

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 30 年度実施報告書

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	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な電力消費量の把握	←					→
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)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、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. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

養殖グループ；CIBNOR モデルシステムにおいてホワイトスヌークの低塩分飼育試験を行い、成長特性を把握した。また、東京海洋大学の小型閉鎖型循環式養殖システムおよび鳥取大学モデルシステムの閉鎖型循環式養殖システムにてバナメイエビの飼育試験を行った。さらに、数値モデルの構築においてはティラピアの実飼育成績を用いてティラピアの成長予測のためのモデルフィッティングを行った。さらに、農家実証モデルシステムにおいてティラピア飼育マニュアルの作成検討を進め、暫定版（スペイン語）を完成させるとともにティラピアの導入から出荷までの一連の養殖作業の技術支援を行った。作物グループ；鳥取大学モデルシステムにおいて、作物栽培にとって必要な養殖廃液を得るために、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）の一連を通じた物質収支把握試験を行った。また農家実証モデルシステムでは、作物栽培にとって必要な養殖廃液中の養分濃度の簡易検出法を検討した。電力供給グループ；農家実証モデルシステム稼動のための独立型太陽光発電システムを2018年7月までに設計・設置し、電力供給を開始した。2018年8月から2019年4月までの1日および1ヶ月の電力需給状況の推移を明らかにした。2018年12月から2019年2月においては、各月の平均日射量を下回る曇天の連続（4日程度）が2回発生し、充電が不足する日が発生することが認められた。また、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、この設備の運転に必要な独立型太陽光発電システムの出力設計を行った結果、出力13kWのシステムが導かれた。実測した日射量を用いて、この出力13kWの発電システムによる電力供給のシミュレーションを行った結果、冬期に発生する4日程度の曇天連続日による発電・充電不足が予測され、実証試験の結果と照らし合わせて、現地における電力システムのリスク要因を明らかにした。安全性評価グループ；CIBNOR モデルシステムにおける微生物モニタリングにより、安全管理マニュアル作成に必要な第一段階のデータが得られた。鳥取大学モデルシステムにおいては、ティラピアに加えてバナメイエビ養殖に関する微生物群集構造に関するデータを得た。さらに、病原細菌の検出法として、マルチカラーマイクロコロニー法を検討し、増殖し得る数種の生きている細菌を同時にとらえることができることがわかった。結合技術グループ；農家実証モデルシステムの露地栽培試験が本格的に開始された。水耕栽培廃液を灌漑水として各種作物を栽培している。鳥取大学モデルシステムでは、乾燥ストレス下におけるトウガラシ栽培において、節水効果と水利用効率の関係性について明らかにした。社会実装グループ；ラパス市内における魚類・野菜類の2年間にわたる価格変動が明らかになり、農家実証モデルシステムにより得ることのでき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、魚類および野菜の価格調査を行ってきた店舗と交渉の結果、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。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構築されるとともに、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。

(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

本プロジェクトで実飼育を行って生産性を検討する養殖適種に関しては選定が終了した。CIBNOR 側カウンターパートのフランシスコ・マガジョン博士と協議した結果、その他有望(高額)な養殖魚として新規にストライプドバス (*Morone saxatilis*) が挙げられた。ストライプドバスはアメリカ東海岸からメキシコ湾東部までの河川および沿岸域に生息しており、広塩性の魚である。近縁種のホワイトバス (*Morone chrysops*) やそれら 2 種の雑種が養殖素材として使われている。

メキシコでは新規魚種の養殖技術開発が産学官で盛んに行われており、ヒレナガカンパチ (*Seriola rivoliana*) やヒラマサ (*Seriola lalandi*) などのブリ類、フェダイ類、スヌークやトトアバ (*Totoaba macdonaldi*) の種苗生産ならびに養殖生産等、様々な成果が出始めている。また、水産市場は漁獲、輸入生産物の変動により、魚価が大きく変わる特性を持っている。この中でいち早く情報を入手し、養殖有望種の生産を検討することは、生産性の向上と維持に大きく貢献するものと考えられる。現在のところ、低塩分飼育水(4psu)でのスヌークの飼育は可能ではあるが、成長にはまだ課題が残る。この点も踏まえて生産試験までは行わないが新魚種を模索するという観点からどのような種が今後、有望であるのかを検討した。

2) 養殖適種の最適飼育環境の決定

2.1) CIBNOR モデルシステムにおけるホワイトスヌークの飼育試験

2018 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。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。各水槽に 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 1)。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 超える 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、2018 年 11 月~2019 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 2)。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。

