

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「 生物資源分野 」

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 27 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 に記載の協力期間 (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=R/D に記載の協力期間終了日又は当該年度末

研究代表者： 山田 智

所属・役職：国立大学法人鳥取大学農学部・准教授

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		←			→	
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		←			→	
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		←			→	
6-4 実証サイトでの実証試験			←		→	
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				←		→
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					←	→

*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28年度も継続する。

(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

- ・ 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。

・ 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を作成するとともに、テラピア養殖の物質挙動を把握することにより閉鎖型循環式養殖システムにおける pH 制御と作物水耕栽培に好適な培養液作成のための餌に対する添加剤の検討を行った。また、メキシコでは CIBNOR モデルシステムの建設とともにテラピアの種苗導入の準備も進行中である。作物グループでは、水耕栽培で 3 種を候補に挙げるとともに、露地栽培ではハーブ類の耐塩性強弱を分類した。また、蒸散量を抑制しつつ培地ナトリウム吸収を向上させる水耕栽培法の検討が重要であることを確認するとともに、好塩性作物 3 種については窒素濃度が高い養殖排液でも水耕栽培が可能であることを示唆できた。電力供給グループとしては、アクアポニックスシステム消費電力量に対する太陽光発電システムによる発電割合を試算するとともに、鳥取大学モデルシステムにおいて 3kW 太陽光発電システムの導入および電源構成・電力供給フローの構築を行った。安全性評価グループでは、微生物モニタリング法の開発のための微生物の網羅的解析をほぼ終了し、現在はデータの解析中である。結合技術グループとしては、露地栽培土壌の塩類化防止技術としてのキャピラリー・バリア法を検討した。社会実装グループとしては、ベースライン調査を基に、実証サイト（モデル農家）2 箇所を選定することができた。以上のように、本年度計画した各研究題目の活動は順調に実施できている。

・ 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 3 名および研究従事者としての大学院生 1 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 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。

(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)

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

①研究のねらい

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、ティラピアとバナメイエビをモデル種とする。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、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成のための餌に対する添加剤の検討を行なう。

②研究実施方法

1) 養殖適種の選定

CIBNOR モデルシステムに導入するティラピアとして、CIBNOR で保有する数種の野生ティラピアおよび CIBNOR ナヤリット支部で種苗生産されている Genetically Improved Farmed Tilapia, GTFT を選定した。海水魚の選定に関してはラパスの鮮魚店での価格調査、CIBNOR での海産魚飼育・研究および民間養殖場の状況調査を行った。その結果も含めて、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。抽出された養殖魚は 11 属 20 種であり、今後、実際に養殖を検討する種について選定を進めていく。

2) 養殖適種の最適飼育環境の決定

平成 26 年度に構築した鳥取大学モデルシステムにおける閉鎖型循環式養殖システムにおいて、東京海洋大学で種苗生産したナイルティラピア *Oreochromis niloticus* を導入し、フダンソウ栽培実験用の排水（塩分 50mmol L⁻¹）を作製した。ナイルティラピアは 11 か月間で 7g から 550g まで成長し、成長率は 7,857% と非常に良い成長を示した。なお、本ティラピアは東京海洋大学水族養殖学研究室で継代飼育されているもので、JICA 神奈川系統および茨城水試系統の掛け合わせにより作出された。JICA プロジェクト「北西部マジュンガ地区ティラピア養殖普及を通じた村落開発プロジェクト」においてマダガスカルにて実際に養殖素材として用いられている。

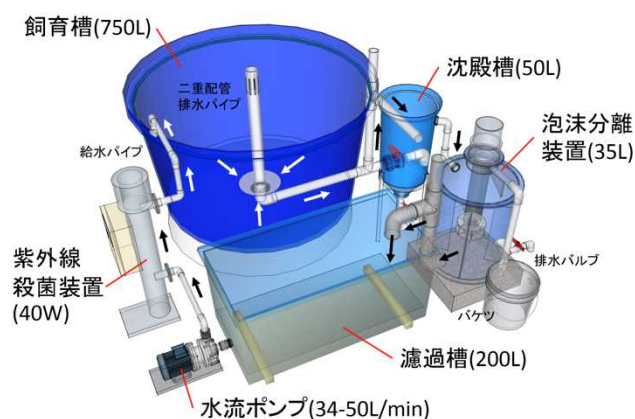
これまで閉鎖型循環式養殖システムでは魚から排泄される有害なアンモニアを、循環ろ過システムの生物濾過槽に濾材を充填して硝化細菌を利用することで酸化する方式を採用している。硝酸が飼育水中に蓄積すると飼育水が酸性化し、pH の低下を招くことから、これを中性に維持するため、サンゴ砂(主成分は炭酸カルシウム)、炭酸水素ナトリウムなどが用いられてきた。一方、ティラピアの閉鎖型循環式養殖システムの排水は、好塩性作物の水耕栽培用用水としては、カリウム量が絶対的に不足している。

