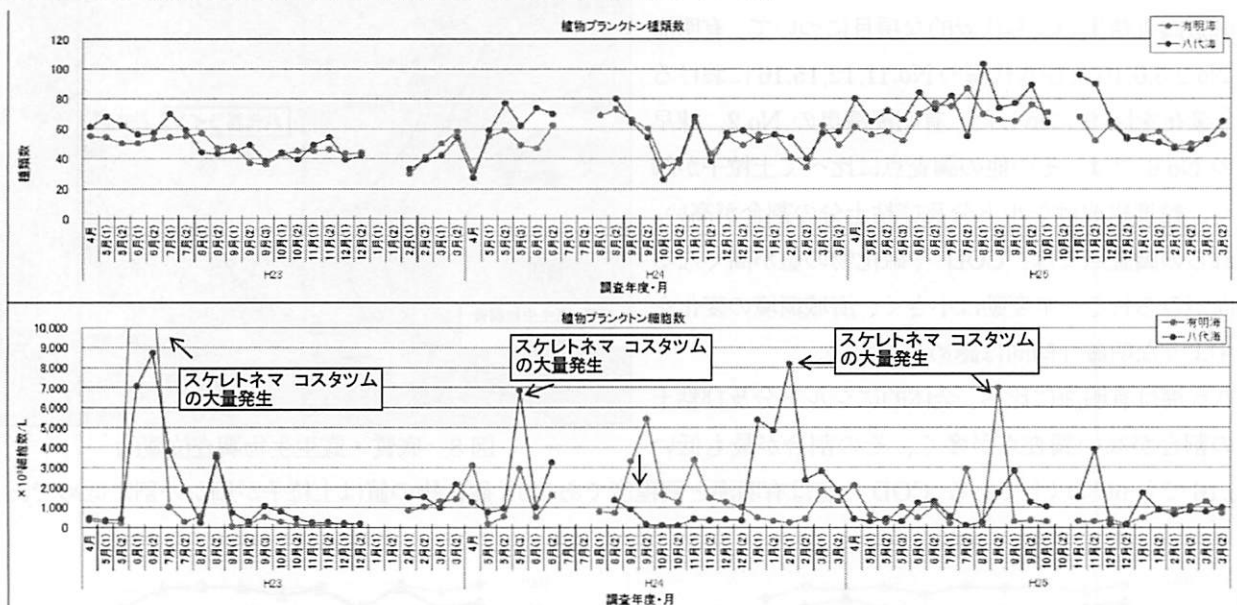


図6 植物プランクトンの経時変化 (H23～H25)

動物プランクトンでは、小型の甲殻類であるカイアシ類の種類数、個体数が多く、有明海・八代海の海洋生態系の中で重要な位置を占めている。カイアシ類は種類によって増殖しやすい時期が決まっているものがおり、水温が高い夏季には *Oithona davisae* (オイトナ ダビサエ) (写真8参照) が多くなる。本種はカイアシ類の中でも小型の種で、幼生が孵化後、成長して繁殖を始めるまでの期間が短く、大繁殖して幼生が大量出現することもある(図7参照)が、他の生物に対して害をなすようなことはない。

他に、二枚貝綱の幼生や尾索綱のワカレオタマゴ等も多数出現するが、八代海では繊毛虫の仲間など原生動物も多く出現し、有明海とは種組成の異なる群集がみられることがある。

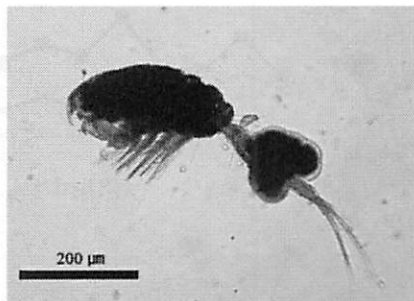


写真8 *Oithona davisae*
(夏季の主な出現種)

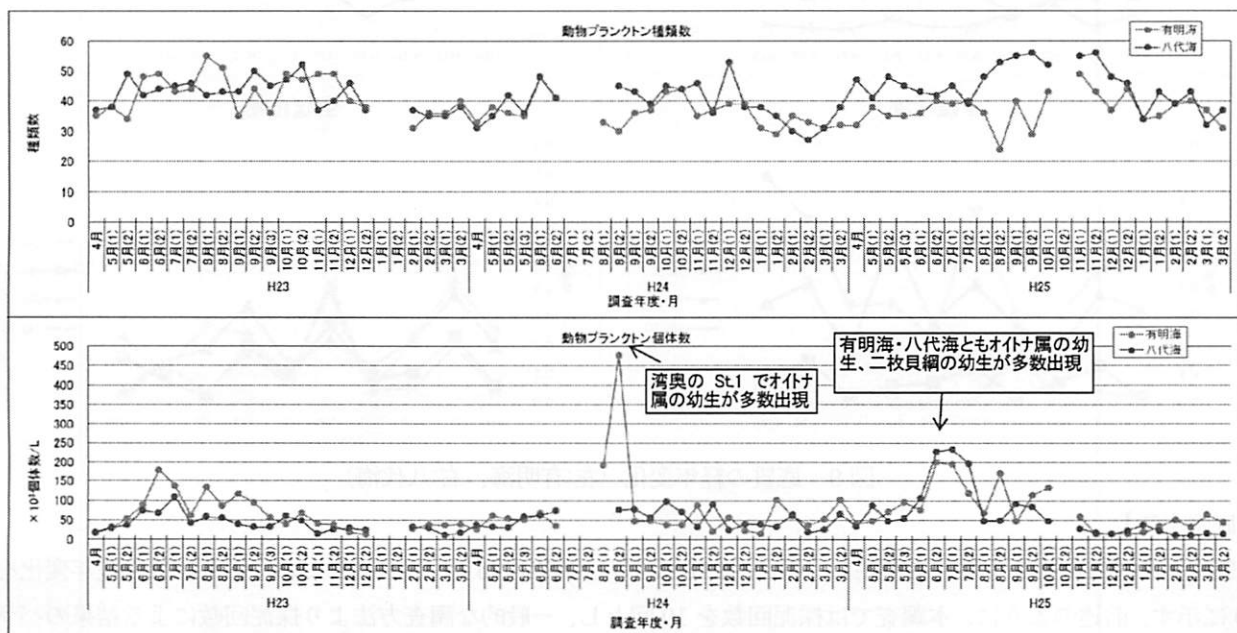


図7 動物プランクトンの経時変化(H23～H25)

