八代海における底生生物分布と底質環境の特性把握

園田 吉弘¹・滝川 清²

¹ 正会員 国立大学法人熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター
(〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)

E-mail: y_sonoda@kumamoto-u.ac.jp

² フェロー会員 国立大学法人熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター
(〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)

E-mail: taki2328@gpo.kumamoto-u.ac.jp

八代海は極めて閉鎖性の高い内湾であり、近年、底質環境の悪化と生物多様性の劣化が顕著になっている。本研究は、既往の調査研究成果により、底質項目と底生生物分布の時系列変動、底質の栄養塩と海面養殖の関連性、含泥率と球磨川流量の関連性、含泥率分布と最下層の平均流の関連性、底質項目と底生生物出現種による海域特性等について検討し、八代海を7海域に区分した。八代海は容体積が小さく湾口幅は狭い。一方で、北流する黒潮分岐流に対し南に開口するため外洋水が侵入しやすい。このような地形的特性から、球磨川の影響や東シナ海の海洋環境変動の影響を受けやすく、湾奥と湾口とで底生生物分布と底質環境に大きな違いがあることを明らかにした。八代海の再生策を検討するに当たっては、このような地域特性の違いを十分に考慮する必要がある。

Key Words : Yathushiro Sea, cluster analysis, sea area division, benthos, sediment, mean currents of undermost layer, shields number

1. はじめに

九州西部に位置する八代海と、その北側の有明海は極めて閉鎖性の高い内湾であり、近年、生息する生物の種および個体数の減少など、生物多様性の劣化が顕著になっている。特に、底質の泥化、底質中の有機物や硫化物の増加等による底質環境の悪化は、底生生物の個体数や種類数の減少の要因になっている¹⁾。しかしながら、八代海は、有明海に比べ調査・研究が少なく、環境悪化の要因、原因についての十分な解明が進んでおらず、再生策に結びついていないのが現状である。

本研究は、「生物多様性のある八代海沿岸海域環境の俯瞰型再生研究プロジェクト（以下、八代海再生プロジェクトと呼ぶ）」（熊本大学代表：滝川、2011）の一部として、これまで各機関で観測された実測データの集積・整理結果に、潮流シミュレーション結果²⁾、最近の公表データ³⁾を加え、八代海の底生生物と底質環境の分布特性を明らかにし、再生策の検討に資することを目的として行った。

2. 調査概要

図-1に、研究に使用した環境省による底質・底生生物調査地点、熊本県による八代海北部海域のノリ支柱での水質測定海域を示す。底質項目、底生生物種数による海域区分は、Ward法による階層クラスター分析により行い、データは0-1に正規化した。含泥率の分布特性を検討するための、潮流シミュレーションによる平均流最下層の平均流速ベクトルは、前述の八代海再生プロジェクトの研究成果²⁾を使用した。季節は、冬は1～3月、春は4～6月、夏は7～9月、秋は10～12月である。

図-1 調査地点図

3. 調査結果

(1) 底質項目および底生生物分布の時系列変動

図-2に、図-1中の底質・底生生物調査地点を結んだ線における、底質項目および底生生物分布の時系列変動を示す。(a) 含泥率は、St1では2007年11月以降に泥化が進み、St2とSt4は泥が堆積しやすい環境と言える。球磨川河口沖のSt3は、球磨川が増水した2006年8月以降に泥化が進んでいる。一方、St8とSt9は、含泥率が10%未満の砂質である。(b) T-Nは、含泥率が90%以上のSt1、St2、St4、St5で高い。St2では、2005年11月、2008年11月のように、梅雨期以外に高くなることがあるが、St4では明瞭な季節変動は見られない。(c) T-Pは、St1、St2、St4、St5で高く、T-Nと類似する。一方、含泥率とT-Nが低いSt8でもT-Pは高く、泥化によらない要因の関与が示唆される。また、St1の2008年2月、11月、St8の2009年11月等のように、夏季以外に高くなることがある。(d) T-Sは、St1~St5で高く、St2では2006年2月、2009年11月のように、北部海域が低酸素化する夏季⁴⁾以外に高くなることもある。

