

数値シミュレーションによる タイラギ着底稚貝に及ぼす浮泥厚の影響評価

速水 祐一¹・永尾 謙太郎²・岡村 和磨³・竹内 一浩⁴

¹佐賀大学准教授 低平地沿岸海域研究センター (〒840-8502 佐賀市本庄町1)

E-mail:hayami@cc.saga-u.ac.jp

²正会員 いであ株式会社 国土環境研究所 (〒224-0025 神奈川県横浜市早渕2-2-2)

E-mail:ngo20503@ideacon.co.jp

³国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所 (〒851-2213 長崎市平以良町1551-8)

⁴いであ株式会社 国土環境研究所 (〒224-0025 神奈川県横浜市早渕2-2-2)

有明海におけるタイラギの分布には、着底期における浮泥の存在が影響すると報告されている。本研究は、数値シミュレーションによって過去の浮泥分布を推定し、当時のタイラギ着底稚貝分布と比較することで浮泥の影響を定量的に検討した。

用いた数値シミュレーションモデルはマッピングされた含水比を入力条件とし、巻き上げ係数の空間分布を加味して計算を行う既報のモデルで、新たに含水比の時間変化についても簡易的に予測する改良を行った。本モデルは有明海湾奥部のSS濃度の経時変化を的確に再現するとともに、観測された浮泥厚の分布を計算結果から概ね推定することができた。浮泥厚が11mm以上の地点では着底稚貝が存在していないという結果が得られ、浮泥厚がタイラギ幼生の着底を阻害する要因となっていることが定量的に示された。

Key Words : *sediment, resuspension and deposition, Ariake Sea, numerical simulation, pen shell*

1. はじめに

有明海でのタイラギの漁獲量は1970～1988年までは数年おきにピークがみられ、1979年には2万9千トンもの漁獲があった。その後、熊本県では1980年から、長崎県では1990年から、佐賀県・福岡県では2000年頃から漁獲量は減少に転じ、2000年以降は有明海全域で漁獲がない状況にまで低迷した。2009～2010年にかけて12年ぶりに豊漁となったものの、その後漁獲は再び減少し、2012年より休漁となっている¹⁾。このような状況を受け、タイラギ資源の減少要因の解明に向けて関係省庁・自治体・大学などが連携した調査・研究が進められている。

貧酸素化など想定されるいくつかのタイラギ資源の減少要因のひとつに、古賀・荒巻²⁾は浮泥が多い海域では着底した稚貝が付着基質を見つけられずに斃死している可能性が高いことを指摘している。しかし、実際の浮泥については十分な調査データがなく、浮泥の長期変化を調べるには数値シミュレーションに頼らざるを得ない。

そこで本研究では、タイラギの漁獲量が一時的に増加した2009年～2010年前後の期間に着目し、古賀・荒巻²⁾により観測されたタイラギ稚貝の着底状況と、数値シミュレーションを用いて推定される浮泥厚を対比すること

により、タイラギ幼生の着底に及ぼす浮泥厚の影響を定量的に明らかとすることを目的とした。なお、ここで考える浮泥とは、潮流や波の影響で活発に巻き上げ・堆積を繰り返している表層底質画分と定義した。

2. 有明海における懸濁物輸送モデルの構築

数値シミュレーションによる浮泥厚の推定にあたっては、潮流や出水・高波浪による底泥の浸食・堆積過程を考慮した竹内ら³⁾の懸濁物輸送モデルを用いた。竹内ら³⁾の懸濁物輸送モデルは、表-1に示すように懸濁物を粒径別に4つに区分し解析しており、有明海の空間的な含水比の分布⁴⁾を基に、粒径75 μ m以下の懸濁物の底泥の巻き上げ係数(浸食速度係数 M と限界せん断応力 τ_{ac})の空間分布が与えられるという特徴を持つ。