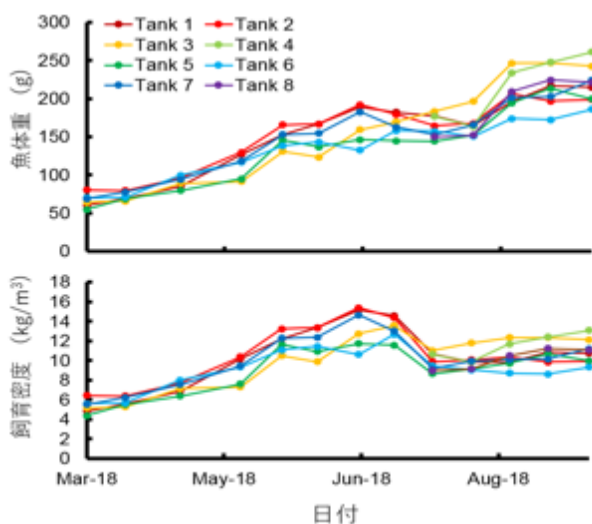


図1 ホワイトスヌークの魚体重変化と飼育密度
(3月18日-9月18日)

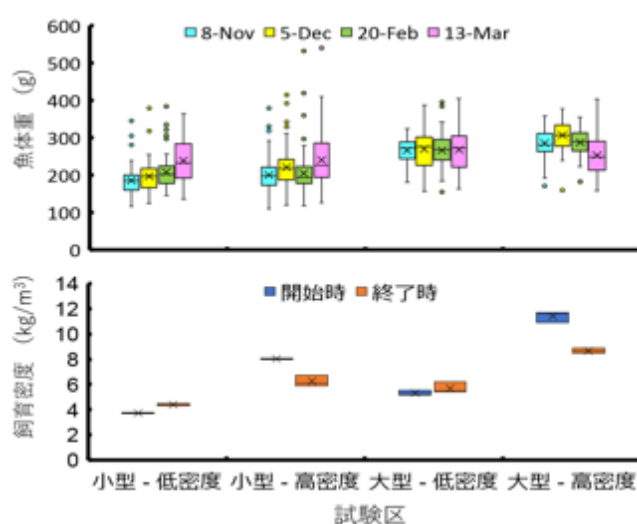


図2 ホワイトスヌークの飼育におけるサイズおよび密度別の魚体重変化と飼育密度
(11月8日-3月13日)

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、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ことを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。

2.2) 東京海洋大学の小型閉鎖型循環式飼育システムにおける異なる塩分環境下でのバナメイエビの飼育試験

東京海洋大学では、異なる塩分環境下(3psu、16psu および 35psu)でのバナメイエビ(体重約2g)の飼育を試み、生産性の確認と各種元素の物質挙動の把握を行うための飼育を行った。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℃、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3および表1)。今後は餌から供給された物質の挙動を把握するため、窒素、リンをはじめとして餌、エビ、飼育水の14元素の組成を把握し、数値モデル構築の基礎的データとする。

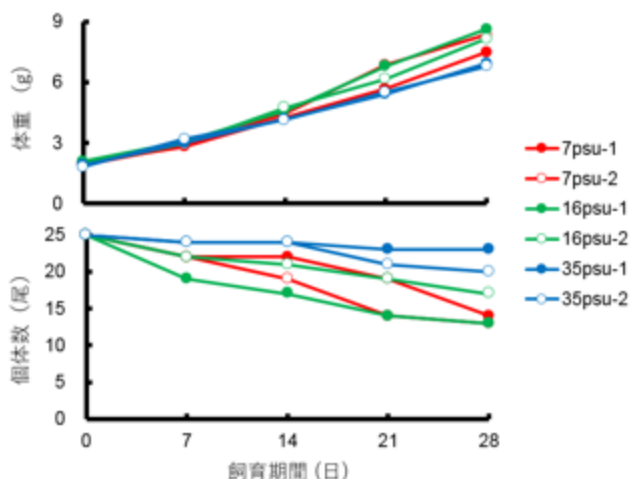


図3 小型循環式養殖システム用いた異なる飼育水塩分環境下でのバナメイエビ飼育における魚体重および個体数の経時的変化

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 (%)	59.4 ± 6.2	74.4 ± 16.6	91.0 ± 10.8
生残率 (%)	54.0 ± 2.8	60.0 ± 11.3	86.0 ± 8.5

(n=2)

2.3) 鳥取大学モデルシステム内でのバナメイエビの飼育試験

鳥取大学モデルシステムにおいても 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、ほぼ硝酸イオンで蓄積された。硝酸イオンの蓄積に伴い、pH は 8.2 付近から 7.1 前後まで減少した。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4)。

今回の飼育で無機窒素 110mgN/L を含む飼育廃水を 1.5kL 以上得ることができた。この廃水は好塩性植物の培養液として使用する。また、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。具体的には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る。

