

# 地球規模課題対応国際協力プログラム (SATREPS) 研究課題別追跡調査報告書

## I. 序文

SATREPS 追跡評価実施要領 (<https://www.jst.go.jp/global/hyouka/pdf/follow-up-evaluation-procedure.pdf>) に基づき、追跡調査を実施した。具体的には、プロジェクト終了後の各研究課題の国際共同研究の成果の発展状況や活用状況を明らかにするために、対象課題の研究者に対し質問票による基礎データ調査を行い、その結果を踏まえた研究者インタビュー調査を経て得られた情報を整理しまとめた<sup>1</sup>。

今般の研究課題別追跡調査にあたっては、以下の方々にご協力頂き厚く御礼申し上げます。

澤田 好史 近畿大学 水産研究所 教授

阿川 泰夫 近畿大学 水産研究所 講師

## II. プロジェクト基本情報

### 1. 課題名

資源の持続的利用に向けたマグロ 2 種の産卵生態と初期生活史に関する基礎研究

### 2. 日本側研究代表者名

澤田 好史 近畿大学 水産研究所 教授

### 3. 相手国側研究代表者名

Amado A. Cano D. パナマ共和国水産資源庁 (ARAP) アチョチネス研究所 水産エンジニア

---

<sup>1</sup> 2021 年 11 月から 2022 年 3 月に各種調査および報告書のとりまとめを実施した。

#### 4. 国際共同研究期間

2011年4月～2016年3月

#### 5. 研究概要

##### (1) 目的

本 SATREPS プロジェクトでは、マグロ類の飼育研究とその養殖産業化で世界に類のない科学的知識と技術を有する近畿大学が、途上国と協力して太平洋クロマグロとキハダの資源管理・予測技術開発、そしてキハダの完全養殖技術基盤整備のための科学的知見の蓄積と研究ツール開発を目指した。マグロ類の飼育が非常に難しいことから、これまで必要とされながらも実施困難であったが、本研究によって有用な科学的知見を獲得できることを示すことで、同様の研究が必要かつ可能であることと、この分野で日本だけが大きな貢献ができることを国際的にアピールすることを目指した。さらにプロジェクト終了後このような国際共同研究が継続できる施設とシステムの構築、またそれらを担うパナマと日本の若い人材の育成も目標とした。

##### (2) 各グループの研究題目と実施体制

グループ1：初期発育解明と飼育技術開発(近畿大学／パナマ水産資源庁)

グループ2：産卵生態研究(近畿大学／パナマ水産資源庁)

グループ3：栄養要求解明と配合飼料開発(近畿大学／パナマ水産資源庁)

##### (3) SATREPS 期間中の各グループの成果

###### グループ1

卵から仔稚魚、幼魚期までの、これまでに未解明である成長や発育の主な事象について形態学的、生理学的、生化学的に解明するとともに、それらの解明に必要なツールの開発を行った。また成長、発育に大きな影響を及ぼす水温、塩分、流れ、海水面の状態などの物理・化学的環境要因の分析と、必要な餌生物の種類やその分布密度の解明、また仔稚魚の天然海域と飼育環境下の両方での生残りを理解するうえで重要な視覚と行動の特徴把握およびその発育変化の解明を行った。これらの科学的情報と今後それを得るためのツールは、マグロ類の天

然資源の将来の動向予測において特に重要な発育初期の生残りの様相、すなわちどのような環境が初期の生残りとその後の資源加入に影響を持つかを明らかにするために大いに有用な情報となる。さらに完全養殖技術開発においては、最も飼育の難しい仔稚魚・幼魚期の飼育技術開発の鍵となる情報が得られるとともに、今後の研究に必要なツールが開発された。

#### グループ 2

天然海域での資源の始まりとなる親魚の成熟と産卵の成否が、どのような環境や栄養状態に影響されるかを明らかにすることを目的とした。キハダの飼育下での産卵の観察で水温や水質と産卵量の関係についての知見が得られたことに加え、ミトコンドリア DNA 多型解析法開発とゲノム DNA のマイクロサテライトマーカー開発により親魚と卵、仔稚魚の親子関係解析が可能となった。また生殖関連重要遺伝子のクローニングにより生殖器官の成熟状況を遺伝子の発現解析で調べるための遺伝情報が得られた。他方これらの情報は、養殖分野では、完全養殖に欠かせない親魚の養成、催熟技術向上に大いに有効である。さらには天然海域ではクロマグロとキハダがどのような群れ構造を持っているのかを明らかにするための集団遺伝学的解析ツールが開発された。