表-1 懸濁物輸送モデルの粒径区分

粒径区分	粒径 $d(\mu\text{m})$	特性
1	$0 < d \leq 30$	粘着性
2	$0 < d \leq 30$	非粘着性
3	$30 < d \leq 75$	非粘着性
4	$75 < d$	非粘着性

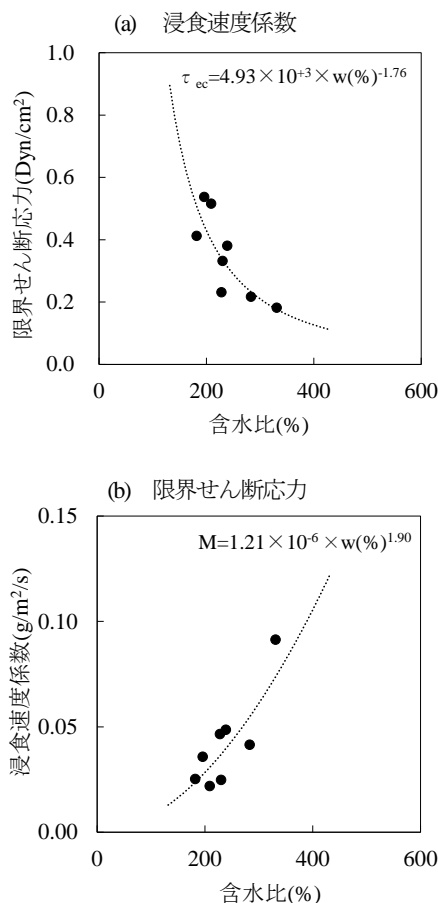


図-1 用いた含水比と巻き上げ係数の関係式
(竹内ら³⁾による研究成果より引用、一部改変)

すなわち図-1に示すように巻き上げ係数と含水比の関係が関数化されたモデルである。この関数化は後述する図-4の浜川東・S-3において、3次元超音波流速計(ADV:Vector)と濁度計による連続観測により巻き上げフラックスの連続データを取得すると同時に、その場の底泥の含水比の測定を行うことで得られたものである⁴⁾。

竹内ら³⁾のモデルでは、巻き上げ係数は時間方向に一定値として扱われている(含水比が固定値として与えられるため)。そのため、例えば在来泥が砂泥質の場所に、出水後に浮泥が堆積したとしても巻き上げ係数は変化しないモデル構造であり、懸濁物輸送の中長期的な計算には適用できないという課題があった。

そこで本研究では図-2に示すように在来底泥上に新たな堆積が生じた場合、この堆積泥の含水比を推定し、巻き上げ係数を時間方向にも変化させるモデル構造を新たに追加した。具体的な含水比の与え方を式(1)に示す。ここで各係数の値は、有明海の堆積泥の含水比と砂含有率(計算される値)の関係(図-3)から得た。ただし砂含有率が5%未満の場合は圧密の有無によって含水比は大きく変動しており、ここでは簡単のため砂含有率が

