

# 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

## 研究課題別中間評価報告書

### 1. 研究課題名

世界戦略魚の作出を目指したタイ原産魚介類の家魚化と養魚法の構築

(2019年06月～2024年05月)

### 2. 研究代表者

2.1 日本側研究代表者：廣野 育生（東京海洋大学 学術研究院海洋生物資源学部門 教授）

2.2 相手側研究代表者：Suttinee LIMTHAMMAHISORN

（タイ王国農業・協同組合省水産局 沿岸養殖研究開発部 部長）

### 3. 研究概要

世界の人口増加、地球環境の変化により、近い将来、地球規模での食料不足が懸念されている。このような背景から、世界の動物性タンパク質供給源として水産養殖の増産が期待されており、また、世界で消費される食用水産物の半分は養殖由来であることから、養殖による食資源の増産は地球規模の重要な課題である。タイ政府は、従来外来種の養殖産業を推進する政策を進めており、タイにおける産業・経済面では多いに貢献した。しかし、外来種の繁殖がタイ在来種の生態系に影響を及ぼし、タイの養殖産業は環境・生態系への配慮や持続性に乏しいことが課題となっている。

本プロジェクトは、タイ在来種のアジアズキとバナナエビを国際市場で世界有数の主要水産物として扱われる養殖種とするため、有用形質を選抜するためのゲノム育種を進めるとともに、感染症防除法、栄養強化餌、および、エビの全雌生産技術の開発を目指す。さらに、多様な遺伝資源を永久保存し、これらの材料からいつでも個体を創りだせる技術開発を行う。本プロジェクトを通して、アジアズキとバナナエビの家魚化を含む両種の生産技術が構築され、また、細胞・組織レベルで遺伝資源の永久保存が可能になることで、将来的には、栄養価が高く自然生態系に負荷の少ない養殖魚介類の安定的な供給が期待される。

プロジェクトは下記4つの研究題目で構成されている。

研究題目1：分子育種のためのDNAマーカーの開発

研究題目2：微生物感染症に対する防除法の開発

研究題目3：効率性の高い養成技術の確立

研究題目4：遺伝的多様性を保全するためのシードバンクの開発

## 4. 評価結果

総合評価：A

(所期の計画と同等の取組みが行われている)

4つの研究題目それぞれにおいて、計画された実験や試験などが、着実に行われ、一定の成果をあげている。プロジェクトは2019年6月に開始されたが、新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、2020年、2021年の2年間は研究者が渡航できない状況となった。しかし、その間もタイ側および日本側両方の研究者はオンラインで連絡をとりながら自らの研究活動を継続していた。その結果、一部の研究項目をのぞき、全般的に研究の進捗に遅れはなく順調に進んでいる。

特に、科学技術の発展性の観点からは、対象魚種の遺伝的多様性に関する解析、育種のための創始集団の作出、アジアズキの主要な感染症の検出・同定、ウイルス感染応答の遺伝子発現機構の解明、ホルモン投与による性転換発現、餌の改良による稚エビの成長促進などの研究項目で着実な成果をあげている点が高く評価できる。進め方は当初計画に沿ったものであり、今後は計画の着実な遂行に加えて、さらなる発展が期待される。また、一連の研究を通じて相手国と良好な関係を築き、両国の若手研究者の育成にも顕著な成果が見られる。

本プロジェクトの目的は、アジアズキおよびバナナエビのタイ国における家魚化を目指して、同国の水産業のさらなる発展を図るものである。したがって、それらの家魚化を達成するためには、それぞれの研究題目が相互に連携して研究開発を実施することが必要である。今後、各研究題目がお互いに相補的役割を果たし、有効的な連携が図られることを期待したい。

### 4-1. 国際共同研究の進捗状況について

研究題目1では、アジアズキおよびバナナエビの分子育種のための分子マーカーの開発を行う。これまでに、育種創始集団を作出するための基礎知見として、アジアズキおよびバナナエビの分子遺伝的解析を実施し、各地域個体の遺伝的多様性を評価した。

