

# 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

微細藻類の大量培養技術の確立による持続可能な熱帯水産資源生産システムの構築  
(2016年3月～2022年3月：新型コロナウイルス感染症の影響で1年間延長)

### 2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：戸田 龍樹 (創価大学 理工学部 教授)
2. 2. 相手国研究代表者：ファティマ ユソフ (マレーシア・プトラ大学 バイオサイエンス研究所 教授)

### 3. 研究概要

微細藻類は、食品、飼料、燃料等の原料の他、医薬品、化粧品、健康食品等の高付加価値物質を含む生物資源として注目されている。一方、実際に大量培養に成功している微細藻類は数種に留まる上、大量培養に用いるリアクターは欧米で開発されたものが主流であることから、熱帯地域の微細藻類の利用や高温・高照度の気象条件に適した新規リアクターの開発が望まれている。また、マレーシアをはじめとするアジア諸国で盛んな水産養殖業では、余剰餌料や排泄物等に由来する有機汚泥の蓄積により養殖場及び周辺環境の劣化が惹き起こされているが、従来技術による堆肥等への利用では処理費用の回収が難しいのが現状である。本プロジェクトでは、生物多様性に富むマレーシアで高付加価値物質を生産する有用微細藻類及び天然の藻類成長促進物質を探索し、養殖池の水面で有用微細藻類を大量培養する技術を確立するとともに、養殖池汚泥を藻類培養に再利用する技術を開発することにより、微細藻類の生産物を利用した様々な産業への展開と環境保全に貢献することを目標としている。

具体的には、下記4つの研究題目に取り組み、有用微細藻類を用いた新産業の創出並びに持続可能な熱帯水産資源生産システムの構築を目指す。

- 研究題目 1 有用微細藻類の探索
- 研究題目 2 天然成長促進物質の探索
- 研究題目 3 新規藻類リアクターの開発
- 研究題目 4 栄養塩回収・循環システムの構築

### 4. 評価結果

総合評価：A+

(所期の計画をやや上回る取組みが行われ、大きな成果が期待できる)

本プロジェクトは、水産養殖における余剰餌料や排泄物あるいは薬剤等の有機物残渣が堆積した底泥汚泥による環境汚染やそれに伴う養殖の中断等の問題を解決するため、汚泥から回収したアンモニア態窒素を活用し、微細藻類生育促進効果のある土壌の抽出液を添加し、マレーシアで分離した高付加価値物質（多価不飽和脂肪酸や抗酸化物質等）生産能の高い微細藻類を屋外藻類培養装置（ゆりかご型水平薄型フォトバイオリアクター）で大量培養するシステム、すなわち、付加価値生産を伴う統合循環型システムを構築することを目的としている。

本プロジェクト目的を達成するため、マレーシアの自然環境から微細藻類 212 株を分離し、相手国機関の保存株も加えた中から高付加価値物質生産能の高い 2 株を選抜し、有用物質を効率的に生産する培養条件を明らかにした。

また、マレーシアの土壌あるいは汚泥から抽出したフミン酸様物質が微細藻類の比増殖速度の上昇に関係していることを明らかにした。

さらに、浮遊閉鎖系プラスチックバックリアクターを水面に浮かべたゆりかご型水平薄型フォトバイオリアクターを新規に開発し、微細藻類の単位エネルギー当たりのバイオマス収量が現状の約 20 倍である 2t/GJ まで高くなることを示すとともに、実際に屋外実験で 2 ヶ月間の実証試験を実施した。

加えて、汚泥の高温・好気発酵とアルカリ化処理によってアンモニアガスを回収し、微細藻類の培養液の栄養塩類に利用するシステムを開発した。

最終的に、それら各要素技術を統合した微細藻類の試験的培養実験を屋外で行い、統合循環型システムの可能性を検討した。

また、本技術の実装に向けて、マレーシアの水産養殖業者との連携を開始するとともに、相手国研究機関が今後 5 年間の大規模な研究プロジェクト（Blue-Seed Project）の予算を獲得し、実装化への課題把握と研究を継続する体制を構築することで、出口戦略を整備した。

