

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

チリにおける持続可能な沿岸漁業及び養殖に資する赤潮早期予測システムの構築と運用
(2018年4月～2023年3月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：丸山 史人 (広島大学 学術・社会連携室 教授)
2. 2. 相手国側研究代表者：Milko JORQUERA
(ラフロンテラ大学 Scientific and Technological Bioresource Nucleus 教授)

3. 研究概要

チリでは、2016年に主要産業であるサケ養殖が盛んな南部のプエルトモント周辺で大規模な赤潮が発生し、サケ養殖のみならず沿岸漁業に深刻な被害が生じた。その結果、外資系企業の参画が多いサケ養殖への非難が漁業関係者の間で高まっていることなどから、科学的データに基づく正確な赤潮の知識、そしてその早期予測情報を提供し、共有することが求められている。

本プロジェクトでは、藻類と共存微生物叢の全体をホロビオームとして把握し、その構成種間の相互作用を環境微生物学的観点より読み解き、赤潮動態の理解に役立てることを目的としている。また、赤潮の「指標微生物」を特定するため、試料の採取から同定までをスーツケースに複数の研究機材を入れ込んだスーツケースラボを開発し、現場において迅速な微生物検出を可能にするとともに、それらのモニタリングデータを利用した網羅的な微生物データに基づく数理モデルを作成し、赤潮発生を予測することを目指している。さらに、赤潮対策のための産官学連携体制を構築し、漁業従事者への情報提供を行うとともに、赤潮対策ガイドラインを作成し、チリ政府へ施策提言を行う。

プロジェクトは下記の4つの研究題目で構成されている。

- (1) 赤潮ホロビオーム構造解析による構成微生物同定
- (2) 赤潮ホロビオーム構造決定因子の同定
- (3) 赤潮原因藻・魚病原因細菌の検出・発生予知
- (4) 赤潮予防・被害軽減を目的とする産官学コンソーシアム確立

4. 評価結果

総合評価 : A-

(所期の計画とほぼ同等の取組みが行われ、一定の成果が期待できる)

本プロジェクトは、赤潮原因藻の増殖や衰退を共存微生物（主にバクテリア）による原因藻に対する生育促進効果と阻害効果の面から解明し、バクテリア DNA をマーカーとするモニタリング手法を開発し、併せてチリ側研究機関の有する既存の海水流動モデルを利用して赤潮発生予測モデルを開発し、社会実装することを目指している。

研究題目のうち、（１）赤潮ホロビオーム構造解析による構成微生物同定については、ホロビオームのモニタリングプロトコル及び次世代シーケンサーによるホロビオーム解析方法を確立したものの、コロナ禍により、サンプリングデータが十分に得られていないため、ホロビオーム解析は計画に遅れが生じている。（２）赤潮ホロビオーム構造決定因子の同定では、海洋細菌、藻類の分離と培養法のプロトコルを確立し、これらの技術を移転したものの、コロナ禍もあり、赤潮発生の原因菌の同定は計画より遅れている。（３）赤潮原因藻・魚病原因細菌の検出・発生予測では、スーツケースラボやバスラボなど研究機材のチリ側研究機関への導入がほぼ予定どおり進んでいる。一方、現地でのサンプリングが十分できないため、赤潮発生予測モデルは開発されていない。このため、アウトリーチ活動で重要な赤潮早期予測システムの構築にも遅れが生じている。（４）赤潮予防・被害軽減を目的とする産官学コンソーシアム確立では、チリの利害関係者、特に赤潮の被害を最も受ける零細漁民のニーズを把握するにも重要な役割を担う産官学コンソーシアムの確立には至っていない。

持続的研究活動等への取り組みに関しては、コロナ禍の中、オンラインにより両国の研究者の間で連絡を取り研究実施体制を維持している。また、チリ側において本プロジェクトを支援・実施するための独自予算を獲得していることから、プロジェクト終了後も継続的な研究活動が実施できると評価される。

プロジェクト目標である赤潮予防と被害軽減は、日本を含めた地球規模の課題となっており、その成果はチリやその他の国にも社会的インパクトをもたらすことが期待される。現時点では、プロジェクトのウェブサイトの開設やチリ国内でのワークショップの開催など研究成果のアウトリーチ活動は積極的に行われているものの、その一方で社会実装の具体的な方向性が見えていないことから、早期の明確化が望まれる。