アジアズキにおいては、成長形質との関連性解析のために候補遺伝子内一塩基多型(SNP)検出法を開発し、これを用いて、育種創始集団の分子遺伝学的解析を実施した。一方で、比較する対象の集団がないため、どの程度の多様性が創始集団で保持されているのか不明な部分がある。さらに、アジアズキでは1世代の促進に2年以上を要する。残りのプロジェクト期間で家系の確立にどこまでせまれるのかを明確にし、後半の研究計画を検討していただきたい。

バナナエビにおいては、創始集団の第一世代サンプルを用いて、SNP検出法を開発した。また、バナナエビの育種創始集団において、家系ごとにホワイトスポット病ウイルス(WSSV)の感染実験を実施し、抵抗性に関する家系間順位を推定した。さらに、全雌育成を目標にホルモンによる性転換試験を実施している。

今後、これまでに作出した育種創始集団を継続飼育し、次世代の作出の準備を進め、耐病性家系を特定できる分子マーカーが開発されることを期待する。

研究題目2では、微生物感染症に対する防除法の開発を行う。これまでに、タイ沿岸地域におけるアジアズキ養殖場を対象に、病原微生物感染症の疫学調査を行い、主要な病原微生物であるウイルス、細菌、および寄生虫をリスト化した。ウイルスでは伝染性脾臓腎臓壊死症ウイルス (ISKNV) が、細菌では *Vibrio vulnificus* や *Photobacterium damsela* が主要な病原微生物として同定された。また、*P. damsela* に対するワクチンの可能性を判断するためにホルマリン不活化ワクチンによる感染防御試験を実施し、有効性を確認した。残りのプロジェクト期間では、開発したワクチンが感染症の軽減に貢献できる病害を特定し、研究を進める必要がある。

さらに、当初の計画では想定していなかったアジアズキの病原ウイルスを培養するためのアジアズキ由来の培養細胞を開発したことは高く評価される。アジアズキ養殖場で病原体の疫学調査を大規模に行えたことで、タイ国沿岸域の感染症の全体像が明らかとなり、特に問題となる病原体を今後の研究対象とすることが可能となった。

タイ側ではバナナエビのトランスクリプトーム解析を実施し、WSSV感染に対する応答について解析した。また、クルマエビ類の急性肝臓壊死症の防除と治療を目的としたファージセラピー法を開発するために、エビ養殖池からファージの分離を行い、13株のファージを得た。プロジェクト後半では、アジアズキのワクチン開発、エビ用のプロバイオティクスおよび免疫賦活剤の最適化、ファージセラピー法の開発を進めることを期待する。

研究題目3では、栄養強化餌の開発やバナナエビの全雌生産のための基盤技術の開発により、効率性の高い養成技術の確立を目標としている。これまでに、アジアズキでは魚油を削減した飼料を与えても無魚油区以外では成長や筋肉中の脂質含量、エイコサペンタエン酸 (EPA) 含量にも影響はないが、筋肉のドコサヘキサエン酸 (DHA) 含量は魚油の削減に伴って減少し、肝臓では EPA と DHA が減少することや、無魚油区では脂肪酸不飽和化酵素の発現が増加することを明らかにした。また、魚油を削減し DHA 源として微細藻類 *Schizochytrium* sp. を添加した飼料を給餌すると成長が有意に改善され、背側筋中の DHA 含量も最も高くなることを見出した。魚粉に代わるタンパク源の活用により低魚粉飼料を開発することは養殖産業の重要な課題であり、今後の研究の発展を期待したい。

バナナエビの全雌生産技術の開発に向けては、モデルとしてクルマエビの稚エビに合成造雄腺ホルモンを投与すると、オスの性比が有意に高くなったことから、バナナエビへの造雄腺ホルモン投与条件の最適化を検討した。さらに、飼育技術の改良を目的として高濃度酸素溶解水を利用したところ、脱皮回数が多くなり、餌料効率の改善も認められた。加えて、オゾンナノバブル水を使用する飼育法はエビの成長が早く、輸送における稚エビの斃死を軽減することを明らかにした。バナナエビの全雌生産技術の開発は挑戦的なテーマであり、科学的・技術的インパクトの強い成果が期待される。

今後は、引き続き微細藻類由来の DHA 源を用いてアジアズキの栄養強化飼料の開発と給餌期間の違いによる DHA の増加効果を検討する。また、バナナエビについては、催熟飼料に用いる油脂源・タンパク質消化率の方法・飼料原料の検討を行い、クルマエビの造雄腺ホルモンの投与条