一方、原著論文 102 件、学会発表 130 件、マレーシア側学会受賞 13 件、日本側学会受賞 16 件など活発に学術的成果発表を行ったことに加え、ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ、マスコミ報道等情報発信活動も精力的に行った。

以上から、所期の計画をやや上回る取り組みが行われ、大きな成果が期待できると判定される。

#### 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】

マレーシアのエビ養殖場における水質汚染、土壌汚染、生物多様性の劣化等は喫緊の解決すべき問題である。本プロジェクトでは、野外のデモンストレーションサイトで総容積 700 L 規模のフォトバイオリアクターを用いた統合循環型システムでの微細藻類の培養実

験を実施した。プロトタイプの実験であり、実用化には設備の低コスト化やスケールアップに伴う検討すべき課題が残されているが、実験データから判断すると、本システムの経済性評価及び汚泥窒素の循環利用と微細藻類による高い二酸化炭素固定量等環境問題解決への効果も期待される。この成果は、循環型システムの実用化への可能性を示すものであり、水産業が抱える課題の解決に与える科学的・技術的インパクトは極めて高いと考えられる。

#### 【国際社会における認知、活用の見通し】

今回開発された「ゆりかご型水平薄型フォトバイオリアクター」での単位エネルギー当たりの微細藻類のバイオマス収量は現在実用化されているリアクターに比べて約 20 倍 (2 t/GJ) 高いことが実証され、スケールアップ方法も示されたことから、今後実用化される可能性は非常に高いと思われる。また、水産養殖の汚泥を栄養塩類として循環利用する技術も開発されており、コスト削減と環境問題の解決への貢献も期待される。

#### 【他国、他地域への波及】

本統合循環型システムは、性能の点で他国、他地域へ波及する可能性は高いと考えられるが、その実現には、まずマレーシア国内の水産養殖場における実用化とその効果の実証を行うことを先行すべきであり、それにはさらに時間を要すると思われる。また、循環型システムの構造上、台風被害を受けない国等地域的に限定される要素の多いシステムであり、広く国際社会における認知や活用の見通しは高いとはいえない面もある。今後、開発された科学技術の一般化を踏まえて、広く活用されるシステムに展開していくことを期待する。

#### 【国内外の類似研究と比較したレベル】

4つの個別技術を統合した循環型システムとしての新たな微細藻類培養プロセスの開発は、国内外の類似研究にはない研究レベルを達成しており、独自性が高いと評価できる。一方で、微細藻類の探索収集と特性解析に関しては、類似研究と比べて、収集点数や解析精度の点で際立った優位点は見受けられず、また、土壤に含まれる微細藻類の成長促進物質探索も類似研究と比較すると、土壤の滅菌抽出液の分別の自動化が図られたことは評価されるが、微細藻類の成長を測定する手法には優位な点はみられない。この分野においては、今後の継続した研究の進展に期待する。

## 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】

相手国における課題の重要性は、本プロジェクトに対する相手国の政府や大学等研究機

関の積極的な参画や支援、さらに、Blue-Seed Project（2022-2026年）の立ち上げに象徴されるように、現地のニーズに極めて適した成果であると評価できる。水産業の振興を目指すマレーシアの各地域に広く成果が適応できると期待される。一方で、本統合循環型システムは、大規模施設とならざるをえず、企業的経営の養殖業者にしか普及できない可能性がある点が懸念される。

#### **【課題解決、社会実装の見通し】**

相手国での本プロジェクトの研究活動は、社会実装に向けた活動を強化する Blue-Seed Project が5年間計画されていることから継続・発展の見通しは極めて高いと言える。

また、本プロジェクトの実施を通じて、多くの若手研究者が学位取得やキャリアアップしており、これらの人材が今後の研究発展の担い手になると期待される。

#### **【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）】**

マレーシア・プトラ大学に統合循環型システムのデモンストレーションサイトが設置され、今後 Blue-Seed Project で研究成果を基とした研究・利用活動が持続的に展開される見込みである。また、デモンストレーションサイトの供与機材引き渡し式にはマレーシア水産局、首相府経済企画院等から政府高官が出席する等関心の高さが示されており、今後の発展見込みは極めて高いと思われる。