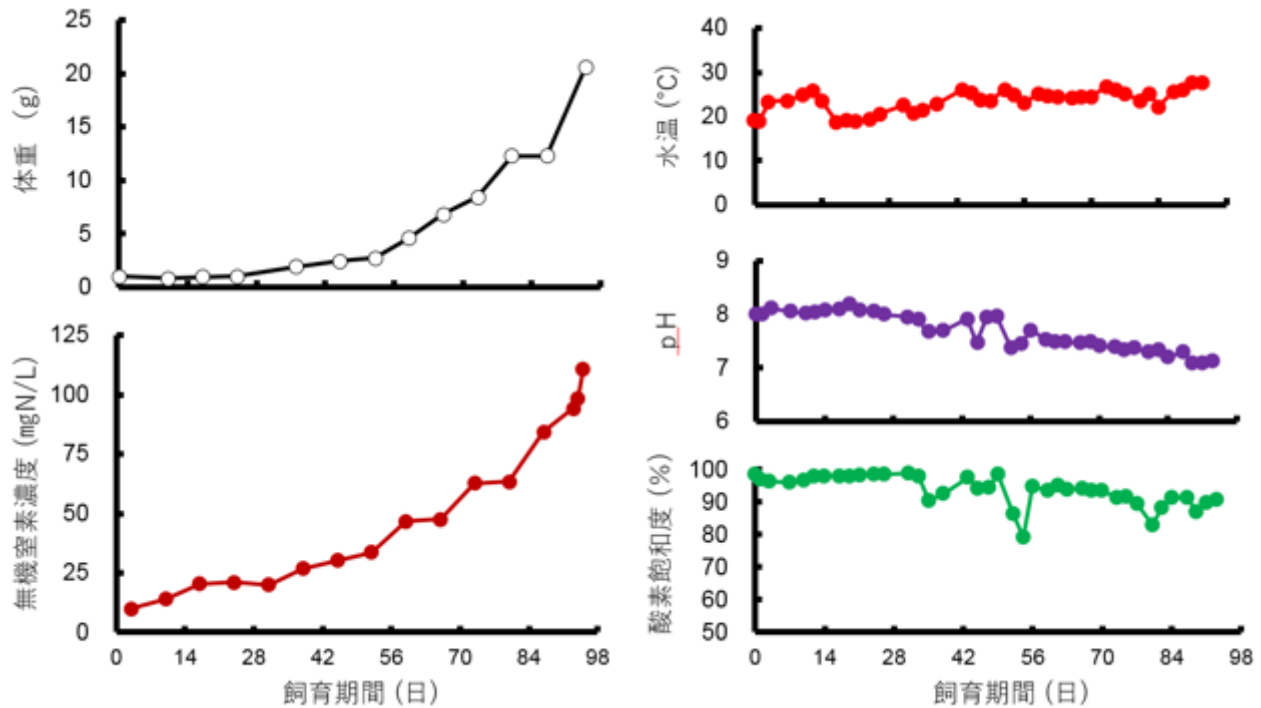


図4 鳥取大学モデルシステム内の循環式飼育システム用いたバナメイエビ飼育試験におけるエビの成長と水質の経時的変化

2.4) 数理モデルの構築と最適な給餌戦略の検討

2018年度は、2017年度に構築した数理モデルに対して、データフィッティングしやすくすることを検討した。得られたデータとのフィッティングをしやすくするために前年度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。）。

$$\begin{aligned}
 \dot{B}_F &= \begin{cases} \frac{r_F}{1+hS_A}(1-B_F)B_F & t \neq T_{0h} \\ B_{F0} & t = T_{0h} \end{cases} \\
 \dot{B}_{P_1} &= \begin{cases} (r_{P_1} + a_{P_1}S_{N_1})(1-B_{P_1})B_{P_1} & t \neq T_{1h} \\ B_{P_10} & t = T_{1h} \end{cases} \\
 \dot{B}_{P_2} &= \begin{cases} (r_{P_2} + a_{P_2}S_{N_2})(1-B_{P_2})B_{P_2} & t \neq T_{2h} \\ B_{P_20} & t = T_{2h} \end{cases} \\
 \dot{S}_A &= \begin{cases} qS_A + aB_F & t \neq T_{0h} \\ S_{A0} & t = T_{0h} \end{cases} \\
 \dot{S}_{N_1} &= (1-q)S_A \\
 \dot{S}_{N_2} &= (1-q_1B_{P_1})S_{N_1} + (1-q_2B_{P_2})S_{N_2}
 \end{aligned}$$

ここで、 B_F は養殖魚の重量、 B_{P_1} は水耕栽培における植物の重量、 B_{P_2} は露地栽培における植物の重量、 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)における硝酸塩濃度を示す (T_{ih} は $i=0$ の時がそれぞれ養殖魚の収穫時刻、 $i=1$ の時が水耕栽培植物の収穫時刻、 $i=2$ の時が露地栽培植物の収穫時刻を示す)。2017年度に実施したティラピアの給餌率を100%、120%、140%と変化させた時の体重の増加において60g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