以上から、本プロジェクトは、いくつかの計画に遅れがみられるが、所期の計画とほぼ同等の取り組みが行われ、不可抗力による遅れの部分は挽回可能と思われ、一定の成果が期待できるものと評価する。

4-1. 国際共同研究の進捗状況について

プロジェクト開始後、JICA 予算による研究機材の調達遅れ、チリ国内の政情不安、研究代表者の異動に伴う事務的な調整、さらにはコロナ禍に伴う研究活動の制限により、研究題目全体が計画よりも遅れている。中でもホロビオーム解析による赤潮発生原因藻の特定及び赤潮発生予測モデルの構築のためのモニタリングデータ取得がかなり遅れていることから、残りのプロジェクト期間でこれらの研究・開発を急ぐことが最優先である。

赤潮発生予測モデルについては、地域特性を考慮・対応しながらも汎用性の高いモデル化の実現を期待したい。コロナ禍でサンプリングが限られているため、メタゲノムだけではモニタリングデータが十分ではないと思われる。しかし、サケ養殖業界研究所（INTESAL）が有する40年間の赤潮原因藻類モニタリングデータを利用できるようになったことは幸いであり、このデータを有効に活用して、残りの2年間で、先ずは適用できるモデルを早急に作る事が求められる。

スーツケースラボやラボバスの開発・導入が進んでいることは、現場におけるホロビオームデータの迅速な解析・取得に効果があると評価できる。一方、本SATREPSプロジェクトで実施した研究の成果に基づく研究論文が少なく、日本側とチリ側の双方で残りのプロジェクト期間で研究成果の公表に注力する必要がある。

4-2. 国際共同研究の実施体制について

コロナ禍により日本人研究者がチリ国からの退避を余儀なくされているが、オンラインにより両国の研究者の間で連絡をとり、研究実施体制を維持している。また、相手国側の関係機関で資金の提供を含めた協力を得ることができたことは、研究体制の整備がなされていると評価できる。一方、現地の状況や課題についてのチーム内での認識の共有が十分でなく、研究題目間の連携や成果の統合に向けて、研究代表者のリーダーシップの一層の発揮が期待される。また、研究代表者を含む3名の日本人研究リーダーの連携が十分でないことが懸念される。プロジェクト目標の達成に向けて、3名で協力して研究内容および態勢を見直すことを強く求めたい。

研究機材については、スーツケースラボやバスラボなど、現地で対象とする藻類や細菌の検出等を効率的に実施するキットやシステムの開発・運用が進められており、プロジェクト成果につながる基盤整備に研究費が効率的に執行されたと評価できる。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

チリ側では本プロジェクトを支援・実施するための独自予算を獲得していることから、プロジェクト終了後もチリ側で継続的な研究活動が実施できると期待される。また、コロナ禍の状況下で、現地でサンプリングした試料をコールドチェーンで日本に送り、広島大学でDNA解析を行う等、出来る工夫をしながら臨機応変に対応して研究を進めている。一方、研究課題の中心となる成果「赤潮早期予測システムの構築と運用」に向けての、研究推進の手法やモデル開発は遅れているが、それに対応する戦略と戦術は明確ではない。「赤潮早期予測システムの構築と運用」への方向性に懸念が生じており、その対応についての研究代表者のリーダーシップの発揮が求められる。また、零細漁民の立場や状況の理解が十分でないと思われることから、この点も考慮する必要がある。

赤潮発生の予測は、日本を含めて地球規模の課題となっている。日本でもこれまで赤潮早期予測の試みはなされているが、本プロジェクトのような赤潮原因藻と微生物叢のホロビオームと海

水の環境条件から赤潮を予測するシステムは構築されていない。このため、本プロジェクトの成果はチリ国や他の国々だけではなく日本にも社会的インパクトをもたらすと期待される。一方、研究成果のアウトリーチ活動は積極的に行なっているが、その社会実装の絵姿が見えていない。アウトリーチを経て社会実装に向かうのが一般的であり、アウトリーチと社会実装は同一ではない。産官学コンソーシアム体制が構築されていない現状で、研究成果の社会実装が果たせるのかが懸念される。

