

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）
研究領域「生物資源」
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」

採択年度：平成 26 年度/研究期間：5 年/相手国名：メキシコ合衆国

終 了 報 告 書

国際共同研究期間^{*1}

平成 27 年 5 月 5 日から令和 2 年 5 月 6 日まで

JST 側研究期間^{*2}

平成 26 年 5 月 1 日から令和 2 年 3 月 31 日まで
(正式契約移行日 平成 26 年 5 月 1 日)

*1 R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた該年度末

研究代表者：山田 智
鳥取大学農学部・教授

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール(実績)

研究題目・活動	H26年度 (11ヶ月)	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	R1年度 (12ヶ月)
1. 塩分を含む水を利用した養殖技術の確立（養殖グループ）						
1-1 養殖適種の選定		←→				
1-2 養殖適種の最適飼育環境の決定	←→					
2. 塩分を含む水を利用した栽培技術（水耕・露地）の確立（作物グループ）						
2-1 栽培適種の選定	←→					
2-2 栽培適種の最適栽培法の決定		←→				
3. 養殖・農業結合システムに適した電源の最適化（電力供給グループ）						
3-1 養殖・農業結合システム稼働に必要となる電力消費量の把握	←→					
3-2 養殖・農業結合システムに適した電源システムの設計方針および維持管理法の開発		←→				
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（安全性評価グループ）						
4-1 迅速・高精度な微生物モニタリング法の開発	←→					
4-2 モデルシステムおよび実証サイトでの実証試験における、稼働中のシステム内の微生物モニタリングの実施			←→			
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（結合技術グループ）						
5-1 塩分を含む水および露地栽培土壌の理化学性の分析・評価	←→					
5-2 養殖・作物栽培における水収支の把握		←→				*1
5-3 養殖・農業結合システムにお		←→				

ける水利用効率評価法の開発		←				*2
5-4 露地栽培土壌の塩類化防止技術の開発		←			→	*3
5-5 暫定版養殖・農業結合システムの構築・展示			←		→	*4
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（社会実装グループ）						
6-1 南バハカリフォルニア州におけるシステムの導入可能な普及対象者・普及対象地域把握のためのベースライン調査	←				→	
6-2 実証試験のための実証サイトの選定		←	→			*5
6-3 塩分を含む水の塩分濃度および普及対象農家等のニーズに合わせた養殖・農業結合システムの検討		←			→	*6
6-4 実証サイトでの実証試験			←	→		*7
6-5 実証試験の結果を元にした養殖・農業結合システムの技術マニュアルの策定				←	→	*7
6-6 普及対象者がシステム導入のために必要となる要件の把握					←	→

*1;最終年度の日本での栽培実験で制御不能な事態のため当初計画していた実験が実施できなかったこと、ならびに現地サイトでの養殖・水耕栽培との連結した実証実験が遅延した。加えて、本検討は実証実験サイトのデータも必要とするため、その建設が遅れたため。

*2; 養殖・水耕栽培・露地栽培が連結した実証実験が遅延したため。

*3; 最終年度の日本での栽培実験で制御不能な事態のため当初計画していた実験が実施できなかったこと、ならびに現地サイトでの養殖・水耕栽培との連結した実証実験が遅延したため。

*4; 農家実証モデルの建設が遅延したため（平成 30 年 8 月実証試験開始）。

*5; 実証サイト選定について、より詳細な経営分析のための調査が必要となったため。

*6; 農家実証モデルの建設が遅延したため（平成 30 年 8 月実証試験開始）。

*7; 農家実証モデルの建設が遅延したため（平成 30 年 8 月実証試験開始）。

(2) 中間評価での指摘事項への対応

指摘事項 1;

各要素技術の統合と農家実証試験の実施を早期に行うべきである。

対応 1;

平成 30 年 8 月に農家実証モデルシステムが完工し、実証試験が開始された。水産物としてティラ

ピアおよび農産物としてフダンソウの販売が始まった。養殖、作物、電力供給、安全性評価、結合技術および社会実装グループが、統合されたといえる。水源として塩分を含む地下水を用い、養殖→水耕栽培→露地栽培を通した水の量・質のモニタリングを行えるようになった。

指摘事項 2；

社会実装への道筋を明確に示すべきである。

指摘事項 2；

1. 露地栽培結合型アクアポニックスの社会実装に向けた活動

本プロジェクトでは、露地栽培結合型アクアポニックスの開発に向けて CIBNOR 施設内で実験を行い、そこで開発した生産システムに基づきモデルサイトであるロス・プラネスにおいて実証試験を行った。実証試験については、高塩分濃度水の地区に属するエヒード、ロス・プラネスから、生産農家であるホセ・アンヘル・ロドリゲス・カサス氏の協力を得た。

プロジェクトを通じて開発した露地栽培結合型アクアポニックスを南バハ・カリフォルニア州の地域に向けて普及定着を図るために、下図に示すような工程を通じて社会実装の実質を備えるように活動を展開した。実証試験において社会実装の条件を備えるために重点的な取組を行ったのは次のような内容である。

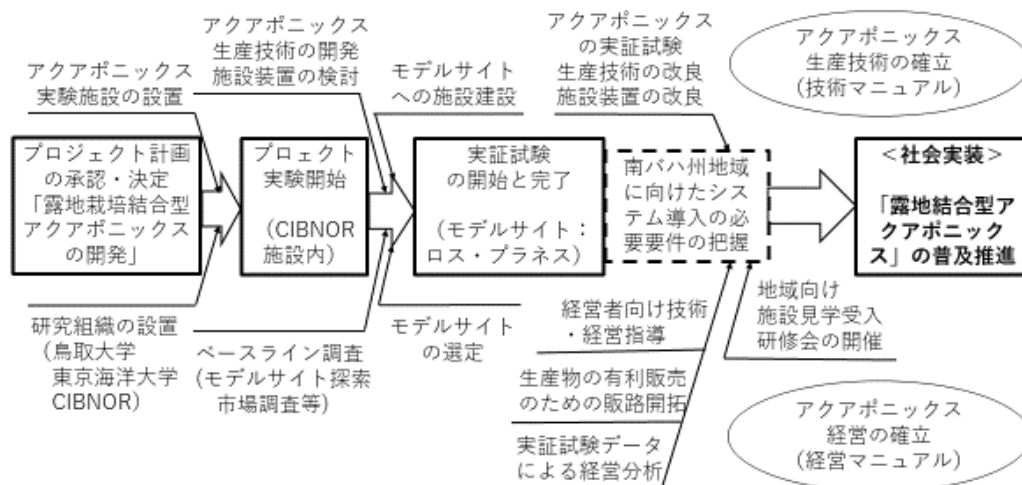


図 プロジェクトにおける社会実装に向けた取組

1) アクアポニックスの生産システムの改良・開発

- ・養殖（ティラピア）、水耕栽培（フダンソウ）、土耕栽培（トウガラシ（品種；アバネロ）等）の生産対象品目に対する生産技術の改良
- ・アクアポニックス装置の改良

2) 経営者に対するアクアポニックスの技術および経営に関する指導

実証試験への協力農家の経営主および後継者に対し、CIBNOR、鳥取大学、東京海洋大学のプロジェクト研究員がそれぞれの専門分野から技術および経営に関する指導を実施

3) 生産物の有利販売のための販路開拓

モデルサイト農家と社会実装班の研究メンバーが協力し、生産物の有利販売のための販路開拓の取組を実施

4) 実証試験データによる経営分析

- ・生産性分析、収益性分析、生産原価分析、損益分岐点分析によるアクアポニックス経

営の特徴把握

5) 技術マニュアル、経営マニュアルの作成

6) 南バハ・カリフォルニア州の地域に向けたアクアポニックスの施設見学の受入、研修会の開催

2. 露地栽培結合型アクアポニックスの普及のための必要要件

社会実装を目指した上記の研究活動を通じ、露地栽培結合型アクアポニックスの南バハ・カリフォルニア州に向けたシステム導入のための必要要件として次の7項目を抽出した。

1) 高度な開発技術を適用した高生産性の実現

2) 多様性を備えた生産技術開発の推進

3) 露地栽培結合型アクアポニックスにおける主要な技術・経営指標

4) アクアポニックス経営の担い手育成

5) バリュー・チェーンによるアクアポニックス経営の高付加価値化

6) 露地栽培結合型アクアポニックスの普及に向けた補助・融資事業の整備

7) 技術・経営指導のための普及指導体制の構築

各項目の内容は以下の通りである。

1) 高度な開発技術を適用した高生産性の実現

露地栽培結合型アクアポニックスは、塩分を含む水を利用し、養殖と水耕栽培、土耕栽培の生産工程を組み合わせることで魚と野菜を生産するシステムである。養殖用水槽、水耕栽培用ベッド、土耕栽培用灌漑施設、給配水用モーターポンプ、太陽光発電装置等の設備を連結させ、生産工程ごとに難易度の高い水の養分コントロールを行って生産するハイテク技術として開発された。各生産工程に即して緻密な技術が開発され、露地栽培結合型アクアポニックス・システムとして体系化されている。

実際の経営場面では、これらの精密な生産技術を適用して、生産対象である魚や野菜に対して高い生産性を発揮させなければならない。そのためには、経営者や労働担当者が生産技術の内容を熟知し、生産工程の特質を踏まえてそれらを効果的に活用することが重要である。生産対象である魚や野菜の生育ステージに応じ、また、季節的な自然特性に対応しながら、装置を効率的に操作・稼働させて生産活動を展開しなければならない。

生産工程における主要技術として開発に力点が置かれたのは以下の項目である。

《プロジェクトにおいて重点的に取り組んだ技術開発等》

養殖：養殖適種の選定、最適飼育環境の決定

水耕栽培：栽培適種の選定、最適栽培法の決定

露地栽培：栽培適種の選定、最適栽培法の決定

電力供給：養殖・農業結合システムに適合した電源システムの設計方針および維持管理法の開発

安全性評価：養殖・農業結合システムにおける迅速・高精度な微生物モニタリング法の開発

結合技術：養殖・農業結合システムにおける水収支の把握、水利用効率評価法の開発、露地栽培土壌の塩類化防止技術の開発

社会実装：開発技術の実証試験への反映、普及可能要件の把握

2) 多様性を備えた生産技術開発の推進

プロジェクト研究を通じて開発された露地栽培結合型アクアポニックスの生産技術は、モデルサイトであるロス・プラネスでの実証試験を通じ、南バハ・カリフォルニア州内で定着の可能性を備えていることが示された。州内には地下水の塩分濃度が高く、送電エネルギーの利用が困難な地区が多く存在する。これらの生産環境条件が劣弱な地区においてもアクアポニックス経営の立地が可能であることを実証した点はプロジェクトの大きな成果である。本アクアポニックスを

採用する経営体が州内に普及・定着すれば、新たな雇用創出や産業産出額の増大等を通じて地域経済の発展に貢献することが期待できる。

また、開発したアクアポニックス・システムは、経済的側面からばかりでなく、多面的機能の側面から地域の環境保全に対して貢献しうることが明確になった。具体的には、開発技術が乾燥地農業における土壌の塩類化防止、二酸化炭素の発生抑制等に貢献することが立証された。

露地栽培結合型アクアポニックスが備える上述の利点をいっそう効果的に発現させるには、生産対象とする魚や野菜の種類を増加させ、異なる自然立地条件に対応可能な多様性を備えた生産技術として発展させることが課題である。今回のプロジェクトにおける供試品目を含めて、南バハ・カリフォルニア州内での今後のアクアポニックスの普及に向けて次のような品目が有望性を持つと見込まれる。

《露地栽培結合型アクアポニックスで有望な生産品目》

養殖：ティラピア、パナメイエビ、ホワイト・スヌーク

水耕栽培：フダンソウ、スベリヒユ、スアエダ、テーブルビート

土耕栽培：トウガラシ（品種；アバネロ・オレンジ、ハラペーニョ）、ローズマリー、タイム、テーブルビート、コリアンダー、ハツカダイコン

3) 露地栽培結合型アクアポニックスにおける主要な技術・経営指標

実証試験においてアクアポニックス経営を対象にして生産性分析、収益性分析、生産原価分析、損益分岐点分析等の手法を用いて経営分析を行い、露地栽培結合型アクアポニックスにおいて基準となる技術・経営指標を整理した。アクアポニックス経営に取り組む経営者にとっては、これらの基準指標を経営運営上の参考として活用することができる。

4) アクアポニックス経営の担い手育成

露地栽培結合型アクアポニックスは、高額な設備投資と緻密な生産技術を前提としている。このような特性をもつアクアポニックスの経営を成功に導くには、経営者に対して優れた経営者能力が求められる。とりわけ、高い生産技術力に加えて、経営革新に取り組む積極姿勢、資金調達力、マーケティング力、財務管理能力、情報対応能力等が必要とされる。そのため、アクアポニックスの経営に着手しようとする際には、経営者が確かな経営者能力を備えていることが要件となる。

こうした特徴を考慮し、南バハ・カリフォルニア州における露地栽培結合型アクアポニックスの普及対象者として、当面は企業的経営としての性格を備えた個別経営体、およびエヒードや任意集団による組織経営体を想定している。州内においてアクアポニックス経営の普及・定着を図るには、こうした対応条件を備えた担い手の育成に取り組むことが重要である。

5) バリュー・チェーンによるアクアポニックス経営の高付加価値化

露地栽培結合型アクアポニックスが経営経済的なねらいとするところは、塩分を含む水を利用して養殖と農業（水耕栽培、露地栽培）を結合し、経営資源を有効活用することによって高付加価値型の経営を目指すところにある。

一般に、付加価値は経営が生産活動によって創り出した価値を示す指標を表している。経営内にこのような付加価値をより多く留保するには、経営者が生産設備や生産資材の調達、労働力の雇用、生産、収穫物の販売、収穫物を利用したサービス提供等の一連の経営活動の領域に対し、できるだけ多く主体的に関与することが大切である。このことは、自らの経営に適合したバリュー・チェーンを構築することを意味する。

バリュー・チェーンは、企業活動を総合的に捉えてそれを戦略的な活動に分解し、相互関係を強めることにより生産性を高め、コスト削減や製品の差別化を強め、企業競争力を高める概念として説明される。経営のバリュー・チェーンを構築し強化するには、生産資材の調達や収穫物の販売を安易に他者に依存するのではなく、経営者自身の力で市場開拓に取り組むことが大切である。また、実力のある経営では、収穫物を活用して農産加工品の製造や外食の供給に挑戦するよ

うな革新性が求められる。

6) 露地栽培結合型アクアポニックスの普及に向けた補助・融資事業の整備

露地栽培結合型アクアポニックスの経営を開始するにあたっては、魚養殖や野菜栽培の施設に加えて生産工程を連結する給配水装置、太陽光発電装置等が必要であり、初期投資額が高額となる。その投資額は、南バハ・カリフォルニア州内にある一般の農家や漁家の個人負担能力を大きく超えており、施設導入には補助や融資事業が不可欠な状況にある。州内における産業振興や住民の食生活改善、自然環境の保全等を合わせた総合的な政策視点から効果的な事業の創出が求められる。

また、国の補助事業によって州内に先行的に設置されたアクアポニックス経営をみると、施設の稼働を開始して間もなく、運転資金や技術力の不足から生産停止に陥る事例が認められる。アクアポニックス経営を推奨する指導機関には、創業後の経営体の運営を見通した事業内容とすることが望まれる。

7) 技術・経営指導のための普及指導体制の構築

露地栽培結合型アクアポニックスの生産活動に取り組むことは、経営者が高投入・高産出型の経営に挑戦することを意味する。経営者は、創業前に投資資金の調達や生産技術の習得、収穫物の販売先の確保、経営立地する地域内での住民との関係調整と言った多くの準備作業を行わなければならない。創業後も早期の経営安定を目指して、技術改良や新たな設備投資による生産拡大、有利販売のための販路開拓、財務運営の健全化等への対処を必要とする。

工業分野における企業経営と異なり、第一次産業分野では企業といえども経営規模は総体的に小規模である。そのため、経営者がアクアポニックス経営の創設とその後の運営に対して的確に対応していくためには、技術・経営指導のための普及指導体制を構築することが不可欠である。アクアポニックス事業の推進と併せ、国や州政府による普及指導体制の構築が求められる。

指摘事項 3;

「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かが望ましい。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きたい。

対応 3;

地下水（高塩分濃度；農家実証モデルシステム、低塩分濃度；CIBNOR モデルシステム）、養殖適種類（ティラピア、バナメイエビ、ホワイト・スヌーク）、水耕栽培適種（フダンソウ、スベリヒユ、スアエダ、テーブル・ビート）、露地栽培適種（トウガラシ2品種（アバネロ・オレンジ、ハラペーニョ）、ローズマリー、タイム、その他）の組み合わせがある。資源効率性については、各要素（養殖、水耕栽培、露地栽培）を移る度に变化する用水量・水質について検討をしている。水質（塩分および養分濃度）については、生物資源生産にとって許容範囲および最適濃度を示す。農家経済性については、ラパス市における生鮮野菜および水産物マーケット8店舗について2年以上をかけて調査した季節的価格変動性と農家実証モデルシステムで生産されたティラピアおよびフダンソウの販売価格を元に、収益をより高める生産品の生産時期を検討する。水耕栽培候補種として高値で販売されるアリタソウの成長・塩分吸収能について調査している。

指摘事項 4;

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。

対応 4;

平成 30 年 8 月より、農家実証モデルシステムにおける実証試験をようやく始めることができた。CIBNOR（メキシコ北西部生物学研究センター）モデルシステムのみならず、農家実証モデルシステムにおける、地下水水質の推移（地下での涵養→養殖→水耕栽培→露地栽培用貯留）における水質の調査を開始している。一般的に塩害の度合いは灌漑水や土壌溶液の電気伝導度（EC）をもって評価されることが多い。また塩害の主要因としてナトリウムイオン（ Na^+ ）の動態を調査することが多い。しかし中間評価会でも指摘を受けているように、作物種によっては、ナトリウムイオン（ Na^+ ）害よりも塩素イオン（ Cl^- ）害に感受性をもつ。水質調査においては、塩素イオン（ Cl^- ）についても測定をしている。現地 CIBNOR の分析センターであるゲレロ・ネグロ支所にて分析中である。

指摘事項 5;

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きたい。※単収・・・単位面積当たり収量(生産量)

対応 5;

出荷された生産物の収益を消費された水量で除した値を、新たに収益性（売上高）水利用効率とした。最新の値としては、養殖（ティラピア）→水耕栽培（フダンソウ）→露地栽培（トウガラシ＜品種；アバネロ＞）の場合 0.659 ペソ L^{-1} 、養殖（ティラピア）→水耕栽培（アリタソウ）→露地栽培（トウガラシ＜品種；アバネロ＞）の場合 1.465 ペソ L^{-1} 、養殖（ティラピア）→水耕栽培（フダンソウ）→露地栽培（トウガラシ＜品種；モロン＞）の場合 0.598 ペソ L^{-1} 、養殖（ティラピア）→水耕栽培（アリタソウ）→露地栽培（トウガラシ＜品種；モロン＞）の場合 1.405 ペソ L^{-1} 、養殖（ティラピア）→水耕栽培（フダンソウ）→露地栽培（トウガラシ＜品種；セラーノ＞）の場合 0.627 ペソ L^{-1} 、養殖（ティラピア）→水耕栽培（アリタソウ）→露地栽培（トウガラシ＜品種；セラーノ＞）の場合 1.433 ペソ L^{-1} を得ている。この数値は、水資源を有効利用した食料生産システムとして、本アクアポニックスのプレゼンスを示す上で重要である。すなわち、水の効率的な地用という観点で、他の食料生産システムとの差別化を図ることに止まらず、本アクアポニックスのさらなる水利用効率向上を目指す指標となる。

指摘事項 6;

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指名や、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。

対応 6;

研究代表者を代弁・サポートできる副キャプテンのようなものを日本人研究者から 1 名挙げることはできなかった。しかし中間評価直後農家実証試験が開始されたこともあり、日本側メンバーが、常に実証試験実施に注視するようになった。このことは日本側研究チームの意識統一につながっていると考えている。相手国側研究者のファン・ラリナガ博士もリサーチ・リーダーとして、農家実証試験開始ごろから、強いリーダーシップを発揮するようになった。重要な事柄の決定については、常にラリナガ氏と相談するようにしている。

蕪木絵実プロジェクト研究員は、30日間（平成30年6月21日～7月20日）、57日間（平成31年2月8日～4月5日）および53日間（令和元年6月4日～7月26日）という期間の出張を通して、現地での研究および技術指導に従事していた。蕪木氏の辞職後、後任者を勤める山田美奈プロジェクト研究員は、すでに16日間（令和元年10月10日～10月25日）、19日間（令和2年1月11日～1月29日）という期間の出張を通して、現地での研究および技術指導に精力的に従事している。

指摘事項7；

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。

対応7；

CIBNOR 研究員（カルメン・メルカド氏；作物グループ）を、JICA 長期研究員受入制度を利用して、鳥取大学大学院連合農学研究科国際乾燥地科学専攻の博士課程学生として招聘し、氏は博士号（農学）を取得した（令和元年8月23日）。3年間日本側研究代表者の研究室で、SATREPS 研究テーマを研究課題とし、また定期的に CIBNOR に帰国して、現地での調査研究も行った。日本人研究者との間に深い信頼関係を構築しており、プロジェクト期間終了後以降の研究の発展や普及に、貢献するものと期待している。相手国側の行政関係者を日本へ招聘することはできなかった。しかし平成30年に開かれたメキシコ国内問題評議会で、平成30年8月から24か月間に合計で3,194,400ペソの予算が CONACYT によって認められた。また南バハ・カリフォルニア州政府からは、2名の普及員を配置してもらうこととなった。カウンターパート予算やプロジェクト期間終了後の普及活動の担保につながると考えている。アクアポニックス導入を助成により支援する国家乾燥地委員会（CONAZA）のラパス支所長フェリペ・サンチェス氏は、プロジェクト開始前に CIBNOR 職員として2度鳥取大学を訪問している。令和元年11月に本支所を JICA 調査団とともに訪問し、我々が開発したアクアポニックス導入についても支援を依頼したところ、快諾を得た。令和元年8月23日には鳥取大学長（中島廣光博士）、9月27日には鳥取大学教育担当理事（田村文男博士）が、農家実証モデルシステムを訪問し、両者共に本プロジェクトの意義を理解している。

(3) プロジェクト開始時の構想からの変更点（該当する場合）

農家実証試験のための実証サイトを少なくとも2カ所としていたところ、1カ所に変更した。当初計画は、地下水塩分濃度が高い地域と低い地域に1基ずつ、アクアポニックスモジュールを建設し、実証試験を実施するつもりであった。しかし建設費が予想より高額であったために、地下水塩分濃度が高い地域（ロスプラネス地区）のみでの建設とした。地下水塩分濃度が低い地域としては、当初計画のトドサントス地区の代わりに、すでに建設してある CIBNOR モデルシステムで代用することとした。CIBNOR モデルシステムにおけるモジュールは、試験研究のために精密な仕様となっているが、地下水塩分濃度が低い場合の実証試験実施は可能である。

2. プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト（公開）

(1) プロジェクト全体

・成果目標の達成状況とインパクト等

平成30年8月に、農家実証試験が開始され、水産物としてティラピア、農産物としてフダンソウの出荷・販売が始まった。塩分を含む地下水を用水として、養殖→水耕栽培→露地栽培が行わ

れ、3 要素を通過しながら変化する水量および水質の調査も定期的に行われるようになった。養殖室および水耕栽培室内に放出される水分を除湿機により回収し、それを水耕廃液に還元する予定であったが、現在十分な回収が行えていない。回収できない分の水は、市販の塩分をほとんど含まない地下水で代用している。除湿機による回収効率算定を急いでいる。本アクアポニックスの技術マニュアル（スペイン語版、英語版、日本語版）は、令和 2 年 5 月に完成し、スペイン語版については、185 部を既に CIBNOR へ輸送した。CIBNOR モデルシステムおよび農家実証モデルシステムにおける実証展示の記録も十分収録できた。令和 2 年 5 月にプロジェクト期間は終了したが、農家実証試験とともに、CIBNOR、鳥取大学および東京海洋大学でも、各研究を継続している。以下に各研究グループの成果を要約した。

養殖グループ；ナイルティラピア (GIFT 系統) (*Oreochromis niloticus*)、バナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) およびホワイトスヌーク (*Centropomus viridis*) を選定した。CIBNOR モデルシステムに閉鎖型循環式養殖システムを設計・設置するとともに、鳥取大学モデルシステム、東京海洋大学遠藤研究室飼育室にてそれぞれの生物における生産特性や塩分、水温等の環境因子の影響を調査し、餌から供給された物質のシステムへの蓄積の把握、生産および水利用に関する数理モデルの構築を行った。また、農家実証試験モデルシステムにおける閉鎖型循環式養殖システムの設計、運用・出荷技術の支援を行った。**作物グループ**；水耕栽培の栽培適種として、フダンソウ、スベリヒユ、スアエダおよびテーブルビートを選定した。土耕栽培の栽培適種として、トウガラシ (品種；アバネロ・オレンジ、ハラペーニョ)、ローズマリーおよびタイムを選定した。CIBNOR モデルシステムの水耕栽培試験では、養殖廃液への養分添加効果の検証、養殖廃液を用いた作物水耕栽培における作物体内残留硝酸態窒素濃度の安全性の検討、および好塩性作物による塩除去能の検討を行った。農家実証モデルシステムの水耕栽培では、栽培作物にとって必要な養殖廃液中の養分濃度の簡易検出法を提示するとともに、蒸発散による栄養塩類濃度の濃縮を防ぎながら水を効率的に露地栽培へ供給するための水換え頻度について検討した。**電力供給グループ**；養殖、水耕栽培および露地栽培を行う各生産設備に必要な消費電力量のデータを蓄積し、システムの形式や運転方法の違いによる消費電力量の把握と需用割合の特徴を明らかにした。特に、ロスプラネスにおいて、独立型太陽光発電システムによる露地栽培結合型アクアポニックスへの電力供給を世界で初めて実証し、実用設計に極めて重要な電力需給特性を明らかにした。また、ラパス市における日射エネルギー量の季節間変動を明らかにするとともに、9 月ごろのハリケーンの時期や冬季 (12 月から 2 月) における曇天日数を見出し、バッテリーの充電状態に影響を与えるリスク要因となることを明らかにした。これらの知見をもとに、太陽光発電システムの電力供給を予測するシミュレーション方法を構築し、太陽光発電システムの出力規模の算定手法および、バッテリーや緊急用電源等による電源システムの設計手法を確立した。**安全性評価グループ**；露地栽培結合型アクアポニックスシステムにおける微生物モニタリング法について、リアルタイム PCR 法やマイクロコロニー法を開発し、その有用性を明らかにした。加えて、鳥取大学モデルシステムおよび CIBOR モデルシステムにおける微生物モニタリングにより、システムの管理上注視すべきポイントを明らかにし、アクアポニックスシステムにおける微生物管理マニュアルを作成した。これらの結果より、従来の培養法に加え、用途により微生物モニタリング法を組み合わせることで、より安全なアクアポニックスシステムの管理が可能となった。**結合技術グループ**；農家実証モデルシステムにおける現地透水性試験の結果から透水性・保水性を把握する方法を確立した。また、土壌の電気伝導度 (EC) と pH を用いて塩類集積状況のモニタリングを実施した。これらの結果から、現地土壌の理化学性の現状把握が行われ、具体的な除塩方法としてリーチングが採用可能であることが示された。さらにシステム全体の水収支を把握し、消費水量に対する収穫物の販売で得た収益を表す収益ベースの水利用効率の試算を行った。塩類集積防止法の開発においては、前述のリーチングに加えて、地下水位が高い場合の塩類集積防止法としてキャピラリーバリア技術が確立され、同様の圃場条件に対する対策オプションが提示できた。**社会実装グループ**；ラパス市内における魚類・野菜類の 2 年間にわたる市場価格調査を通じて、プロジェクトの実証試験において生産対象とする魚や作物の市場価格特性が明らかになり、実証モデルシステムによって実現する売上高の推計が可能となった。同モデルシステムによる生産物の販売先として、魚類および野菜類の価格調査を行ってきた店舗と交渉の結果、販売先としてティ

ラピアについて 2 店舗を選定し、フダンソウについてはモデル農家の既存の販路 1 店舗に加え新規に 1 店舗を選定し、併せて販売先を 2 店舗とした。これらの店舗に対して、実証試験によって生産したティラピアおよびフダンソウを出荷した。モデルサイトでの実証試験の業務推進体制として、メキシコ側カウンターパートが主体的に取り組む体制が整備されるとともに、州政府から普及員 2 名が配置されるなど、州政府とプロジェクトの連携が強化された。

- ・プロジェクト全体のねらい

急激な人口増加による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、人類最優先の課題である。プロジェクト全体のねらいは、乾燥地において塩分濃度の高い水を効率的に使用し、環境保全型持続的食料生産を行なうことである。そのために、1) 養殖と農業を組み合わせたアクアポニックスシステムの構築と、それにとまなう 2) 水利用効率の向上、3) 好塩性作物による塩水からの塩除去、4) 土壌塩類化の防止、5) 太陽光発電による電力利用、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の洗い出しを行なう。

- ・地球規模課題解決に資する重要性、科学技術・学術上の独創性・新規性

従来のアクアポニックスとは異なり、塩分を含む水を水源とすること、その塩分を作物により吸収させて低下させること、露地栽培を結合させること、電源として自然エネルギーにより稼働させること、およびシステム・生産物の安全性を保証することを盛り込んだアクアポニックスの開発は、科学技術・学術上、高い独創性・新規性がある。また、地球規模課題である水資源の有効利用、土壌塩類化防止および持続的食料生産に資する取り組みであるといえる。

- ・研究運営体制、日本人人材の育成(若手、グローバル化対応)、人的支援の構築(留学生、研修、若手の育成)等

本プロジェクトは、養殖グループ、作物グループ、電力供給グループ、安全性評価グループ、結合技術グループおよび社会実装グループの 6 グループにより行なわれている。研究運営については、情報交換・資料提供をグループ間で行なっている。CIBNOR における実施研究についても渡航時の交流や TV 会議・メールによる意見交換を行なっている。

日本人若手研究員 4 名および研究従事者としての学部・大学院生合計 18 名は、CIBNOR において研究活動を行なうとともに、CIBNOR 研究員・技官・学生との研究交流を通してグローバル人材となりつつある。また鳥取大学および東京海洋大学において、本研究に関連する卒論・修論課題に取り組む学生の育成も進めている。

平成 27、28、29、30 年および令和元年 7-8 月には、JICA 短期研究員受入において CIBNOR 研究員合計 25 名に研修を行った。また平成 28 年 10 月～令和元年 9 月の期間で JICA 長期研究員受入において CIBNOR 研究員 1 名が鳥取大学大学院連合農学研究科国際乾燥地科学専攻に在籍し、博士号(農学)を修得した。

(2) 研究題目 1: 「塩分を含む水を利用した養殖技術の確立」(リーダー: 遠藤雅人)

①研究題目 1 の当初の計画(全体計画)に対する成果目標の達成状況とインパクト

1) 養殖適種の選定

第 1 種目の養殖適種として、既存のアクアポニックスで幅広く用いられているナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*) を選定した。系統は CIBNOR ナヤリット支部で種苗生産されている Genetically Improved Farmed Tilapia, GIFT(図 1)である。GIFT は 1980 年代終わりから 1990 年代にかけて WorldFish Center で開発された系統である。まず、フィリピンを中心になされた選抜育種により高成長系統が確立され、その後、フィリピン、バングラデシュ、中国、タイ、ベトナムで評価が行われるとともに、各国で利用拡大が進んだ。通常の野生種と比較して成長が早く、飼料効率も高いため、養殖業者の収益の向上につながっている。現在、ティラピアはメキシコで生産されている主要な養殖魚であるとともに輸入もされているが、鮮度が低く、低価格で推移している。世界的には養殖業の質の向上を目的に ASC(水産養殖管理協議会)の養殖魚の認証が進めら

れており、認証数も増えてきている。メキシコ国内の生産を推進する傾向にあり、今後、質の向上が求められる。

第2種目の養殖適種として、バナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*) (図2)を選抜した。本種は、メキシコのソノラ州からペルー北部の沿岸域を原産とするクルマエビ科に属する種で近年では世界的に生産されるエビの一つとなった。行動様式に関しては遊泳して生活する傾向にあり、他の潜砂する種と比較して養殖を行う際に池を立体的に使用できるため、生産性が高い。また、本種は比較的疾病にも強く、ほぼ淡水から海水までの環境に適応可能であり、養殖に好適な特長を有する。さらに水産物の中でも比較的高値で取引されているため、CIBNORでも重要な研究対象種として位置づけ、様々な研究が行われている。通常、海水を導入した屋外の池で生産されるが、飼育槽に糖などの炭素源を投入することで細菌叢を安定・増殖させ、同時に物質吸収と餌料の供給を行うバイオフィロック法が確立されている他、閉鎖型循環式養殖システムでの飼育技術も利用することから、本研究においてもこれらの方式でバナメイエビを生産した際の物質フローについて調査を行う予定である。ラパス近郊のサン・サバスティアンでも海水を導入したバナメイエビの大型養殖場があり、流通においても既に確立されている。

第3種目の海水魚の選定に関しては、平成27年度に養殖適種の抽出と各魚種の生産特性、ラパス近郊の種苗生産施設からの種苗入手可能性などの基礎資料を作成した結果、抽出された養殖魚は、11属20種であった。平成28年度は、その中から低塩分耐性、飼育・繁殖の難易度、市場価格等からスズキ目セントロポマス科のブラックスヌーク (*Centropomus nigrescens*)を選定した。平成28年12月にメキシコ食品研究開発センター(CIAD)にてブラックスヌークと同属であるホワイトスヌーク (*Centropomus viridis*) (図3)の採卵・種苗生産に成功した。そこでCIBNORにおいても新規の魚種であるホワイトスヌークが注目され、本プロジェクトでも本種を第3種目の養殖適種とすることとした。ホワイトスヌークはカリフォルニア半島からガラパゴス諸島を含むペルー沿岸まで生息しており、最大全長も1m強とブラックスヌークと類似している。スヌーク類の種苗生産を含む養殖研究については比較的新規の魚種であり、これまでの研究では、主に大西洋側に生息するコモンスヌーク (*C. undecimalis*)、ソードスパインスヌーク (*C. ensiferus*)、ファットスヌーク (*C. parallelus*)、ターポンスヌーク (*C. pectinatus*)、太平洋岸に生息するブラックスヌーク (*C. nigrescens*)に関するものが多いが、ホワイトスヌークについては、ほとんど研究事例がなく、多くの研究要素を有している。

当初の計画であった3種の養殖種について十分な検討を行った結果、上記のように選定することができた。



図1 ナイルティラピア
(*Oreochromis niloticus*)



図2 バナメイエビ
(*Litopenaeus vannamei*)



図3 ホワイトスヌーク
(*Centropomus viridis*)

2) 養殖適種の最適飼育環境の決定

2.1) ナイルティラピア (*Oreochromis niloticus*)

