

## エビ類養殖業の現状と研究と技術開発を通じた国際貢献のあり方

マーシー・ワイルダー\*

〔キーワード〕：陸上養殖, オニテナガエビ, パナメイエビ, 国際貢献, 甲殻類生理学

## 1. はじめに

2022年に、世界的に魚介類・海藻類による養殖生産漁が漁業・捕獲量を超え、223万t以上となり、初めて人類が消費しているシーフードの半分以上が養殖生産に由来する実態となった(Jory, 2024). その中で、世界的に大きな産業となっているエビ養殖業による年間生産量は600万t以上に達成し、その市場規模は400億米ドルを超えるようになった(FAO, 2024a). エビ類は、養殖種の中で単価の高い商品であり、全体の養殖生産量は重量で8%位であるが、全市場規模の15%以上の価値を占めていると言える. このような背景に、エビ養殖業が発展途上地域において生活水準の向上につながり、多くの恩恵をもたらしてきた. アジアの発展途上地域に関して言えば、関連産業(加工や流通)も含め、数百万人がエビ養殖で生計を立てていることもあり、重要な収入源になっていることが明確である.

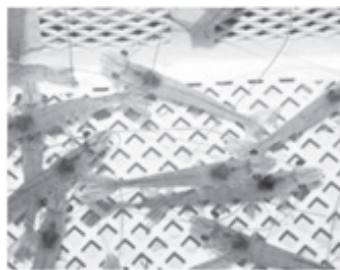
有用エビ類の中では、20種ほど養殖されているが、海産のパナメイエビ(*Litopenaeus vannamei*) (図1), ウシエビ(*Penaeus monodon*), クルマエビ(*Marsupenaeus japonicus*) および淡水性のオニテナガエビ(*Macrobrachium rosenbergii*) (図1)がよく知ら

れている. 特に世界生産量の8割を占めるパナメイエビ養殖の発展に伴い、巨大化した産業となったと言える. 図2では、1970年~2020年にかけてのエビ養殖生産量と種別の推移を示す.

しかし、その産業実態は不安定であり、生産の持続性を妨げる要因として、病害の発生による突発的な大量斃死、環境への悪影響、および種苗の不安定供給等が挙げられる. このため、持続性のあるエビ養殖技術を開発し、主要生産地である途上国のみならず、先進国においても実現すべきと考える研究者・事業者・団体等が多く存在する. 以下、筆者が取り組んできた開発研究、その他の事例を紹介する.

## 2. 淡水性のオニテナガエビの浸透圧調節機構解明とベトナムにおける種苗生産技術開発とエビ・稲ファーミングシステム

1990年代の早期頃、集約的手法といよりも粗放的や伝統的なエビ養殖形態が注目されていた. その当時、国際農研が国際貢献(Official Development Assistance: ODA) 予算による「ベトナム・メコンデルタにおける農林水複合体システム(combined farming systems)」をCan Tho University, Cuu Long Delta Rice Research Instituteと共同で実施していた. メコンデルタでは、養殖業者の生活水準を向上させるために伝統的な手法による淡水性オニテナガ



