

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

平成 28 年度実施報告書

国際共同研究期間*1

平成 27 年 5 月 7 日から平成 32 年 5 月 6 日まで

JST 側研究期間*2

平成 26 年 5 月 1 日から平成 32 年 3 月 31 日まで

(正式契約移行日 平成 27 年 4 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

研究題目・活動	H26年度 (11ヶ月)	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31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		←		→		

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

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		←			→		
5-4 露地栽培土壌の塩類化防止技術の開発		←			→		
5-5 暫定版養殖・農業結合システムの構築・展示			←		→		
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		←	→	*1			
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		←	→				*2
6-4 実証サイトでの実証試験			←	→		←	*3
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				←	→	←	*3
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; 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。

*2; 本検討は農家実証モデルの建設後も実施する必要があるが、農家実証モデルの建設が遅延し、平成30年4月に完成する予定であるため。

*3; 農家実証モデルの建設が遅延し、平成30年4月に完成する予定であるため。

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

該当なし。

2. プロジェクト成果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

養殖グループとしては、適用可能な海水魚の候補種リストから低塩分耐性、飼育・繁殖の難易度、市場価格等の検討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。また、メキシコではCIBNORモデルシステムを運用し、ティラピアのGIFTシステムを飼育して生産性および排水成分の把握を行った。作物グループとしては、新たに水耕栽培候補種を2種（オカヒジキおよびキ

【平成28年度実施報告書】【170531】

ヌア) 選定し、それらの最適塩濃度 (40 mmol L⁻¹) を決定した。また露地栽培候補種を2種 (トウガラシ・ハラペーニョ、タイム) 選定した。電力供給グループとしては、CIBNOR モデルシステムにおいて、電力消費量を算定するとともに、安価且つ簡易な電源システムを提案することができた。また、電源システムの維持管理法の開発に必要となる項目や検討課題を抽出することができた。安全性評価グループとして、昨年度の微生物網羅的解析の結果をもとに、注視すべき微生物を抽出するとともに検出・定量法について検討した。また農家実証試験実施予定地を含む7地点において地下水中の微生物動態解析を行ない、細菌群集構造が地点によって大きく異なることがわかった。結合技術グループとしては、キャピラリーバリアの存在によって下層からの毛管上昇は確実に遮断されることが明らかとなり、乾燥地の地下水の塩濃度が高い場合の有効な塩類集積防止策となることが確認できた。社会実装グループとしては、プロジェクトサイトの市場における魚類・野菜類の価格を継続調査し、1年間の価格変動を明らかにし、モデルシステム導入時に農家が得られる売上高の計算が可能となった。また、2戸のモデル農家(Los Planes 地区1戸および Todos Santos 地区1戸)を決定した。

- ・ 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) 養殖と農業の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除塩、4) 土壌塩類化の防止、5) 太陽光発電を含む電力利用、6) 生産物の安全性評価を実現するとともに、7) 構築した技術の普及要件の洗い出しを行なう。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)

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2名および研究従事者としての大学院生5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28年7-8月には、JICA 短期研究員受入において CIBNOR 研究員5名に研修を行った。

【平成28年度実施報告書】【170531】

(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) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

1) 養殖適種の選定

ナイルティラピア *Oreochromis niloticus*、バナメイエビ *Litopenaeus vannamei* に続く、第三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* を選択した。ブラックスヌークはカルフォルニア半島南端、カルフォルニア湾口からエクアドルに至る沿岸地域に生息し、水産上高級魚として扱われる種である。広塩性の魚類で淡水から海水まで飼育が可能であり、成長率、飼料効率ともに飼育水塩分に大きな影響を受けないと報告されている。また、30°C の高水温にも十分に対応可能な種である。最大サイズは 1m を超える。種苗生産に関しては比較的難しいが CIBNOR およびメキシコ食品研究開発センター CIAD で可能である。また、魚食傾向が高いため、共食いの影響調査および防除法の検討も併せて必要となる。

2) 養殖適種の最適飼育環境の決定

平成 27 年度に設計をした 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収集を目的としている。そこで実生産が可能な実験装置を 12 基設置した。閉鎖型循環式養殖システム 1 基は、飼育槽(容量: 1000L)、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(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)を設置している。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。本年度はこの閉鎖型循環式養殖システムを整備し、CIBNOR のナヤリットユニットから Genetically Improved Farmed Tilapia (GIFT) 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°C)と 4psu 程度の塩分を含む用水の効果もあり、給餌率を基本給餌率の 100%、120% および 140% 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



CIBNOR モデルシステムの閉鎖循環式
魚類飼育装置



ティラピアへの給餌



水耕栽培モジュールへ
の飼育排水の移送

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

以上まで成長した。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。

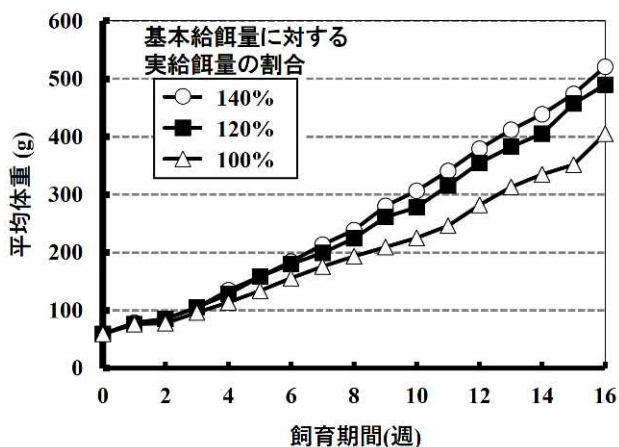
また、この生産により 300mgN/L 以上の硝酸塩を含む飼育排水が水耕栽培に提供可能であることもわかり、飼育排水を水耕栽培モジュールに必要分供給することができた。今後は個々の元素フローを明らかにし、更なる生産実験を進める。餌の組成に関しても現地で入手可能な原材料から作られた高品質で安価な配合飼料の開発を目指して配合割合の検討を進めている。