日本の若手研究者・人材の育成については、複数の日本人ポスドクがチリで長期間にわたり研究活動を行い、相手国側からの信頼を得ながら知識と経験を積んだことは評価できる。しかし、2名転出しており、今後の継続的な活動ができるかどうか危ぶまれる。若手研究者のスキルアップに繋がるようなきめ細かな育成カリキュラムをシステムとして組むなど、継続的な研究が実施できる態勢を確立する必要がある。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

チリ側の漁業振興研究所（IFOP）などが独自に行った研究成果などが中間報告書で記載されており、チリ側研究機関はすでに高い研究実施能力を有していると思われる。また、研究代表者とチリ側の研究者の一人は本プロジェクト開始以前から交流が続いていること等、相互の信頼関係も築けていると判断されるので、これらをベースにしての一層の連携が期待される。そのためには、研究自体の明確な進展と成果の共有・活用、共著論文の作成を進めることが求められる。

ホロビオーム解析のツールであるスーツケースラボとラボバスについては、これまで機会を見て宣伝を行い、チリ内外によく知られている。また、プロジェクトのウェブサイトの開設やチリ国内におけるワークショップの開催などアウトリーチ活動は積極的に行われている。一方、チリの利害関係者、特に赤潮の被害を最も受ける零細漁民のニーズ把握できるコンソーシアムを確立することができていないので、早急に確立する必要がある。また、若手研究者がプロジェクト終了まで研究を継続する意欲を保つことができるよう論文を発表していく必要がある。

5. 今後の課題・研究者に対する要望事項

1. スーツケースラボを複数導入して現場での微生物の迅速な検出を可能にした点は評価できる。しかし、現地におけるサンプル採集・分析が遅れているため、当初目的である赤潮早期予測システムのための基盤的なデータが得られていない。コロナ禍による渡航制限下ではあるが、現地におけるサンプル収集と分析の体制を再構築することにより、当初目的を遂行する方策を見いだしていただきたい。
2. 赤潮早期予測システムの開発に向けてモデル開発など具体的な手法の確立が急務である。現時点では、IFOPモデルを適用する「可能性」が示されているだけであり、入出力情報、汎用性、地域特性の反映方法などのモデルの基本的な要件を早期に確立すべきである。また、地

域特性を考慮しつつも汎用性の高いモデル化の実現を期待したい。

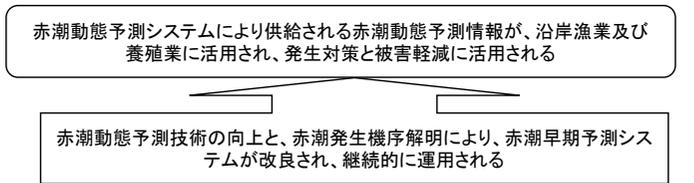
3. 赤潮発生予測モデルの構築について、次の2点について検討を願いたい。1つは INTESAL より提供を受ける過去 40 年間の赤潮原因藻のデータと海水温や栄養条件等の環境データで、プロトタイプモデルを至急構築する。2つはプロジェクトでこれまでに採集したサンプルの中から INTESAL のサンプリング地点と同じ地点のサンプルのみを選んで、HAB（有害・有毒微細藻類）種の分析とバクテリアの分離・分析を早々に実施し、さらに原因藻とバクテリアの生育促進または生育阻害関係を明らかにして、その結果からプロトタイプモデルの改良を行なう。
4. 研究代表者には、4つの研究題目間の連携・協力を留意して、各担当研究者に任せるのではなく、両国の研究者が全員で総力を挙げて取り組む態勢を改めて構築し、プロジェクト目標を達成できるようリーダーシップを発揮してもらいたい。
5. チリで長期間にわたり研究活動を行った若手研究者が2名転出した。若手研究者が定職を得るのに必要な論文数が増えるような、若手研究者のスキルアップにつながり継続的に研究が実施できる人材育成の態勢を確立することが求められる。
6. コロナ禍や研究代表者の異動などの状況下で、サンプリング試料をコールドチェーンで日本に送り、広島大学でDNA解析を続けていることなど、臨機応変に対処していることは評価できるが、研究活動に遅れが出ていることは否めない。今後の最重要課題はその遅れをどう取り戻すのかであり、両国の研究者が改めて議論して選択と集中を図ることなど、研究内容の変更を検討する必要がある。
7. プロジェクトにおいて開発した技術の社会実装を IFOP 雇用のアウトリーチ専門家だけに任せるのではなく、日本側およびチリ側の研究者自らが社会実装の活動を積極的に担うことが必要である。
8. 本プロジェクトは大企業の利益のためだけに寄与すればよいのではなく、零細漁民の利益を含めた生活向上を図る事は重要なポイントである。ノルウェーのサケ等の養殖事業を例にとると、大企業の活動がグローバルに大きくなればなるほど、零細漁民は困窮状態に追い込まれていく。研究計画書ではSDGsに貢献すると述べているが、SDGsの基本理念は「誰も置き去りにしない」であり、その目標1は「貧困をなくそう」である。そうであれば、本研究が零細漁民の生活向上にどう貢献するのかについて考慮すべきである。

