調査観測兼清掃船「海輝」「海煌」による 八代海の海域環境特性の把握

只隈 章浩¹・幸福 辰己²・滝川 清³・横手 敏弘⁴・奥村 靖浩⁵
・小田 勝也⁶・小堀 達⁷

¹国土交通省 熊本港湾・空港整備事務所 熊本新港分室 沿岸防災調査官
(〒861-5274 熊本市西区新港1丁目4-14)
E-mail: tadakuma-a8910@pa.qsr.mlit.go.jp

²国土交通省 熊本港湾・空港整備事務所 所長 (〒861-4115 熊本県熊本市南区川尻二丁目8-61)
E-mail: koufuku-t898h@pa.qsr.mlit.go.jp

³フェロー会員 工博 熊本大学 特任教授 (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪二丁目39-1)
E-mail: taki2328@kumamoto-u.ac.jp

⁴国土交通省 熊本港湾・空港整備事務所 副所長 (〒861-4115 熊本県熊本市南区川尻二丁目8-61)
E-mail: yokote-t89gi@pa.qsr.mlit.go.jp

⁵国土交通省 熊本港湾・空港整備事務所 熊本新港分室 沿岸防災対策官
(〒861-5274 熊本県熊本市西区新港一丁目4-14)
E-mail: okumura-y894g@pa.qsr.mlit.go.jp

⁶一般財団法人 みなと総合研究財団 首席研究員
(〒105-0001 東京都港区虎ノ門三丁目1-10第2虎ノ門電気ビルディング3・4階)
E-mail: oda@wave.or.jp

⁷三洋テクノマリン (株) 九州支社 技術部長 (〒812-0022 福岡県福岡市博多区神屋町10-15)
E-mail: kobori@stm.co.jp

国土交通省九州地方整備局では、調査観測兼清掃船「海輝」「海煌」を用いて、有明海・八代海の海域環境特性の把握を目的として、水塊構造調査並びに底質・底生物調査を実施している。2004-2013年度の10ヶ年分の調査結果を整理した結果、八代海では球磨川河口前面海域よりも湾奥の海域の方が表層-下層間の密度差が大きいことが確認された。また、八代海において、底質と底生物群集のクラスター解析により、それぞれ4つのグループに分類されるが、さらに、これらの組み合わせにより9つのグループに細分類され、複雑な環境特性を持つ海域であることが明らかになった。

Key Words : *ariake-kai and yatsushiro-kai, "KAIKI" "KAIKOU", water quality survey, bottom sediment-benthos survey*

1. はじめに

八代海は、九州本土と宇土半島、天草諸島等に囲まれた面積約1,200 km²の内湾で、わが国の1,000 km²以上の内湾で最も閉鎖性が高い海域である。隣接する有明海と同様、潮位差が大きく湾奥での干満差は4 m以上になる¹⁾。

八代海は有明海と同様に「宝の海」と呼ばれているが、近年、水質の悪化、プランクトンの異常発生（赤潮発生）等の環境問題が生じ、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る。

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、有明海・八代海等の海洋汚染の防除、航行船舶の安全性向上及び海域環境改善のために、2003年から調査

観測兼清掃船「海輝」、2012年から「海煌」を配備し、2隻の調査観測兼清掃船による海上の漂流ゴミの回収及び水質・底質等の環境調査を実施している。本事業は、2003年策定の「有明海及び八代海を再生するための特別措置法に関する基本方針」にも位置付けられている。本稿では、「海輝」「海煌」による2004-2013年度の10ヶ年分の調査で得られた結果から、八代海の環境特性について報告する。

2. 調査観測兼清掃船による調査の概要

(1) 「海輝」「海煌」の性能

「海輝」は2003年11月、「海煌」は2012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、スミス・マッキンタイヤ型採泥器、遠隔自動採水器、自動水質測定装置、高性能音響測深機、超音波式多層流速計等を装備している。2012年4月から2隻体制になったことより、有明中央ラインと有明東ライン、八代中央ラインと八代西ラインを同時観測し、水塊構造を空間的に把握することが可能となった。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を装備している²⁾。