かっている (図 5)。

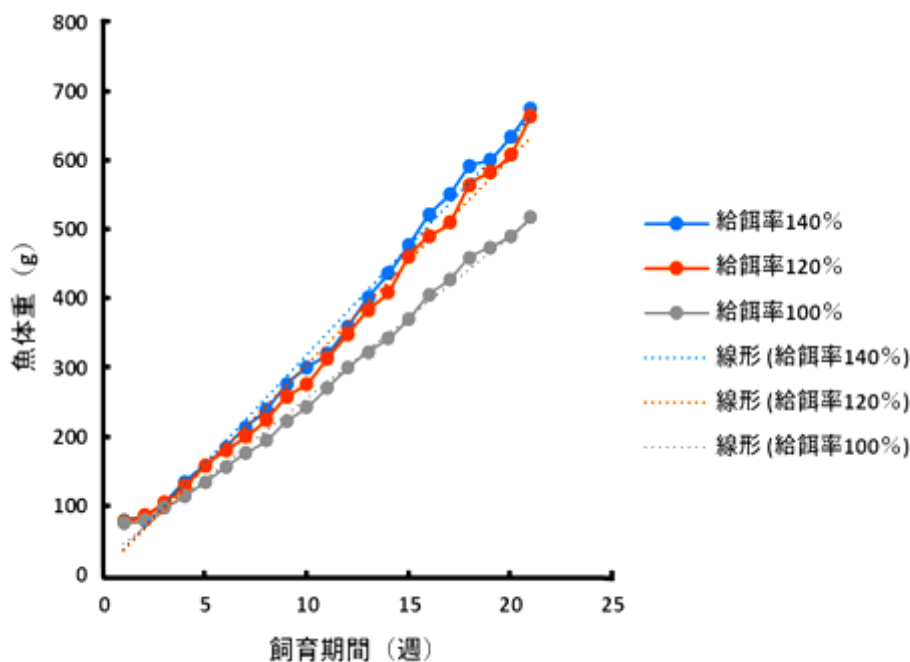


図 5 ティラピア (60g 以降) の魚体重の経時変化 (2017 年度実施の実験結果)

そこで、今回のモデルは環境収容力を設定せずに重量の増減の動態を記述した。また、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た点が今年度の修正点である。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で得られた結果を提示して、経済的な意味での最適化戦略を協力して検討することが今後の課題となる。

②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

平成 30 年度短期研究員受入では、ジェニッツェ・フィンブレ・アセド氏に対してティラピアの人工種苗生産、出荷時の氷冷麻酔・脱血作業、固形試料のアミノ酸分析と沈殿物の酸分解と溶解物質の元素組成分析の指導を行った。ジェニッツェ・フィンブレ・アセド氏は本プロジェクトの CIBNOR モデルシステムにおけるティラピアの閉鎖型循環式養殖を一貫して行ってきた。また、ティラピア養殖のマニュアル作成にも主体的な役割を果たしている。ティラピアの種苗生産に必要な採卵技術と出荷の際に必要な氷冷・脱血作業について研修を行った。なお、この日本独自の出荷前処理方法はティラピアの食味改善に非常に有効であり、本マニュアルの出荷の項にも記載されている。また、農家実証試験モデルシステムにおいてもこの処理が導入され、ティラピアの食品としての価値を高めている。さらに栄養素分析の観点から餌をはじめとする固形物の分析実習を行った。具体的にはメタンスルホン酸を用いた加熱分解作業とアミノ酸分析機による構成アミノ酸の分析を行った。この他、ティラピア飼育時に発生する固形物を酸で可溶化し、液肥として利用するためのホットプレートを用いた酸分解および可溶化した物質の ICP-AES による元素組成分析も行った (図 6 および 7)。