ナイルティラピアでは特にGIFTシステムを利用することで、これまで東京海洋大学で蓄積された飼育技術をCIBNORモデルシステム内での飼育に反映させることとした。すなわち、塩分を含む飼育水を用いて現地の温度変化を想定した給餌方法の確立を目指した。

平成26年度は、CIBNORモデルシステムの閉鎖型循環式養殖システムの設計を行った。システムは、ティラピア用のシステムに加え、海水魚の飼育も想定したものとした。また、異なる飼育条件下でデータを得ることも視野に入れ、12基の装置を構築することとした。装置は、海水魚用システムとしては、飼育槽(容量:750L)、沈殿槽(容量:50L)、泡沫分離装置、濾過槽(容量:



図4 CIBNOR モデルシステムの
水産養殖モジュール全景



図5 CIBNOR モデルシステムの
閉鎖循環式魚類飼育装置



図6 MBBR システムを利用し
た生物濾過槽

200L)、水流ポンプ（流量：34-50L /min）、紫外線殺菌装置（40W）および酸素供給用の散気装置の搭載を計画した。また、ティラピア用システムとしては、泡沫分離装置および紫外線殺菌装置を取り外したシステムとして設計した。ティラピアの淡水養殖では、泡沫は発生せず、また海水魚と異なり紫外線殺菌を行わなくても飼育可能である。本仕様を基に CIBNOR が養殖装置製造業者に依頼し、実現可能な装置仕様の検討を行い、実際に制作する閉鎖型循環式養殖システムの仕様を決定した。平成 28 年度に CIBNOR モデルシステムが完成した。CIBNOR モデルシステムの閉鎖型循環式養殖システムは、本研究の魚類飼育における基礎データの取集を目的としている。実際に完成した閉鎖型循環式養殖システム 1 基は、飼育槽（容量：1,000L）、沈殿槽（145L）、泡沫分離装置、円筒形の濾過槽（容量：360L）、水流ポンプ（消費電力：60W）、紫外線殺菌装置（消費電力：20W）から構成され、酸素供給用にコンプレッサー（1 馬力 12 基分）を設置してある。濾過槽は担体流動生物濾過方式（Moving Bed Biofilm Reactor, MBBR）を採用し、プラスチックの濾材を通気によって流動させながら生物濾過を行う方式である。なお、本システムは将来的に海水魚が飼育可能な仕様となっている（図 4-6）。平成 28 年度に閉鎖型循環式養殖システムを整備し、

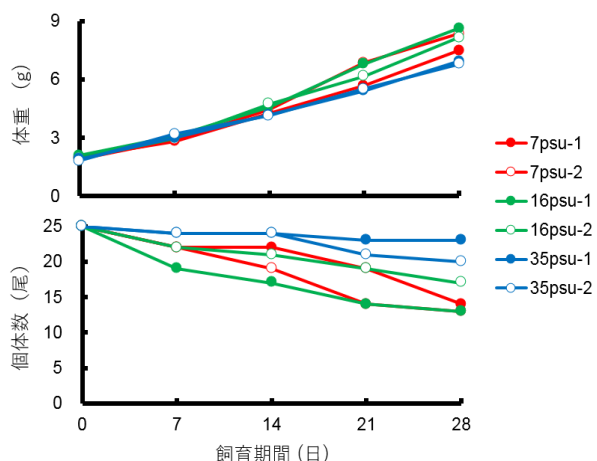


図 11 小型循環式養殖システム用いた異なる飼育水塩分環境下でのバナメイエビ飼育における魚体重および個体数の経時的変化

表 1 小型循環式養殖システム用いた異なる塩分環境下におけるバナメイエビの飼育結果

試験区	7psu	16psu	35psu
導入時体重 (g/個体)	1.96 ± 0.08	2.01 ± 0.10	1.87 ± 0.07
取上時体重 (g/個体)	7.92 ± 0.62	8.40 ± 0.34	6.87 ± 0.09
導入尾数	25		
取上尾数	13.5 ± 0.7	15.0 ± 2.8	21.5 ± 2.1
総給餌量 (g)	97.5 ± 2.0	100.3 ± 5.9	110.8 ± 3.0
個体成長率 (%)	5.0 ± 0.4	5.1 ± 0.0	4.6 ± 0.1
群成長率 (%)	2.8 ± 0.2	3.2 ± 0.7	4.1 ± 0.3
群飼料効率 (%)	49.5 ± 4.9	62.4 ± 14.9	77.7 ± 9.5
生残率 (%)	54.0 ± 2.8	60.0 ± 11.3	86.0 ± 8.5

(n=2)

CIBNOR のナヤリットユニットから GIFT 系統ティラピアを導入し、成長特性を把握するとともに異なる給餌量での飼育実験を試みた。はじめに平均魚体重 2.3g の導入稚魚をバイオフィロック法にて 15 週間の飼育を行い、育成試験の開始サイズ 60g まで成長させた。その後、夏期における 18 週間の飼育を行った結果、高水温（平均水温：29–33℃）と 4psu 程度の塩分を含む用水の効果も

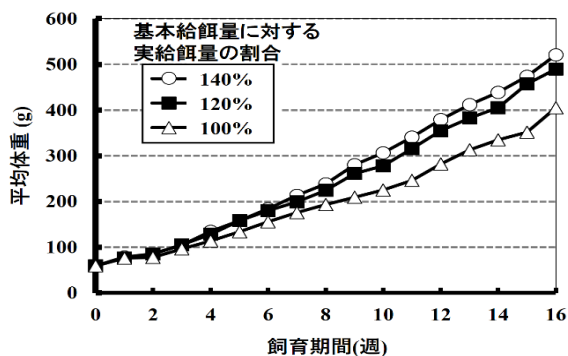


図7 CIBNORモデルシステムでの夏期4か月の飼育におけるティラピアの成長

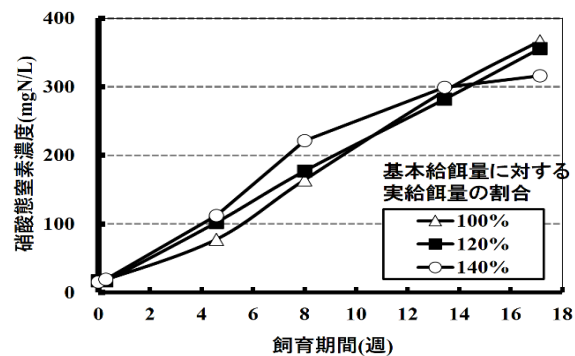


図8 CIBNORモデルシステムでの夏期4か月の飼育における飼育水中硝酸態窒素濃度の変化

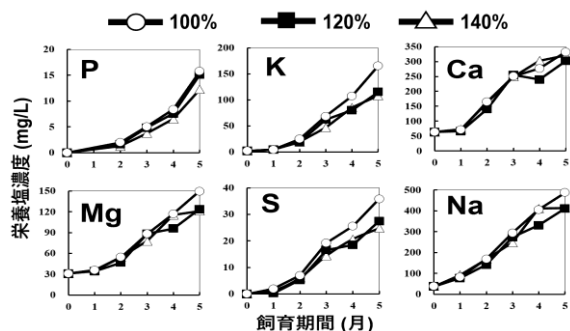


図9 CIBNORモデルシステムでのティラピア飼育試験における飼育水中多量元素の経時的変化

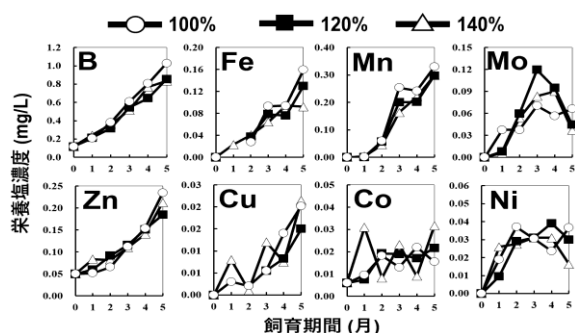


図10 CIBNORモデルシステムでのティラピア飼育試験における飼育水中微量元素の経時的変化

あり、給餌率を基本給餌率の 100%、120%および 140%とした試験区それぞれの実験終了時の平均魚体重は 457g、563g および 591g となり、120%および 140%試験区では 60g から 500g 以上まで成長した(図 7)。なお、この際の飼育密度は飼育装置水量に対して 100%区で 41.1kg/m³、120%区で 50.7kg/m³、140%区で 53.1kg/m³であった。また、この生産法により 300mgN/L 以上の硝酸イオンを含む飼育廃液が水耕栽培に提供可能であることもわかり、飼育廃液を水耕栽培モジュールに必要な容量を供給することができた(図 8)。さらに、個々の元素フローについても把握することができ、廃液への元素蓄積傾向が明らかとなった。特に微量元素のコバルト、モリブデンおよびニッケルは実験期間の後半で濃度の停滞および低下が生じた(図 9-10)。得られたデータからティラピアの成長予測や物質フローを推定できる数値モデルを構築した。

2.2) バナメイエビ (*Litopenaeus vannamei*)

東京海洋大学では、平成 29 年度から 30 年度にかけて異なる塩分環境下(3psu、16psu および

表 2 供給された餌に含まれる各元素に対する
環境中へのエビが排泄した元素の割合(%)

	7psu	16psu	35psu
N	73.8 ± 2.2	70.7 ± 4.5	65.2 ± 3.5
P	86.1 ± 1.1	85.3 ± 2.6	84.2 ± 1.4
K	89.0 ± 0.8	87.9 ± 2.0	86.1 ± 1.6
Na	85.5 ± 1.3	83.3 ± 2.8	77.6 ± 2.5
Ca	89.4 ± 0.4	91.7 ± 0.1	87.3 ± 0.5
Mg	99.2 ± 0.0	99.1 ± 0.1	98.4 ± 0.1
B	39.5 ± 16.6	29.3 ± 10.2	17.1 ± 7.4
Fe	99.5 ± 0.0	99.0 ± 0.0	98.8 ± 0.2
Cu	-14.9 ± 9.8	-18.3 ± 26.1	-19.2 ± 6.1
Mo	59.4 ± 6.7	60.5 ± 8.3	48.5 ± 2.9
Zn	83.3 ± 0.6	82.0 ± 2.8	65.2 ± 13.4
Se	87.3 ± 2.2	83.4 ± 1.2	92.1 ± 2.6

(n=2)

表 3 バナメイエビを 1kg 生産する際に環境中に
排出される元素量

	7psu	16psu	35psu
N(g)	86.7 ± 3.8	68.5 ± 15.0	50.4 ± 6.9
P(g)	17.5 ± 1.1	14.2 ± 2.7	11.2 ± 1.1
K(g)	18.8 ± 1.2	15.2 ± 2.7	11.9 ± 1.2
Na(g)	12.2 ± 0.7	9.7 ± 1.8	7.2 ± 0.8
Ca(g)	54.3 ± 4.3	45.4 ± 7.1	34.7 ± 3.1
Mg(g)	60.3 ± 4.5	49.0 ± 7.8	39.1 ± 3.3
B(mg)	23.4 ± 8.3	15.4 ± 7.4	7.1 ± 3.5
Fe(mg)	501.2 ± 37.0	405.9 ± 64.3	325.2 ± 26.7
Cu(mg)	-3.1 ± 2.2	-2.3 ± 3.7	-2.5 ± 1.0
Mo(mg)	26.3 ± 1.0	22.5 ± 6.5	14.2 ± 2.0
Zn(mg)	127.9 ± 8.6	103.0 ± 19.7	66.6 ± 18.9
Se(mg)	175.5 ± 8.7	137.1 ± 23.5	121.0 ± 6.7

(n=2)

35psu) におけるバナメイエビ(体重約 2g)の飼育を試み、生産性の確認と各種元素の挙動の把握を行った。塩分以外の実験条件は、飼育密度 25 個体/飼育装置、水温 28-29°C、pH7.0-8.0、酸素飽和度 90-100%、光周期は 12 時間明期、12 時間暗期とした。各塩分へ移行し、28 日間の飼育試験を開始した。各試験区 2 反復とした。飼育装置は飼育槽に密閉式濾過装置、紫外線殺菌灯を設置した総水量約 60L の飼育装置を用いた。

飼育の結果、低塩分環境下での群成長率、群飼料効率および生残率が 35psu と比較すると低くなる結果が得られたが、個体成長率は高かった。これは生残エビが死亡もしくは衰弱したエビを捕食したことによる共食いが原因であると考えられる(図 11、表 1)。飼育槽内での物質の挙動を把握するため、得られた餌、エビおよび水サンプルについて飼育水の窒素、リンをはじめとした元素組成を把握し、数値モデル構築の基礎的データを得ることができた(表 2 および 3)。塩分が高いほど飼料効率が高く、環境中への物質排出は低くなることがわかった。銅に関してはバナメイエビの血液構成成分であり、餌からの供給以上に要求していたため、排出に関してはマイナスの値となっている。これに関しては環境中から銅を吸収して利用したものと推察された。

鳥取大学モデルシステムにおいても平成 30 年度に 4psu の塩水を用い、飼育水を後段の水耕栽培に使用することを目的として閉鎖型循環式養殖システム（総水量 2kL）でのバナメイエビの飼育を行った。95 日間の飼育でバナメイエビは、体重 1g から 20g 以上に達するまで成長した。生残率は 21.3%と低い値であったが、それぞれの成長段階におけるエビ試料を得ることができた。飼育期間中はヒーターを用いて水温を維持した。無機窒素は最終的に 110mgN/L まで蓄積させることができ、ほぼ硝酸イオンとして蓄積された。硝酸イオンの蓄積に伴い、pH は 8.2 付近から 7.1 前後

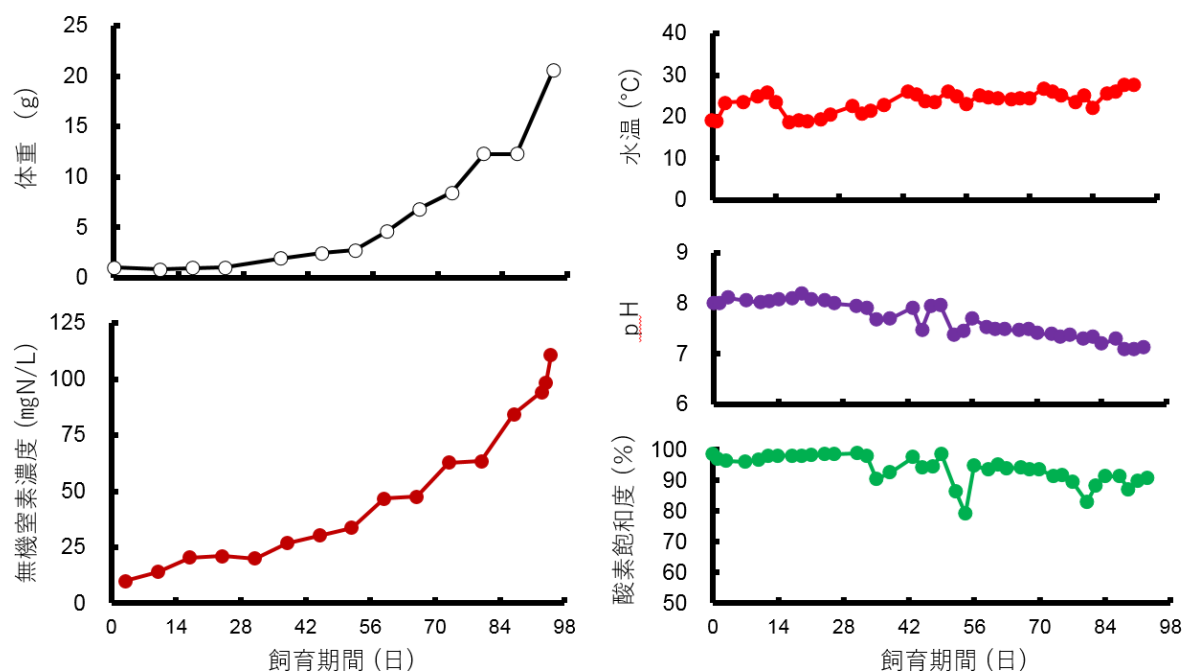


図 12 鳥取大学モデルシステム内の循環式飼育システム用いたバナメイエビ飼育試験におけるエビの成長と水質の経時的変化

表4 鳥取大学モデルシステム内の循環式飼育システム用いたバナメイエビ飼育試験時の各エビの成長段階における水分および元素組成

飼育期間(日)	10	17	24	45	59	73	87	95
体重 (g)	0.80	0.95	1.03	2.46	4.60	8.50	12.26	20.58
水分 (%)	81.7	81.8	80.7	79.7	76.5	75.8	75.1	84.6
N (mg/g)	103.4	105.2	105.6	104.9	110.0	114.1	112.9	104.9
P (mg/g)	13.9	12.4	13.0	12.7	11.9	11.4	11.2	11.4
Na (mg/g)	12.6	10.3	11.8	9.8	8.1	7.8	7.9	7.6
K (mg/g)	8.0	7.7	7.9	7.8	6.8	6.6	7.0	7.6
Mg (mg/g)	2.4	2.0	2.1	1.8	1.9	1.7	1.6	1.7
Ca (mg/g)	39.2	36.2	38.6	31.1	26.2	26.8	24.0	25.4
Mn (μg/g)	11.3	3.6	4.4	2.7	3.2	2.5	2.8	nd
Fe (μg/g)	116.3	64.1	92.0	91.4	22.3	28.8	33.8	13.3
Co (μg/g)	5.8	6.7	6.6	8.7	9.6	12.0	16.3	3.0
Ni (μg/g)	7.1	6.7	6.9	8.1	9.4	11.7	20.3	0.6
Cu (μg/g)	66.4	86.7	90.4	90.0	76.0	70.8	60.4	57.4
Zn (μg/g)	79.9	75.0	79.0	74.6	65.7	75.7	78.0	70.1
Mo (μg/g)	16.3	19.0	13.8	22.2	62.6	63.3	27.0	nd
B (μg/g)	3.8	3.2	4.6	3.9	5.1	5.0	10.0	2.8

nd: 検出されず

まで低下した。酸素飽和度もエビの成長に伴って 98%付近から 85%程度まで減少した。概ねバナメイエビを飼育する適正範囲の pH および酸素飽和度の値で飼育することができた(図 12)。

鳥取大学モデルシステムの飼育で無機態窒素として 110mgN/L を含む飼育廃液を 1.5kL 以上得ることができた。この廃液は好塩性作物の培養液として使用する。また、バナメイエビ飼育は可能

であったが、生残率が低かった。このことから生残率の向上に向けた方策を検討する必要がある。エビは衰弱したエビを共食いすることから、水質の管理を強化することや餌を均一かつ回数を増やして与えること等が改善点として挙げられた。また、得られたエビ試料から各成長段階におけるバナメイエビの元素組成を把握することができた(表4)。さらに2回目のバナメイエビ生産試験を、20%および50%の海水と同等の塩分で行ったところ、74日間の飼育で1.4gから44.7gおよび50.0gまで成長した。生残率は50.7%および34.7%と1回目の試験から改善された。これは飼育試験時の飼育密度を600尾/水槽から300尾/水槽に低下させたことに起因すると考えられた。東京海洋大学、鳥取大学のバナメイエビの飼育試験および分析結果からバナメイエビ養殖時の環境への物質排出を推定できるデータが得られた。

2.3) ホワイトスヌーク (*Centropomus viridis*)

平成30年の3月から9月にかけて、CIBNORモデルシステム内の閉鎖型循環式養殖システムを用いてホワイトスヌークの飼育実験を行った。各飼育槽に80尾ずつ収容して飼育実験を開始した。3月から成長したスヌークは6月下旬に成長の低下が認められ、この時の飼育密度は10~15kg/m³であった。7月下旬にかけて飼育尾数を50尾/装置に(密度8~10kg/m³)再調整し、飼育を継続した結果、成長が改善された。最終的に供試魚は、平均重量200~250gまで成長したが、ばらつきが大きく、最大で400g近くに達し、最小のものは150gであった(図13)。この結果から生産性について把握するとともに、その他の検討事項1) 低塩分耐性、2) 高温耐性、3) 高硝酸イオン耐性、4) 共食いについて検証することができた。結論として、ホワイトスヌークの淡水飼育は

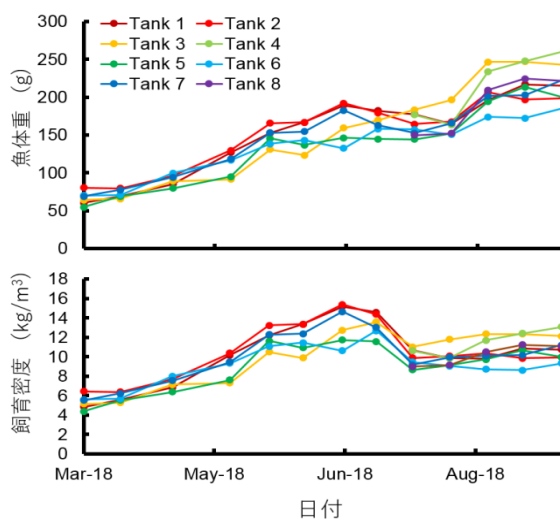


図13 ホワイトスヌークの魚体重変化と飼育密度
(平成30年3月18日～9月18日)

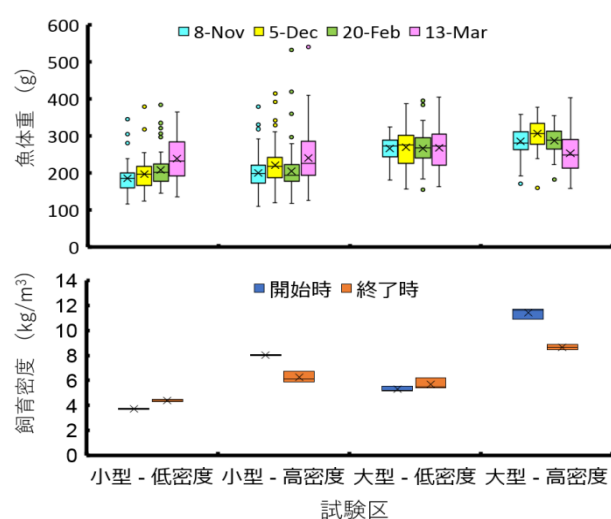


図14 ホワイトスヌークの飼育におけるサイズおよび密度別の魚体重変化と飼育密度
(平成30年11月8日～平成31年3月13日)

海水飼育と比較すると、塩分を含む地下水飼育では摂餌不良によって成長が劣り、成長に大きなばらつきが生じたが、夏期の高水温と硝酸態窒素を含む飼育水でも飼育可能であり、共食いもなかった。

以上の飼育結果を踏まえ、200~250gと300~400g超の2つの群に選別を行い、継続して飼育試験を行った。小型魚、大型魚それぞれ20尾および40尾を飼育する4試験区を設定し、3反復で実験を行った。本試験は、平成30年11月～平成31年3月にかけて行った。小型魚・低密度区ではわずかに成長し、大型魚・低密度区ではほとんど成長しなかった。これに対し、高密度の区では小型魚、大型魚ともに飼育密度の減少が確認された。11~12月は水温が20~22℃と比較的低く、1月以降は温室の扉を閉めることで概ね25℃を維持できた(図14)。ホワイトスヌークの成長の停滞に関しては低水温が影響しているものと推察された。また、この間、摂餌量も減少し、水質が大きく改善された。ホワイトスヌークは飼育下でも管理しやすい種であると考えられた。体重測定の際に用いられる長時間のオイゲノール麻酔からも良く回復し、最初の7尾が適応できなかった。

た以外、死亡魚は生じなかった。すなわち、試験期間の生残率は 100%であった。今回の飼育結果から水温 20℃では成長が低下したが、35℃には非常によく耐え、最高の成長を示した。また、ホワイトスヌークの成長は飼育密度 10～15kg/m³ 達すると停止することが分かった。

これらの結果から、ホワイトスヌークは閉鎖型循環式システムでの飼育に適していると考えられるが、7psu 程度の低塩分下では飼育密度約 5kg/m³ で管理を行い、10kg/m³ に達した時点で密度を下げるのが望ましいと考えられた。また、今回の飼育装置の飼育槽が 1m³ と小さかったことが成長に影響を及ぼしたことも考えられ、大型水槽 (5～50m³) での飼育が高密度での成長に影響があるか見極める必要がある。

2. 4) 数理モデルの構築-最適な生産戦略と水利用の検討

平成 30 年度は 29 年度に構築した数理モデルに関して、データフィッティングしやすくするために構築した数理モデルの離散化を検討し、次の数理モデルを構築した (左辺の変数の上についている・は 1 単位時間後を示す。)

ここで、 B_F は養殖魚の重量、 B_{P_1} は水耕栽培における作物の重量、 B_{P_2} は露地栽培における作物の重量、 S_A はアンモニア濃度、 S_{N_i} は状態 i ($i = 1$ は水耕栽培に提供する水溶液、 $i = 2$ は露地栽培に提供する水溶液)における硝酸イオン濃度を示す (T_{ih} は $i = 0$ の時がそれぞれ養殖魚の収穫時刻、 $i = 1$ の時が水耕栽培作物の収穫時刻、 $i = 2$ の時が露地栽培作物の収穫時刻を示す。)。平成 29 年度に実施したティラピアの給餌率を 100%、120%および 140%と変化させた時の体重の増加において 60 g から飼育を開始して、3 週目までは線形に増加することがわかっていて (図 15)。

平成 30 年度のモデルでは、環境収容力を仮定せずに重量の増減の動態を記述した。この点は、天然の資源動態と異なり環境収容力は飼育環境、給餌量によって決定されるため本質的な因子とは考えられないことから適切な考え方であるといえる。最終的に収穫時期の最適化を図るために、収穫時刻をそれぞれのセクションで設定できるようにしている。最終的にこのモデルで魚養殖、水耕栽培および露地栽培の収穫量の最大化を目指す。

また、このモデルでは物質面 (収穫量や餌の量) の評価・試算はできるが労働、販売による売り上げ等を含めた経済性については検討する必要がある。この点は、社会実装グループに本モデル

$$\begin{aligned} \dot{B}_F &= \begin{cases} \frac{r_F}{1 + hS_A} (1 - B_F) B_F & t \neq T_{0h} \\ B_{F0} & t = T_{0h} \end{cases} \\ \dot{B}_{P_1} &= \begin{cases} (r_{P_1} + a_{P_1} S_{N_1}) (1 - B_{P_1}) B_{P_1} & t \neq T_{1h} \\ B_{P_1 0} & t = T_{1h} \end{cases} \\ \dot{B}_{P_2} &= \begin{cases} (r_{P_2} + a_{P_2} S_{N_2}) (1 - B_{P_2}) B_{P_2} & t \neq T_{2h} \\ B_{P_2 0} & t = T_{2h} \end{cases} \\ \dot{S}_A &= \begin{cases} qS_A + aB_F & t \neq T_{0h} \\ S_{A0} & t = T_{0h} \end{cases} \\ \dot{S}_{N_1} &= (1 - q)S_A \\ \dot{S}_{N_2} &= (1 - q_1 B_{P_1}) S_{N_1} + (1 - q_2 B_{P_2}) S_{N_2} \end{aligned}$$

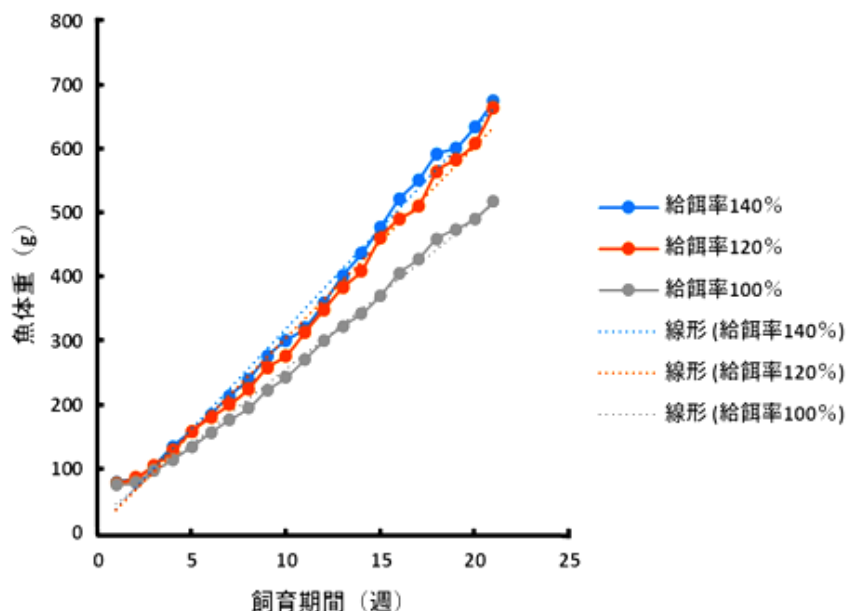


図 15 ティラピア (60g 以降) の魚体重の経時変化
(2017 年度実施の実験結果)

で得られた結果を共有・利用することで経済性を含めた評価が可能となる。また、給餌率が養殖グループにより得られたデータから推定できるので、収穫時の重量-給餌量を最大化するように最適化を実施すれば養殖の最適化、養殖の最適化に伴う水耕栽培、露地栽培の最適化が可能となる。本項における最適化は養殖 - 水耕栽培 - 露地栽培における生産性に注目した最適化のことを指している。

②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

短期研究員受入では、期間を通して CIBNOR の研究者と技官合計で 6 名に対して、それぞれ必要な技術の研修を行った。具体的には養殖魚の飼育技術と窒素排出予測技術、ティラピア・金魚の繁殖技術、養殖魚の出荷前処理と鮮度保持技術(図 16)、精子の凍結保存技術、様々な環境分析や化学分析技術、養殖魚の固形廃棄物の可溶化技術等である。特に養殖魚の出荷前処理と鮮度保持技術については農家実証試験モデルシステムでも利用されている(図 17)。出荷前に無給餌期間を設けて餌による着臭を抑え、出荷時に脱血を行うことで血生臭を抑える方法である。また、食べごろについてもうまみ成分や衛生面の観点から出荷の 1 日後から 2 日目までが最適であることも科学的に証明されている。研修員に対しては、実際に出荷前処理による食味を比較させ、また日本の水産物の生食文化に直接触れさせることができた。さらにその技術を食品部門のない CIBNOR 内でも実践し、試食会を行うなどの活動にもつながっている(図 18)。



図 16 鳥大モデルシステムでの
ティラピアの前処理



図 17 農家実証試験
モデルシステムに
おけるティラピアの
脱血処理



図 18 CIBNOR におけるヒレナガ
カンパチの試食

その他の技術についても共同研究の中で利用されている技術もあり、共著論文にも反映されている。

③研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

平成 28 年度の CIBNOR モデルシステムの運用に際して 280mgN/L 以上の硝酸塩濃度でティラピア飼育廃液を水耕栽培システムへ供給して欲しいとの要請が作物グループからあり、検討を進めたところ、カウンターパートであるフランシスコ マガジョン博士より、魚体への硝酸蓄積が懸念されるとの指摘があった。そこで日本において高濃度硝酸塩を含む飼育水で飼育したティラピアについて魚肉中の硝酸濃度について検討を行うこととした。

1995 年、FAO/WHO 合同食品添加物専門家委員会 (JECFA) は、食品添加物としての硝酸塩 (硝酸ナトリウム) について、一日許容摂取量 (ADI) を、体重 1kg 当たり 5 mg (硝酸イオンとして 3.7 mg) と設定している。これは食品添加物のみならず食品に含まれる硝酸イオンについても総量として考慮すべき値である。

平成 29 年の実験の結果、循環式養殖によって 300mgN/L 程度の硝酸イオンを含む飼育水中で生産されたティラピアでは、約 $30 \mu\text{gNO}_3^-/\text{g}$ 魚肉への硝酸イオン蓄積が認められた。さらに硝酸イオンをほとんど含まない飼育水中で 5 日間の出荷前処理を行うことで約 $10 \mu\text{gNO}_3^-/\text{g}$ まで低減する

ことが可能となり、流水飼育と同等の結果が得られた。体重 60kg の成人の硝酸イオン許容摂取量は $222\text{mgNO}_3^-/\text{g}/\text{日}$ であることから、ティラピア魚肉のみを摂取すると仮定すると、出荷前処理以前の魚肉で $7.4\text{kg}/\text{日}$ 、処理後では $22.2\text{kg}/\text{日}$ 程度まで摂取可能となる」。これらの結果は 1 日の魚肉摂取量が数百 g であることを考慮すると出荷処理前の魚肉でも硝酸イオンの人体への影響は少ないが、出荷前処理を行うことでより安全な魚肉を提供可能であることを示している。

同様にティラピアにおいては、 $300\sim 400\text{mgN/L}$ 程度の高濃度硝酸イオンを含む飼育水中で 120 日程度飼育を行うと腸内に排泄物が残留することが新たに分かった。また、一部の個体では排泄物が液状であったことから、消化不良や水分の排出不良を起こしていることが考えられた。さらに肝臓体重比および肝臓の水分含量について調査したところ、有意差は認められなかったが、肝臓体重比、肝臓中水分含量は流水式飼育と比べ、高濃度硝酸イオンを含む飼育水中で飼育を行った方が若干高くなった。これも腹水および腸内残留物と同様に水分の排出異常が関与していると推察された。肝臓の組織切片の観察では、流水式飼育の魚でわずかな類脂肪が散在していたが、高濃度硝酸イオンを含む飼育水で飼育した魚で肝臓内に多くの類脂肪が一様に観察された。

以上の結果から、成長に影響をほとんど及ぼさない $300\sim 400\text{mgN/L}$ の硝酸イオンを含む飼育水がティラピアの内臓に影響を及ぼすことが明らかとなった。これらの結果は、閉鎖型循環式養殖における養殖魚の健全性を保持するための適切な水質維持に資するデータとなり、本プロジェクトにおける水管理についてもこれまでの設定よりも低い硝酸塩濃度で管理する方が望ましいという結論に至った。

④研究題目 1 の研究のねらい（参考）

1) 養殖適種の選定

本養殖・農業結合システムにおける養殖適種として、様々な塩分条件（特に低塩分）下での閉鎖型循環式養殖が可能であり、かつ付加価値の高い種を選定する。そこで、プロジェクトサイトにおける市場調査等の情報収集を行い、付加価値の高い魚種を選定するとともに、種苗生産や配布状況についても調査を行う。また、プロジェクトサイトで取引されている魚介類の情報収集および南バハカリフォルニア州における種苗生産や配布状況について調査を行う。

2) 養殖適種の最適飼育環境の決定

本養殖・農業結合システムにおける養殖適種として、ティラピア、パナメイエビおよび広塩性の海水魚をモデル種とする。まず、ティラピアについて、様々な塩分濃度の水を用いて生産性および物質収支を把握する。本システムにおいては水産生物から排泄される物質を栄養塩として作物栽培に利用するため、閉鎖型循環式養殖システムから排出される物質の形態（溶存態、懸濁態、固形沈殿物）の把握が重要になることから、その物質の形態について明らかにする。さらに作物水耕栽培に好適な培養液作製のための餌に対する添加剤の検討を行う。パナメイエビについては基本的な元素レベルでの物質フローを明らかにするとともに様々な塩分で排水成分の比較を行い、水耕栽培の培地元素としての有効性、すなわち、元素の過不足を把握し、不足元素の特定を目的に飼育実験を行う。海水魚に関しても概ね同様の物質フローの把握が必要となる。