(2) 調査の内容

a) 水塊構造調査

図-1に示すように水塊構造調査では、水塊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ため、湾奥から湾口に向かう湾軸方向に沿って、多項目水質計により水温、塩分、DO、Chla、濁度等を海面下0.5 m—海底面上1 mまで、0.5 mピッチで計測している。2004年から有明中央ライン (St.1—10) 及び八代中央ライン (St.11—20) の調査を行い、2011年から有明東ライン (St.21—28)、2012年からは八代西ライン (St.29—34) と元ノ尻瀬戸 (St.35) を追加した。また、有明海の4地点 (St. 1, 4, 10, 23) と八代海の4地点 (St. 11, 13, 17, 31) で、Chla及び濁度については、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、分析値と大きな差が生じることから、機器計測値の補正を行うために採水分析を行い、機器計測値の補正を行うとともに、赤潮の原因プランクトンの組成と現存量を把握するために動・植物プランクトンの分析も実施している。調査頻度は、2004—2011年度までは大潮期を中心に毎月1回を基本とし、2012年度以降は大潮期と小潮期の毎月2回としている。

b) 底質及び底生生物調査

八代海における底質・底生生物を調査するために7地点 (No. 11—No. 17) を選び実施することとし、毎年、底生生物量が多い5月 (春季) に行っている。採泥には、スミス・マッキンタイヤ型採泥器を用い、底生生物のデータのばらつきを押さえるため1箇所あたり10回採泥した試料を混合して1試料とし、底質は含水率、粒度分析、全硫化物等10項目、底生生物はマクロベントスの分析を行っている。

3. 八代海の海域環境特性

(1) 水塊構造の特性

a) 水塊構造の季節変化

図-2及び図-3に示すように水塊構造調査として八代中央ライン及び有明中央ラインで、水温、塩分、DO、

図-1 水塊構造調査ラインと地点

Chlaを2004—2013年度の10ヶ年観測した。調査結果は、年度間で多少のばらつきはあるものの、大きな変化はみられなかった。このため、大まかな海域の特性を把握するため10ヶ年のデータの月別の平均値を求め、低酸素状態が発生しやすい夏場を代表する7月と底層までDOが高くなる冬場を代表する1月の鉛直断面分布図を整理した。

図-2(a)に示す八代海の7月の水塊構造の特徴は、夏季の日射と気温及び梅雨期の降水の影響を受け、高温低塩分の表層水が湾奥のSt.11から湾口のSt.20までに広く分布し、ほぼ全域に亘って成層化することである。湾奥にはより高温低塩分の表層水が分布する一方で、水深の深い湾央部のSt.15—18では、中下層に低温高塩分水が分布している。Chlaは、湾奥から湾央付近までの表層が高く、湾口域で低い。これらの状況は、基本的には有明海と同様であった。ただしDOについては違いがみられ、有明海では湾奥のSt.1—3にかけて底層付近に3~4 mg/L台の低濃度水が存在するのにに対し、八代海では著しく値の低い

図-2 夏季 (7月) と冬季 (1月) における八代中央ラインでの水温, 塩分, 溶存酸素(DO), Chl.aの鉛直断面分布図

図-3 夏季 (7月) と冬季 (1月) における有明中央ラインでの水温, 塩分, 溶存酸素(DO), Chl.aの鉛直断面分布図

水塊はみられず、湾奥のSt.11及び湾央のSt.15において海底面付近の値が5 mg/Lを下回る程度であった。

図-2(b)に示す八代海の1月の水塊構造の特徴は、7月の水塊構造とは異なり、各項目とも表層と下層間の鉛直差が小さくなり、特に水温と塩分では湾口域と湾奥間の水平差が顕著になった。これは、気温の低下と降水量の減少により表層水の密度が増し、水塊の鉛直混合が起りやすくなったことによる。湾奥は低温低塩分、湾口域は高温高塩分となったが、DOは全域で高濃度になり、Chl.aは、湾奥で多少高いものの、全体的に低くなった。

b) 海域における東西海域間での水塊構造の違い

図-4に示すように夏季において、東海域（八代中央ライン）と西海域（八代西ライン）で鉛直方向の密度分布が異なっていることが確認された。八代海は、御所浦島や獅子島で東西の海域に分けられており、球磨川等からの陸水の影響を受けやすい東海域（八代中央ライン）では、夏季に表層で密度が低下し、下層との密度差は湾奥ほど大きくなる。有明海と比べ、20 σ_t 以下の低密度水の分布がより表層に偏るなど違いはあるが、基本的には筑後川等の影響下にある有明海の状態と共通している。これに対して西海域（八代西ライン）では、流入する河川の集水域が狭小で流入量が少なく、また、外海に通じる長島海峡に近いために、年間を通じ密度成層は弱く、調査点間の密度差が小さかった。

c) 低酸素水塊の発生動向

図-5(b)に示すように八代海湾奥のSt.11において2006年7月と2010年の7月の2回、下層のDOで3 mg/Lを下回る値が観測された。図-6よりこのとき同時に、表層塩分の顕著な低下とChl.aの上昇が観測された。図-7のChl.a平均値の経月変化は、St.11でSt.12, 13より値が高いだけでなく、5-7月のほかに12-2月にも10 $\mu\text{g/L}$ を超えることを示している。湾奥では球磨川等から流入した栄養塩によって冬季にも植物プランクトンがより多く増殖し、その死骸等の底層への沈降も多いと考えられる。

