

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：82101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780206

研究課題名(和文)底棲魚介類の初期減耗要因の解明：再生産期の異なる種の比較によるアプローチ

研究課題名(英文)Elucidation of factors affecting mortality during early life stages of megabenthos: comparative study on megabenthic species with different reproductive season

研究代表者

児玉 圭太(Keita, Kodama)

独立行政法人国立環境研究所・環境リスク研究センター・研究員

研究者番号：90391101

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：東京湾において再生産時期が異なるが資源量が同調的に減少したシャコとマコガレイについて、生活史初期の生残に影響する要因を調査した。野外調査の結果、貧酸素水塊が稚シャコの着底阻害および空間分布の制限を引き起こし、当歳の個体数密度の減少に寄与している可能性が示された。マコガレイでは、産卵から浮遊仔魚までの生活史段階において冬の水温が高い年に仔稚魚の個体数密度が低いことが認められた。以上の結果から、再生産時期が夏のシャコと冬のマコガレイにおいては生活史初期の生残に影響する因子が異なることが明らかとなり、両魚種の資源量に現在回復がみられないことについてのメカニズムが異なることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：To elucidate common or different mechanisms of synchronous stock decline of megabenthos with different reproductive season in Tokyo Bay, factors affecting mortality during the early life stages of mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*; summer spawner) and marbled sole (*Pseudopleuronectes yokohamae*; winter spawner) were investigated.

Field surveys revealed that mortality between larval and juvenile stages might have affected abundance of mantis shrimp. Analysis of spatio-temporal changes in juvenile mantis shrimp and environmental factors showed that hypoxia could cause failure of settlement and contraction of spatial distribution of juveniles, thereby resulting in decrease of young-of-the-year abundance. On the other hand, field surveys revealed that water temperature was a critical factor affecting young-of-the-year abundance of marbled sole; increase in water temperature during reproductive season might have affected mortality of marbled sole between spawning and early larval stages.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：個体数変動 初期生活史 底棲魚介類 貧酸素 水温 東京湾

1. 研究開始当初の背景

沿岸域は生物生産性が高い水域であり、水産上の重要種を含む多くの水生生物の産卵場および成育場として極めて重要な機能を果たしている。しかしながら近年、日本各地の沿岸域において生物相の衰退が報告されている。沿岸域の環境保全および生物生産性の向上のために、生物相が衰退した要因の解明、さらには生物相回復のための手法開発が必要である。東京湾はわが国の主要な内湾の一つであり、沿岸開発の進んだ現在も漁業生産が営まれている。東京湾における底棲魚介類の資源量は 1980 年代の前期から中期にかけて高水準であったが、1980 年代末に非漁獲対象種も含め複数の魚種が同調的かつ急激に減少し、現在も資源量は低水準で推移している (Kodama et al., Prog Oceanogr 2010)。このような状況において、シャコやマコガレイなどの優占種を漁獲対象とする小型底びき網漁業について資源回復計画 (神奈川県、千葉県および水産庁により策定) が平成 19 年度から実施され、漁業者による禁漁区設定や休漁などの自主的な漁獲管理が実施されてきた。しかしながら、漁獲対象種の資源量は減少の一途を辿り、回復の兆しがみられない。また、非漁獲対象種の資源量も低水準で推移している。この事実は漁獲努力量以外の要因が、複数の魚種の資源量増加を抑制している可能性があることを示唆する。しかし、複数の魚種の資源量増加を阻んでいる要因が魚種間で共通しているのか、もしくは魚種ごとに固有の減耗要因が存在するのか、については解明されていない。