⑤研究題目 1 の研究実施方法（参考）

1) 養殖適種の選定

適合種の選定に関しては南バハカリフォルニア州における気候、用水の量および成分、養殖の難易度や実現性を考量し、アクアポニックス全体の物質移動や経済性の試算も重要な要素となる。養殖種の選定では、価格の精査および既存データの検索による飼育環境の把握と地域気候、用水との適合性を見極め、実生産に近い形で生産実験を行い、養殖適種の最適飼育環境の決定および物質フローに関して検討を進める。

2) 養殖適種の最適飼育環境の決定

養殖環境および飼育方式の最適化は採算性に直接つながる生産効率を上げるために極めて重要な項目である。飼育環境の設定は養殖魚と直接物質の出入りのある飼育水の設定のみならず、給

餌する餌、光環境についても大きな影響を受けるとともに、養殖魚それぞれに生理・生態の特性が異なるため、これまでに選定種を用いて様々な手法で行われた飼育実験結果を基に生産性の高い飼育方式を模索し、更なる効率化のアイデアも導入しながら、実生産実験を進めることが重要である。特にそれぞれの国で生産種の販売価格、種苗や飼育施設、餌、水、エネルギーのコスト、気候や用水の温度・水質が異なるため、経済性の観点からどの要素に対して重点を置いて検討を行うかについて、また、どの要素が経済性を大きく左右するのかを見極める必要がある。本研究においては野菜から水産物までの様々な生産カテゴリーの種に関してこの課題に取り組む必要があり、複雑化しているが、社会実装の検討でこれらを可視化していく。

(3) 研究題目 2:「塩分を含む水を利用した栽培技術(水耕・露地)の確立」(リーダー:山田 智)

① 当初の計画(全体計画)に対する成果目標の達成状況とインパクト

1) 栽培適種の選定(水耕栽培)

本システムの水耕栽培で用いる作物の選定基準は、①塩分を吸収して成育を促進させる特徴(好塩性)を有すること、②吸収する塩分が多量であること、③成育速度が速いこと、④メキシコにおける市場価値があることである。我々は、次の4種を栽培適種として選定し、括弧書きに各種の最適Na(ナトリウム)濃度を記す:フダンソウ(80 mmol L⁻¹)、スベリヒユ(80~100 mmol L⁻¹)、スアエダ・エドゥリス(150 mmol L⁻¹)、テーブルビート(80~120 mmol L⁻¹)。このうちフダンソウは、実証モデル農家での栽培・販売実績があり、またバハカリフォルニア州の市場で通年に渡って安定的に販売されている。このことから、フダンソウをロスプラネスの農家実証モデルにおける最初の導入作物としている。現在では、より高値で販売されるアリタソウの栽培試験を実施中である。

2) 栽培適種の選定(露地栽培)

本システムの露地栽培では、低塩下させた水を節水農業に利用することにより、土壌の塩類化リスクを大幅に低減する。露地栽培作物の選定基準は、①ある程度の塩耐性を有すること、②換金価値が高いこと、③メキシコにおける市場価値があることである。我々は、トウガラシ類2品種(アパネロ・オレンジ、ハラペーニョ)、ハーブ類2種(ローズマリー、タイム)の4種を栽培適種として選定した。一方で農家実証モデルシステムにおいては、対象農家の希望を盛り込み上記4種に加えて3つの選定基準を満たすテーブルビート、ハツカダイコン、カウピーの栽培も行なっている。

3) 栽培適種の最適栽培法の決定

3.1) 養殖廃液を利用した栽培方法

養殖廃液には、作物の成育に必要な養分のうち微量元素が特に不足しており、Fe(鉄)においては水耕栽培で一般的に用いられる基本培養液の4%ほどしか含まれていないことが分かっている。鳥取大学において、養殖廃液区と養殖廃液に微量元素を添加した区の2処理区を設けてフダンソウを栽培した結果、収量および葉緑素含量とも2処理間に有意差はなかった。また、フダンソウ、スベリヒユ、スアエダをティラピア養殖廃液のみを用いて栽培した結果、微量元素欠乏を呈することなく1~1.5ヶ月間の栽培が可能であり、また一定の収量を得ることが確認できた。

3.2) 高硝酸態窒素(NO₃-N)濃度を含む養殖廃液で栽培した作物の安全性

CIBNORモデルシステムの養殖廃液に含まれるNO₃-N濃度は約200~280 ppmで、これは水耕栽培で一般的に用いる濃度の3~5倍である。人体への硝酸塩の過剰な取込みは、血液中の酸素の運搬を妨げる。EUの葉菜類に含まれるNO₃濃度の安全基準値は3,500mg/kgFWである。フダンソウとスベリヒユの葉のNO₃濃度を調べたところ基準値よりも低い値を示したことから、人体への影響はないことが確認できた(図19)。

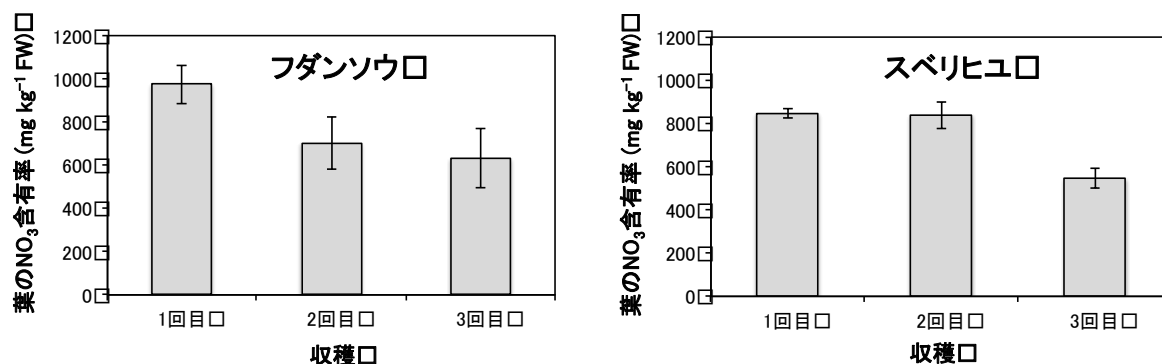


図 19 養殖廃液を用いて水耕栽培したフダンソウ可食部（葉）の NO₃ 含有率

3.3) 栽培適種の最適 NO₃-N 濃度

東京海洋大学での研究結果から、本システムの水耕栽培に相当とされてきた 280 ppm の NO₃-N 濃度は、ティラピアの成長量には影響を及ぼさないものの、消化不良や水分の排出不良を起こす可能性が示唆された。このため、フダンソウの生育とティラピアの健康状態双方にとって問題のない NO₃-N 濃度を明らかにする実験を行なった結果、100～200 ppm まで低下させることができた。

3.4) 作物栽培に適した養殖廃液中養分濃度の簡易な推定方法の確立

本システムを一般農家に普及させる場合、廃液中の養分を高性能の機器を使わずに簡易にモニタリングできる技術は重要である。CIBNOR モデルシステムおよび農家実証モデルシステム内において、養殖水および水耕栽培水の定期的な水質分析を行っている。その結果、水耕栽培水として用いる養殖廃液の EC 値から廃液中の窒素やリン濃度の推定ができた（図 20）。しかしながら、濃

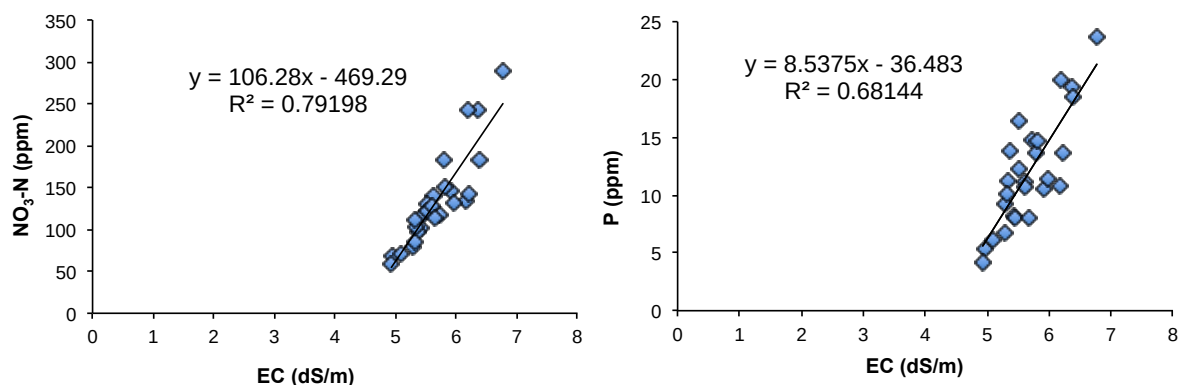


図 20 養殖廃液の EC と NO₃-N および P 濃度の関係

度推定のための数式は原水となる地下水の EC や栄養塩濃度により変わるため、今後普及対象となる地域では地下水の水質データを予め把握しておくことが重要である。

② カウンターパートへの技術移転の状況

短期研究員受入では、期間を通して CIBNOR の研究者と技官合計で 7 名に対して、それぞれ必要な技術の研修を行った。すなわち、水耕栽培の培養液調整法、育苗法、移植法および作物や水に含まれる元素分析方法を教授した。また、カルメン・メルカド研究員は、長期研修員受入として、鳥取大学大学院連合農学研究科（博士後期課程）において博士号（農学）を取得した。

③当初計画では想定されていなかった新たな展開

1) 作物の栽培環境への適応性について

養殖廃水は1年を通して供給されるため、水耕、露地ともに作物栽培を中断することはできない。ラパス地域では夏季の気温が40℃を超えるが、フダンソウは問題なく成長できることを確認した。また、水耕栽培でもっとも時間と労力を必要とする養分やpH調整も選定された水耕作物の栽培には必要ないことが明らかになり、農家への導入がより現実的となった。

2) 作物の除塩能について

水耕栽培では、作物種が成育の過程で養殖廃液から塩を吸収し除去することが重要である。鳥取大学モデルシステムで行なった実験では、フダンソウは8.7ppm/日/m²のNa塩を除去できることが明らかとなっている。しかし、CIBNORモデルシステムにおける同実験では3.9ppm/日/m²であった。このように塩除去効率が異なった主な原因として、日本とメキシコのフダンソウ栽培における蒸発散量の差異を挙げることができた(栽植密度が50個体/m²の時、日本:2.4L/日/m²、メキシコ:3.6L/日/m²)。このことから本システムにおいて水耕廃液を露地栽培用貯水タンクへ排出する際には、蒸発による栄養塩類の濃縮効果を防ぐため、水耕廃液のECの値が8以下で排出する必要がある、7日に一度の水換え(露地栽培用貯水タンクへの排出と養殖槽から水耕水槽の注水)を行うことでそれを達成できることが明らかとなった(図21、22)。

3) 廃液の安定的な供給について

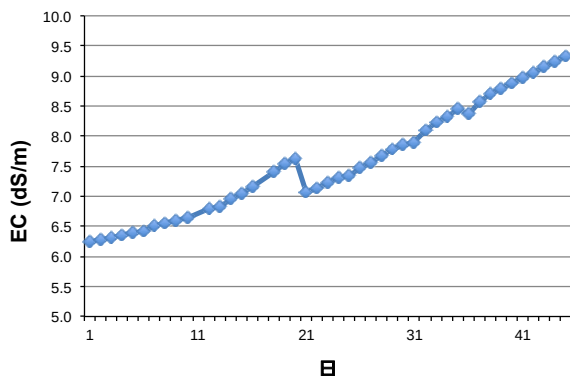


図21 水換えを20日毎に行なった時のECの経日変化

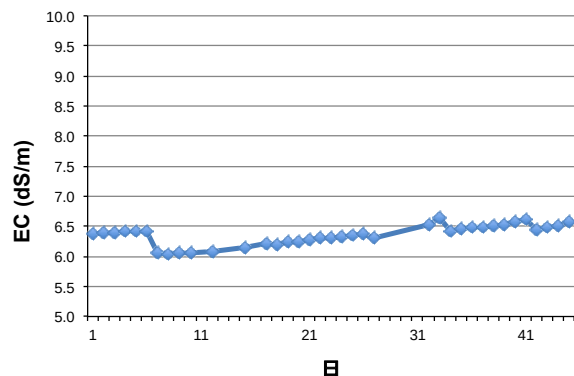


図22 水換えを7日毎に行なった時のECの経日変化

毎月各養殖水槽で異なるサイズのティラピアを飼育することで、養分が豊富な養殖廃液を定期的に水耕水槽に供給でき、養分添加の必要ない非常に容易な水耕栽培を可能とする。しかし冬の水温低下により稚魚の成育速度が低下することにより、システムへの稚魚導入が遅れることが原因で、定期的に養分が豊富な養殖廃液を水耕水槽に供給できないことがあった。こうした変則的な事態は今後も起こりうるため、こうした事態にどのように対処するべきかを示していく必要がある。本件については、1) 肥料を水耕水槽に添加する、2) 定期的に少量ずつ養殖廃液を栽培水槽に注水することで低濃度の養分を供給する、3) 水耕栽培における作付け個体数を減らす、などの対処が考えられ、各農家にとって最も持続的に行っていくべき対処法について選択していくべきである。

④ 研究のねらい(参考)

本養殖・農業結合システムにおいて、塩分を含む養殖廃液を用いて、塩分を吸収することにより成育を促進させる好塩性作物を水耕栽培する。水耕栽培廃液に、養殖・水耕栽培室内大気から回収した真水を添加することにより希釈した水を利用して、高付加価値作物を露地栽培する。この時、希釈された水のECの値が地下水のECの値よりも低くなるように調製する。塩類濃度を低下させた水を節水農業に利用することにより、土壌の塩類化リスクを大幅に低減し、持続的農業が可能となる。

⑤ 研究実施方法（参考）

本システムで利用する作物の特徴として水耕栽培では好塩性、露地栽培では塩耐性を有することが重要となっている。そこでまず、様々な塩濃度の地下水を想定した時の各種作物の成育を調査した。次に本システムを一般農家に導入する場合、操作が容易であることは持続性において重要なファクターである。そこで、水耕栽培で行う移植作業、養分コントロール、栽培・収穫方法の簡易化について検討した。

（4）研究題目3：「養殖・農業結合システムに適した電源の最適化」（リーダー：田川公太郎）

① 研究題目3の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

1) 養殖・農業結合システムの稼働に必要な消費電力量の把握

まず、養殖・農業結合システムで使用する各電気機器に関する導入および操作条件の設定に必要な項目を明確にした。

1) 養殖および水耕栽培では、飼育水や養液を水槽間で循環させるためのポンプと酸素供給のためのブローアが毎日24時間稼働すること。

2) 水槽からの蒸発した水分および作物からの蒸散した水分を回収するために、ビニルハウス内の湿度が高い夜間などに除湿器を稼働すること。

3) 露地栽培では、灌漑水を供給するポンプが設定された灌漑時間のみ稼働すること。

4) その他の電気機器として、清掃や出荷作業などの短時間の作業において、配水用の携帯型ポンプやビニルハウスの照明等が必要となること。

養殖・農業結合システムに必要な電気機器の仕様（主に消費電力）や設置台数、機器の接続方法は、養殖や水耕栽培の方法、飼育規模、酸素供給方式などによって決定される。したがって、養殖・農業結合システムの方式ごとに消費電力量を把握しなければならない。そこで、小規模な鳥取大学モデルシステムおよびCIBNORモデルシステムにおける実証試験から、電気機器の仕様や導入個数に基づく消費電力量と各部門での需用割合を把握し、電源設計の方針に必要な知見を明らかにした。その概要について説明する。

まず、鳥取大学モデルシステムの養殖および水耕栽培実験では、養殖の飼育水循環ポンプの月間消費電力量が最低でも267kWhに達し、養殖部門の月積算消費電力量が1ヶ月の全積算消費電力量の60%を占めることを明らかにした。次に、CIBNORモデルシステムにおける養殖・水耕栽培試験では、まず養殖の酸素供給用ブローア（AC220V、990W）、飼育槽－濾過槽間での養殖用水循環用の直流ポンプ（DC12V、23W）、水耕栽培の灌漑水循環用に直流ポンプ（DC12V、24W）を用いて24時間の連続運転を行った。また、蒸散水回収用除湿器（AC115V、745W）を夜間の12時間運転した。その結果、1日あたりの1ユニット（養殖水槽1個－水耕水槽1個）の平均消費電力量は約3.1kWh/day（養殖2.5kWh/day、水耕栽培0.6kWh/day）となり、その消費割合は養殖部門82%（ブローア64%、循環用ポンプ18%）水耕栽培部門（循環用ポンプ18%）となることを実証した。日積算消費電力量は年間を通じて62kWh/day程度となり、消費電力量の内訳は、養殖用ポンプ群41%、酸素供給用ブローア31%、蒸散水回収用除湿機17%および水耕栽培用ポンプ11%となることを示した。その後の実験では、特に養殖部における直流ポンプの故障・交換やティラピアの成長に応じた用水循環流量の増加の必要性から、新たに交流電源用ポンプを交換・追加設置し、飼育槽1つにつきポンプ2つが運転された結果、直流ポンプのみを用いた場合の3倍の消費電力量となった。これは、新たに追加したポンプの一部に、消費電力が直流ポンプの消費電力の10倍程度大きいものが使用されたためであり、過剰な電力消費を伴う設備による運転状況にあると判断できる。CIBNORモデルのような小規模システムの消費電力量を考慮する上で、ブローア1台の消費電力量に大きな注意が必要であると考えていたが、実際の運転で用水の循環用ポンプの導入台数や1台あたりの消費電力量が増加する場合には、ポンプの選定が非常に重要な要素となることを見出した。露地栽培では、灌水タイマーを利用しており、その電源は単3型バッテリー2個を要するのみであり、安価かつ簡易のシステムの採用で、部分的にでも電力消費を大きく低減させる可能性が示唆された。

最後に、ロスプラネスにおける農家実証モデルシステムについて、電気機器を図 23 に示し、各電気機器の台数、1 日当たりの稼働時間および定格出力（消費電力）を表 5 に示す。各電気機器の 1 日のおおよその消費電力量は、定格出力と稼働時間の積で求められる。ロスプラネスにける農家実証モデルシステムでは、養殖部門の飼育槽の飼育水循環と水耕栽培への用水供給は 1 台の循

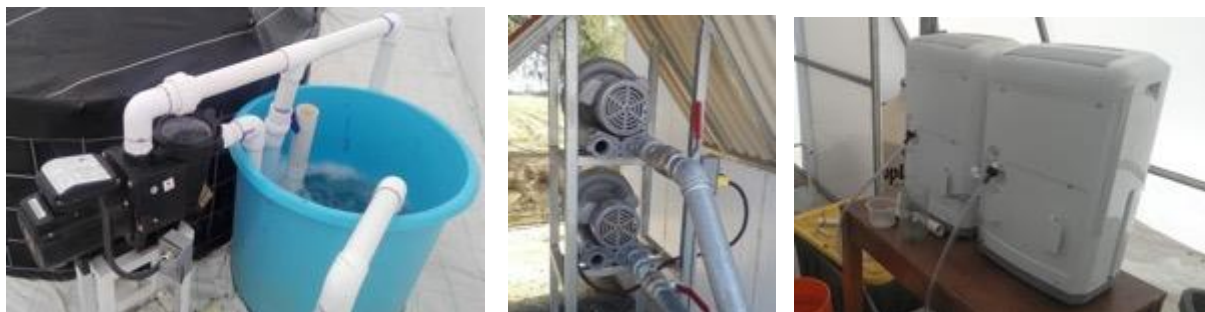


図 23 左から循環ポンプ、ブロワー（1 台は予備）および除湿機（2 台）の外観

環ポンプを用いており、また、飼育槽および濾過槽、水耕栽培用水槽に対して、1 台のブロワーにより空気供給を行う。養殖部門には飼育槽などから蒸発していく水を回収し、再び利用するために除湿器を設置している。

農家実証モデルシステムにおける代表的な 1 日の 10 分間毎消費電力量（実測値）の推移を図 24 に示す。日中（6:00～18:00）では、飼育水循環のためのポンプと空気供給用のブロワーが中心に稼働しており、10 分間毎の消費電力量は約 0.42kWh（1 時間換算 約 2.52kWh）で推移し、夜間（18:00～翌朝 6:00）にかけて除湿器 5 台を稼働すると、10 分間毎の消費電力量は約 1.14kWh（1 時間換算 約 6.84kWh）で推移することがわかった。なお、夜間に運転する除湿器 1 台あたりにつき、日積算消費電力量が約 10.4kWh ずつ増加することも検証した。図 24 で示した令和元年 7 月 17 日における日積算消費電力量は約 110.4kWh に達しており、ポンプとブロワーのみを 24 時間運転する場合の日積算消費電力量は約 60.5kWh であることから、1 日の消費電力量のうち、ポンプとブロワーに要する消費電力量が占める割合が 54.8%であることが明らかになった。

表 5 各電気機器の稼働時間と定格出力

使用部門	電気機器	台数	稼働時間 (h/day)	定格電力 (W)
養殖	飼育水循環ポンプ	1	24	1,207
	空気供給ブロワー	1	24	989
養殖+水耕栽培	除湿器	1～6	12 (18:00～6:00)	745
	携帯型水中ポンプ	1	1	200
露地栽培	灌漑用ポンプ	1	1	91
	水中ポンプ	1	1	140
ビニルハウス	照明	4	6	50

2) 養殖・農業結合システムに適した電源システムの設計方針および維持管理法の開発

ラパス市 CIBNOR の敷地内において日射観測を実施し、太陽光発電システムを設計するために必要なメキシコ南バハカリフォルニア州の日射特性を明らかにした。平成 29 年 1 月から 12 月にかけて測定した 10 分毎の日射強度から算出した日積算日射エネルギー量の変化を図 25 に、各月の日積算日射量を図 26 に示す。両図から、日積算日射エネルギー量は 1 月～5 月にかけて徐々に大きくなりピークに達する。5 月の日積算日射エネルギー量は 1 月に比べて約 2 倍となった。また、各月の平均日積算日射量は、3.34 kWh/m² ～ 7.97 kWh/m² の範囲内で変動しており、日積

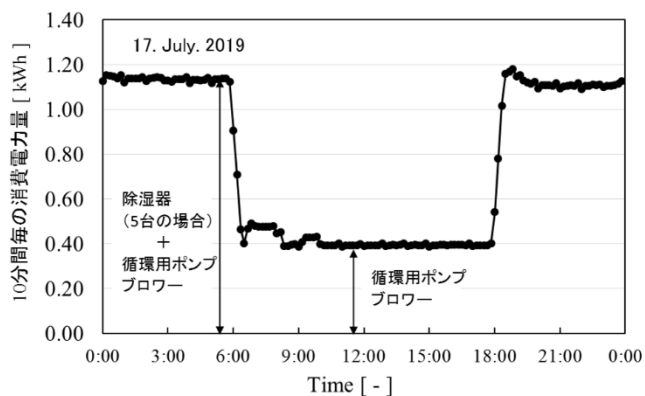


図 24 代表的な 1 日における 10 分間毎の消費電力量

算日射エネルギー量の年平均値が 6.11 kWh/m^2 であった。また図 25、26 において、9 月および 12 月において日積算日射エネルギー量が低減する日数が多くなった。これは 9 月にはハリケーンによる天候の変化があり、12 月には曇天日が連続したことに起因する。日射データから、年間日照時間は 4,001 時間であることがわかった。年間を通した日射特性に関する知見をもとに、現地のモデルシステムにおける太陽光発電システムの設計が可能となった。

陸上養殖・水耕栽培・露地栽培で食料を生産する CIBNOR モデルシステムおよび農家実証モデル

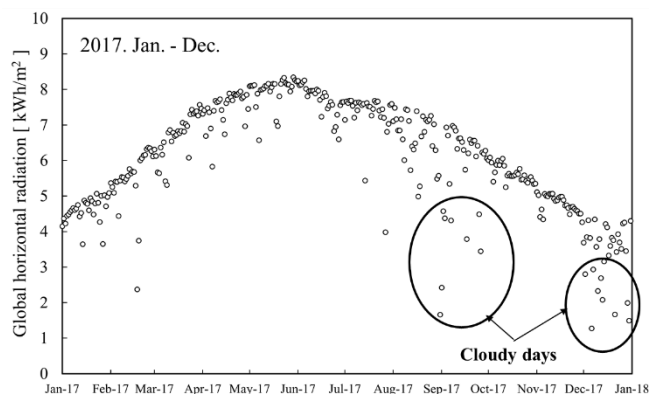


図 25 年間における日射エネルギー量の変化
(メキシコ・ラパス市)

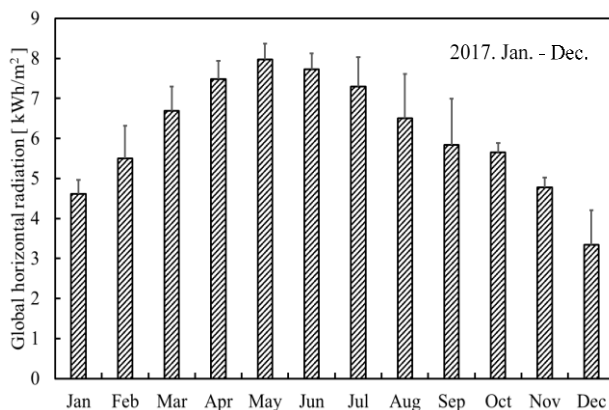


図 26 月積算日射エネルギー量の変化
(メキシコ・ラパス市)

システムの電源設計について検討し、特に太陽光発電システムの設計手法を確立した。まず、CIBNOR モデルシステムでは、システムの電力消費量とラパス市の日射エネルギー量の特性を参照して、出力を 10.9kW（出力 260W 太陽電池 42 枚）、バッテリー（12V、200Ah、20 個）のシステム容量 40kWh を導入し、商用電源および緊急用電源のディーゼルガソリン発電機と連携した電源システムを設計導入した。当初、DC 電源で稼動するポンプ（消費電力 20W 程度）での実験を行ったが、電気配線の接続作業が自前で煩雑になるため、AC 電源で稼動するポンプ（消費電力 60W 程度）の方が購入の容易さや利便性が高いとの改善案が出されていたこともあり、太陽光発電システムで発生する DC 電力をインバーターで AC 電力に変換する電力変換機器と配線系統も同時に改良した。



a) 太陽電池パネル群



b) 制御機器類



c) バッテリー群

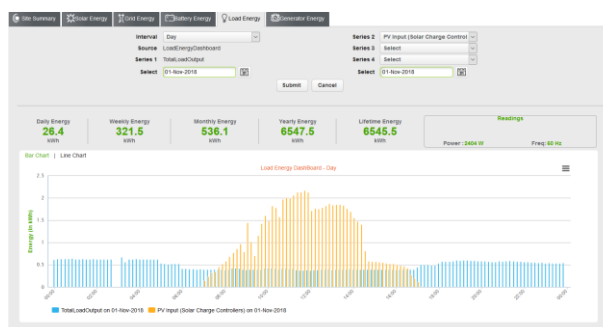
図 27 農家実証モデルに導入された独立型太陽光発電システムの主要機器類

続いて、ロズプラネスに導入される農家モデルの電源システムの詳細設計を、CIBNOR の研究者が中心となって実施した。この設計においては、送電線が未整備である農地において、独立型電源を導入するための実用設計方針として重要であり、その要点および概略について述べる。まず、水産養殖、水耕栽培および露地栽培で使用する機器の消費電力、台数、および使用時間から 1 日あたりの消費電力量を解析した。この解析結果と導入予定の農地に送電線が未整備であることから、本モデルでは、太陽電池パネル、充放電用バッテリーおよびディーゼル発電機で構成される電源システムを採用した。1 日の消費電力量を曇天日が 2 日連続しても供給できるように、定格出力 325W の太陽電池パネル 96 枚を接続して、太陽光発電システム全体の定格出力を 31.2kW に決定し、その電力容量を十分に充放電できるバッテリー容量（供給電圧は 48V）を設計した。パネルの設置傾斜角は 22° とし、ハリケーン対策として太陽電池を架台から脱着できる構造とした。また、砂塵汚れ対策として、作業者が簡易に清掃できるように、傾斜したパネルを接続したときの

高さが 1.5m 程度となるように配列を調整した。一方で、電気機器の操作や交換を簡易に行えるように、各生産パートでの使用機器を交流電源用機器としたので、太陽電池およびバッテリーから供給される直流電気をインバーターにて交流電気へ変換して供給する。さらに曇天連続日による充電不足の補助電源として、あるいは太陽電池・バッテリーの不具合による緊急電源として出力 17kW のディーゼル発電機を組み込んだ。曇天日が 3 日以上続く場合、ディーゼルガソリン発電機で発電した電気をバッテリーに供給し、満充電状態に回復させるように自動制御する仕組みを採用し、充電不足に陥らないように工夫した。図 27 に示すような出力規模 43.2kW の独立型太陽光発電システムが導入され、2018 年 8 月から電力供給を開始した。また、電力供給グループの研究者らにおいては、導入した設備の製造会社が運営する衛星回線を用いた遠隔監視システムを利用し、CIBNOR および鳥取大学でシステムの異常監視とデータ取得を実施している(図 28)。



a) インターネット回線用のアンテナ



b) 電力需給のモニタリング画面

図 28 独立型太陽光発電システムの遠隔監視システム

平成 30 年 8 月から令和元年 7 月までの各月における太陽光発電による電力供給量とアクアポニックスにおける消費電力量を図 29 に示す。全期間の平均的な月積算消費電力量は、約 2,00kWh であった。平成 30 年 10 月、11 月および平成 31 年 4 月にかけては、除湿機を稼働しているため、消費電力量が増加し約 2,000kWh に到達し、さらに、令和元年 6 月から除湿器を 3 台から 5 台へと拡張しているので、消費電力量が増加し、それに伴って太陽光発電による電力供給量が増加している。一方で、平成 30 年 12 月から令和元年 2 月の各月において、各月の平均傾斜面日射量を下回る曇天日が約 10 日発生した。その中で、その曇天日が 3 日間あるいは 4 日間連続することが平成 31 年 1 月および 2 月に 1 回ずつ発生したため、充電を安定して行うことが難しいとして、この時期における除湿機の運転を停止した。また、図中の青色部分は、太陽光発電による電力量のうち、バッテリーへ充電された量を表し、赤色部分はバッテリーが満充電となったときに、太陽電池から直接電気機器へ供給された電力量を表している。充電量の割合は、太陽電池で発電される電力量の 73%から 94%の範囲にあり、平成 30 年 12 月から平成 31 年 3 月にかけては、曇りの日が多いため、日中においてもバッテリーからの供給電力量が多くなるので、充電量の割合が大きくなる傾向にあることが明らかになった。日射エネルギー量から試算される太陽光発電システムの発電可能量の推定値に対する各月の発電電力量の実測値の割合は、曇天日が発生した平成 30 年 9 月では約 67%、平成 31 年 3~4 月で約 50%であることがわかった。現状では、余

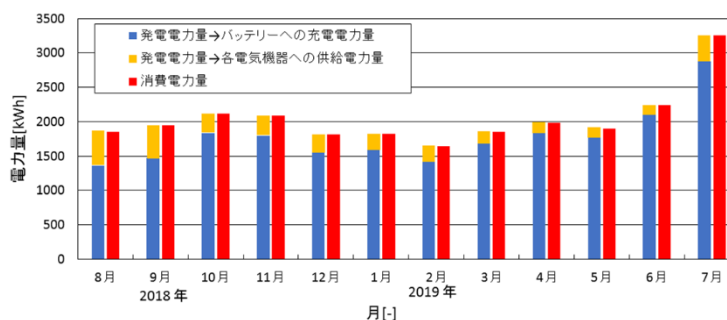


図 29 各月における太陽光発電による電力供給量とアクアポニックスにおける消費電力量

剰電力を利用する方法の導入に至っていないが、例えば、ハウス内における加工物の冷蔵・冷凍庫、市場へ輸送するためのトラックの荷台用冷凍庫等の電力に利用することが考えられる。また、農家集落の生活用電力として有効利用することや、将来的にはそれを売電し、農家所得の向上の一助とすることも考えられる。また、太陽電池の年間発電量から算定される二酸化炭素の年間排出削減量は約 14,400 kgCO₂と算定され、これは太陽光発電システムを 2.54 年稼働させることにより、農家実証モデルシステムに導入した太陽光パネルを製造したときに排出された二酸化炭素量 36,540 kgCO₂に相当する排出量を削減できることを示した。

一方で、CIBNOR モデルシステムにおける 1 ユニット（養殖水槽 1 個—水耕水槽 1 個—露地ベッド 1 個）の電力設備を想定し、これを運転するために必要な独立型太陽光発電システムの出力規模を設計した。さらに、その設計した発電システムによる電力供給のシミュレーション手法を構築することができた。供給電力量が消費電力量を常に上回る電力需給関係と、設備価格や耐用年数を踏まえた現在正味コスト (NPC) が最小となる経済性を制約条件にして、平成 29 年の年間日射エネルギー量、食料生産における消費電力、および太陽光発電システムの設備コスト等を用いて、独立型太陽光発電システムの出力規模および仕様を算定し、食料生産にかかわる年間の電力需給を解析することで、年間における発電電力量の推移 (図 30) や年間におけるバッテリーの充電割合の推移 (図 31) を予測することが可能となった。

CIBNOR モデルシステムおよび農家実証モデルシステムの実証試験の中で、電源設備の維持管理および緊急事態への対応に関する事例を蓄積することができた。まず、CIBNOR モデルシステムでは平成 29 年 2 月に CIBNOR の所在地域一帯で突発的な停電が発生し、商用電力で稼働する設備が停止した。昼間であったので、CIBNOR 内の研究者や技官によって対応した。次に、農家実証モデルシステムでは、平成 30 年 11 月に、曇天日の充電不足によりバッテリーの出力電圧が低下し、夜間に電力供給が断続的に停止する事態が発生した。これに対しては、発電機が作動してバッテリーを充電し、出力電圧の回復が自動的に繰り返され、電力供給を継続することができた。CIBNOR 研究者 (ホアキン・グティエレス博士) と業者がモニタリングシステムで状況を確認したのち、現地で太陽光発電システムの制御機器を点検し、その結果バッテリーの接続方法および制御機器のプログラムを修正した。夜間に発生した事態を確認できたのは、事態発生から約 5 時間後であった。発電機の自動運転が正常に稼働したために大きな事故に至らなかったが、夜間に発生する事態を把握し、伝達する工夫が重要となる。