さらに、夏季に卓越する南風の影響も、球磨川からの河川水が湾奥へ流れる要因であると考えられる³⁾。湾奥では、密度差が大きいことに加え、プランクトン等の遺骸による酸素消費量がより多いことにより、低酸素水塊が形成されると推察される。

低酸素水塊形成の主要条件の一つと考えられる夏季の密度成層の増大は、前述のように有明海と同様に八代海でも観察された。しかし、八代海では有明海ほど顕著に低酸素水塊は形成されていない。その理由として、河川による流入負荷量が比較的少ない⁴⁾ことはもとより、蔵タノ瀬戸、大戸ノ瀬戸を通じて、量は少ないながらも湾奥での有明海との海水交換がある¹⁾ことがあげられる。

図-4 有明海、八代海代表地点における密度(σ_t)鉛直分布

図-5 有明海、八代海代表地点における下層DOの経年変化

図-6 八代海St.11の表層における塩分及びChl.aの経年変化

(2) 底質・底生生物による海域特性

a) 底質調査結果による特性

底質・底生生物による特性把握の検討に使用したデータは、調査観測兼清掃船による2004-2013年度の底質・底生生物調査と環境省による2003-2009年度の底質及び2005-2009年度の底生生物調査結果である^{5),6),7)}。

表-1に全23点における底質の含水率、強熱減量、硫化物、COD_{sed}、T-N、T-P及びシルト・粘土分（以下、泥分と記す）の7項目のデータによるクラスター解析（Ward法）の結果を示す。泥質で、有機物、栄養塩（T-N及びT-P）の堆積量が最も多いグループA、泥分、有機物、栄養塩の堆積量が多く、グループAより泥分が少ないグループB、砂泥質で、栄養塩、有機物の堆積が少ないグループC、砂質で、栄養塩、有機物の堆積が最も少ないグループDの4グループに区分することができた。湾奥部にはA-Dの全グループがみられ、複雑に分布していた。球磨川河口域はグループBもしくはCに、水深が深い湾中央部はグループAに分類され、湾中央部の底質環境は有機物及び栄養塩に富むことがわかった。湾口部はグループCもしくはDに分類された。

b) 底生生物群集の分布特性

表-2に底生生物群集のクラスター解析には、種類数、個体数、湿重量の3項目を適用した結果を示す。これから、種類数は比較的少なく、個体数、湿重量が最も多いグループⅠ、種類数、湿重量は比較的少なく、個体数が最も多いグループⅡ、種類数が最も多く、個体数は比較的少なく、湿重量は最も少ないグループⅢ、種類数、個体数、湿重量がともに最も少ないグループⅣの4グループに分類できた。地点別に見ると、23地点中16地点が種類数、個体数、湿重量がともに最も少ないグループⅣに分類される中で、湾奥部の干潟辺縁部にあたる地点に種類数、個体数が最も多いグループⅠが認められた。グループⅠに属する地点では、ホトトギスガイが優占していた。個体数の多いグループⅡは、球磨川の河口周辺と出水市沖の湾口に近い地点にみられ、これらの地点ではシズクガイが優占していた。また、種類数が多いグループⅢは、長島及び獅子島周辺の地点でみられ、これらの地点ではワレカラ科の*Caprella*属が優占していた。グループⅣでの優占種は、タマガシフサゴカイ科の*Terebellides*属であった。

c) 底質と底生生物群集の組み合わせによる細分類

図-8に示すように底質と底生生物はそれぞれ4つのグループに分類され、これらの特性を組み合わせると23地点は9つのグループに細分類することができた。湾奥の底質は複雑に分布、底生生物は各項目とも少ない、湾中央の底質は泥分、有機物、栄養塩共に多く、底生生物は種類数は少ないが、個体数、湿重量共に多いのに対し、湾口の底質は泥分が少なく、底生生物は泥分の少ない海域では

(a) St.11

(b) St.12

(c) St.13

図-7 八代海St.11, St.12, St.13でのChl.aの10ヶ年平均値の経月変化

表-1 八代海における底質項目の平均値

項目	単位	グループA	グループB	グループC	グループD
含水率	(%)	64.2	48.4	42.8	28.7
強熱減量	(%)	9.3	6.7	4.9	3.5
COD _{sed}	(mg/g)	14.2	9.9	8.0	3.3
硫化物	(mg/g)	0.23	0.12	0.11	0.02
T-N	(mg/g)	2.09	1.39	1.01	0.56
T-P	(mg/g)	0.7	0.6	0.4	0.4
シルト・粘土分	(%)	94.0	68.3	54.0	16.1

表-2 八代海における底生生物項目の平均値

項目	単位	グループⅠ	グループⅡ	グループⅢ	グループⅣ
種類数	種類	62	59	116	41
個体数	個体/m ²	4,333	4,496	2,234	1,155
湿重量	(g/m ²)	883.5	149.1	23.2	36.2
構成門 (各地点の第1優種の門別割合: %)		環形動物 0 軟体動物 100 節足動物 0	環形動物 0 軟体動物 67 節足動物 33	環形動物 0 軟体動物 0 節足動物 100	環形動物 56 軟体動物 38 節足動物 6
優占種 (個体数優占種)		ホトトギスガイ	シズクガイ	<i>Caprella</i> sp.	<i>Terebellides</i> sp.