(2) 底質・底生生物調査

【底質】

底質調査結果のうち代表的な項目について、有明海の No.2,5,6,10 及び八代海の No.11,12,15,16 における経年変化を図 9 に示した。有明海湾奥の No.2、諫早湾の No.6 では、その他の調査点に比べて土粒子が細かく、粒度組成はシルト分及び粘土分の割合が高い。これらの調査点では、COD や硫化物の値が高くなる傾向がみられる。年変動は小さく、海域環境の変化を示すような明確な傾向は認められない。

八代海は有明海に比べ、全体的にシルト分及び粘土分の割合が高い調査点が多く、その割合が最も低い

No.16 でも 60%以上である。COD の値は有明海と同程度であるが、硫化物の値は土粒子が細かい割に低めである。

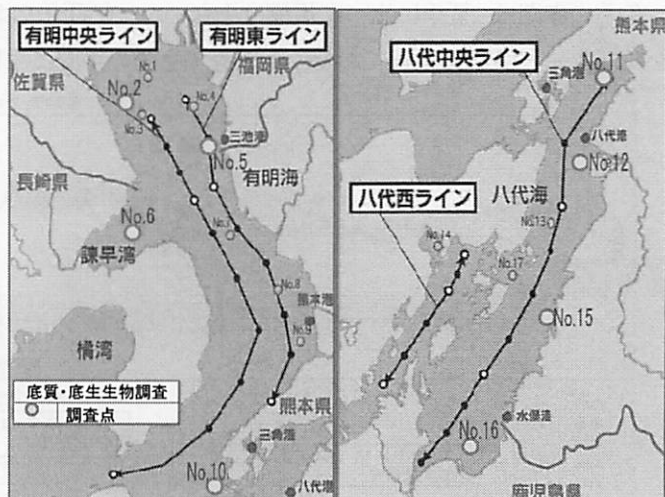


図 8 底質・底生生物調査位置図

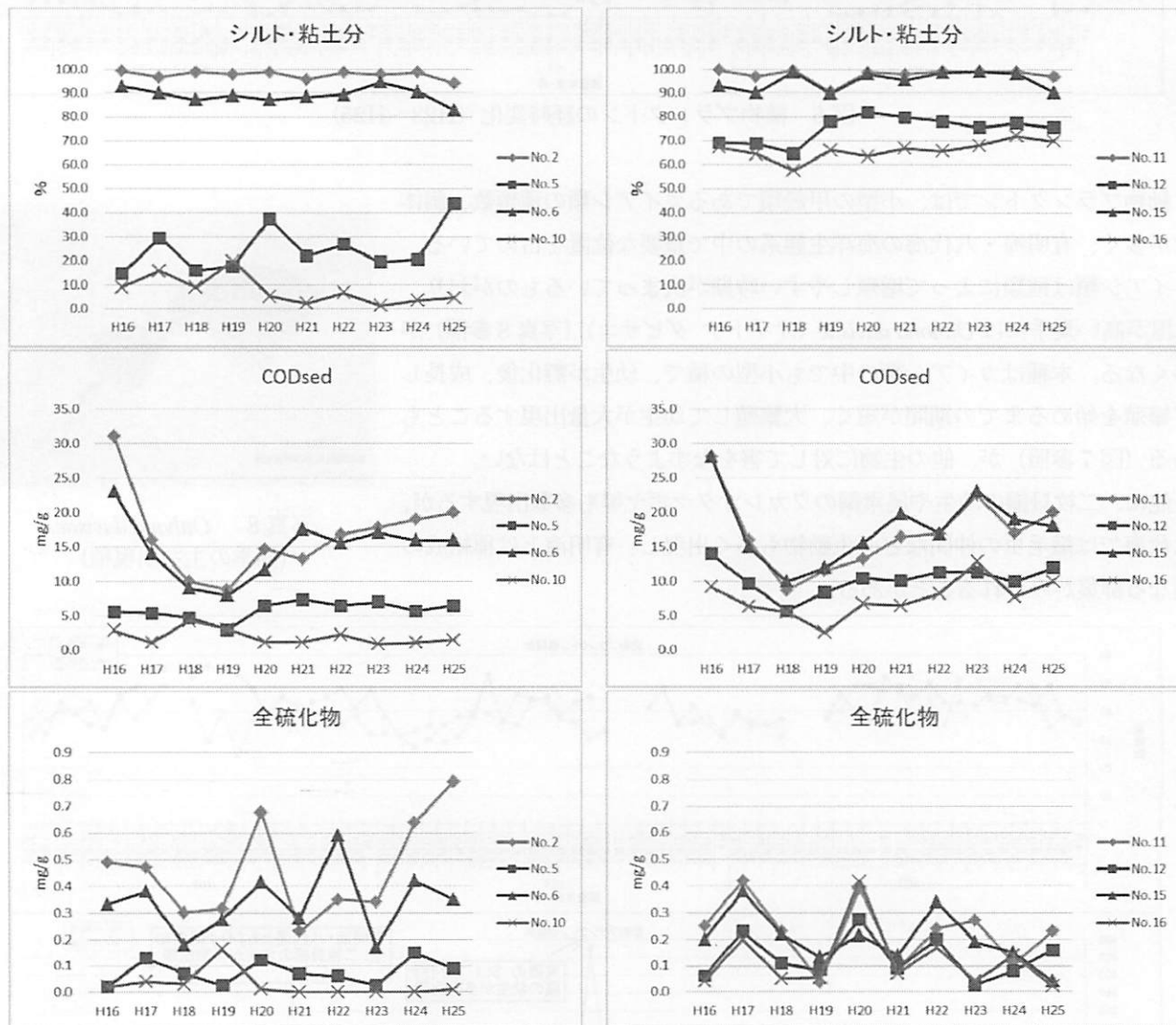


図 9 底質の経年変化 (左:有明海、右:八代海)

【底生生物】

底生生物調査結果のうち、有明海の No.2,5,6,10 及び八代海の No.11,12,15,16 における個体数の経年変化を図 10 に示す。前述のように、本調査では採泥回数を 10 回とし、一般的な調査方法より採泥回数による結果のバラツキを低く抑えているが、出現個体数には大きな年変動が認められ、特に有明海でその変動が大きい。有明海・八代