図6 東京海洋大学のティラピア飼育室での搾出法によるティラピアの採卵、採精、乾導法による人工授精および受精卵の観察

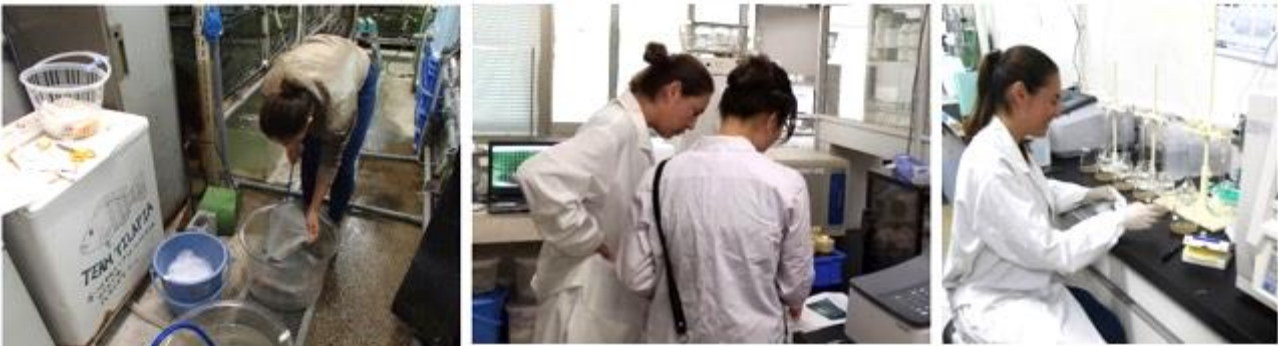


図7 ティラピアの脱血出荷前処理、元素分析前処理および沈殿物からの酸添加による栄養塩抽出の様子

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特になし。

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) 栽培適種の最適栽培法の決定（鳥取大学）

鳥取大学モデルシステムにおいて、ティラピア養殖廃液を利用したフダンソウの水耕栽培、さらにその水耕廃液を利用したトウガラシ（品種；アバネロオレンジ）のポット土耕栽培を行い、アクアポニックスシステムを稼働させた時の物質収支を数理的に把握するための実験を行なった。これにより、作物栽培に必要な廃液を作るための最適な飼育条件および作物栽培条件が明らかとなる。栽培実験は終了し、現在は東京海洋大学の岩田助教の協力の下、数値解析を行なっている。

東京海洋大学での研究結果により、これまでアクアポニックスシステムの水耕栽培に相当とされてきた 20 mmol L^{-1} の硝酸態窒素 ($\text{NO}_3^{-}\text{-N}$) 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、腸内に排泄物が残留し、一部は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推察されている。このため、フダンソウを異なる $\text{NO}_3^{-}\text{-N}$ 濃度 (4, 8, 12, 16, 20 mmol L^{-1}) で栽培した時の

応答から、フダンソウとティラピア双方にとって最適な NO_3^- -N 濃度を明らかにする実験を行なった。その結果、1ヶ月間の栽培では8~16 mmol L^{-1} 区でもこれまでの20 mmol L^{-1} と変わらない生育を示すことがわかった。なお、この実験は2018年9月から11月までの間にメキシコ側カウンターパートが指導する CIBNOR の学生が来日して行なったものである。

2) 栽培適種の最適栽培法の決定（農家実証モデルシステム）

プロジェクトサイト内のロスプラネス地区に建設した農家実証モデルシステム内において、定期的な水の分析を行っている。水耕栽培用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8）。これは高性能な機器を用いた分析結果であるが、引き続き水質データを蓄積することにより、簡易測定キットにより農家でも廃液中の養分濃度をモニタリングできるようにする。本結果は今後、農家普及マニュアルに反映していく。また、水の効率的な利用を評価するために、水耕栽培システム内における水量収支を調査している。

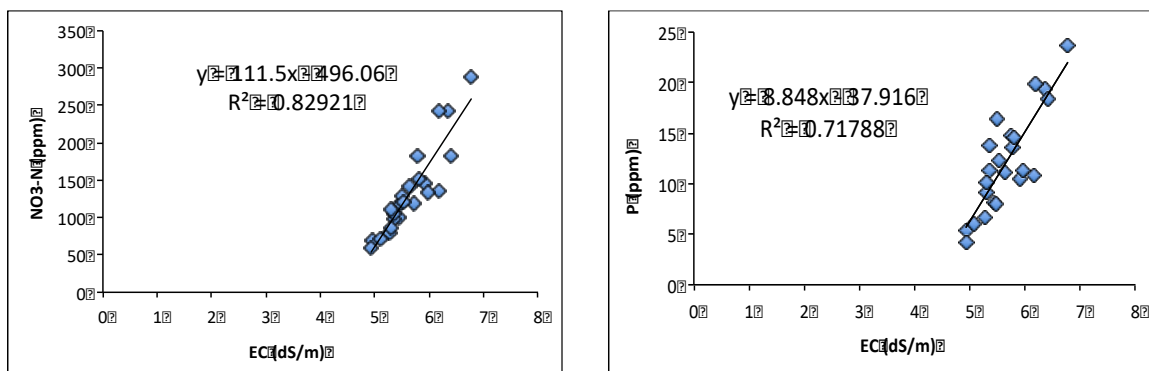


図8 養殖廃液の EC と NO_3^- -N および P 濃度の関係

② 研究題目2のカウンターパートへの技術移転の状況

本年度の短期研究員受入において、CIBNOR の作物グループに属するペドロ・ルナ研究員に対して、鳥取大学で技術研修を行なった。ペドロ・ルナ研究員は、CIBNOR 附属農場の技官をしており、本研究においては主に水耕・露地で栽培する作物の管理・収穫を行なっている。鳥取大学では、水耕栽培のための培養液調製法、育苗法、移植法水質分析法について教授した。現在では農家実証モデルシステム内の用水の分析を行えるようになっている。

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

本プロジェクトでは水の効率的な利用が最も重要な課題の一つとなっている。当初計画では農家実証モデルシステムにおいて、毎月異なるサイズのティラピア幼魚を移送・飼育することで安定的に養分が豊富な廃液を水耕ベッドに供給する予定であった。しかし冬の気温低下によって稚魚の成育速度が遅れ、CIBNOR から農家実証モデルシステムへの幼魚の移送が遅れるなど、安定的に養分が豊富な廃液を水耕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大いに起こり得る。そこで、農家普及マニュアルにはこうした事態にどのように対処するべきかを示すべきである。本件については、1) 肥料を水耕ベッドに添加する、2) 定期的に少量ずつ水交換をすることで低濃度でも養分を供給する、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る（図9）。これら選択肢