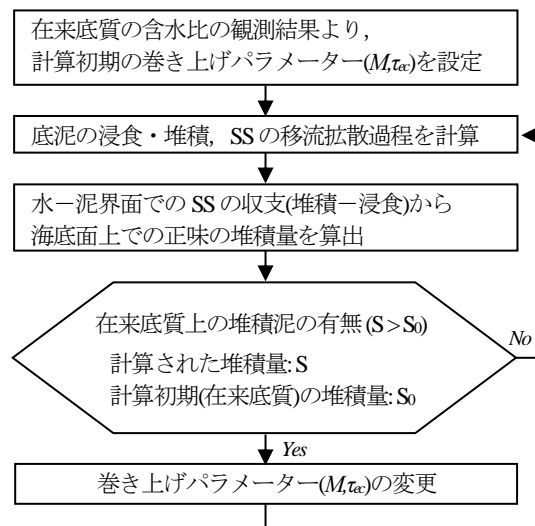


図-2 懸濁物輸送モデルによるSS、底泥の浸食・堆積量の計算手法

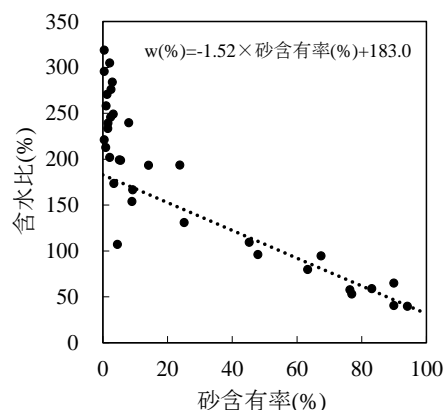


図-3 有明海湾奥部における砂含有率と含水比の関係

5%未満の場合は堆積泥の含水比は300%と仮定した。逆に在来泥上に堆積泥が存在しない場合(在来泥が浸食過程にある場合)、在来泥の含水比は観測値に基づき設定した計算初期の含水比⁴⁾から変わらないと仮定とした。

[$S > S_0$ のとき]

- ・砂含有率が5%以上

$$w(\%) = -1.52 \times \text{砂含有率}(\%) + 183.0 \quad (1)$$

- ・砂含有率が5%未満

$$w(\%) = 300.0$$

[$S \leq S_0$ のとき]

$$w(\%) = \text{初期含水比}(\%)$$

ここで S は計算された堆積量、 S_0 は計算初期(在来底質)の堆積量、 w は含水比である。

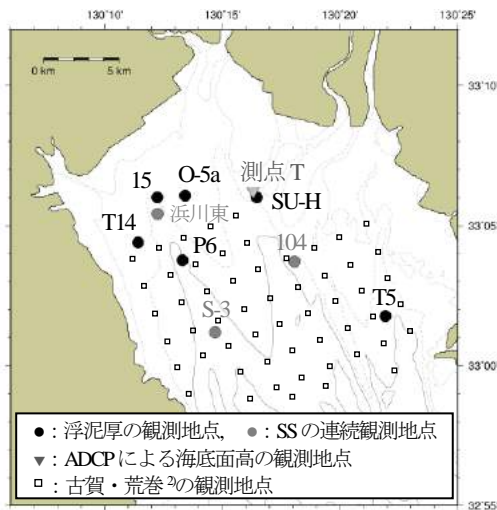


図-4 観測地点

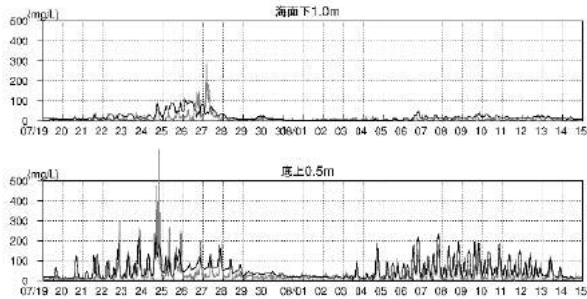


図-5 浜川東におけるSSの観測結果と計算結果の比較
(—: 観測結果, - - : 計算結果)

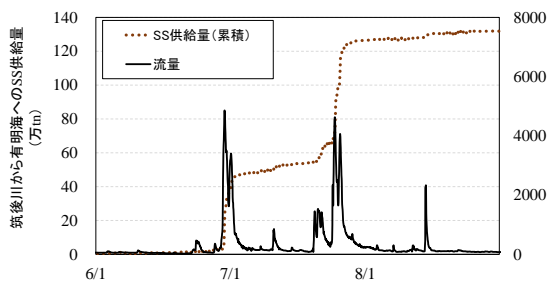


図-6 筑後川からの有明海へのSS供給量の計算結果

改良した懸濁物輸送モデルは、図-4に示す浜川東・S-3・104の3定点において2009年に連続的に観測されたSS濃度をよく再現した。図-5には浜川東でのSS濃度の観測結果と計算結果の比較を示すが、大潮・小潮周期でのSS濃度の増減や大潮時には1日4回、SS濃度のピークが現れる現象（上げ潮・下げ潮）、7月25～27日のように出水後に表層でSSが増加する現象など有明海湾奥部での懸濁物の挙動をよく再現していることがわかる。