#### グループ 3

天然海域での太平洋クロマグロとキハダ仔魚の餌料生物の栄養分析、餌料生物の種類や密度変えた飼育実験が実施され、それらで得られた仔魚、稚魚、幼魚の魚体の栄養分析により、キハダ仔稚幼魚の成育に必要な栄養成分とエネルギー収支が明らかにされ、両種で比較された。この情報は今後どのような餌料環境でクロマグロとキハダ発育初期の生残りが良いか、すなわち資源加入の成否を左右する餌料条件について重要な知見となる。また、養殖分野では、これらの情報は、飼育下で仔魚に与える餌料の必要量や必要な栄養成分の情報として有用である。さらに既に解明されているクロマグロの稚魚幼魚期の栄養要求に基づいて開発された稚魚幼魚用配合飼料がキハダでも有効であることが確認されるとともに、現地でのキハダ完全養殖産業化を視野に入れて、そのような配合飼料をパナマ共和国でも製造するために現地で入手可能な原料や施設を分析・検討し、どのような課題があるかが検討された。

### III. 追跡調査結果まとめ

#### 1. 研究の継続・発展について

- ・ 近畿大学および相手国共同研究機関の資金により日本と相手国で以下の共同研究が継続している。

**(1) IATTC<sup>2</sup> 「Tuna Biology and Ecology(マグロの生物学と生態学)」**

**(2017年～現在：ファンド元：近畿大学、全米熱帯マグロ類委員会、パナマ共和国水産資源庁)**

パナマ共和国 IATTC アチョチネス実験場で飼育されているキハダの産卵生態、産卵親魚の特定と個体毎の産卵量の日変化の研究。およびキハダと太平洋クロマグロの仔魚期の成長と生残を飼育実験で比較する。キハダはパナマ共和国 IATTC アチョチネス実験場で、太平洋クロマグロは近畿大学で受精卵から餌密度や仔魚の密度など条件を変えて飼育し、成長と生残を比較する。

IATTC は、マグロ類の太平洋の東半分のルール作り(有効利用と保全)を目的に作られ、自前の研究組織を持っている(パナマに実験場がある)。一方近畿大学は養殖に対する科学的知見(初期発育解明と産卵生態研究も行っている)を有しており、この両者がパナマで研究できたことに意義がある。若手研究者が近畿大学で学位を取得することも目的としている。

**(2) ARAP<sup>3</sup> 「Snapper Biology and Ecology (フエダイの生物学と生態学)」 (2018年)**

キハダの稚魚の餌としてフエダイの稚魚を使っている。またフエダイ自体も水産資源であるので、その2点からフエダイの初期発育解明と産卵生態研究を進めた。成果はマグロの研究にも繋がり、養殖産業にも貢献する。

**(3) ISSF<sup>4</sup> 「Calibration of Advanced Sonar 「先進ソナー型の較正」 (2018年～2021年)**

対象種をより正確に特定し、稚魚の混獲を減らすため、本事業で特定されたマグロ類の生態系情報を活用し、マグロ網船のソナーの開発の実証実験を実施している。

混獲を防ぐ目的もあるが、マグロの資源量の把握は漁獲のみでは難しいのでソナー情報(同時情報を広い領域で得ることも可能)から資源量の推定を狙っている。生簀網の中で調査実験を行った。ソナーの進歩によって魚のおおきさ、密度が把握できるようになっており、ある魚種では追跡が可能と考えている。

**(4) マイアミ大学 「Effect of Ultraviolet Light and Elevated CO<sub>2</sub> on Tuna Eggs**

**(マグロ魚卵に対する紫外線及び高濃度二酸化炭素の影響)」 (2019年)**

マグロの魚卵は産卵後直ぐに海表面に浮いてくるので、地球温暖化の影響による紫外線(オゾンホール)及び高濃度二酸化炭素(海の表層の二酸化炭素濃度が上がっている。空気中の40%が海洋に吸収されている。二酸化炭素が溶けると酸性となる)の影響を受けやすい。サンゴが

