

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360201

研究課題名(和文) 海洋変動が汽水域・浅海域高次生態系に与える影響とメソスケールアセスメントへの展開

研究課題名(英文) Influence of coastal ocean system variations on the ecosystem on estuary and coast

研究代表者

八木 宏 (YAGI, HIROSHI)

独立行政法人水産総合研究センター・水産工学研究所・その他

研究者番号：80201820

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、汽水域・浅海域生態系、特に高次生態系に与える海洋変動影響を把握するために、有用水産生物であるチョウセンハマグリ、シラスウナギに着目し、加入過程の実態計測、海洋変動のモニタリングと浮遊幼生分散シミュレーションを行った。その結果から、シラスウナギは河口域遡上時期により個体の栄養状態が変化していること、チョウセンハマグリは隣接する鹿島灘と九十九里海域間で活発な浮遊幼生の交換が行われていること、九十九里海域は黒潮接岸時に形成される循環流や海上風の効果により浮遊幼生が残留しやすい構造であることを示した。

研究成果の概要(英文)：To understand the influence of coastal ocean variations on the ecosystem of estuarine and inner-self regions, the initial stage of life history for *Meretrix lamarckii* and *Anguilla japonica*, especially, their recruitment processes were intensively investigated by field experiments and numerical simulations. Measurement results have shown that nutritional status of the young eels going upstream in the estuary which is one of the important factor for recruitment, varied seasonally. Moreover, numerical simulation results of suspended larva of *Meretrix lamarckii* have revealed that the active exchanges between Kashima and Kuju-kuri coasts, and the suspended larvae likely remained in the Kuju-kuri coast by the circulation induced by Kuroshio Current approaching to the coast.

研究分野：海岸工学

キーワード：海洋変動 加入過程 生活史 チョウセンハマグリ シラスウナギ 浮遊幼生 数値モデル 海洋モニタリング

1. 研究開始当初の背景

汽水域・浅海域を含む沿岸域の水質及び生態環境の劣化が日本各地で顕在化しているが、一般にその原因は、陸域からの汚濁負荷や河口堰・港湾等の大規模構造物建設、海岸侵食・埋め立て（干拓）など人為的な影響にその原因が求められることが多い。一方で、日本の多くの沿岸域は開放的なエリアに属し、その汽水域・浅海域は海洋変動による生態系の変化も同時に内包していると考えられるが、人為的な影響と海洋変動との関係が十分に理解され、環境影響評価や環境保全及び環境再生策に反映されているわけではない。汽水域・浅海域の水環境保全や再生には、人為的な影響を明らかにすると同時に、内在する海洋変動の影響の実態を把握し、それを環境影響評価に反映させることが、保全・再生などの環境施策の不確実性を低減させるために不可欠となっている。

2. 研究の目的

本研究では、汽水域・浅海域生態系、特に高次生態系に与える海洋変動影響を把握するために、その重要な要素の一つである海洋生物生活史初期（加入過程）に着目し、海洋変動を捉える海洋変動モデル&モニタリングと海洋生物加入を捉える加入過程実態計測を組み合わせ、加入過程と海洋変動との関係把握を試みることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、海洋生物（水産有用種）の生活史初期として、チョウセンハマグリ（内部回帰型）の浮遊幼生期、シラスウナギ（外部加入型）の河川遡上期を対象を絞り、鹿島灘から房総九十九里海域を対象海域として生活史初期の加入過程と海洋変動の関係性を調べた。加入過程は、チョウセンハマグリ（内部回帰型）の浮遊幼生は内部回帰型、シラスウナギは外部加入型であり（図-1）、加入過程の異なる生物種へ与える海洋変動影響を把握することを試みた。