平成 28 年から開始した CIBNOR モデルシステムおよび平成 30 年から開始した農家実証モデル

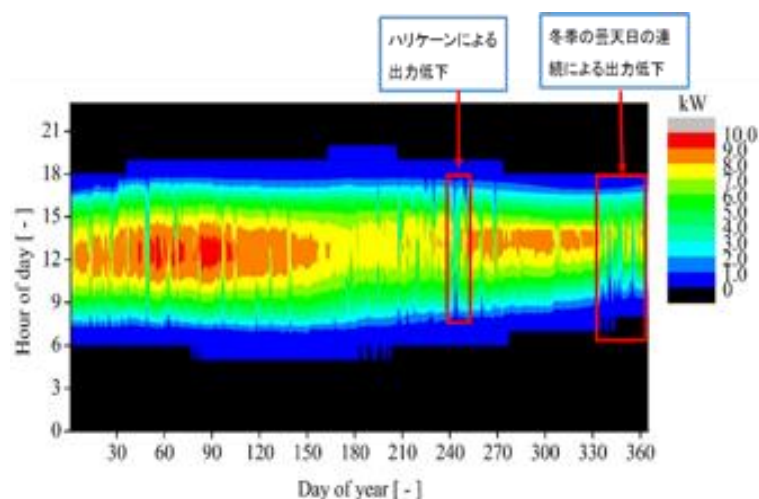


図 30 年間の発電電力量の推移

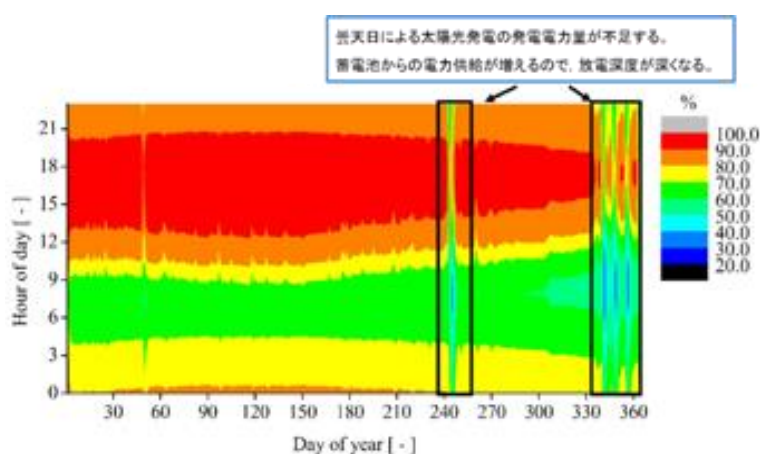


図 31 年間のバッテリーの充電割合の推移

システムでの実証試験において、太陽光発電システムへのハリケーンによる被害は発生していない。しかしながら、ハリケーン対策の準備とそのマニュアル化は必要と考えられる。

図 32 に建設時の約 1 ヶ月で太陽電池パネル表面に堆積した砂塵の外観を示す。農家実証モデルは農地に設置されており、強風により舞い上がった農地表面の砂が堆積する。砂塵の堆積により太陽光の透過が減少し、発電量が低下することか危惧される。実証試験での経験から、2 週間に 1 回程度の割合でやわらかい布製のモップや埃取り等を用いてパネル表面の清掃を行えば、十分に対応できると考えられる。



図 32 砂塵が堆積した太陽電池パネルの概観と清掃作業の様子

② 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

平成 29 年 7 月 10 日から 8 月 25 日まで、短期研究員受入において研修員としてカウンターパートであるホアキン・グティエレス博士およびホアン・マンドゥハーノ技官を鳥取大学招聘し、日射データから太陽光発電システムの規模を設計や、また太陽光発電システムに対する配電計画の立案など、養殖・農業結合システムに関する電源構成の設計と電源の運用に関する技術手法を教授した。また、鳥取大学モデルシステムに導入した太陽光発電システムを用いて、観測機器や電源関連機器の取り扱い方法や配線経路の設計方法について教授した。これらの知識と経験をもとに、両者は、CIBNOR モデルシステムに導入した太陽光発電システムの増設設計と、ロスプラネスに導入される農家実証モデルシステムにおける電源システムの詳細設計を担当することができた。太陽光発電を組み込んだ電源設計手法についての技術移転が着実に進んだ。

太陽光発電を用いた電源システムの管理や CIBNOR の技術相談アカウントやサプライヤーの連絡先などの重要項目を記載した簡易的なユーザーマニュアル（図 33）を作成した。このようなマニュアルを有効に活用して、2019 年 12 月 16 日に、本プロジェクトに関わる CIBNOR 研究者や技官、および生産農家の人々など総勢 20 名程度が参加し、電気研修会を実施した。カウンターパー



図 33 農家向けユーザーマニュアル簡易版

トである Joaquin Gutierrez 博士が研修責任者となり、電源システムの構成、電源停止時のトラブルシューティング、電源停止後の復旧作業、関係者への連絡体制などについて講義した。

③ 研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

日射が豊富な乾燥地であっても、冬期に連続する曇天日が発電システムの発電電力量の不足とバッテリーの充電不足を招くことが検証された。このことは、日射データに基づく太陽光発電の電力需給シミュレーションでも予測することができるため、シミュレーション技術を組み合わせた電力システムの設計手法を新たに提案することにつながる。また、実証試験で発生した停電等の緊急事態への処置に対する経験とその対策を運転・維持管理およびマニュアルの作成に活用することができる。

④ 研究題目 3 の研究のねらい（参考）

養殖・農業結合システムの生産規模や導入地域の電力供給状況に応じて、効率的かつ経済的に養殖・農業結合システムに電力を安定供給できる電源の最適化および電力供給手法の確立を目的とする。特に、養殖・農業結合システムの稼動に必要な電力を供給する基盤電源として、乾燥地の豊富な日射を利用した太陽光発電を組み込んだ電源システムを構築する。そこで、複数の規模における養殖・農業結合システムにおいて、1) システム稼動に必要な消費電力量の把握、2) 太陽光発電を組み込んだ複数の電力供給システムの実証試験と運用性評価、および3) 電源システムの設計方法および維持管理法の開発に関する検討課題を設定し、これらの検討結果から、養殖・農業結合システムにおける電力需給特性を把握するとともに、太陽光発電システム、商用電力、蓄電設備、発電機などから構成される電源システムの組み合わせ条件を確立し、電源システムにおける太陽光発電システムの導入有用性を明らかにする。また、農家実証モデルシステムの運転試験を通じて、電源システムの運用・維持管理の問題点を抽出し、その解決策を提案する。

⑤ 研究題目 3 の研究実施方法（参考）

鳥取大学モデルシステムおよび CIBNOR モデルシステムにおいて、各モデルシステムの水産養殖・水耕栽培に必要な電力機器の消費電力をもとに消費電力量を試算し、太陽光発電、充放電設備、商用電力、発電機などからなる電源システムを設計した。また、いずれの導入地点においても、太陽光発電システムの電力供給能とシステムの運用適性を評価するために、日射強度を長期的に測定し、日射エネルギーの賦存量評価と、太陽光発電システムの発電電力量の予測ならびにその計算モデルを検討した。各モデルシステムの実証試験では、電力供給量の測定とシステム稼動に必要な各電気機器の消費電力量の測定を実施し、1 日、1 ヶ月など定期期間内の電力供給量と消費電力量を比較した。

各年度を通して、本システムの電力需給を予測する計算モデルを作成し、シミュレーションを行いながら、計算モデルの改良・精度向上を図ってきた。農家実証モデルシステムの運転を通して、問題点の抽出と対策の考案を継続して行っている。

(5) 研究題目 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」

(リーダー：馬場貴志)

① 研究題目 4 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

1) 迅速・高精度な微生物モニタリング法の開発

微生物に関しては、アクアポニックスのみならず、養殖および水耕栽培単独でも詳細なデータはほとんど存在せず、規制も存在しない状況にあることから、本研究における微生物に関する結果は非常に重要な意味をもつ。

本研究で実施した微生物モニタリング法の開発として、従来の培養法に加えて、遺伝子を指標とした定量的 PCR 法やマイクロコロニー法、さらに次世代シーケンサーによる網羅的解析の有用性が明らかになり、従来の培養法に加え、用途により微生物モニタリング法を組み合わせることで解析することが可能になり、より安全なアクアポニックスシステムの管理が可能となった。

2) モデルシステムおよび実証サイトでの実証試験における、稼働中のシステム内の微生物モニタリングの実施

さらに、開発した手法を用いた鳥取大学モデルシステム、CIBNOR モデルシステムおよび農家実証モデルシステム（現在解析中）における微生物モニタリングにより、システム全体の微生物動態が明らかとなり、管理上注視すべきポイントが明らかになった。加えて、養殖グループおよび作物グループが設定する管理方法にしたがって運用を行うことにより、微生物相としても安定していることが明らかになった。これらの結果をふまえ、アクアポニックスシステムにおける微生物管理マニュアルを作成した。

② 研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

遺伝子を標的とした方法論について、DNA 抽出等、実験方法の共有を進め、技術移転を完了している。微生物群集構造解析法の外注サービスも決定しており、CIBNOR モデルシステムおよび農家実証モデルシステムの稼働開始にともなうモニタリングは可能な状況にあり、農家モデルシステムにおけるモニタリングはカウンターパートが実施中である。

③ 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

本アクアポニックスシステムの安全管理法として、CIBNOR 安全性評価グループから提案があった。それはメキシコですでに施行されている微生物管理基準である HACCP に類似したものを安全管理方法とするという提案である。すでに養殖グループ等とともに担当研究者を決定し、その適応について検討を開始している。本研究においては、安全管理マニュアルの作成を目標としているが、結果によっては微生物管理基準として確立できる可能性がある。

プロジェクト期間終了後は、CIBNOR 施設において微生物モニタリングを実施することとしている。しかし本研究における技術は、現在休止状態である国家乾燥地委員会（CONAZA）のアクアポニックスシステムのへの応用が視野に入れられていることから、現在州政府から本プロジェクトに派遣されている普及員への技術移転を考慮するとともに、持ち運び等が可能なシステム構成も想定している。将来的には、詳細なモニタリングは、農家ごとに行うのではなく、CIBNORをはじめ、CONAZA、農業農村開発省（SADER；旧 SAGARPA、農業家畜農村開発漁業食料省）、南バハカリフォルニア州政府機関等の管轄の下、地域ごとに設置し、状況に応じて現場へ持ち込んで行うことを想定し、簡単に持ち運べることで可能なシステムを提案する。ランニングコスト等は、いくつかの実施農家で分担するとともに、上述の管轄機関においても一部負担することが現実的であると考えている。

④ 研究題目 2 の研究のねらい（参考）

本研究における水の循環使用により、システム内において微生物が増殖しやすい環境となる。特に本研究で構築する閉鎖型のシステムにおいて、養殖魚種や栽培作物種に対する病原微生物のアウトブレイクが起これば、大きな被害を引き起こす。ここでは、食中毒起因菌のみならず、養殖魚・エビ・栽培作物に対する危害微生物も対象として、迅速・高精度な微生物モニタリング法を確立し、CIBNOR モデルシステムおよび農家実証試験モデルシステムにおける、稼働中のシステム内の微生物モニタリングを実施する。2011 年には、欧米を中心として、大腸菌 0104（ドイツ）、リステリアやサルモネラ（米国）による食中毒が発生しており、サルモネラについては、メキシコから輸入されたトウガラシ（品種；ハラペーニョ）やトマトが原因とされている。ここで確立する微生物モニタリング法は、生産物の安全性確保につながることから、販売などを考えた場合、非常に大きな利点となる。さらに、継続的微生物モニタリングを行うことにより、本システムのリスク・ファクターが明らかとなり、その結果をもとに、本システムを安全で継続的な管理方法を確立する。

⑤ 研究題目 4 の研究実施方法（参考）

1) 迅速・高精度な微生物モニタリング法の開発

微生物 DNA 抽出法について検討し、土壌からの DNA 抽出法として基準となる方法の一つである

FastDNA Spin kit for Soil を用いることに決定した。本 kit は kit であるため操作が簡便であり、現地においても通常の方法で入手可能である。また、システム内微生物モニタリングを考慮した場合、ろ過槽等における堆積物がリザーバーとなる可能性も考えられ、堆積物からの DNA 抽出にも適応できる。また、DNA ベースでの方法に加え、生きている（増殖活性をもつ）微生物も重要な要因となることから、現場でのファーストスクリーニング法として、簡便な培養法をベースにした方法についても実施することとした。

次に、養殖、作物栽培および水系感染症起因菌における危害微生物について、メキシコおよび日本での情報収集を進め、危害微生物に関するリストを作成した（表 6）。

表 6 露地栽培結合型アクアポニックスシステムにおける
危害微生物リスト

養殖

ティラピア(9種) : *Vibrio* spp., *Saprolegnia* spp., *Aspergillus* spp.,
Pseudomonas spp., *Flavobacterium columnare*, *Edwardsiella ictaluri*,
Proteus spp., *Pasteurella multocida*, LCDV
パナメイエビ(11種) : *Vibrio* spp., *Necrotizing hepatopancreas-alfa proteobacteria*,
IMNV, TSV, IHHNV, YHV, WSSV, HPV, MBV, PVNV, MoV

植物 (17種)

Alteraria spp., *Rhizoctonia solani*, *Stemphylium solani and lycopersici*,
Botrytis cinerea, *Fusarium* spp., *Phytophthora infestans*,
Verticillium dahliae, *Clavibacter michiganensis*, *Xanthomonas campestris*,
Ralstonia solanacearum, *Pseudomonas syringae*, *Pseudomonas corrugata*,
TMV, CMV, TSWV

ヒト (15種)

Salmonella spp., *Escherichia coli* O157, *Vibrio cholerae*, *Vibrio vulnificus*,
Clostridium perfringens, *Clostridium botulinum*, *Campylobacter jejuni*,
Staphylococcus aureus, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*,
Cyclospora spp., *Bacillus cereus*, *Shigella* spp., *Aeromonas* spp., *Virus hepatitis*

まず、大腸菌と *Vibrio* spp. に着目し、開発した迅速高精度微生物モニタリング法の有用性を明らかにするため、小規模なモデル実験を行った。海水に *Vibrio. cholerae* non-01 (RIMD 2214034) 株を添加した養殖モデルについて、デザインしたプライマーセットを用いて添加細菌の経時的な変化をモニタリングした。その結果、どちらのモデルにおいても、混入した *V. cholerae* および非病原性大腸菌 0157 は速やかに水中から減少することが明らかになった（図 34）。その一方で、水中には存在しないものの、*V. cholerae* は堆積物中に残存し、非病原性大腸菌 0157 は植物根に付着して残存する可能性が高いことがわかった。

また、湛水式耕栽培に非病原性大腸菌 0157 (ATCC43888) を添加した水耕栽培モデルについて、同様のモニタリングを行った（図 35）。養殖モデルの場合と同様に、非病原性大腸菌 0157 は速やかに水中から減少することが明らかになった。また、根の表面に多くの細菌の付着が確認された。

しかし一方で、根を切断した場合でも大腸菌は植物体内に侵入することがないことがわかった。以上のことから、2)でのモニタリングでは、それらの点も考慮して実施することで、より安全なシステム管理法の作成に役立つと考えられた。さらに、従来の培養法よりも遺伝子を標的とすることで、高精度に微生物をモニタリングできることがわかった。また、増殖する可能性があり、生きている微生物を捉える場合には、マ

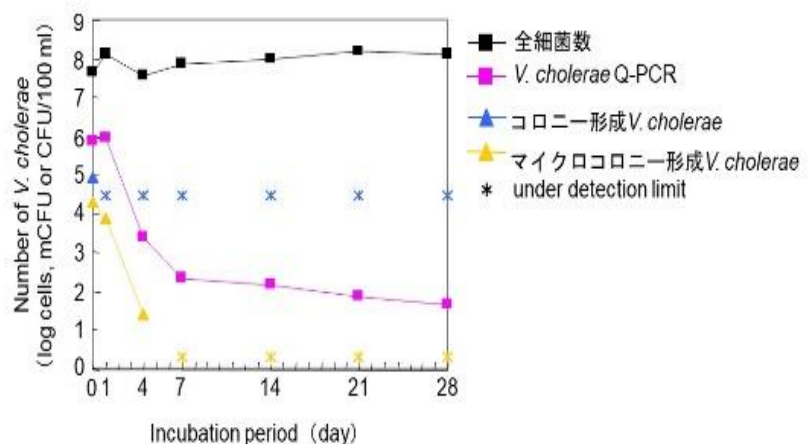


図 34 養殖モデルシステムにおける *V. cholerae* の動態

イクロコロニー法などの新たな手法が有効であることがわかった。

そこで、さらにマイクロコロニー法を改良し、複数の増殖能力をもつ細菌を同時に検出するマルチカラーマイクロコロニーFISH法を検討した。地下水に *Salmonella* serovar *enteritidis*、大腸菌 (W3110) および非病原性大腸菌 0157 (ATCC43888) を添加し、Sal-S-25-1 (*Salmonella*)、ES-445 (大腸菌)、FITC 抗体大腸菌 (0157) を用いることにより、24 時間以内に各細菌種を定量することが可能であった。また、フィルター上に濃縮が可能であることから、細菌数が少ない試料に対しても有効であり、さらに選択培地との組み合わせることも可能であることがわかった (図 36)。

さらに、次世代シーケンサーによる網羅的解析は、微生物動態を把握する上で欠くことのできない方法になりつつある。しかし、シーケンスサービスを利用しなければならず、メキシコにおいては結果を得るまでに数か月を要している。一方で、ラップトップPCに接続して解析が可能な装置も存在する。実際に、検討した結果、数日間で結果を得ることができたことから、メキシコでの次世代シーケンスサービスに比べて大幅な時間短縮が可能であることがわかった。また、現在多くの研究者が検討を進めており、安価なチップの開発も素すねられており、将来的にはコストも低下すると考えられる。精度は劣るとされているものの、モニタリングに用いて微生物相の相違をとらえることは十分に可能であると考えられ、なにより短時間で結果を得られる利点は大きいと考えられる。

以上のことから、開発した方法は培養法に比べて迅速・高精度に微生物をとらえられることが明らかになった。一方で、これらの方法の習得にはある程度の経験が必要であり、簡便性は培養法に利点がある。したがって、用途・目的に合わせて方法を取捨選択することにより、培養法のみよりもよりシステムの安全性確保に貢献できると考えられた。

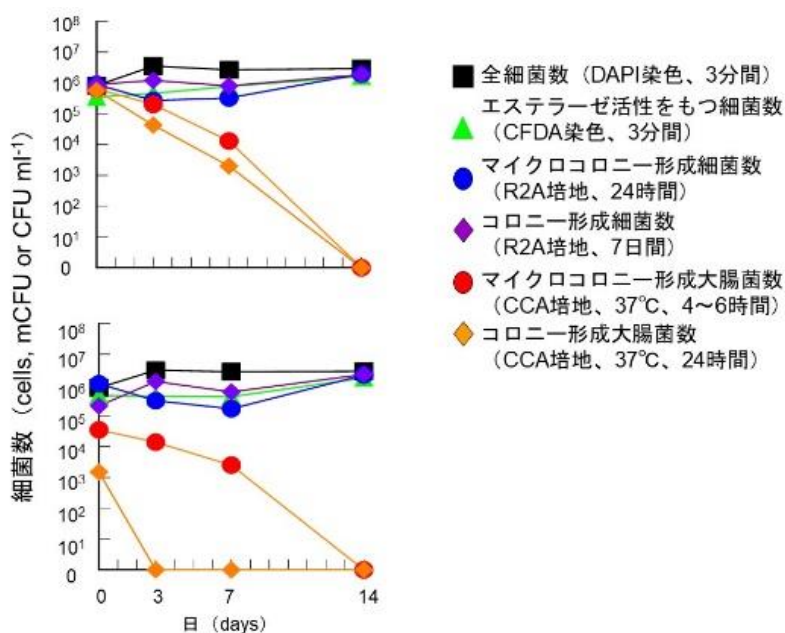


図 35 水耕栽培モデルシステムにおける大腸菌 0157 の動態

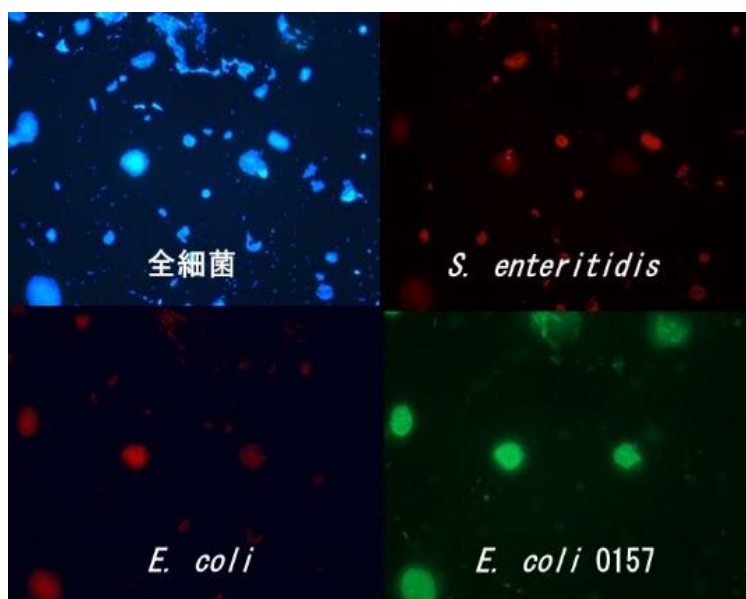


図 36 マルチカラーマイクロコロニーFISH法による増殖能をもつ複数細菌の同時検出

2) モデルシステムおよび実証サイトでの実証試験における、稼働中のシステム内の微生物モニタリングの実施

鳥取大学モデルシステムにおいて、遺伝子を指標とした定量的 PCR 法で細菌数を測定した結果、養殖水中の細菌数は $10^4 \sim 10^5$ cells/ml で推移し、換水の前後においても大きく変化することがないことが明らかになった (図 37)。また、次世代シーケンサーによる細菌の網羅的解析を行った結果、養殖開始時から時間の経過とともに細菌の多様性が増加するとともに、細菌群集構造も変化するものの、一定の傾向は認められなかった (図 38)。また、換水前後においても細菌群集構造は大きく変化しないことがわかった。

飼育期間が長くなるにつれて *Actinobacteria* の割合が増加した。また、*Betaproteobacteria* や *Gammaproteobacteria* は期間を通じて存在していることがわかった。また、真菌については、ほぼ Unassigned が占めており (data not shown)、データベースが十分でないことが要因であると考えられた。

また、養殖廃水を用いた水耕栽培においては、栽培期間を通じて細菌群集構造は大きく変化しないことが明らかになった (図 39)。したがって、本システムの細菌相は、養殖システムに大きく影響されることが分かった。

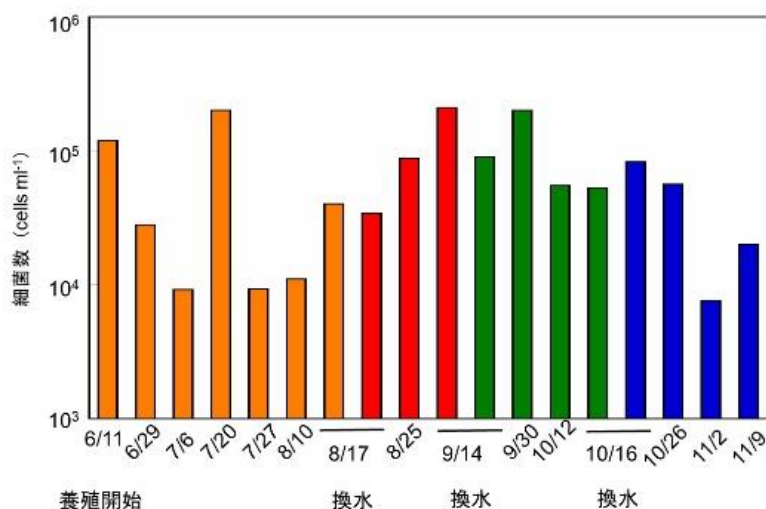


図 37 鳥取大学モデルシステムでのティラピア養殖における細菌数の動態

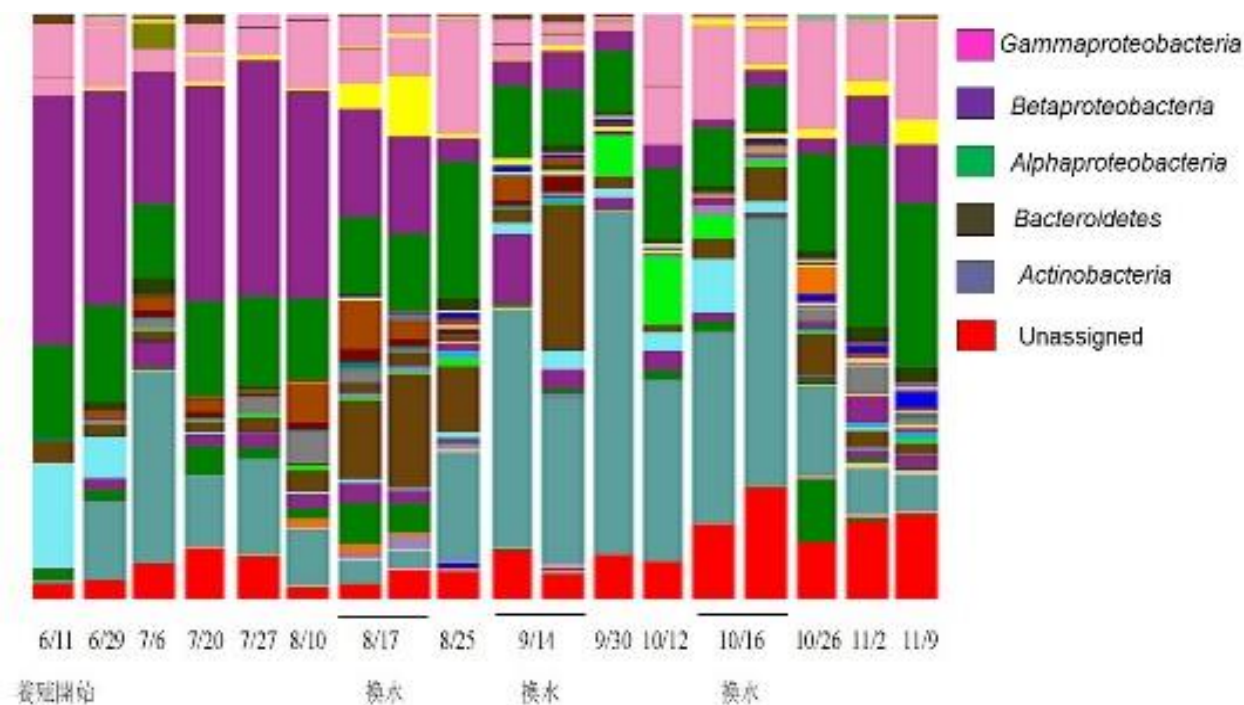


図 38 鳥取大学モデルシステムでのティラピア養殖における細菌群集構造の動態

一方で、バナメイエビ養殖では、ティラピアとは異なり、大腸菌等が属する *Gammaproteobacteria* の割合が低いことがわかった (図 40)。また、養殖中～後期 *Actinobacteria* が優占種となっていた。*Actinobacteria* はキチン質を利用できることから、体重が急激に増加した養殖中～後期に脱皮による殻の分解等に寄与しているのかもしれない。一方で後期には Bacteroidetes に属する *Flavobacteria* が優占した。この時期には出荷サイズ (15 g) を大きく超えており、成長も止まっていたことから、糞由来の細菌が優占しているのかもしれない。したがって、バナメイエビの場合は、養殖期間を短くして早めに出荷することにより、微生物学的な安全性を高めることができる可能性があることがわかった。

CIBNOR モデルシステムにおける細菌群集構造解析の結果、全体的に *Actinobacteria* が共通として優占種となることがわかった (図 41)。

ろ過槽や沈殿槽で Bacteroidetes に属する *Cytophaga* や *Sphingobacteriia* が優占する傾向が認められ、ろ過槽の洗浄が重要であることがわかった。また、水耕栽培においては、存在比率の低い細菌種が多

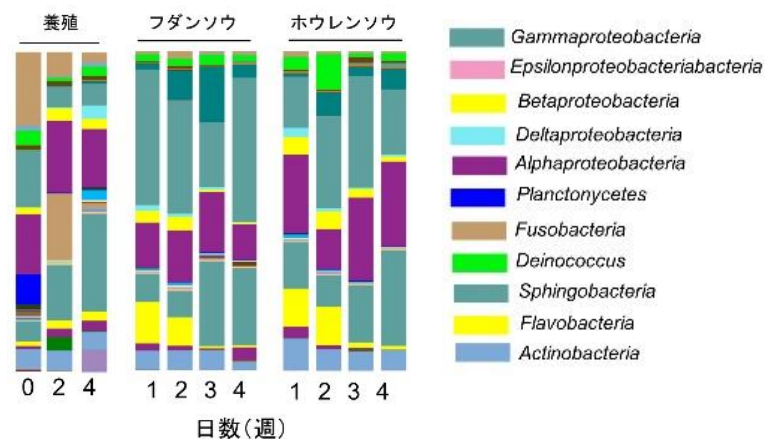


図 39 鳥取大学モデルシステムでの水耕栽培における細菌群集構造の動態

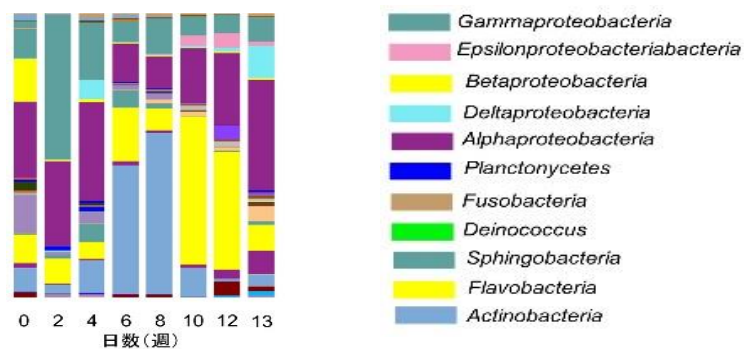
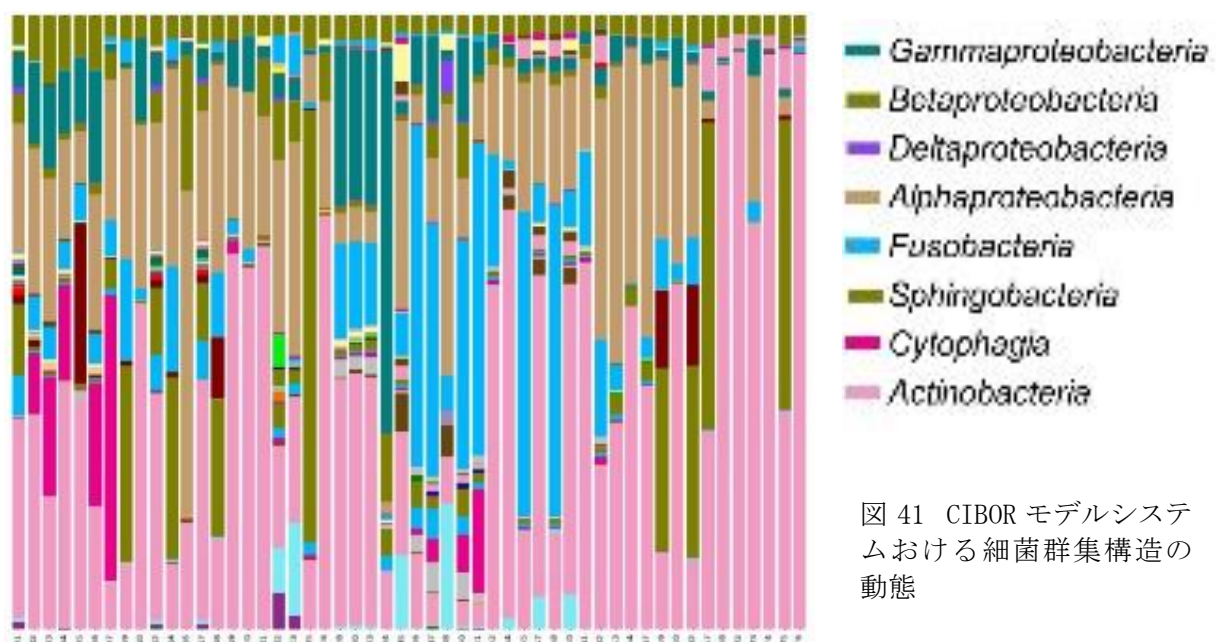


図 40 鳥取大学モデルシステムでのバナメイエビ養殖における細菌群集構造の動態



くなる傾向があることがわかった。

また、ロスプラネス地区に設置した農家モデルシステムにおいてモニタリングを行った(図 42)。農家モデルシステムにおいても、多様な微生物が存在していることが明らかになった一方で、濾過槽、養殖槽においては、Bacteroidetes (紫) の割合が高くなり、水耕栽培槽においてはその割合が低下することがわかった。また、養殖から水耕栽培への水の移動頻度を高くすることにより、システム全体での微生物相が類似してくることが明らかになった。

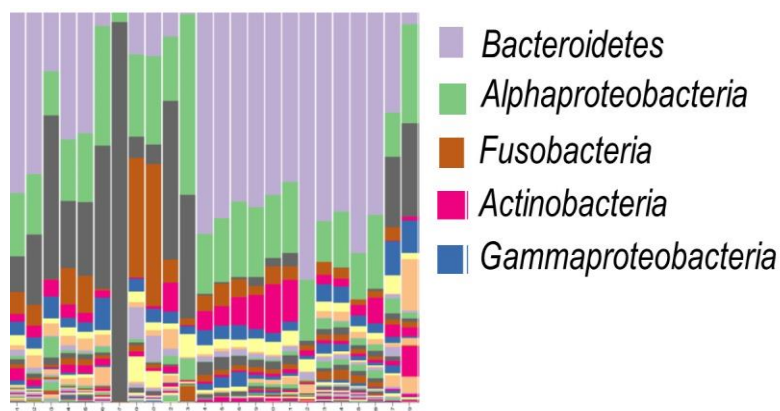


図 42 農家モデルシステムにおける細菌群集構造の動態

農家モデルシステムは、CIBNOR モデルシステムとは異なり、6つのタンクから出る排水の処理を各1個の沈殿槽、生物濾過槽で行っていることから、水交換の影響が出やすくなったと考えられた。また、培養法での結果のみではあるが、沈殿槽で大腸菌等の微生物数が増加する傾向があった(データは示していない)。一方で、養殖タンク内ではその数は少なくなることがわかった。これらの結果をもとに、微生物学的安全性管理マニュアルを作成した。

以上の結果から、本システムのような地下水を用いたアクアポニックスシステムにおいては、システムが正常に稼働していれば、つまり、飼育密度や給餌量に加え、水換えや清掃がマニュアルに沿って行われていれば、微生物数および微生物群集構造ともに安定しており、危害微生物のアウトブレイクは起こりにくいと考えられた。水の濁りやエアレーション不足等の要因よりも微生物が生産リスクにはなりにくいものの、沈殿槽と生物ろ過槽において微生物が増殖しやすいホットスポットであり、清掃・管理の徹底が必要であることが明らかになった。

さらに、出荷する際の安全性を向上させるために、餌抜き処理が重要であることが明らかになった(図 43)。出荷前の餌抜き処理(地下水(原水)を用いて5日間餌抜きで飼育)は、ティラピアの臭み抜きなど品質向上のための処理ではあったが、餌抜き処理により、Bacteroidetes (焦げ茶色)や Gammaproteobacteria (桃色)の割合が大きく減少しするなど、ティラピア表面の細菌群集構造が大きく変化し、微生物学的安全性の向上にも寄与できることがわかった。