---

<sup>2</sup> 全米熱帯まぐろ類委員会

<sup>3</sup> パナマ水産資源庁

<sup>4</sup> 国際水産物持続可能性財団

溶ける、魚の位置情報を感知する磁石が溶ける等の恐れを抱いている。また、稚魚が高濃度の二酸化炭素に触れると異常が生じるとの知見もある。界面表層に生息する生物(ニューストーン)は、紫外線防御機構を持っているが、マグロは持っていない。以上のような地球規模の課題という背景の元、進められた研究である。

#### (5) テキサス大学「Genetic Studies of Yellowfin Tuna and Analysis of Tuna Eggs related to Fatty Acid in Diet(キハダマグロの遺伝研究及び餌料に含まれる脂肪酸とマグロ魚卵の分析)」(2019年～現在)

マグロ魚卵の成分を調べることで、飼料との関係を明確にし、どのような化学成分の餌が良いかを明らかにすることを目的としている。餌については、現在鰯、鯨等の魚粉が使われているが、資源に限りがあることから(1990年から漁獲量が増えていない)、魚でない新しいものに対する検討が始まっている。現在、植物蛋白質(トウモロコシ、大豆等)を加工したものを扱い、餌の成分と魚卵の成分との関係を研究している。将来の餌として人工的な蛋白質(例えば培養細胞よりなるもの)等も検討されている。

- ・相手国の共同研究機関が、自己資金と外部資金獲得により、パナマ共和国アチョチヌス研究所で産卵親魚特定の研究(IATTC、ARAP プロジェクト)、パナマ共和国 IATTC アチョチネス研究所で本 SATREPS プロジェクトにより設置した海面生け簀を用いた幼魚期の密度測定を新たに開発された魚群探知機で行う研究などが行われている。
- ・澤田教授がスーパーバイズする相手国省庁の研究計画があるが、コロナ禍で実施できていない。養殖での網に海洋生物が付着するという課題について、昔は有機錫が使われていたが、毒性があるため、新しい技術を検討するテーマである。
- ・相手国カウンターパート研究者の近畿大学での大学院教育が継続されている。
- ・国際機関の出資を受けてカウンターパートを中心に後継プロジェクトを推進している。

開発した手法は引き続きパナマ共和国アチョチヌス研究所で産卵親魚特定に活用されている。

- ・近畿大学 水産研究所阿川泰夫講師は、学内の研究資金により、マグロ属雌雄判別技術開発、産卵親魚 DNA 鑑定、成長優良個体の特定法開発共同研究等を継続している。

#### グループ 1

- ・マグロ類の卵から仔魚、稚魚期の発育の解明と飼育技術開発は現在でも近畿大学およびカウンターパート機関で研究のメインテーマとして複数の研究者で続けられている。
- ・本サブテーマにおける成果は世界のマグロ類資源管理と完全養殖技術確立に応用されている。

#### グループ 2

- ・魚類の産卵は天然資源の始まりであり、その生態が研究され、得られた科学的情報は今後の資源動向予測に利用される。本サブテーマで得られた母系・系群解析法はさらに個体の識別方法開発などに研究が進展している。
- ・母系の解析方法開発により、養殖魚の品種改良の基盤の一部が確立され、品種改良方法の改良に繋がっている。

### グループ3

初期発育期間におけるキハダおよび太平洋クロマグロの摂餌生態、成長および生残については本 SATREPS プロジェクト後も、相手国研究サイトおよび近畿大学で研究が継続されている。近畿大学にはコロナ禍以前は毎夏に相手国カウンターパートが来所し、1ヶ月程度滞在して共同研究がなされている。

## 2. 地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について

- ・成果を著名な国際学会で発表し、論文を投稿した。
- ・研究成果が発展し、世界で必要とされるマグロ類の資源管理・養殖技術開発につながった<sup>5</sup>。
- ・養殖における雌雄判別技術の開発は、養殖で重要な産卵親魚群形成を効率的に行える技術の開発に繋がっている<sup>6</sup>。
- ・マグロ類で得られた DNA 解析技術を応用し、世界の熱帯・亜熱帯海域で重要な水産資源となっているシマアジでの雌雄判別法開発や成長優良個体、性の特定技術が発展している。
- ・研究成果は、日本国内での大規模マグロ養殖プラントで実証され実用化につながっている。
- ・上位目標の達成に向け相手国および国際機関での人材育成と科学技術開発で進展している。