海の底生生物の個体数は、夏季から秋季に減少する傾向がみられており、その要因の一つとして、夏季における底層水の貧酸素化が考えられている。このため、本調査では春季に調査を実施しているが、それでも潜在的に前年度夏季の環境変動の影響を受けていると考えられる。

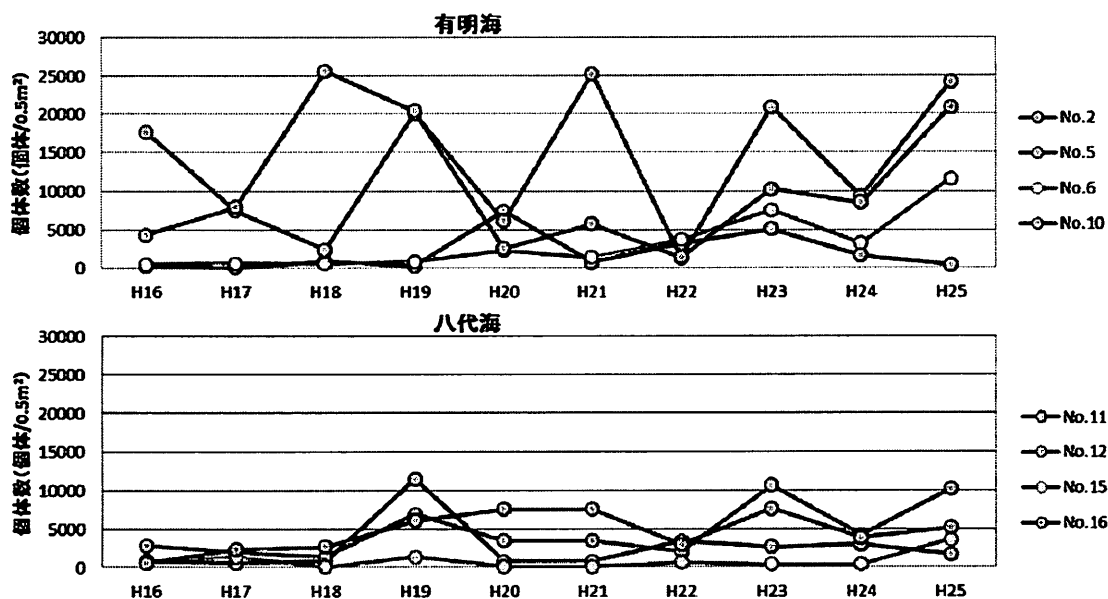


図 10 底生生物の個体数の経年変化

底生生物相の多様度を表す指標として、Shannon-Weaver 関数により求めた多様度指数の経年変化を図 11 に示す。多様度指数とは、「種の豊富さ (=種類数)」と「均等度 (=個体数の偏り)」の両者を考慮した数値として考案された指数で、種類数が多く、それぞれの種の個体が均等に出現して偏りが無い場合ほど値が高くなる。逆に多様度指数が低い場合、種類数が少なく、特定の種類が多く出現したことを示し、その場の環境が、ある限られた種類の生息に適した特殊な環境であることを示す。No.6 の平成 24 年度から 25 年度への変化のように、個体数が増え、一概に多様度が上がるとは限らない。有明海湾奥の No.2 及び No.6 では、多様度指数が低いことが多い。これは、出現種類数が少ない上、特定の数種が出現個体数の過半数を占めるためである。特に平成 20 年度の No.2 では、ドロクダムシ科の 1 種だけで 7,000 個体以上の出現個体数の 9 割以上を占め、多様度指数が低くなった。これに対して No.5,10 では、種類数が多く、個体数の偏りが小さいため、高い値を示すことが多い。

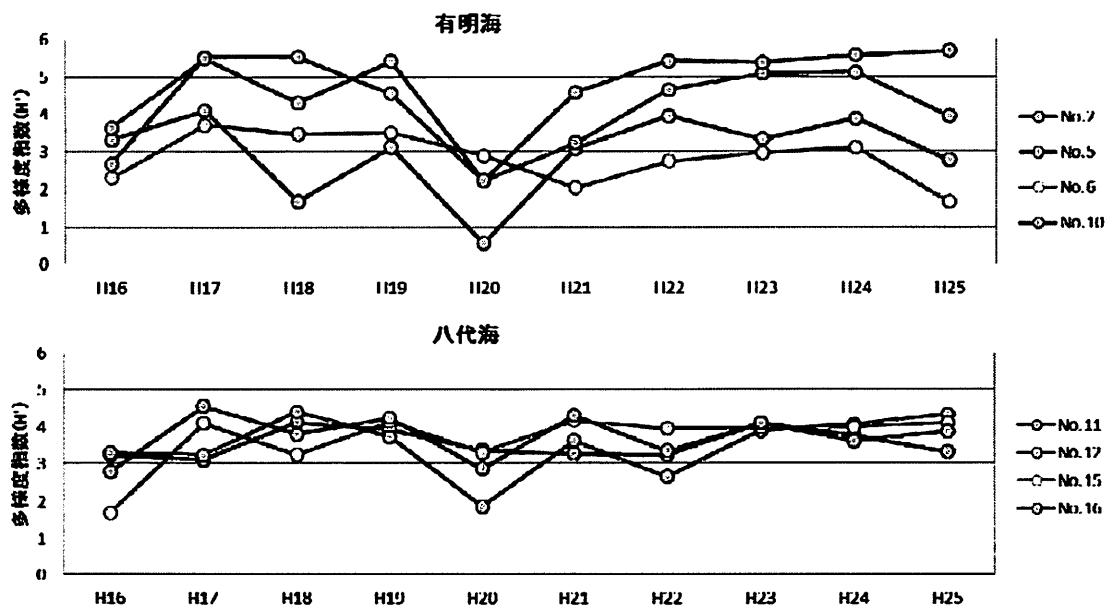


図 11 底生生物の多様度の経年変化

・底生生物による海域区分

平成 25 年度の底生生物の分析結果について、Kimoto(1967)のC_π指数を用いて各調査点の類似度を求め、その結果を海域区分図として図 12 に示す。

これを過年度の区分結果と比較すると、調査年度によって変化はあるものの、

- ①有明海では湾奥で西側と東側に大別される
- ②湾中央から湾口にかけての中央で類似性が高い
- ③八代海では湾中央から湾口にかけて類似性が高い

等の傾向は、各年度に概ね共通してみられる特徴であった。このことから、マクロベントス群集の類似性による海域区分は、経年的にはほぼ安定していることが分かる。水質は湾外水や流入河川水などの影響を受けやすいのに対し、底質は容易には変化しないことから、そこに生息する底生生物も変化が少ない。このため、底質や底生生物は海域環境の長期的な変化をみる上で有効な指標になっているものと考えられる。