パナメイエビ



オニテナガエビ

図1 筆者が研究に用いた主なエビ類

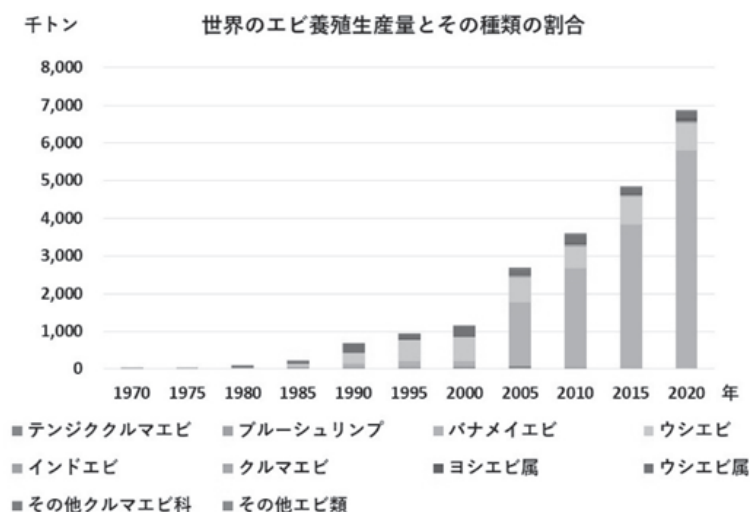


図2 世界のエビ養殖生産量の割合

FAO, 2024, FishStat [Global aquaculture production quantity](1950年～2021年)に基づき作成, ワイルダー(2024)から転載).

エビの水田養殖が振興されていたが、天然の稚エビを川から採取することで種苗を賄っていたことから、安定的な種苗供給が困難な状況にあった。そこで、メコンデルタプロジェクト研究の一環として、カントー大学(図3)と共同で、健全な人工種苗を大量生産するための塩分調整・水質管理、飼料作成・給餌方法を総合的に管理する「改良型非循環式グリーンウォーターシステム」を開発し、省立普及組織などとの連携の下メコンデルタ地域で広く技術移転を行った(Wilder and Phuong, 2007)。

そのため、基礎・応用研究を行うと同時に、現場における調査を進めてきた。オニテナガエビは産卵時には、汽水域へ移動しながら卵を抱卵し、卵内で胚発生が進む。産卵直後の卵内ではイオン制御酵素である Na/K-ATPase 活性が体形成が進むにつれて急激に上昇し、ふ化に至る(Wilder et al., 2001)。稚エビは、最初に汽水に相当する 12 ppt の塩分濃度が必要であるが、ふ化 15 日後には 6 ppt においても生存する能力を獲得する。上記結果と飼育水管理・飼料作成を統合し、自前で実施可能な種苗生産技術を完成させた。グリーンウォーターの条件設定であるが、自然に存在する微細藻類を増やす(即ち、水を交換せずに、ティラピアをバケツで飼育する)方法を開発し、マニュアル化した。また、クロレラを特殊なメッシュで選別し、これに相当する細胞濃度になるように、稚エビの飼育水の微



図3 ベトナム・カントー大学で研究中

細藻類濃度を調整した。飼料については、種苗生産業務に通常用いられるアルテミアは高コストのため、代替品として手作りのカスタード飼料を開発した(Hien et al., 2005)。この技術開発と移転の結果、オニテナガエビ専用の孵化場が 90 か所以上に設置され、種苗の年間生産量は 1990 年代に比べ 2003 年では 80 倍ほど増加し、年間 8 千万尾の生産に至った。また、その当時年間 2,500 t であった淡水エビの生産量はその後、10,000 t を上回るようになった。以上の様に、当時ベトナム政府が推奨していた「淡水エビ養殖面積の拡大」(政府令第 224/1999/QD-TTg 号)とも相まって、メコンデルタ地域を中心に淡水エビ養殖産業の発展に貢献すること



図4 典型的なエビ・稲ファーム  
Tra Vinh 省の実験用地。



図5 Tien Giang 省水産養殖普及センターが管理  
するオニテナガエビのふ化場

ができた。また、調査結果によると、稲作のみと比べると、貧困農家が水田でオニテナガエビを養殖することで、収入を2～3場合ほど増大させることが可能であることが判明した(Wilder and Phuong, 2007)。

図4に典型的なエビ・稲ファーム、図5に本研究の成果が導入されたオニテナガエビのふ化場の例を示す。

### 3. バナメイエビ閉鎖系陸上養殖システムの開発と国内展開

2000年代に入り、エビの集約的養殖において、感染症の伝播、環境への悪インパクト、種苗の不安定供給といった問題が懸念されるようになり、陸上養殖がこういった問題の解決策になると提唱されていた。その当時、欧米などでもエビの陸上養殖が試験的に推奨されていたが、施設の建設費用や生産原価が高額であり、技術的にも懐疑的に思われる面もあった。そのため、発展途上地域というよりも、先進国を中心に技術開発が進められるようになった。その当時、国際農研として陸上養殖は環境保全かつ安定的な養殖生産を実現するための手段であるという発想で、開発研究を開始した。以下、筆者が現在までに参画している国内におけるエビ陸上養殖事業を紹介する。