---

<sup>5</sup> まぐろ類の稚魚が生き残れる条件(海水の水温、塩分濃度、pH、溶存酸素量、プランクトン類の発生状況)が分かれば(養殖場で可能)、資源量の推測が可能となり(どの群れが生き残るのか等)予測情報が改善される。太平洋クロマグロで開発した雌雄判別技術が発展したことにより、これまで不可能であったクロマグロの雌雄で異なる生態や資源量の変動を解析する技術の開発に繋がっている。キハダの DNA 解析による産卵個体特定技術は今後野生個体の産卵生態が系統的に調べられるようになると、毎年資源の加入量の推定や変動原因の特定等の解明に繋がることで、資源管理の技術が向上する。

<sup>6</sup> クロマグロを飼育下で産卵させることは非常に困難で、特にメスの産卵率が低いことが問題となっている。雌雄を幼魚期で判別することができれば、メスの割合の高い産卵親魚群を作成し、良質の受精卵を十分量得られる技術に繋がる。また個体を判別する技術が開発されれば、養殖において最も重要な技術の一つである品種改良に必要な技術となる。飼育生物は植物でも動物でも品種改良を行って生産効率や味、栄養価、安全性を向上させている。それがマグロ類でも可能となる。これはマグロ養殖産業の将来にとって非常に重要である。

- ・プロジェクトで確立した研究手法を、2020年度より実施のアラブ首長国連邦人材育成事業<sup>7</sup>でも産卵親魚特定手法の継続、成長優良個体の特定に継続している。具体的には、産卵親魚特定のための mtDNA の多型領域である D-loop をキハダで解析した技術を応用し、アラビア湾のみならず世界の熱帯域の重要水産魚種であるハマフエフキ、カンパチ、シモフリアイゴの母系を特定した。母系の特定は産卵に参加する雌親魚の家系の特定に用いることができる。

### グループ1

- ・世界で特に需要が年々高まっているマグロ類の天然資源管理に必要な科学技術の開発と、天然資源に依存しない完全養殖技術の発展に貢献している。
- ・熱帯・亜熱帯を主たる生息場とするキハダにおける研究は、技術を有する先進国と資源を有する途上国の協力の成功例として評価され、今後の水産資源の持続可能な利用による食料安定供給という地球規模課題解決に向けての先進国と途上国の科学技術協力のあり方の成功例となっている。

### グループ2

マグロ類の産卵生態を研究可能な機関は本 SATREPS プロジェクトでの研究サイトとなったパナマ共和国の全米熱帯マグロ類委員会研究所と、近畿大学など世界に数機関しかない。本 SATREPS プロジェクトで生み出された成果は他に類を見ないものであり、またマグロ類資源の持続的利用という地球規模課題の解決に向けて貴重な情報を提供して科学技術の進展に貢献している。

### グループ3

- ・初期発育期間におけるキハダおよび太平洋クロマグロの摂餌生態、成長および生残についての研究成果は、天然資源の動態予測において最も重要な期間に関するものであり、マグロ類天然資源の持続的利用という地球規模課題の解決に重要で貴重な情報を提供している。
- ・また、マグロ類の完全養殖による生産は、希少なマグロ類資源の乱獲を防ぎ持続的利用を可能とする。この完全養殖技術においては、初期発育期間の生態情報が特に必要とされており、本 SATREPS プロジェクトはそれをまさに提供した。

---

<sup>7</sup> 2011年から近大と連携しており、約5年前にドバイに養殖会社が設立された。遺伝的研究が天然資源の開発に繋がり、それが資源管理に繋がる（群れの違いの情報が得られれば、群れの管理が可能となる。アラブ地区の食料安全保障が目的であり、アブダビと近畿大で経産省、JICAの協力を得て、経産省産油国補助金制度の適用を受けたプロジェクトが進行している（アラビア湾岸諸国は同じ問題を抱えている）。湾岸諸国では経済が急速に発展しており、移民、労働者による人口増（300万人/年増）でアラビア湾の水産資源が、この15年で40%失われた。この傾向は紅海にもおよんでいる。GCC（湾岸協力理事会）の湾岸諸国共通の課題となり、ROPME（湾岸海洋環境保護機構）が活動の主体となっている。