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

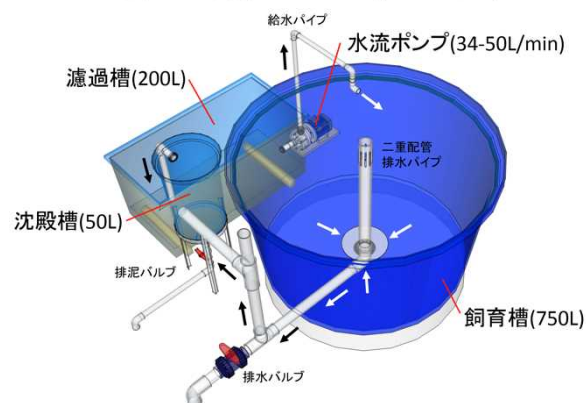
そこでこれらの問題を解決するため、水酸化カリウムを添加してカリウム添加と pH の維持を同時に行う方式を考案した。この pH 緩衝剤の違いによる閉鎖型循環式養殖水中の物質挙動を溶解・沈殿平衡ソフト Visual MINTEQ を利用して計算した。189 日間のティラピア飼育で排泄された全測定元素および推定した塩素および硫黄総量をデータ群として、1L 飼育水あたりの元素量を算出した。算出した元素量に水道水に含まれる元素を加え、さらにフダンソウの培養液と同等の窒素量となるように希釈を行ない溶解・沈殿平衡について調査した。水温は 25°C に設定し、塩分は 0psu, 4psu および 8psu として各緩衝剤の溶解・沈殿平衡への影響を pH5~8 の範囲で変化させて調査した。緩衝剤はサンゴ砂を想定した炭酸カルシウム、通常 pH の制御で用いられる炭酸水素ナトリウムおよびカリウムの 3 種で比較を行った。窒素、塩素、ナトリウム、カリウムおよび硫黄ではどの条件下においてもほぼ 100%溶解するが、マンガンはほぼ 100%沈殿した。リンでは炭酸カルシウム添加と水酸化カリウム添加を比較すると水酸化カリウム添加の方が、溶解率が高くなった。また、両緩衝剤添加で 0psu の溶解率が高く、塩分および pH が上昇するに伴って沈殿する傾向が見られた。炭酸水素ナトリウムを用いた場合は、0psu で水酸化カリウム添加と同様に高 pH で沈殿する傾向があったが、4psu および 8psu では pH6.6 で沈殿が最も多くなり、それ以上の pH では溶解率が上昇する傾向が見られた。カルシウムは炭酸カルシウム添加と水酸化カリウム添加で pH が低く、塩分が高いほど溶解率が高い傾向を示した。一方、炭酸水素ナトリウムでは塩分に関わらず、高 pH で沈殿する傾向を示した。鉄に関しては炭酸カルシウム添加と水酸化カリウム添加で 0psu、高 pH で沈殿割合が上昇する傾向を示したが、塩分 4psu および 8psu ではどの pH においても 100%の溶解率であった。一方、炭酸水素ナトリウム添加では塩分 4psu および 8psu、高 pH で沈殿する傾向が見られたが、0psu ではどの pH でも 100%の溶解率であった。炭酸水素ナトリウム添加においてマグネシウムおよび亜鉛は、高 pH で一部沈殿するという傾向が見られた。今後は実際の飼育実験および各種元素組成の調査を行い、物質挙動について検証を進める。

また、CIBNOR モデルシステムの閉鎖循環式養殖システムの設計を行った。システム設計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システムを設計することとした。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、飼育槽(容量: 750L)、沈殿槽(50L)、泡沫分離装置、濾過槽(容量: 200L)、水流ポンプ(流量: 34-50L

CIBNOR海水魚養殖システム(1ユニット)



CIBNORティラピア養殖システム(1ユニット)



min⁻¹)、紫外線殺菌装置(40W)および酸素供給用の散気装置を搭載したシステムとし、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なわなくても飼育可能である。

本仕様を基に CIBNOR で業者に依頼し、実現可能な装置仕様に落とし込みを行い、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。その仕様は、飼育槽(容量: 950L)、沈殿槽(15 ガロン)、泡沫分離装置、円筒形の濾過槽(容量: 200L)、水流ポンプ(消費電力 290W)、紫外線殺菌装置(40W)およ



野生種の雄ティラピア



雄親魚の個別飼育



雌親魚の個別飼育



個別飼育ティラピアの管理



光周期管理用タイマー



暗幕を張った光制御水槽

びコンプレッサー(1馬力12基分)となった。現在、制作が進行し、ティラピアの導入準備が進められている。

ティラピアの種苗生産に関して CIBNOR では野生種の親魚候補を収容する水槽群を構築し、産卵に向けた準備を行っている。具体的には親魚を1尾ずつ飼育し、水温 25℃、光周期 14 時間明期、10 時間暗期にて飼育を行っている。このように産卵期の環境を模擬することにより、ホルモン投与等その他の操作なしに採卵することが可能となる。特に野生種に関してはその生産特性の見極めや遺伝的な解析も含めて今後アクアポニックスでの水産養殖における適正を判断する。

また、養殖排水が作物水耕栽培に好適な培養液となることが望ましいことから、その培養液成分の根源となる餌の組成把握を行なった。

③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

平成 27 年度の研究では、メキシコにおけるアクアポニックスに適用可能な海水魚の選出を行い、その候補種のリストを作成した。今後、アクアポニックスの条件に合わせて絞り込みを行い、実際に飼育する種を決定する。また、鳥取大学モデルシステムの閉鎖型循環式養殖システム(ティラピアを飼育)によりフダンソウ水耕培養液を作製することが可能となり、ティラピアも順調に成長した。また、メキシコでは CIBNOR モデルシステムの建設とともにティラピアの種苗導入の準備も進行中である。ティラピア養殖の物質挙動に関しても物質ごとにその挙動を把握することにより、閉鎖型循環式養殖システ