上述のように、バナメイエビは現在、世界の養殖生産量の約8割を占めている。その当時、国際農研としてバナメイ陸上養殖をまず国内で確立することで、将来、開発途地域における国際貢献に繋がると考え、IMT エンジニアリング(株)、(独)水産総合研究センター・増養殖研究所(当時)、株

式会社ヒガシマルと共に産学官連携コンソーシアムを形成し、2004年～2009年度にかけて、生物系特定産業技術研究支援センターの研究支援を受けた(ワイルダーら、2008)。

バナメイエビは海産エビの一種であるが、淡水化養殖に適している種類であると考え、飼育水のミネラルのバランスに着目した。甲殻類は、成長するため脱皮することが必要であり、脱皮時には新しい甲殻を形成し、カルシウムを餌と周りの水から取り組む必要がある。それに加えて、陸上養殖に必須である高密度かつ閉鎖的な条件下で溶存酸素を適切な範囲(6～9 ppm)で維持する必要があった。そこで、実験室レベルで基礎生理学的データを得て、エビ生産プラントにおける低塩分・高硬度の育成条件の設定(Jayasankar et al., 2009)に反映させ日本初の閉鎖循環型養殖システムを利用した「屋内型エビ生産システム(ISPS)」(特許第4635172号、2010年12月登録)の開発に至った。2007年に第1号エビプラントを新潟県妙高市に設立し、淡水に近い条件での海産のバナメイエビ養殖の商業生産を開始し、2022に静岡県磐田市に第2号のエビプラントを設立した。このプラントでは80tの年間生産が可能である。

現在、日本でバナメイエビの陸上養殖事業が急速に増えている状態にあるが、ほとんどの場合、海外由来の稚エビに依存している。この意味では、国内における稚エビ生産の仕組みを確立することが重要であると考えており、筆者の研究チームは現在バナメイエビの親エビ成熟制御技術および種苗生産技術開発を実施している。そこで、長年バナメイエビ種苗生産業を営んでいるアジアの主な

エビ生産国との共同研究・技術協力を推奨することで、新たなエビエビ養殖を通じての国際貢献のあり方が生まれる可能性もある。但し、タイやベトナムといった国々において、近年養殖技術が高いレベルに進展しており、日本国から国際貢献を行うよりも、むしろ相手側とタイアップすることで、新しい国際的な協力体制が可能になると考える。筆者の研究チームは、すでにタイ国の民間企業と共同研究を実施済みであり、今後は日本国内にて研究を加速化する予定である(生研支援センター、オープンイノベーション研究・実用化推進「バナメイエビの親エビ家系作出・成熟制御および稚エビ新育成方法を総括した完全閉鎖系種苗生産技術の実現」)。即ち、エビ類の生殖機構解明を行うことにより、新しい雌親エビの成熟制御技術を開発することが可能になる。

技術の詳細について、エビを含む甲殻類では、生殖とその他の重要な生理学的過程は眼柄由来のペプチドホルモンの作用によって制御されている。特に、卵黄形成抑制ホルモン(VIH)が卵黄タンパク質の合成部位に働き、その合成と卵成熟を抑制する。世界的にエビの孵化場では、眼柄を切除することで産卵を誘導しているが、近年動物福祉の観点からこの方法が批判を浴びるようになった。このような問題の解決のためには、基礎研究に基

づき眼柄切除に代わる新しい成熟制御技術を開発することが重要な手段の一つである。そこで有用エビ類の卵黄タンパク質の同定・合成経路の解明(図6)を行い、さらにVIHの同定・作用機序に関する研究を実施し、「有用エビ類の卵成熟抑制を解除する方法」を確立した(特許第6789513号、2020年11月登録)。