(1) 加入過程の実態計測

① チョウセンハマグリ

チョウセンハマグリ（内部回帰型）の浮遊幼生については、実用的な同定手法が研究開始時には存在しなかった。本研究が目指す加入過程の実態計測には、精度の高い識別と定量分析が可能な浮遊幼生同定手法が不可欠であることからリアルタイム PCR を用いた同定手法の構築を試みた。具体的には、チョウセンハマグリ（内部回帰型）のミトコンドリア DNA の COI 領域の配列から、近縁種であるハマグリ、シナハマグリ、タイワンハマグリ（外部加入型）の同領域の塩基配列を比較し、チョウセンハマグリに特異的なプライマー dual labeled probe (以下、DLP と略する) を設計した。設計された DLP について、国内各地で採取されたチョウセンハマグリ、238 種類の二枚貝類の DNA に対するリアルタイム PCR の反応性及び特異性により有効性を確認した。また、茨城県栽培協会で生産した

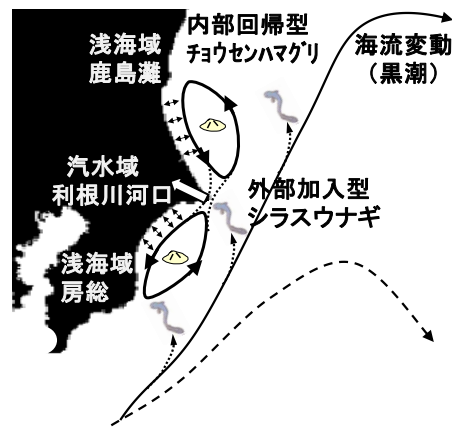


図-1 チョウセンハマグリ（内部回帰型）の採集場所

发育段階ごとの浮遊幼生に対して、1 個体あたりの DNA コピー数を算出し、DNA 量から浮遊幼生固体数の推定を可能とした。さらに、浮遊幼生の同定手法として特異的マウスモノクローナル抗体法も検討し、2 つの異なった手法でチョウセンハマグリ浮遊幼生を同定する高精度で定量性の優れた分析方法の構築を試みた。

一方、チョウセンハマグリ浮遊幼生の広域分散と各海域への加入の実態を把握する方法として、鹿島灘～九十九里海域におけるチョウセンハマグリ稚貝対し遺伝的距離解析を行った（ミトコンドリア DNA の COI 領域の塩基配列を決定しハプロタイプ解析を実施）。

② シラスウナギ

外部加入型のシラスウナギについては、外海から汽水域への加入する際の支配因子と考えられるシラスウナギ個体の生理特性に着目し、栄養状態等を反映する遺伝子の発現動態について調べた。

具体的には、利根川河口域で定置網により採捕されたシラスウナギのサンプリングを行い、全長・体重・肝重量を測定し、組織からはコルチゾルをエーテル抽出し、酵素抗体法により含量を測定した。また total RNA を ISOGEN により抽出、DNase 処理後に Prime Script により cDNA を作成、ウナギに特異的なプライマーを用いた SYBR green による定量的リアルタイム PCR により、代謝関連の遺伝子について mRNA 量を測定した。

(2) 海洋変動影響モニタリング

図-2 に観測を行った海域の水深分布、港湾空港技術研究所の観測棧橋 HORS の位置、X バンドレーダ画像の範囲等を示す。2013 年 7 月 29 日から 8 月 26 日の間、HORS の先端（水深約 6 m）にサーミスタチェーンを係留し、2 分間隔で水温分布の変動を計測した。また X バンドレーダにより、時間平均画像を毎時 0～17 分に 1 枚、30 分～56 分の間は 2 分毎に 13 枚収録した。これにより、水深約 20 m 以浅のフロントの伝播状況を解析した。