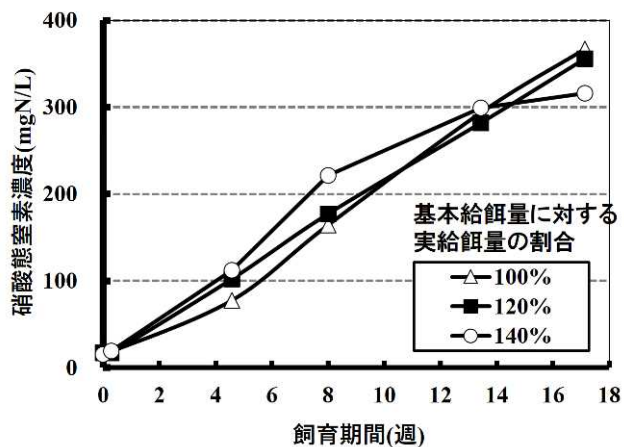
MBBR システムを利用した
生物濾過槽

ティラピアの体重・体長計測

有機物分解後の固形物の回収



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



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

日本では塩水環境下におけるアクアポニックスの物質動態を理解するため、クエ *Epinephelus bruneus* の飼育排水を用いた海藻のクビレズタ *Caulerpa lentillifera* と好塩性植物のアイスプラント *Mesembryanthemum crystallinum* の栽培を行った。クビレズタは沖縄で養殖される比較的価格の高い海藻であり、基本的には沖縄から生で全国に流通している。アイスプラントは塩味のある新規葉菜類でこちらも生食用に流通が進んでいる。クビレズタに関しては 32psu 程度のほぼ海水と同様の飼育排水を用いて室内栽培の実験を行い、合成肥料を用いた栽培と同様に生産可能であること、アイスプラントは海水塩分濃度の 1/4 程度である 8psu に希釈した飼育排水でも十分に栽培可能であることを明らかにしており、さらに元素フローについても把握している。今後は本結果を基にした数理モデルの構築やメキシコ国での物質フローの制御方法に応用していく。

第二選抜種のパナメイエビ *L. vannamei* は、メキシコ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



ラパス近郊のパナメイエビ養殖場



ラパス近郊のパナメイエビ



パナメイエビへの給餌

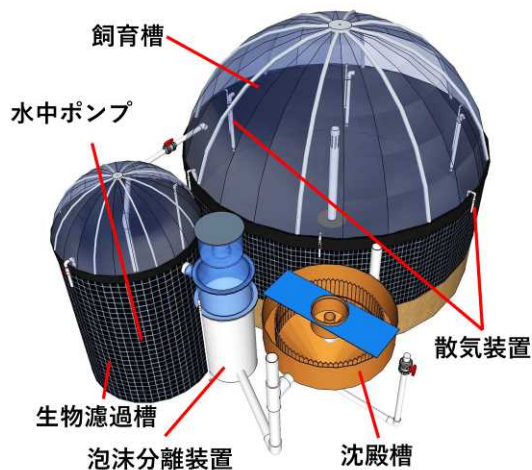
究対象種として位置づけ、様々な研究が行われている。通常、海水を導入した屋外の池で生産されるが、飼育槽に糖などの炭素源を投入することで細菌叢を安定・増殖させ、同時に物質吸収と餌料の供給を行うバイオフィロック法が確立されている他、閉鎖型循環式養殖システムでの飼育技術も利用できることから、本研究においてもこれらの方式でパナメイエビを生産した際の物質フローについて調査を行う予定である。ラパス近郊のサン・サバステアンでも海水を導入したパナメイの大型養殖場があり、流通においても既に確立されており、比較的高額で取引されている。

パナメイエビの飼育実験に関しては日本においても種苗の入手先の目途が立ち、来年度の飼育試験に向けて実験装置の選択、実験条件の決定を進めている。平成 29 年度には東京海洋大学では小型のパナメイの循環式飼育システム(水量 50L/システム)において異なる塩分環境下(3psu、16psu および 34psu)でのパナメイの飼育を試み、生産性の確認と各種元素の物質挙動を把握する。並行して鳥取大学モデルシステムにおいても循環式飼育システムによって 4psu の地下水を用いてパナメイの飼育を行い、飼育水を後段の水耕栽培に使用する計画である。

スヌーク養殖の関しては現在具体的な研究案は策定できていないが、平成 29 年度に閉鎖型循環式養殖システムを用いた生産試験を考慮して塩分を含む水質環境の設定、飼育水温、飼育密度、給餌飼料の質・量について精査を行った後、平成 30 年度から必要な飼育実験に移行していく計画である。ただし、本種は日本に導入されていない種であるため、CIBNOR における飼育実験が必須となる。

CIBNOR モデルシステムの装置設定および飼育結果を元にして、農家実証システムの仕様について検討を行った。本年度行ったティラピアの飼育結果から、中間育成後の 50~70g 程度のティラピアを導入して生産を行うことで出荷サイズのティラピアを 4 か月で生産できることがすでにわかっている。実生産では定期的な生産を実現するため、4 基の育成用の飼育装置に 1 か月毎に生産魚を導入することで 1 か月毎に出荷が可能となる。そこで 4 基の閉鎖型循環式養殖システムを用いることとし、実生産規模の最低限の水量である数 kL~十数 kL の装置を設計した。飼育槽および生物濾過槽には安価な HDPE ライナーおよび金網を利用する仕様とした。本年度、個々の仕様や規模を精査し、2 件の農家に水耕栽培施設および露地栽培施設とともに導入する予定である。

【平成 28 年度実施報告書】【170531】



農家実証システムの閉鎖循環式養殖システム(原案)



農家実証システムの閉鎖循環式養殖システムの設置シミュレーション

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 28 年度は日本式の養殖魚の出荷前処理についてファン・カルロス・ウルビオラ博士を中心に日本では鳥取大学での短期研究員受入の際にティラピアを、CIBNOR ではウルビオラ博士らが研究・飼育するヒレナガカンパチを用いて実習を行い、それぞれで試食会も開催した。実際には生きた養殖魚からの脱血処理および神経締めについて実践を行った。CIBNOR には食品部門が存在しないため、ポストハーベスの処理方法の実践に関しては日本の技術支援が必要不可欠である。これらの出荷前処理と鮮度、食味については日本の技術がメキシコの養殖産業の高度化に最も重要な要素の一つとして挙げられる。これらの技術情報を実際に体験しながら習得し、試食を行うことで味の良し悪しについても共有できたことから、出荷前処理の重要性を伝えることができた。今後は産業の高度化、すなわち、生産物の高品質化に結びつける方策について検討を進める。



鳥大モデルシステムでの
ティラピアの前処理



CIBNOR におけるヒレナガ
カンパチの試食



CIBNOR におけるヒレナガ
カンパチの前処理

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 300mgN/L 以上の硝酸塩濃度でティラピア飼育排水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塩についても総量として考慮すべき値である。

今回の予備実験の結果、循環式養殖によって 300mgN/L 程度の硝酸塩を含む飼育水中で生産されたティラピアでは平均で約 50 μ gNO₃⁻/g 魚肉への硝酸蓄積が認められた。さらに硝酸塩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 μ gNO₃⁻/g まで低減できるといった結果も得られている。体重 60kg 成人の硝酸イオン許容摂取量 222mgNO₃⁻/g/日となり、ティラピア魚肉だけで換算すれば、1 日に出荷前処理より以前の魚肉で 4.4kg、出荷前後では 22.2kg 程度まで摂取できる計算となる。実際には数千 μ gNO₃⁻/g の硝酸イオンを含む野菜等が存在することから、これらも含めた許容量を考える必要がある。平成 29 年度は詳細なデータ解析を進める。

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、バ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。バ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

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

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 研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