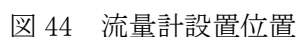
図 43 出荷前処理によるティラピア表面の細菌群集構造の変化

これらのことから、本アクアポニックスシステムの微生物群集構造の変動が明らかになり、微生物学的安全性確保のための基礎データが蓄積された。

- (6) 研究題目 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」(リーダー:猪迫耕二)
① 研究題目 5 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

農家実証モデルシステムにおける農地において現場透水試験を実施するとともに、土壌を採取し、その理化学性を分析・評価した。粒度分析と現場透水試験から対象土壌の土性（砂質壤土）ならびに現場飽和透水係数 (2.50×10^{-4} cm/s)、圃場容水量 21.4%、永久しおれ点 6%とであった。化学性については pH 試験（1 : 2.5 抽出法）、電気伝導度（EC）試験（1 : 5 抽出法）を実施した。その結果、pH は 7.5~8.7 とやや高めであった。EC は、表層 10 cm で 0.10~0.68dS/m、下層 10 cm で 0.09~0.3dS/m であった。表層がややばらつきが大きい、全般に低い値を示した。農家実証モデルシステム建設前の EC の調査結果（表層 10 cm : 1.59、5.03dS/m、下層 10 cm : 0.47、0.57dS/m ; それぞれ 2 地点の測定値を示す。）と比較すると、表層、下層いずれも小さな値を示した。これは土壌の採取前にまとまった降雨が発生しており、両者の相違は、雨によって地表面の集積塩が溶脱されたためと考えられた。このことは、本圃場の塩類集積防止法としてリーチングが有効であることを示唆している。これらの分析方法はいずれも CIBNOR において対応可能なものである。

養殖区—水耕区—露地区の水収支を把握するために流量計を配置した（図44）。



養殖区から水耕区へは毎週 800L (EC : 6 dS/m) ×4 タンク 程度の水が供給されており、そのうちの 40~60 L 程度/タンクの水が蒸発散で失われている。その結果、毎週 600~700 L (EC : 6.5 ~7.5 dS/m) ×4 タンク = 2400~2800 L の水が露地栽培区に送水される (蒸発散量および EC は水耕栽培における作物体のサイズによって変化)。

灌漑用水の調整は、当初養殖区と水耕区内の水蒸気を回収して行う予定であったが、水耕廃液の電気伝導度が当初計画より高いことに加えて、回収水量が予想より少なく、露地栽培に耐えるほどに希釈できないことが明らかになった。そこで水耕から排水された 2,500L (EC: 6.5~7.5 dS/m) の水と、購入した地下水 (EC: 0.3~0.4 dS/m) を 1:1 で混合して約 2 倍量に希釈し、毎週 5000 L (EC: 約 4 dS/m) の水を灌漑用水として確保した。

露地栽培区では全水量を使用して栽培を行った。確保できる水量によって灌漑できる面積が定まる。5,000Lの水が確保される場合、1セクション当たり約250 L/dayを灌水（40分間）し、毎日2セクション合計で500 Lの水を消費する。この場合、約10日で5000 Lの水を消費した。

3) 養殖・農業結合システムにおける水利用効率評価法の開発

当初計画では、養殖で出荷される魚を食することで得られる熱量と水耕および露地栽培で生産される作物を食することで得られる熱量の総計を使用した全水量で割ることにより、カロリーベースの水利用効率の算出を目指していた。しかし現実には、出荷される魚をどう処理するかによって食される量も変化し、さらに作物においては収穫物がそのまま食料になるとは限らないことから、カロリーベースの水利用効率は露地栽培結合型アクアポニックスの性能評価にとって有意な指標とは言えないと判断された。

そこで、出荷された生産物の収益を消費された水量で除す収益水利用効率の算出を試みた。平成30年11月30日から平成31年4月11日までの期間において、ティラピアは7回出荷されており、その総収益は12058.6ペソとなっている。水耕区で栽培されたフダンソウは平成30年12月28日から平成31年2月15日までの期間において6回出荷されており、総収益は2,260ペソとなっている。露地栽培は販売するに至っていないことから、現段階ではシステム全体の収益水利用効率を算出できないが、これらの収益をシステムに流入した全水量（130,810m³、平成31年4月11日）で除して収益水利用効率を算出すると、 $14318.6/130,810=0.109$ （ペソ/m³）となる。この数値は、今後本アクアポニックスを水資源を有効利用した食料生産システムとしてそのプレゼンスを示す上で、極めて重要である。すなわち、水の効率的利用という観点から、他の食料生産システムとの差別化を図ることに止まらず、本アクアポニックスのさらなる水利用効率向上を目指す指標となる。

4) 露地栽培土壌の塩類化防止技術の開発

塩類集積防止技術の開発は、主に鳥取大学モデルシステムで行なった。塩分濃度が高く、かつ浅い地下水が存在する場合を想定した防止技術として作土層の下（地表面より50-60cm下方）に設置した粗粒層によるキャピラリーバリア現象の利用について実証実験を行い、10cmの粗粒層を設けることで、地下水面からの毛管上昇は、ほぼ完全に遮断できることが確認された。また、粗粒層は上昇から下層へ浸透する水の毛管移動を阻止するため、作土層において作物が利用できる水量が増大し、節水効果が期待できることも確認された。

鳥取大学農学部試験ビニルハウス内にて、トウガラシ（品種；アバネロ・オレンジ）を供試作物とするポット土耕栽培試験を行なった。処理として塩水（2dS/mおよび4dS/m）を灌漑した。その結果、2dS/mの塩水でも頻繁に灌漑することにより、対照区（0dS/m）と比較して果実収量が減少することが明らかになった。また、3カ月間の栽培で土壌に蓄積した塩濃度は対照区、2dS/m区および4dS/m区で、それぞれ0.2, 0.8, 1.2dS/m（1:5抽出法による）となり、果実収量を確保するためには適度なタイミングでリーチングする必要があることが示された。

1)で述べたとおり、農家実証モデルシステム内圃場の土壌は砂質壤土に分類されるために、リーチングによる定期的な除塩を行うことが望ましい。

5) 暫定版養殖・農業結合システムの構築・展示

養殖・農業結合システムとしてCIBNORモデルシステム（平成28年7月）および農家実証モデルシステム（平成30年8月）を構築した。農家実証モデルシステム展示における個人や団体の訪問実績を表7-1,2に示す。

表 7-1 CIBNOR モデルシステムの訪問実績

回	日付 Fecha	オーガナイザー Organizador	参加者数 Número de Participantes	参加者の特徴 Características de participantes	目的 Objetivo	備考 Otros
1	2016.9.9	CIBNOR	20名	Prim. Leona Vicario小学校	Acuaponicsを知るため	6年
2	2016.10.14	CIBNOR	25名	Prim. 5 de Abril小学校	Acuaponicsを知るため	3年
3	2016.11.4	CIBNOR	30名	Tec de Bahía Banderas Nayarit技術高校	Acuaponicsを知るため	1年
4	2016.11.11	CIBNOR	25名	Prim. 5 de abril小学校	Acuaponicsを知るため	4年
5	2017.1.20	CIBNOR	13名	Prim. Ignacio López Rayón 小学校	Acuaponicsを知るため	2年と6年
6	2017.2.24	CIBNOR	15名	Prim. Venustiano Carranza 小学校	Acuaponicsを知るため	4年と6年
7	2017.3.16	CIBNOR	30名	Prim. Fco. King Rondero小学校	Acuaponicsを知るため	6年
8	2017.4.7	CIBNOR	20名	Prim. Leona Vicario小学校	Acuaponicsを知るため	6年
9	2017.6.7	CIBNOR	16名	Tecnológico de Mulegé技術高校	Acuaponicsを知るため	4年
10	2017.6.29	CIBNOR	16名	Prim. Jaime Álvarez Constantino小学校	Acuaponicsを知るため	4年
11	2018.3.21	CIBNOR	23名	Tecnológico de Cd. Constitución	Acuaponicsを知るため	4年
12	2018.4.23	CIBNOR	22名	Tecnológico de Cd. Constitución	Acuaponicsを知るため	1年
13	2018.4.25	CIBNOR	28名	UABCS CD. INSURGENTES自治大学	Acuaponicsを知るため	2年
14	2018.5.9	CIBNOR	36名	Tecnológico de La Paz技術高校	Acuaponicsと太陽光発電装置を知るため	3年
15	2018.5.9	CIBNOR	36名	Tecnológico de La Paz技術高校	Acuaponicsを知るため	3年
16	2018.9.21	CIBNOR	33名	Prim. Heberto Castillo Martínez小学校	Acuaponicsを知るため	6年
17	2018.11.5	CIBNOR	34名	Sec. St. John's高校	Acuaponicsを知るため	1年

表 7-2 農家実証モデルシステムの訪問実績

回	日付 Fecha	オーガナイザー Organizador	参加者数 Número de Participantes	参加者の特徴 Características de participantes	目的 Objetivo	備考 Otros
1	2018.11.15	個人	2名	生産者	Acuaponicsを知るため	実際にAcuaponics システムを導入したいSan Jose de Los Cabosに住む生産者
2	2018.11.25	州政府	17名	CICIMAR大学とUABCS大学の大学院生	Acuaponicsを知るため	
3	2018.12.04	地元中学校	20名程度	中学生と引率をした教師	Acuaponicsを知るため	Cristobarが教育の一環として連れてきた中学生
4	2018.12.09	州政府	43名	生産者	Acuaponicsを知るため	
5	2019.1.13	州政府	11名	生産者	Acuaponicsを知るため	細かい技術的な質問が多くなってきた。
6	2019.2.20	個人	2名	生産者	Acuaponia開始の打ち合わせ	San Jos e de Los Cabos
7	2019.2.27	自治大学	20名程度	南カリフォルニア大学再生可能エネルギー学科の学生	太陽光発電で生み出した電力を使って食料を生産するシステムを理解するため	特別研修の開催を希望していた
8	2019.3.5	鳥取大学	12名	農学部学生	農業技術研修に一環で、Acuaponicsシステムを理解するために各生産分野の実習を行う。	作業体験
9	2019.3.14	ラリナガ（リサーチ・リーダー）	8名	生産者	Acuaponicsを知るため	Larrinaga氏が引率していた。
10	2019.4.29	Los Planes農業中学校	4名	教師	学校の科学週間でAcuaponiaについて発表する生徒を支援するためにその内容を理解するために訪問した。	今後、教育内容に加える可能性が大きい。
11	2019.5.28	エビ養殖業者	2名	技師	アクアポニックシステムを学ぶため、特にティラピア養殖のノウハウについて質問が多かった。	Los Planes地区でエビを養殖している業者
12	2019.6.7	CIBNOR	4名	日本の民間企業・コンサルタント	Acuaponicsを知るため	
13	2019.7.6	ラリナガ（リサーチ・リーダー）	6名	ラバス市民	Acuaponicsを知るため	
14	2019.8.23	CIBNOR	5名	鳥取大学学長他	視察	山田（研究代表者）が説明
15	2019.9.19	UABCS	14名	鳥取大学農学部およびUABCS学生	Acuaponicsを知るため	蕪木（G2）が説明
16	2019.9.27	CIBNOR	5名	鳥取大学副学長他	視察	山田（研究代表者）が説明
17	2019.10.25	JICAメキシコ事務所	1名	コンサルタント	プロジェクト進捗説明	他アクアポニックス施設との比較も行った。
18	2019.10.31	JICAメキシコ事務所	9名	評価委員	プロジェクト進捗説明	他アクアポニックス施設との比較も行った
19	2020.1.18	ラリナガ（リサーチ・リーダー）	7名	ラバス市職員	Aquaponics生産システムを知るため	プロジェクト後のラバス市との関係構築のため
20	2020.2.7	ラリナガ（リサーチ・リーダー）	4名	SADER 職員	Aquaponics生産システムを知るため	プロジェクト後のSADERラバス支所との関係構築のため
21	2020.3.7	鳥取大学	12名	農学部学生	農業技術研修に一環で、Acuaponicsシステムを理解するために各生産分野の実習を行う。	作業体験

② 研究課題5のカウンターパートへの技術移転の状況

現地圃場の理化学性の測定については、カウンターパートが日常的に用いている手法によって評価できることが示された。また、栽培作物の水分状態を適正に保つためのモニタリング手法として、各種センサー（TDT センサー、プロファイルプローブセンサー）の操作方法については、カウンターパートへの技術移転が完了しており、今では独自に測定を実施している。灌漑用水の調整方法およびデジタルカメラを使用した簡便な流量計のモニタリング方法については、現場の農場スタッフに伝授した。キャピラリーバリア層利用による地下水上昇の防止技術はほぼ確立されているが、現地での利用の困難さから塩分濃度が高くかつ浅い地下水が存在する場合の対策メニューとしての提示にとどまっている。

③ 研究題目5の当初計画では想定されていなかった新たな展開

水耕栽培廃液の EC 値が想定以上に高くなったため、当初計画の除湿機による回収水のみでの希釈では所定の EC 値（約 2dS/m）を調整することは困難となった。そこで EC 値の低い地下水を購入して希釈することとなり、灌漑用水の EC 値を約 4dS/m に調整することに変更した（農家実証モデルシステムの地下水の EC 値は、約 5dS/m である）。このことにより、耐塩性の低い作物に加えて、やや耐塩性の高い作物も露地栽培試験で用いることとなった。このように灌漑用水を十分に確保できない場合には、露地栽培で収益を上げるだけの栽培面積を確保することできない。したがって、より収益性の高いポット土耕栽培（日本では花き栽培などが行われている）も露地栽培として、検討できると考える（実証試験は行っていない）。

④ 研究題目5の研究のねらい（参考）

本プロジェクトでは、養殖用水および水耕栽培用培養液として利用された後の水を露地栽培の灌漑水として再利用し、乾燥地における食料生産の水利用効率を高めることを目的としている。養殖区および水耕区で生じる高湿度状態における大気中の水蒸気を除湿機によって回収し、これを水耕廃水に加えることにより灌漑用水の塩濃度を含む水質の改善と水量の確保を計る。本研究では、このような灌漑用水を利用しながら、塩類集積を生じさせない持続可能な節水的圃場水管理法の確立を目的としている。当初、水産養殖-作物水耕栽培-作物露地栽培を通じての総利用水量に対する生産可能な総エネルギー量（カロリー）を用いた水利用効率を算定する予定であったが、生産物の利用方法が多岐にわたることから、単純な総エネルギー量ではシステム全体の評価として妥当とは言えないと考えられたため、生産物の販売価格（収益）を用いた水利用効率をもってシステム全体としての節水レベルを評価する指標の提案を行った。

⑤ 研究題目5の研究実施方法（参考）

農家実証モデルシステム内圃場では、栽培開始前と収穫後に所定の位置で土壌採取を行い、pH および EC の計測を行い、塩類集積の進行度合いを確認している。また、ドリップチューブの各ラインに土壌水分・塩分センサーを埋設し、水分と塩分のモニタリングを継続している。また、水収支量を把握するために圃場の微気象観測を行うとともに、システム全体の水使用量を把握するために各区に流量計を設置し、定期的にモニタリングしている。さらに、短い時間での実証実験となるため、本アクアポニックスの廃水を用いた露地で栽培可能な作物を探索するため、様々な品目の栽培を試みている。栽培管理・収穫は、圃場の所有者であるホセ氏を中心に行っている。鳥取大学モデルシステムにおける圃場実験では、ビニルハウス内に砂質壤土を客土した試験区を

設置し、3つの灌水处理を施してトウガラシ（品種；アバネロ・オレンジ）の栽培試験を行なった。灌水は、センサーの値を基に手作業により行なった。土壌の水分状態は、農家実証モデルシステムに導入している TDT センサー、プロファイルプローブを用いた。TDT センサーは自動計測し、プロファイルプローブは手作業により測定した。また、水ポテンシャル計を新たに導入し、灌水閾値の判定に使用した。

（7）研究題目 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」（リーダー：安藤孝之）

① 研究題目 1 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

1) 南バハカリフォルニア州におけるシステムの導入可能な普及対象者・普及対象地域把握のためのベースライン調査

（1）魚類・野菜類の市場価格調査

露地栽培型アクアポニックスの実証モデルシステムの導入により実現可能な売上高の推計に必要な基礎情報収集活動の一環として、生産対象の候補となるティラピアをはじめとする魚類、トウガラシやフダンソウをはじめとする野菜類の選定、市場価格調査に協力的なラパス市内の卸売市場内店舗及びスーパーマーケットの選定、市場価格調査の記録用フォーマット（英語、スペイン語、日本語）の作成等を行った。これらをもとに CIBNORC/P（カウンターパート）が 10 日間隔で調査対象の 8 店舗を訪問して価格調査を 3 年以上にわたって実施することにより、取り上げた魚類と野菜類の市場価格変動を明らかにすることができた。その結果、実証試験において生産対象とする魚類と野菜類の市場価格特性を明らかにし、実証モデルシステムによってモデル経営で実現しうる売上高の推計が可能となった。そして、市場価格調査の協力店舗の中から露地栽培結合型アクアポニックスの現地実証試験によって生産したティラピア、及びフダンソウ等の野菜類を購入してくれる協力店舗を獲得することができた。

なお、露地栽培型アクアポニックスの現地実証試験において養殖部門で取り上げたティラピアは、塩分を含む水でも飼育可能な生命力の強い魚種として優れた飼育特性を備えているが、市場価格については低位な水準にある。除塩機能を有する野菜として水耕栽培部門で取り上げたフダンソウについても、市場価格が低位な品目となっている。

図 45、図 46、図 47、図 48 により調査結果の一例を示す。

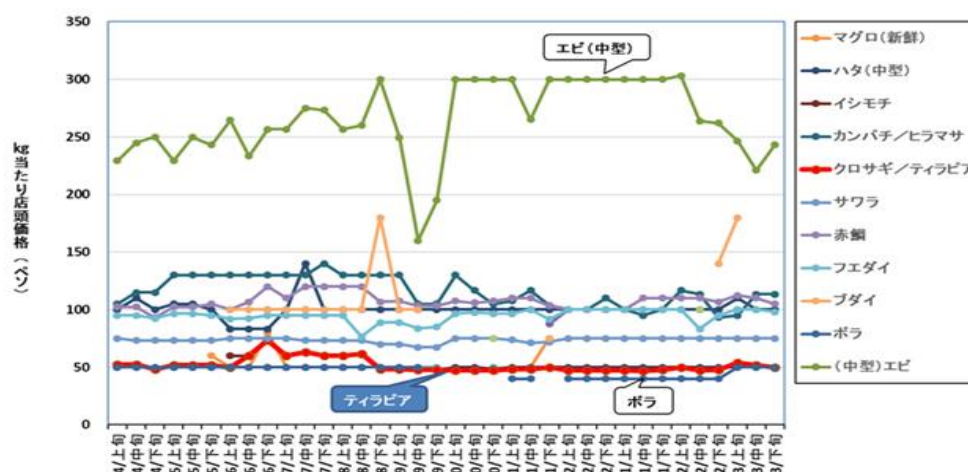


図 45 魚（尾頭付き）の店頭販売価格の推移
（ラパス市内 4 店舗の平均、2016 年 4 月～2019 年 3 月）
データ）SATRPS プロジェクトの市場価格調査による

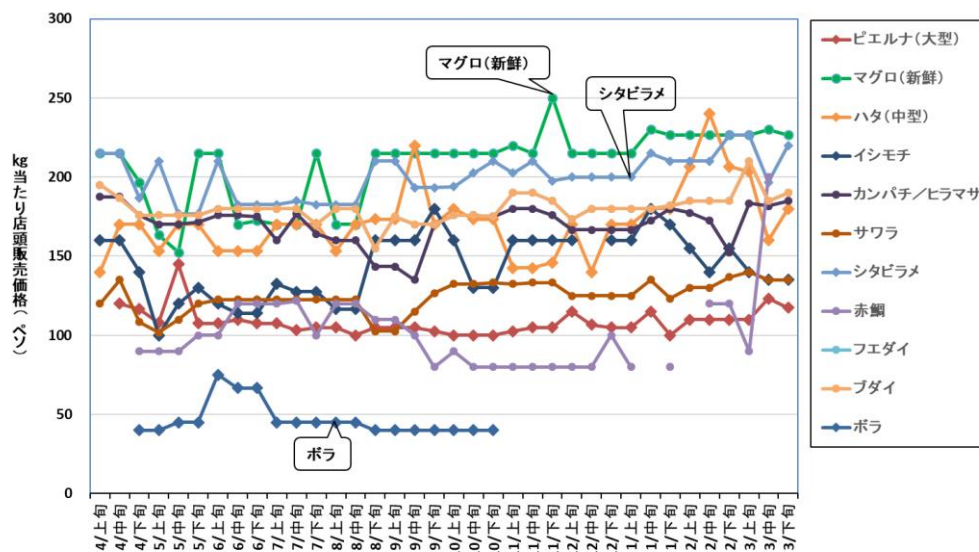


図 46 魚（ヒレ）の店頭販売価格の推移
（ラパス市内 4 店舗の 3 ケ年平均、2016 年 4 月～2019 年 3 月）
データ）SATREPS プロジェクトの市場価格調査による

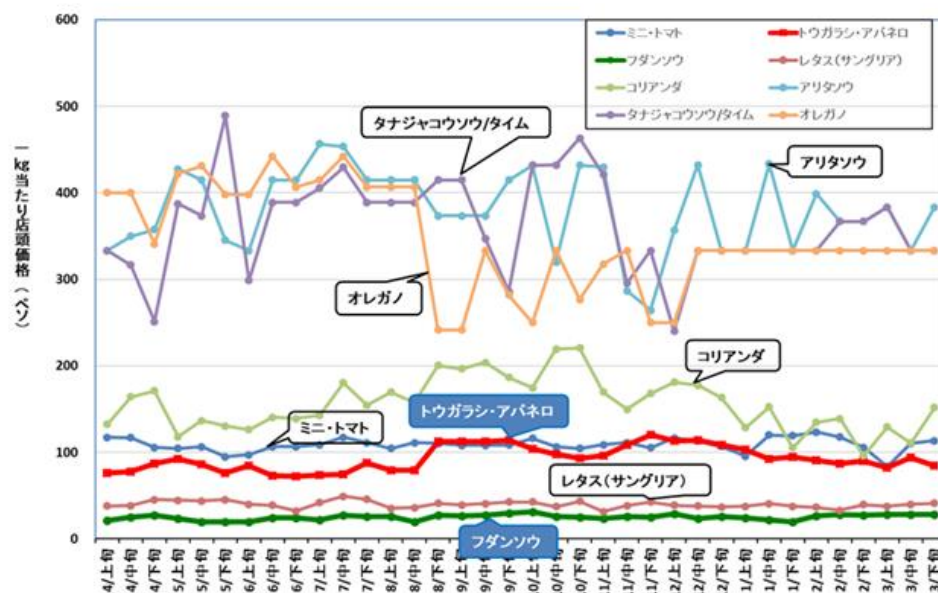


図 47 生鮮野菜の年間店頭販売価格の推移（kg 当たり）
（ラパス市内 6 店舗の 3 ケ年平均、2016 年 4 月～2019 年 3 月）
データ）SATREPS プロジェクトの市場価格調査による

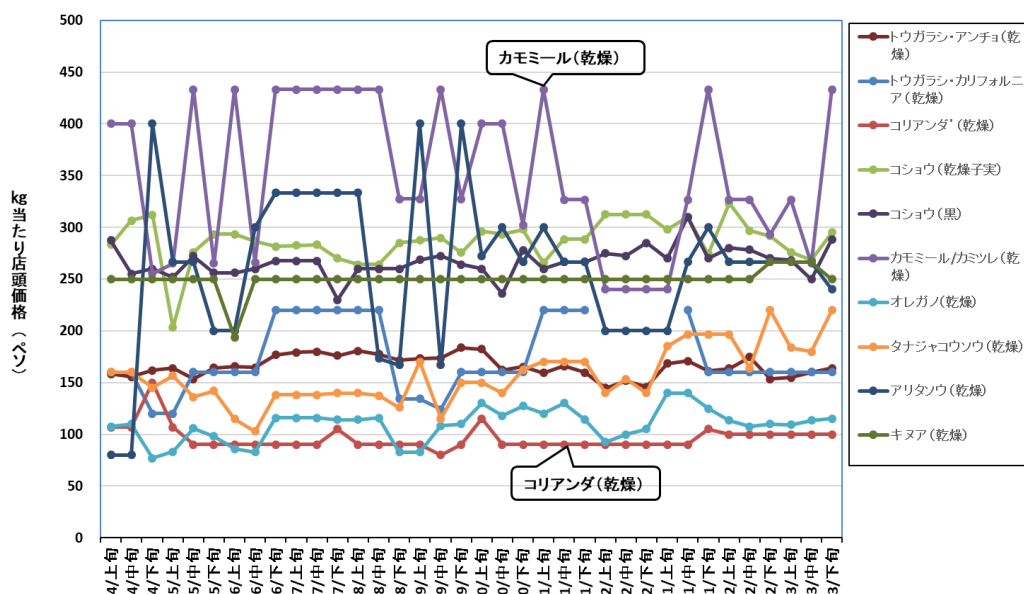


図 48 乾燥野菜の年間店頭販売価格の推移 (kg 当たり)
 (ラパス市内 6 店舗の 3 ケ年平均、2016 年 4 月～2019 年 3 月)
 データ) SATREPS プロジェクトの市場価格調査による

(2) 魚類・野菜類の販売先の開拓

実証試験において実証モデルシステムにより生産されているティラピア及びフダンソウについて販路開拓にあたった。ティラピアの販売先は、魚類の価格調査を行った“BRAVO”市場内の鮮魚店“Pescaderia Morales”、およびスーパーマーケット“Aramburo”の 2 店舗である。ティラピアの買い取り条件は、“Pescaderia Morales”では、一尾 500 グラム以上の尾頭付きで一週間当たり 100kg、22～26 ペソ／尾、尾頭付きからフィレへの加工賃は 1kg 当たり 10 ペソである。“Aramburo”では一日当たりフィレ 5kg を、フィレ 1kg 当たり 50 ペソの買い取り価格で引き受ける。なお、両店舗ともに買い取り価格は市況によって変動する可能性がある。

フダンソウの販売先として、野菜類の価格調査を行ったラパス中央卸売青果物市場内の卸売店“Hermanos Cervantes”を新規に開拓した。これによりモデル経営の既存の販売先であるスーパーマーケット“Aramburo”と併せて販売先を 2 店舗とした。フダンソウの買い取り条件は、“Hermanos Cervantes”では毎週金曜日にフィルム包装 60 束、無包装 60 束、合計 120 束を購入可能である。モデル農家の既存の販売先であるスーパーマーケット“Aramburo”では、販売先から要請される出荷日と出荷量に応じて適宜出荷する方式としている。

(3) 魚類・野菜類の出荷開始

モデルサイトでの実証試験において、ティラピア及びフダンソウの試験生産を 2018 年度に開始した。2018 年度の生産物のお荷実績を次に示す。

ティラピアについては“Pescaderia Morales”に合計 5 回、625 尾、413.7kg を出荷し、1 尾当たり 23 ペソ、総額 9,543.6 ペソの売り上げとなった。フダンソウについては“Hermanos Cervantes”に 1 回、合計 360 束 (44.12kg) を出荷し、総額 1,440 ペソの売り上げとなった。また、スーパーマーケット“Aramburo”に 2 回、合計 200 束 (37kg) を出荷し、総額 800 ペソの売り上げとなった。

2019 年度の出荷実績は、ティラピアを“Pesacaderia Morales”に合計 2 回、186 尾、104kg を出荷し、総額 2,392 ペソの売り上げとなった。フダンソウについてはスーパーマーケット“Aramburo”に 2 回、合計 160 束（46.4kg）を出荷し、総額 640 ペソの売り上げとなった。

2) 実証試験のためのモデルサイトの選定

(1) 実証試験のためのモデル経営の選定

実証試験のためのモデル経営を選定するため、ラパス市近郊において 2015 年 9 月に 8 農家および 1 グループ、2016 年 2 月に 4 農家および 3 グループに対して訪問調査を行った。これらの候補対象から次の 4 点を主要指標として選考作業を行い、実証試験のためのモデル経営として、高塩分濃度水地区にあたるエヒード、ロス・プラネスから 1 戸の農家を選定した。本課題は 2016 年度をもって完了した。

経営主： José Ángel Rodríguez Casas 氏

場所： San Juan de Los Planes

モデル経営選定のための評価指標：

- 1) 経営の自然的立地条件（アクアポニックスのための水資源環境）
- 2) 経営革新に積極的に取り組む姿勢を備えていること
- 3) アクアポニックスシステムの普及を行う能力を有すること
- 4) アクアポニックスシステムの導入に協力的かつ積極的であること

(2) 露地栽培結合型アクアポニックスの試算に基づく経営分析

実証試験のためのモデルサイトに選定したエヒード、ロス・プラネスに建設した露地栽培結合型アクアポニックスによって経営実践した場合を想定し、試算的に経営分析を行って考察した。本来ならば最低、1 年間の生産活動を経た後に実証データを用いて考察すべきところであるが、実証試験の開始が遅れて通年の実績データの収集が困難であったため、2018 年 8 月から 2019 年 7 月の期間中にモデルサイトに新設、補充したアクアポニックスの施設設備を前提とし、CIBNOR 施設内で行った実験結果データや、ラパス近郊農村の農家や集団を対象にして実施した経営実態調査の結果データ等を用いて試算的な検討を行った。

考察結果として明らかになったのは以下の点である。経営分析は生産性分析、収益性分析、生産原価分析、損益分岐点分析の手法を適用して実施したが、ここでは紙幅の都合から、収益性分析と損益分岐点分析に絞って記述する。

経営試算を行うにあたり計算基礎としたアクアポニックスの機械・施設類、並びに生産対象品目の予想収量や予想販売価格を表 8、表 9 に示す。

表8 露地栽培結合型アクアポニックスの現地実証試験で使用した機械・施設類
ロスプラネスのモデルサイト

項 目		取得価額 (ペソ)	耐用年数 (年)	年間減価償却費 (ペソ)	年間修繕費 (ペソ)
アクアポニックス専用	魚養殖施設	179,294	10	17,929	8,965
	水耕栽培施設	129,316	10	12,932	6,466
	土耕栽培施設	173,321	10	17,332	8,666
	太陽光発電施設	2,800,249	10	280,025	140,012
	建物施設	2,132,241	10	213,224	106,612
	その他共通分	39,116	10	3,912	1,956
既存の耕種部門との共用	トラクター	720,000	10	72,000	36,000
	ピックアップ・トラック	400,000	5	40,000	20,000
合計： ペソ		6,573,537	—	657,354	328,677
参 考	合計： アメリカドル	349,656	—	34,966	17,482
	合計： 日本円	40,197,179	—	4,019,718	2,009,859

注1) 機械施設類の耐用年数は、メキシコ合衆国政府の基準による。

注2) 減価償却費の計算は、定額法による。

注3) 年間修繕費は、日本農作業研究会『新版 農作業便覧』(財)農林統計協会、1985年を参考に、取得価額に
対する5%の値を適用して算出した。

注4) ペソの為替レートは 6.11516円/ペソ、18.8ペソ/US\$ とした。

表9 モデルサイトでの露地栽培結合型アクアポニックスによる年間売上高の算出基礎

項 目		施設面積 (a)	生産規模	総販売量 (kg)	販売単価 (ペソ)	総売上高 (ペソ)
魚養殖	ティラピア	4	常時1,800匹	2,700	51.8ペソ/尾	139,860
水耕栽培	アセルガ (フダンソウ)	4	48m ² (4床)	1,248	24.13ペソ/kg	30,114
土耕栽培	トウガラシ (アバネロ)	2.5	250m ² (3畝)	1,000	93.18ペソ/kg	93,180
合 計		30	—	—	—	263,154

機械・施設に関する減価償却費の計算は、メキシコ合衆国の基準に準拠した。また、生産対象には魚にティラピア、水耕栽培の野菜にフダンソウ、土耕栽培の野菜にトウガラシ (アバネロ) を取り上げ、収量には実証試験による実績見込みの数値を適用した。販売価格については、ラパス市内で継続実施した魚・野菜類の市場価格調査結果を参考にして、経営努力を通じて市場店頭価格による有利販売を実現した場合を想定して適用した。具体的に、有利販売が可能になったときの単価には一般価格の約2倍に相当する、ティラピアの尾頭付き1匹500g当たり51.8ペソ、フダンソウkg当たり24.13ペソ、トウガラシ (アバネロ) kg当たり93.18ペソを適用した。経営分析に取り上げた収益分析と損益分岐点分析で用いる分析指標の計算式を整理すると、次の通りである。

収益性分析の指標には、一般に家族経営においては所得または家族労働報酬、企業経営においては企業利潤を適用する。損益分岐点分析では、家族経営として露地再結合型アクアポニックスの生産活動を行う場合を想定し、所得を取り上げて損益分岐点を考察した。

【経営分析のための分析指標の計算式】

○収益性分析

所得＝粗収益－経営費

家族労働報酬＝所得－自己資本利子見積額－自作地地代見積額

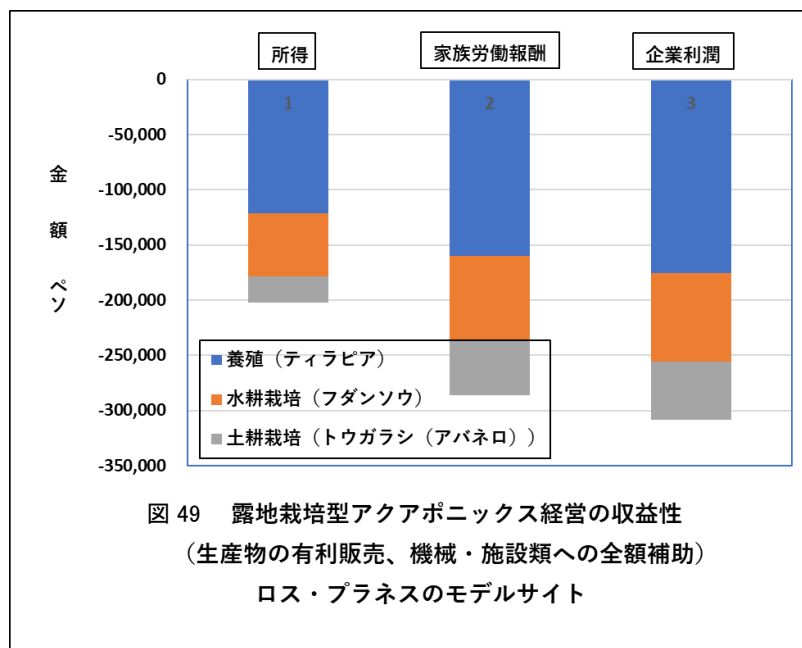
企業利潤＝家族労働報酬－家族労賃見積額

○損益分岐点分析

損益分岐点売上高＝固定費÷（1－（変動費÷売上高）

ある一定の利益を上げるための売上高＝（固定費＋必要利益）÷限界利益率

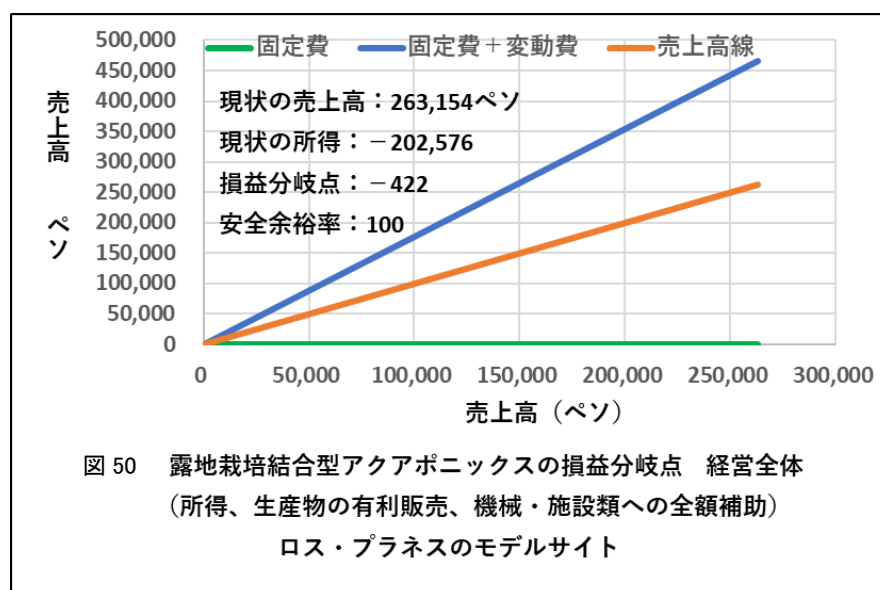
ロス・プラネスのモデルサイトに導入した露地栽培結合型アクアポニックスについて、経営試算によって収益性分析を行うと、図 49 から次のような特徴が明らかになる。