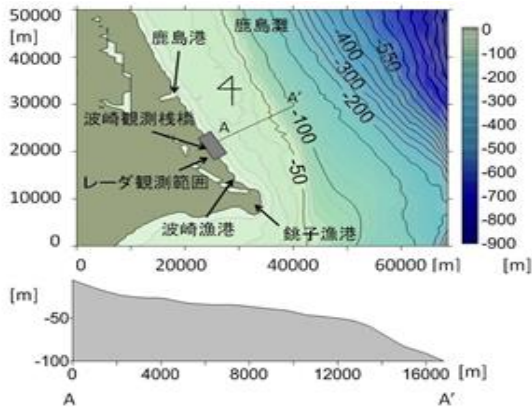


図-2 (上) 観測対象域 (鹿島灘南部, 鹿島港～波崎漁港). (下) AA'の断面図

(3) 海洋変動影響モデリング

チョウセンハマグリ の加入過程にとって重要な浮遊幼生期の移動分散特性を数値モデルに基づいて検討した. 数値モデルは, 黒潮の流路変動など海洋変動を直接反映した浮遊幼生の広域移動分散特性を把握できるように, 水産工学研究所が構築した沿岸流動モデル NRIFE-POM に海洋モデル FRA-JCOPE2 の結果を外海境界条件として与え, 海岸域から放出したチョウセンハマグリ浮遊幼生を Lagrange 的に追跡することでその挙動を把握可能なモデル構成とした.

4. 研究成果

(1) チョウセンハマグリ浮遊幼生同定手法

表-1 に設計されたプライマーと DLP を示す. これを用いたリアルタイム PCR 反応は, 国内各地で採取したチョウセンハマグリ の全ての個体に反応し, チョウセンハマグリ以外の 238 種の二枚貝には反応しないことを確認した. チョウセンハマグリ浮遊幼生 1 個体あたりの DNA コピ-数を図-3 に示す. 殻長の変化と同様に, 受精後 7 日以降の DNA コピ-数の変化は小さかった.

本研究によって高精度で定量性の高い同定手法が開発されてことで, 従来の形態法では同定が困難であったチョウセンハマグリ浮遊幼生の分布動態把握, モデル計算の validation のために質・量ともに揃った野外調査結果の提供が可能となった.

(2) 加入過程の実態計測

① チョウセンハマグリ

2002 年に行われた現地調査の結果を図-4 に示す. チョウセンハマグリ浮遊幼生の濃度は, 産卵期初期である 7 月から末期の 9 月ま

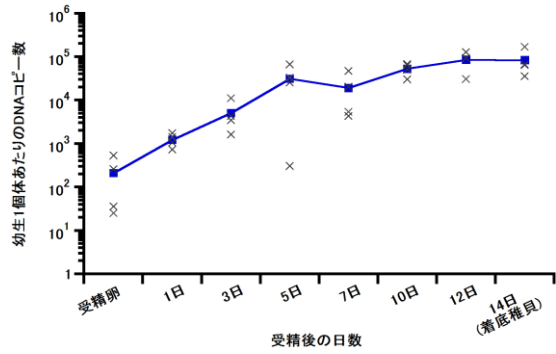


図-3 チョウセンハマグリ浮遊幼生一個体あたりの DNA コピ-数の変化

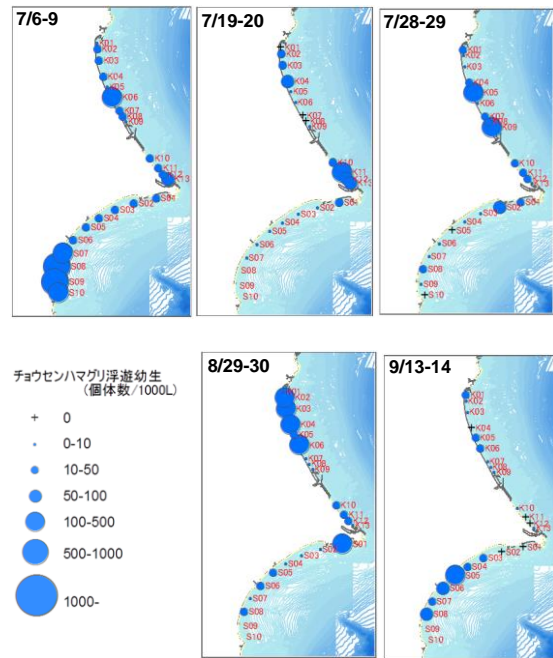


図-4 チョウセンハマグリ浮遊幼生調査の結果 (2012年調査)

で空間的にも時間的にも大きく変動している. そこで, 対象海域を北側の鹿島灘 (13 観測点), 南側の九十九里 (10 観測点) の大きく 2 領域に分け, それぞれの領域の年ごとの浮遊幼生濃度平均値を算出しその時間変化を調べてみた (図-5). 平均値で見ると 2012 年と 2013 年に大きな相違はなく, 2014 年に遊幼生濃度が増加している. 鹿島灘と九十九里で比較すると平均的には九十九里海域の方が浮遊幼生量が多い傾向がある.