また図-6には2009年を例に、筑後川と有明海の境界部における有明海側へのSS供給量(通過フラックス)を示す。なお本モデルは筑後川など一級河川の感潮河道内にも計算

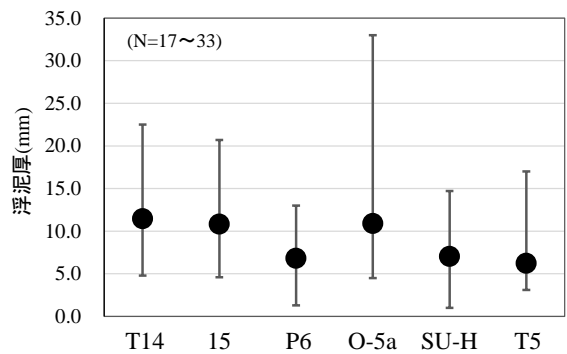


図-7 密度法による浮泥厚の観測結果
(●: 平均値, エラーバーは最小・最大)

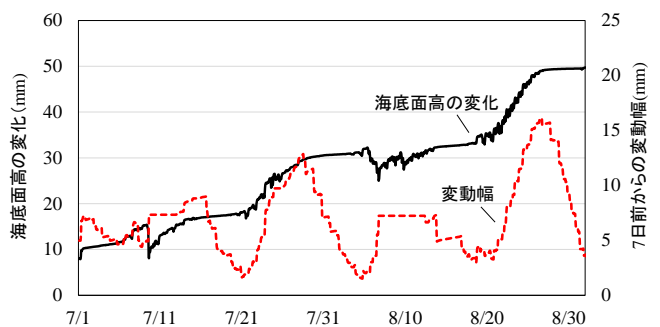


図-8 計算された海底面高の変化とそれを基にした海底面高の変動幅の整理結果
(O-5aにおける2009年の計算結果を例示)

範囲に含んでいる。横山ら⁹⁾は現地観測により2006年洪水期に筑後川の感潮河道の10km地点を通過した浮遊土砂量は90万tであったことを明らかとしている。同時に感潮河道での底泥の浸食が有明海への土砂供給に寄与していることを示している。本モデルでの計算年と横山ら⁹⁾の観測年は同一ではないものの、出水期における有明海への土砂供給量のオーダーは横山ら⁹⁾の知見と一致している。その他一級河川から有明海へのSS供給量についても同様に横山⁹⁾の知見との整合性を確認した。

3. 浮泥厚の再現手法

構築した懸濁物輸送モデルは浮泥厚自体を直接的に予測するものではない。そこ懸濁物輸送モデルの計算結果を用いて、浮泥厚の変化を表現する手法を検討した。

(1) 検証値となる浮泥厚の観測

図-4に示す有明海湾奥の6地点において浮泥厚の観測が、2014年～2016年の夏季を中心に行われた⁷⁾。浮泥厚の測定には、従来の目視に代わり塩化ビニル板を利用し

た汎用的な測定法（密度法）が用いられた。浮泥厚の観測結果を図-7に示すが、浮泥厚は地点：T14、15、O-5aといった干潟縁辺の地点で厚く、平均11mm程度、最大33mmであった。ここには示していないが、浮泥厚は出水後に厚くなる傾向にあった。