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

ムにおける pH 制御と好塩性作物の水耕栽培に好適な培養液作成のための餌に対する添加剤の検討を行うことができた。概ね当初の計画と同様に研究実施が行われている。さらに具体的な課題を抽出し、アクアポニックスが成立するための現実的な検討を進めることができた。

④カウンターパートへの技術移転の状況

JICA 短期研究員受入時および日本研究者のメキシコ渡航時に、ティラピア野生種の繁殖技術の指導を行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

アクアポニックスでは水産養殖で排出される飼育排水を作物水耕栽培用の液肥として用いる。できる限り液肥として利用できる元素を含む排水を得る必要がある。閉鎖型循環式養殖システムと水耕栽培システムとの間で常に水を循環させる従来のアクアポニックスでは、養殖排水に直接不足元素を添加することにより水耕培養液の元素濃度を調製することが主流であった。本研究では養殖排水が作物水耕栽培用の液肥として利用できるように、排水成分の根源となる餌の成分を調整する。具体的にはそれぞれの飼料原料の栄養組成と元素組成およびティラピアの元素組成を把握し、ティラピアの成育が可能な栄養素をバランスよく含み、さらに水耕栽培の液肥として必要な元素が含まれるような飼料配合を決定する。決定した配合に基づいて試験飼料を作製し、ティラピアの給餌試験を行い、その有効性について検証する。

(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）

①研究のねらい

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）の選抜試験を昨年度に引き続き行なうとともに、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および高窒素耐性を調査した。

②研究実施方法

1) 栽培適種の選定

塩分を含む地下水を利用した養殖排水を再利用した水耕栽培における候補作物の選抜を目的として、好塩性作物が多く属するヒユ科のスアエダ・サルサ、コキアおよびハウレンソウの最適 NaCl 濃度を決定した。スアエダ・サルサ、コキアおよびハウレンソウを 4 L 容プラスチックポットで標準培養液を用いて水耕栽培し、適期に培養液に 0、40、80、120、160 および 200 mmol L⁻¹NaCl となるように NaCl を添加した。1 週間ごとに培養液を更新し、3 週間栽培を行った。

露地栽培適種の選定のために、トウガラシ 5 品種（アバネロ、タバスコ、タカノツメ、ジョロキアおよびハラペーニョ）およびハーブ 5 種（ローズマリー、タイム、チャイブ、カモミールおよびオレガノ）

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

を調製塩性土壌（無処理、 $EC_e = 3 \text{ dS m}^{-1}$ 、 $EC_e = 6 \text{ dS m}^{-1}$ ）を用いてポット土耕栽培を行ない、成長を調べた。

2) 栽培適種の最適栽培法の決定

好塩性作物であるサリコルニア、スアエダ・サルサおよびフダンソウについて、通常の栽培条件での培地ナトリウムのファイトレメディエーションについて検討した。4 L 容プラスチックポットで標準培養液を用いて水耕栽培し、適期に培養液に 0、40、80、120、160 および 200 $\text{mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ となるように NaCl を添加した。1 週間ごとに培養液を更新し、3 週間栽培を行った。培養液交換時にポットの重量を測定し、累積蒸散量を算出するとともに、培養液を採取してナトリウム濃度を測定した。

水耕栽培では高濃度の窒素が含有される養殖排水を使用することから、好塩性作物 3 種（フダンソウ、コキアおよびスベリヒユ）の高窒素耐性を調査した。50mMNaCl を含む培養液の窒素濃度を 4mM（標準区）から 28mM まで設定し、塩吸収能および成長を調査した。

③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

栽培適種の選定について、水耕栽培種として、新たにヒユ科の 2 種（スアエダ・サルサおよびコキア）の好塩性を確認するとともに最適ナトリウム濃度を決定した。少なくともサリコルニア、スアエダ・サルサおよびコキアの 3 種を候補作物種として挙げる事ができた。また、露地栽培種として、耐塩性強弱の序列はトウガラシでは不明瞭であったが、ハーブでは、低塩耐性強（ローズマリー）、耐塩性中（タイム、チャイブ、カモミール）および耐塩性弱（オレガノ）に分類できた。このように栽培適種の選定は、順調に進行している。

また栽培方法について、水耕栽培では、培地ナトリウムの濃縮が起こる可能性が示されたことに加えて濃縮度合いは作物種によって大きく異なることを明らかにできたことから、蒸散量を抑制しつつ培地ナトリウム吸収を向上させる栽培法の検討、あるいは蒸散した水分の回収が重要な検討項目になることが明らかになり、今後の検討項目が明確になった。好塩性作物 3 種（フダンソウ、コキアおよびスベリヒユ）は、培養液窒素濃度が 28mM（標準窒素濃度は 4mM）でも成育が低下しないことがわかった。このことから、この 3 種は窒素濃度が高くなる養殖排水を用いた栽培が可能であることが示唆できた。

④カウンターパートへの技術移転の状況

本年度用いたスアエダ・サルサが好塩性を示したことから、メキシコではメキシコシティー近郊でのみ栽培されているスアエダ・サルサの類縁種（スアエダ・エドゥリス）も候補種となる可能性が示された。そこで、メキシコシティー近郊 Tulyehualco の農家を訪問するとともに種子の分譲を依頼し、次年度に栽培試験を実施する予定である。このスアエダ・エドゥリスは、CIBNOR を介してチャピング自治大学の研究者から紹介された食用種であり、塩水（ $EC=10\text{dS m}^{-1}$ ）を用いた栽培が可能である。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