### **4-3. 付随的成果**

#### **【日本政府、社会、産業への貢献】**

統合した循環型システムは日本の高い科学技術を世界に示し、日本のプレゼンスの向上に大きく貢献する可能性がある。また、微細藻類の高付加価値物質を生産する技術等の知財は日本の大学等が取得しているので、その商業的利用に関して相手国と合意できれば、日本企業や社会の発展に貢献する可能性がある。

一方で、本プロジェクトで開発された科学技術とその成果が、社会・経済のどの場面で活かされ、何に貢献できるのか、整理や展望が不明瞭な面があり、高付加価値物質の活用および展開等に関して継続した検討を期待する。

#### **【科学技術の発展】**

全体としての技術開発の核となる要素的な課題への取組みとその成果、及び統合化技術も含めて科学技術の発展に高く貢献したと言える。ただし、水産養殖企業レベルでの実装化、すなわちスケールアップによる実用化に向けては装置の低価格化とそれに伴う経済的評価を行う等検討すべき課題は残されている。また、プロジェクトで選抜した微細藻類株

(*Isochrysis galbana* 株および *Thalassiosira weissflogii* 株) は、増殖できれば直ちに製品化に結びつくのか等、生産物の加工体制や市場にかかわる情報を調査・検討することを期待する。

#### 【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）】

多くの日本人若手研究者が参画し、マレーシアでの研究活動や研究技術ワークショップ、国際会議を経験して、グローバル対応ができる研究者としての経験とキャリアアップを行った。得られた経験を生かして今後世界で研究・開発活動に活躍することを期待したい。

#### 【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】

日本での特許申請 9 件、マレーシアでの特許申請 4 件の計 13 件の特許申請を行った。その内 2 件は登録査定となっている。また、生物多様性条約に基づく、研究目的のための実験材料へのアクセス（手続き）はしっかり実施されている。今後は特定した有用微細藻類を利用し、生産する高付加価値物質の商業利用に関しても、生物多様性条約の ABS に準拠して実施できるように、マレーシア側と十分に議論して、日本側研究機関にも利益になるような展開を期待する。

#### 【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）】

原著論文 102 件（マレーシア側研究者との共著 40 件）、学会発表 130 件（同、43 件）、分析・実験操作マニュアル 10 種類が作成された。特に、研究機材を使用するためのマニュアルを整備し、利用者の利便性を高めており、今後の現地での機材利用促進及び研究の新たな展開が期待できる。

#### 【技術および人的ネットワークの構築（相手国含む）】

日本での短期研修やマレーシアでの日本人研究者による研究技術ワークショップ等を通じて大学院生の実験技術が確実に向上し、日本側研究者間及び相手国研究チームとの強固なネットワークが構築された。

### 4-4. プロジェクトの運営

#### 【プロジェクト推進体制の構築および管理およ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）】

日本側 4 研究機関、マレーシア側 3 研究機関、合計 7 機関が連携・協力する体制で実施され、相手国民間企業の参画を促すことができ、マレーシア側とのよい協同体制が構築された。さらに、様々な研究環境の変化の中で、相手国研究費による相手国研究プロジェクトとの連携・協働を含め、多くの現地機関・関係者との共同作業の管理などは適切に進め

られた。研究代表者の適格な判断とリーダーシップは非常に優れていると思われる。

#### 【成果の活用に向けた活動】

マレーシア側プロジェクト参画機関による新たな共同研究 Blue-Seed Project の予算が獲得でき、日本側も協力し、社会実装に向けた課題解決の研究推進が継続できる態勢ができており、成果の活用に向けた活動は非常に優れていると思われる。

一方、コロナ禍により遅れが生じたため、統合循環型システムの優秀性等を外部にむけてアピールする機会が少なかったように思われ、今後のアウトリーチ活動に期待する。

#### 【情報発信（論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど）】

難易度の高いジャーナルにマレーシア研究者も複数発表し、シンポジウム、セミナーも多数開催した。また、論文だけでなく、多くのマニュアルや紹介映像を準備し、現地メディアも積極的に活用している。

#### 【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

土壌の抽出液とその分画面分による微細藻類に対する生育促進効果の確認実験を自動化する全自動分画装置を開発した。これによって全 42 工程に及ぶ手作業をほぼ全自動化することが可能となり、企業と協力し特許を申請した。また、汚泥の高温・好気発酵装置とアンモニアガス回収装置の発酵残渣をコンポストとして農業利用する実証圃場も整備した。