一般に海産生物の資源量の多寡は生活史初期の個体数減少 (初期減耗) の程度に大きく左右される。そして、餌料条件や被食、および水温などの環境因子が主要な初期減耗要因となり得ることが知られている。東京湾では底棲魚介類の生活史初期における餌料条件や被食が生残に及ぼす影響についての知見は皆無である。餌料条件に関する研究を行うためには、幼仔稚の食性を調査する必要がある。しかし、東京湾の底棲魚介類の幼仔稚の食性については一部の魚類で報告があるのみで、甲殻類に至っては生活史初期の食性に関する知見は皆無である。これは甲殻類幼生が餌を咀嚼するため、消化管内容物の形態観察による餌生物種の同定が困難であるため、消化管内容物の形態観察によらない餌生物同定手法の開発が必要である。一方、これまでの申請者らの研究から、東京湾のシャコやマコガレイ等の底棲魚介類の資源量減少に水温や溶存酸素濃度等の環境因子が関与している可能性が示唆されている (Kodama et al., Prog Oceanogr 2010)。しかし、底棲魚介類の生残に対して、環境因子が直接的に影響するのか、それとも環境変化が餌料生物や捕食者の種組成の変化などを引き起こして間接的に影響するのかについて、因果関係を裏付けるデータは得られてい

ない。また、再生産の時期はシャコ (春～夏) とマコガレイ (冬) の間で異なっているが、両魚種の資源量は同調的に減少している。両魚種の資源量減少要因の共通点および相違点について科学的な知見は得られていない。

2. 研究の目的

東京湾の優占種であり、再生産時期の異なるシャコとマコガレイを対象として、両魚種の生活史初期の生残に影響する因子を解明する。特に、生活史初期の餌料条件および環境因子 (水温、溶存酸素濃度) に着目し、これらの因子が初期減耗に及ぼす影響について野外調査と飼育実験により明らかにする。幼仔稚の食性を分子生物学的に調査する手法の開発も行う。得られた結果を総括し、再生産時期の異なる両魚種の初期減耗要因の共通点と相違点について評価する。

3. 研究の方法

東京湾の優占種であり、再生産時期が異なるシャコとマコガレイの初期減耗要因を、野外調査と飼育実験の両面から解明する。本研究では特に、生活史初期の餌料条件および環境因子が初期減耗に及ぼす影響を明らかにする。まず、幼仔稚の食性調査手法を開発した上で、餌料条件が初期減耗に及ぼす影響に焦点をあてて調査する。捕食者による被食も初期減耗要因となりえるが、研究期間と作業量を勘案し本研究では取り扱わない。初期減耗に影響する環境因子については、申請者らの過去の研究による知見に基づき、シャコでは溶存酸素 (DO) 濃度、マコガレイでは水温に着目する。

本研究は下記の 3 項目から構成される。

(1) 生活史初期における食性の調査手法開発
シャコ幼生は餌生物を咀嚼するため、消化管内容物から形態学的に餌生物を同定することが困難である。マコガレイ仔魚については、消化管内容物の形態から餌生物種を推定することが可能だが、消化が進行したものについての同定は困難である。そこで、分子生物学的手法を応用し、餌生物種を定性的に把握する手段を確立する。これにより、両種の幼仔稚の棲息環境中における食性を明らかにすることが可能となる。

(2) 餌料密度と環境因子が初期減耗に及ぼす影響の検証 (飼育実験)

異なる餌料密度と環境因子 (水温、DO 濃度) を組み合わせさせた実験区における生残、成長および栄養状態を調査する。餌料密度、環境因子、および成長や栄養状態が、幼仔稚の生残に及ぼす影響を明らかにする。

(3) 棲息環境中における初期減耗要因の推定 (野外調査)

東京湾において各魚種の再生産期に幼仔稚を採集する。個体数密度の経時変化をもとに生残率の推定を行い、成長、食性、栄養状態についても調査する。水温、DO 濃度および

餌生物の種組成と個体数密度について、経時変化を調査する。これらの調査項目の相関関係を解析し、飼育実験により得られた結果も考慮に入れ、実際の棲息環境における初期減耗要因の探索を行う。

