

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

持続的食料生産のための乾燥地に適応した露地栽培結合型アクアポニックスの開発
(2015年5月～2020年5月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：山田 智（鳥取大学農学部 教授）

2. 2. 相手側研究代表者：Ilie Racotta Dimitrov

（メキシコ北西部生物学研究センター (CIBNOR) 機関管理部門 部門長）

2. 研究概要

急激な人口増加に伴う食料危機と水の争奪戦が起こるとされる21世紀において、水利用効率の向上と環境保全型持続的食料生産を実現する技術開発は地球規模課題として最優先に取り組むべき課題の一つである。特に乾燥地においては、過剰灌漑や気候変動に伴う地下水の減少・枯渇とともに、毛管現象による地下水の土壌表面への上昇と地表面からの蒸発によって塩性化が進行し、地下水の塩性化も次第に顕在化してきている。

メキシコでは、2000万ヘクタールの農地の約3分の1が北西部の乾燥地に存在しており、過剰灌漑による地下水の枯渇、塩類集積による土壌劣化、砂漠化が急速に進行している。加えて、近年同国では、急激な人口増加により食料需要が増加してきている。本プロジェクトでは、メキシコの乾燥地において塩分濃度の高い地下水を効率的に使用し、環境保全型持続的食料生産を行うことを目的としている。具体的には、1) 乾燥地に適応した露地栽培結合型アクアポニックス（水産養殖と作物の水耕栽培及び露地栽培を組み合わせた食料生産システム）を開発し、それに伴う2) 水利用効率の向上、3) 養殖廃液を用いる水耕栽培での好塩性作物による塩分吸収を利用した除塩、4) 土壌塩性化の防止、5) 太陽光パネル発電を含む電力利用、6) 生産物の安全性評価を実現するとともに、7) 構築した技術の普及要件を明らかにする。

研究体制としては、日本側では鳥取大学と東京海洋大学が、メキシコ側ではメキシコ北西部生物学研究センター（CIBNOR：Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.）が参画し、以下の6研究題目で共同研究を実施する。

1. 塩分を含む水を利用した養殖技術の確立
2. 塩分を含む水を利用した栽培技術（水耕・露地）の確立
3. 養殖・農業結合システムに適した電源の最適化
4. 養殖・農業結合システムにおける衛生微生物学的安全性評価技術の確立
5. 塩分を含む水を利用した養殖と農業の結合技術の確立
6. 実証サイトでの技術的検証結果のモデルシステムへの反映と普及可能要件の把握

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。)

21世紀最大の環境問題の一つが水であるとされる中、乾燥地における塩分を含む地下水を、魚の養殖や作物栽培に有効利用するシステムの開発を試みる本プロジェクトの意義は高い。結合型アクアポニックスのモデルとした鳥取大学モデルシステムと CIBNOR モデルシステムを建設し、これまでの研究活動において所期の計画とほぼ同等の取組みが行われている。具体的には、結合型アクアポニックスの要素となる水産養殖、水耕栽培、露地栽培において養殖・栽培適種の選定、および上記2モデルシステムでの飼育実験・栽培試験が進められており、要素技術の開発に一定の進捗が見られる。また、太陽光パネルの利用システムの開発と衛生微生物のモニタリングと検出技術においても成果が上げられてきている。しかし、露地栽培結合型アクアポニックスの農家実証試験モデルシステムの建設が遅れており、まだ実証の開始に至っていない。システムの建設を早急に完成し、農家レベルでの実証を開始することが必要である。そして、今後の農家レベルでの実証を通じて、水産養殖から露地栽培までの一貫した統合技術が確立され、実証試験に参画する農家の技術習得と運用経験の蓄積によって、農家レベルで運用できる安定した技術が確立され、加えて、経済性を含めた普及要件の明確化を行い、社会実装への道筋が示されることを望む。

人材育成の面では、これまで2名の日本人若手研究員が現地へ繰り返し渡航し、日墨間の協力体制も構築されている。今後は、相手国留学生の招聘等を通じ、相手国のキャパシティビルディングがより積極的に行われることを期待する。