のうち農家にとって最も持続的に行っていくものはどれなのかを決める必要がある。

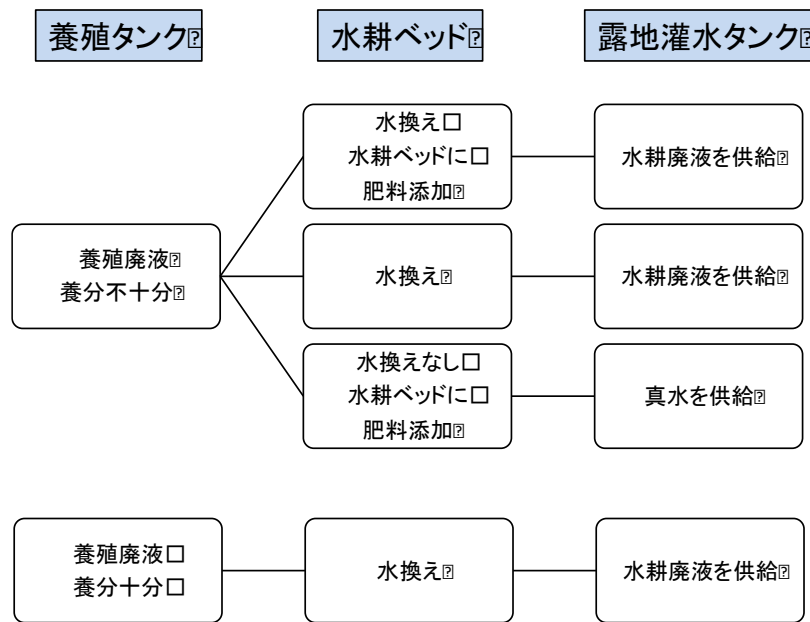


図9 養殖廃液内養分が不十分な場合の対処法

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植物を水耕栽培する。水耕栽培において好塩性植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。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。本年度は、ロスプラネス地区の農家実証モデルシステム内にて昨年度選定された好塩性植物フダンソウの水耕栽培を行い、システム利用のための農家研修や効率的な水利用に関するデータの採取を開始した。また、露地では廃液を真水で希釈した水を利用して、レタス、トマト、テーブルビート、ハツカダイコン、トウガラシ、セロリの栽培を開始した。この時、廃液（EC 7.5~8 dS/m）を真水（EC 0.4 dS/m）と約1:1の割合で希釈し、約EC 4.0 dS/mの水を調製し、灌漑水として利用した。栽培作物についてはこれまでに選定した植物種に加え、農家の希望を盛り込み決定した。

⑤ 研究題目2の研究実施方法（参考）

アクアポニックスシステムを稼働させた時の物質収支を数理的に把握するため、鳥取大学モデルシステムではティラピア養殖廃液を利用したフダンソウの水耕栽培を行い、水および植物体の各種元素分析を行なった。また、ロスプラネス地区の農家実証モデルシステムにおいてティラピア養殖廃液を用いてフダンソウの栽培を行った。栽培中には蒸発散量の測定および電気伝導度、pHの変化、定期的な水のサンプリングを行い廃液中の養分分析を行った。また、廃液を真水で希釈し低塩化された水を用いてレタス、トマト、テーブルビート、ハツカダイコン、トウガラシ、セロリの露地栽培を開始した。なお、廃液の希釈方法は、④に示した通りである。

(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: 田川公太朗)

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なとなる電力消費量の把握

ロスプラネスにおける農家実証モデルシステムでは、まず養殖部門の飼育槽の飼育水循環には循環用ポンプ (SPET-2 PENTAIR 社) を用いている。水耕栽培部門へ供給する場合にはバルブ操作を用いて同一ポンプで供給する。また、飼育槽および濾過槽、水耕栽培用水槽に対して、ブロワー (VFC400P-5T FUJI ELECTRIC 社) 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 (FAD74DWD, FRIGIDAIRE 社) を設置している。養殖・水耕栽培部門には、作業用の用水利用や用水の汲み替えなどで簡易的に水をくみ上げるための携帯式水中ポンプ (AQUA200W EVANS 社) を設置している。露地栽培部門には水耕栽培から出た廃水を露地栽培用のタンクへくみ上げるための水中ポンプ (BP120W1-2SERV BOSCH 社) とタンクに貯めた水を露地に灌漑する灌漑用ポンプ (360s Pony Pump Franklin Electric 社) を設置している。