さらに各観測点の 2012～2014 年の全ての計測結果を平均し空間分布の特徴を調べてみた (図-6). 変動はあるものの鹿島灘北部の茨城県大竹を中心とした領域 A, 南部の波崎

表-1 設計したプライマーとDLP

プライマー・プロ-ブ名	塩基配列	長さ	5' 標識	3' 標識	Tm値	産物長さ
Chou_COI-P	ACAGTAATTCCAAGATGATGCTTTCT	26	HEX	BHQ1	67	152
Chou_COI-F	GTTTTGACTGTTGACTGT	18			59.1	
Chou_COI-R	CGTGTAAGATAAAAATTAATAGTC	25			58.6	

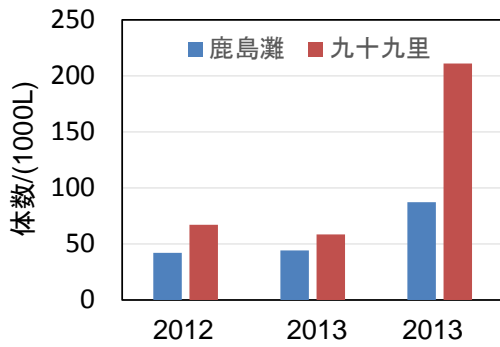


図-5 チョウセンハマグリ浮遊幼生濃度の経年変化

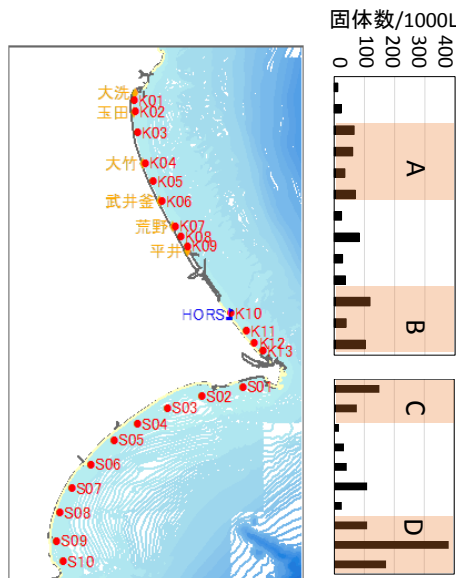


図-6 チョウセンハマグリ浮遊幼生濃度の空間分布

に近い領域 B, また九十九里海域では, 北部の飯岡周辺の領域 C, 南部の太東崎に近い領域 D で浮遊幼生濃度が大きくなる傾向が見られた。これらのうち, 例えば九十九里海域南部の領域 D は, 成員や稚貝の主たる生息領域 (北部, 中部) から離れており, このことはチョウセンハマグリ浮遊幼生が産卵場から大きく移動し, 浮遊幼生の空間分布形成に大きな影響を与えていることを示している。

②シラスウナギ

来遊期間を通して全長には顕著な変化はなく, 体重には不規則な変動が見られた。肝重量/体重比は来遊初期に最も高く, 暫時減少して行く傾向が認められた。図-7(a)は2013-2014年期の結果を示す。ストレスや糖代謝を調節するホルモン, コルチゾルの含量には, 不規則な変動が見られた。食欲に関わるホルモンであるグレリンの mRNA 量には, 統計上有意な変化は認められなかった。一方, 成長を促進するホルモンであるインスリン様成長因子の mRNA 量は, 来遊初期に低く, 中・後期には高い傾向が見られた (図-7(b))。