4-1. 国際共同研究の進捗状況について

本プロジェクトでは、露地栽培結合型アクアポニックス施設として鳥取大学モデルシステム、CIBNOR（相手国研究機関）モデルシステム、および農家実証試験モデルシステムの3モデルシステムの建設を計画しており、既に前者2システムにおいて、装置開発ならびに各要素（水産養殖、水耕栽培、露地栽培、電力供給、安全性評価）研究が概ね順調に進められている。これまでに、対象国の乾燥地に適応しかつ市場を意識した魚種、耐塩性植物および露地栽培に適した植物が選定され、CIBNOR 敷地内では地下水を養殖から露地栽培までリレーして利用すべく技術の統合化が始まった。今後、要素技術を結合し、塩分を含む地下水を水産養殖から最後の露地栽培まで一貫してリレー利用する結合技術の研究開発によって、インパクトのある成果が生み出されるとともに、システム全体の統合化・最適化が進められることが期待される。

すでに述べたように、農家実証試験モデルシステムの建設は遅れており、まだ農家レベルでの実証開始に至っていない。その理由は、プロジェクト開始当初、農家実証試験モデルシステムはCIBNORによって農家圃場に建設される見込みであったが、メキシコの国立研究機関の運営ルール上それが不可能であることが判明し、急遽、鳥取大学が相手国の民間建設会社と直接契約して建設することとなったためである。加えて、相手国研究機関との情報共有が十分とは言えない状況が発生し、建設が予定より約4半期遅れている。農家実証試験モデルシステムでは、各要素技術を農家レベルで結合する場合の問題点と全体システムを運用して経営する場合の問題点の抽出が行われる予定であり、それによって初めて、システムにおける各要素技術の統合化と運用の統合

化に必要な適用条件の整理が可能となる。従って、プロジェクト後半の限られた実証期間で、効率的に条件整理を行うことが必要である。さらに、社会実装の観点では、現地モデル農家に対する運営指導や技術マニュアルの作成、現地におけるベースライン調査やコスト分析等を含めた普及可能要件の抽出等を通じて、その道筋が示されることを期待する。

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、技術移転体制として、日本側研究参加者のメキシコへの渡航や相手国研究参加者の日本での短期研修をはじめ、eメールやTV会議等により両国の研究者間で日々情報共有を行っている。各研究グループにおける共同研究も順調に進められており、CIBNORが積極的にメキシコ側州政府との連絡窓口を担っている等、相手国研究機関の意識や関与の高さが見受けられる。しかし、農家実証試験モデルシステムの建設にあたっては、CIBNORの機材調達の遅れが本中間評価の現地調査時まで日本側に共有されていなかったこと等、日墨間での情報共有が不十分であった面も見受けられ、今後は、日墨間のより一層の情報共有・意思疎通の促進が必須である。また、プロジェクト終了後も研究や普及活動を持続的に推進できるように、メキシコ人若手研究者を含めた相手国人材のキャパシティビルディングが強化されることを期待する。

また、完成が待たれる農家実証試験モデルシステムは、水産養殖の経験がない農家が運営するため、当面は両国の研究者が常時指導しながら農家に技術移転を行うことが必要である。そのため、日本人研究者の中長期滞在体制の構築、及び、停電やハリケーン等の非常事態対応を含めた技術支援のため、農家とCIBNOR間の連携体制の早急な構築が求められる。

日本国内では、それぞれの要素技術ごとに6つの研究グループに分かれて研究が進められており、それぞれ一定の成果が得られている。しかし、全体としての情報共有や協力の不足が各要素技術の結合を遅らせている。今後、各要素技術の統合に向けた活動が本格化し、農家実証試験が開始されるにあたっては、各研究グループが一丸となった協力体制が求められる。また、日本だけでなく相手国の各研究グループの相互連携を図るため、研究代表者が統合化に必要な研究活動を良く把握した上で、強いリーダーシップを発揮することを期待する。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

本プロジェクトの科学技術的価値は、各要素（水産養殖、水耕栽培、露地栽培）を繋げた結合型アクアポニックスにおいて、塩分を含む同じ水を3度利用した上で、持続的な農水産物の生産を可能にする点にある。世界的に今後見込まれる「水資源の枯渇」は、地球規模課題として重要な問題であり、塩水という制限を克服し、乾燥地における水利用効率化を目指す本プロジェクトの意義は高い。また、太陽光を電源とし、動物タンパク質、野菜等の食料生産を可能とするアクアポニックスの開発は、施設整備のための初期費用は高いものの、地域産業化と栄養改善への貢献が期待される。

このように、「露地栽培結合型アクアポニックス」という一つのシステムとしての開発が重要となる中、これまでは、各研究題目で個別に取り組みが進められているのみであり、システムの結合・統合にむけた研究が十分に進められているという評価は難しい。今後の研究においては、相手国研究機関のCIBNORモデルシステムと、完成が待たれる農家実証試験モデルシステムを用いた技術を統合化する活動への注力が求められる。具体的には、CIBNORモデルシステムにおいては、