該当なし。

(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）

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

①研究のねらい

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、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導入する。本年度は、鳥取大学農学部附属圃場に構築した養殖・農業結合システム（鳥取大学モデルシステム）において、1）システム稼動に必要な電力消費量の把握、2）太陽光発電による電力供給の予測評価、および3）鳥取大学モデルシステムおよび CIBNOR モデルシステムの電源システムの設計方針および運用計画法の開発に着手した。

②研究実施方法

鳥取大学モデルシステムの導入地点において、平成 27 年 4 月から日射強度を測定した。太陽エネルギー賦存量を試算し、最大出力（定格出力）3kW のみの太陽光発電システムを導入する場合を想定して発電電力の変化を予測するとともに、鳥取大学モデルシステムの養殖・水耕栽培の消費電力の実測値と比較した。

メキシコ・ラパスの日射データを整理し、導入予定の太陽光発電システムの発電電力量を予測した。鳥取とラパスにおける発電電力量の比較を行い、鳥取大学モデルシステムと CIBNOR モデルシステムでの電力供給における相違点を抽出した。

また、年間を通じた気象状況および電力供給に与えるハリケーンの影響をカウンターパートと検討し、CIBNOR モデルシステムの電源構成を設計した。

③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

鳥取大学モデルシステムに導入する 3kW 太陽光発電システムの発電電力予測の代表例を図 1 に示す。図中の破線は、養殖および水耕栽培で使用するポンプやブローの消費電力を表している。快晴および晴天の場合、3kW 発電システムの電力で午前 9 時から午後 3 時までの 6 時間を太陽光発電システムのみで電力を供給することが可能であることがわかった。余剰電力は商用電力へ送電するか、あるいはバッテ

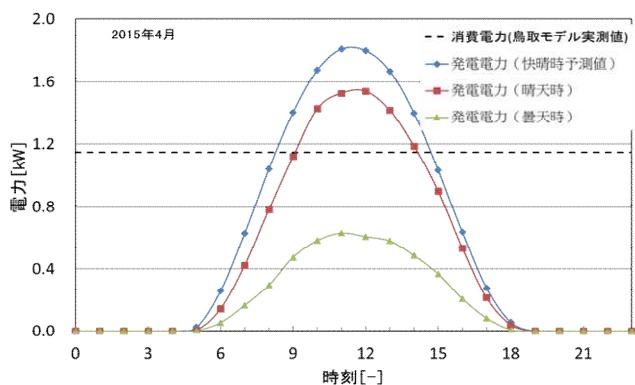


図 1 鳥取大学モデルシステムにおける 3kW 太陽光発電の電力供給の試算例

リーへ蓄電することが考えられる。電力供給が不足する曇天の場合や夜間の場合、養殖・水耕栽培に必要な電力をバッテリーあるいは商用電力で供給しなければならない。これらの結果から、養殖・水耕栽培



図 2 鳥取大学モデルシステムに導入した 3kW 太陽光発電システムの外観

培システムにおける電源の設計と運用計画を検討し、図2に示す3kW太陽光発電システムを導入するとともに、図3に示す商用電力と連結した電源構成と電力供給フローを構築した。太陽光発電システムと商用電力による電力供給を、平成28年1月から開始した。

次に、メキシコ・ラパスのCIBNORモデルシステムの電源構成を検討するために鳥取大学モデルシステムに導入したアクアポニックスの規模と3kWの太陽光発電システムを導入した場合について、ラパスの日射強度のデータから年間の発電電力量を試算した結果を図4に示す。図中には、鳥取大学モデルシステムの養殖室、水耕栽培室ならびにそれらを合計した総消費電力量、さらに3kW太陽光発電システムの年間発電量の試算値も示す。ラパスにおいて、最大出力3kWのみの太陽光発電システムの導入を想定した場合の発電電力量は、アクアポニックスシステムの総消費電力量の40～50%程度になることがわかった。一方で、ラパスにおける年間発電電力量は、鳥取における年間発電量の約1.6倍であることが

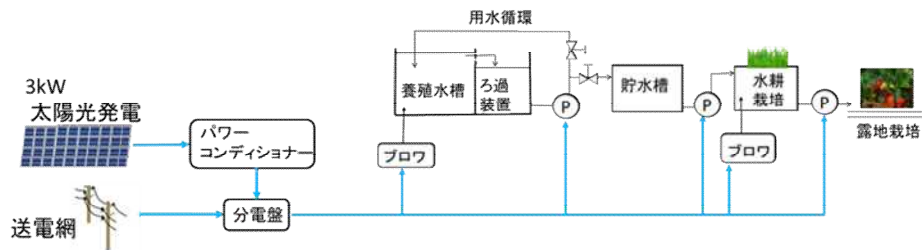


図3 鳥取大学モデルシステムにおける電源構成と電力供給

示された。鳥取大学モデルシステムの実証によって得られる電力供給に関する技術や知見を活用・検討する場合には、電力供給の規模が異なることに注意しなければならない。

④カウンターパートへの技術移転の状況

本年度の成果を考慮して、CIBNORモデルでの電源構成の設計手法をカウンターパートと検討し、3種類の電源構成を段階的に組み込み構築していくこととなった。すなわち

- (1) アクアポニックスシステムを検証するため従来電力を用いて電力を供給する構成、
- (2) 鳥取大学モデルシステムを応用し太陽光発電と従来電源を組み合わせ電力を供給する構成、および
- (3) システムの養殖・作物栽培に必要なポンプの一部を直流電源用のものに置き換えることにより太陽光発電とバッテリーから電力を供給する構成、の3種類である。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