また同時期に浮泥厚の経時変化を調べるために、図-4に示す測点TにおいてADCPを用いた海底面高の連続観測を行った⁸⁾。観測された海底面高は大潮時に減少、小潮時に増加するといった大潮・小潮周期で変動していた。同時に測定した底上10cmにおける濁度は、大潮時に上昇、小潮時に低下していた。これは、大潮時には強い潮流によって底泥が浸食され、懸濁物が水柱内に巻き上げられて濁度が上昇する一方で、潮流の弱まる小潮時には水柱内の懸濁物が海底に堆積して海底面高が増加すると共に水柱内の濁度が低下するものと考えられた。このような海底面高変化が浮泥厚の短期的な変化を捉えたものと推測された。

(2) 浮泥厚の推定手法

タイラギへの影響を評価するためには浮泥の厚さが重要と考えられるが、この懸濁物輸送モデルでは直接浮泥厚を計算することはできない。そこで懸濁物輸送モデルの計算結果からまず海底面高の変化を整理した。海底面高の変化は式(2)によって表せるとした。

$$\text{海底面高の変化}(mm) = \sum(\text{堆積量} - \text{浸食量}) \times \frac{1}{(1 - \theta/100)} \cdot \rho_s \quad (2)$$

ここで θ は含水率(%), ρ_s は土粒子密度である。

次に、海底面高の変動成分（短期間で活発に浸食・堆積を繰り返している成分）が浮泥厚を表すと考え、式(2)で得られる計算結果より、海底面高の任意期間中における変動幅を算定した。海底面高の変動幅を計算する期間としては、ADCPで捉えられた海底面高の周期的な変化に着目して、7日間内の最低値と最大値の差として定義した（図-8）。

このようにして推定した海底面高の変化と浮泥厚それぞれの平均的な空間分布の間には、図-9に示すように高い正の相関が得られた（ $r^2=0.86$ ）。これは本懸濁物モデルの計算結果から有明海奥部の浮泥厚の変動を定量的に推定可能であることを示している。すなわち、図-9により計算された海底面高の変動幅を指標として浮泥厚は式(3)により推定できる。

$$\text{観測された浮泥厚}(mm) = 0.95 \times \text{計算された海底面高の変動幅}(mm) + 5.05 \quad (3)$$

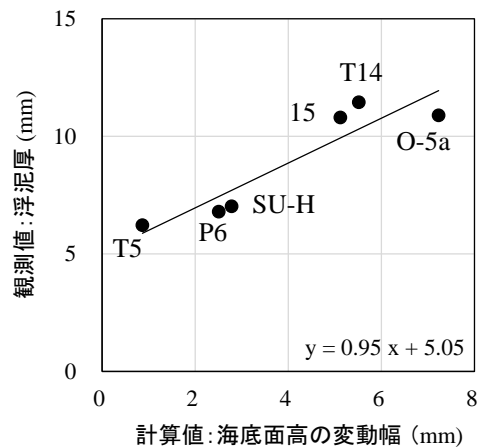


図-9 観測された浮泥厚と計算された海底面高の変動幅の関係

(ここで観測値は2014年～2016年の平均値、計算値は2008年～2011年の平均値である)

4. タイラギ稚貝の着底状況と浮泥厚の関係

古賀・荒巻²⁾によるタイラギ着底稚貝の観測地点は図-4に示すが、近年では2008年から2011年の4か年に比較的多くの着底稚貝が確認されている。しかしながら、この4か年における着底場所は必ずしも同じではなく、2008年は湾奥西部、2009年は湾奥東部、2010年は全域、2011年は湾奥中央にそれぞれ多くの着底がみられた。古賀・荒巻²⁾はこれらの観測結果から、浮泥の堆積が少ない海域に稚貝が分布する傾向があると指摘している。

そこでこの4か年について懸濁物輸送モデルにより湾内の浮泥厚を推定し、古賀・荒巻²⁾による年毎・地点毎の着底稚貝の有無と対比した。図-10に数値シミュレーションの結果より推定した各年の夏季平均の浮泥厚分布を示す。筑後川河口沖から、有明海湾奥北部～東部に至る干潟上を中心に浮泥が厚く分布していることがわかる。ただし、特に有明海湾奥西部では浮泥厚に大きな経年的な違いがあり、2008年夏季において特に浮泥厚が小さくなっていた。