養殖、水耕、露地栽培を通しての水の無機元素濃度、pH、EC（電気伝導率）の変動の解析や塩分低減量の具体的な把握、微生物学的安全性評価など技術の根本に係る基礎データを蓄積し、論文発表に至るような研究が進められることを期待する。さらに、農家実証試験モデルシステムにおいては、養殖魚の稚魚供給体制の整備、農家経営の評価に加え、結合型アクアポニックスの技術普及に向けた対応と整備が進められることを期待する。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込み

日本側研究代表機関である鳥取大学と相手国代表研究機関の CIBNOR は 30 年以上の学術交流の歴史と経験を有しており、人的交流の構築には大きな問題はないと推察される。また、両機関において世代交代が見られる中、新しい人的繋がりを構築し、協力体制を強化させるという意味でも、本プロジェクトの果たす役割は大きいと言える。

他方、これまでは、CIBNOR 関係者以外のメキシコ行政関係者等の参画が見られず、双方の研究機関のみの閉鎖的な関係となっている。結合型アクアポニックスの普及にあたっては、設置に初期費用を要することに加え、水産養殖用の稚魚供給体制の整備、生魚や栽培した野菜類の販売ルート構築が必要となりメキシコ行政機関等の強いサポート無しでは、その実現は困難である。今後、メキシコの行政関係者を日本へ招聘することも視野に、行政機関や現地コミュニティを巻き込んだ新たな人的ネットワークの構築が重要である。

なお、本プロジェクトでは、これまでに日本人若手研究員 2 名を複数回にわたり現地に派遣し、大学院生など合計 12 名を現地に派遣しており、プロジェクトに関わった若手・グローバル人材の今後の活躍が期待される。

4-5. 今後の課題・研究者に対する要望事項

1. 「露地栽培結合型アクアポニックスの開発」においては、全体のシステムの最適化が、そのシステムの資源効率性と農家の経済性の観点から評価されるのが望ましい。そのため、残された研究期間で、選定された農家での種々の要素の組み合わせの最適化の試験が精力的になされることを期待する。また、全体システムの統合化への取り組みとともに、引き続き各個別要素の技術開発も行っていたいただきたい。
2. 塩分を含む地下水や植物の養分となる無機元素濃度、露地栽培土壌の理化学性の分析・評価にあたっては、これまで収集されたデータに加え、水耕栽培における塩素イオン(Cl⁻)の吸収量や、使用前の地下水の元素組成やpHなど、基本的化学的性質の把握に努めていただきたい。また、地下水の養殖廃水、水耕廃水、露地灌水という一連の流れに伴う変化についての追跡も必要である。さらに、これまで「塩害」と結論づけられた部分に関しても、特定元素の過剰害等の十分な検討を行った上で、適切な解決策を解明していただきたい。
3. 研究代表者が掲げる「生産性」という観点は大変重要である。これまでの研究においては、土地（単収※）や資本（インプットおよびアウトプット）、労働生産性といった観点での計測・調査が行われてきたが、水やエネルギー単価当たりの生産性といった新たな観点での比較も行っていただきたい。

※単収・・・単位面積当たり収量（生産量）

4. 今後のプロジェクト推進にあたっては、日本側研究チームの意識統一と、農家試験モデルシステム実証の取り組み体制強化が必須である。具体的には、研究代表者を代弁・サポートできる日本人研究者と相手国研究者の使命や、結合型アクアポニックスの1実証期間（4ヶ月）にわたる現地での技術指導のための日本人研究者の中長期滞在体制の構築を行っていただきたい。

5. 相手国のキャパシティビルディングにあたっては、国費留学生等の枠組みを利用することも検討に入れ、プロジェクト終了時以降のメキシコにおける研究の発展や普及が持続的に推進できる人材の育成をより積極的に行っていただきたい。

また、行政関係者等（CIBNOR 意思決定を行なう管理職レベル、CIBNOR の上位機関 CONACYT（国家科学技術委員会）の関係者、南バハカリフォルニア州の水産、農業行政関係者等）がサポーターとなることは、カウンターパート予算やプロジェクト終了後の普及活動の担保につながる。今後、これらの行政関係者を日本へ招聘し、本邦における視察（養殖産業とその販売の仕組み、野菜の生産現場とバリューチェーン、日本の農業技術普及の仕組み、太陽光パネルの利用状況、食品産業における衛生微生物管理状況等）や鳥取大学上層部との意見交換を通じて、本プロジェクトへの理解が深められることを期待する。