ラパスでは、ハリケーンなどによりしばしば長時間停電することから、CIBNORモデルシステムの電源設計ではディーゼル発電機によるバックアップ電源が必要となる。電力供給において、自然災害等による突発的な停電に対する対策とリスク評価を新たに検討する。

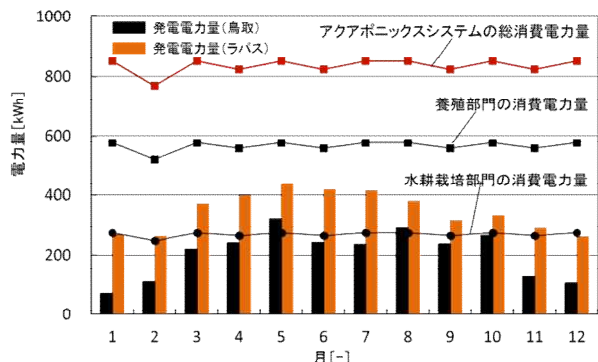


図4 鳥取大学モデルシステムおよびCIBNORモデルシステムの発電電力量の試算ならびにアクアポニックスの総消費

(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研究のねらい

1) 迅速・高精度な微生物モニタリング法の開発

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。2011 年には、欧米を中心として、大腸菌 O104 (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 (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。

②研究実施方法

鳥取大学モデルシステムが完成し、2015 年 6 月よりティラピア養殖を開始した。同時に週一回養殖水槽の水を採取し、微生物解析を行った。養殖水をポリカーボネートフィルターでろ過し、微生物をフィルター上に濃縮・回収した後、Baba (2008) らの方法を用いて微生物 DNA を抽出した。細菌は 16S rRNA 遺伝子、真菌は ITS 領域を対象として PCR を行った。網羅的解析にあたり、バーコード配列を組みこんだ各 120 種類のプライマーをデザインした。また、解析に十分量の DNA を得るために、PCR 条件の検討および精製条件の検討を行った。得られた試料について、Ion-PGM による網羅的解析を行った。各試料あたり 12,000 リードの配列が得られており、現在データ解析を進めている。

また、CIBNOR モデルシステム設置にあたり、CIBNOR および実証モデル候補農家 (計 6 地点) の地下水および土壌の採取を行い、上記と同様の方法による微生物解析および ICP による化学成分分析を開始している。

加えて、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。養殖について (ティラピア : 9 種) : *Saprolebnia* spp.、*Aspergillus* spp.、*Pseudomonas* spp.、*Flavobacterium columnare*、*Edwardsiella tarada*、*Proteus* spp.、*Pasteuralla multocida*、*Vibrio* spp.、LCDV、(バナメイエビ : 11 種) : *Vibrio* spp.、*Necrotizing hepatopancreas-alfa proteobacteria*、IMNV、TSV、IHHNV、YHV、WSSV、HPV、MBV、PVNV、MoV、作物について (トマト : 17 種) : *Alteraria* spp.、*Rhizoctonia solani*、*Stemphylium solani*、*Stemphylium lycopersici*、*Botrytis cinerea*、*Fusarium* spp.、*Phytium* spp.、*Phytophthora infestans*、*Verticillium dahliae*、*Clavibacter michiganensis*、*Xanthomonas campestris*、*Ralstonia solanacearum*、*Pseudomonas syringae*、*Pseudomonas corrugata*、TMV、CMV、TSWV、ヒトについて (15 種) : *Salmonella* spp.、*Clostridium perfringens*、*Clostridium botulinum*、*Escherichia coli* O157、*Campylobacter jejuni*、*Staphylococcus aureus*、*Listeria monocytogenes*、*Vibrio cholerae*、*Vibrio vulnificus*、*Yersinia enterocolitica*、*Cyclospora* spp.、*Bacillus cereus*、*Shigella* spp.、*Aeromonas* spp.、*Virus hepatitis*

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

とし、それぞれについて特異的定量（定量的 PCR、FISH 法および培養法）についてプローブ配列および方法について検討を行っている。また、今後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網羅的解析の結果と比較検討し、モニタリング法を決定する。

③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、本年度および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。Ion-PGM による網羅的解析はほぼ終了し、現在データ解析中であり、大きな問題はない。

④カウンターパートへの技術移転の状況

遺伝子を対象とした方法論について情報交換を行うとともに、プライマー配列および実験方法のシェアを進めている。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

次世代シーケンサーによる網羅的解析について、当初予定していた解析サービスの終了が今年度初めに発表されたため、解析方法の変更を余儀なくされた。解析可能なリード長が短くなったため、標的配列およびそれに伴うプライマー配列の変更を余儀なくされた。しかし、配列を短くしたことにより、今後のサービスの変更にも対応できると考えられる。

(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研究のねらい

本プロジェクトでは、養殖および作物水耕栽培に利用された排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。養殖室および水耕栽培室の大気中に放出される水蒸気を除湿機により回収した後、水耕栽培排液に還元することで低塩濃度の用水を確保し、これを露地栽培用灌漑水とする。これを利用して塩類集積等を生じさせない露地栽培方式を確立する。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、キャピラリーバリア（CB）に着目し、2014 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。本年度は、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。

②研究実施方法

本プロジェクトでは、作物水耕栽培の排水を露地栽培の灌漑用水として利用する。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で栽培実験を行い、作土層内の土壌水分が受ける影響を評価した。