次に、底生生物について、(e) 全種数は、砂質のSt8とSt9で最も多く、(b) T-Nが高いSt4で最も少ない。すなわ

ち、(a) 含泥率が60%程度以上、(b) T-Nが1.8mg/g程度以上の泥では、底生生物の出現種数は少なくなる。この傾向は、(f) 軟体動物種数、(g) 環形動物種数、(h) 節足動物種数に共通し、特に、(g) 環形動物種数、(h) 節足動物種数で顕著である。(i) 全個体数は、T-Nが2.1mg/g程度以上のSt4、St5で少なく、T-Nが0.9~1.5mg/g程度以下の砂泥(St6、St7)と砂(St8、St9)で多い。(j) 軟体動物個体数から、泥のSt1、St3ではホトトギスガイやシズクガイの大量発生が見られる。(l) 節足動物個体数は、砂のSt9で多く、ヨコエビ類等の大量発生が見られる。

図-3は、種の豊富さと種組成の均等性の両方を含んだ尺度であるShannon-Weinerの多様度指数(対数の底2)の時系列変動を示している。この図から、St8、St9では、多様度指数は5.0以上になることが多く、底生生物の多様性は良好と言える。表-1は、データの分布型に依存しないSpeamanの相関係数による、底質環境と底生生物の相関であり、青は正の相関、赤は負の相関を示す。この表から、底生生物の種数と個体数は、軟体動物を除き含泥率、T-N、T-Sと負の相関があり、特に、環形動物の種数、個体数とT-Nの相関がやや強い。また、底生生物の種数と個体数は、T-Pとの間に相関は見られない。

図-2 底質項目および底生生物の種、個体数 (0.5m²あたり) の時系列変動 (2005年5月~2009年11月)

図-3 Shannon-Weinerの多様度指数(対数の底2)の時系列変動(2005年5月～2009年11月)

表-1 Spearmanの相関係数行列(2005年5月～2009年11月, N=60)

変数	含泥率	T-N	T-P	T-S	底生生物全種数	軟体動物種数	環形動物種数	節足動物種数	底生生物全個体数	軟体動物個体数	環形動物個体数	節足動物個体数
含泥率	—	0.81	0.51	0.76	0.52	0.01	0.64	0.45	0.37	0.38	0.48	0.36
T-N	0.81	—	0.56	0.68	0.70	0.30	0.73	0.58	0.63	0.06	0.70	0.41
T-P	0.51	0.56	—	0.24	0.19	0.02	0.23	0.12	0.31	0.06	0.35	0.11
T-S	0.76	0.68	0.24	—	0.54	0.05	0.65	0.50	0.47	0.23	0.51	0.52
底生生物全種数	0.52	0.70	0.19	0.54	—	0.74	0.88	0.86	0.81	0.35	0.74	0.73
軟体動物種数	0.01	0.30	0.02	0.05	0.74	—	0.50	0.60	0.71	0.76	0.54	0.54
環形動物種数	0.64	0.73	0.23	0.65	0.88	0.50	—	0.65	0.74	0.15	0.82	0.57
節足動物種数	0.45	0.58	0.12	0.50	0.86	0.60	0.65	—	0.59	0.25	0.49	0.83
底生生物全個体数	0.37	0.63	0.31	0.47	0.81	0.71	0.74	0.59	—	0.55	0.88	0.59
軟体動物個体数	0.38	0.06	0.06	0.23	0.35	0.76	0.15	0.25	0.55	—	0.31	0.26
環形動物個体数	0.48	0.70	0.35	0.51	0.74	0.54	0.82	0.49	0.88	0.31	—	0.45
節足動物個体数	0.36	0.41	0.11	0.52	0.73	0.54	0.57	0.83	0.59	0.26	0.45	—

青: 正の相関, 赤: 負の相関, ボールド斜体: 有意水準(P) < 0.05

(2) 含泥率と球磨川流量の関連性

球磨川河口沖のSt3では、球磨川が増水した2006年8月以降に泥化が進んだことは前述したとおりである。図-4に球磨川流量と球磨川河口沖のSt3の含泥率の時系列変動を、季別に示した。この図から、球磨川の流量が増大した2006年夏季にSt3の含泥率が高くなった。その後、球磨川の流量は季節変動を伴って減少傾向を示し、St3の含泥率は同様の傾向を示していることがわかった。

(3) 最下層の平均流の流速分布

懸濁物質の移動、拡散に大きく寄与する平均流の流速は、潮流シミュレーション(一般鉛直座標系を用いた σ 座標モデル)²⁾によった。計算範囲は、有明海および八代海とし両海域の沖合の東シナ海の一部を含む。また、有明海と八代海をつなぐ海峡部についても地形条件として考慮し、有明海と八代海での水交換が評価できるモデルとした。水平格子分割およびネスティングは、外海(東シナ海の一部)を2700m格子、有明海を900m格子、八代海を450m格子で分割した。鉛直層分割は、10層に等分割した。淡水流入条件は、一級河川(球磨川)の順流域最下流の流量観測所の時間流量から順流域の淡水流入量を算出し、この順流域の淡水流量に感潮域の淡水流量を加算したものを淡水流量とした。その他の河川は球磨川の比流量とした。湾口での潮汐境界条件は、13分潮の調和定数から、境界格子における予測潮位を推算することにより設定した。波浪の影響が大きいとされる浅海域では、