1) 栽培適種の選定

平成27年度に引き続き、水耕栽培候補植物を選抜することを目的として、新たにヒユ科のオカヒジキ、キヌアおよびアリタソウを供試し、0、20、40、80、100、120 mmol L⁻¹ NaCl で栽培した。オカヒジキおよびキヌアは、塩濃度40 mmol L⁻¹ NaCl（CIBNORにおける地下水塩分濃度は、約36 mmol L⁻¹）で成育が最も旺盛であったことから、水耕栽培候補種として選定した。また露地栽培候補種として、トウガラシ・ハラペーニョおよびタイムを選定した。

2) 栽培適種の最適栽培法の決定

本年度は、水耕栽培におけるヒユ科作物の最適塩濃度を決定した。試験は、1) 栽培適種の選定と同一である。オカヒジキおよびキヌアの最適塩濃度は40 mmol L⁻¹であることがわかった。一方、アリタソウの重量は塩濃度の上昇とともに減少したことから、好塩性ではなく、水耕候補植物として適さないことがわかった。

② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

本年度の短期研修員受入において、CIBNOR の作物グループに属するカルメン・メルカド研究員およびサウル・ブリセーニョ技官に対して、鳥取大学で技術研修を行なった。カルメン・メルカド研究員は、10月より長期研修員受入として、鳥取大学連合農学研究科（博士後期課程）に在籍している。SATREPS 研究における露地栽培作物として、換金価値の高いハーブ類を挙げている。各種ハーブ類の栽培法全般について教授した。サウル・ブリセーニョ技官は、SATREPS 研究において作物の水耕・露地栽培を管理している。鳥取大学では、水耕栽培のための培養液調整法、育苗法および移植法について教授した。

③ 研究題目 2 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 年度実施報告書】【170531】

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℃を超えるため、特に水耕栽培の実施の困難さが懸念されたが、フダンソウは問題なく、成長できることが明らかとなった。また、水耕栽培でもっとも時間と労力を必要とする培養液（養殖排水）のpH調整もフダンソウで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。

④ 研究題目2の研究のねらい（参考）

本養殖・農業結合システムにおいて、塩分を含む養殖排水を用いて、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。水耕栽培において好塩性作物により低塩化された培養液を養殖・水耕栽培室内大気から回収した真水で希釈した水を利用して、高付加価値作物を露地栽培する。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。そのために本年度は、栽培適種（水耕・露地）の選抜試験を完了するとともに、栽培適種の最適栽培法の決定のために、好塩性作物における水耕培養液の塩分濃度応答性を調査した。また、露地栽培適種として、換金価値の高い、トウガラシ類およびハーブ類の水耕栽培試験を実施した。

⑤ 研究題目2の研究実施方法（参考）

水耕栽培における“栽培適種の選定”と“栽培適種の最適栽培法の決定”のために、培養液の塩分濃度を幅広く変化させて、好塩性作物の水耕栽培試験を行なった。栽培後に作物の成長量および塩分吸収量を調査した。また、露地栽培における“栽培適種の選定”のために、調製塩性土壌を用いてトウガラシ類およびハーブ類を土耕栽培し、栽培後に作物の成長量および品質を調査した。

(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）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

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

鳥取大学モデルシステムの養殖および水耕栽培試験において、養殖水の循環および空気供給、ならびに水耕栽培での空気供給に必要となる電力消費量について継続的に測定し、水産養殖用の循環ポンプの消費電力量が最も高く、月間の消費電力量が最低でも267kWhに達しており、各月の消費電力量の60%以上を占めることがわかった。また、2.72kW出力の太陽光発電システムと商用電力における電力供給割合および設備利用率を明らかにした。太陽光発電によって供給できる電力量が1,781kWhであり、全体の57%を占めることがわかった。鳥取大学モデルシステムの養殖および水耕栽培における1日、1か月、数か月間の電力需給パターンが明らかとなり、システムの電力供給システムの設計指針の確立に有用な知見が得られた。

CIBNORモデルシステムにおける養殖・水耕栽培試験の初期(平成28年6月～9月)では、養殖の酸素供給用ブロー（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。その結果、1日あたりの養殖－水耕栽培1列の平均電力消費量は約3.1kWh/day（養殖2.5kWh/day, 水耕栽培0.6kWh/day）となり、その消費内訳はブロー64%、養殖用ポンプ18%、水耕用ポンプ19%となることがわかった。その後の実験(平成28年10月～2017年3月)では、特に養殖部における直流ポンプの故障・

【平成28年度実施報告書】【170531】

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・追加設置したため、飼育槽 1 つにつきポンプ 2 つが運転されている。この場合に 1 日あたりの養殖－水耕栽培 1 列の平均電力消費量は約 9.4kWh/day（養殖 8.8kWh/day, 水耕栽培 0.6kWh/day）となり、直流ポンプのみを用いた場合の 3 倍の電力消費量を要する結果となった。またその消費内訳は、ブロワー 21%、養殖用ポンプ 73%、水耕用ポンプ 6%となることがわかった。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 モデル規模のシステムにおいて、ブロワー 1 台の電力消費量に大きな注意が必要であると考えていたが、実際の運転で用水循環用ポンプの導入台数や 1 台あたりの電力消費量が増加する場合には、ブロワーよりもポンプの選定が非常に重要な要素となることが確認された。したがって、養殖魚種の成長によって必要な循環水量の範囲を明確にし、その条件を満たすポンプの揚水性能と電力消費を考慮した詳細設計方法を検討することが実用設計に向けた課題となった。なお露地栽培では、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。

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

実測した傾斜面日射量を用いて、JIS C8907:2005 で太陽光発電電力量を予測し、実測値と±10%以内でほぼ一致することを確認した。この検証結果から、メキシコラパス市で測定している日射データを用いて、太陽光発電電力量の予測が可能となり、太陽光発電システムの導入設計に適用することができる。

CIBNOR モデルシステムにおける試験を通して、ポンプの交換と仕様変更を行なうとともに、停電による一時的な電力供給停止等の対処法を検討することにより、非常時の対応を含めた電源構成についての知見を得た。さらに、ポンプやブロワーの電力仕様、現地の送配電状況とのマッチングによる電源設計の必要性、故障時の修理対応、交換機材の手配など、農家が本システムを導入し、維持管理していくために必要な項目や検討課題について抽出した。

② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

CIBNOR モデルシステムでの実証試験を通じて、日射データから太陽光発電システムの規模設計やシステムへの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手法と電源の運用手法についてカウンターパートに教授することができた。

③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

鳥取大学モデルシステムでの結果を元に、電力供給時に発生する CO₂ 排出量と「電力供給に係る投入エネルギー」に対する「収穫ティラピアおよびフダンソウの食品熱量」の比率により新たに定義したエネルギー効率を算定し、本システムの環境負荷特性を評価した。このような評価手法の導入により、養殖・農業結合システムの新たな付加価値を提案する。