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、

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

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。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。CB区では地表面を10cm掘り下げ、礫を0.1mの厚さになるよう敷き詰めた。本圃場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（埴壤土）となっており、対照区は作土層（砂質壤土）—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* L.）（品種；アバネロオレンジ）である。なお、CB層には2～53mmの礫を用いた。灌漑はドリップチューブを用いた。試験開始から約1カ月はトウガラシの定植のために1日2回、灌水を行い、その後CB区あるいは対照区の深さ20cmのpFが2.6を越えた時に実施した。1回の平均灌水量は7.6mmであり、総灌水量は287.1mm（各試験区では143.5mm）であった。

深さ10、20、30および40cmの体積含水率 θ （PR2/4、 Δ T社）、深さ20cmのマトリックポテンシャル（テンシオメータ、大起理化）、蒸発量（小型蒸発計、池田製作所）を毎朝7～10時の間に1日1回マニュアル測定を行った。気温と相対湿度（Hobo pro logger, Onset社）、地下水位（Water level logger, Onset社）は自記測定した。トウガラシは8月10日に移植し10月19日および11月30日に収穫した。実験期間中のハウス内における平均日蒸発量は1.31mmであり、平均気温は17.6℃、最高気温および最低気温はそれぞれ37.4℃および3.5℃であった。平均相対湿度は82.2%であり、34.3～100%の間で変動した。実験期間の前半では対照区がやや乾燥気味に推移し、後半ではCB区の方が対照区よりも乾燥していた。本年度は地下水位が地表面から1m以深に維持されており、CB層よりも深い位置にあった。実験期間前半ではトウガラシの定植のために過剰に灌水されており、そのためCB層による降下浸透水の遮断効果によってCB区の方が湿潤状態に維持されたと考えられる。実験期間後半では対照区で下層の埴壤土から毛管上昇による水分補給が生じるのに対し、CB区では毛管上昇が遮断されるため乾燥気味に推移したと思われる。アバネロの水利用効率を供給した灌漑水当たりの成熟果実の新鮮重として求めたところ、それぞれCB区で0.37kg m⁻³、対照区で0.45kg m⁻³であった。乾物重についてはCB区で0.046kg m⁻³、対照区で0.059kg m⁻³となり、いずれも対照区の方が大きくなった。これは毛管上昇による水分供給の影響と考えられる。地下水の塩濃度に懸念がない場合は、CBの利用が直ちに水利用効率の上昇にはつながらないが、塩濃度の懸念がある場合には塩害防止に役立つと考えられる。

③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

今年度の実験では毛管上昇の影響がポジティブに働いた結果、キャピラリーバリアによる節水効果は明確ではなかった。一方で、キャピラリーバリア区では毛管上昇の効果が発現していないことから、地下水の塩濃度が高い場合には有効となりうると考えられた。次年度は、作土層の湿潤度の管理指標に相違を与えて、水利用効率を最大化できるスケジューリング法の検討を行う必要がある。

④カウンターパートへの技術移転の状況

該当なし。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

該当なし。

(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 研究のねらい

本プロジェクトでは、養殖、作物栽培、電力供給および安全性評価技術の各分野で達成される個々の成果を統合して暫定版養殖・農業結合システムを構築する。この暫定版養殖・農業結合システムを社会環境条件の異なる2か所の実証サイトにおいて稼働することにより得られる技術的検証結果を基に、CIBNOR モデルシステムを最終的に完成させる。完成版の養殖・農業結合システムは、プロジェクト終了後に CIBNOR により普及されるが、そのために必要な普及要件を把握することを目的とする。

② 研究実施方法

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

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を把握するための一環として、CIBNOR 側カウンターパート (ファン・ラリナガ博士他) と共に、営農を行っている個人およびグループを訪問して聞き取り調査を行った。また、普及対象地域把握のため、市場調査の一環として作物および魚の年間を通じての価格変動を把握するため、メキシコで流通量が多く高価格が期待できるトマト (2 種)、トウガラシ (7 種)、ハーブ類 (7 種)、水耕栽培用作物として 5 種、魚種として 8 種を選定した。価格調査場所として、作物はラパス市卸売市場、スーパーマーケット (チェドラウイ)、魚類は魚市場 (オラチェア)、スーパーマーケット (レイ) を選定した。次年度から、これらに基づいて価格調査を CIBNOR 側カウンターパートが中心に実施する。

2) 実証試験のための実証サイトの選定

営農を行っている個人およびグループを訪問して、(1) 自然的立地条件 (水資源環境)、(2) 農業経営の革新性、(3) 技術普及への貢献の可能性、(4) アクアポニックスへの関心の程度について聞き取り調査を行い、CIBNOR 側カウンターパートと協議の上、実証サイトおよびモデル農家候補を選定した。

③ 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

システムの導入可能な普及対象者を把握するための一環として、ラパス市近郊において 9 月に 8 農家及び 1 グループ、2 月に 4 農家および 3 グループに対して訪問調査を行い、モデル農家候補を 2 戸選定した。さらに次年度より開始予定のモデル農家候補に対する農業経営実態調査のための営農記帳 (農作業日誌および農業簿記) の様式 (スペイン語) を策定した。市場調査に関しては、対象野菜および魚種を選定し、英語、スペイン語、日本語による一覧表を作成した。これらの様式は CIBNOR 側カウンターパートと共有し、次年度の調査が順調に実施できるように準備を整えた。

