

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別終了時評価報告書

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 IDEC 国際連携機構 教授）
2. 2. 相手国研究代表者：Milko Alberto JORQUERA TAPIA
(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・マス養殖が盛んな南部のチロエ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。赤潮の発生要因は未だ解明されていないことから、科学的データに基づく正確な赤潮の知識、そして日本のみならず世界的にも存在していない、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、藻類と共存微生物群集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に用いる複数の実験機材を入れ込んだ携帯用実験装置を導入し、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システムの開発を目指している。さらに、赤潮対策のための産官学連携体制を構築し、漁業従事者へ情報を提供するとともに、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ことを目標としている。

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：B

(一部問題があるがほぼ妥当(所期の計画以下の取組みであるが、一部で当初計画と同等又はそれ以上の取組みもみられる))

チリのサケ・マスを中心とした大規模養殖及び沿岸漁業は、近年の赤潮の発生により被害が増大している。さらに、赤潮は環境問題も引き起こしている。特に、2016年に大規模な赤潮被害が発生し、その対策は社会的に重要な課題となっている。本プロジェクトは、赤潮の原因藻とその共存微生物を一つの構造体「ホロビオーム」ととらえ、赤潮形成と終息に関わる共存細菌を特定し、海域環境でモニターするという新たな視点から研究して赤潮早期発生予測モデルの策定をめざした。

しかしながら、赤潮発生予測のため、原因藻類に加えて随伴するバクテリアを指標とする試みは斬新であるものの細菌の特定に至らず、さらに、赤潮原因藻類自体の生物特性に関する視点が欠落していた。また、現状では、赤潮発生予測モデルは機能しておらず、課題解決に与える科学的・技術的インパクトが評価できる段階には至っていない。

一方で、コロナ禍による研究遅延への対策として、サンプリング地点の見直しを行いサンプルの収集と分析に務めている点、日本のデータを用いて予測モデルの構築を試みた点などは一定の成果と評価できる。今後、チリ側が開発した海水流動モデルに、本プロジェクトで開発するホロビオームのAI解析モデルが組み込まれれば、精度の高い赤潮発生予測モデルが完成すると期待される。

現時点では、本プロジェクトの社会実装目標である「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」について、その構成要素である課題の多くが、終了時評価時点でもなお「検証中」や「検討中」などとされ、所期の計画以下の取り組みに留まっている。

コロナ禍ということもあり、当初の計画通り進まなかった研究課題が散見され、社会実装への展開の取り組みは現状でも不足しており、プロジェクト終了後に社会実装へ発展する見通しが極めて難しい状況であるものの、赤潮の知識の普及に関しては、現地の教育機関、マスメディアと連携したアウトリーチ活動、現地メンバーへのトレーニングを積極的に展開しており、今後も日本側からの研究協力が欠かせないと思量されることから、プロジェクト終了後も研究連携・支援を続けていただきたい。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

赤潮発生予測モデルの作製やそれにもとづく早期警戒システムの確立は国際的に重要である。そのため、赤潮発生に関する「予測」の実現への期待は高く、意義のある課題に取り組んだと評価できる。

しかし、目標とした「予測システム」の確立と活用のレベルには達せず、課題解決に与える科学的・技術的インパクトが評価できる段階には至っていない。一方で、渡航が制限された条件下において、計画の見直しを行い、サンプリング地点の再検討を経て、サンプルの収集と分析を継続した点、日本のデータを用いてチリで予測モデルの構築を試みた点などは、

得られた成果は十分とはいえないが評価したい。

【国際社会における認知、活用の見通し及び他国、他地域への波及】

本プロジェクトの赤潮発生予測システムはまだ国際的に認知されるレベルに達しておらず、従って国際社会における活用の見通しは立っていない。赤潮発生予測モデル構築のための研究に取り組んでいることは国際学会等で発表しているが、モデルが構築されなかったため、認知や活用について判断できる段階まで至っていない。

赤潮発生による被害はチリばかりでなく、地球規模の問題であるので、赤潮発生予測モデルが開発されれば、日本を含めて他国でもその利用は進むと考えられ、今後も継続して国際学会などでプロジェクトの成果である赤潮発生予測モデルなどを公表していただきたい。

【国内外の類似研究と比較したレベル】

多くの要因の複雑な相互作用による赤潮発生を、原因藻類に随伴するバクテリアに着目し、AI によってモデル化するという試みは高く評価できるが、現状のレベルでは十分な成果とはいえない。また、「赤潮ホロビオーム」という認識を赤潮予測モデルへ導入したことも評価する点であるが、モデルが完成していない現状では、他の類似研究と比較できるレベルには至っていない。