波浪推算により流動モデルの精度向上を図った。また、海岸線の構造を自然海岸/半自然海岸/人工海岸等に区分し、これらの違いによる反射率の違いを考慮できるように流動モデルを修正した。海面摩擦係数は、本多、光易⁵⁾による風速に応じた経験式によった。海底摩擦係数は、海底近傍での流速分布をカルマン定数と粗度高さをを用いた対数分布則を仮定することにより得られる値を設定した。なお、粗度高さは1cmを八代海全域に適用した。

以上の計算条件、パラメーター等による最下層の平均流計算結果(2006年通年平均)²⁾を図-5に示す。鉛直層数は10層であるため、最下層は水深10mで海底上0.5m、水深30mで海底上1.5mであり、海底直上ではない。図-5から、最下層の平均流の平均流速は、矢印Aの球磨川河口の南側海域や矢印Bの南部海域で小さく、湾口部、瀬戸の周辺で大きい。また、球磨川からの懸濁物質の移動に関わる北東向きの平均流が示されている。

4. 考察

(1) 底質のT-N, T-Pと海面養殖の関連性

(i) St2のT-Nが梅雨期以外に高くなることがあること、(ii) St2のT-Sが、北部海域が低酸素化する夏季⁴⁾以外に高くなることがあること、(iii) T-Pが含泥率とT-Nが低いSt8で高くなることは、前述したとおりである。本節では、この3項目について、海面養殖との関連性を検討する。

図-4 球磨川流量とSt3(球磨川河口沖)の含泥率の推移

図-5 最下層の平均流の平均流速ベクトル(2006年通年平均)²⁾

まず, (i) について, ノリ漁場栄養塩情報³⁾により, ノリ養殖との関連性について述べる. 図-6は, 図-1に示すノリ支柱での海水の窒素量の経年変化を示している. 養殖種類別の生産量統計報告⁶⁾によれば, 八代海のノリ養殖は北部海域に集中し, ほとんどが支柱方式で行われ, 10月~翌年3月が生産時期である. 図-6から, 窒素量(平年値)は10月上旬~12月下旬にかけて, $10\mu\text{mol/L}$ 程度以上の状態が続く. このことから, ノリ支柱地点に近いSt2の11月の底質のT-N, T-Pが高くなる可能性があることは, ノリの生産過程の関与が示唆される.

(ii) については, ノリ支柱地点のノリ漁場プランクトン情報³⁾によれば, ノリの生産過程で, スケルトネマ spp. や, ユーカンピア spp. 等の珪藻プランクトンが増殖することが報告されていることから, 沈殿したプランクトンの死骸や落ちノリの分解等の関与が推察される. また, (iii) については, 養殖種類別の生産量統計報告⁶⁾によれば, ハマチ等の魚類養殖は, 八代海の西側湾一帯に集中することから, St8の底質のT-Pが高いのは, 魚類養殖の生産過程の関与が示唆される.

(2) 含泥率分布と最下層の平均流の関連性およびシールス数

八代海全域の泥化に関する最近の既往知見は, 秋元, 滝川⁷⁾によるもの以外は知られていない. 本節では, (i) 含泥率の分布と最下層の平均流の流速の関連性, (ii) シールス数による堆積環境について検討した. まず, (i) について, 図-7に秋元ら⁷⁾による含泥率等値線(2004年調査)を示す. 図-7の含泥率等値線を, 図-8の最下層の平均流の平均流速ベクトルのメッシュに重ね合わせると, 含泥率60%の分布域は, 平均流速ベクトルが 0.020m/s 以下のメッシュと概略合っていることが分かる. このことから, 懸濁粒子の移動, 拡散に大きく寄与する平均流の流速が 0.02m/s 程度以下では, 泥分が堆積しやすいことが推察される. なお, 図-8において, 0.020m/s 以下の範囲は, 矢印Aの球磨川河口周辺では, 含泥率60%以上の範囲に比べてやや小さく, 矢印Bの南部海域ではその逆になっている. この点について, 計算条件にした2006年が, 図-4に示すとおり球磨川が最も増水した年であり, 河川流の影響が反映されていること, 最下層の平均流速は海底直上ではないこと等の影響が考えられる.