・底質との相関

有明海では、調査点によって泥分（シルト分+粘土分）の値にばらつきが大きく、No.5,7,10 など砂分の多い調査点と、No.1,2 など泥分主体の調査点とでは、底生生物の種類数に大きな差がある。また、砂分の多い No.5,7,10 等では、全出現種に対する節足動物の占める割合が高くなる傾向もみられる。八代海は有明海に比べ、一様に泥分が高めであり、全体的に種類数が少なく、環形動物主体の底生生物相となっている（図 13 左図参照）。

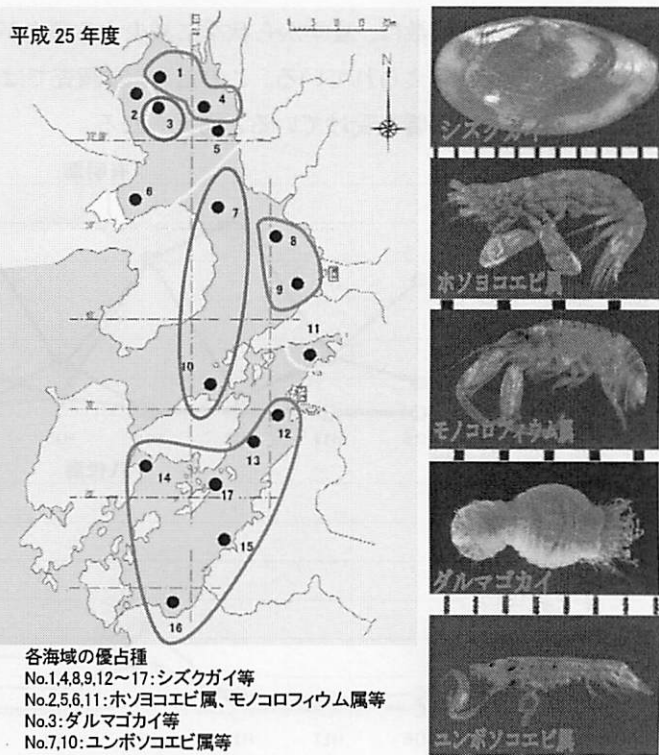
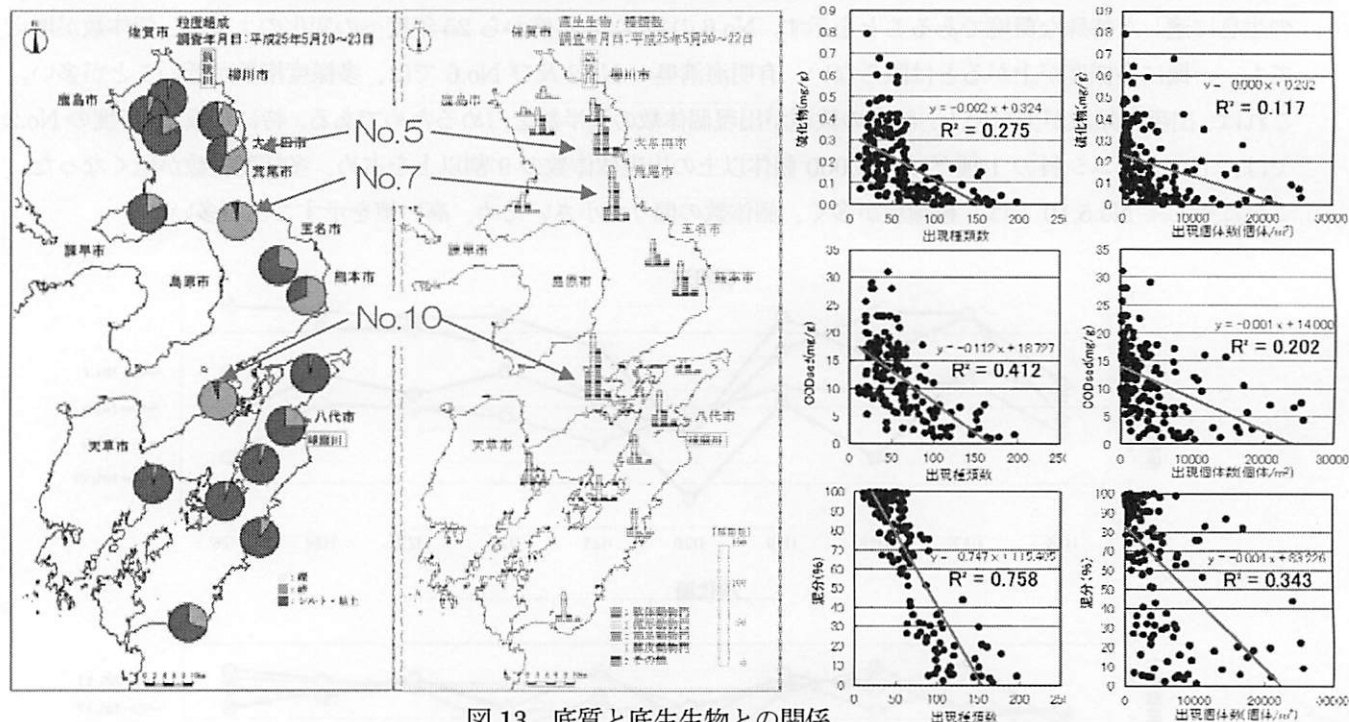


図 12 底生生物による海域区分と各海域の優占種



平成 16 年から平成 25 年までのデータを用いて、底生生物の出現種類数、個体数と、底質の硫化物、COD、泥分との相関を算出した（図 13 右図参照）。図中に示した「R²」は「決定係数」のことで、変数間の相関の強さを表す指標である「相関係数」の 2 乗値であり、この値が 1 に近いほど、算出した一次回帰式がデータと整合し、

相関性が高いことを示している。底生生物と底質の各項目との間には負の相関関係がみられ、特に底生生物の出現種類数と泥分には、高い負の相関がみられる。しかし、硫化物との相関はやや低く、検討した 3 項目の中では、硫化物は底生生物の種類数や個体数への寄与が小さいことを示している。硫化物との相関が低い理由は、硫化物のうち生物に対し強い毒性を有する硫化水素等は、その場の pH 値や温度等の条件によって変化するため、硫化物の全体量というよりも硫化水素等の毒性の強い硫化物の量が影響するためと考えられる。

