

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23405033

研究課題名(和文)メコンデルタにおけるMudskipper類生態調査

研究課題名(英文)Ecological study of the mudskippers in the Mekong Delta, Vietnam

研究代表者

石松 惇 (ISHIMATSU, Atsushi)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環シナ)・教授

研究者番号：00184565

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：メコンデルタにおいて、カントー大学と共同して以下の研究を行った。メコンデルタでは、マッドスキッパーの1種(カケオ)が盛んに養殖されている。しかし、その種苗は天然稚魚に依存しているため、資源の枯渇の懸念があることが初年度の調査で明らかになった。稚魚採集を行った結果、産卵は海域で行われていること、バクリュー省河口に遡上している稚魚は孵化後約38日であることが明らかになった。カケオの養殖池には、同地域に存在するエビ養殖池と比べて、10～100倍に及ぶ微小藻類およびバクテリアが水中に存在することが明らかになった。夜間には養殖池は無酸素状態となっていた。ベトナム沿岸で新種の渦鞭毛藻を発見した。

研究成果の概要(英文)：We conducted the following studies in the Mekong Delta, in collaboration with Can Tho University. The first year survey revealed that the natural resource of the mudskipper, *Pseudapocryptes elongatus*, is at a risk for a drastic decrease due to overfishing of its larvae as aquaculture seeds. We demonstrated that spawning occurs in the saline environment, and that the juveniles we collected in the Bac Lieu Province were 38 days old after hatching. (2) We found one or two orders of magnitude higher numbers of algae and bacteria in the mudskipper aquaculture pond water than in the shrimp aquaculture ponds. Oxygen concentration in the subsurface water of mudskipper ponds was nearly zero during nighttime. (3) A new marine dinoflagellate collected from Vietnamese coast was described on the basis of morphology, and molecular phylogeny inferred on small and large subunit ribosomal DNA sequences.

研究分野：環境生理学

キーワード：国際研究者交流 ベトナム メコンデルタ 生態 Mudskipper 養殖 微生物 植物プランクトン

1. 研究開始当初の背景

Mudskipper 類は東南アジアを中心に分布し、水陸両生の生活様式を示す魚類の中でも特殊なグループである。Mudskipper 類は、泥干潟に常在する唯一の脊椎動物であり、その活動は干潟の物理化学環境ならびに生態系に大きな影響を与えていると考えられる。しかし、この類に関する研究は、生息域の多くが発展途上国に集中しているため散発的な形でしか行われておらず、生態については不明な部分が多く残されている。研究代表者の石松と連携研究者の田北は、これまでマレーシア、インドネシア、韓国およびオーストラリアで科学研究費補助金による海外学術調査、および有明海で 10 年を超える生態調査を実施し、mudskipper 類の分類と干潟環境への生理生態学的適応について世界をリードする研究を進めてきた。特に、オス親魚が産卵室に空気を貯蔵して卵への酸素供給源とし、卵保護期間の最後に空気を除去し卵を浸漬して孵化を引き起こすことを解明した業績は高く評価されている。研究分担者の和田は、干潟に生息するアナジャコ他の動物による巣穴掘削が泥中微生物群集に与える影響について先進的な研究を、岩滝は微細藻類の系統分類、増殖特性などで分野をリードする一人であり、ベトナムでの研究経験も豊富である。連携研究者の田北は、mudskipper 類の新種を 3 種発見している (Larson & Takita (2004) Beagle: 20,175 他)。

Mudskipper 類はベトナムでは食料としても重要な位置を占めており、特に *Parapocryptes serperaster* など数種はメコンデルタ流域の住民にとって重要な蛋白源となっている。研究代表者らは、海外共同研究者であるベトナム・カントー大学の Tran Dac Dinh 博士と現地の mudskipper 類に関する情報交換を行った過程で、この仲間に関する基礎的情報がほとんどないこと、漁獲圧の上昇に伴って資源の減少が懸念されていること、資源の保全のためにメコンデルタにおける mudskipper 類の生態・資源・環境学的研究が強く求められていることなどを知った。研究代表者らは、これらの背景に基き今回の研究計画を立案するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、まずメコンデルタに生息する mudskipper 類を厳密に同定する。同時に主要な泥干潟における mudskipper 類の分布域と地域個体群サイズの概略を把握する。さらに分布域の底質・水質環境、活動時期、初期発生・成長・再生産(産卵期・産卵数・巣穴の形状・内部環境と役割、および親魚の卵保護行動)を調査する(主担当:石松・田北・海外共同研究者)。また、mudskipper 類の活動(干潟上および巣穴掘削など)が干潟の物質循環に与える影響を評価する手掛かりとして、微生物相・活性との関係を調査する(主担当:和田)。*Parapocryptes* は形態的特徴から干潟上の微小珪藻を主な餌料としていと考えられるため、一次生産者としての珪藻類を初めとする微小藻類の同定、増殖特性の把握も行う(主担当:岩滝)。これらの知見に基いた