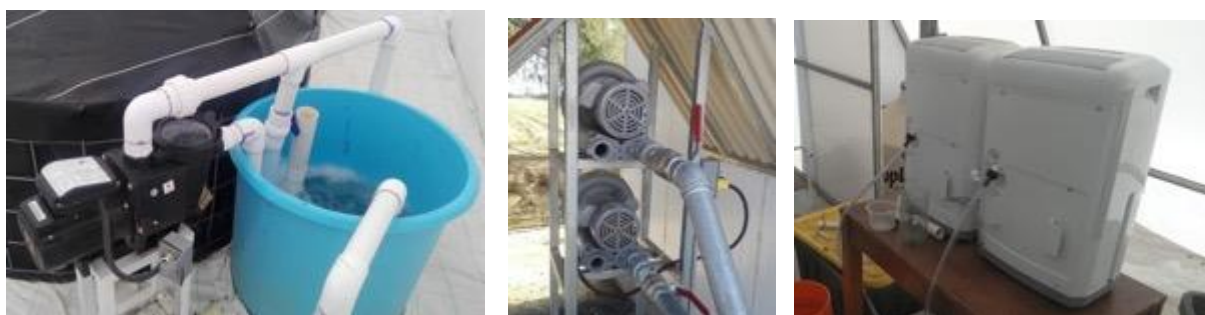


図 10 左から循環ポンプ、ブロワー (1 台は予備) および除湿機 (2 台) の外観

代表的な電気機器を図 10 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 2 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。

表 2 各電気機器の稼働時間と定格出力 (消費電力)

使用箇所	電気機器	台数	稼働時間(h/day)	定格出力(W)
養殖	循環用ポンプ	1	24	1,207
	除湿器(家庭用)	2	12 (18:00~6:00)	745
養殖+水耕栽培	ブロワー	1	24	989
	水中ポンプ(1/6 馬力)	1	3	200
露地栽培	灌漑用ポンプ	1	1	91
	水中ポンプ	1	1	140
全体	照明	4	6	50

2018年8月から農家実証モデルシステムにおける試験が開始され、ブロワーやポンプなどの電力消費量を計測した。代表的な1日における10分間毎の消費電力量(実測値)の推移を図11に示す。日中は空気供給用のブロワーと用水循環のための循環ポンプを中心に稼動しており、10分間毎の消費電力量は約0.39kWh(1時間換算約2.34kWh)で推移し、夜間(18:00~翌朝6:00)に除湿機1台を稼動すると、10分間毎の消費電力量は約0.52kWh(1時間換算約3.12kWh)で推移する。10分毎の消費電力量を日積算すると、

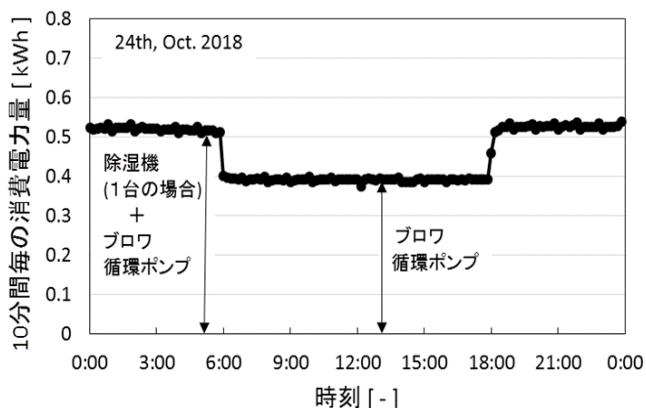


図11 代表的な1日における10分間毎の消費電力量の推移

この日の消費電力量は65.8kWhであった。本年度の運転において、ブロワーとポンプのみを24時間運転する場合の日積算消費電力量は約60kWhであり、夜間に除湿機1台を運転する場合の日積算消費電力量は約67kWh、2台運転する場合は75kWhに達することが明らかとなった。

2018年8月から2019年4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12に示す。全期間の平均的な月積算消費電力量は、約1900kWhであった。2018年10月、11月および2019年4月では、除湿機を稼動しているため、消費電力量が増加し約2,000kWhに到達した。一方で、2018年12月から2019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2019年1月および2019年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92%の範囲にあり、2018年12月から2019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。

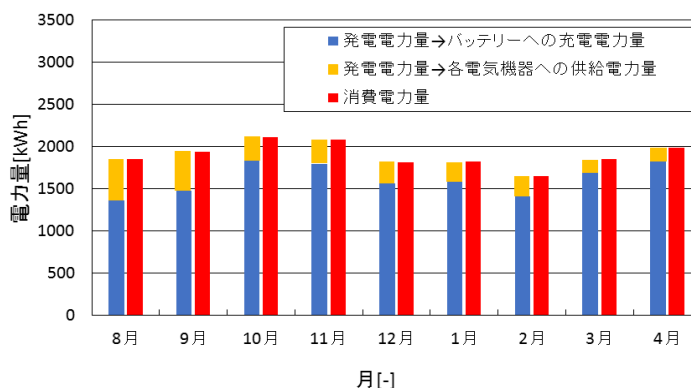


図12 各月における月積算消費電力量

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

これまでの技術移転の結果から、CIBNOR側のカウンターパートが中心となり、農家実証モデルシステムのための独立型太陽光発電システムを設計し、2018年7月に初期導入したのち、2019年4月までに増設した。最終的には、図13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て