以上のように、底生生物にとっては、底質（泥分、COD 等）の変化が重要であり、泥分が多い場所（≒COD の増加）では、底生生物の種類数が減少することになり、生物の多様性に影響を及ぼすことになる。現状では、有明海・八代海において大きな底質変化は認められないが、今後もその動向には注目する必要がある。

(3) 定点連続水質調査

1) 潮流

有明海・八代海では、ほぼ同時に満潮(干潮)となる。潮流は、満潮時・干潮時頃に転流し、その間に上げ潮・下げ潮の最強流速となる。調査を実施した八代海の湾奥部の地点でも有明海・八代海の一般的な潮汐・潮流特性を示しており、平成 24 年 8 月 20 日の事例(図 14 参照)でも満潮時・干潮時頃に転流し、その間に上げ潮・下げ潮の最強流速が出現している。鉛直的には、上層～下層までほぼ同じ流向を示しており、上げ潮時には北流傾向、下げ潮時には南流傾向を示している。流速は、上・中層に比べ、下層が若干小さくなっている。

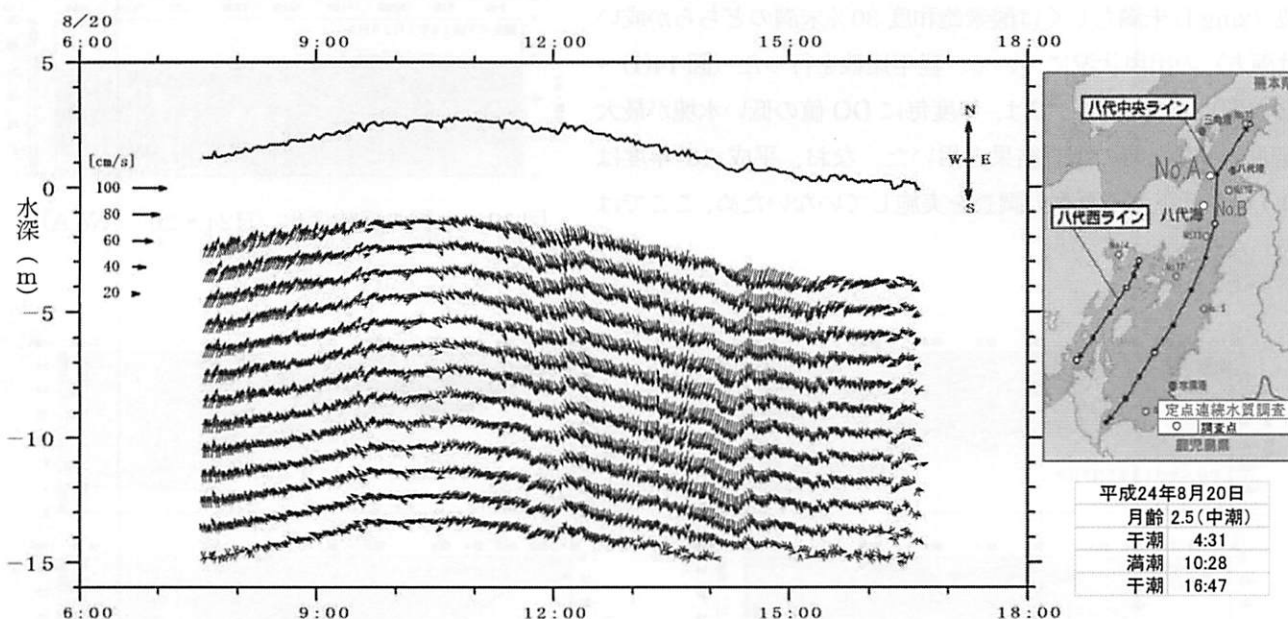


図 14 流速ベクトルの経時変化 (H24.8.20 No.A)

2) 水質

平成 24 年 8 月 20 日の水質経時変化(図 13 参照)についてみると、下げ潮時には、上層に高水温・低塩分な水塊が分布し、満潮時頃には下層に低水温・高塩分な水塊が分布するなどの潮汐・潮流の変化に対応した水塊構造の変化が窺える。

下げ潮時の高水温の分布については、日射や気温上昇等に伴う海面での熱供給量の増加の影響も考えられるが、塩分も低下していることや調査場所が球磨川等の河川水の影響を受けやすい場所であることを考慮すると、下げ潮に伴い河口周辺の高水温、低塩分の水塊の影響を受けたものと考えられる。また、満潮時頃の下層の低水温・高塩分の水塊は、DO がやや低い値となっており、上げ潮に伴い調査地点南方下層より低水温・高塩分で低 DO の水塊が調査地点の下層に侵入していることを示唆するものである。後述する貧酸素水塊の出現状況をみても、八代海では、様々な場所で貧酸素水塊が確認されている。このことは、八代海の貧酸素水塊の動向を把握する上で、潮汐・潮流による短期的な変化を踏まえた検討も必要であることを示すものと考えられる。

また、クロロフィル a の変化に着目すると、クロロフィル a は観測時間帯を通じて水深 2~10m 付近で高く、いわゆる中層極大層を形成し、DO が高い深度と概ね一致している。これは、溶存酸素を上昇させる要因である植物プランクトンの光合成活動が、中層以深でも活発に起きていたことを示唆している。さらに、濁度の変化に着目すると、下層の濁度は、潮流が速くなる上げ潮時及び下げ潮時に高くなっており、流速の増加に伴う底泥の巻き上がりの影響を示唆している。

このように、有明海・八代海の水質の短期的な変化は、潮汐・潮流の変化と密接な関係があることが伺え、貧酸素水塊や赤潮等の短期的な水質変化を解析する上で、潮汐・潮流の変化を踏まえた検討が重要なことを示している。

6. トピック事項

(1) 貧酸素水塊の発生状況経年比較

水塊構造調査で得られた DO の断面分布により、貧酸素水塊 (2mg/L 未満もしくは酸素飽和度 30% 未満のどちらか或いは両方) の出現状況について、経年比較を行った (図 14(1)~(2)参照)。比較に際しては、年度毎に DO 値の低い水塊が最大範囲を示した時の調査結果を用いた。なお、平成 16 年度は DO 値が低下する夏季の調査を実施していないため、ここでは扱わなかった。