### 5. 今後の研究に向けての要改善点及び要望事項

(1) 本プロジェクト成果の実装化による被裨益者の総体を明確にすることが、本プロジェクトの真の社会的・経済的貢献を明らかにする上で重要である。プロジェクトの性質上、高度な技術開発を目指さざるを得ない点は理解できるが、開発した要素技術の中から、小規模生産者に向けたより簡素かつ収益性も見込まれる方向での応用も検討していただきたい。さらに、可能であれば、エビ養殖が拡大しているそれぞれの地域に適した技術が提案できることを期待する。

(2) 本プロジェクトで収集した有用微細藻類株等の物質生産能、増殖能、土壌抽出液に対する増殖反応性等の生理的特徴に加え、微細藻類株の比較優位性をデータ化し、分類学上の特性を含むジーンバンクとして公表することで、微細藻類シードバンクとして世界への貢献を期待する。

(3) エビ養殖池での実装化に向けた今後の課題把握と課題解決のための研究の継続が重要である。デモンストレーションに用いた水平薄型フォトバイオリアクターは純日本製であり、マレーシアでの実装化に向けて相手国で入手できる材料やモーターを用いて低価格

化を実現することが社会実装のためには重要な要素となる。低価格化の目安に基づいた実規模レベルでの生産プロセスの経済性評価、収穫量の数値やパラメータの精度についてはさらに検討を加える必要がある。それによって初めてエビ養殖業者への実用的な技術の説明が可能となり、実装につながると思われる。さらに、環境影響評価についてもパラメータの信頼度がどの程度あるのか、さらに検討を加えていくことが必要と思われる。

(4)「革新的な藻類大量培養技術の確立」に向けて、個々の開発技術の継続した検証と現地の社会・経済への貢献のための技術の成立・適用の条件の明確化と整備に向けて、Blue-Seed Project を核にしての継続した取組みに期待する。さらに、今回のプロジェクトで開発された技術の知財戦略を継続して展開し、今回の成果のさらなる発展・向上と他の地域への波及もやり遂げていただきたい。

以上

# 成果目標シート

研究課題名	微細藻類の大量培養技術の確立による持続可能な熱帯水産資源生産システムの構築
研究代表者名 (所属機関)	戸田龍樹(創価大学理工学部)
研究期間	平成27年6月～令和4年3月
相手国名／主要相手国研究機関	マレーシア/プトラ大学(UPM)、トレンガヌ大学(UMT)、セランゴール大学(UNISEL)

## 付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>藻類生産に関わる新産業創出</li> <li>CDM事業への展開</li> <li>熱帯養殖産業におけるデフォルト技術の確立</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>革新的藻類生産技術</li> <li>成長促進物質による培養困難有用種の培養技術</li> <li>生物多様性の保全</li> <li>持続可能な水産技術</li> </ul>
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱帯の多様な有用藻類の単離と生産技術</li> <li>藻類生産技術</li> <li>藻類生産のための廃棄物からの栄養塩回収技術</li> </ul>
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際的に活躍可能な日本若手研究者の育成、若手研究者の国際ネットワークの構築</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>アフリカ諸国、インドネシアの既存ネットワークを利用した、他の熱帯諸国との新たなネットワークの構築</li> </ul>
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"> <li>査読論文多数、啓蒙書発刊</li> <li>熱帯種の培養液作成方法</li> <li>熱帯藻類生産マニュアル</li> </ul>

## 上位目標

多様な有用藻類の生産技術が確立され、世界の熱帯途上国の養殖産業において活用・持続可能な生産を可能にする

- 藻類生産技術のマレーシア国内での社会実装、コストダウン、他の熱帯途上国への普及
- 熱帯養殖産業へのデフォルト技術としての組み込み、技術の熟成
- 多様な藻類バイオマスの機能解明、生産技術の確立、市場の拡大

## プロジェクト目標

熱帯の多様な有用藻類を探索し、バイオマス収率が現状の10倍(1トン/GJ)となる革新的な藻類大量培養技術を確立する。



図1 成果目標シートと達成状況 (2023年3月時点)