件を参考にして全雌生産のための基盤技術の開発を目指す。一方で、餌生産の実用化を見据えて、プロジェクトの後半には企業との連携を密に行う必要がある。タイ側企業の参画について早急に検討を願いたい。

研究題目4では、遺伝的多様性を保全するためのシードバンクの開発を行う研究を行う。アジアズキにおける生殖細胞移植技術の確立を目指し、これまでにドナー個体の成熟段階および移植に適した宿主の発生段階を同定した。最適化した成熟段階のドナー精巢を酵素処理することで、効率よくドナー生殖細胞を調整することが可能となり、移植実験の要素技術はほぼ完成した。しかし、アジアズキの生殖細胞移植では、ドナーと宿主が同種であるため、将来的には生殖細胞移植した宿主から得られた個体をドナー由来か宿主由来か判別するゲノム DNA上のマーカーが必要である。そこで、ドナー個体と宿主個体を判別可能な本種のマイクロサテライトマーカーを探索した。このようなシードバンクの開発に向けた研究は、SATREPSの研究対象魚種や養殖を目的とする系統保存だけでなく、絶滅危惧種等の多様な種の保存にも活用できる可能性がある。一方で、保存・配布のシードバンク機能を担うタイ側の機関が定まっていないため、プロジェクト終了時までに対象機関を特定し、研究を推進していただきたい。

また、バナナエビの生殖細胞特異的な分子マーカー候補として、4つの遺伝子を見出した。これらの遺伝子は、生殖腺での特異的な発現が確認できている。本遺伝子マーカーは今後、移植後の生殖細胞の追跡等に利用可能であると期待される。一方で、バナナエビで借り腹技術を活用した優良系統の永久保存法の確立を目指す研究に関しては実現の目途が未だ立っておらず、研究を継続する必要性についても検討を願いたい。

#### 4-2. 国際共同研究の実施体制について

本プロジェクトでは、タイ側の13の研究機関から130人を超える研究者が参画している。多機関・多人数のプロジェクト構成は散発的な研究活動となることがあるが、日本側研究代表者がリーダーシップを発揮し、また、各グループリーダーの指導で非常に良くまとまっている。加えて、半年に一度グループリーダー会議を開催し、各グループのリーダーをはじめとする主要な研究者が一堂に会して各研究グループの研究の進捗や成果、プロジェクト全体の運営について共有・議論する機会を設けている。

日本側とタイ側とは長年にわたり共同研究を行ってきたこともあり、両国研究者の強靱なネットワークが構築されている。その信頼関係を有効的に活かし、コロナ禍で渡航が難しい場合でもインターネットを活用するなどして共同研究を円滑に実施してきたことは評価できる。2年間にわたる渡航制限の影響を受けたにもかかわらず、個々の研究課題において順調な進捗があったのは、水産学研究における日タイ間の長年の蓄積およびタイ側の研究能力あつてのことと考えられる。

これまでのところ各研究グループ内での両国のコミュニケーションがよく取れていたが、今後はグループ間で連携しながらプロジェクト目標の達成を目指す活動が必要となる。そのため、研究代表者はこれまで以上にリーダーシップを発揮し、参加者間の多様な共同研究に発展することを期待したい。なお、2022年4月に日本側のグループリーダーが交代した研究題目4（研究グループ4-2）については、グループ内の意思疎通を円滑にする体制を早急に構築する必要がある。

また、タイ側に導入された研究機器はそれぞれの研究機関で日常的に活用されている。加えて、SATREPSの先行プロジェクトで導入された研究機器も使われており、研究費の効率的・効果的な使用がなされている。