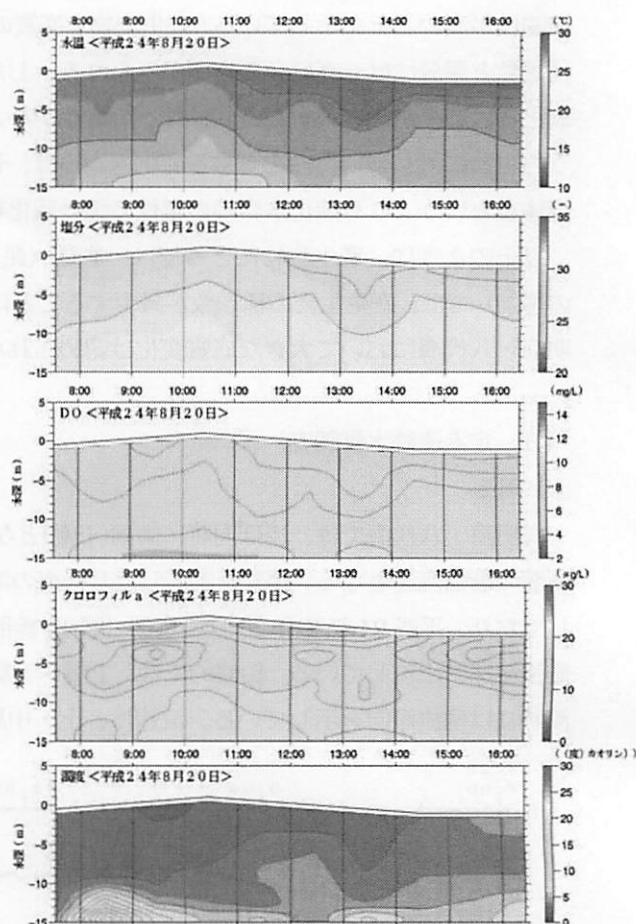
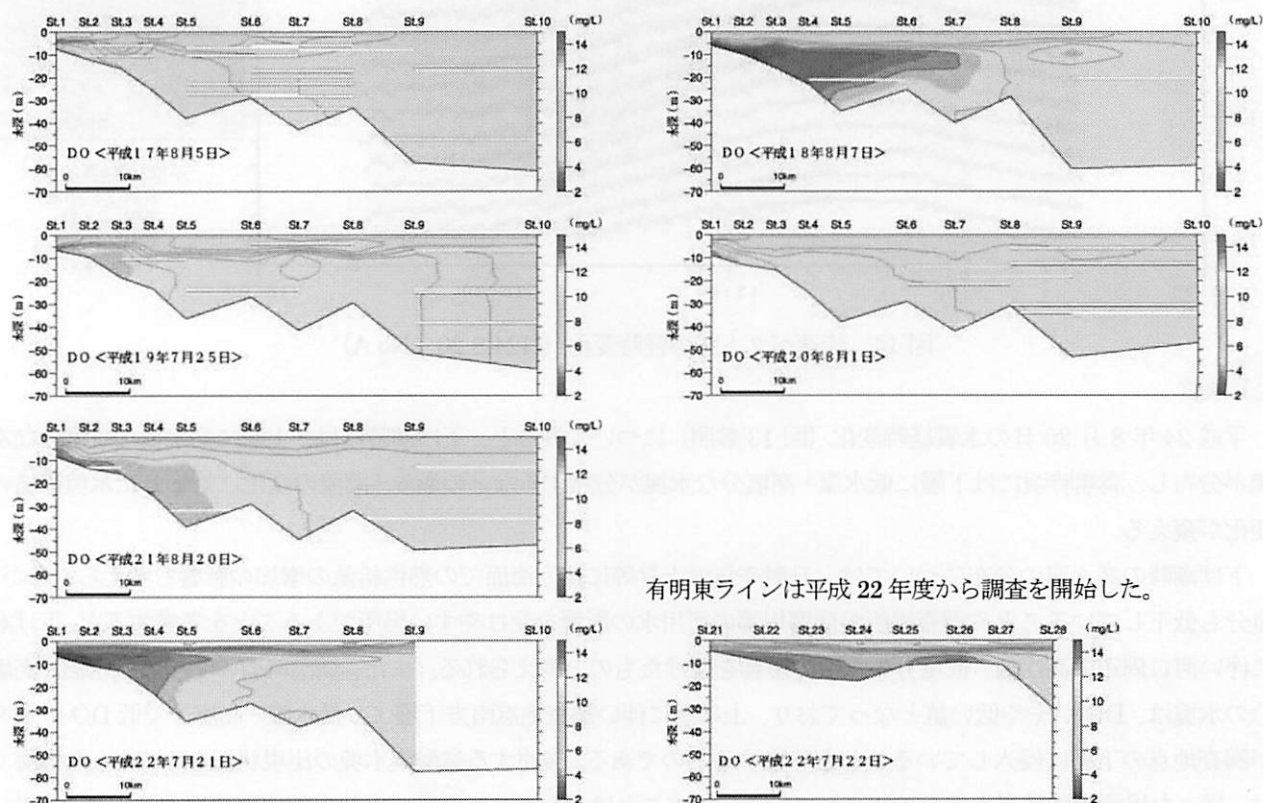


図 13 水質の経時変化 (H24.8.20 No.A)



有明東ラインは平成 22 年度から調査を開始した。

図 14(1a) 有明海における貧酸素発生状況の経年比較 (平成 17 年度~22 年度)