つぎに各観測地点における夏季平均浮泥厚と、タイラギ着底稚貝の有無の関係を調べた。その結果、推定された浮泥厚が11mm以上では着底稚貝が存在していないという結果が得られた（図-11）。この結果は、浮泥の厚さ（量）がタイラギ幼生の着底を阻害する要因となっていることを定量的に示すものと考えられる。

有明海湾の湾奥西部はかつては湾奥東部と並んで佐賀県におけるタイラギの主要漁場であったが、1990年代後半以降はまとまった分布は見られなくなった¹⁾。しかし、2008年には数十年ぶりに多くの着底稚貝がこの海域に現

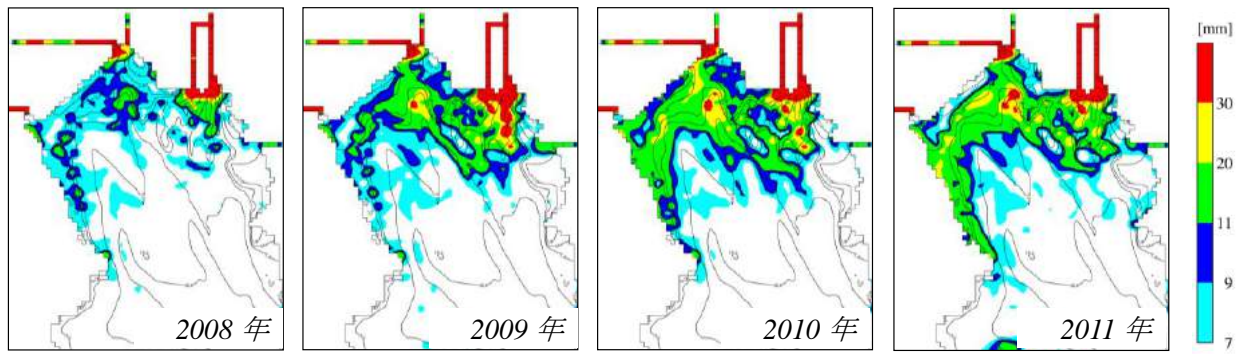


図-10 推定された浮泥厚の平面分布（夏季：6～9月の平均値）

れ、これが2009年漁期の久々の豊漁につながった。図-12に古賀・荒巻²⁾を基にしたタイラギの着底状況に関する2008年から2010年の特徴を示す。この図から、西側のラインでは、2008年にのみ稚貝の着底があったことが分かる。これらは図-10から分かるように、2008年夏季において、他の年に比べて特に浮泥が少なかった海域と一致する。したがって、この年のタイラギ浮遊幼生の着底期において浮泥が少なかったということが、翌年の漁期の久々の豊漁をもたらした条件の1つであったと判断される。

なお2008～2011年の各年の夏季の筑後川の河川流量を比較すると、2008年が最も少ない。夏季の有明海奥部へのSS流入負荷の増大には、出水によって筑後川の感潮河道からフラッシュアウトされる粘土・シルトが大きな影響を与えている⁹⁾¹⁰⁾。したがって、2008年夏季において浮泥が少なかった主な原因は、この年の出水の規模が小さく、河川から流入するSSが少なかったためと考えられる。もちろん、タイラギの分布には浮泥以外の要素も影響する。特に、夏季の貧酸素水塊はタイラギの分布に大きな影響を及ぼす。例えば、2010年には有明海湾奥西部において貧酸素の継続によってタイラギの大量斃死が起きたことが報告されている¹¹⁾。また、浮遊幼生の供給量も、着底稚貝の量に影響すると考えられる。実際の着底稚貝の分布は、浮泥以外にもこれら様々な影響が複合的に作用していると考えられる。しかしながら、本研究の結果から浮泥厚が11mm以上になる海域では、タイラギの稚貝の生息分布の制限要因として浮泥厚が主たる影響と考えられた。