ティラピアとフダンソウ、トウガラシ（アバネロ）の生産物の販売単価を経営努力によって一般価格の2倍程度に上昇させて有利販売を行い、さらに、露地栽培結合型アクアポニックスの機械・施設類を全額補助によって取得するという、経営者にとって恵まれた条件を前提とした場合においても、収益性指標である所得、家族労働報酬、企業利潤はいずれも赤字となる。収益が赤字となる主な要因は、機械・施設類の固定資産に対する高額な費用負担、及び、導入した装置による生産規模が小規模であることによっている。機械・施設類への投資額は全体で657万ペソ（4,020万円）であり、固定費としての機械・施設類の年間減価償却費が高額となっている。これらの固定費に加えて、機械・施設類の修繕費、飼料費、稚魚調達費、雇用労賃等による変動費への費用負担が伴うことになる。ティラピアやフダンソウ、トウガラシ（アバネロ）の生産規模が小規模にとどまっている要因としては、費用負担の大きい太陽光発電装置の調達価額と発電能力に規定されて装置容量が制限されていることによる影響が大きい。また、これらの生産物の市場販売価格が相対的に低廉であることが売上高を抑制する要因となっている。

損益分岐点分析によって、生産物の有利販売と機械・施設類の調達に対する全額補助を前提にして、露地栽培結合型アクアポニックスの経営実績が黒字に転換する条件について考察すると、現状で赤字となっている所得を黒字に転換するためには、図50に示すように総費用（固定費＋変動費）4,465,729ペソを上回る段階にまで、現状対比177%の水準にまで売上高を増大させなければならないことが明らかになる。そして、この条件を満たす収穫量を確保するには、現状対比でティラピア186%以上、フダンソウ281%以上、トウガラシ（アバネロ）125%以上に収穫量を高

める必要のあることが計測される。



なお、メキシコ合衆国政府統計によれば、南バハカリフォルニア州における 2016 年の 1 世帯当たり年間平均収入は 225,404 ペソである。モデルサイトに設置した露地栽培結合型アクアポニックスの実証試験の実績に基づき、損益分岐点分析によってこの所得目標を実現する売上高を計測すると、目標達成は極めて厳しい状況にあると言わなければならない。

モデルサイトで行った実証試験、並びに CIBNOR 施設での実験、ラパス市近郊農村の農家や集団を対象にして実施した経営実態調査等から得られたデータや資料を用いて試算的に実施した以上の経営分析から、露地栽培結合型アクアポニックスが経営経済的側面において次のような特徴を有していることを窺うことができる。

露地栽培結合型アクアポニックスに対する投資は高額であるため、安定経営を実現するにはそれに対応した高産出が求められる。ところが、装備施設の容量による影響を大きく受けて生産規模が小さく、また、取り上げた生産物の販売価格が相対的に低位であるため、産出額が少額にとどまる見込みが高い。そのため、機械・施設類の減価償却費や修繕費、購入飼料費、稚魚購入費、労働費等によって構成される必要経費を、売上高によって賄えない状態に陥ることが予測される。

経営試算に基づくこうした考察結果によれば、露地栽培結合型アクアポニックスの経営確立に向けて、生産装置の容量増大や利用回転率の向上等による生産規模の確保、そのための太陽光発電に対する技術革新、高価格販売が期待できる生産品目の選択、生産物の有利販売への取組、機械・施設類導入に係わる経費節減対策と経営外部からの資金補助等が重要な要件となっていることが窺える。

さらに、モデルサイトでの実証試験への協力農家の経営状況に照らして考察すると、露地栽培結合型アクアポニックスによる生産活動は、経営事業の多角化を進めて既存の農場の生産規模を飛躍的に高めるような経営革新に挑戦することを意味する。経営者にはそのための能力が求められることになり、露地栽培結合型アクアポニックスの経営確立に向けて経営者の企業家的精神が重要な要素となっていると判断できる。

3) 塩分を含む水の塩分濃度および普及対象農家等のニーズに合わせた養殖・農業結合システムの検討

実証試験の実施にあたりモデルサイトに選定したのは、ラパス市の南東部に位置するロス・プラネス地区である。当地区に経営立地する農家・ホセ氏の協力を得て実証試験を行った。ロス・プラネス地区は、ラパス市一帯の農村のなかでは塩分濃度の高い井戸水を利用して営農を行う劣等水地区に分類される。プロジェクト予算による制約から劣等水地区と対照するための良質水地

区でのモデルサイトの設定は実現が困難であった。ただし、実証試験の開始に先行してシステムの開発実験を行った CIBNOR のある場所は、地下水の水質面からみると劣等水と良質水との中間的な地区に分類される。そこで、露地栽培結合型アクアポニックスの開発研究は、ロス・プラネスの実証試験と CIBNOR の実験施設における成果を中心的に活用して進めることとし、良質水地区向けのシステム開発については、相対的に水利用環境の厳しい条件下にある 2 地区で開発されたシステムを応用して検討することとした。

モデルサイトでの実証試験の実施にあたり、可及的に協力農家の意向が反映できるよう調整に務めた。とくに、露地栽培結合型アクアポニックスの水耕栽培や土耕栽培で生産対象とする野菜類の作目選択においては、経営者の意向を尊重するようにした。野菜類の市場販売については、経営者が既に構築している販売ルートが活用できるようにした。また、生産施設の改良について経営者の意向が反映できるように努めた。露地栽培結合型アクアポニックスには高度な集約的技術が採用されているところから、養殖、水耕栽培、土耕栽培の各工程に即して経営者による生産技術の取得が効果的に進むよう、研究プロジェクトメンバーによる経営者への指導に力を注いだ。アクアポニックスによる土耕栽培については、協力農家が既存農地で行っている生産活動に対して研究成果を反映させることができるよう、既存の耕作圃場において灌漑水の水質分析や土壌分析を実施した。また、経営実態調査を通じて露地栽培結合型アクアポニックスの新たな経営部門の導入に向けた条件整備について検討した。

4) 実証サイトでの実証試験

モデル農家の主人であるホセ・アンヘル・ロドリゲス氏の協力を得て、同氏の圃場に設置した農家実証モデルシステムを用いて実証試験を平成 30 年 8 月 20 日に開始し、現在（令和 2 年 7 月）も継続されている。ティラピア養殖について、概要を示す。

4. 1) 養殖の概要

農家実証モデルシステムの閉鎖型循環式養殖システムの仕様に合わせて、ティラピアの生産方式を構築するとともに、実証農家に対して生産・出荷指導を行った。具体的には稚魚の導入法、給餌法、各飼育装置のメンテナンス、飼育水管理法、固形廃棄物の除去法、管理項目のチェック法、出荷前処理法および出荷方法について、生産方式に合わせて指導した(図 51-56)。



図 51 ティラピア養殖における講義



図 52 飼育装置の説明



図 53 沈殿物の除去作業



図 54 ティラピアの魚体重測定の実習



図 55 配合飼料の準備



図 56 質疑応答の様子

4. 2) 養殖システムの概要

農家実証モデルシステム内の養殖システムには、総水量 16.4kL の集中濾過システムを採用した。本飼育システムは 2kL の飼育槽(直径: 1.8m、深さ:0.9m)6 基、沈殿槽(直径: 1.9m、深さ:1.5m)1 基、生物濾過槽(直径: 2.0m、深さ:0.8m)1 基および集合槽 1 基から構成される(図 57、58)。水流ポンプ(325W)により、飼育水を循環させる。また、生物濾過は濾材にプラスチックの比重の軽い担体を用いて流動床式とした。水槽および生物濾過槽は比較的安価な金網とライナーで製作されている。室外にあるエアポンプから飼育槽および生物濾過槽に空気が送り込まれ、飼育水中の酸素濃度が維持され、飼育水循環およびエアレーションに必要な電力は太陽光発電システムから供給される。

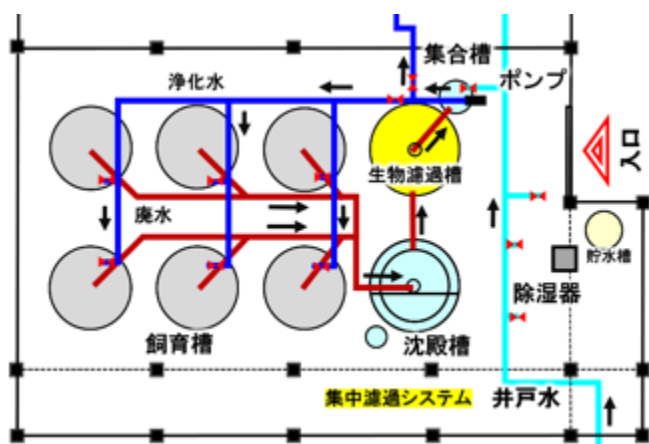


図 57 養殖システムの概要 (平面図)



図 58 養殖システムの外観

4. 3) 生産の概要

2018 年 8 月 20 日に CIBNOR にてバイオフィロック法にて育成したティラピア稚魚(50~200g)を体重別に 3 グループに分けて各 200 尾ずつ 600 尾導入した(図 59)。初期移動時に水質のショックなどにより数尾の個体が死亡したが、稚魚は順調に成長した。飼育管理に関しては成長に伴い、生物量が多くなったことや出荷予定サイズの 500g を超過しても飼育を継続したことから、しばしば水質が悪化し、溶存酸素の低下やそれに伴う食欲の減退が確認された(図 60)。このような状態が確認された際は給餌を控えるなどの適切な管理を行っている(図 61-63)。8 月には水温が 30℃ 程度であったが 1 月には 20℃ を下回るまで水温は低下した。水温低下に伴い、ティラピアの成長率は低下したが成長が停滞することはなく、順調に生産できている(図 64)。また、水耕栽培システムへの廃水供給も可能となった。最終的に魚体重 500g 以上のティラピアを出荷することがで

きるようになった。2018 年度は合計 413kg のティラピアが出荷できた。



図 59 CIBNOR からロスプラネスの農家実証モデルシステムへの稚魚の導入

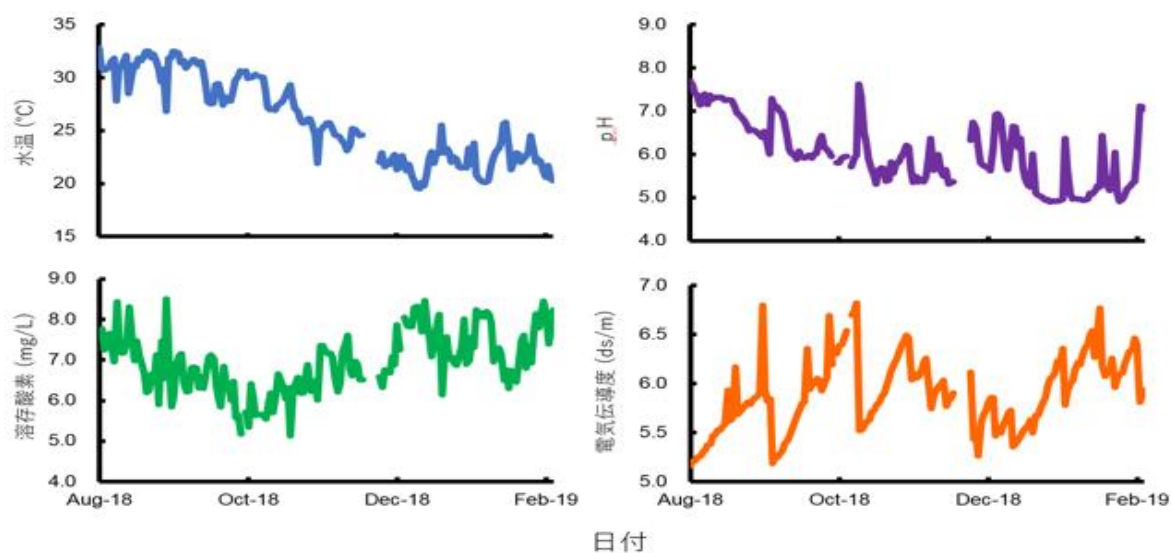


図 60 農家実証モデルシステム内の循環式養殖システムにおける水温、溶存酸素、pH および電気伝導度の経時的変化



図 61 水質測定の様子



図 62 給餌の様子



図 63 脱血作業の様

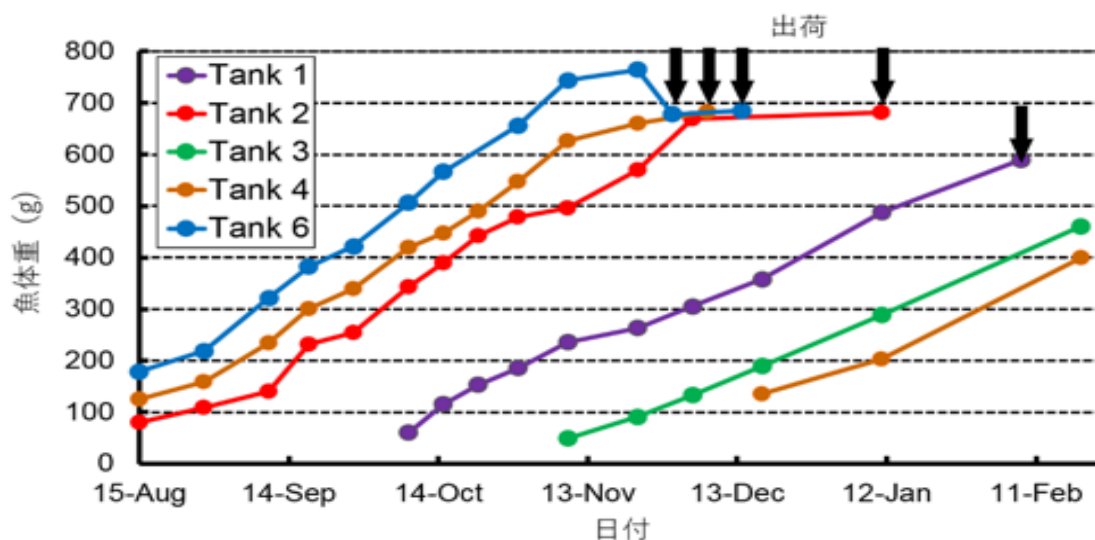


図 64 農家実証モデルシステム内の循環式養殖システムにおけるティラピア魚体重の経時的変化

5) 実証試験の結果を元にした養殖・農業結合システムの技術マニュアルの策定

建設した2基の露地栽培結合型アクアポニックス（CIBNOR モデルシステム、ロスブラネス農家実証モデルシステム；いずれもメキシコ・南バハカリフォルニア州ラパス市）、CIBNOR 研究施設、鳥取大学および東京海洋大学で実施した各種試験結果をもとに、技術マニュアルを完成させた（図 65）（2020 年 5 月）。ラパス市は砂漠気候に区分され降水量は少なく、また地下水塩分濃度は、塩感受性作物であれば成育が減退するレベルである。一方で世界の乾燥地域に目を向ければ、気候、土壌、地形、地下水の量・質など自然環境は、実に様々である。そのような地域でも本アクアポニックス技術が導入できるように、可能な限り本技術マニュアルには汎用性を持たせるように工夫した。量的に乏しく塩性化が進行している地下水を最大限効率的に利用することにより、持続的な食料生産法を模索する世界の乾燥地域の人々にとって、本技術マニュアルが活用され、環境調和型の食料生産システムの構築につながることを期待できる。

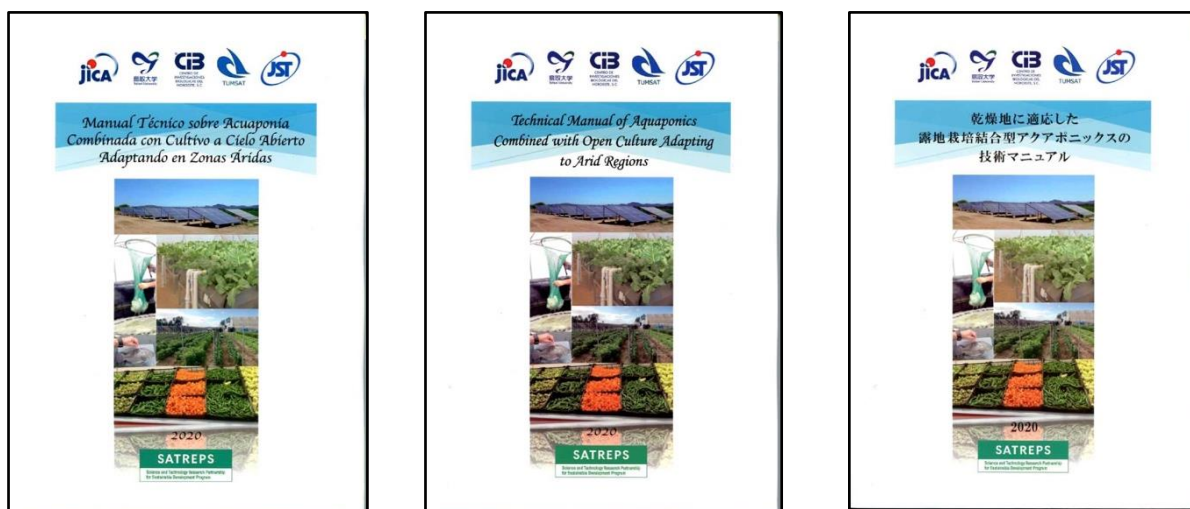


図 65 技術マニュアルの表紙

左から、スペイン語版(216 ページ、ISBN978-4-9907587-9-0)、英語版(210 ページ、ISBN978-4-9907587-7-6)、日本語版(185 ページ、ISBN978-4-9907587-6-9)

6) 普及対象者がシステム導入のために必要となる要件の把握

社会実装グループ（ファン・ラリナガ博士）の指導の下、南バハカリフォルニア州政府から派遣されている普及員が、博士とともに調査中である。国家乾燥地委員会（CONAZA）が、補助金を出して建設させたアクアポニックスが同州には 8 基あるが、所有者の経済的および技術的理由から、全て稼働を停止している。これらのアクアポニックスの再稼働も視野に入れて、我々の構築したアクアポニックス導入のために必要な要件を調査している。

② 研究課題 6 のカウンターパートへの技術移転の状況

1) 魚類・野菜類の市場価格調査

魚類及び野菜類の定期的な市場価格調査は、メキシコ側のカウンターパートに依頼することとし、事前に調査方法等について説明と調整を行った。調査は通年の 10 日間隔で実施し、調査対象にはプロジェクトの主旨を理解して協力的な店舗を抽出して、訪問調査を行う方式を採った。その際、商品単位の重量が店舗間や調査時期により異なる場合には、単位重量(1kg)当たり価格に換算できるように調査方法を統一するなどの必要な指導・調整を行った。

2) モデルサイトでの実証試験における業務推進体制

モデルサイトであるロス・プラネスでの実証試験の効果的な推進を目指し、以下のような組織体制を整備してメキシコ側カウンターパートが主体的に活動できるように務めた(図 66)。本業務推進体制について実証システムの運用、商品生産、収穫後処理・出荷、販売、全体総括の各活動に即して説明する。

＜実証システムの運用＞生産活動を担当する各グループがグループリーダーの責任の下に、設置した機械・施設の運用にあたる。

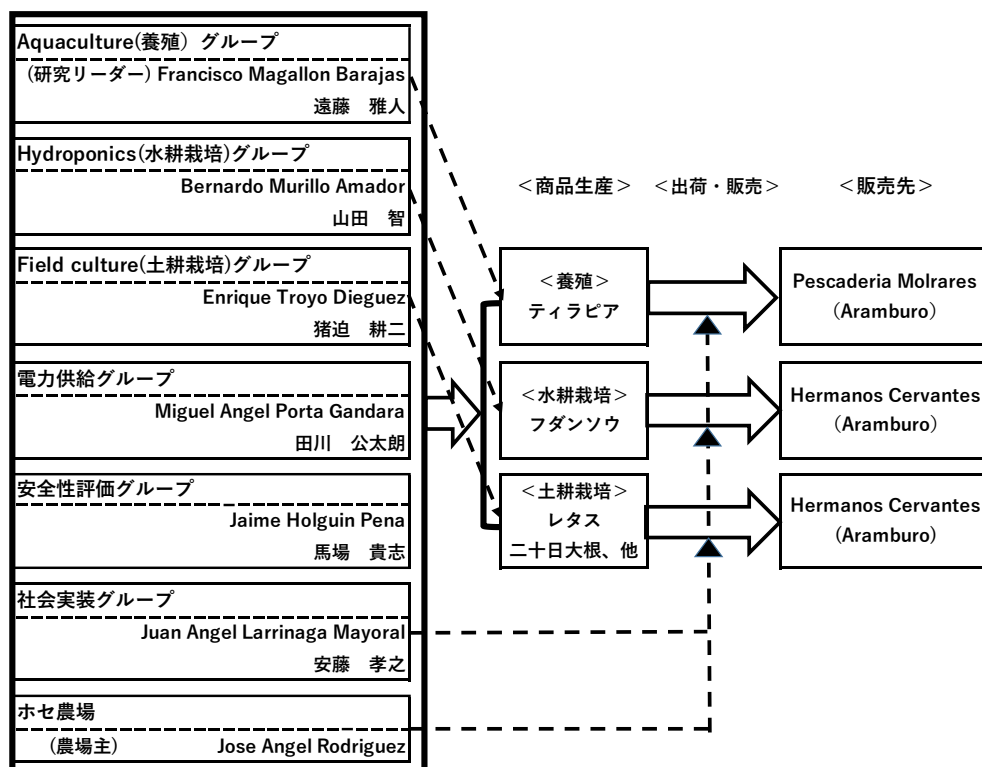
＜商品生産＞養殖、水耕栽培、露地栽培の 3 グループが主体となり、その他グループの支援を受けてモデル農家との協力の下に取り組む。

＜収穫後処理・出荷＞養殖、水耕栽培、露地栽培の 3 グループが主体となり、モデル農家と協力して作業を行う。

＜販売＞マーケティングについては、社会実装グループが主体となり、モデル農家と協力して販売先、販売方法等を検討する。

＜全体統括＞現地実証試験における生産現場での活動は、モデル農家と協力して研究責任者（ファン・ラリナガ博士）が担当する。

<実証試験構成組織>



システムの運用：生産活動を担当する各グループが研究リーダーの責任の下に、設置した機械・施設の運用にあたる。

商品生産：養魚、水耕栽培、土耕栽培の各グループが主体となり、その他グループの支援を受けて農場主との協力の下に取り組む。

出荷：養魚、水耕栽培、土耕栽培のグループが主体となり、農場主と協力して作業を行う。

販売：マーケティングについては、社会実装グループが主体となり、農場主と協力して販売先、販売方法等を決定する。

全体統括：現地実証試験における生産現場での活動は、農場主と協力して研究責任者（Juan博士）が担当する。

図 66 モデルサイトでの実証試験における業務推進体制

ティラピアの出荷に際しては、出荷日の決定、餌抜き、血抜き等の出荷前処理、氷の調達、輸送手段の手配、販売など様々な準備が必要である。このために関係者間での調整を遺漏なく行うために出荷要望書（Solicitud de preparación de pescados）を作成した（図 67）。この出荷要請書を全体統括責任者である Juan 博士が作成し、関係者へ指示する体制を整えた。

③ 研究題目 6 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

実証試験のためのモデルサイトについては、当初計画では少なくとも 2 カ所としていたが、次のような条件から 1 カ所に変更した。当初計画では、地下水塩分濃度が高い地域と低い地域に 1 基ずつ、アクアポニックスモジュールを建設し、実証試験を実施する予定であった。しかし、建設費が予想より高額であったこと、モデル仕様作成に時間を要したこと等の理由から、地下水塩分濃度が高い地区（ロス・プラネス）のみでの建設とした。地下水塩分濃度が低い地区として、当初計画のトドス・サントスの代わりに、CIBNOR に設置済みのモデルシステムを活用することとした。CIBNOR モデルシステムにおけるモジュールは、試験研究のための精密仕様となっているが、地下水塩分濃度が低い地区として実証試験データの利用が可能であるところから、代替利用することとした。

（州政府の普及員の配置）

州政府から 2 名の普及員が配置され、州政府とプロジェクトの連携関係が強化された。このことにより、プロジェクトの持続性、他地域への波及効果などが期待される。

④ 研究題目 6 の研究のねらい（参考）

魚類、野菜類の市場価格、農業経営実態等の基礎データの収集、実証試験によるデータ収集等を通じ、実証試験への協力を仰ぐモデル経営の選定、実証試験における圃場の土壌及び灌漑用水の分析、実証モデルシステム導入による収益性の評価等を的確に行い、実証モデルシステムによる経営改善効果を向上させるための体系的な検討を行う。

⑥ 研究題目 6 の研究実施方法（参考）

魚類、野菜類の市場価格調査は、ラパス市内の卸売市場、スーパーマーケット等のうち、価格調査に協力的な店舗（6 箇所）を選定し、通年の 10 日間隔で店頭の販売価格を調査する。土壌及び灌漑用水の分析は、モデル候補農家について、地下水の pH はその場で pH メーターを用いて測定し、EC は CIBNOR の研究室で測定する。土壌の pH と EC は CIBNOR 研究室において土壌試料を風乾後、蒸留水を加え（1:5）、EC メーターで測定する。

II. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

（1）プロジェクト全体

プロジェクト目標を達成させるためには、日墨両国機関間における情報の共有が最も重要である。本プロジェクトでは、養殖と農業を結合させた生産システムを構築するが、これに参画する構成員は、水産学、作物学、微生物学、水利用学、気象学、電子工学、経営学、経済学等広範な研究分野に所属する。参画研究分野（グループ）内はもとより、グループ間における活発な情報交換なくしては、ひとつのまとまった生産システムの構築および普及要件の洗い出しをすることはできない。

The image shows a document titled "Solicitud de preparación de pescados". It contains two main sections, "Representación de Grupo 1" and "Representación de Grupo 2", each followed by a table for recording information. The tables have columns for "Fecha y hora de entrega", "Lugar de entrega", "Campeador", "Especialista", "Observaciones", "Cantidad", "Fecha de la visita", and "Otros". The document is in Spanish and includes instructions for use.

図 67 ティラピアの出荷要望書

このために、1) 渡航時に行なうグループ内ミーティング・グループ間ミーティング、2) 日本国内でのグループ内ミーティング・グループ間ミーティングを活発化させている。そのために、メールや電話だけではなく、TV 会議システムの利用頻度を高めている。2019 年 11 月には JST/JICA による終了時評価現地調査が実施され、全プロジェクトメンバーによる研究成果の発表が行われた。

プロジェクト期間終了直前となる令和 2 年 2 月 21 日から 7 月 18 日までに、18 回のスカイプ会議を開いている。当初は、3 月 6 日に予定していたセミナー開催について協議することが目的であった。しかし新型コロナウイルス（COVID-19）感染拡大の影響により、開催が延期（令和 2 年度内）されたため、協議は主に、“COVID-19 による活動への影響”、“CIBNOR モデルシステムおよび農家実証モデルシステムでの進捗確認”、“プロジェクト期間終了後 3 年間の計画”についてなされている。

プロジェクト成果の発展の場を獲得するために、日墨双方が独自の予算を獲得した。日本側では、三井物産環境基金（令和 2 年度～4 年度；1,100 万円、「乾燥地における高塩濃度地下水を 3 段階利用した養殖-農業結合システムの構築」、研究代表者；山田 智）が採択された（令和 2 年 3 月）。狙いは、SATREPS 研究よりも、**より高い塩分を含む地下水を利用した本アクアポニックスを構築**する点である。またメキシコ側では、南バハカリフォルニア州科学技術評議会（COSCYT）補助金（2020 年 6 月～2021 年 3 月；240,000 ペソ＜約 150 万円＞、「南バハカリフォルニア農村住民の食料確保戦略としてのアクアポニックスシステムによる食料生産の運営に関する研修と技術移転」、研究代表者；ファン・ラリナガ）が採択された（2020 年 5 月）。狙いは、南バハカリフォルニア州の農村地域において、**本アクアポニックスの技術・普及・流通面での研修を実施**することである。このように、プロジェクト期間終了後においても、活動が継続できるような体制を整えている。

(2) 研究題目 1：「塩分を含む水を利用した養殖技術の確立」（リーダー：遠藤雅人）

農家実証モデルシステムの運用が始まり、閉鎖型循環式養殖システムの構築からティラピアの導入、飼育管理から出荷まで一連の養殖作業が開始された。カウンターパートのフランシスコ・マガジョン博士を中心としたメキシコ側の養殖グループでは、九俣業務調整員の支援もあり、積極的にティラピアの導入、出荷作業を行う体制が出来上がった。遠藤も含め日本側は様々な提案や助言はできるが現場での長期的なティラピア養殖への対応は不可能であった。しかしながら、ティラピア養殖のマニュアル暫定版のもと、適切な飼育管理が行われ、現在高品質な食品の出荷にまで到達している。これは関係者全員の協力があってこそその結果である。特に研究者や学生が実質 4 年間の交流を経てお互いの研究関連施設を行き来し合う仲となり、関係性も非常に良好である。また、この 4 年間で連携する人たちの数も職種も広がっている。ティラピア養殖のみならず、システム運用に関連する様々な方たちとの協力体制が構築されたことを実感している。今後は普及に向けた問題点の改善と普及方針について議論を行い、研究開発が新たな産業につながっていくための着実な社会実装に向けた活動を模索する。

(3) 研究題目 2：「塩分を含む水を利用した栽培技術（水耕・露地）の確立」（リーダー：山田智）

水耕栽培は養殖と露地栽培の間にあり、システム全体の水の支出において重要な位置にある。そのため、グループ内はもとより、他のグループとの情報交換やコミュニケーションが非常に重要である。毎週のデータ共有、およびモデルシステムの管理を行う技術者などを日本での短期研修に招聘することで、グループ内での目標達成意識を高めた。

(4) 研究題目 3：「養殖・農業結合システムに適した電源の最適化」（リーダー：田川公太郎）

独立型太陽光発電システムを早期に準備し、平成 30 年 1 月末に詳細設計を終えて、建設工事の段階へ移行した。平成 30 年 4 月末に完了予定であったが、CIBNOR による太陽電池パネルの調達が遅れ、建設完了が平成 30 年 7 月末に延期となった。アメリカにおいて輸入する太陽電池パネルに関税を賦課することが決まり、太陽電池パネルの価格が変動し、当初見積を受けていた太陽電

池の価格が上昇し、当初予定の経費で調達することが困難となったことも延期の一因であると考えられる。

送電線が届いていない農地における露地栽培型アクアポニックスでは、電力供給の停止は飼育魚の死を招くことになる。したがって、独立電源による安定した電力供給の確保と、突発的な故障を速やかに検知しなければならない。農家での実証試験を行うにあたり、ラパス市に所在する太陽光発電施設をいくつか訪問し、それらのメンテナンス状況を把握するなどして、太陽光発電システムのメンテナンスや故障時の修理に対応できる地元業者のリストアップを実施した。そして、農家での実証試験を開始する前に、本グループの研究者、農家、メンテナンス業者の関係者で協力体制を作り、電力供給に係わる設備の構成や性能、配電回路、注意事項、故障時の連絡などについて確認した。さらに、導入設備の製造会社が運営する衛星回線による遠隔監視システムを利用して、システムの異常監視と電力需給のモニタリングを可能な限り実施し、CIBNOR および鳥取大学の研究者間で情報共有を強化した。

Ⅲ. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

社会実装研究グループの役割は、主に実証サイトでの現地実証試験に関する事項である。現地実証試験は、開始されてからようやく1年を経過したところで、社会実装研究グループでは学術論文や書籍の執筆に結びつく質保証された研究用資料やデータを充分に入手することができていない。そのため、これまでのところ学術論文や書籍の執筆は行っていない。ただし、ラパス市内で4年間にわたって実施したアクアポニックスに関係する魚・野菜類の市場価格調査のデータを資料集に取りまとめ、プロジェクト研究の推進に供すると同時に、調査協力店舗等の関係者に還元した。また、利用可能な資料やデータを用いて大学での講義やゼミナール報告等を行っている。さらに、学部学生をメキシコに帯同し、現地実証試験等の結果を用いて卒業論文研究の指導を行い、若手研究者の育成にあたった。

(2) 社会実装に向けた取り組み

社会実証研究グループが課せられた研究課題は、開発した露地栽培結合型アクアポニックスの開発技術を、南バハ・カリフォルニア州の地域内に向けて普及に供することができるよう、①実証サイトの設定、②現実証試験における協力農家の選定、③現地実証試験の円滑な推進、④現地実証試験から得られた資料やデータに基づき露地栽培結合型アクアポニックスの普及のための必要要件を解明することにある。

ベースライン調査を通じて①、②の課題に取り組み、ロス・ブラネスにおいて現地実証試験を開始できるように基盤を整えた。また、ベースライン調査の一環として、露地栽培結合型アクアポニックスの現地実証試験における生産対象品目を確定させるため、ラパス市内で魚類・4店舗、野菜類6店舗の協力を得て市場価格調査を4年間にわたって継続実施した。そして、データ解析を通じて生産対象品目絞り込みのための有益な市場情報を抽出することができた。その成果は、資料集に取りまとめてプロジェクト研究の推進に供するとともに、調査協力店の経営者に向けて還元した。③の課題については、現地実証試験への協力農家を定期的に訪問し、実証試験の円滑な推進に向けて調整にあたるとともに、経営実態調査を実施してアクアポニックスの経営実績データの収集を行った。その成果を、経営分析を中心にして経営マニュアルとして取りまとめた。④の課題については、①、②、③への取り組みによって得られた資料やデータに基づき、露地栽培結合型アクアポニックスの普及のための必要要件を7項目にわたって摘出し、解説した。プロジェクト終了後の開発技術の普及に向けた有益な資料になると見込まれる。