以上

JST成果目標シート

研究課題名	持続的食料生産のための乾燥地に適応した露地栽培結合型アクアポニックスの開発
研究代表者名 (所属機関)	山田 智 (国立大学法人 鳥取大学 農学部)
研究期間	H26採択(平成26年5月1日～平成32年3月31日)
相手国名/主要 相手国研究機関	メキシコ合衆国/メキシコ北西部生物学研究センター

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 東日本大震災被災地での津波による塩類化土壌の修復技術への応用 湖沼の富栄養化防止技術への応用 新産業「高付加価値水産物・農産物生産工場」への技術支援 新産業「自然エネルギーによる植物工場」への技術支援
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> メキシコ乾燥地における水資源の保全・有効利用および土壌保全 水利用効率の高い農水産物生産システムに関する研究 塩類化土壌のファイトレメデーション
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"> 乾燥地に適応した露地栽培結合型アクアポニックス 閉鎖型食料生産システムにおける衛生微生物学的安全性評価技術 農地土壌の塩類化防止技術 高塩条件下で生育可能な作物種
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥地における環境保全型生物生産法に精通し、国際的に活躍可能な日本側若手研究者の育成(国際誌への論文掲載や国際共同研究の実施など)
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 新規技術である乾燥地に適応した露地栽培結合型アクアポニックスの構築 乾燥地の持続的食料生産技術に関する世界的ネットワークの構築
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 技術マニュアル:「乾燥地に適応した露地栽培結合型アクアポニックス」の出版 論文:「塩水を利用した養殖技術開発」、「塩水を利用した作物栽培技術開発」、「衛生微生物学的安全性評価技術開発」、「土壌塩類化防止技術開発」、「自然エネルギー利用技術開発」に関する論文投稿

上位目標

メキシコ乾燥地に露地栽培結合型アクアポニックスが普及される。

普及体制の構築・普及プロジェクトの実施

プロジェクト目標

塩分を含む水を利用した露地栽培結合型アクアポニックスが構築される。

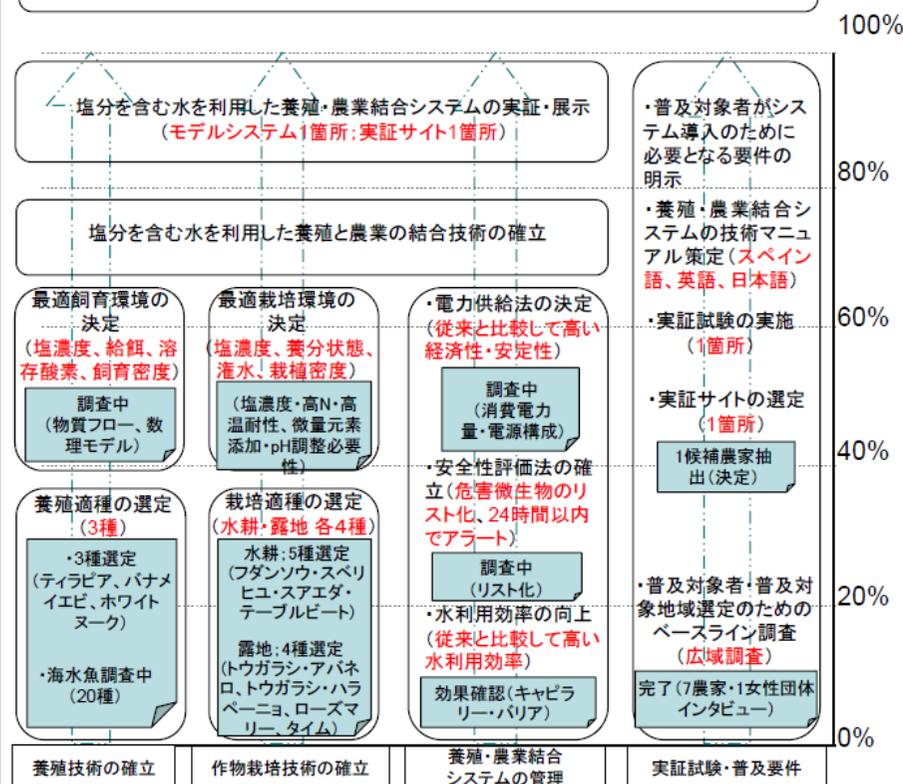


図1 成果目標シートと達成状況 (2018年6月時点)