4-2. 相手国ニーズの充足

【課題の重要性とプロジェクトの成果が相手国ニーズの充足に与えるインパクト】

赤潮発生予測技術の開発はサケの海面養殖が盛んな相手国のニーズに叶うものであるが、本プロジェクトの成果に相手国のニーズを充足するだけのインパクトはまだなく、社会実装につながるような見通しが得られているとは言えない状況である。

本プロジェクトには、チリ側の4つの研究機関、水産省、保健省、サケ養殖業界、貝類養殖業界など多くの機関が参画しているが、プロジェクトに対する参画の考え方や成果の利用や期待が、それぞれの機関で異なっており、全体として方向がまとまらなかったのは残念であった。

【課題解決、社会実装の見通し】

赤潮発生予測モデルの確立に向けた基礎段階は固まったように思うが、実用化までにはまだ時間を要し、また道筋も明確ではなく、今のままでは社会実装の見通しがあるとはいえない。また、チリ国におけるサケ養殖業界にとって重要な赤潮発生予測と被害予防のための情報伝達ネットワーク（産学官コンソーシアム）がプロジェクト期間中に確立できなかったのは残念であった。プロジェクト期間終了後も、日本側研究者にはチリ国における赤潮予測システムの確立及び情報ネットワークの確立を支援していただきたい。

【継続的発展（人材育成、組織等）及び成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込み（政策等への反映、成果物の利用など）】

相手国代表機関のラフロンティア大学は研究予算を獲得し、漁業振興研究所（IFOP）は職務上日常的に海水の採取と微生物の顕微鏡観察を実施することから、サンプルや解析データの取得は問題なく実施され、本プロジェクト終了後もチリ関係機関でホロビオーム解析を取り入れた赤潮発生予測に関する研究は継続できると思われる。

当面の人材育成は計画されており、相手国において本プロジェクトの課題実施を担った研究者によって研究が継続され発展する可能性は認められるが、継続的発展には研究者の課題解決の意欲が必要であり、現時点では政策への反映や成果物の活用などについてはあまり多くは期待できないことから懸念が持たれる。

4－3．付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

赤潮は日本でも発生し、沿岸漁業に影響を及ぼしている。赤潮発生予測モデルが開発され、当該モデルの高い妥当性が実証できれば、日本の養殖漁業や沿岸漁業への波及効果は期待される。しかし、本プロジェクトの成果は、基礎研究としてのレベルは高いが、日本政府、社会、産業への貢献の観点からは技術成熟度レベルや社会的見地から見た成熟度において標準的な域を超えておらず、現状では、日本の社会経済で広く活用されることは期待できないと思われる。

【科学技術の発展】

赤潮発生予測モデルの確立に取り組んだが、モデルが完成していない現状では技術が発展したとは言えず、基礎研究を着実に積み上げていることは一定の評価はできるが、それらが統合されて科学技術の顕著な発展に至ったとは言えない。一方で、「赤潮」の発生予測に向けて、「ホロビオーム」という考え方を導入し、情報や基礎的な知見を蓄積したことは、科学技術の発展に向けた成果として評価される。

【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】

日本人若手研究者の参画は限られており、人材育成が進んだとは言いがたい。2名の若手研究者が育成途上であるが、5年間の成果としては物足りないと言わざるを得ない。

【知財の獲得や、国際標準化への取り組み、生物資源へのアクセスや、データ入手方法】

知財化された成果はなく、予測モデルは完成していないので国際標準化に向けた取り組みはされていないが、ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等は活発に

実施してきた。また、コロナ禍で両国間の渡航が難しい時期に、相手国側と遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ衡平な配分（ABS）手続きを行い、サンプルをチリから日本に持ち込んで分析したことは評価できる。

【その他の具体的成果物（提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど）】

成果の発表論文数はさほど多くないが、さまざまな情報などをウェブ上で共有するシステムの開発が進められた。また、作成された微生物のサンプリングや解析方法のマニュアルはチリで今後も活用できる。さらに、スーツケースラボという表現や実物は、医学等の分野で以前からあるが、赤潮モニタリングに応用し、プロジェクト初期に完成させた点は、一定の成果である。今後、現場でのサンプリングデータの迅速な解析に活用されることを期待する。

【技術及び人的ネットワークの構築（相手国含む）】

コロナ禍に見舞われたとはいえ、チリ-日本間の人的ネットワーク形成は不十分であった。特に、両国の若手人材の育成の基盤となるコミュニケーションが不足していた。プロジェクトを通じて、技術及び人的ネットワークはある程度構築されたが、今後さらに強化が必要である。そのため、共同研究を継続し、社会実装のための研究成果が得られることを強く期待する。

4-4. プロジェクトの運営

【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

プロジェクト全体として、明らかにすべきことと、それが分かったら何ができるのか、といった基本的な目標や方向性についてのチリ側との共通認識が十分ではなかった。情報が日本側からの一方通行のようであったので、チリ側の理解を得るような双方向の情報交換が必要であったと考えられる。プロジェクトがこのような結果で終わることになったのは、コロナ禍による影響だけでなく、プロジェクト推進体制がうまく機能しなかったことに原因があると思われる。