平成 28 年 9 月 6 日未明から午後 3 時頃において、CIBNOR の位置するラパス市をハリケーンが通過したが、CIBNOR システムに導入されている太陽光発電システムへの被害は無かった。また、平成 29 年 2 月 6 日午前 8 時から 10 時頃において CIBNOR の所在地域一帯で突発的な停電が発生したが、太陽光発電

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

システムの電力が供給されている機器は稼動していたものの、その他の機器は停止していた。特に養殖水槽への空気供給ブロワーは停止していたため、養殖魚へのエアが約1時間程度供給されない状況が発生した。成魚になると1時間程度のエア供給停止でも死に至ることから、バックアップ電源の導入必要性が極めて高いことが検証された。通常運転のための電源に加えて、事故内容に応じたバックアップ電源の種類や規模の選定方法など、電源面でのリスク・危機管理法に関する提案が新たな課題と考えている。

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。そこで本年度は、太陽光発電システムの導入有用性と電源の組み合わせ条件を検討するために、太陽光発電と商用電力からなる電力供給システムを用いて、鳥取大学モデルシステムの水産養殖・水耕栽培における電力需給特性を明らかにした。また、乾燥地の日射データをもとに太陽光発電システムの導入設計手法を確立するために、太陽光発電システムの期待発電電力量の算定手法を検討した。また、メキシコ現地での電源の最適化や運用計画の確立を図るため、CIBNORモデルシステムの養殖・水耕栽培試験において太陽光発電と商用電力からなる電力供給システムの実証試験を開始した。

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において、太陽光発電と商用電力からなる電力供給システムを用いて、水産養殖・水耕栽培試験における電力供給量および電力消費量を測定し、電力需給関係を検討した。また、乾燥地の日射データから太陽光発電による期待発電電力量を予測するために、太陽光発電システムの発電電力量を「JIS C8907:2005 太陽光発電システムの発電電力量推定方法」を利用して算定し、実測値と比較することでその適用性について検討した。さらにCIBNORモデルシステムにおける実証試験において、気象条件、太陽光発電と商用電力システムからなる電力供給システムの供給電力量およびシステム稼働での電力消費量を測定した。また、システムの運転を通して、電気関連機器の運用と維持管理に関する問題点についても検討した。

(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)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

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、したがって規制も存在しない状況になる。したがって、本研究における微生物に関する解析結果は非常に重要な意味をもつ。昨年度の微生物網羅的解析の結果をもとに、注視すべき微生物を抽出するとともに検出・定量法について検討した。また農家実証試験実施予定地を含む7地点において地下水中の微生物動態解析を行ない、細菌群集構造が地点によって大きく異なるとがわかった。

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情報交換を行うとともに、プライマー配列、実験方法の共有を進
【平成28年度実施報告書】【170531】

めている。また、実際に試料採取から DNA 抽出をカウンターパートとともに実施し、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

CIBNOR 側から本システムの安全管理方法として、メキシコにおける微生物管理基準として HACCP に類似した方法としての確立提案があり、すでに養殖グループ等と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、結果によっては規格基準として確立できる可能性がある。

④ 研究題目 4 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を実施する。平成 23 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・ファクターを明らかとすることが可能となり、その結果をもとに、本システムを安全且つ継続的に管理する方法の確立につながる。

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

前年度の鳥取大学モデルシステムでの養殖システムにおいての次世代シーケンス解析による微生物網羅的解析の結果をもとに、注視すべき微生物を抽出するとともに検出・定量法について検討した。

まず、次世代シーケンス解析について、リード数の解析能が M（メガ）から G（ギガ）に飛躍的に増加し、これまでの長配列（～700bp）のメガ単位の解析から短配列（～250bp）のギガ単位での解析に変わってきている現状があり、またサンプル数が多いことを考慮し、当初予定していた方法から、IonPGM あるいは Miseq を用いた解析法に変更することとした。さらに、IonPGM あるいは Miseq への対応および、より広範な細菌種を捉えるためにプライマー 105 種を新たにデザインした。

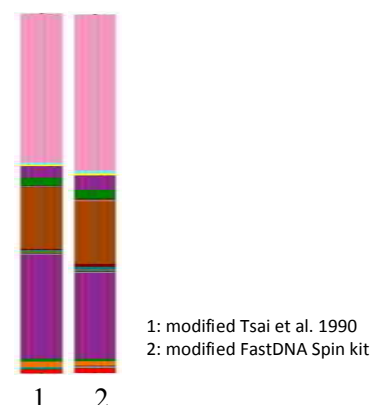


図 4-1. 異なる DNA 抽出法で解析した細菌群集構造の比較

次に、試料からの微生物 DNA 抽出法について検討し、FastDNA Spin kit for Soil を用いることに決定した。本 kit は土壌からの DNA 抽出法として基準となる方法の一つであり、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。しかし、本 kit は土壌等の固形試料を対象とするため、養殖水を対象とする場合ための検討を行った。試料水中の微生物をポリカーボネートフィルター上に捕集し、フィルターから kit を用いて DNA 抽出を行った。従来用いていた Tsai らの方法を改変した方法と微生物群集構造について比較した結果、本 kit での DNA 抽出法と従来法の細菌群集構造は類似していたことから（図 4-1）、本 kit を用いることに決定した。

次に、昨年度に作成した危害微生物リスト、学会等での情報収集および養殖グループとのディスカッションを元に、危害微生物としてまずは大腸菌、Salmonella 属、Vibrio 属に着目することとした。迅速検出法として、現場での実用性を考慮し、LAMP (Loop-Mediated Isothermal Amplification) 法の検討を行うことに決定した。Salmonella 属はすでにキット化されており、LAMP 法の有用性を評価できる。また、大腸菌はこれまでに検討経験があり、Vibrio 属はいくつかの論文報告があることに加え、養殖において必要不可欠な危害微生物である。DNA ベースでの本法に加え、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検討することを決定した。

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

鳥取大学モデルシステムにおいて、DNA をベースとしたリアルタイム PCR 法により、養殖水中の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、灌水の前後においても大きく変化することがないことがわかった（data not shown）。

また、1) と同様のアプローチを行い、微生物動態解析を行った（図 4-2）。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ことがわかった。しかしその一方で、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。養殖開始直後に存在していた *Sphingobacteria*（水色）の割合が大きく低下し、飼育期間が長くなるにつれ

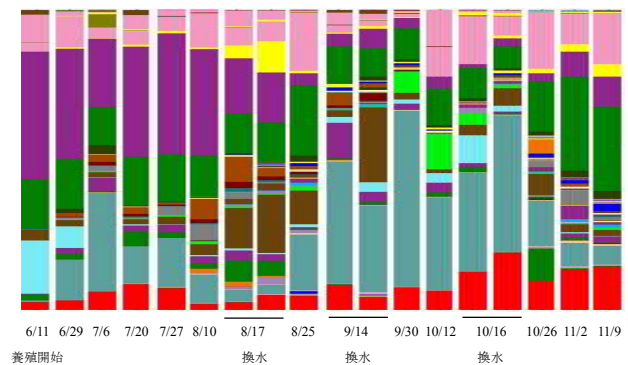


図 4-2. 養殖水中における細菌群集構造の推移

て *Actinobacteria* (青緑色) の割合が増加した。また、*Betaproteobacteria* (紫色) や *Gammaproteobacteria* (桃色) は期間を通じて存在していることがわかった。一方で一定の傾向は認められなかった。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。今後は多次元尺度法などの統計的な解析手法を取りいれるとともに、本データについて詳細な分析を行う必要がある。