2) 実証試験のための実証サイトの選定

本年度計画どおり、調査結果を基に CIBNOR 側カウンターパートと協議の上、実証サイト 2 か所を

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

選定した（1 実証サイトごとに 1 戸のモデル農家候補を選定）。

- (1) 太陽光パネル搭載型モデル：アンヘル・クリストバル・ロドリゲス・ペレス氏
（於ロスプラネス、水質不良地）
- (2) 太陽光パネル非搭載型モデル：ミゲル・アンヘル・レオン氏
（於トドス・サントス、水質良好地）

④カウンターパートへの技術移転の状況

実証モデル農家選定のための基準設定および農家調査方法について教授した。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開

該当なし。

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）

本研究では、平成 28 年および 29 年度に実証モデルを農家敷地に導入する予定である。しかし、最近になって CIBNOR 側から、CIBNOR に供与された機材を用いて一般農家の敷地にモデルシステムを建設することが法的に不可能であると伝えられた。CIBNOR の上部組織 CONACYT（国家科学技術審議会）も同様の意向であり、また JICA メキシコ事務所が CIBNOR の代わりに調達を行なうことはできないとの見解を示した。JICA はトラクター等単品を調達することは可能だが、本モデルシステムのような複雑な構成のものは、技術的に調達できななどのことである。このことから CIBNOR 敷地内において、実証モデルを建設する案を作成している。

本案では、太陽光パネル搭載型モデルを CIBNOR 本部（ラパス）、非搭載型モデルを CIBNOR 支部（ゲレロネグロ）に建設する。当初計画していた 2 基の実証モデルは、農家の経営能力に加えて使用する灌漑用地下水の塩分濃度が異なる場所に建設する予定であった。CIBNOR 本部ではすでにモデルシステムが建設中であり、また灌漑用地下水の塩分濃度は約 50mM である。CIBNOR 支部における灌漑用地下水の塩分濃度は、それより高い。このことから仕様の異なる実証モデル 2 基を環境の異なる場所に建設することは可能である。

研究題目・活動 6-3 として「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」がある。本案では、CIBNOR 本部（ラパス）および CIBNOR 支部（ゲレロネグロ）における灌漑用地下水の塩分濃度に合わせたシステムの検討となる。農家敷地内に実証モデルを建設しないので、農家のニーズに合わせたシステムを CIBNOR 敷地内に設置することになる。下に示す講習会を通して参加農民のニーズを集約し、それを最大限盛り込んだシステムの検討とする。

成果目標シートでは上位目標として、プロジェクト終了後に「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」としている。またプロジェクト目標として、「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」（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」）を掲げている。したがってアクアポニックスを構築するだけでなく、普及につなげる活動を同時に実施しなくてはならない。そこで CIBNOR 敷地内に 2 基の実証モデルが完成される予定の平成 29 年度以降継続的に定期的な講習会を農民に対して実施するとともに参加農民のニーズを集約する。この講習会は、1) システムの使用に関する技術的な講習会、2) 経営管理に関する

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

講習会に大別される。1) では、魚種・作物種の飼育・栽培管理法、路地栽培における節水栽培法、太陽光発電装置の維持・管理法、安全性評価法を習得させる。2) では、経済収支の試算法を習得させることにより、自身が本システムを導入した場合のコスト・パフォーマンスを予測する。なお、講習会の費用をJICAが支出することをJICAメキシコ事務所は検討している。同時に研究題目・活動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」、6-5「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」、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」は予定通り実施する。

以上のことから、実証モデルを一般農家の敷地内に建設することができなくても、プロジェクト終了後に本アクアポニックスシステムを普及させることは可能であると考えられる。

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) 安全性を保障した農水産物生産、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

・プロジェクト全体の現状と課題

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。CIBNOR モデルシステムはようやく完成間近という状況である。CIBNOR における調達活動に問題がある。CIBNOR 側プロジェクトマネージャーの他に日本側窓口として“リサーチ・リーダー”を配置しているが、CIBNOR の調達部(契約課)との連携がうまくとれていない。そこで研究代表者が7月に渡航した時に、“リサーチ・リーダー”の補助者の追加配置を要請するとともに、直接CIBNOR 調達部と打ち合わせを行ない、迅速な調達作業をするように要請する。

CIBNOR が実証モデルを農家敷地内に建設できないとする問題点とその対処策(案)は上述した。

・プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国(研究機関・研究者)が取り組む必要のある事項。

平成26年度実施報告書の該当部分と変わりはない。

・諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果

進捗の遅れた事例・内容・解決プロセスとして、CIBNOR による機材調達の遅延について上述した。結果はまだ得られていない。

(2) 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」

まだCIBNOR モデルシステムが完成していないが、それを用いた共同研究の計画は立ててある。現在のところ、CIBNOR および鳥取大学で個別の研究を進めている。CIBNOR で小規模アクアポニックスシステムを昨年度建設したが、ハリケーンにより倒壊した。これを克服するために、より強固な同システムを建設中である。

【平成27年度実施報告書】【160531】

(3) 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」

本システムは、養殖、水耕栽培および露地栽培と複数の生産プロセスから構成されている。システムの電源構成を設計するために、単に電力を供給するための電源を決めるのではなく、使用設備に応じた電源の構成や、その運用計画を十分に精査しなければならない。そこでカウンターパートと協力して、メキシコ側のすべての研究グループとそれぞれのプロセスで使用する設備の電力需要や制御に関して十分な聞き取りを行う工夫をした。