【プロジェクト管理及び状況変化への対処（研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ）】

コロナ感染症拡大の影響が大きかったことは理解できるが、国内の研究者間及び相手国側研究者との連携は十分だったとはいえない。このような状況でこそ研究代表者の強いリーダーシップが求められるが、研究代表者の SATREPS への理解とリーダーシップが乏しかったと推察される。また、中間評価では、研究代表者に4つの研究題目間の連携・協力を進め、両国の関係者の「総力態勢」の構築を推奨したが、各研究題目を統括するプロジェクト

管理や運営は進められなかった。

【成果の活用に向けた活動及び情報発信】

チリ国内及び日本国内におけるアウトリーチ活動がスーツケースラボやラボバスを用いて行われたことは評価する。しかし、成果の活用のために大学、民間セクター、政府間のネットワークを構築する計画がプロジェクト期間内に達成できず、研究成果に関するアウトリーチ活動が不十分であったことは残念である。

【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

個々の供与機材の利用目的は明確であるが、相互に機材を活用して、どのように連携していくかが課題である。特に、スーツケースラボ及びラボバスについては、当初の利用目的とおり、現場でのサンプル採取、微生物収集及び迅速な解析に実活用されてこそ評価されるものなので、継続的なモニタリングやフォローが必要である。

5. 今後の研究に向けての要改善点及び要望事項

(1) 本プロジェクトの核は、精度の高い赤潮発生予測システムの確立である。本プロジェクトが終了しても早急にシステムを確立し、社会実装を目指してもらいたい。そのためにも、今後も日本側の研究協力が欠かせないと思慮され、プロジェクト終了後も研究交流・支援を続けていただきたい。

(2) 本プロジェクトは基礎的な研究成果だけで終わってしまう可能性がある。得られた成果の科学技術面での意義と具体的な活用の展望とともに、研究・技術開発面での今後の課題についての洞察が必要である。特に、成果を確実に社会実装へと展開するには出口戦略を明確にする必要がある。

(3) 「産官学コンソーシアム」については、具体的な進捗が示されておらず、関係者が一丸となって赤潮発生に取り組む態勢を構築していただきたい。プロジェクトの終了時点であっても、目標とした「産官学コンソーシアム」の姿を改めて明確にしたうえで、目標と進捗を分かりやすく整理しておくことが望まれる。それが、相手国の今後の研究展開、さらには課題解決の基礎となると考える。

(4) プロジェクト内で、この赤潮予測システムがどのように漁業・水産養殖に活用されるか、十分に認識されていないと思われた。赤潮予測システムが実際に活用されるアウトプットのイメージを示すことで、社会実装の道筋が見えてくるのではないかと。

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 教授)
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』

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

上位目標

赤潮動態予測システムにより供給される赤潮動態予測情報が、沿岸漁業及び養殖業に活用され、発生対策と被害軽減に活用される

赤潮動態予測技術の向上と、赤潮発生機序解明により、赤潮早期予測システムが改良され、継続的に運用される

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

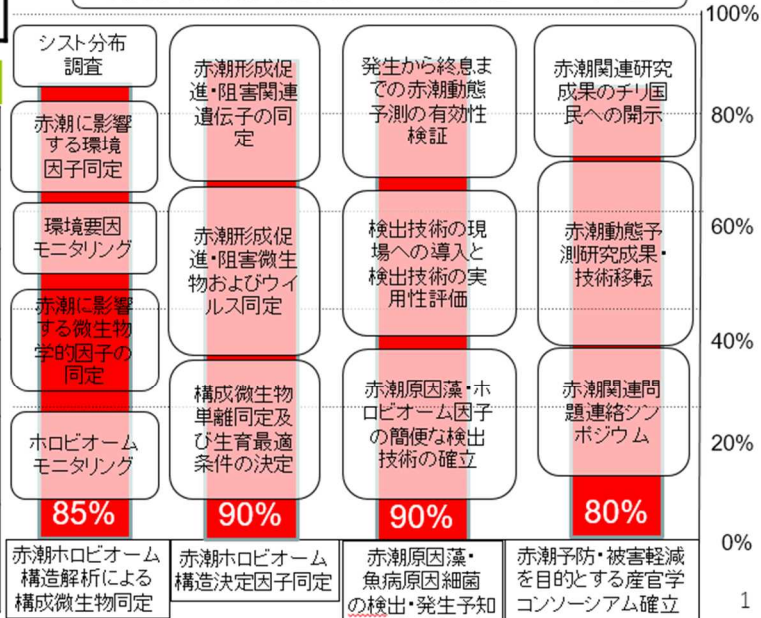


図1 成果目標シート (2023年1月)