### 3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

- ・本 SATREPS プロジェクトの成果である産卵生態と初期生態は資源加入量の推定や将来の予測に欠かせない科学的情報であり、今後の資源予測と管理の向上に繋がるため、マグロ類の資源管理を行う国際機関(全米熱帯マグロ類委員会<sup>8</sup>)で今後の資源予測に利用されて、上位目標である資源管理措置の提案に貢献している。ただし、具体的な提案までは結びついていないが、基礎となる知見を示した状況である。
- ・研究成果は、世界のマグロ類養殖の事業とさらなる技術開発に利用されている。
- ・本研究で開発した分析法を相手国研究者に向けて紹介・指導を行っている。

#### グループ1

- ・海の天然資源の保全・管理には、科学的根拠に基づいた将来予測が必要とされる。そのような科学的根拠としては、特に本サブテーマである初期生活史(発育・成長・生残)が必要である。本サブテーマ研究はその根拠のみならず、新しい革新的な研究方法も提供している。
- ・マグロ類完全養殖産業発展には、その初期発育を解明し、飼育技術の向上を図ることが求められる。本サブテーマの研究内容は正にそれであり、その後の産業発展に寄与している。

#### グループ2

- ・国際機関や各国政府によるマグロ類の資源予測技術向上に貴重な情報を提供している。
- ・持続可能なマグロ類の完全養殖産業振興に必要とされる親魚の飼育技術向上と品種改良技術向上に貢献している。

#### グループ3

クロマグロの養殖産業はその主たる生息地である温帯の先進国で振興されるのに対し、本サブテーマにおけるキハダ親魚の餌料と産卵成績の関係解明は、熱帯・亜熱帯の途上国での天然資源に依存しないキハダ完全養殖産業の振興に貢献するものとして今後の活用が期待される。

また、キハダの完全養殖に向けた親魚餌料に関する研究は、近縁種のクロマグロ完全養殖技術の進展に応用可能で、日本のクロマグロ完全養殖産業における技術ともなっている。

---

<sup>8</sup> 全米熱帯マグロ類委員会は世界に5つあるマグロ類の資源管理国際委員会のうち、唯一自前の研究組織を持つ国際機関であり、そこで得られた研究成果は東太平洋のマグロ類の資源予測と管理に利用されている。



#### 4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的な研究開発能力の向上について

- ・本 SATREPS プロジェクトで、近畿大学、パナマ水産資源庁、IATTC 間のコミュニケーション促進を図り、プロジェクトのスムーズかつ効率的な運営に努めた阿川講師が、現在経産省資源エネルギー庁が支援するアラブ首長国連邦と近畿大学との水産技術協力プロジェクトでコ・リーダーとなっており、コーディネーターとして、また主たる研究者として活躍している。  
アラブとパナマは宗教も違い、パナマは水が豊富、アラブは砂漠という違いがあるが、両国（パナマは運河、アラブは石油）ともに資金的には余裕がある。また共通点専門分野での知識を有する人材の育成がこれからであり、その点が両国の課題となっている。
- ・プロジェクトに参画した相手国研究機関や育成された研究者が主体的に活動し、日本の大学の社会人博士課程で研究に取り組んでいる。
- ・プロジェクトで供与した機材を活用して、SATREPS で育った研究者が相手国研究機関で様々な研究テーマに挑戦している。

##### グループ 1

相手国におけるマグロ類天然資源管理と完全養殖産業発展の技術の基盤技術を研究するモチベーションが生まれ、その後の相手国および日本での研究継続と人材の育成に繋がっている。