さらに、同時に原水、養殖水、ろ過槽に加え、栽培中および出荷前の餌抜き処理後のティラピア表面

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

の細菌群集構造についてもスワブによるふき取り法で試料を採取し、解析を行った（図 4-3）。その結果、原水（地下水）における多様性は非常に高いが、養殖システム内においては、原水に比べて多様性は低くなることがわかった。また養殖水とろ過槽内でも細菌群集構造は異なり、養殖水では *Flavobacteria*（紫色）や *Fusobacteria*（茶色）の割合が高く、ろ過槽では *Bacteroidetes*（焦げ茶色）や *Alphaproteobacteria*（緑色）の割合が増加していた。一方でティラピア表面においては、*Gammaproteobacteria*（桃色）が半分以上を占めていた。しかし、出荷前の餌抜き処理（清浄な水で 5 日間餌抜きで飼育）により、*Bacteroidetes*（焦げ茶色）や *Gammaproteobacteria*（桃色）の割合が大きく減少し、*Alphaproteobacteria*（緑色）や *Betaproteobacteria*（紫色）が増加するなど、細菌群集構造は大きく変化することがわかった。

さらに、メキシコバハカリフォルニア州において、モデルシステム候補地を含む 7 地点において原水となる地下水を採取し、1) と同様のアプローチを行い、微生物動態解析を行った（図 4-4）。その結果、地下水によって細菌群集構造は大きく異なることがわかった。しかし、システム導入予定地であるトドサントスおよびロスプラネスの細菌群集構造は、すでにシステムを導入している CIBNOR の地下水と類似しており、CIBNOR モデルを基本としてシステムを導入する場合、結果を応用できるとともに、違いが生じた場合には、その要因解析などにより有益な結果を得ることができると考えられる。

一方で真菌については、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、今後は多次元尺度法などの統計的な解析手法を取り入れるなど、本データを含めた微生物群集構造について詳細な分析を行う必要がある。

(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 当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

今年度の実験ではキャピラリーバリア（CB）の存在によって下層からの毛管上昇は確実に遮断されることが明らかとなり、乾燥地の地下水の塩濃度が高い場合の有効な塩類集積防止策となることが確認された。また、作土層の保水力強化につながるため、より節水的な圃場水管理が可能であると考えられた。次年度は、水利用効率を最大化する灌漑方法を明らかにする。

② カウンターパートへの技術移転の状況

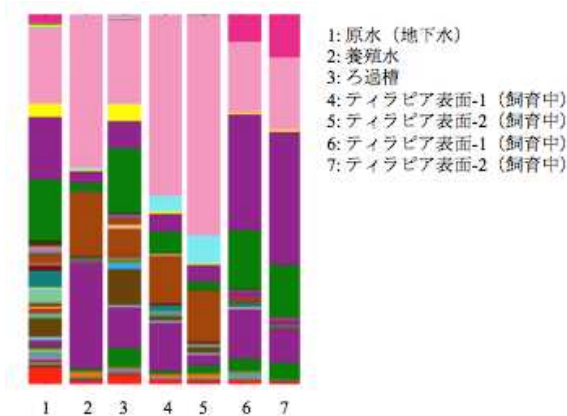


図 4-3. 養殖システムにおける細菌群集構造の推移

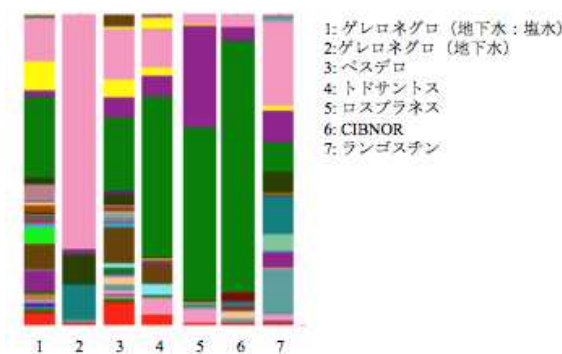


図 4-4. メキシコの地下水中の細菌群集構造

土壌における水分と塩分の簡易な同時測定法をカウンターパートに紹介し、メキシコの実証圃場での測定を開始した。

③ 当初計画では想定されていなかった新たな展開特になし。

④ 研究のねらい (参考)

本研究では、養殖用水、作物水耕栽培用培養液として利用されたアクアポニックスの廃水を作物露地栽培用灌漑水に利用し、食料生産における水利用効率を高めることを目的としている。室内でのアクアポニックスで生まれる高湿度環境を除湿することで低濃度の用水を確保し、これを排水に混入することで、濃度を低めた灌漑用水を確保する。これを利用して塩類集積等を生じさせない露地栽培形態を確立する。対象が乾燥地であることから、節水的でかつ塩類集積を防止する圃場水管理法を確立する必要がある。そのための選択肢の一つとして、CBに着目し、平成 26 年度は鳥取大学の浅い地下水位をもつ圃場に CB を導入し、その性能評価を試みた。平成 27 年度は、CB の上にメキシコの現地土壌の物理性に近いと思われる砂質壤土を客土し、CB による保水能力の向上に関する性能評価試験を行った、平成 28 年度は CB の有無がトウガラシの水利用効率に与える影響を明らかにするために栽培実験を行った。

⑤ 研究実施方法 (参考)

本研究ではアクアポニックスで使用済みとなった廃水を露地栽培の灌漑用水として利用することにある。持続的な露地栽培を実施するには、節水的な栽培と塩類集積の防止が必要不可欠となる。この 2 つの目的を同時に達成する方法の一つに粗粒土層を用いた CB の利用がある。本年度は CB 層の上に砂質壤土を客土した圃場において異なる水管理方法で栽培実験を行い、CB の有無がトウガラシの水利用効率に及ぼす影響について評価した。

鳥取大学農学部附属農場に 4×11m の雨除けビニールハウスを建設し、2.4×4m の試験区を 2 区設け、それぞれ、CB 層を有する区 (CB 区) と CB 層を持たない区 (対照区) を設置した (Fig.1)。さらに、各処理区に水管理方法の異なる湿潤区と乾燥区を設けた。

実験圃場には高さ 0.9m、厚さ 0.01m の合板で試験区全体を囲う壁を作成し、砂質土壌を厚さ 0.6m で客土した (Fig.2)。CB 区では地表面

を 10 cm 掘り下げ、礫を 0.1m の厚さになるよう粒径 2~53 mm の礫を敷き詰めた。本圃場の本来の土壌は埴壤土であるため、CB 区の土壌構造は、地表面から作土層 (砂質壤土) - CB 層 (礫層) - 下層 (埴