凡例		区分名	地点数	地点
<p>底質分類</p> <p>底生生物分類</p>		A-Ⅳ	8	No.11、Ykm-2、No.13、No.14、No.15、No.17、Ykm-4、Ykm-5
	B-Ⅰ	1	Ykm-1
	B-Ⅱ	2	No.⑪、No.12
	B-Ⅳ	3	No.⑦、Ykm-3、Ykm-6
	C-Ⅰ	1	No.⑩
	C-Ⅱ	1	No.16
	C-Ⅳ	3	No.⑫、Ykg-2、Ykg-3
	D-Ⅲ	2	Ykg-1、Ykm-7
	D-Ⅳ	2	No.⑧、No.⑨

図-8 八代海における底質・底生生物による細分類

種類数が多いが、個体数、湿重量は少なかった。

4. おわりに

2004—2013年度の観測結果、八代海の7月の水塊構造の特徴は、高温低塩分の表層水が湾奥から湾口域まで広く分布し、ほぼ全域に亘って成層化する。Chl_aは、湾奥から湾央付近までの表層が高く、湾口域で低い。1月の水塊構造の特徴は、各項目とも表層と下層間の鉛直差が小さくなり、特に水温と塩分では湾口域と湾奥間の水平差が顕著になった。DOは全域で高濃度になり、Chl_aは、湾奥で多少高いものの、全体的に低くなった。

低酸素水塊の発生動向は、八代海湾奥のSt.11において2006年7月と2010年の7月の2回、下層のDOで3 mg/Lを下回る値が観測された。このとき同時に、表層塩分の顕著な低下とChl_aの上昇が観測された。

底質及び底生生物の関係は、湾奥の底質は複雑に分布し、底生生物は各項目とも少ない。湾央では底質は泥分、有機物、栄養塩ともに多く、底生生物は種類数は少ないが、個体数、湿重量ともに多い。湾口では底質は泥分が少なく、底生生物は泥分が少ない海域では種類数が多いが、個体数、湿重量は少ないことが確認された。

今後も有明海・八代海における海域環境の保全・再

生に資するよう引き続き観測データを蓄積し、課題解決に向けた取り組みを進めることが肝要である。

謝辞：本論は、調査観測兼清掃船「海輝」「海煌」で実施した定期環境調査結果について、多くの方々からの意見を賜りながらとりまとめたものであり、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 滝川清, 田中健路：八代海の物理環境特性, 月刊海洋, Vol.37, No.1, pp.12-18, 2005.
- 2) 国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所 HP
- 3) 馬込伸哉, 合田賀彦, 小林令一, 入江正己, 今井尚隆, 五味久昭, 白井一洋, 鈴木紀慶：東京湾における海水交換に及ぼす淡水流入と密度成層と風の影響, 土木学会論文集, 68(2), pp.956-960, 2012
- 4) 熊本県：平成 25 年度水質調査報告書, pp.15-19, 2014
- 5) 国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所：平成 16～20 年度における海域環境調査のまとめ改訂版, 48p, 2010.
- 6) 国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所：平成 22 年度環境整備船「海輝」年次報告書, 有明・八代海の海域環境調査結果, 134p, 2012.
- 7) 環境省：平成 21 年度有明海・八代海再生フォローアップ調査(底質環境等調査)報告書, pp7-56, 2009.

HYDROGRAPHIC STRUCTURES OF YATSUSHIRO-KAI, KYUSHU, JAPAN OBSERVED BY TEN-YEAR SURVEYS CONDUCTED BY “KAIKI” AND “KAIKOU” OF MLIT

Akihiro TADAKUMA, Tatsumi KOUFUKU, Kiyoshi TAKIKAWA,
Toshihiro YOKOTE, Yasuhiro OKUMURA, Katsuya ODA and Toru KOBORI

Hydrographic features of Yatsushiro-Kai, a semi-enclosed embayment in Kyushu, Japan, observed by a 10-year environmental monitoring between 2004 and 2013 by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), were closely examined. Stratification was stronger in the inner-most area than the middle where Kuma-River supplies a large amount of fresh water. Spatial characteristics of environment of Yatsushiro-Kai could be classified into nine categories, applying cluster analyses to bottom sediment and benthic community. One of the results of these analyses was shown that distribution of the benthic communities and the bottom sediment qualities was complex, especially in the inner-most area.