5. おわりに

有明海奥部においてタイラギの着底に影響を及ぼす浮泥の影響について検討し、以下の知見を得た。

- 1) 底泥の堆積に伴う巻き上げ係数の変化を動的に考慮できるように既存の懸濁物輸送モデルの改良を行い、

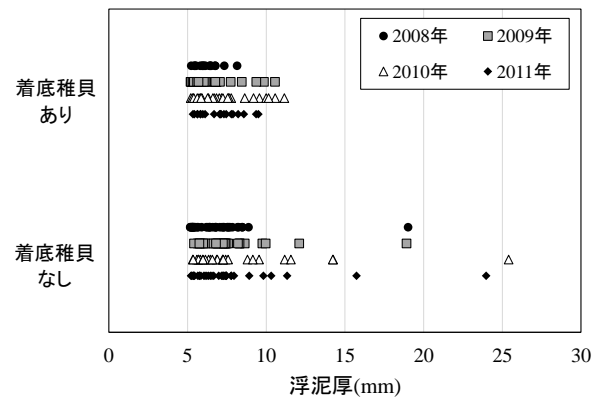


図-11 古賀・荒巻²⁾による地点毎のタイラギ着底稚貝の有無と推定された浮泥厚と対比
(ここで計算値の浮泥厚は7～9月の平均値である)

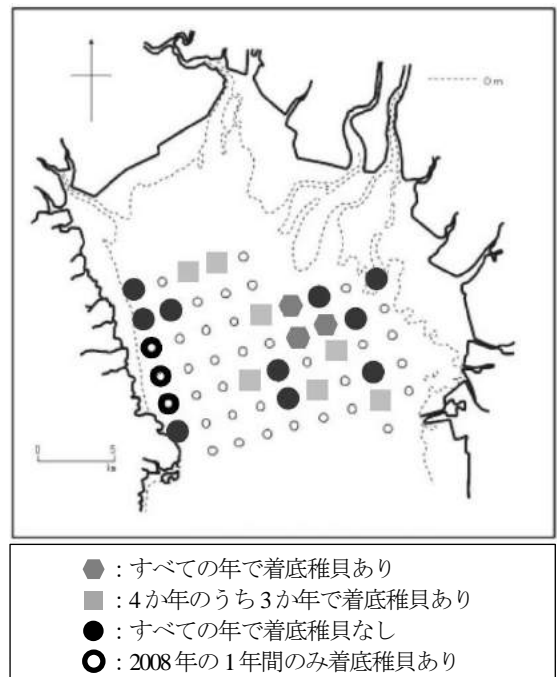


図-12 古賀・荒巻²⁾を基にしたタイラギ稚貝の着底状況に関する2008年から2010年の特徴

- 有明海奥部における懸濁物の挙動を精度良く再現できた。
- 2) この懸濁物モデルの計算結果を基に海底面高の変化を求め、7日間内の海底面高の最低値と最大値の差を浮泥厚の指標と定義した。こうして求めた海底面高の変動幅と観測された浮泥厚は、それぞれの夏季の平均値の分布に高い正の相関が得られた。この結果を用いることで、モデルの計算結果から浮泥厚が推定可能と考えられた。
 - 3) 上記に基づいて2008～2011年の各年の夏季の有明海奥部における浮泥厚分布を推定した。その結果、2008年の湾奥西部において、他の年に比べて特に浮泥が少ないという結果が得られた。
 - 4) 計算で求めた浮泥厚とタイラギ着底稚貝の間には、浮泥厚が11mm以上では着底稚貝が存在していないという結果が得られた。
 - 5) 着底期において浮泥が少なかったことが、有明海湾奥西部において2009年漁期にタイラギが久々の豊漁となった要因の1つであると考えられた。