次に, (ii) について, 図-9に底質の安定性の指標であるシールス数の時系列変動を示した. 本研究では海底直上の流速データを取得していないため, シールス数は岩垣⁸⁾の実験式による摩擦速度から求めた. 図-9から, シールス数はSt1とSt2では $0.1\sim0.2$ を示し, 巻き上げを伴わない掃流移動の状態と考えられ, 堆積傾向と言える. 一方, St3は 0.2 を越え, 時に 0.5 以上になることから, 球磨川の河川流の影響により, 浮遊移動~シートフロー

の状態が生じていると言える. St3では, 懸濁粒子は河川流により移動するため, 図-2(b), (c)に示すように, T-N, T-PがSt1, St2に比べ低くなっている.

図-6 ノリ支柱における窒素量平年値 (Y軸, $\mu\text{mol/L}$) の経年変化³⁾ (平年値は1991年~2013年の旬別平均)

図-7 八代海東側湾の含泥率等値線図 (2004年調査)

図-8 最下層の平均流の平均流速ベクトルが 0.020m/s 以下のメッシュ

図-9 シールス数の時系列変動 (灰色は 0.5 以上)

(3) 海域区分

本節では、泥化が進行した 2007 年 11 月以降の底質項目と底生生物出現種を対象に、階層クラスター分析を行い海域を区分した。階層クラスター分析は、最も似ている組み合わせから順番にクラスターに結合していく方法で、途中過程が樹形図で表される。図-10 は、2007 年 11 月～2009 年 11 月の 6 回の含泥率、T-N、T-P、T-S の平均による海域区分であり、A1～A4 に 4 区分し、A1 と A3 はそれぞれ 2 つに小区分した。表-2 の小区分ごとに見ると、A1a と A1b は含泥率 90%以上の泥であり、A1a は T-N と T-P が高く、A1b は T-S が高い。A2 と A3b は含泥率 60%程度の砂泥であり、両者の違いは、T-P が A2 で低く A3b で高い。A3a と A4 は含泥率 10%以下の砂であり、両者の違いは、T-P が A3a で高く A4 で低い。

次に、図-11 は、底質データと同期間における、底生生物主要 3 門の出現回数の上位各 10 種による海域区分であり、B1～B5 に 5 区分した。この海域区分に対応する底質環境特性を表-3 に示す。図-11 の B3、B4 が図-10 の A1a、A2、A3b に対応し、両者の海域区分は類似する。

図-10 底質環境特性による海域区分

表-2 細区分の底質環境特性 (2007 年 11 月～2009 年 11 月の 6 回調査の平均)

細区分	地点	含泥率 (%)	T-N (mg/g)	T-P (mg/g)	T-S (mg/g)
A1a	St1, 4, 5	93	2.17	0.65	0.20
A1b	St2, 3	91	1.81	0.60	0.31
A2	St6, 7	60	1.21	0.41	0.12
A3a	St8	10	0.68	0.66	0.02
A3b	St10	57	1.66	0.69	0.10
A4	St9	5	0.50	0.29	0.02

図-11 底生生物出現種による海域区分

表-3 軟体、環形、節足動物の出現回数の上位各 10 種による海域区分の底質環境特性 (2007 年 11 月～2009 年 11 月の 6 回調査の平均)

区分	地点	含泥率 (%)	T-N (mg/g)	T-P (mg/g)	T-S (mg/g)
B1	St1, 2	99	2.02	0.68	0.26
B2	St3	83	1.51	0.55	0.27
B3	St4, 5	90	2.28	0.62	0.21
B4	St6, 7, 10	59	1.36	0.50	0.11
B5	St8, 9	8	0.59	0.48	0.02

表-4 海域区分ごとの 3 門の出現回数の上位各 10 種の比較 (表中の●は 2007 年 11 月～2009 年 11 月の 6 回調査での出現率が 50%以上の種)

底質項目	T-N					T-S				
	2.28	2.02	1.51	1.36	0.59	0.27	0.26	0.21	0.11	0.02
海域区分	B3	B1	B2	B4	B5	B2	B1	B3	B4	B5
軟体動物	キセワタガイ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	シズクガイ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ウメノハナガイ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ツマベニクダマガイ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	トウガタガイ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	キセワタガイ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	スエモノガイ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	タマガイ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
環形動物	スイフガイ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ヨコヤマキセワタガイ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ハナオカガキガイ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	イトガイ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	スピオ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ヨツバネスピオB型	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	カギアシゴカイ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ウロコムシ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
節足動物	ノラリウロコムシ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	イトガイ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	オトヒメゴカイ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	モロテゴカイ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ヒサシソコエビ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ナギサクマ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	スガメソコエビ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ヨコナガモドキ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	カドソコシラエビ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	テッポウエビ属	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	クビナガスガメ	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ドロクダムシ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	トゲヨコエビ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	スナモグリ科	●	●	●	●	●	●	●	●	●