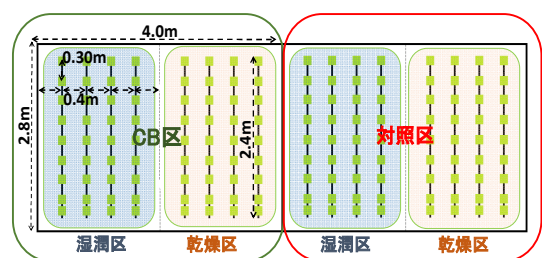


Fig.1 圃場の平面図

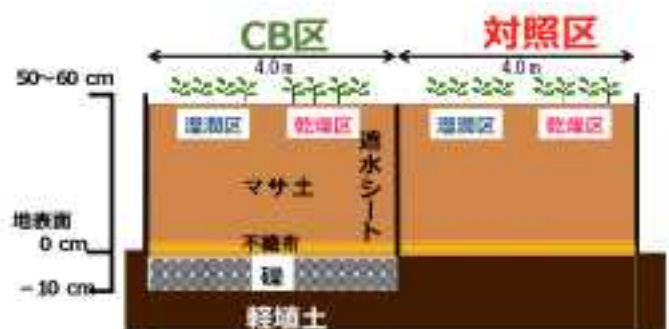


Fig.2 実験圃場の断面図

壤土)となっており、対照区は作土層(砂質壤土)一下層(埴壤土)となっている。試験区は木枠壁上部から下層土の深さ0.1mまで側面を防水シートで覆われており、試験区側面からの水移動は遮断した。

供試作物は、トウガラシ *Capsicum chinense* (品種; アバネオオレンジ) とした。なお、灌漑はドリップチューブを用いた。株間 30 cm、畝間 40 cm とし、1 処理区に平畝で 4 列設置した。8 月 9 日に移植し、12 月 19 日までに 5 回果実を収穫した。灌水処理は 9 月 15 日~12 月 19 日に実施した。灌漑は、トウガラシの根群域である表層 20 cm の体積含水率 (θ) が閾値まで低下したら定量を灌水する随時定量灌漑とした。閾値は湿潤区では作物がストレスなしに利用できる水量の 30%をしたときの体積含水率 (17.7%) であり、乾燥区ではストレスなしに利用できる水量のすべてを消費しつくしたときの体積含水率 (12.5%) とした。1 回あたりの灌水量は湿潤区、乾燥区ともに 4 mm とした。深さ 10, 20, 30, 40 cm の体積含水率 θ (PR2/4, Δ T 社) を 1 日 1 回定時 (朝 10 時) 観測した。また、深さ 15cm で土壌水分と塩分の同時測定を TDT センサー (Digital TDT, Acclima 社) で実施し、蒸発量 (小型蒸発計、池田製作所)、気温、相対湿度、全天日射量は自記測定した。

各処理区における積算灌水量は CB 湿潤区で 82.0 mm、CB 乾燥区で 24 mm、対照湿潤区で 51 mm、対照乾燥区で 4.4 mm であった。

各処理区の水収支項を用いて次式より下層からの正味の補給水量 S (mm) を求めた。

$$S = \Delta SW + I - ET$$

ここで、 ΔSW : 実験期間前後の作土層内の含水量の差、 I : 総灌水量、 ET : 総蒸発散量である。 S が正の場合は毛管上昇、負の場合は下層浸透を表す。Fig.3 に各区の正味の補給水量を示した。CB 湿潤区では下層浸透が卓越しており、過剰灌漑となっていた。対照乾燥区では 50 mm を超える毛管水が下層から補給されている。CB 乾燥区で毛管上昇水量が小さいことから、CB は下層からの毛管上昇を確実に阻害しているといえる。このことは乾燥地での塩類集積防止に効果が期待できることを意味している。なお、対照湿潤区も毛管上昇水量が小さくなっているが、これは過剰灌漑による下層浸透水量が下層からの毛管上昇水量を相殺したに過ぎない。

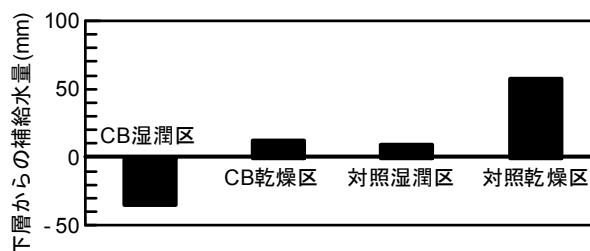


Fig.3 下層からの補給水量

Fig.4 に収量 (果実の新鮮重) と水利用効率を示した。過剰灌漑となっていた CB 湿潤区と比較して、CB 乾燥区の収量低下は小さく、3 倍の水利用効率を得た。CB 敷設によって保水力が強化されるため、頻繁な灌漑を必要としなかったためと考

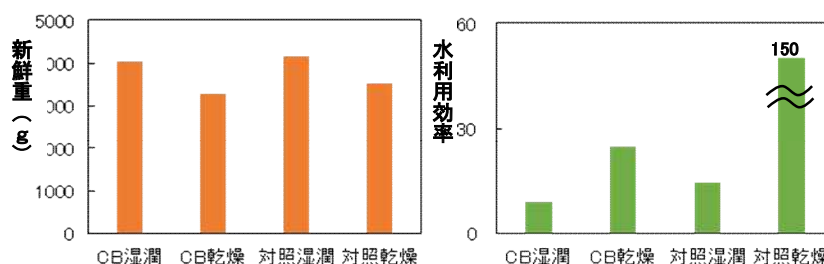


Fig.4 各処理区における収量と水利用効率

えられる。下層からの補給水量が多かった対照乾燥区ではほとんど灌水を必要としなかったにもかかわらず、収量は CB 乾燥区と同程度であったため極めて高い水利用効率を示した。節水的な水管理のためには下層からの補給水の積極的な利用が望ましいが、本課題が対象とするメキシコの実証試験圃場のような塩濃度の高い地下水の場合には、卓越した下層からの補給水によって栽培が困難になる危険性もある点は留意しておく必要がある。

本年度の実験結果から、CB の敷設により、下層からの毛管上昇は確実に遮断されることが明らかとなった。一方で、CB 区乾燥区の水利用効率が湿潤区に比べて高くなることから、乾燥気味の水管理でも収量の低下はわずかであり、CB の利用によって、より節水的な圃場水管理が可能となることが判明した。今後、水利用効率を最大化する最適な灌水量とスケジューリングを明らかにする必要がある。

(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 6 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果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

ラパス市内の市場およびスーパーマーケットにおける魚類・野菜類の価格調査、農業経営実態調査、農家圃場の灌漑水・土壌の測定を実施することを当初計画としていた。本年度は、ラパス市内の市場およびスーパーマーケットにおける魚類・野菜類の価格調査を継続し、1 年間の価格変動を明らかにした。この結果、モデルシステム導入時に農家が得られる売上高の計算が可能となった。