肝重量は摂餌状況の影響を受けると考えられるが, 肝臓/体重比は, 肥満度よりも鋭

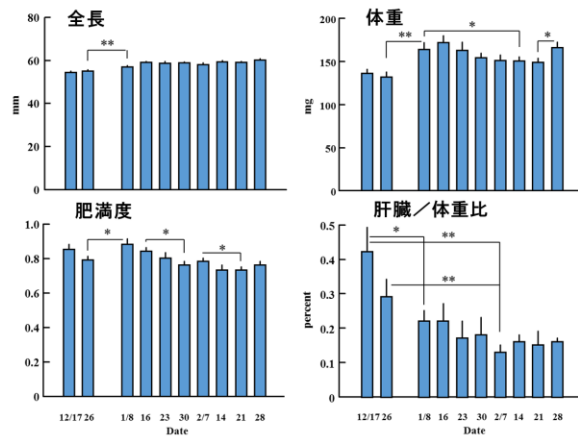


図-7(a)

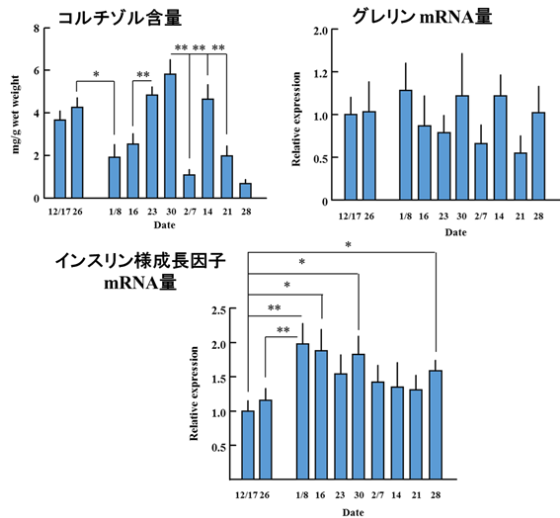


図-7(b)

敏な指標として, 来遊時期が遅くなるに伴い, シラスウナギの栄養状態が悪くなることを示唆している。栄養状態は, 来遊した個体群の遡上後の生存, 加入等にも大きく影響する。

また今回解析した生理的な指標では, 主に肝臓で作られるインスリン様成長因子に興味深い変動が見られたが肝臓/体重比との関連については不明で今後の課題である。

(3) 海洋変動影響モニタリング

Xバンドレーダによって確認されたフロント (図-8(a)) とその伝播の一例を図-8(b)に示す。画像中の明るく表示された線状の領域はレーダのエコー強度が周辺よりも大きくなっている。この線状の高輝度領域をここではフロントと考える。線状の高輝度領域は外洋側から海岸に向かって伝播している。図-8(b)の画像は複数の観測結果を合成して表示したものである。フロントは直線的な分布を保ったまま沖から岸に近づき, 接岸後に消滅する。後に議論するように, 内部波の伝播によって発生したフロントがレーダに捉えられていると考えているが, レーダ観測の範囲では屈折する様子は見られない。また, フロントの伝播速度は 0.09 m/s~0.3 m/s であった。

フロントが海岸域に到達した際, サーミス

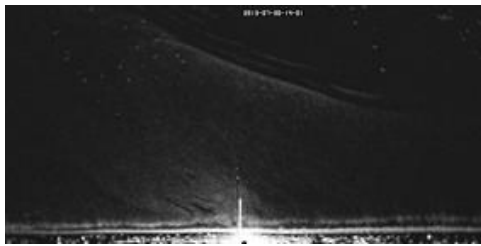


図-8(a) レーダ画像に捉えられたフロント (2013年7月30日14時30分~32分の平均画像) 画像下方中央の白い縦線= 観測栈橋(長さ400m).

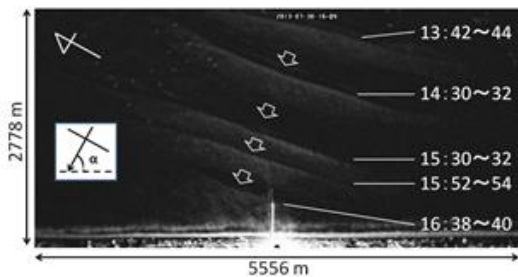


図-8(b) レーダ画像に捉えられたフロント伝播 (2013年7月30日13時42分~16時40分). 画像は複数の観測結果を合成.