現地のラパスでは、ハリケーンによる停電があるため、バックアップ電源の必要性が大きいと考えられる。本プロジェクトでは、養殖部門における酸素供給ブローを停止することは、養殖魚の死を招く恐れがあり、研究や実証試験の進行を妨げることが懸念される。電力供給に関する分野では、停電対策を講じる必要がある。

(4) 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」

研究題目・活動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」において、水質分析が遅れていた。これはCIBNORが実施するものであるが、CONACYTからの予算配分の遅れが原因であるとしている。この問題を解決するために日本側研究員が渡航し、日本からの携行機材を用いて分析を行なっている。

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。CIBNOR モデルシステム完成後には、本システムを用いた研究を開始する。現在のところは、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により CIBNOR モデルシステムでの共同研究の準備を行なっている。最近では平成 28 年 4 月 22 日に、鳥取大学の 4 名の研究者が CIBNOR において 5 名の CIBNOR 研究者とともに研究ミーティングを開いている。

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

メキシコには、CONACYT の資金制度（イノベーション・インセンティブ・プログラム；PEI「Programa de Estimulos a la Innovacion」）がある。これは、研究プロジェクトの成果・生産物の普及・商業化のために資金提供を行なう制度である。CONACYT セルヒオ・エルナンデス氏からは、本プロジェクトのアクアポニックスシステムを導入する農家が応募するのにふさわしい制度であるといわれている。

蕪木絵実研究員（鳥取大学）が、アクアポニックス国際シンポジウム（平成 27 年 11 月 10-12 日、於けるメキシコ ラパス市）にて、招待講演「アクアポニックスシステムにおける塩生植物」を行なった（<http://www.acuaponiaBCS.com/>）。研究員は、本プロジェクトのアクアポニックスの有用性を説明し

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

た。本シンポジウムには、CONACYT の他に、従来のアクアポニックスの普及を行なっている CONAZA（国家乾燥地委員会）、農民に対して多くの助成・融資制度を持つ SAGARPA（メキシコ農牧漁業食料省）も参加していたことから、本プロジェクトのアクアポニックスを強くアピールできたと考える。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

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。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）。



VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

【平成 27 年度実施報告書】【160531】

VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VIII. その他（非公開）

以上

著作物数 0 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	<u>馬場貴志</u> , 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	<u>馬場貴志</u> , 青目皓子, 白井早紀, <u>山田美奈</u> , <u>藤山英保</u> , "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	<u>遠藤雅人</u> , "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	<u>遠藤雅人</u> , "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	<u>遠藤雅人</u> , "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	<u>遠藤雅人</u> , "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, <u>遠藤雅人</u> , "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	

著作物数 8 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

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

・プロジェクトの成果について、研究開始からこれまでに行われた学会発表を、時系列に並べてください。

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

招待講演	1 件
口頭発表	0 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	馬場貴志(鳥取大学)、王晓丹、山口進康、那須正夫(大阪大学)、植物水耕栽培における微生物動態解析、生態工学会、静岡、6月27日～28日	ポスター発表
2014	国内学会	遠藤雅人(東京海洋大学)、静岡県における水産と我々の取り組み、生態工学会、静岡、6月27日～28日	招待講演
2014	国内学会	遠藤雅人(東京海洋大学)、Miguel R. Martini, Tyler S. Anderson (Cornell Univ.)、竹内俊郎(東京海洋大学)、Michael B. Timmons (Cornell Univ.)、Visual MINTEQによるテラピア飼育時の排出物質の動態推定とその利用法の検討、生態工学会、静岡、6月27日～28日	口頭発表
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、日本土壤肥料学会、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、日本土壤肥料学会、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、日本土壤肥料学会、東京、9月9～11日	口頭発表
2014	国内学会	森川祐実、藤山英保(鳥取大学)、好塩性植物の生育におけるNaの役割、日本土壤肥料学会、東京、9月9日～11日	口頭発表

2014	国内学会	藤本祉史、藤山英保(鳥取大学)、塩性植物の鉄吸収機構の解明—培地のpHを低下させるメカニズム—、日本土壌肥料学会、東京、9月9日～11日	口頭発表
2014	国内学会	蕪木絵実、藤山英保(鳥取大学)、NaはフダンソウのNO ₃ 吸収を促進する、日本土壌肥料学会、東京、9月9日～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9～11日	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

招待講演	4 件
口頭発表	14 件

ポスター発表 5 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	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	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 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	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	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 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。

5 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～20日	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	東京海洋大学 (日本)	200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。本研究チームにおける研究全体の概要を紹介した。
2015	12月19日～20日	Francisco Javier Magallón Barajas (Northwest Biological Research Center), Masato Endo (Tokyo University of Marine Science and Technology), 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	東京海洋大学 (日本)	200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。本研究チームにおける養殖技術に関する概要を紹介した。

2015	12月19日～20日	Juan Larrinaga-Mayoral (Northwest Biological Research Center), <u>Satoshi Yamada</u> (Tottori University) and <u>Bernardo Murillo Amador</u> (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	東京海洋大学 (日本)	200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。本研究チームにおける水耕栽培・アクアポニックス技術に関する概要を紹介した。
------	------------	--	----------------	----------	---

3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。

2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/メキシコ西北部生物学研究センター

付随的成果

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

上位目標

メキシコ乾燥地に露地栽培結合型アクアポニックスが普及される。

普及体制の構築・普及プロジェクトの実施

プロジェクト目標

塩分を含む水を利用した露地栽培結合型アクアポニックスが構築される。