### 4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

タイ在来魚（アジアズキ）、在来エビ（バナナエビ）を用いた新しい養殖産業を目指すプロジェクトであり、それぞれの研究で得られたデータの新規性や成果の科学的・技術的重要度は、国内外の類似研究と比較しても高いレベルと言える。また、まだ利用が少ない在来種を対象に、先端的な手法を用いて遺伝的特性の解明や養殖技術を改良しようとするアプローチは他の生物種にも応用でき、本研究の成果は大きなインパクトを与えうる。現時点でアジアズキでは114家系、バナナエビでは45家系の育種創始集団の作出に成功した。今後、これらの家系から生産性や病害耐性のより高い有望系統を交配育種する基礎が築かれたと言える。さらに、借り腹技術、バナナエビの超低温保存法の研究など挑戦的な研究テーマに取り組んでおり、科学的・技術的インパクトの強い成果の創出が期待される。また、これまでの研究成果を相手国側研究チームとの共著により18報の論文として発表していることは、高く評価できる。

プロジェクト後半は、タイ在来魚種を家魚化し養殖によって世界に供給するという大きな到達目標に向けて、残りのプロジェクト期間でどのレベルまで研究を深化させ、どこまで技術開発し社会実装につなげるのか、目標を明確にして研究を進めていただきたい。また、各研究課題で成果を上げつつあるが、大きな進展が望めないものについては切り捨て、あるいは縮小し、社会実装に必要な最重要課題に集中的に注力することが必要である。

### 4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

プロジェクトに参画するタイ側研究者の約三分の一は35歳以下の若手研究者であり、共同研究を通じた人材育成が着実に行われている。本プロジェクトにおいて彼らが研究経験を積み、タイ国における水産学研究の発展および研究遂行能力の発展に大きく貢献できると期待する。また、コロナ禍にもかかわらず、タイ側から4人の大学院生が来日して学位取得に向けて研究を開始していることは高く評価できる。これらの人材は、これまで構築されてきた研究ネットワークの維持・発展に寄与するものと期待される。これまでに築いた日本側とタイ側研究機関の密接な連携関係は今後とも継続発展するものと期待する。

相手国の関係機関や民間企業の参画の状況や展望を考慮すると、研究や関連活動の発展は確実に期待できる。また、研究レベルの向上と若手研究者の育成の観点から、相手国への貢献も高く評価できるとともに、今後の進展も期待できる状況にある。今後は参加者間の多様な共同研究にさらに発展することを期待するとともに、より現実的な成果の出口を見極めていただきたい。

#### 4-5. 今後の課題・今後の研究者に対する要望事項

1. 本プロジェクトの目的は、アジアズズキおよびバナナエビのタイにおける家魚化を通して、同国の水産養殖業の発展を図るものである。それらの家魚化を達成するためには、各研究課題の成果を統一した養殖技術パッケージとしてどのように体系化するかが今後の課題となる。プロジェクト期間内にどこまで目指すのかを検討していただきたい。また、目標の達成に向けては複数の基礎研究をプロジェクトの研究題目間において相互に連携して実施することが必要であり、今後は連携をさらに図ることが重要である。
2. ワクチンの製造・接種、栄養強化餌の製造・給餌など、タイ水産省や大学だけでは実施できない活動が多く、民間企業との積極的な連携が必要と思われる。ワクチンや餌生産の実用化を見据えて、プロジェクトの後半では企業との連携を密に行う必要がある。また、民間企業との連携にあたっては残りのプロジェクト期間を考慮して、年度ごとのマイルストーンを設定し、優れた研究成果の迅速な社会実装を願いたい。
3. 水産養殖の分野では耐病性や高成長を示す優れた種苗を確立することは重要であるが、同時に飼料の開発にも力を注ぐべきである。特に魚粉に代わるタンパク源の活用、低魚粉飼料の開発は急務である。また、人口餌料は養殖の成否を分ける重要な投入資源と言っても過言ではない。その開発においては養殖産業の分析も必要になることを念頭において進めていただきたい。
4. アジアズズキとバナナエビの実用規模に近い規模あるいは実験室規模以上のスケールでのモデル養殖の実証をプロジェクト期間内に実施していただきたい。そうすることで、相手国の信用を得て、プロジェクト終了後の持続性（社会実装）の可能性が高くなると思われる。
5. タイ側若手研究者の本邦研修が、新型コロナウイルス感染症拡大の影響により十分行えていないため、不足している人的交流を十分に補完していただきたい。