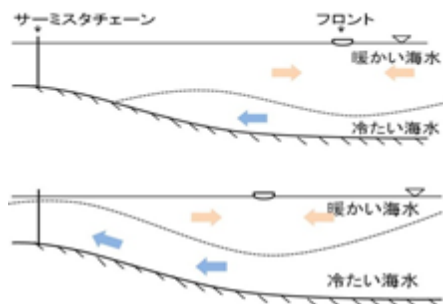


図-9 フロントの伝播に伴う流動と収束帯の発生. 柳 (1990) を参考に作成.

タチェーンには非対称的な水温の上下動が現れ、その周期は半日周期、日周期であった。これは八木ら (1999, 2000) が述べている内部波による水温変動の特徴と一致しており、ここで観られた水温変動やフロントの伝播は内部波が浅海域に到達して生じたものと考えられる。

フロントの流動構造を推定すると、夏季の日射や気温により成層が形成されるため、その水温の異なる層間を内部波が伝わることにより水温変動が起こる。図-9のようにフロント伝播に伴う流動が発生し、内部波の山と谷の間の海面にフロントが形成されると考えられるため (柳, 1990), この内部波伝播に伴い収束帯が形成され、収束帯付近で海表面にある風波の振幅、波形勾配の増大によりレーダへの反射が増え、帯状の高輝度部としてレーダ画像に映ったと考えられる。

本観測結果は、開放性の高い鹿島灘では成

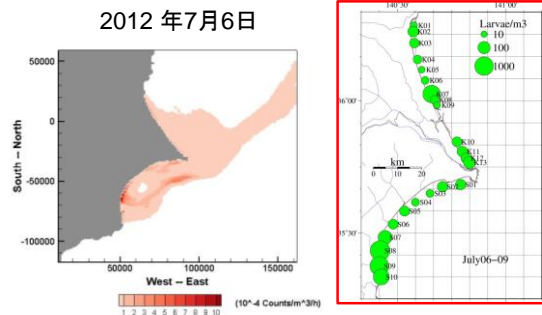


図-10 チョウセンハマグリ浮遊幼生の移動分散シミュレーション結果 (左) と現地調査結果 (右): 2012年7月上旬

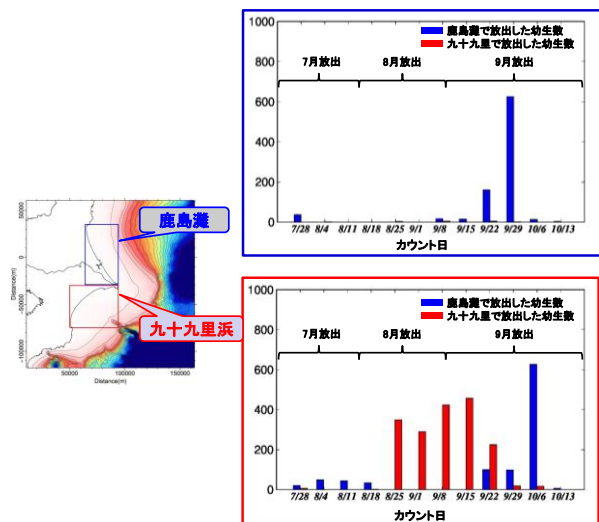


図-11 チョウセンハマグリ浮遊幼生の沿岸域への残存量の経時変化 (右上: 鹿島灘, 右下: 九十九里海域, 2012年を対象)

層期に海岸域への内部波の伝播、遡上が頻繁に生じており、内部波による海岸域とその沖合との活発な海水交換を通じて、チョウセンハマグリ浮遊幼生の海岸域からの移動分散に大きな影響をもたらしている可能性を示唆している。

(4) 海洋変動影響モデリング

広域分散モデルの精度検証のために計算結果を浮遊幼生現地調査結果と比較したところ (図-10), 空間分布の傾向 (九十九里海域南部で浮遊幼生濃度が高くなるなど) がよく整合しており、数値モデルは一定の精度でチョウセンハマグリ浮遊幼生の空間分布の特徴を再現していることが確認できた。