mudskipper 類の資源保護と持続的利用策の検討を Dinh 博士らと共同で行う。

3. 研究の方法

メコンデルタに活動拠点を設置し、ベトナム共同研究者の協力を得て mudskipper 類の周年サンプリングを行う。生息環境・土壌微生物・微小藻類ほかの餌生物などに関する現場調査と、サンプルを研究施設に持ち帰っての各種分析によって mudskipper 類に関する情報を効率的に収集する。資源動態・漁業活動についても、基礎的知見を収集する。これらの知見を多面的・総合的に解析・検討して、mudskipper 類の資源保護と持続的利用のための提案として取りまとめる。

[平成 23 年度]

初年度は以下の項目について検討する。

研究適地の決定: Soc Trang のカントー大学臨海実験所 (Vinh Chau ステーション) を活動拠点とし、mudskipper 類の分布密度が高いとされる Soc Trang, Bac Lieu, Ca Mau, Kien Giang, Tra Vinh, Ben Tre, Tien Giang などでの予備調査の結果に基いて調査適地を決定する。

予備調査

- 1) Mudskipper 類の同定・分布確認: 採集した mudskipper サンプルを日本に持ち帰り、Murphy(1989) Rec. Aust. Mus. Suppl. 11,1-93 等を参照して、種査定を行う。Mudskipper 類の巣穴(開口部形状により無脊椎動物等の巣穴と識別可)を計数し、密度を推定する。
- 2) 産卵期: 調査時及び現地研究者から入手した個体を用いて、GSI の測定、生殖巣の組織学的観察、また干潟での求愛行動の観察などから産卵期を推定する。
- 3) 生息環境: 生息地の底質、環境水および巣穴水の予備的分析を行う。
- 4) 微小藻類: 干潟上の付着珪藻等の微小藻類を採集し、同定用資料とする。

[平成 24 年度]

- 1) *P. elongatus* の繁殖地については科学的証拠は乏しいものの、聞き取り調査によって泥干潟域、沿岸やや沖合(5km程度?)および淡水域湖沼で産卵しているとの相反する情報を得た。この点についてより詳細な情報を取得するとともに、Bac Lieu 省を中心として稚魚調査を実施する。
- 2) 養殖業者数軒を訪問し、今後の水質・微生物調査への協力を得ることができるようになった。これらの業者の養殖池にセンサーを設置して、水質環境の連続モニタリングを行う。

[平成 25 年度]

- 1) これまでの調査地である Bac Lieu 干潟域に加えて、東方の Mo O および西方の Tan An を調査域として、メコン川南方沿岸をより広く調査する。

- 2) Bac Lieuの*P. elongatus*種苗業者と協力関係が築けたため、定期的サンプリングを業者に依頼して実施する。人工種苗生産への技術協力を行う。
- 3) *P. elongatus*の養殖池の微生物および微細藻類について、エビ養殖池との比較をしながら、引き続いて環境条件との関係を検討し、適正な養殖条件の確立に資する。

【平成 26 年度】

最終年度であることから、稚魚の回遊履歴の解析、および産卵地の特定に努力する。
研究成果をまとめ、研究論文として学術誌へ投稿する。

4. 研究成果

【平成 23 年度】

交付申請書の今年度実施計画の中、研究適地の決定および次年度以降の調査計画については、ほぼ計画通り実施することができた。ただし、予備調査については未実施の部分が多く残った。

研究適地の決定：メコンデルタでの現地調査の結果、Vinh ChauおよびBac Lieuを中心として調査を進めることに決定した。次年度以降の調査計画：下記の通り、現地研究者との突っ込んだ議論の結果、研究目的を若干修正するとともに、詳細な調査計画の基礎を築くことができた。

ベトナム南部ではMudskipper類の1種である*Pseudapocryptes elongatus*が大規模に養殖されており、養殖種苗を天然仔魚に依存しているため資源の枯渇が強く懸念されていることが明らかになった。またCan Tho大学では*P. elongatus*の再生産に関する生態調査および人工種苗生産技術の開発に取り組んできたものの、これまでのところ当初の目的を達成していないことも明らかになった。