以上

## JST成果目標シート

研究課題名	世界戦略魚の作出を目指したタイ原産魚介類の家畜化と養魚法の構築
研究代表者名 (所属機関)	廣野 育生 (国立大学法人東京海洋大学)
研究期間	H30採択(平成30年10月1日～令和6年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	タイ/水産局、遺伝子生命工学研究センター、カセサート大学、チュロンコン大学、ワライラック大学、スラナリー工科大学、プリンスオブノクラ大学
関連するSDGs	目標 2. 新たな養殖技術による食用動物タンパク質資源の増産を可能にする。 目標 9. 養殖魚介類増産による天然資源への依存度が減る。さらに、新技術開発により転園の多様な遺伝子資源を永久保存することができる。 目標 14. タイ産魚介類の家畜化による新たな養殖産業を創出できる。

付随的成果	
日本政府、社会、産業への貢献	近い将来に予想されている地球規模における食料不足に対応する技術基盤が構築される。 *日本企業によるワクチンの産業化はタイのみならず、東南アジアにマーケットを構築できる。 *日系企業による安定した養殖エビの生産供給が可能になる。
科学技術の発展	*個体ではなく細胞あるいは組織レベルでタイの魚介類遺伝子資源の永久保存が可能になる。 *エビの性制御機構解明の研究基盤の構築ができる。
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	*耐病性分子育種マーカー *新規ワクチン *栄養強化餌 *親エビ生産手法
世界で活躍できる日本人人材の育成	*学生や若手研究員の国際会議での研究成果発表の推進 *学生や若手研究員をタイに派遣し、国際感覚の育成
技術及び人的ネットワークの構築	*タイ国内で水産養殖に関連する研究者ネットワークの構築 *タイを中心とした東南アジア諸国との水産学連携の構築
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	*プロジェクトの共同研究成果(タイ研究者との共著)を学術論文として発表 *ワクチン使用マニュアルをタイ政府と共同で作成

## 上位目標

タイ国内で家畜化されたタイ原産魚介類が生産される、我国に安定的に栄養価が高く、自然生態系に負荷の少ない養殖魚介類が供給される。

アジアズスキとバナナエビを家畜化し、養殖の成功例を東南アジア周辺諸国に紹介し、技術指導・技術移転のための研修をタイで開催する。

## プロジェクト目標

アジアズスキとバナナエビの遺伝的多様性を明らかにする。  
耐病性家系を特定できる分子マーカーを開発する。  
細胞あるいは組織レベルで種の遺伝的多様性を保存する技術を開発する。  
魚類のワクチンを産業化する。  
高い付加価値を有する魚介類生産のための栄養強化餌を開発する。  
親エビ養成技術とエビの性制御のための技術基盤を構築する。

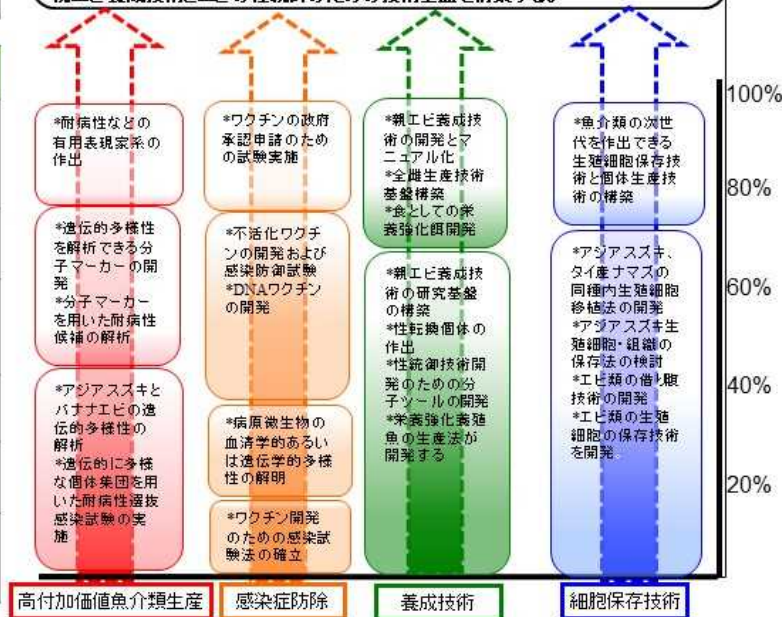


図1 成果目標シートと達成状況(2022年9月時点)