そこで、加入のしやすさの指標として浅海域から放出された浮遊幼生の沿岸域への留まり方を調べた (図-11). 鹿島灘と九十九里海域で比較すると、九十九里海域に残存する浮遊幼生量が多く、九十九里海域は自身の海岸域からの放出されたものに加え隣接する鹿島灘側からの浮遊幼生の移動もあり比較的長期間にわたって浮遊幼生が残存する傾向がある (無効分散が小さい)。

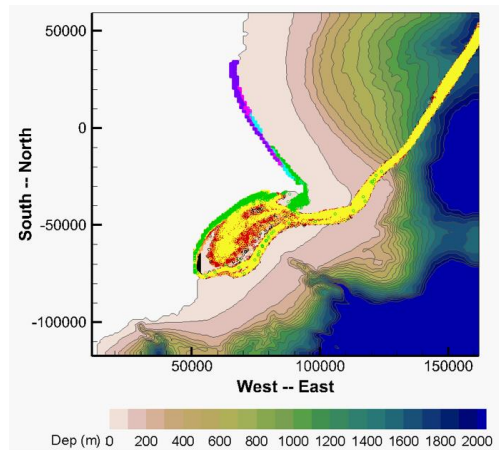


図-12 チョウセンハマグリ浮遊幼生の移動分散シミュレーション結果のスナップショット (2012年7月)

また、数値シミュレーション結果から浮遊幼生の挙動を詳しく調べた所、i)鹿島灘と九十九里の両海域間では浮遊幼生の活発な交換が行われていること、ii)海上風による流れによって浮遊幼生分散が大きく影響を受けていること、iii)九十九里海域には黒潮の接岸により反時計回りの循環流が形成され、浮遊幼生はこれに取り込まれることによって沿岸域に滞留しやすい傾向がある(図-12)こと等がわかった。両海域への浮遊幼生の残存の相違はこのような海域の流動構造、海洋変動に支配されていると考えられ、海洋変動が浮遊幼生の分散や加入の重要な要素の一つであることがわかった。なお、鹿島灘と九十九里海域間で浮遊幼生が活発に交換している事実は、先述の遺伝的距離解析によって両海域の稚貝の遺伝的類似性が強いことから裏付けられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

行川修平, 武若聡: 夏季の鹿島灘浅海域で観測された水温変動とフロントの伝播に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学). Vol. 70, No. 2, pp. I_441-I_445, 2014.

[学会発表] (計4件)

南部亮元・澤田英樹・齊藤肇・八木宏・浜口昌巳: リアルタイム PCR によるChousenhamaguri *Meretrix lamarckii* の浮遊幼生同定手法の開発, 2012年日本プランクトン学会・日本ベントス 学会合同大会講演要旨集, p152, 2012.

宇田川徹, 澤田英樹, 南部亮元, 齊藤肇, 杉松宏一, 西敬浩, 八木宏, 浜口昌巳, 中山哲
厳: 鹿島灘~九十九里沿岸におけるChousenhamaguri 浮遊幼生分布モニタリング. 2013年日本プランクトン学会・日本ベントス 学会合同大会講演要旨集, p143, 2013.

Yada, T., Kaifu, K., Kaiya, H., Tsukamoto, K., Ghrelin and food acquisition in Japanese eel., 7th Intercongress Symposium of AOSCE, 2014.
矢田崇・阿部倫久: 来遊時期によるシラスウナギの生理学的差異, 平成27年度日本水産学会春季大会講演要旨集, p22, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八木 宏 (YAGI HIROSHI)
水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部・グループ長
研究者番号: 80201820

(2) 研究分担者

中山 哲 (NAKAYAMA AKIYOSHI)
水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部・部長

研究者番号: 40372065

浜口 昌 (HAMAGUCHI MASAMI)
水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所生産環境部・主幹研究員

研究者番号: 60371960

矢田 崇 (YADA TAKASHI)
水産総合研究センター増養殖研究所内水面研究部・グループ長

研究者番号: 80372043

武若 聡 (TAKEWAKA SATOSHI)
筑波大学大学院システム情報工学研究科・教授
研究者番号: 80202167