これらの聞き取り調査の結果、当初の研究目的を修正し、*P. elongatus*の再生産生態を解明し、可能であれば人工種苗生産技術への関与を進めることとした。

【平成 24 年度】

2012年6月および10月に、メコンデルタのBac Lieuを中心として、現地で養殖対象となっているMudskipper類の1種*Pseudapocryptes elongatus*の仔稚魚を、漁獲業者よりの買い取りおよび備船による採集により収集した。これらの調査によって、以下のことが判明した。

耳石のカルシウム/ストロンチウム解析より、産卵場所は淡水域ではなく、海水・汽水域である可能性が高い。

*P. elongatus*稚魚の形態が部分的に把握できた。また、3月には養殖池の物理化学環境に関して、現地測定を行った。その結果、*P. elongatus*養殖池の底層は夜間に無酸素状態になることなどが明らかとなった。この結果については、12月にタイのプーケットで開催された「The First Asian Marine Biology Symposium」で研究分担者の和田が口頭発表を行った。

【平成 25 年度】

前年度に引き続いて、*P. elongatus*の再生産生態に関する調査を2013年6月と12月に行った。2013年6月には、Ca Mau省のNam Can周辺の生息状況を調査し、その後Bac Lieu省での調査を行った。Nam Canでは、地元漁師に仔魚採集を依頼したが、本年度中に入手できたのは稚魚のみであった。Bac Lieuでは、*P. elongatus*の養殖中間業者から稚魚サンプルを購入した。

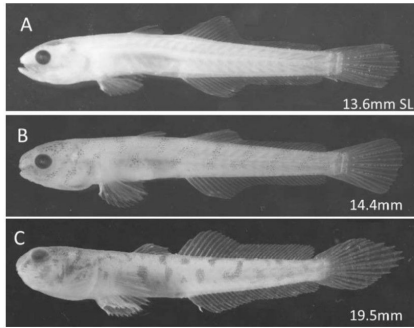
12月には再びBac Lieuを訪れ、漁船で沖合いまで行った後、干出した干潟を岸まで調査したが、底質がかなり硬く、*P. elongatus*は全く認めることができなかった。その後、Ca Mauに移動して、ボートで周辺の干潟を探索した。地図には記載されていない、かなり大きな干潟があり、そこには多数の*Boleophthalmus*や*Periophthalmus*が棲息していたため、*P. elongatus*についても棲息の可能性が考えられた。ただし、この時には、*P. elongatus*は確認できなかった。

Month_Year	Pond ID	Cultured organisms	Salinity	Algal abundance (cells/mL)	Bacterial abundance (cells/mL)	DO consumption (%/min)
June_2012	F1	<i>P. elongatus</i>	8	8.5×10^6	3.7×10^8	0.5
	F2	<i>P. elongatus</i>	7.3	1.8×10^7	2.8×10^8	0.9
	F3	<i>P. elongatus</i>	9.3	1.3×10^6	1.7×10^8	0.2
	S1	<i>P. monodon</i>	20	1.5×10^5	1.7×10^7	-0.2
	S2	<i>P. monodon</i>	21.7	3.3×10^4	1.5×10^7	-0.1
	S3	<i>P. elongatus</i>	13	2.6×10^6	1.7×10^8	0.7
Oct_2012	F4	<i>P. elongatus</i>	9	1.2×10^7	2.3×10^8	0.4
	S3	<i>L. vanname</i>	19.5	3.9×10^6	4.8×10^7	0.005
	S4	<i>L. vanname</i>	14	2.7×10^6	6.2×10^7	-0.1
	F6	<i>P. elongatus</i>	11.5	7.7×10^6	2.4×10^8	0.6*
March_2013	F7	<i>P. elongatus</i>	14	NA	2.8×10^8	1
	S5	<i>L. vanname</i>	31	4.6×10^5	1.2×10^8	0.08*
June_2013	F8	<i>P. elongatus</i>	12	NA	NA	NA*
	S6	<i>P. monodon</i>	12	NA	NA	NA*

Bac Lieu省の*Pseudapocryptes elongatus*養殖池の水質環境。

*P. elongatus*の養殖環境については、近隣に存在するエビ養殖池との比較の結果、微生物や藻類の水中濃度が極めて高く、夜間にはごく表層を除いて無酸素状態になることを確認した。