本発明によって、RNA干渉法を用いることでエビの眼柄でのVIH遺伝子の発現をブロックすることにより、眼柄を切除することなく雌エビの卵成熟を促進することを可能とした。今後、この成果に基づく動物福祉に配慮した卵成熟促進の簡易技術を仕上げ、国内外におけるエビ種苗生産現場へ供給したいと考える。

#### 4. 最後に：現在のあるべきエビ養殖の国際貢献方法を考える

上述のように、1990年代において、伝統的・粗放的養殖形態が重要視されていたが、年々エビの需要が伸びており、それに伴い技術の向上や企業の進出が相次いでいる。そのため、現在のエビ養殖の姿がかなり変わってきたと言える。筆者は、前述の通り1994年より約9年間ベトナムのカントー大学と共同研究を実施し、その間当該プロジェクトのみならず、メコンデルタにおける海産

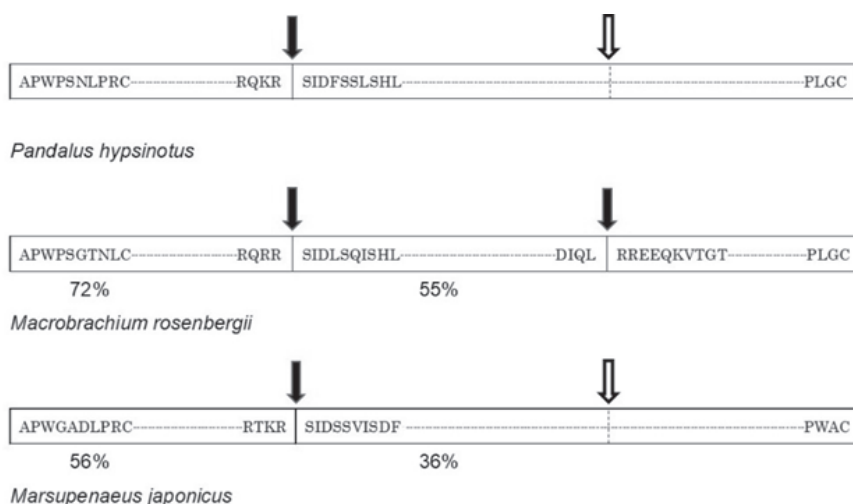


図6 ボタンエビの卵黄タンパク質のアミノ酸配列と比較したオニテナガエビとクルマエビのものととの相同性とプロセシングによる切断部位の位置

黒矢印：確定されたプロセシング部位。白矢印：仮設されたプロセシング部位。

Wilder et al. (2018), The Encyclopedia of Reproduction, 複製許可済み。



図7 2000年代初期のCau Mau省エビ養殖プロジェクトの様子および対象種のパナエビ(筆者撮影)写真にある水門を満潮の時に開くと、天然由来のパナエビ稚エビが養殖区域に入り、一定の期間で養殖する仕組みが設定された。

エビの養殖現場を視察することが出来た。例えば、当時ベトナムの最南端に位置するCau Mau省でのマングローブ林保全型養殖を視察する機会があった。即ち、ベトナム、オーストラリア、デンマーク政府による粗放の養殖システムを推奨するプロジェクトの一環として、周辺の貧困農家が木材を効率的に収穫しながら、国営のマングローブ林の中でクルマエビ属の *Penaus merguensis* (パナエビ) を養殖することが許可されていた(担当者による筆者への私信)。このプロジェクトが成功して、2005年では、10万t、5.1億ドルの市場となった。粗放的な手法であるため、飼料の投入は必要としくなく、生産量は低い(250-300 kg/ha)が、生産コストも低い(1 kgのエビを生産するのに、1.5米ドル以下)。実際の現場を訪ねた際には、まさにエビ養殖業を通じた国際貢献の良い例であると実感していた(図7)。