2) 実証試験のための実証サイトの選定

モデル農家を 2 戸決定することを当初計画としていた。暫定モデル農家候補とされていた農家 2 戸（Los Planes 地区 1 戸および Todos Santos 地区 1 戸）について、農業経営実態調査、農家圃場の灌漑水・土壌の測定、インタビュー等の結果から、これらの農家 2 戸をモデル農家として決定した。

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

モデル農家候補 2 戸の圃場の灌漑水・土壌の測定を継続し、1 年間にわたる pH、EC の変動傾向を明らかにした。この結果および農業経営実態調査及びインタビュー等の結果を含めて検討し、これらのモデル農家候補 2 戸がモデル農家として選定された。今後はこの 2 戸の農家に対して、農業経営実態調査を継続しつつ、モデルシステム導入による農業経営への影響について分析することにより、「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（H30, 31 活動）」の検討が可能となる。

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

昨年度実施報告書では、農地における実証モデルを CIBNOR が建設できないことから、CIBNOR 敷地内に建設する計画変更を示した。しかし関係者間の協議により鳥取大学がアクアポニックスモジュール建設業者と建設契約を締結し、当初の計画通り、農地に実証モデルを建設することとした。現在は、鳥取大学内での契約書作成を行っており、平成 29 年 9 月までには契約締結、平成 30 年 4 月末には 2 基の実証モデルの完工、5 月から実証試験の開始の予定である。実証試験では、一連の魚種の養殖と作物栽

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

培を行ない、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の構築」（PDM プロジェクト目標；「塩分を含む水を利用した養殖・農業結合システムの構築」）は、達成できる見通しである。

実証モデルの建設時期を変更したことから、いくつかの活動の実施期間を変更した。「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」を平成 27-28 年度から平成 27-30 年度とした。「6-4 実証サイトでの実証試験」を平成 28-29 年度から平成 30-31 年度とした。また、「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」を平成 29-30 年度から平成 30-31 年度とした。

これら計画を着実に進めるとともに、平成 30-31 年度には、「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」に関する活動を行なう計画である。

プロジェクト期間終了後の普及の担い手として、メキシコ国家乾燥地委員会（CONAZA）および南バハカリフォルニア州政府を考えている。CONAZA はすでに複数のアクアポニックスモジュールを民有地に建設した実績を有している。平成 29 年度からは、CONAZA との協力関係をより強固にする。具体的には、1) 農家実証モデルでの実証試験の進捗説明、2) プロジェクト期間終了後の普及プロセスの協議、3) CONAZA に対するアクアポニックスシステム技術の提案を行なう計画である。

本システムが普及される場合の社会的なインパクトとして、1) 貴重な水資源の量・質的保全、2) 土壌塩類化の軽減、3) 持続的な食料生産の実現、4) 地球温暖化防止につながる自然エネルギーの利用、5) 安全性を保証した農水産物生産、6) 農・漁民の所得向上、などを挙げることができる。

Ⅲ. 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

昨年度実施報告書では、CIBNOR による機材調達が遅延し、JICA-鳥取大学の第 1 期契約期間を平成 28 年 9 月 30 日まで延長することとなったことを記した。また、本年度は農家実証モデルを再度農地で建設することにした。このような機材調達の遅延や計画の変更は、プロジェクト全体の遅延につながる。実際に一部の活動計画は変更されている。これらを最小限にするための工夫として、関係機関の緊密な連絡を挙げることができる。特に CIBNOR との連絡方法としてメールや電話は頻繁に活用しているが、TV 会議の活用を以前に増して行なう事とした。

(2) 研究題目 1：「塩分を含む水を利用した養殖技術の確立」

カウンターパートのフランシスコ・マガジョン博士は CIBNOR 内で様々な研究グループを立ち上げ、多角的な研究推進の模索を常に行っている。特に CIBNOR モデルシステムのティラピア研究においては数名の研究員の他、大学院博士課程の学生も配置している。遠藤もその博士課程学生の審査委員会に所属しており、学术交流を進め、友好関係を深めながら研究を実施できている。日本側リーダーが CIBNOR への渡航時にはそれぞれの研究グループとの協議を重ね、情報交換を行いながらアイデアを共有し、各々の実験に反映させながら、研究を進めている。これまで飼育施設や機材の不具合等が発生しているが、その都度 CIBNOR 研究者自身が迅速に対応し、解決に至っており、問題解決能力も高く、対応も早いので共同研究上大きな問題はまだ発生していない。

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

それ以外の研究題目では、鳥取大学、東京海洋大学およびCIBNORは各機関で研究を進めている。渡航時のプロジェクトサイトでの情報収集・提供を行なうこと、CIBNOR側研究進捗の報告を受けること、日本側研究進捗をCIBNOR側へ報告すること、CIBNOR研究員間でミーティングを行なうこととしている。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

該当なし。

(2) 社会実装に向けた取り組み

該当なし。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

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。

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

別添に示した。

VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

別添に示した。

VIII. その他（非公開）

該当なし。

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 <i>Jatropha curcus</i> and <i>J. cinerea</i> at seedling stage", Russian Journal of Plant Physiology, 2014, vol.61 No.1.	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 (<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.) under salinity condition", Sand Dune Research, 2016, Vol. 63, pp.1-8		国内誌	発表済	

論文数 2件
うち国内誌 1件
うち国際誌 1件
公開すべきでない論文 1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, 西中重, 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, <u>Mina Yamada</u> , and <u>Hideyasu Fujiyama</u> , "Sodium, but not potassium, enhances root to leaf nitrate translocation in Swiss chard (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i> L.)", <i>Environmental and Experimental Botany</i> , 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", <i>日本砂丘学会誌</i> , 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", <i>日本砂丘学会誌</i> , 2015, Vol. 62 No.2, pp.55-66		国内誌	発表済	
2015	Noriko Matsumoto and <u>Hideyasu Fujiyama</u> , "Germination and water absorption responses of seeds of four vegetables under salt stress", <i>Sand Dune Research</i> , 2015, Vol. 61 No. 3, pp.111-118		国内誌	発表済	
2015	Noriko Matsumoto and <u>Hideyasu Fujiyama</u> , "Salt tolerance of zucchini at different growth stages", <i>Sand Dune Research</i> , 2015, Vol. 62 No. 1, pp.3-10		国内誌	発表済	
2015	Nobuyasu Yamaguchi, <u>Takashi Baba</u> , 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", <i>Biological and Pharmaceutical Bulletin</i> , 2016, Vol. 39 No. 1, pp.68-77	10.1248/bpb.b15-00573	国際誌	発表済	
2015	<u>Takashi Baba*</u> , <u>Yuko Makino*</u> , <u>Mina Yamada*</u> and <u>Hideyasu Fujiyama</u> (*equally contributed), "Evaluation of the Cs- and Sr-absorption ability of plant species for phytoremediation", <i>Eco-Engineering</i> , 2016, Vol. 28 No. 1, pp.1-5	10.11450/seitaikogaku.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	10.1080/00380768.2015.1075365	国際誌	発表済	
2015	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.1-10		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	Takashi Baba, "Differences in short-term responses of ion transport related to salt-tolerance of rice and tomato species", Sand Dune Research, 2016, Vol. 63, pp.103-111		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", 2016, Vol. 63, pp.121-126		国内誌	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 Sele, Masato Endo, Murat Yiğit, 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/JAEFR17005	国際誌	発表済	