【平成 26 年度】



Bac Lieu 省で採集された *Pseudapocryptes elongatus* の稚魚。

ベトナム南部を中心として大規模に養殖されているMudskipper類の1種*P. elongatus*の再生産生態に関する調査を、2014年8月に行った。Bac Lieu省の調査地では稚魚を地元業者から買い上げて、ミトコンドリアDNA分析による種判定に用いた。また、メコンデルタの他地域でも調査を行い、Bac Lieuで混獲されていると思われる*Parapocryptes serperaster*の親魚を採集し、種判定のためのDNA情報を得た。

DNA分析の結果、Bac Lieuで漁獲されている稚魚は、*Pseudapocryptes elongatus*と*Parapocryptes serperaster*の2種がほとんどであることがわかった。両種は頭部における黒色素胞の分布、および尻鰭基部での黒色素胞の有無によっても判別できた。また、尻鰭の体長に対する割合も*P. elongatus*のほうが有意に短い。これらの結果についての予報は、2014年4月にベトナム・カントー大学で開催されたシンポジウム

「International Conference on Aquaculture and Environment: A focus in the Mekong Delta, Viet Nam」で口頭発表を行った。さらにこの研究結果については、原稿にまとめ、現在Environmental Biology of Fishesに投稿中である。

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 9 件)

- (1) Zhang, J., T. Takita, A. Muchtar, C. Chen and A. Ishimatsu (2015) Mitochondrial genome of *Boleophthalmus* sp. nov. (Osteichthyes: Gobiidae). Mitochondrial DNA. 査読有
- (2) Toba, A. and A. Ishimatsu (2014) Roles of air stored in burrows of the mudskipper, *Boleophthalmus pectinirostris* for adult respiration and embryonic development. J. Fish Biol., 84: 774-793. DOI: 10.3109/19401736.2015.1018230. 査読有
- (3) Itoki, N., T. Sakamoto, M. Hayashi, T. Takeda and A. Ishimatsu (2012) Morphological responses of mitochondria-rich cells to hypersaline environment in the Australian mudskipper, *Periophthalmus minutus*. Zool. Sci., 29: 444-449. 査読有
- (4) Lee, J.-A., J.-W. Kim, S.-Y. Oh, S.-K. Yi, I. Noh, A.

Ishimatsu and W.-S. Kim (2012) Effect of low dissolved oxygen on the oxygen consumption rate and rhythm of the mudskipper *Scartelaos gigas* (Pisces, Gobiidae). Fish. Sci., 78: 1013-1022, DOI 10.1007/s12562-012-0536-y. 査読有

- (5) Ishimatsu, A. (2012) Evolution of cardiorespiratory system in air-breathing fishes. Aqua-BioScience Monographs, 5:1-28, doi:10.5047/absm.2012.00501.0001. 査読有
- (6) Gonzales, T. T., M. Katoh, M. A. Ghaffar and A. Ishimatsu (2011) Gross and fine anatomy of the respiratory vasculature of the mudskipper, *Periophthalmodon schlosseri* (Gobiidae: Oxudercinae). J. Morphol., 272: 629-640. 査読有
- (7) Ishimatsu, A. and J. B. Graham (2011) Roles of environmental cues for embryonic incubation and hatching in mudskippers. Int. Comp. Biol., 51: 38-48, doi:10.1093/icb/icr018. 査読有
- (8) Takita, T., H. Larson and A. Ishimatsu (2011) The natural history of mudskippers in northern Australia, with field identification characters. The Beagle, Records of the Museums and Art Galleries of the Northern Territory 27: 189-204. 査読有
- (9) Takeda, T., M. Hayashi, A. Toba, K. Soyano and A. Ishimatsu (2011) Ecology of the Australian mudskipper *Periophthalmus minutus*, an amphibious fish inhabiting a mudflat in the highest intertidal zone. Austr. J. Zool., 59: 312-320. 査読有

〔学会発表〕(計 12 件)

- (1) 高橋和也・和田実・石松惇・岩滝光儀：スシエア科とボルギエラ科渦鞭毛藻の中間に位置する海産未記載種1種の微細構造。日本藻類学会、2015年3月22日、九州大学（福岡県・福岡市）。
- (2) K. Takahashi, M. Wada, A. Ishimatsu, M. Iwataki: Identification of two marine woloszynskioid dinoflagellates (Suessiaceae) from Vietnam based on morphology and molecular phylogeny. 16th International Conference on Harmful Algae, 28 Oct 2014, Wellington (New Zealand).
- (3) K. Yokouchi, S. Inaba and A. Ishimatsu: Ontogenetic transition from aquatic to amphibious life in the mudskipper, *Periophthalmus modestus*. 11th International Congress on the Biology of Fish. Aug. 3-7, 2014, Edinburg (UK).
- (4) M. Wada, F. Mori, M. Iwataki, K. Takahashi, K. Yokouchi, M. Yagi, T. Takita, M.V. Hieu, V.T. Toan, H.P. Hung, T.D. Dinh, A. Ishimatsu: Night-time anoxia in aquaculture pond for a mudskipper, *Pseudapocryptes elongatus* in southern Vietnam as a possible consequence of enhanced microbial abundance and respiration driven by chronic