なお、プロジェクトにおける「社会実装に向けた取り組み」については、中間評価の指摘事項2に対する回答として取りまとめた「1. 露地栽培結合型アクアポニックスの社会実装に向けた活動」に作図によって要約しているので参照していただきたい。

IV. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

日本のプレゼンス向上に寄与する事例として、いくつかの日本のメディアに取り上げられた記事を以下に記載する。

(1) 日本海新聞 (平成 26 年 5 月 27 日)

日本海新聞に、本プロジェクトの概要が掲載された。掲載内容を以下のように要約した (図 68)。

【要約】鳥取大学が CIBNOR 等と共同で、乾燥地における地下水を用いた農水産物生産システムの開発を始める。塩分を含む地下水を用いて養殖を行ない、その排水を用いて塩分を吸収して成長する特徴をもつ作物の水耕栽培を行なう。水耕栽培で浄化された水を露地栽培に生かすという画期的な手法である。



図 68 平成 26 年 5 月 27 日付日本海新聞

(2) 鳥取大学広報誌 風紋 42 (平成 26 年 8 月号)

鳥取大学広報誌「風紋」に、本プロジェクトの概要が掲載された (<http://www.tottori-u.ac.jp/fumon/fumon42/index.html>) (図 69)。



図 69 鳥取大学広報誌 風紋 42 (P. 15)

(3) 鳥取大学公式ホームページ (平成 26 年 5 月 8 日)

鳥取大学公式ホームページに、本プロジェクトの概要が掲載された (<https://www.tottori-u.ac.jp/item/11564.htm>) (図 70)。

(4) NHK テレビ番組 (平成 26 年 5 月)

本プロジェクトの概要が NHK テレビ番組「いちおし NEWS とつとり」で紹介された (18:10~19:00)。

(5) 国際シンポジウム (平成 27 年 12 月 19, 20 日)

国際シンポジウム「SATREPS 水産養殖技術開発研究プロジェクトネットワーク」(平成 27 年 12 月 19, 20 日、於 品川区)に山田智研究代表者(鳥取大学)、蕪木絵実研究員(鳥取大学)、遠藤雅人博士(東京海洋大学)およびフランシスコ・マガジョーン博士(CIBNOR)が参加した(図 71)。研究代表者は、本プロジェクト概要、フランシスコ博士は、プロジェクトサイトにおける養殖技術開発の現状について講演した。本シンポジウム概要は、日刊水産経済新聞に記事として掲載された(平成 27 年 12 月 24 日)。



図 70 鳥取大学公式ホームページ (プロジェクト概要)

(6) 鳥取大学農学部オープンキャンパス (平成 28 年 7 月 24 日)

鳥取大学農学部のオープンキャンパスで、研究代表者が参加した全国の高校生およびその保護者に対して、模擬講義を行なった (平成 28 年 7 月 24 日)。「魚養殖と作物栽培をつなげるアクアポニックス」を講義題目として、本 SATREPS 研究を紹介した。

(7) 2017 生態工学会念年次大会オーガナイズドセッション (平成 29 年 6 月 24 日)

生体工学会におけるオーガナイズドセッション「乾燥地に適応した水産養殖と農業の結合システムの開発-メキシコ南バハカリフォルニア州における持続的食料生産のために-」において、本研究における現状と今後の展開について講演を行った。質疑も活発に行われ、有意義な意見交換がなされた。

(8) 日本砂丘学会第 64 回全国大会 (平成 30 年 8 月 21 日、於 ; つくば)

日本砂丘学会第 64 回全国大会において、「塩水を利用した養殖-農業結合システムの開発 -乾燥地における持続的食料生産のために-」と題して、本プロジェクト概要を、一般市民に公開した。



図 71 平成 27 年 12 月 24 日付日刊水産経済新聞 (国際シンポジウムの概要)

V. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】 (公開)

VI. 投入実績【研究開始～現在の全期間】 (非公開)

VII. その他 (非公開)

以上

VI. 成果発表等
 (1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)
 ①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2014	Masako Hishida, F. Ascencio-Valle, Hideyasu Fujiyama, A. Ortuño-Crus, Tsuneyoshi Endo and JA. Larrinaga-Mayoral, “Antioxidant enzyme responses to salinity stress of Jatropha curcus and J. cinerea at seedling stage”, Russian Journal of Plant Physiology, 2014, vol.61 No.1. pp53–62	10.1134/S1021443714010063	国際誌	発表済	
2016	Satoshi Yamada, Taketo Yamaguchi, Raúl David López Aguilar, Juan Ángel Larrinaga Mayoral and Hideyasu Fujiyama, “Characteristics of Na, K, Ca, Mg and P absorptions of kochia plant (Kochia scoparia (L.) Schrad.) under salinity condition”, Sand Dune Research, 2016, Vol. 63, pp.1–8		国内誌	発表済	
2018	Tanaka, H., Yamada, S., Masunaga, T., Yamamoto, S., Tsuji, W. and Murillo-A., B., “Comparison of nutrient uptake and antioxidative response among four Labiatae herb species under salt stress condition.” Soil Science and Plant Nutrition, 2018, vol.64 No.5. pp589–597	10.1080/00380768.2018.1492334	国際誌	発表済	
2018	María del Carmen Mercado Guido, Hideki Tanaka, Kei Yokoyama, Sadahiro Yamamoto, Tsugiyuki Masunaga, Wataru Tsuji and Satoshi Yamada, “Selective Absorption and Transport of K over Na as Salinity Tolerant Mechanism in Rosemary (Rosmarinus officinalis L.) and Thyme (Thymus vulgaris L.) Plants.” Sand Dune Research, 2018, Vol. 66, pp.1–8		国内誌	発表済	
2019	María del Carmen Mercado Guido, Hideki Tanaka, Tsugiyuki Masunaga, Wataru Tsuji, Sadahiro Yamamoto, Bernardo Murillo Amador and Satoshi Yamada, “Salinity tolerance mechanism and its difference among varieties in rosemary (Rosmarinus officinalis L.) – Nutritional status of eight rosemary varieties under salt conditions – Sand Dune Research, 2019, Vol. 66, pp.47–56		国内誌	発表済	
2019	Yenitze E. Fimbres-Acedo, Rodolfo Garza-Torres, Masato Endo, Rosalía Servín-Villegas, Kevin M. Fitzsimmons, Maurício Gustavo Coelho Emerenciano, Francisco J. Magallón-Barajas, “Performance of Oreochromis niloticus in recirculating aquaculture systems at different levels of daily protein intake (DPI)”, Aquaculture Research, 2019, pp.1–17	10.1111/ar.e.14291	国際誌	発表済	
2019	E. Kaburagi, M. Yamada, T. Baba, H. Fujiyama, B. Murillo-Amador and S. Yamada: Aquaponics Using Saline Groundwater: Effect of adding microelements to fish wastewater on the growth of Swiss chard (Beta vulgaris L. spp. cicla). Agricultural Water Management, 2020, Vol. 227, 105851).	10.1016/j.agwat.2019.105851	国際誌	発表済	
2019	Tanaka, H., Masunaga, T., Tsuji, W., Yamamoto, S., Murillo-A., B., Yamada, M. and Yamada, S., “Characteristics of nutrient uptake, photosynthesis, and antioxidative response in a salt-tolerant basil variety – Characteristics of salt-tolerant basil –.” Sand Dune Research, 2020, Vol. 67, pp.25–37.		国内誌	発表済	

論文数 8 件
うち国内誌 4 件
うち国際誌 4 件
公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2014	N. Yamaguchi*, J. Park, M. Kodama, T. Ichijo, T. Baba*, and M. Nasu (*equally contributed), “Change in airborne bacterial community in outdoor environments following Asian dust event”, Microbes and Environments, 2014, Vol. 29, No.1, pp. 82–88	10.1264/jsme2.ME13080	国際誌	発表済	
2014	北川誠子・藤山英保, “好塩性植物の硝酸イオン吸収と移行におけるナトリウムの役割”, 日本砂丘学会誌, 2014, vol. 61 No.1, pp. 11–16		国内誌	発表済	
2014	Emi Kaburagi and Hideyasu Fujiyama, “Growth and physiological responses of plants to osmotic and sodium stress”, Sand Dune Research, 2014, Vol. 61 No. 2, pp. 47–53		国内誌	発表済	
2014	Emi Kaburagi, Yumi Morikawa, Mina Yamada, and Hideyasu Fujiyama, “Sodium enhances nitrate uptake in Swiss chard (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i> L.)”, Soil Science and Plant Nutrition, 2014, Vol. 60 No. 5, pp.651–658	10.1080/00380768.2014.938595	国際誌	発表済	
2014	猪迫耕二, 齊藤忠臣, 西中董, 藤巻晴行, “粗粒層の毛管障壁機能が作土層の水分と塩分の移動に与える影響”, 応用水文, 2015, Vol. 27, pp.1–7		国内誌	発表済	
2015	Emi Kaburagi, Mina Yamada, and Hideyasu Fujiyama, “Sodium, but not potassium, enhances root to leaf nitrate translocation in Swiss chard (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i> L.)”, Environmental and Experimental Botany, 2015, Vol. 112, pp.27–32	10.1016/j.envexpbot.2014.11.007	国際誌	発表済	農学・生物学の分野でQ1 (highest value)に分類されている雑誌
2015	鶴田 博人, 山田 智, 田辺 ひろ子, 嘉本 早織, 益崎 望, 梁 銀麗, 猪迫 耕二, 増永 二之, 藤山 英保, “乾燥ストレス条件下のキュウリにおけるアスコルビン酸輸送と抗酸化応答の関係”, 日本砂丘学会誌, 2015, Vol. 62 No.1, pp.11–20		国内誌	発表済	
2015	鶴田 博人, 山田 智, 梁 銀麗, 猪迫 耕二, 増永 二之, 藤山 英保, “ハウスキュウリ栽培における灌水量削減が成長, 栄養吸収および果実品質に及ぼす影響”, 日本砂丘学会誌, 2015, Vol. 62 No.2, pp.55–66		国内誌	発表済	

2015	Noriko Matsumoto and Hideyasu Fujiyama, "Germination and water absorption responses of seeds of four vegetables under salt stress", Sand Dune Research, 2015, Vol. 61 No. 3, pp.111-118		国内誌	発表済	
2015	Noriko Matsumoto and Hideyasu Fujiyama, "Salt tolerance of zucchini at different growth stages", Sand Dune Research, 2015, Vol. 62 No. 1, pp.3-10		国内誌	発表済	
2015	Nobuyasu Yamaguchi, Takashi Baba, Tomoaki Ichijo, Yuka Himezawa, Kanami Enoki, Makoto Saraya, Pin-Fang Li, and Masao Nasu, "Abundance and community structure of bacteria on Asian dust particles transported to Beijing, China, during the Asian dust season", Biological and Pharmaceutical Bulletin, 2016, Vol. 39 No. 1, pp.68-77	10.1248/bp b.b15- 00573	国際誌	発表済	
2015	Takashi Baba*, Yuko Makino*, Mina Yamada* and Hideyasu Fujiyama (*equally contributed), "Evaluation of the Cs- and Sr-absorption ability of plant species for phytoremediation", Eco-Engineering, 2016, Vol. 28 No. 1, pp.1-5	10.11450/s eitaikogaku .28.1	国内誌	発表済	
2015	Mina Yamada, Chika Kuroda, and Hideyasu Fujiyama, "Function of sodium and potassium in growth of sodium-loving Amaranthaceae species", Soil Science and Plant Nutrition, 2016, Vol. 62 No. 1, pp.20-26	10.1080/00 380768.201 5.1075365	国際誌	発表済	
2016	井上光弘, 齊藤忠臣, 猪迫耕二, 藤巻晴行, "高塩分濃度の砂に対するWET マルチセンサーの測定精度の評価", 日本砂丘学会誌, 2016, Vol. 63 No. 1, pp.17-26		国内誌	発表済	
2016	Mina Yamada, Chika Kuroda and Hideyasu Fujiyama, "Growth promotion by Sodium in Amaranthaceae plants", Journal of Plant Nutrition, 2016, Vol. 39, pp1186-1193		国際誌	発表済	
2016	T. Baba, Y. Sato, Y. Katsube, T. Kuroda, and H. Fujiyama: Relationship between plant responses to high Na and ameliorative effects of supplemental K and Ca. Journal of Plant Nutrition, 2017, Vol. 40, pp33-39		国際誌	発表済	
2016	Malik Selek, Masato Endo, Murat Yigit, Toshio Takeuchi, The integration of fish and plant production: Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) and basil (<i>Ocimum basilicum</i>) culture in recirculating aquaponics systems, Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research, 2017, Vol. 3, pp28-43	10.3153/J AEFR1700 5	国際誌	発表済	
2016	Takashi Baba, "Relationship between differences in ion transport under NaCl stress and salt-tolerance of rice and tomato species", Sand Dune Research, 2017, Vol. 63, pp.103-112		国内誌	発表済	
2016	Takashi Baba*, Hiroko Aome*, Saki Shirai* and Mina Yamada (*equally contributed), "Evaluation of Na-absorption ability of halophilic and salt-loving plant species. Sand Dune Research", 2017, Vol. 63, pp.121-126		国内誌	発表済	
2017	Xuanchen Zhang, Masato Endo, Takashi Sakamoto, Reiko Fuseya, Goro Yoshizaki, Toshio Takeuchi, Studies on kuruma shrimp culture in recirculating aquaculture system with artificial ecosystem, Aquaculture 484, 191-196.	10.1016/j.a quaculture. 2017.11.03 3	国際誌	発表済	
2017	Tagawa Kotaro and Li Yan : A wind tunnel experiment of self-starting capability for straight-bladed vertical axis wind turbine, Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018, 36(2):136-140,153	10.3969/j .i ssn.1674- 8530.17.30 1	国際誌	発表済	
2018	Takuya Nakagawa*, Takashi Baba*, Emi Kaburagi and Hideyasu Fujiyama (*equal contribution): Fe absorption of dwarf glasswort under high pH condition. Sand Dune Research. 64, 81-88		国内誌	発表済	
2018	Yamada, M., Malambane, G., Yamada, S., Suharsono, S., Tsujimoto, H., Mpseki, B. and Akashi, K.: Differential physiological responses and tolerance to potentially toxic elements in biodiesel tree Jatropha curcas. Scientific Reports, 2018, 8:1635	10.1038/s4 1598-018- 20188-5	国際誌	発表済	
2018	Feasibility Study on Small Scale Food Production Using Off-Grid Photovoltaic Water Pumping System in Coastal Dune, Xinyan Wang, Kotaro Tagawa and Bateer Baiyin, Advancements in Civil Engineering & Technology, 2018, 1(5), ISSN 2639-0574		国際誌	発表済	
2018	Inosako, K., Saito T., and Omachi K.: Analysis by numerical experiments of desalinization of a salt-affected paddy field using a rice husk underdrainage system. Paddy and Water Environment, 17(2), 2019	10.1007/s1 0333-019- 00713-6	国際誌	発表済	

論文数 25 件
うち国内誌 12 件
うち国際誌 13 件
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2017	馬場寛志, オルキン・ベニア R. ハイム, 露地栽培結合型アクアポニックスシステムにおける微生物動態解析, 2017生態工学会年次大会発表論文集, pp63-64		Proceeding	発表済	

著作物数 1 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ－おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2014	Nobuyasu Yamaguchi, Tomoaki Ichijo, <u>Takashi Baba</u> , Masao Nasu, “Long-range transportation of bacteria cells by Asian dust”, Genes Environ., 2014, Vol. 36 No. 3, pp.145–151		総説	発表済	
2014	馬場貴志, 王晓丹, 山口進康, 那須正夫, “植物水耕栽培における微生物動態解析”, 2014生態工学会年次大会発表論文集, 2014, pp.85–86		Proceeding	発表済	
2015	馬場貴志, 青目皓子, 白井早紀, 山田美奈, 藤山英保, “好塩性植物を利用した高塩濃度灌漑水中のNa ⁺ のファイトレメディエーション”, 2015生態工学会年次大会発表論文集, 2015, pp.97–98		Proceeding	発表済	
2015	遠藤雅人, “国内外のアクアポニックス 現状と今後の可能性. 期待で終わらせない循環式陸上養殖”, 月刊養殖ビジネス, 2015, Vol. 52 No. 13, pp.9–12		雑誌	発表済	
2015	遠藤雅人, “宇宙環境下における閉鎖居住施設における食料生産用養殖技術の開発”, 生物工学会誌, 2016, Vol. 94 No. 1, pp.36～37		雑誌	発表済	
2015	遠藤雅人, “第6章 事業化の前に把握すべき主なアグリビジネス事業の現状と課題 第3節 陸上養殖. アグリビジネス新規参入の判断と手引き～異業種からの参入事例集/ビジネス性の考察と将来展望”, 2016, 情報機構, 東京, pp.138–154		書籍	発表済	
2015	遠藤雅人, “1–8 宇宙養殖. 第1章—宇宙と閉鎖生態系・生態工学”, 生態工学ハンドブック(生態工学会出版企画委員会編), 2015, アドスリー, 東京, pp.80–85		書籍	発表済	
2015	竹内俊郎, 遠藤雅人, “7–5 光と魚介類. 第7章—光と生物”, 生態工学ハンドブック(生態工学会出版企画委員会編), 2015, アドスリー, 東京, pp.435–440		書籍	発表済	
2016	馬場貴志・白井早紀・藤山英保:ファイトレメディエーションによる沿岸域の富栄養化防止—Na・N・P濃度が好塩性植物の生育に及ぼす影響—, 2016生態工学会年次大会発表論文集, 2016, pp67–68		Proceeding	発表済	
2016	田川公太郎, 沙漠における風力発電の現状、日本エネルギー学会誌、2016、第95巻11号、1034-1039		総説論文	発表済	
2016	猪迫 耕二, “マイクロ灌漑の基礎と応用”, 日本砂丘学会誌, 2016, Vol. 63 No.2, pp.83–91		国内誌	発表済	
2016	遠藤雅人, 第1章 世界と日本の養殖業 世界で盛り上がる陸上養殖産業の現状と課題, 2017年版 世界の養殖業, 養殖ビジネス臨時増刊号, 2017, Vol. 54, pp.14–18		雑誌	発表済	世界のティラピア循環式養殖およびCIBNOR (相手国側研究機関)の紹介を含む。
2017	遠藤雅人, 未来の食料担う陸上循環型養殖の展望, AFCフォーラム 2017年9月号, pp. 11–14.		一般紙	発表済	
2017	遠藤雅人, NEW WAVE No.94 物質循環型水産養殖システムの開発. 楽水 859, 9–12.		会報	発表済	
2017	Takeuchi, T. and Endo, M., Aquaponics. In: Application of Recirculating Aquaculture Systems in Japan, Fisheries Science Series, Takeuchi,T. (ed.), 2017, Springer, Tokyo, pp. 257–266.		書籍	発表済	
2017	Endo, M., Mouri, K., and Takeuchi, T., Local survey and consideration of land-based facility for closed recirculating aquaculture using waste heat discharged from biomass power plants, In: Application of Recirculating Aquaculture Systems in Japan, Fisheries Science Series, Takeuchi,T. (ed.), 2017, Springer, Tokyo, pp. 299–328.		書籍	発表済	
2017	遠藤雅人, 閉鎖循環式陸上養殖 空気清浄 55(6), pp. 46–51.		雑誌	発表済	
2018	Endo, M., Chapter 9.2: Aquaponics in Plant Factory, In: Plant Factory Using Artificial Light, Anpo, M., Fukuda, H., Wada, T. (eds.), 2018, Elsevier, pp. 339–352.		書籍	発表済	
2018	山田 智, シリーズ21世紀の農学, 大変動時代の食と農, ISBN978-4-8425-0566-4, 第5章 塩からい水で魚と野菜を育てる –乾燥地での持続的な食料生産をめざして–, pp. 71–88, 日本農学会編, 第1版, 養賢堂, 東京		書籍	発表済	

2018	Kotaro Tagawa, Bateer Baiyin, Joaquin Gutierrez, Juan Mandujano, Feasibility Analysis of Photovoltaic System Equipped with an Aquaponics Combined with Open Culture Adapting to Arid Region, Proceeding of Grand Renewable Energy 2018, CD-ROM, Yokohama, 17th-22th, June,2018		Proceeding	発表済	
2019	遠藤雅人, 循環式養殖の技術, 産業の現状と未来, 食品と容器 60(5), 292-298.		雑誌	発表済	
2019	遠藤雅人, 陸上養殖の最新動向, ISBN: 978-4-7813-1431-0, 【第 I 編 総論 循環養殖システムの開発と展望】第1 章 陸上養殖の現状と展望(メリット・デメリット, 有望魚種, 今後の方向性)pp. 3-22, 第4章 アクアポニックスの歴史と現状, pp. 50-65, 第5章 陸上養殖の自動化技術, pp. 66-77. 監修: 遠藤雅人, シーエムシー出版, 東京.		書籍	発表済	
2019	馬場貴志、蕪木絵実、山田智、遠藤雅人 "ティラピアおよびバナメイエビ養殖における微生物動態解析"2019生態工学会年次大会発表論文集,2019, pp.61-62		Proceeding	発表済	
2019	遠藤雅人, 陸上養殖技術の開発動向と産業的利用, [特集: 持続的な水産と海洋環境を支える研究], JATAFFジャーナル8(2), pp.18-22, (公社)農林水産・食品産業技術振興協会		雑誌	発表済	

著作物数

24 件

公開すべきでない著作物

0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
2016	JICAモルディブ国持続的漁業のためのマスタープラン策定調査本邦研修(クエの閉鎖循環式養殖について学習する、モルディブ共和国研究者5名、修了者5名)	Technology of Closed Recirculating Aquaculture System	
2017	JICA国別研修 (ミャンマー「養殖基礎技術」、ミャンマー研究者)、2名		

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2015	国際学会	Emi Kaburagi (Tottori University), Development of Aquaponics Combined with Open Culture Adapting to Arid Regions for Sustainable Food Production, Congreso Internacional de Acuaponia, La Paz (Mexico), November, 10-12	招待講演
2015	国際学会	Satoshi Yamada (Tottori University), Development of Aquaponics Combined with Open Culture Adapting to Arid Regions for Sustainable Food Production, International Symposium of SATREPS-programs on Sustainable Aquatic Bioresources, Shinagawa (Japan), December, 19~20	口頭発表
2015	国際学会	Francisco Javier Magallón Barajas (Northwest Biological Research Center), Masato Endo (Tokyo University of Marine Science and Technology) and Satoshi Yamada (Tottori University), Fish and shrimp Species Selection for Aquaponics Combined with Open Culture Adapting to Arid Regions for Sustainable Food Production, International Symposium of SATREPS-programs on Sustainable Aquatic Bioresources, Shinagawa (Japan), December, 19~20	口頭発表
2015	国際学会	Juan Larrinaga-Mayoral (Northwest Biological Research Center), Satoshi Yamada (Tottori University) and Bernardo Murillo Amado (Northwest Biological Research Center), Hydroponics and aquaponics technology in B.C.S. Development of Aquaponics Combined with Open Culture Adapting to Arid Regions for Sustainable Food Production. JICA-SATREPS-CONACYT Project Japan-México, International Symposium of SATREPS-programs on Sustainable Aquatic Bioresources, Shinagawa (Japan), December, 19~20	口頭発表
2016	国内学会	田中秀樹、山田 智(鳥取大学)、Bernardo Murillo A. (メキシコ北西部生物学研究センター)、塩ストレス条件下におけるバジル3品種の光合成能および抗酸化応答、日本土壌肥料学会、佐賀、9月22日	口頭発表
2016	国際学会	Hideki Tanaka, Satoshi Yamada (Tottori University), and Bernardo Murillo Amador (Northwest Biological Research Center), Effect of salinity stress on photosynthesis and anti-oxidative response in 3 basill species, International Symposium on Agricultural, Food, Environmental and Life Sciences in Asia, 2017, Daejeon (Korea), November, 8-11	口頭発表
2017	国際学会	Yenitze Fimbres, Rosalía Servín, Rodolfo Garza, Masato Endo, Kevin Fitzsimmons, Maurício Emerenciano, Francisco Magallón, Modelación y Flujo de Macro y Micro Nutrientes en un Sistema Integrado Por Acuacultura de Recirculación y Horticultura Hidroponica. Latin American & Caribbean Aquaculture, Mazatlán, Mexico, 2017 Nov. 7th.	口頭発表
2017	国際学会	Yenitze Fimbres, Paola Magallón, Rosalía Servín, Rodolfo Garza, Masato Endo, Kevin Fitzsimmons, Maurício Emerenciano, Francisco Magallón, Proceso de Recuperación de nitrógeno y Fósforo Para Sistemas Hidropónicos en un Sistema Híbrido (RAS-TBF) de Producción Hiperintensiva de Tilapia. Latin American & Caribbean Aquaculture, Mazatlán, Mexico, 2017 Nov. 7th.	口頭発表
2017	国内学会	遠藤雅人, SATREPS養殖チーム, マガジョン-バラハス J. フランシスコ, 乾燥地における複合型食料生産のための塩水の多段利用を目的とした水産養殖システムの構築に関する研究. 2017生態工学会 年次大会、東京海洋大学薬水会館, 平成29年6月24日.	口頭発表
2017	国内学会	蕪木絵実、藤山英保、山田智(鳥取大学)、SATREPS作物栽培チーム(メキシコ北西部生物学研究センター)、ムリージョ-アマドール ベルナルド(メキシコ北西部生物学研究センター)、乾燥地における複合型食料生産のための塩水の多段利用を目的とした作物生産システムの構築に関する研究. 2017生態工学会 年次大会、東京海洋大学薬水会館, 平成29年6月24日.	口頭発表
2017	国内学会	猪迫耕二(鳥取大学)、宮川卓(静岡大学大学院)、齊藤忠臣(鳥取大学)、トロヨエンリケ(CIBNOR)、土層構造の異なる農地における灌水処理とアバネロの水利用効率との関係、2017年度生態工学会年次大会、東京海洋大学(東京都品川区)、2017年(6月)	口頭発表
2017	国内学会	田川公太郎、Baiyin Bateer(鳥取大学)、ホアキン グティエレス、ホアン マンドゥハーノ(メキシコ北西部生物学研究センター)、乾燥地における露地栽培結合型アクアポニックスの電力供給システムに関する研究、生態工学会、東京、6月23日~24日	口頭発表
2017	国内学会	馬場貴志(鳥取大学)、オルギン-ペニア R. ハイメ(メキシコ北西部生物学研究センター)、露地栽培結合型アクアポニックスシステムにおける微生物動態解析、2017生態工学会年次大会、東京、6月24日	口頭発表
2017	国際学会	Emi Kaburagi, Takashi Baba(Tottori University), Masato Endo (Tokyo University of Marine Science and Technology), Bernardo Murillo Amador (Northwest Biological Research Center), Hideyasu Fujiyama, Satoshi Yamada (Tottori University), Developing an Aquaponics System Using Saline Underground Water: The Effect of Adding Micro-elements to Fish Wastewater on the Growth of Swiss chard, 14th International Phytotechnologies Conference, Montreal (Canada), 26-28 September	口頭発表
2017	国内学会	猪迫耕二(鳥取大学)・宮川卓(静岡大学大学院)・齊藤忠臣(鳥取大学)・トロヨ エンリケ(CIBNOR)、キャピラリーバリアの敷設がハバネロの水利用効率に及ぼす影響、平成29年度農業農村工学会大会講演会、日本大学(神奈川県藤沢市)、2017(9月)	ポスター発表
2017	国内学会	メルカド カルメン、山田 智(鳥取大学)、Na and K content and selective transport in rosemary and thyme plants、日本土壌肥料学会、宮城、9月5日	口頭発表

2018	国際学会	Yenitze Fimbres, Rosalía Servín, Rodolfo Garza, Masato Endo, Kevin Fitzsimmons, Maurício G. Coelho Emerenciano, Francisco Magallón, RELACIÓN DEL REQUERIMIENTO DIARIO DE PROTEÍNA (RDP) Y LA ENGORDA DE TILAPIA EN UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN. Latin American & Caribbean Aquaculture, Bogota, Colombia, Oct. 24th.	口頭発表
2018	国際学会	Yenitze Fimbres, Rosalía Servín, Masato Endo, Kevin Fitzsimmons, Maurício G. Coelho Emerenciano, Dra. Paola Magallón, Dra. Melisa López, Francisco Magallón, CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE TILAPIA (PRE ENGORDA – ENGORDA) EN TRES ESTADOS TRÓFICOS DE BIOFLOC. Latin American & Caribbean Aquaculture, Bogota, Colombia, Oct. 25th.	口頭発表
2018	国際学会	Yenitze Fimbres, Rosalía Servín, Masato Endo, Kevin Fitzsimmons, Maurício G. Coelho Emerenciano, Francisco Magallón, RECUPERACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE NUTRIENTES CONTENIDOS EN LA FRACCIÓN PARTICULADA RESIDUAL DE UN CULTIVO DE TILAPIA EN SAR Y TBF A TRAVÉS DE PROCESOS DE MINERALIZACIÓN. Latin American & Caribbean Aquaculture, Bogota, Colombia, Oct. 25th.	ポスター発表
2018	国内学会	田中秀樹、山本定博(鳥取大学)、増永二之(島根大学)、辻 渉(鳥取大学)、Bernardo Murillo-Amador(CIBNOR)、山田 智(鳥取大学)、塩性条件下におけるシソ科4種の栄養吸収および抗酸化応答の比較、日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会、神奈川、8月29日	ポスター発表
2018	国内学会	Carmen Mercado、山本定博(鳥取大学)、増永二之(島根大学)、辻 渉(鳥取大学)、Bernardo Murillo-Amador(CIBNOR)、山田 智(鳥取大学)、Photosynthesis and K/Na ratio of 8 varieties of rosemary under salinity condition、日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会、神奈川、8月29日	ポスター発表
2018	国際学会	Kotaro Tagawa, Bateer Baiyin, Joaquin Gutierrez, Juan Mandujano, Feasibility Analysis of Photovoltaic System Equipped with an Aquaponics Combined with Open Culture Adapting to Arid Region, Proceeding of Grand Renewable Energy 2018, CD-ROM, Yokohama, 17th–22th, June, 2018	ポスター発表
2018	国内学会	白音巴特尔, 田川公太郎, Joaquin Gutierrez, Juan Mandujano: 乾燥地の露地栽培結合型アクアポニックスを対象とした独立型太陽光発電システムの導入設計、農業環境工学関連学会2018年合同大会、愛媛県松山市、9月13日	ポスター発表
2018	国内学会	猪迫耕二・齊藤忠臣・トロヨ エンリケ: 塩濃度の異なる灌漑水がハバネロの生育に及ぼす影響、平成30年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 814–815, 京都府京都市京都大学, 2018(9月)	ポスター発表
2018	国内学会	栗原紋子・金澤佳子・遠藤雅人・F. J. Magallon Barajas (CIBNOR): 閉鎖循環式システムで飼育した魚における出荷前処理の違いが魚肉中硝酸含量に及ぼす影響、令和2年度公益社団法人日本水産学会春季大会、東京都港区、3月27～29日	口頭発表
2019	国内学会	池内皓大(鳥取大学)、Carmen Mercado (CIBNOR)、田中秀樹、山田 智(鳥取大学)、ローズマリーの成長および精油に及ぼす塩ストレスの影響、日本土壌肥料学会2019年度静岡大会、静岡、9月3～5日	口頭発表
2019	国内学会	高木優、田川公太郎、Joaquin Gutierrez、Juan Mandujano、独立型太陽光発電システムを電源とした露地栽培結合型アクアポニックスの電力需給解析、日本砂丘学会第65回全国大会、佐賀大学、佐賀、9月19日～20日	口頭発表
2019	国内学会	池内皓大、Carmen Mercado、田中秀樹、山田美奈、山田智: 塩条件下におけるローズマリーの水分状態および養分状態、光合成能、2019年度日本土壌肥料学会関西支部会、鳥取、12月5日	口頭発表

招待講演	1 件
口頭発表	20 件
ポスター発表	7 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2014	国内学会	鶴田博人、益崎望、藤山英保、山田 智(鳥取大学)、塩ストレスがキュウリの ¹⁴ C-AsA輸送および抗酸化応答におよぼす影響、日本砂丘学会、鳥取、7月3～4日	ポスター発表
2014	国内学会	鈴木洋平、山田 智(鳥取大学)、塩生植物における塩およびアルカリストレス応答、日本土壌肥料学会、東京、9月9～11日	口頭発表
2014	国内学会	與座朝成、山田 智(鳥取大学)、乾燥ストレス条件下におけるキュウリ葉身のアスコルビン酸輸送とシグナル物質の関連性、日本土壌肥料学会、東京、9月9～11日	口頭発表
2014	国内学会	丹 裕志(鳥取大学)、石森 有(日本原子力研究開発機構)、山田 智(鳥取大学)、三朝温泉水を用いた野菜の水耕栽培、日本土壌肥料学会、東京、9月9～11日	口頭発表
2014	国内学会	山田 智(鳥取大学)、研究紹介 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 – 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム【SATREPS】–、鳥取県土壌肥料研究会、鳥取、10月4日	招待講演
2015	国内学会	馬場貴志、青目皓子、白井早紀、山田美奈、藤山英保(鳥取大学)、好塩性植物を利用した高塩濃度灌漑水中のNa ⁺ のファイトレメディエーション、2015生態工学会年次大会、神奈川、6月27～28日	ポスター発表