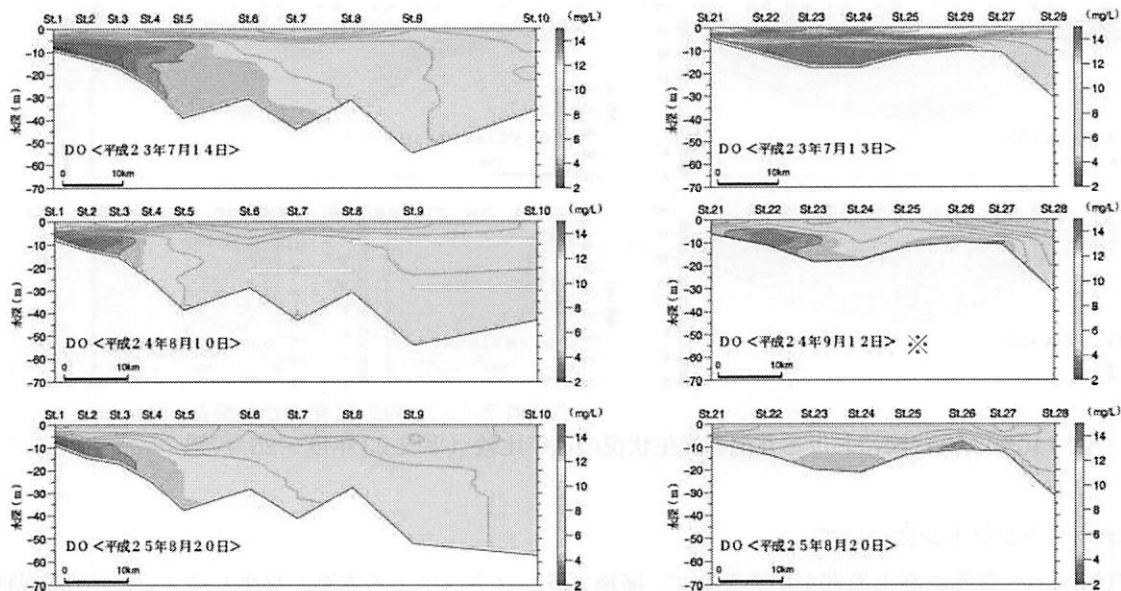


図 14(1b) 有明海における貧酸素発生状況の経年比較（平成 23 年度～25 年度）
 ※平成 24 年度は九州北部豪雨による浮遊ゴミ対応のため、8 月 10 日の有明東ライン調査は実施せず。
 DO 値の低い水塊が最大範囲を示した 9 月 12 日の結果を示した。

有明中央ラインでは、湾奥の St.1～2 を分布の中心として、7～8 月に貧酸素水塊が確認されることがあり、平成 18、22、23、25 年度に観測されている。特に平成 18 年度は、湾奥から湾中央にかけての広い範囲にわたって、DO 値が 2mg/L 台（酸素飽和度 30%台）の水塊が中層にも認められた。

平成 22 年度から調査を開始した有明東ラインでは、貧酸素水塊が確認されることはないものの、DO 値が 3mg/L 台（酸素飽和度 40%台）の水塊が、三池港沖の St.22 で観測されることが多い。

八代中央ラインは、有明中央ラインと比べ DO の最低値が高めであり、貧酸素水塊は観測されていない。DO 値が 2mg/L 台の水塊は、平成 18 年度と 23 年度に認められるが、その他の年に観測された DO の最低値は 3～4 mg/L 台（酸素飽和度 40～50%台）である。なお、八代中央ラインでは、DO の最低値が観測された場所が調査年度により異なり、一定していないという点が特徴的である。

平成 24 年度から調査を開始した八代西ラインは、平成 24、25 年度とも DO 値は 4～5 mg/L 台以上（酸素飽和度 70%台以上）と高く、貧酸素水塊は確認されていない。八代西ラインの地点は、流れの速い瀬戸や海峡に囲まれた海域であり、海峡や瀬戸で鉛直混合が盛んに行われることから、貧酸素水塊は出現しにくいものと考えられる。

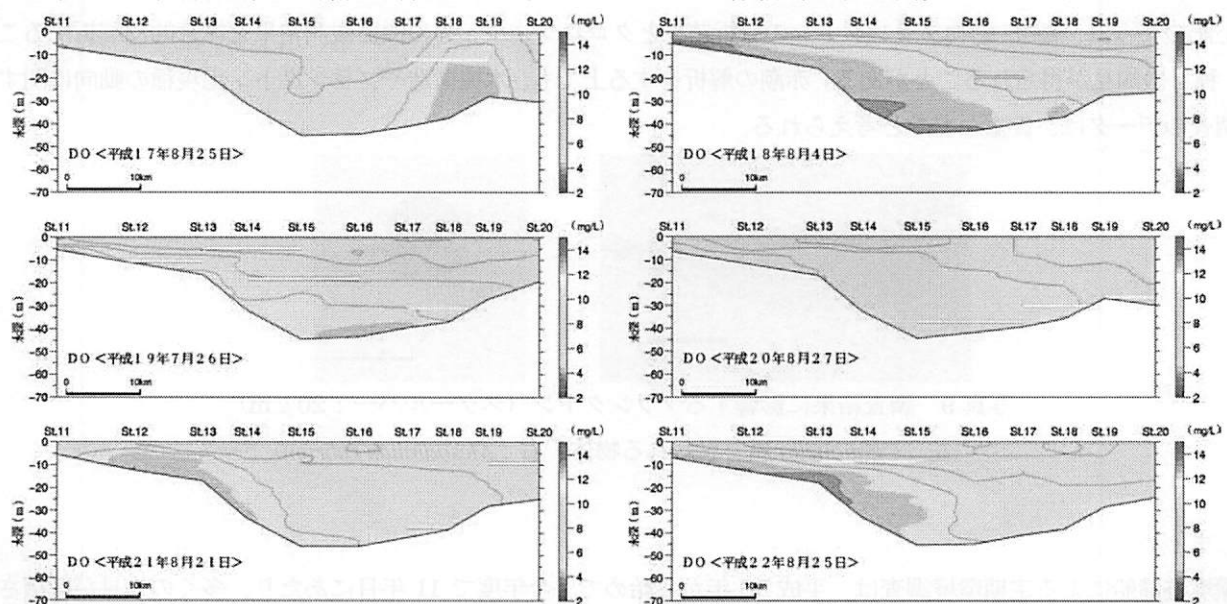
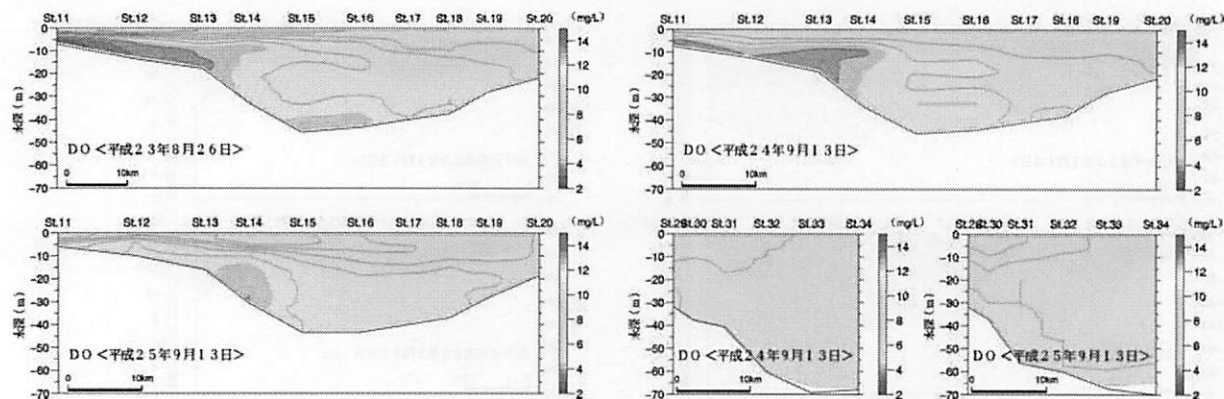