そこで、Cau Mau省では現在どうなっているか調べたところ、近年もベトナムのマスメディアに取り上げられており、例えばVietnam Plusというオンラインニュースでは、2024年6月1日にこう記載されている：「最南端のCau Mau省は最近、2050年を見据え、2021年から2030年にかけてのエビ産業発展計画を承認し、メコンデルタおよびベトナム全体で最大規模にすることを目指している。省人民委員会によると、この計画では、先進技術を活用した生産モデルを推進し、エビの生産性・品質を向上させ、付加価値を付けたエビ製品の競争力を強化するとともに、環境保全を実現し、

地元の農家および営利目的を持つ企業に利益をもたらすという。そして同省では、エビの輸出額が2025年までに14億米ドル、2030年までに約16億5000万ドル、2050年までに60億ドルになると見込んでいる」。

以上の例は一つに過ぎないが、エビ養殖は本当に大規模かつハイテクな産業になりつつあると言える。確かに1990年代では、粗放的・伝統的な手法を駆使することで、零細農家・漁業者を救える手段となっていたが、現在はエビ養殖の恩恵をより多くの人々にもたらすために、最新の技術・研究を取り入れることが大前提となっている。冒頭に記した「病害の発生による突発的な大量斃死、環境への悪影響、および種苗の不安定供給」を解決するには、開発研究は欠かせない。そして、エビ養殖の合理化・持続性を図るためには、陸上養殖のさらなる発展は重要な鍵であると業界は見ている。以上のようなことを鑑み、エビ養殖を通じた国際貢献の新しいあり方が見えたのではないかと考える。

## 引用文献

- FAO (2024a). Fishery and Aquaculture Statistics - Yearbook 2021. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9523en>
- FAO (2024b). Fisheries and Aquaculture. FishStat [Global aquaculture production quantity] (1950-2021). [https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/aquaculture/aquaculture\\_quantity](https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/aquaculture/aquaculture_quantity)
- Hien, T.T.T., Hai, N.T., Phuong, N.T., Ogata, H.Y., and Wilder, M.N. (2005). The effects of dietary lipid sources and lecithin on the production of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) larvae in the Mekong Delta region of Vietnam. *Fisheries Science*, 71: 279-286.
- Jayasankar, V., Jasmani, S., Nomura, T., Nohara, S., and Wilder, M.N. (2009). Low salinity rearing of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*: Acclimation, survival and growth of postlarvae and juveniles. *Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ)*, 43: 345-350.
- Jory, D. (2024). Aquaculture officially overtakes fisheries in global seafood production. *Responsible Seafood Advocate* (10 June 2024); <https://www.globalseafood.org>
- Vietnam Plus (2004). Ca Mau envisions largest shrimp industry hub of Vietnam (1 June 2024); <https://en.vietnamplus.vn/ca-mau-envisions-largest-shrimp-industry-hub-of-vietnam-post287819.vnp>
- Wilder, M.N., Huong, D.T.T., Okuno, A., Atmomarsono, M., and Yang, W.-J. (2001). Ouabain-sensitive Na/K-ATPase activity increases during embryogenesis in the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Fisheries Science*, 67: 182-184.

- Wilder, M.N., and Phuong, N.T. (2007). ベトナム・メコンデルタにおける淡水エビ養殖業の発展：改良養殖技術の開発と普及および経営評価. ベトナムの社会と文化, 第7号. 風響社(東京), pp.201-217.
- Wilder, M.N., Kang, B.J., and Higano, J. Vitellogenesis & Yolk Proteins, Crustaceans and Molluscs, In: Skinner M, Swanson P. (eds). Volume 6: Comparative Reproduction, The Encyclopedia of Reproduction, 2nd Edition. Elsevier, Amsterdam. 2018: 290-296.
- マーシー・ワイルダー, 野原節雄, 奥村卓二, 福崎竜生. 「安全な国産エビ(パナメイ)生産技術のシステム化」(2008). 生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業(2008年度終了課題)研究成果. pp.1-4.
- マーシー・ワイルダー(2024). パナメイエビの養殖技術開発とその事業化を目指す「Shrimp Tech JIRCAS 株式会社」. JATAFF Journal, 12巻, 8月号: 41-46.