##### グループ 2

マグロ類を飼育することを方法とする産卵生態研究が相手国研究サイトで継続されている。

##### グループ 3

キハダの親魚養成は相手国カウンターパート機関でプロジェクト終了後も継続されており、本サブテーマでの研究が自律的研究開発能力向上に繋がっている。

#### 5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献について

- ・プロジェクトの成果が相手国の科学技術向上と人材育成に貢献（寄与）したとして、相手国首脳やメディア等に取り上げられた。
- ・途上国へ科学技術協力という本 SATREPS プロジェクトの枠組みが国際的に評価され、中東や東南アジアでの日本の水産分野での科学技術の水準と途上国との共同研究遂行能力、人材育成能力への信頼感が増し、同様の技術協力の要請が多く寄せられるようになった。
- ・本 SATREPS プロジェクトで開発した技術を、アラブ首長国との人材育成事業へ応用している。

##### グループ 1

マグロ類資源管理と完全養殖技術開発が日本の持つ技術と開発途上国との協力で実施できることが実証され、そのことが他国における日本との研究協力を繋いでいる。

#### グループ 2

世界に類を見ない施設で行われた研究の成果は、同様の日本と途上国の国際科学技術協力のモチベーション向上に繋がった。

#### グループ 3

本サブテーマでの研究内容は、その後の中東での科学技術協力を繋いでいるとともに、マグロ類の国際資源保全機関である全米熱帯マグロ類委員会で太平洋のマグロ類の天然資源管理にと活かされている。

### 6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告

#### 要望事項 1

マグロ類の人工養殖及び自然資源賦存量の推定と予測に基づく漁業管理は世界の食料安全保障上極めて重要な課題であるため、近畿大学及び ARAP ならびに IATTC 間の共同研究を何らかの形で継続し、所期の上位目標の達成に向けて基礎的データのさらなる集積と応用研究を推進していただきたい。そのためにも、今後は、キハダ以外にもパナマで需要の高い他の魚種にも研究対象を広げながら、日本側の研究・技術協力を継続することを検討していただきたい。

プロジェクトの研究は相手国カウンターパートの毎夏の近畿大学に滞在してのクロマグロの初期生活史研究、およびパナマ共和国でのキハダの産卵生態研究として継続されている。この他にパナマ水産資源庁での今後の養殖技術開発として、フェダイ類の養殖技術開発が実施されているほか、生け簀網の防汚技術開発が計画されているものの、COVID-19 の影響で実施に至っていない。

#### 要望事項 2

本 SATREPS プロジェクトでは世界で初めてキハダを卵から幼魚まで人工飼育することに成功したが、今後、幼魚から親魚、産卵までの飼育を早期に達成することにより、科学技術及び産業の視点からキハダの完全養殖の可能性を示していただきたい。

キハダの完全養殖については、パナマでの後継プロジェクトを計画中であるとともに、その基盤となる内容の共同研究が実施されている。また、アラブ首長国連邦などでの完全養殖産業化も検討されている。

#### 要望事項 3

マグロ類等の完全養殖において、従来の魚類を餌飼料として用いる方法には限界があるため、新規な代替飼料の研究開発が急務であると考

えられるが、人間の食料や家畜の飼料と競合しない材料、もしくは材料の利用法に着目して今後の研究開発に取り組んでいただきたい。

マグロ類等の完全養殖では、天然魚の魚粉の代替飼料原料として飼料用大豆タンパク質、飼料用トウモロコシを用いた飼料の開発が近畿大学で行われている。また、微生物培養によって生産されたタンパク質による魚粉タンパク質の代替についても研究されている。

#### 要望事項 4

本 SATREPS プロジェクトでは、飼育試験条件下で卵から仔稚魚、幼魚時期の成長、発育過程における形態学的、生理学的、生化学的な現象、水温や水質とキハダの産卵量の関係等の解明に成功すると同時に、家系判別や親子鑑定に資する DNA 解析の基盤整備に着手するなど、多数のデータが獲得されている。今後、これらの成果のさらなる論文化及びその他の具体的成果物としての発表を期待する。

本 SATREPS プロジェクトに関連する多くの論文、著書が刊行されている。

## 7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告

### 上位目標

国際資源管理機関が提案するキハダと太平洋クロマグロ資源管理措置が、本研究成果の生態学知見に基づいた資源変動予測によって提案され批准される。

本研究成果の生態学知見は国際資源管理機関におけるキハダと太平洋クロマグロ資源変動予測の一部ではあるが寄与している。

本研究は、途上国におけるキハダの完全養殖の可能性を示し、その後の途上国でのキハダ養殖の目標とされている。

以上