図 14(2a) 八代海における貧酸素発生状況の経年比較（平成 17 年度～22 年度）



八代西ラインは平成24年度から調査を開始した。

図 14(2b) 八代海における貧酸素発生状況の経年比較（平成23年度～25年度）

(2) 赤潮と植物プランクトンについて

有明海、八代海とも、夏季の高水温期を中心として、植物プランクトンによる赤潮が発生しやすい。主な赤潮原因種は *Skeletonema costatum* (スケルトネマ コスタツム)、*Chaetoceros* 属 (キートケロス属) 等の珪藻綱の種であるが、少々変わり者のプランクトンが出現し、調査結果に矛盾が生じることがある。

夏季に、現地観測したクロロフィルaの値が増加しても、植物プランクトンの細胞数には大きな変化がみられないことがある。このような場合は、出現種の中に、試料採取後の固定作業により細胞が死ぬと形が崩れてしまい、種の同定や計数が困難になる種が多数含まれていることが多い。平成21年7月の例では、有明海・八代海ともに、崩れかかった *Chattonella* 属 (シャトネラ属) の細胞と思われる物体が分析の際に多く確認されていた (写真9参照)。これらは「不明種」として扱われるか、崩れ方の酷いものは計数対象外になり、植物プランクトンの結果に反映されないことが多いため、クロロフィルaの変化と整合しない結果となる。

また、平成25年9月1回目の有明海においては、同様に植物プランクトンは少なく、クロロフィルaだけが高濃度となったが、この時は繊毛虫という原生動物に分類される *Mesodinium rubrum* (メソディニウム ルブルム) が原因であったことが分かっている。本種は細胞内に藻類を共生させており、動物プランクトンでありながらクロロフィルaをもっている。直径は約20～50μmと小さく、プランクトンネット (目合:100μm) ではトラップされないため、動物プランクトンの結果には反映されない。また、採水法による植物プランクトンの試料では、固定により細胞の形が崩れてしまうこと、形が残っていたとしても、動物プランクトンに分類される種であることから、本種の場合も植物プランクトンの結果に反映されない。

上記のように、植物・動物プランクトンの分析結果とクロロフィルa等の機器観測結果を総合的に解析することで、種々の知見が得られることがある。赤潮の解析をする上でも、水塊構造やプランクトン出現種の動向に関する本調査のデータは、貴重なものと考えられる。

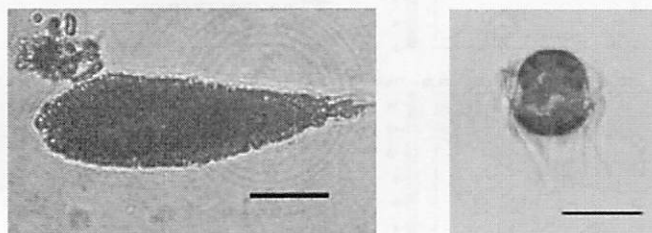


写真9 調査結果に影響するプランクトン (スケールバー: 20μm)

(左: *Chattonella* 属と思われる物体 右: *Mesodinium rubrum*)

7. まとめ

環境整備船による定期環境調査は、平成16年から始めて、今年度で11年目にあたり、多くの知見が蓄積されている。本稿では、水塊構造が河川流入状況等の影響で季節的に変化している状況、底質・底生生物による海域区

分が経年的には大きく変化していない状況、潮汐・潮流変化に伴い水質が短期的に変化している状況等について紹介した。また、赤潮の発生や貧酸素水塊の出現等、海域環境に多大な悪影響を及ぼす現象が現在も確認されており、そのメカニズムを解明し、有明海・八代海の再生方策を検討するためには、本定期環境調査のような、海域全体を俯瞰的かつ経年的に確認できるデータは貴重である。

経年的な変化の解析を行う際は、長期間にわたる定期的な調査結果から、有意な傾向を読み取り、その傾向が継続的なものか、一時的なものかを見極める必要がある。そのため、今後とも環境整備船 2 隻を活用し継続的にデータを蓄積していくことが重要と認識している。

また、これまで得られた様々な調査結果についての検証を行い、有明海・八代海的环境改善に資する効率的・効果的な調査となるよう、定期環境調査計画の点検・見直しも必要と考えている。例えば、これまで赤潮や貧酸素水の分布状況を湾軸方向にみてきたが、今後は岸沖方向の特徴も捉えることで、分布傾向の面的な把握ができるような調査を実施することも検討していく予定である。

8. 引用文献

中村義文・吉田秀樹・滝川清・瀬口昌洋・大島巖・堀川鎮史（2007）：環境整備船「海輝」で取得された有明・八代海の海域環境の特徴,海岸工学論文集,第 54 巻,pp1136-1140.

小野章・熊井教寿（2011）：環境整備船「海輝」による有明・八代海の環境特性と再生方策について,どうやったら豊穡の海を取り戻せるか?,九州国土交通研究会

国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所（2012）：平成 16～20 年度における海域環境調査のまとめ改訂版

国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所（2011）：平成 21 年度環境整備船「海輝」年次報告書,有明海・八代海の海域環境調査結果

国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所（2012）：平成 22 年度環境整備船「海輝」年次報告書,有明海・八代海の海域環境調査結果

国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所（2013）：平成 23 年度環境整備船「海輝」年次報告書,有明海・八代海の海域環境調査結果

国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所（2013）：平成 24 年度環境整備船「海輝」、「海煌」年次報告書,有明海・八代海の海域環境調査結果