5. まとめ

海域区分ごとの底質項目と底生生物の種、個体数の平均値の最大値に対する比により、底生生物分布と底質環境の特徴を比較した図-12 にもとづき、海域特性を以下に示す。(i) A1a の泥は、八代海の中で最も T-N が高い。底生生物の全種数、全個体数は、底生生物の生態系が最も豊かな A4 のそれぞれ 30%、40%であり、八代海の中で最も底質環境が悪化し、底生生物が貧困な海域である。(ii) A1b では、球磨川からの懸濁物質は、北東向きの平均流により移動するため、T-N は A1a の 80%程度に低下する。種数、個体数は A1a に比べやや増加する。(iii) A2 の砂泥は、T-N、T-P が A1a の 60%程度である。全種数は、A1a、A1b に比べて多い。(iv) A3a は砂、A3b は砂泥である。底生生物は、A3a は A4 と並んで Shannon-Weiner の多様度指数が高く、豊かな生態系が形成されている。一方、A3b は T-N が A1a の 60%であり、A2 とほぼ同レベルであり、全個体数は A2 と類似し A4 の 30%である。

図-12 海域区分ごとの底質項目、底生生物の種、個体数 (0.5m²あたり) の平均値の最大値に対する比による海域特性の比較

(v) 湾口に近いA4は、砂でありT-Nは低い。軟体動物種数を除く種数以外の種数と個体数は、八代海で最も多く出現し、豊かな生態系が形成されている。

八代海の容体積は22.3km³であり、有明海の0.66倍、東京湾の0.36倍にすぎない。湾口幅は1.3kmであり、有明海の0.29倍、東京湾の0.06倍と狭い。一方、八代海の湾口は南に開口していて、九州西岸沖を北流する黒潮分

岐流に対峙し、外洋水が直接侵入しやすい。このような地形特性から、八代海は、球磨川等の河川水や、東シナ海の海洋環境変動の影響を受けやすい。このことは、湾奥のA1a、A1bと湾口に近いA4とで、底生生物分布と底質環境に大きな違いがあることに如実に表れている。八代海の再生策を検討するに当たっては、このような地域特性の違いを十分に考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 環境省、有明海・八代海総合調査評価委員会：委員会報告、2006。
- 2) 熊本大学、生物多様性のある八代海沿岸海域環境の俯瞰型再生研究プロジェクト：平成27年度八代海における環境管理方策の検討業務報告書、2016。
- 3) 熊本県水産研究センター：平成27年度ノリ漁場栄養塩情報、プランクトン情報、第1号~24号、2016。
- 4) 園田吉弘、滝川清、川崎信二、青山千春、齋藤孝：八代海海域における水質環境特性、土木学会論文集B3(海洋開発)、Vol. 69, No. 2, pp. I_1240-I_1245, 2013。
- 5) 本多忠夫、光易恒：水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究、第27回海講論文集、pp. 90-93, 1980。
- 6) (公社) 日本水産資源保護協会：平成17年度漁場環境評価メッシュ図策定事業報告(八代海)、2006。
- 7) 秋元和實、滝川清：「くちぞこ」が観た八代海の風景-環境変化をとらえるための表層堆積物データベース-、熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター出版、2005。
- 8) 岩垣雄一：限界掃流力に関する基礎的研修(I) 限界掃流力の流体力学的研究、土木学会論文集、41号 pp.1-21, 1956。

(2016.2.4 受付)

CHARACTERIZATION OF BENTHOS DISTRIBUTION AND SEDIMENT ENVIRONMENT IN THE YATSUSHIRO SEA

Yoshihiro SONODA and Kiyoshi TAKIKAWA

This study made clear that the Yatsushiro Sea can be divided into seven sea areas by examining the next factors ; (i) time-series variation of physical and chemical items of sediment and benthos distribution, (ii) relevance of nutrient of sediment and sea surface culture, (iii) relevance of mud content and streamflow of the Kuma River, (iv) relevance of mud content and mean currents of undermost layer, (v) shields number, and (vi) clustering of physical and chemical items of sediment and species of benthos.