- over-feeding. IOC/WESTPAC 9th International Scientific Symposium, Apr 22, 2014, Nha Trang (Vietnam).
- (5) K. Takahashi, M. Wada, A. Ishimatsu, M. Iwataki: Morphology and phylogeny of two Suessiaceae related species (Dinophyceae) from Vietnamese coast. IOC/WESTPAC 9th International Scientific Symposium, Apr 22, 2014, Nha Trang (Vietnam).
- (6) A. Ishimatsu, K. Yokouchi, T. Takita, T. D. Dinh, H. P. Hung, M. V. Hieu, V. T. Toan and M. Wada: Exploring early life history of *Pseudapocryptes elongatus*, an important aquaculture fish in southern Vietnam. International Conference on Aquaculture and Environment: A focus in the Mekong Delta, Viet Nam. Apr 3-5, 2014, Can Tho Univ (Vietnam).
- (7) L. M. Phuong, D. T. T. Huong, A. Ishimatsu, T. Wang and M. Bayley: The effects of the anaesthetics, Benzocaine, MS-222 and Aqui-S on blood gases and haematological parameters in *Pangasianodon hypothalamus*. International Conference on Aquaculture and Environment: A focus in the Mekong Delta, Viet Nam. April 3-5, 2014, Can Tho Univ (Vietnam).
- (8) T. D. Dinh, T. Takita, H. P. Hung, M. V. Hieu, V. T. Toan, Z. Yokouchi, M. Wada, and A. Ishimatsu: Morphology of juvenile *Pseudapocryptes elongatus*, an important aquaculture mudskipper in southern Vietnam. Asian-Pacific Aquaculture 2013, December 10-13, 2013, Ho Chi Minh City (Vietnam).
- (9) T. D. Dinh, K. Yokouchi, M. V. Hieu, V. T. Toan, M. Wada, T. Takita, H. P. Hung, and A. Ishimatsu: Elucidating larval duration and migration history of the oxudercine mudskipper *Pseudapocryptes elongatus* in the estuaries of Mekong Delta, southern Vietnam. Asian-Pacific Aquaculture 2013, December 10-13, Ho Chi Minh City (Vietnam).
- (10) 石松 惇: 海と陸地の狭間に住む魚たち - 有明海の干潟に住むトビハゼとムツゴロウを中心に - 。日本呼吸器学会学術講演会「比較生物学に学ぶ”いのち”の尊さ」、2013年4月20日、東京国際フォーラム（東京都、招待講演）。
- (11) M. Wada, F. Mori, M. Iwataki, T. Takita, A. Ishimatsu, V. N. Ut, T. D. Dinh, H. P. Hung: Microbial community structure in aquaculture ponds for a goby fish, *Pseudapocryptes elongatus* in southern Viet Nam. The First Asian Marine Biology Symposium, Dec 13-17, 2012, Phuket (Thailand).
- (12) 明田川貴子・高木互・兵藤 晋・石松 惇: トビハゼ初期胚の窒素代謝。日本水産学会、2011年9月29日、長崎大学（長崎市）。

〔図書〕(計 1 件)

- (1) Ishimatsu, A. and T. T. Gonzales: The Biology of Gobies. Science Publisher, 2011, p. 609-638.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

○取得状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 取得年月日：
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

ベトナム写真館

<https://accaff.jp/ishimatsu/index.php?%E3%83%99%E3%83%88%E3%83%8A%E3%83%A0%E5%86%99%E7%9C%9F%E9%A4%A8>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

石松 惇 (ISHIMATSU, Atsushi)
 長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環シナ)・教授
 研究者番号：00184565

(2)研究分担者

和田 実 (WADA, Minoru)
 長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・教授
 研究者番号：70292860

(3)研究分担者

岩滝 光儀 (IWATAKI, Mitsunori)
 東京大学・アジア生物資源環境研究センター・准教授
 研究者番号：50423645

(4)連携研究者

田北 徹 (TAKITA, Toru)
 長崎大学・水産学部・名誉教授
 研究者番号：30039721