著作物数 19 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, Takashi Baba, 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, 王曉丹, 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。

著作物数 12 件
公開すべきでない著作物 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	

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

招待講演	1 件
口頭発表	4 件
ポスター発表	0 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カプログラム【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、日本砂丘学会、青森、8月20~21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おける物質循環、陸上養殖勉強会セミナー、東京、8月20日	招待講演
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f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	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	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

招待講演	4 件
口頭発表	19 件
ポスター発表	10 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	特になし												
No.2													
No.3													

※関連する外国出願があれば、その出願番号を記入ください。

国内特許出願数 件
公開すべきでない特許出願数 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	特になし												
No.2													
No.3													

※関連する国内出願があれば、その出願番号を記入ください。

外国特許出願数 件
公開すべきでない特許出願数 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、遠藤雅人、栗原紋子、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	9月10日	日本土壌肥料学会賞	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	藤山英保	日本土壌肥料学会	2.主要部分が当課題研究の成果である	

2 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	

9 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)	概要
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)	「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)	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)	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)	(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)	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)	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)	(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)	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)	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。

9 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・確認を行なった。
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。
2017	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。

3 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～平成32年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	メキシコ合衆国/メキシコ北西部生物学研究センター

付随的成果

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

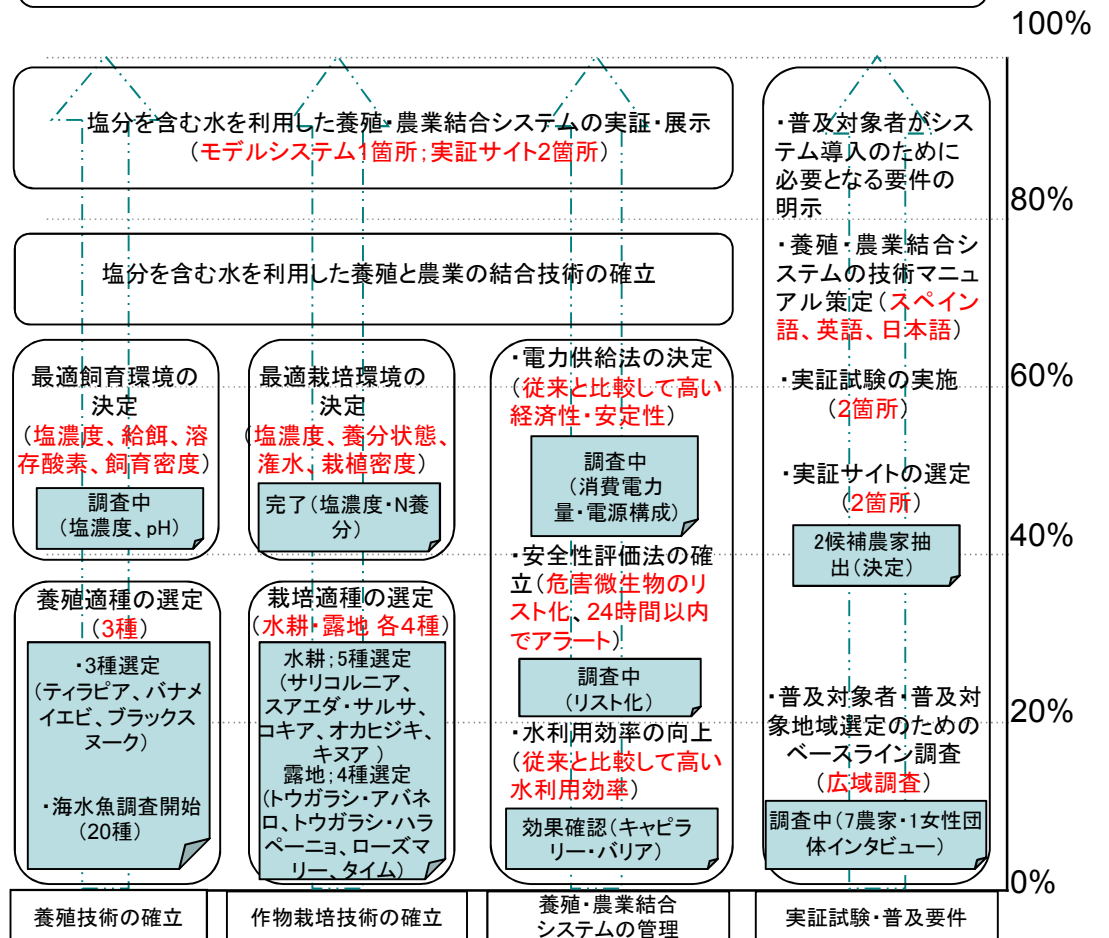
上位目標

メキシコ乾燥地に露地栽培結合型アクアポニックスが普及される。

普及体制の構築・普及プロジェクトの実施+

プロジェクト目標

塩分を含む水を利用した露地栽培結合型アクアポニックスが構築される。



最適飼育環境の決定
(塩濃度、給餌、溶存酸素、飼育密度)
調査中 (塩濃度、pH)

最適栽培環境の決定
(塩濃度、養分状態、灌水、栽植密度)
完了 (塩濃度・N養分)

電力供給法の決定
(従来と比較して高い経済性・安定性)
調査中 (消費電力量・電源構成)

養殖適種の選定 (3種)
3種選定 (ティラピア、パナメイエビ、ブラックスヌーク)
海水魚調査開始 (20種)

栽培適種の選定 (水耕・露地 各4種)
水耕:5種選定 (サリコルニア、スアエダ・サルサ、コキア、オカヒジキ、キヌア)
露地:4種選定 (トウガラシ・アパネロ、トウガラシ・ハラペーニョ、ローズマリー、タイム)

安全性評価法の確立 (危害微生物のリスト化、24時間以内でアラート)
調査中 (リスト化)
水利用効率の向上 (従来と比較して高い水利用効率)
効果確認(キャピラリー・バリア)

普及対象者がシステム導入のために必要となる要件の明示
養殖・農業結合システムの技術マニュアル策定 (スペイン語、英語、日本語)
実証試験の実施 (2箇所)
実証サイトの選定 (2箇所)
2候補農家抽出(決定)
普及対象者・普及対象地域選定のためのベースライン調査 (広域調査)
調査中(7農家・1女性団体インタビュー)