以上の調査結果をもとに、再生産の時期が異なるシャコとマコガレイの間で、初期減耗要因の共通点（餌料条件に関する斃死要因）と相違点（環境因子に関する斃死要因）について評価する。また、調査した因子（餌料条件、水温、DO 濃度）以外に初期減耗に影響する因子が存在する可能性についても考察する。

4. 研究成果

東京湾産シャコの初期生活史特性および初期減耗要因を解明するため、東京湾における野外調査を実施し、2004年以降のデータも用いて経年変化を解析した。その結果、幼生密度は2007年と2008年に比較的高かったが、稚シャコ密度は2007年に高く2008年に低かった。この結果は幼生から着底までの生残率が加入量の多寡を規定することを示唆する。着底完了した12月において、生残率が高かった2007年には湾全域に稚シャコが分布していたのに対し、2008年には湾奥に稚シャコがみられなかった。両年の貧酸素水塊の消長を調査した結果、2007年には着底盛期である10月以降に貧酸素水塊の面積規模は小さく11月下旬に解消したのに対し、2008年には10月から11月にかけて湾奥で貧酸素水塊が広域に発生し、11月下旬にも解消がみられなかった。稚シャコの着底盛期以降に1ml DO/l未達の貧酸素水塊が発生した頻度を調べ、稚シャコ密度との関係を解析した。稚シャコは9月以降に出現し、着底盛期は10月であった。貧酸素水塊は10月以降は湾北部にのみ発生した。一般化線形モデルにより、着底盛期に湾北部に着底した稚シャコの密度は貧酸素水塊発生頻度の増加とともに指数関数的に減少することが認められた。以上の結果は、湾奥における貧酸素水塊の発生時期が幼生の着底盛期と重なったことにより、湾奥への幼生の着底が阻害された可能性を示す。すなわち、貧酸素水塊は稚シャコの生息場所の制限要因であるとともに、年級群強度にも影響することを示唆する。一方、貧酸素水塊の影響がみられない湾南部においても、2007年と2008年の稚シャコ密度には有意差があることから、貧酸素水塊だけではなく餌条件や幼生の輸送経路など、浮遊生活期の生残率に影響する他の要因も精査する必要がある。

東京湾産シャコの生活史初期の生残率に關与する要因を解明するための研究の一環として、幼生の餌生物推定手法の開発を試みた。ホスト生物の遺伝子を選択的に除外し餌生物のDNAのみを増幅する手法であるPNA-directed PCR clampingの適用可能性について検討した。28S rDNAを解析対象とする

ことの妥当性を評価するため、幼生の餌として想定される複数の生物分類群の塩基配列をweb上の塩基配列データベースより取得し、多重配列アラインメントを作成した。これにより28S rDNA内において、シャコを含む全ての種を増幅できる部位、およびその部位の中においてシャコに特異的な配列を明らかにし、その配列情報に基づいてユニバーサルプライマーとPNAを設計した。ユニバーサルプライマーにより複数の生物種の28S rDNAを増幅できることを確認した。一方、PNAによるシャコ28S rDNAの増幅阻害については、シャコDNAの濃度が高い場合、およびユニバーサルプライマーとPNAの設計部位の距離が大きい場合に増幅阻害の失敗が認められた。今後、この問題を解決するための方法について検討が必要である。一方、ユニバーサルプライマーとPNAの設計部位の距離が近い場合にはシャコDNAの増幅阻害が認められた。東京湾において採集したシャコ幼生の消化管を含む頭胸甲から全DNAを抽出し、PNA-directed PCR clampingを試行した。その結果、解析した全6個体のうち1個体から甲殻類プランクトンの橈脚類が検出され、また4個体からは、クラゲ類、珪藻、渦鞭毛藻が検出された。検出されたこれらの生物種がシャコ幼生により捕食されたものか検証するために、今後飼育下において既知の餌生物種を摂餌させた幼生の食性解析等によりPNA-directed PCR clampingの妥当性を調べる必要がある。