謝辞：本研究は平成28年度環境省請負業務 有明海・八代海等再生評価支援（有明海二枚貝類の減少要因解明等調査）の一部として行われた。本業務にかかる検討委員会（委員長 灘岡和夫東京工業大学 環境・社会理工学院 教授）並びに環境省 水・大気環境局 閉鎖性海域対策室に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 有明海・八代海等総合調査評価委員会: 有明海・八代海等総合調査評価委員会報告 まとめ集, 2017.
- 2) 古賀秀昭, 荒巻裕: 佐賀県有明海におけるタイラギ漁業の歴史と漁場形成要因—特に 2009 年度漁期の豊漁要因についてのいくつかの考察—, 佐有水研報, 26, pp.13-24, 2013.
- 3) 竹内一浩, 永尾謙太郎, 水野博史, 河野史郎, 川岸寛, 楠田哲也, 岡田光正, 中川康之, 速水祐一: 有明海における懸濁物輸送モデルの開発, 海洋理工学会大会講演論文集 (秋季), pp.73-76, 2012.
- 4) 平成 21 年度有明海・八代海再生フォローアップ調査 (懸濁物調査) 業務 報告書, いであ株式会社, 2012.
- 5) 横山勝英, 山本浩一, 金子祐: 筑後川感潮河道における洪水時の底質浸食及び濁質輸送に関する研究, 佐賀大学有明総合研究プロジェクト, vol.3, pp.25-38, 2007.
- 6) 横山勝英: 有明海への土砂流入と底質環境, 海洋と生物, 29(6), pp.571-576, 2007.
- 7) 第 40 回有明海・八代海等総合調査評価委員会資料: 環境省ホームページ, <http://www.env.go.jp/council/20ariyatsu/yoshi20.html>
- 8) 国立研究開発法人 水産研究・教育機構, 国立大学法人 佐賀大学, いであ株式会社: 平成 27 年度環境省請負業務結果報告書 有明海・八代海等再生評価支援 (有明海二枚貝類の減少要因解明等調査), 2016.
- 9) 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, 第 52 巻, pp.936-940, 2005.
- 10) 横山勝英, 山本浩一, 一寸木朋也: 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, 海岸工学論文集, 第 53 巻, 471-475, 2006.
- 11) 荒巻裕, 大隈斉: 有明海佐賀県海域で 2010 年夏季に発生したタイラギ 1 歳貝の大量斃死について, 佐有水研報, 25, pp.1-7, 2011.

(2017.3.15 受付)

NUMERICAL MODEL FOR EVALUATION OF RELATIONSHIP BETWEEN DENSITY OF JUVENILES OF THE PEN SHELL AND THICKNESS OF FUDEI

Yuichi HAYAMI, Kentaro NAGAO, Kazumaro OKAMURA and Kazuhiro TAKEUCHI

In the inner area of Ariake Sea, there are sediments (mainly clay) which repeating resuspension and deposition quickly at the surfade of the bottom sediment. We call this sediments as Fudei. The distribution of the pen shell in this area was affected by the Fudei since it inhibit the settlement of its larvae. However there were not enough data of Fudei. Therefore, we estimated the past distribution of Fudei using a numetical simulation and compared with the distribution of the juvenile pen shell to evaluate the influence of the Fudei on the settlement of its larvae. The simulation model we used was a 3 dimensional coupled hydrodynamic and sediment transport model which calculated the resuspension of bottom sediment based on the horizontal distribution of resuspension parameters from the water content of the surface sediment. In this time, we improved it to be able to treat the temporal variation in water content. Good agreement between calculation and observation was obtained for the Suspended Solid (SS). Also, it properly estimated the distribution of Fudei using the correlation between the estimated variation of the bottom hight and the observed Fudei thickness. The comparison between the estimated Fudei thickness and the distribution of the juvenile pen shell showed that pen shell could not survive in the Fudei thicker than 11 mm after its settlement. So, this study showed the inhibition effect of the Fudei on the larval settlement of pen shell quantitatively.