以上

成果目標シート

研究課題名	チリにおける持続可能な沿岸漁業及び養殖に資する赤潮早期予測システムの構築と運用
研究代表者名 (所属機関)	丸山 史人 (広島大学 学術・社会連携室)
研究期間	H29採択(平成29年6月～令和5年3月)(5年間)
相手国名／主要相手国研究機関	チリ共和国・ラフロンテラ大学
関連するSDGs	目標14:『持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する』 目標13:『気候変動とその影響に立ち向かうため、緊急対策を取る』

上位目標



プロジェクト目標

チリ養殖場における有害赤潮動態予測システム確立・モニタリングの高度化・赤潮予測と被害予防のための情報伝達ネットワーク確立

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 赤潮原因藻の簡易検出技術の確立と実用化 赤潮動態予測技術の確立
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 微生物間相互作用に着目した赤潮動態決定機序の理解 検出技術に役立つ有害藻・細菌特異的遺伝子同定
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> ホロビオーム解析技術の標準化 赤潮関連微生物遺伝資源リソースの構築 ホロビオーム解析に基づいた赤潮動態予測法開発
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 赤潮関連環境科学を研究する日本人研究者人材のチリにおける政策提言への参画および国際産官学連携経験の涵養
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 赤潮関連微生物の簡易検出技術確立・実用化 赤潮早期予測システムの構築と運用 赤潮予防・被害軽減を目的とする産官学連携確立
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 赤潮ホロビオーム動態とその決定要因に関する研究成果についての論文 チリにおける赤潮と周辺産業・環境への影響についての論文・政府への提言書等の出版

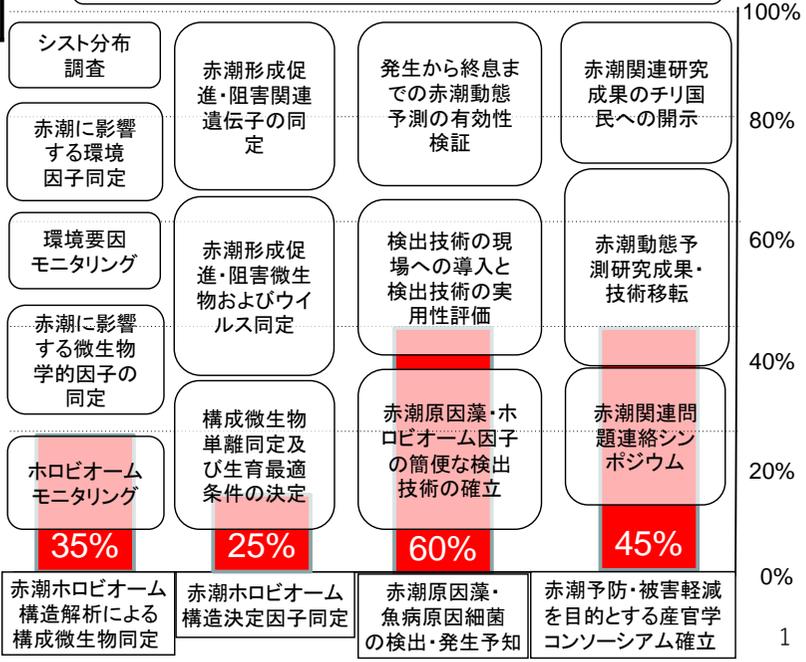


図1 成果目標シートと達成状況 (2020年11月時点)