東京湾産マコガレイの生活史初期の生残率に關与する要因を解明するための研究の一環として、室内試験と野外ケージ試験により稚魚の耳石日輪形成を検証した。室内試験では飽食区および飢餓区を設けた。室内試験と同時期に野島海岸沖に稚魚を収容したケージを投入した。ケージ試験では給餌は行わず、自然環境中の生物を餌とした。両試験ともに1週間経過後に供試個体を回収し、礫石輪紋数を測定した。試験期間中の室内飢餓区の平均輪紋数(=5.1)は、室内飽食区(=6.8)およびケージ試験区(=6.9)より有意に低かった。室内飽食区とケージ試験区の間には有意差は認められなかった。この結果は、稚魚が飢餓状態にない場合には礫石縁辺部に1日1輪の輪紋が形成されることを示唆する。

2005~2009年の東京湾産マコガレイ産卵量および仔稚魚密度の経年変化を調査した。産卵量は2005~2007年にはほぼ横ばいで、2008年以降に減少した。仔魚と稚魚の密度は同様の経年変化を示し、2006年と2008年に相対的に高かった。産卵量と仔稚魚密度の経年変化は異なっていた。仔魚密度が高かった2006年と2008年には冬季の平均水温はその他の年に比べ相対的に低かった。以上の結果は産卵~仔魚期の間の生残率が着底量を規定しており、水温が潜在的な規定要因であることを示唆する。

以上の結果から、再生産の時期が異なるシ

ヤコ(春~夏)とマコガレイ(冬)においては生活史初期の生残に影響する因子が異なっていることが明らかとなった。このことは両魚種の資源量に現在回復がみられないことについてのメカニズムが異なることを示唆する。一方、1980年代から1990年代にかけて両魚種の同調的に減少した原因については、漁獲圧力など本研究では考慮していない因子も影響する可能性があるため、本研究結果のみから結論づけることはできない。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計8件)

Kodama K, Tajima Y, Shimizu T, Ohata S, Shiraishi H, Horiguchi T, Disturbance of recruitment success of mantis shrimp in Tokyo Bay associated with effects of hypoxia on the early life history. Marine Pollution Bulletin, 査読有, 2014 (in press), <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.04.028>

Kodama K, Lee JH, Shiraishi H, Horiguchi T, Changes in growth and reproductive traits of dragonet *Callionymus valenciennei* in Tokyo Bay, concurrent with decrease in stock size. Marine Environmental Research, 査読有, 93, 2014, pp.21-30, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.08.007>

Park JC, Oyama M, Lee JH, Kodama K, Ohta Y, Yamaguchi A, Shiraishi H, Horiguchi T. Phenotypic changes in reproductive traits with changes in stock size of the starspotted smooth-hound *Mustelus manazo* in Tokyo Bay, Japan. Fisheries Science, 査読有, 79, 2013, pp.193-201, <http://dx.doi.org/10.1007/s12562-012-0580-7>

Park JC, Lee JH, Kodama K, Urushitani H, Ohta Y, Horiguchi T. Structure of the intratesticular duct system for sperm emission in the starspotted smooth-hound *Mustelus manazo*. Fisheries Science, 査読有, 79, 2013, pp.203-211, <http://dx.doi.org/10.1007/s12562-012-0581-6>

Kodama K, Lee JH, Oyama M, Shiraishi H, Horiguchi T, Disturbance of benthic macrofauna in relation to hypoxia and organic enrichment in a eutrophic coastal bay. Marine Environmental Research, 査読有, 76, 2012, pp.80-89, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.08.007>

Kodama K, Rahman MS, Horiguchi T, Thomas P, Upregulation of hypoxia-inducible

factor (HIF)-1a and HIF-2a mRNA levels in dragonet *Callionymus valenciennei* exposed to environmental hypoxia in Tokyo Bay. Marine Pollution Bulletin, 査読有, 64, 2012, pp.1339-1347, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.002>