2015	国内学会	遠藤雅人、松本直樹、岡田涼汰、竹内俊郎(東京海洋大学)、塩分の異なる飼育水を用いたクエの閉鎖循環飼育および飼育排水再生方法の検討、2015生態工学会年次大会、神奈川、2015年6月27～28日	口頭発表
2015	国内学会	岡田涼汰、遠藤雅人、栗原紋子、竹内俊郎(東京海洋大学)、クエ飼育排水を用いたクビレズタの培養と物質吸収の推定、2015生態工学会年次大会、神奈川、2015年6月27～28日	口頭発表
2015	国内学会	猪迫耕二(鳥取大学)・阿部晴奈(サンスイコンサルタンツ)・齊藤忠臣(鳥取大学)、低透水性土壌におけるリーチング水の浸透促進法の開発、第61回日本砂丘学会全国大会、弘前市、2015年8月20日	口頭発表
2015	国内学会	包清徳子、馬場貴志、藤山英保(鳥取大学)、好Na性植物におけるNa ⁺ とK ⁺ の役割、第61回日本砂丘学会全国大会、弘前市、8月20～21日	口頭発表
2015	国内学会	丹 裕志、山田 智(鳥取大学)、塩生植物の塩吸収と体内 ²² Na ⁺ 分布、日本土壌肥料学会、京都、9月9～	口頭発表
2015	国内学会	田中秀樹、山田 智、塩条件下におけるPあるいはK欠乏がフダンソウの成長および抗酸化応答に及ぼす影響、日本土壌肥料学会、京都、9月9～11日	口頭発表
2015	国内学会	包清徳子、馬場貴志、藤山英保(鳥取大学)、好塩性植物におけるNa ⁺ とK ⁺ の必要性、日本土壌肥料学会、京都、9月9～11日	ポスター発表
2015	国内学会	馬場貴志、森川祐実、藤山英保(鳥取大学)、好塩性植物におけるNaの役割、日本土壌肥料学会、京都、9月9～11日	ポスター発表
2015	国内学会	遠藤雅人、中村一貴、古谷 泉、原田 享、川名優孝、伊藤雅則、竹内俊郎(東京海洋大学)、クリーンエネルギーを利用した閉鎖循環式陸上養殖におけるエネルギー所要量の検討、平成27年度日本水産学会秋季大会、仙台、2015年9月24日	口頭発表
2015	国内学会	遠藤雅人(東京海洋大学)、アクアポニックスによる宇宙での食料生産 宇宙で生きる！～閉鎖生態系技術で有人宇宙活動を支える～、第59回宇宙科学技術連合講演会、鹿児島、10月8日	招待講演
2015	国内学会	五百井拓哉、田川公太郎(鳥取大学)、三保谷拓史(シャープ)、砂丘地に設置した太陽電池の表面に付着する砂塵汚れの分析、第63回応用物理学会春季学術講演会、東京、2016年3月19日～22日	口頭発表
2016	国内学会	馬場貴志・白井早紀・藤山英保:ファイトレメディエーションによる沿岸域の富栄養化防止 – Na・N・P濃度が好塩性植物の生育に及ぼす影響 –、2016生態工学会年次大会、宮崎、6月25日	ポスター発表
2016	国内学会	包清徳子・馬場貴志・蕪木絵美・藤山英保: ヒユ科植物における好塩性の種間差、日本土壌肥料学会2016年度佐賀大会、佐賀、9月21日	ポスター発表
2016	国内学会	加藤大樹・馬場貴志・藤山英保: 好塩性植物の発芽時における塩応答の種間差、日本土壌肥料学会2016年度佐賀大会、佐賀、9月21日	ポスター発表
2016	国内学会	馬場貴志・白井早紀・藤山英保: 好塩性植物における低N・低P耐性、日本土壌肥料学会2016年度佐賀大会、佐賀、9月21日	ポスター発表
2016	国際学会	Kotaro TAGAWA, Mitsuhiro Inoue, Reiji Kimura, Ryo Nishimura and Koji Inosako (Tottori University), Feasibility study on photovoltaic water pumping system for crop cultivation, Twelfth International Dryland Development Conference “Sustainable Development of Drylands in the Post 2015 World”, Alexandria Egypt, 21–24 August, 2016	ポスター発表
2016	国内学会	猪迫耕二、マイクロ灌漑の基礎と応用、日本砂丘学会、島根、8月25、26日	招待講演
2016	国内学会	池内令香、猪迫耕二、齊藤忠臣、低透水性土壌の迅速排水法における細粒－粗粒境界での水分移動特性について、第71回農業農村工学会中国四国支部講演会、愛媛県、10月27、28日	口頭発表
2016	国内学会	岡田 涼汰、遠藤 雅人、栗原 紋子(東京海洋大学)、クエ飼育排水を用いたクビレズタの培養と物質吸収の推定、閉鎖生態系における生物のシステムを介した物質循環、日本地球惑星科学連合2016年大会、幕張メッセ、5月22日	ポスター発表
2016	国内学会	遠藤雅人、鈴木千寛、杉浦康太(東京海洋大学)、田村直司(岩手大学)、竹内俊郎(東京海洋大学)、クエの閉鎖循環式養殖における飼育水中の濁度および色度成分の除去、2016生態工学会 年次大会、宮崎グリーンシアター壱番館(KITEN)コンベンションホール、6月25日	口頭発表
2016	国内学会	岡田涼汰、金澤佳子、遠藤雅人(東京海洋大学)、クエ飼育廃棄物を用いたクビレズタの培養と生産量の推定、2016生態工学会 年次大会、宮崎グリーンシアター壱番館(KITEN)コンベンションホール、6月25日	口頭発表

2016	国内学会	眞壁 宙史, 遠藤雅人(東京海洋大学), 中村謙治(エスペックミック), 竹内俊郎(東京海洋大学), アイスプラント水耕栽培におけるpHの影響およびアイスプラントークエのRASポニックスにおける塩分の影響, 2016生態工学会 年次大会、宮崎グリーンズフィア壱番館(KITEN)コンベンションホール, 6月25日	口頭発表
2016	国内学会	遠藤雅人, 田辺優希(東京海洋大学), ナイルティラピアの脊椎骨形成に及ぼす無酸素水の影響, 平成28年度日本水産学会秋季大会近畿大学農学部, 9月10日	口頭発表
2016	国内学会	岡田涼汰, 遠藤雅人(東京海洋大学)クエの養殖排水、沈殿物および泡沫分離物を用いたクビレズタ栽培における光周期の影響, 平成29年度日本水産学会春季大会, 東京海洋大学 品川キャンパス, 3月29日	口頭発表
2016	国内学会	杉山正明、山田 智、トウガラシ2品種における耐塩性機構、日本土壌肥料学会、佐賀、9月20日	口頭発表
2016	国内学会	伊東行蔵、山田 智、フダンソウの成長および塩吸収に及ぼす流動水耕栽培の影響、日本土壌肥料学会、佐賀、9月20日	口頭発表
2017	国内学会	Baiyin Bateer, 田川公太朗, 山田 智(鳥取大学)、乾燥地に適した露地栽培結合型アクアポニックスシステムの開発—太陽光発電による電力供給実証試験—、エネルギー・資源学会、東京、6月11,12日	口頭発表
2017	国際学会	Masato Endo, Hiroshi Makabe, Shun-Ichiro Kawasaki, Kenji Nakamura, Toshio Takeuchi, Effect of Fish-Plant Ratio and Water Salinity on Water Quality and Plant Production in Kelp Grouper-Ice Plant Aquaponics System. Eco-Engineering Symposium 2017: Application of Technology for Sustainability of Natural Resources, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 2017, July 12th.	口頭発表
2017	国際学会	Masato Endo, Xuanchen Zhang, Reiko Fuseya, Takashi Sakamoto, Goro Yoshizaki and Toshio Takeuchi, Effect of manganese supplementation to aquacultural wastewater discharged from the recirculating aquaculture system with kuruma shrimp as the culture media of Chaetoceros gracilis and Tetraselmis tetrathele and their values for initial feeds of kuruma shrimp larvae. The JSFS 85th Anniversary-Commemorative International Symposium“Fisheries Science for Future Generations”, Tokyo University of Marine Science and Technology Shinagawa Campus, Tokyo, Japan, 2017 Sept. 24th.	ポスター発表
2017	国内学会	岩田繁英, アクアポニックスにおける収量予測のための数理モデル構築とその解析. 第27回日本数理生物学会年会, 北海道大学工学部フロンティア応用科学研究棟, 2017年10月8日.	口頭発表
2017	国内学会	遠藤雅人, 物質循環型水産養殖システムの開発. 平成29年度 マリンバイオテクノロジー学会「若手の会シンポジウム」, 東京海洋大学品川キャンパス2号館1階100A室, 平成29年11月21日.	招待講演
2017	国内学会	岩田繁英, 物質循環を考慮したアクアポニックスに関する数理モデルの構築と収量予測, 第65回日本生態学会年会, 札幌コンベンションセンター特別会議場, 2018年3月14-18日.(予定)	口頭発表
2017	国内学会	加藤大樹、馬場貴志、藤山英保、好塩性植物の発芽時及び幼期における塩応答、日本土壌肥料学会、仙台、9月5日	ポスター発表
2017	国内学会	馬場貴志、包清徳子、藤山英保、好塩性植物のNO ₃ 吸収・同化におけるNaとKの必要性、日本土壌肥料学会、仙台、9月5日	ポスター発表
2017	国際学会	Hideyasu Fujiyama, Emi Kaburagi, Yumi Morikawa, Noriko Kanekiyo and Takashi Baba (Tottori University), Differences in sodium dependence in sodium-loving plants. Global Conference on Plant Science and Molecular Biology, Valencia (Spain), September, 11~13	口頭発表
2017	国内学会	馬場貴志、包清徳子、蕪木絵実、藤山英保(鳥取大学)、ヒユ科植物における好塩性の種間差、日本砂丘学会第63回全国大会、新潟、8月22日	口頭発表
2017	国内学会	加藤大樹、馬場貴志、藤山英保(鳥取大学)、好塩性植物の発芽時における塩応答の種間差、日本砂丘学会第63回全国大会、新潟、8月22日	口頭発表
2017	国内学会	馬場貴志、包清徳子、藤山英保(鳥取大学)、好塩性植物のNO ₃ 吸収・同化におけるNaとKの必要性、日本土壌肥料学会2017年度仙台大会、宮城、9月5日	ポスター発表
2017	国内学会	加藤大樹、馬場貴志、藤山英保(鳥取大学)、好塩性植物の発芽時および幼苗期における塩応答、日本土壌肥料学会2017年度仙台大会、宮城、9月5日	ポスター発表
2017	国内学会	田中秀樹、山田 智(鳥取大学)、塩条件下におけるバジルの光合成能と抗酸化応答、日本土壌肥料学会2017年度仙台大会、宮城、9月5日	口頭発表
2017	国内学会	高木えみり、山田 智(鳥取大学)、ハーブ類5種における耐塩性の種間差、日本土壌肥料学会2017年度仙台大会、宮城、9月5日	口頭発表

2017	国内学会	伊東行蔵、 <u>山田 智</u> (鳥取大学)、耐塩性を異にする野菜作物8種における塩吸収および体内 ²² Na ⁺ 分布、日本土壌肥料学会2017年度仙台大会、宮城、9月5日	口頭発表
2017	国内学会	杉山正明、 <u>山田 智</u> (鳥取大学)、トウガラシの抗酸化応答及び品質に及ぼす塩ストレスの影響、日本土壌肥料学会2017年度仙台大会、宮城、9月5日	口頭発表
2017	国内学会	<u>山田 智</u> (鳥取大学)、塩からい水で魚と野菜を育てる-乾燥地での持続的な食料生産をめざして-、平成29年度日本農学会シンポジウム、東京、10月14日	招待講演
2018	国内学会	遠藤雅人、金澤佳子、栗原紋子、中本正俊、坂本 崇、延東 真、ティラピアの内臓および魚肉に及ぼす高濃度硝酸塩を含む飼育水の影響、2018生態工学会 年次大会、大阪府立大学学術交流会館、大阪、6月23日、	口頭発表
2018	国内学会	坂田秀朗、 <u>山田 智</u> 、 <u>蕪木絵実</u> (鳥取大学)、水耕栽培におけるフダンソウのNa吸収能に及ぼすFe添加効果、日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会、神奈川、8月30日	口頭発表
2018	国内学会	伊藤友祐、 <u>山田 智</u> (鳥取大学)、輸送体阻害剤を用いた塩性条件下における中生・塩生植物の養分吸収機構の解明、日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会、神奈川、8月30日	口頭発表
2018	国内学会	笹尾悠也、 <u>山田 智</u> (鳥取大学)、どのような養分欠乏状態ときに葉面散布が効果的であるか?、日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会、神奈川、8月30日	口頭発表
2018	国内学会	<u>山田 智</u> (鳥取大学)、塩水を利用した養殖-農業結合システムの開発 -乾燥地における持続的食料生産のために-、日本砂丘学会第64回全国大会、つくば、8月21日	招待講演
2018	国内学会	池内令香・猪迫耕二・齊藤忠臣:土壌中の粗粒領域の形状が土壌水分・塩分の移動に及ぼす影響, 平成30年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 京都9月5日	ポスター発表
2018	国内学会	猪迫耕二・齊藤忠臣, リーチング過程における粃殻暗渠排水システム内の水分と塩分の挙動, 第73回農業農村工学会中国四国支部講演要旨集, 島根, 10月18日	口頭発表
2018	国際学会	<u>Koji Inosako</u> , <u>Tadaomi Saito</u> and Kana Omachi, Analysis BY NUMERICAL experiments oF desalinization of a salt-affected paddy field using rice husks underdrainage system, PAWEES, Nara, Japan, Nov.20-22	ポスター発表
2018	国内学会	岩田繁英、水の多段利用を考慮したアクアポニックスに関する数理モデルの構築と収量予測、第66回日本生態学会、神戸国際会議場、神戸、3月15日～19日	ポスター発表
2019	国内学会	遠藤 雅人, 宇宙における水産養殖の概念と研究 ―これまで、そしてこれから―, 日本地球惑星科学連合大会 2019年度大会, 幕張メッセ, 千葉, 5月26日	招待講演
2019	国内学会	馬場貴志、 <u>蕪木絵実</u> 、 <u>山田智</u> 、 <u>遠藤雅人</u> 、ティラピアおよびバナメイエビ養殖における微生物動態解析、2019生態工学会年次大会、神戸国際会議場、栃木、6月28日～29日	ポスター発表
2019	国内学会	遠藤雅人、辻村朋美、松井紋子、 <u>蕪木絵実</u> 、馬場貴志、 <u>山田 智</u> 、クエ養殖廃水を用いたサリコルニア <i>Salicornia bigelovii</i> の水耕栽培に関する基礎的研究、2019生態工学会年次大会、宇都宮大学峰キャンパス大会館、宇都宮、2019 年 6 月29日	口頭発表
2019	国内学会	岩田繁英、アクアポニックスシステムの最適化に関する考察、日本数理生物学会、東京工業大学、東京、9月14日～16日	口頭発表
2019	国内学会	馬場貴志、高木陽子、藤山英保、好塩性植物を用いた塩類集積土壌のファイトレメディエーション、2019年度日本土壌肥料学会関西支部会、鳥取、12月5日	口頭発表
2019	国内学会	笹尾悠也、杉山正明、 <u>山田美奈</u> 、 <u>山田智</u> :トウガラシ3系統におけるNa移動調節機構の違い、2019年度日本土壌肥料学会関西支部会、鳥取、12月5日	口頭発表

招待講演	7 件
口頭発表	39 件
ポスター発表	19 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する外国出願 ※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する国内出願 ※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等
(4)受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2015	6月28日	講演論文賞	クエ飼育排水を用いたクビレズタの培養と物質吸収の推定	岡田涼汰、 <u>遠藤雅人</u> 、 <u>栗原紋子</u> 、竹内俊郎	生態工学会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2015	8月20日	最優秀発表賞	好塩性植物におけるNa ⁺ とK ⁺ の役割	包清徳子、 <u>馬場貴志</u> 、 <u>藤山英保</u>	日本砂丘学会	2.主要部分が当課題研究の成果である	
2015	9月10日	日本土壤肥料学会賞	塩ストレス、特にソーダ質土壌障害に対する植物の応答に関する栄養生理学的研究	<u>藤山英保</u>	日本土壤肥料学会	2.主要部分が当課題研究の成果である	
2017	8月22日	優秀発表賞	好塩性植物の発芽時における塩応答の種間差	加藤大樹、 <u>馬場貴志</u> 、 <u>藤山英保</u>	日本砂丘学会	1.当課題研究の成果である	
2017	10月26日	奨励賞	低透水性土壌の迅速排水法における細粒-粗粒境界での水分移動特性について	池内令香、 <u>猪迫耕二</u> 、 <u>齊藤忠臣</u>	農業農村工学会中国四国支部	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2017	11月9日	優秀ポスター発表賞	Different salt stress responses between salt-sensitive and salt-tolerant basil varieties	Hideki Tanaka, <u>Satoshi Yamada</u>	International Symposium on Agricultural, Food, Environmental and Life Sciences in	1.当課題研究の成果である	
2017	11月10日	Third Place in the Student Oral Presentation Award	PROCESO DE RECUPERACIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO PARA SISTEMAS HIDROPÓNICOS EN UN SISTEMA HÍBRIDO (RAS – TBF) DE PRODUCCIÓN HIPERINTENSIVA DE TILAPIA	<u>Yenitze Elizabeth Flmbres Acedo</u>	Latin American & Caribbean Aquaculture , 2017	1.当課題研究の成果である	
2019	3月9日	Third place for the presentation of photographs in the annual JICA contest.	Title: “Three generations”.	<u>Yenitze Elizabeth Flmbres Acedo</u>	JICA	その他	
2019	6月29日	優秀講演賞	クエ養殖廃水を用いたサリコルニア Salicornia bigelovii の水耕栽培に関する基礎的研究, <u>遠藤雅人</u> 、辻村朋美、 <u>松井紋子</u> 、 <u>蕪木絵実</u> 、 <u>馬場貴志</u> 、 <u>山田 智</u>	<u>遠藤雅人</u>	生態工学会	1.当課題研究の成果である	
2019	9月19日	口頭発表優秀賞	独立型太陽光発電システムを電源とした露地栽培結合型アクアポニックスの電力需給解析	<u>高木優</u> 、 <u>田川公太郎</u> 、 <u>Joaquin Gutierrez</u> 、 <u>Juan Mandujano</u>	日本砂丘学会	1.当課題研究の成果である	

10 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2014	5月7日	NHKテレビ番組「いちおしNEWSとっとり」	とっとり発		1.当課題研究の成果である	本プロジェクト概要が紹介された。
2014	5月8日	鳥取大学公式ホームページ	科学技術振興機構(JST) 平成26年度国際科学技術共同研究推進事業「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)」研究課題に採択されました		1.当課題研究の成果である	本プロジェクト概要が紹介された。
2014	5月27日	日本海新聞	メキシコで地下水使い農産物 塩害克服に生産法着手		1.当課題研究の成果である	本プロジェクト概要が紹介された。
2014	8月1日	鳥取大学広報誌 風紋42	科学技術振興機構(JST) 平成26年度国際科学技術共同研究推進事業「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)」研究課題に採択		1.当課題研究の成果である	本プロジェクト概要が紹介された。
2015	12月24日	日刊水産経済新聞	海洋大でシンポジウム 途上国と養殖技術開発 SATREPSの研究報告		3.一部当課題研究の成果が含まれる	本プロジェクトの取り組みが掲載された。
2016	6月10日	日経産業新聞	水を得た陸上養殖		その他	

2016	11月8日	Agrio (時事通信社)	海面から陸上にシフトする 養殖業	巻頭記事, p2-4	その他	
2016	12月5日	TELSTAR (宇宙広報団体)	東京海洋大学 海洋生物資源学科 水族養殖学研究室	うちゅうけん号 (増刊号), p. 16-17	その他	
2016	2月23日	読売新聞	陸で育む海の幸 広がる	夕刊関西版2面	その他	
2018	2月3日	FM鳥取	CoREラジオ		3.一部当課題研究の成果 が含まれる	本プロジェクト概要が 紹介された。
2019	7月28日 8月4日	BSフジ「ガリレオX」	第201回「農業と漁業の融合 アク アポニックス」		3.一部当課題研究の成果 が含まれる	塩水によるアクアポ ニックス研究につい て紹介

11 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2015	8月20日	第10回陸上養殖勉強会セミナー アクアポニックスにおける物質循環 (講演者: 遠藤雅人)	東京ビックサイト (日本).	20名 (0名)	公開	陸上養殖勉強会セミナー参加者へアクアポニックスにおける物質挙動について講演を行った。
2015	1月28日	駐日マダガスカル大使、東京海洋大学品川キャンパス訪問	東京海洋大学品川キャンパス	1名 (0名)	非公開	ロゼット・ラソアマナリヴォ駐日マダガスカル大使がマダガスカル共和国から受け入れたJICAのABEイニシアティブ学生の就学状況について視察を行った。懇談ではさらなる交流の可能性について意見交換を行った。
2015	12月19日	International Symposium of SATREPS-programs on Sustainable Aquatic Bioresources	東京海洋大学 (日本)	150名 (2名)	公開	「水産養殖技術開発研究プロジェクトネットワーク」と題してSATREPSにおける5研究チームによる研究概要・成果発表が行なわれた。
2016	5月19日	第13回「陸上養殖勉強会」セミナー 「アクアポニックスの現状と新たな試み」 (講演者: 遠藤雅人)	沖縄コンベンションセンター (日本)	25名 (0名)	公開	第1回農水産業支援技術展沖縄で同時された陸上養殖勉強会セミナーにて本SATREPS研究について紹介を行った。
2016	7月13日	JICAモルディブ研修 「Technology of Closed Recirculating Aquaculture System」 (講演者: 遠藤雅人)	東京海洋大学 (日本)	7名 (0名)	非公開	モルディブ国持続的漁業のためのマスタープラン策定調査本邦研修においてモルディブ共和国研修生に対してアクアポニックスを含む閉鎖循環式養殖システムの解説を行った。
2016	8月26日	福島12市町村を対象とした復興交流研修 「陸上養殖の動向、取り組み事例」 (講演者: 遠藤雅人)	電源地域振興センター会議室 (日本)	10名 (0名)	非公開	(一財)電源地域振興センターが主催する研修においてアクアポニックスを含む閉鎖循環式養殖システムの講義を行った。
2016	9月7日	第304回 クリーンテクノロジー研究会 「閉鎖循環式陸上養殖システム」 (講演者: 遠藤雅人)	連合会館502会議室 (日本)	20名 (0名)	非公開	公益社団法人 日本空気清浄協会が主催する第304回 クリーンテクノロジー研究会においてアクアポニックスを含む閉鎖循環式養殖システムの解説を行った。
2016	9月20日	情報機構セミナー 「陸上養殖技術入門 ～現状・市場・使用設備・養殖品種・参入の際の計画・コスト・採算性等」 (講演者: 遠藤雅人)	東京・大井町きゅりあん (日本)	15名 (0名)	公開	情報機構が主催するセミナーにおいてアクアポニックスを含む閉鎖循環式養殖システムの講義を行った。
2016	10月14日	技術情報センターセミナー 陸上養殖の実際 (要素技術・事例・取組み)と 事業化への展開 「IV. 閉鎖循環式養殖における物質循環による飼育水再生と産業」 (講演者: 遠藤雅人)	東京・新お茶の水・連合会館4F 会議室	15名 (0名)	公開	(株)技術情報センターが主催するセミナーにおいてアクアポニックスを中心とする飼育水再生技術や産業化についての講演を行った。
2016	10月22日	平成28年度 東京海洋大学 公開講座 「震災復興を支える水産技術開発等への取り組み」 東北における閉鎖循環式養殖の可能性とエネルギー利用 (講演者: 遠藤雅人)	東京海洋大学 (日本)	17名 (0名)	公開	東京海洋大学が主催する平成28年度公開講座において閉鎖循環式養殖のエネルギーと海藻のアクアポニックスをを中心とする講演を行った。
2017	3月2日	第218回産学交流サロン 陸上養殖ビジネスの最新動向「陸上養殖の最新動向と課題、取組事例など」 (講演者: 遠藤雅人)	横浜企業経営支援財団大会議室	20名 (0名)	公開	横浜企業経営支援財団主催する産学交流サロンにおいて陸上養殖の動向を太陽光等のエネルギー利用も含めて講演を行った。
2017	3月9日	China-Japan Workshop on Wind and Solar Energy Utilization in Cold and Arid Land	黒竜江省ハルビン市・東北農業大学工程学院 (中国)	30名 (0名)	公開	学術交流協定大学校である東北農業大学において、自然エネルギー利用分野の研究者らとワークショップを開催し、本プロジェクト研究のアクアポニックスにおける自然エネルギー利用および太陽光発電に及ぼす砂塵衝突の影響について発表した。
2017	6月24日	2017生態工学会 年次大会オーガナイズドセッション、「乾燥地に適応した水産養殖と農業の結合システムの開発-メキシコ南バハカリフォルニア州における持続的食料生産のために-」 オーガナイザー: 山田 智、馬場貴志、遠藤雅人	東京海洋大学 楽水会館 (日本)	90名 (0名)	公開	生態工学会において、オーガナイズドセッションとして、本研究における現状と今後の展開について講演を行った。質疑も活発に行われ、有意義な意見交換がなされた。
2017	7月25日	JSTさくらサイエンス・ハイスクールプログラム	東京海洋大学品川キャンパス (日本)	60名 (0名)	非公開	アジア島嶼国等10ヶ国から高校生と引率教員の計60名が遠藤研究室の魚類飼育実験室を見学した。
2017	8月24日	アクアポニックスの現状と課題. 第17回陸上養殖勉強会セミナー (講演者: 遠藤雅人)	東京国際展示場東京ビッグサイト東5・6ホール (日本)	30名 (0名)	公開	陸上養殖勉強会セミナー参加者へ本SATREPSプロジェクトの内容も含めたアクアポニックスにおける現状と課題について講演を行った。

2017	8月28日	陸上養殖の動向と課題、成功事例、平成29年度 第1回やまなし陸上養殖協議会 (講演者: 遠藤雅人)	山梨県庁 防災新館4階 401会議室(日本)	20名(0名)	公開	やまなし陸上養殖協議会にて陸上養殖の解説および最近の動向について研究内容も含めて報告した。
2017	11月15日	陸上養殖技術入門～現状・市場・使用設備・養殖品種・参入の際の計画・コスト・採算性等～、情報機構セミナー (講演者: 遠藤雅人)	中央大学駿河台記念館4階 430 (日本)	40名(0名)	公開	一般向けに陸上養殖の技術や物質循環型の養殖について解説を行った。
2018	7月24日	JSTさくらサイエンス・ハイスクールプログラム	東京海洋大学品川キャンパス(日本)	28名(0名)	非公開	中国から高校生と引率教員の計28名が遠藤研究室の魚類飼育実験室を見学した。
2018	8月23日	陸上養殖の現状とこれから 第22回「陸上養殖勉強会」セミナー (講演者: 遠藤雅人)	東京国際展示場東京ビッグサイト東5・6ホール(日本)	100名(0名)	公開	一般向けに陸上養殖産業の現状と最新技術の解説を行った。
2018	10月3日	JICA課題別研修「小規模内水面養殖」 (講師: 遠藤雅人)	東京海洋大学(日本)	8名(0名)	非公開	研修員8名(アジア、アフリカ)に対して養殖技術の講義を行った。
2018	9月19日	陸上養殖技術入門 ～現状・市場・使用設備・養殖品種・参入の際の計画・コスト・採算性等～、情報機構セミナー (講演者: 遠藤雅人)	大田区産業プラザ (PiO) 6階C会議室, (日本)	40名(0名)	公開	一般向けに陸上養殖の技術や育種、物質循環型の養殖、エネルギー利用について解説を行った。
2018	10月12日	コートジボワール国「内水面養殖再興計画策定行政研修」 (講師: 遠藤雅人)	東京海洋大学(日本)	2名(0名)	非公開	研修員2名に対し、閉鎖循環式養殖・アクアポニックスについての講義および研究施設の見学を行った。
2018	10月17日	やまぐちアクアポニックス研究会オープンセミナー(講師: 山田 智他)	山口県産業技術センター(日本)	40人	公開	題目「塩水系アクアポニックスの可能性について」を講演した。
2018	1月12日	JF全漁連「浜の起業家養成塾」水産養殖学(魚の飼育と繁殖) (講師: 遠藤雅人)	全国漁業協同組合学校 (日本)	7名(0名)	非公開	浜の起業家養成塾塾生に講義を行った。
2018	2月13日	ウズベキスタン共和国大使、東京海洋大学吉田ステーション訪問	東京海洋大学吉田ステーション(日本)	2名(0名)	非公開	ウズベキスタン共和国のガイラト・ガニエヴィチ・ファジーロフ特命全権大使が本学吉田ステーションを訪問し、施設見学を行った。淡水魚の循環式養殖について説明し、節水型の養殖技術に関して意見交換を行った。
2018	3月26日	平成31年度日本水産学会水産増殖懇話会第1回講演会「陸上養殖への応用技術と最近の動向」(企画担当および講演者: 遠藤雅人)	東京海洋大学品川キャンパス講義棟大講義室	235名(0名)	公開	陸上養殖のトピックについて学術と産業の両面から数名の講師を招いて講演会を実施した。その中で遠藤は「アクアポニックス産業」という題目で講演を行った。
2019	4月23日	JSTさくらサイエンス・ハイスクールプログラム	東京海洋大学品川キャンパス(日本)	31名(0名)	非公開	インドネシア、ミクロネシア及びマーシャル諸島から高校生と引率教員の計31名が遠藤研究室の魚類飼育実験室を見学した。
2019	6月25日	メキシコ合衆国上院議員、東京海洋大学訪問	東京海洋大学品川キャンパス(日本)	3名(0名)	非公開	メキシコ上院議員の科学技術委員会議長であるベアトリス・パレーデス議員とロシオアドリアナ・アブレウ議員、インディラ・ロサレス・サン・ロマン議員が東京海洋大学しを訪問し、メキシコにおける大型海藻の大量発生、魚の養殖や鮮度保持について、本学の教員との意見交換を行った。その中で本プロジェクトの内容の説明を行った。
2019	7月9日	JSTさくらサイエンス・ハイスクールプログラム	東京海洋大学品川キャンパス(日本)	60名(0名)	非公開	韓国、インドネシア、フィジー、パラオ、モフディブから高校生と引率教員の計60名が遠藤研究室の魚類飼育実験室を見学した。
2019	7月18日	JICA課題別研修「小規模内水面養殖」 (講師: 遠藤雅人)	東京海洋大学(日本)	9名(0名)	非公開	JICA課題別研修「小規模内水面養殖」研修員9名に対して「養殖技術」の講義を行った。
2019	11月15日	JSTさくらサイエンス・持続性社会構築のための科学技術国際シンポジウム (講師: 山田 智)	鳥取大学広報センター(日本)	60名(0名)	非公開	一般向けに本プロジェクト概要・成果を紹介した。
2019	11月27日	陸上養殖技術入門～現状・市場・使用設備・養殖品種・参入の際の計画・コスト・採算性等～、情報機構セミナー (講演者: 遠藤雅人)	中央大学駿河台記念館 6階 610 (日本)	52名(0名)	非公開	一般向けに陸上養殖の技術や物質循環型の養殖について解説を行った。
2019	12月6日	動物生産学概論 特別講義「水産養殖とアクアポニックス」(講演者: 遠藤雅人)	新潟食料農業大学 胎内キャンパス(日本)	78名(0名)	非公開	新潟食料農業大学の2年生を対象に水産養殖とアクアポニックスについて特別講義を行った。
2019	12月12日	閉鎖循環式陸上養殖システムの基礎と今後の展望 (講演者: 遠藤雅人)	高砂ビル2F シーエムシー出版 セミナールーム(日本)	14名(0名)	非公開	一般向けに閉鎖循環式陸上養殖システムの原理・特性と今後の技術開発について解説を行った。

2019	2月18日	技術情報センターセミナー アクアポニックスの最新動向と取組み・事業展開 Ⅰ. アクアポニックスー歴史、原理とその利用ー	東京・新お茶の水・連合会館(旧 総評会館)・会議室(日本)	数名(0名)	非公開	アクアポニックスという一つの生産形態の歴史と物質循環の原理を踏まえたうえで、アクアポニックス独自の水管理手法および本生物生産システムが利用されている現状について解説した。
------	-------	---	-------------------------------	--------	-----	---

35 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2015	5月11日	プロジェクトメンバー紹介/PO説明/研究計画確認/供与機材確認/次回JCC開催時期協議	50名	研究開始初年度であった。RD締結後にプロジェクトメンバーの追加要請が日墨双方からあり、これを承認した。PO、研究計画および供与機材について説明・確認を行った。
2015	11月6日	研究成果報告/PO変更内容協議/モニタリングシート確認/次回JCC開催時期協議/機材調達進捗報告/	60名	研究成果報告があった。PO変更内容(機材調達時期の後ろ倒し他)について協議・確認した。モニタリングシートについて説明・確認を行なった。
2016	2月17日	研究成果報告/PO変更内容協議/モニタリングシート確認/次回JCC開催時期協議/機材調達進捗報告/農家モデル建設計画	60名	研究成果報告があった。PO変更内容(機材調達時期の後ろ倒し他)について協議・確認した。モニタリングシートについて説明・確認を行なった。農家に導入するモジュールの建設計画を確認した。
2017	11月28日	実証試験モジュール削減協議/モジュール建設のリスク対策協議/モジュールの取扱協議/次回JCC開催時	18名	モジュール削減案が承認された。モジュール建設のリスク対策が検討された。プロジェクト期間内および後のモジュールの取扱計画が合意された。
2018	4月16日	実証試験モジュール建設の加速/実証試験モジュールの所有権/実証試験モジュールの取扱協議/モニタリングシート/PDM修正/新プロジェクトメンバー/次回JCC開催時期協議	40名	モジュール建設を加速することが要請された。CIBNOR弁護士によりモジュールは建設物ではなく、機材と見なすことができる旨が認められたため、プロジェクト終了時にJICAからCIBNORへ譲渡し得ることとなった。CIBNORがプロジェクト終了後にもモジュールを使用することを希望している。それを実現するためには、モジュール運用詳細計画をJICAに提出し、承認される必要があるとした(決定は次回JCC)。モニタリングシートの提出頻度(半年に1回)が確認された。PDM記載の実証試験サイト2箇所を1箇所に変更した。4名の新メンバーが承認された。
2019	3月11日	実証試験モジュールの取扱法決定/新プロジェクトメンバー/次回JCC開催時期協議	40名	CIBNORによるモジュール運用詳細計画がJICAに認められたため、プロジェクト終了時にJICAよりCIBNORに譲渡されることが可能となった。11名の新メンバーが承認された。
2019	11月6日	終了時評価に係る調査結果/新プロジェクトメンバー/次回JCC開催時期協議	50名	JICA・JSTによる終了時評価に係る調査が行われ、現地視察も行われた。その評価結果が示された。1名の新メンバーが承認された。

7 件

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～令和2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	・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(塩除去作物により実現可能)・湖沼の富栄養化防止技術への応用(養分吸収力の高い作物により実現可能)・新産業「高付加価値水産物・農産物生産工場」への技術支援(水産物バナメイエビ、ホワイト・スヌーク、農産物(水耕)アリタソウ、(露地)トウガラシ(アパネロ、モロン)で実績あり)・新産業「自然エネルギーによる植物工場」への技術支援(可能;実証済)
科学技術の 発展	・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(可能。効率が課題)・水利用効率の高い農水産物生産システムに関する研究(可能)・塩類化土壌のファイトレメデーション(可能。効率が課題)
知財の獲得、 国際標準化 の推進、生 物資源への アクセス等	・乾燥地に適応した露地栽培結合型アクアポニックス(獲得準備中)・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(提案可能)・高塩条件下で生育可能な作物種(フダンソウ、スアエダ、スベリヒユ、テーブル・ビートについて、実証済)。
世界で活躍 できる日本 人材の育成	・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(若手研究員5名、派遣学生23名、国際誌17編)
技術及び人 的ネットワ ークの構築	・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(アクアポニックス国際シンポジウム<H27,メキシコ>)・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(国際シンポジウム水産養殖技術開発研究プロジェクト・ネットワーク<H27,品川>)
成果物(提 言書、論文 、プログラム 、マニュアル 、データなど)	・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(完了;R2年5月)・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(国際誌17編、国内誌16編)

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。