Kodama K, Rahman MS, Horiguchi T, Thomas P, Assessment of hypoxia-inducible factor-1a mRNA expression in mantis shrimp as a biomarker of environmental hypoxia exposure. Biology Letters, 査読有, 8, 2012, pp.278-281, <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2011.0887>

Lee JH, Kodama K, Horiguchi T, Change in body size of juvenile marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae* after preservation in ethanol. Ichthyological Research, 査読有, 59, 2012, pp.49-52, <http://dx.doi.org/10.1007/s10228-011-0255-x>

[学会発表](計8件)

児玉圭太, 田島良博, 大畑 聡, 白石寛明, 堀口敏宏. 貧酸素水塊が東京湾産シヤコの着底個体の空間分布と個体数密度に及ぼす影響. 平成26年度日本水産学会春季大会, 2014年3月28日, 北海道大学函館キャンパス(函館)

Lee JH, Kodama K, Horiguchi T. Verification of daily growth increment in the otolith of juvenile marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae*. KOFFST International Conference 2013; Climate Change and the Trends in Demand and Supply of Aquatic Products, 2013年11月22日, Bexco Convention Halls (Korea)

Kodama K, Tajima Y, Shimizu T, Ohata S, Shiraishi H, Horiguchi T. Disturbance of reproductive success of mantis shrimp in Tokyo Bay associated with effects of hypoxia on the early life history. 7th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology, 2013年6月20日, University of Hong Kong (Hong Kong)

Kodama K, Lee JH, Park JC, Shiraishi H, Horiguchi T. Changes in life history traits of megabenthic species in Tokyo Bay, Japan, concurrent with decrease in their stock sizes. The 5th Bilateral Seminar Italy-Japan Physical and Chemical Impacts on Marine Organisms: For the Sustainable Quality of Human Society Development on Marine Environment (招待講演), 2012年11月27日, Consiglio Nazionale delle

Ricerche, Area della Ricerca di Palermo (Italy)

Horiguchi T, Kodama K, Ihara S, Takase M, Ohta, Yoshii H, Mizuno S, Kamiyama K, Maki H, Tanaka A, Karube S, Shiraishi H, Ohara T. Surveys on environmental pollution and possible adverse effects by radionuclides in wildlife, after severe accidents of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants, Japan. The 5th Bilateral Seminar Italy-Japan Physical and Chemical Impacts on Marine Organisms: For the Sustainable Quality of Human Society Development on Marine Environment (招待講演), 2012年11月27日, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Area della Ricerca di Palermo (Italy)

児玉圭太, 堀口敏宏. 東京湾におけるシャコの資源変動要因と資源管理. 平成24年度瀬戸内海ブロック水産業関係研究開発推進会議生産環境部・増養殖部合同部会主催シンポジウム: 瀬戸内海におけるシャコの変動要因とその資源管理 (招待講演), 2012年11月14日, ホテルチューリッヒ東方2001 (広島)

Kodama K, Horiguchi T. Effects of hypoxia on benthic organisms in Tokyo Bay, Japan. The 1st International Symposium for Marine Environment Management in Special Management Coastal Area (招待講演), 2012年5月25日, Yeosu Gwangyang Port Authority (Korea)

大畑 聡, 石井光廣, 赤羽祥明, 小宮朋之, 児玉圭太, 李 政勲, 堀口敏宏. 東京湾北部海域における底層 DO の推移と大型底生生物の出現状況. 平成25年度日本水産学会春季大会, 2012年3月27日, 東京海洋大学品川キャンパス(東京)

〔図書〕(計1件)

Kodama K, Horiguchi T. Changes in the megabenthic community structure in relation to environmental variations in Tokyo Bay, Japan. In: Daniels JA (ed.) Advances in Environmental Research. 2012, 20. Nova Science Publishers, Hauppauge NY. pp125-146.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

児玉 圭太 (KODAMA, Keita)

独立行政法人国立環境研究所・環境リスク
研究センター・研究員

研究者番号: 90391101