おり、前述したように、2018年8月から電力供給が実施されている。また、グループの研究者らは、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14)。2018年11月21日午前2:30に、バッテリーの出力電圧が48Vを下回り、バッテリーからの電力供給が断続的に停止する事態が発生した。午前8:00ごろにCIBNOR研究者(Dr. Joaquin Gutierrez)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。なお、午前2:30から午前6:00ごろまでの間、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た。午前6:00以降は日射により太陽電池による発電が開始されたため、電力供給は回復した。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動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、伝達する工夫が必要である。



a) 太陽電池パネル群 b) 制御機器類 c) バッテリー群

図13 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



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14 独立型太陽光発電システムの遠隔監視システム

次に、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を行った。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算定した結果、独立型太陽光発電システムの出力規模お

よび仕様が、太陽光発電システムの出力規模は 13kW(パネル 1 枚あたりの出力 226W ; 50 枚)であり、バッテリー(1 台の蓄電容量 226Ah)の必要数は 28 台と示された。そして、平成 29 年の年間日射エネルギー量を用いて発電量を計算し、食料生産にかかわる年間の電力需給を解析した。

図 15 に、年間における発電電力量の推移を示す。縦軸は 1 日の時刻、横軸は 1 月 1 日からの年間日数を示し、赤色で表される時間帯ほど太陽光発電の発電出力が高く、青色で表される時間帯は太陽光発電の出力が低い。夜間は黒色で表されている。太陽電池の年間発電時間は約 4,001 時間であり、年間発電電力量は 19,786 kWh に到達することを明らかにした。1 月から 7 月(210 日)までは、安定的に日中の 12 時を中心に太陽光発電の出力が非常に高く、安定して発電することができる。しかし、8 月末(240 日)ごろにはハリケーンの影響で曇天日が突発的に発生するため、日中の出力低下が予測でき、さらに 12 月(330 日から 360 日)には、季節的な曇天日が続く、天気の変動によって太陽電池の発電出力の変動が現れることもわかった。

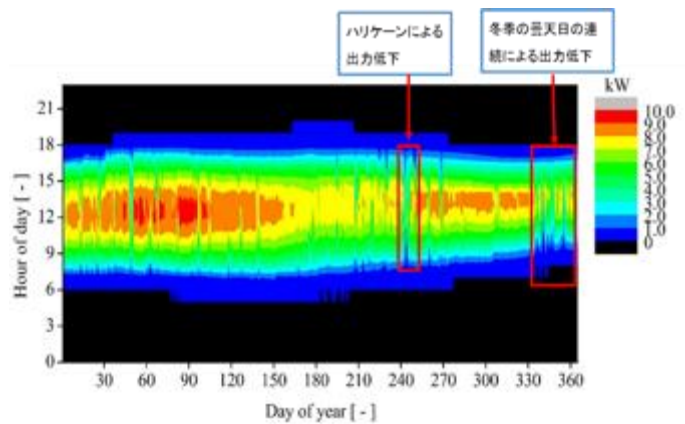


図 15 年間の発電電力量の推移

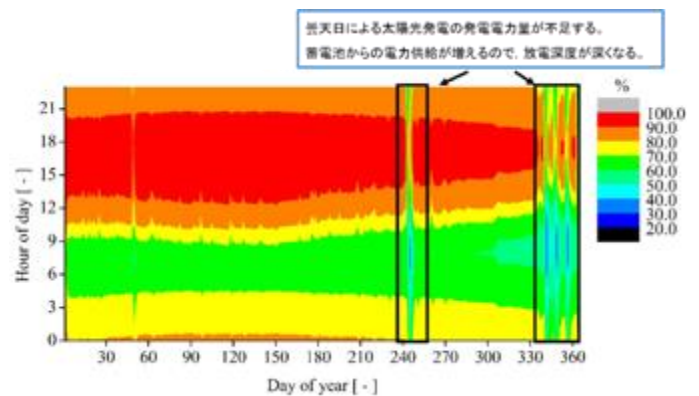


図 16 年間のバッテリーの充電割合の推移

図 16 に、年間におけるバッテリーの充電割合の推移を表す。赤色部分の時間帯ほど充電割合が高く、青色部分の時間帯ほど放電により充電割合が低くなることを示している。バッテリーからの放電は夜間に行われるので、夜間に充電割合が減少する。図 15 に示したように、240 日頃および 330 日から 360 日頃にかけて発生した発電電力量の低下は、日中や夜間の充電割合が 50%より低下する事態を招いており、アクアポニックスへの電力供給が不安定になるという重要な知見が得られた。電力機器の突発的な停止は、飼育魚の死につながる。これらの結果から、電力システムのリスク要因が明確となり、電力負荷が大きい除湿機の運転時間を少なくするなど、冬期の電気機器の運転調整が必要になることが見出された。このような突発的なリスクを回避するためにはバッテリーの容量を増やすことが考えられるが、コストが高いバッテリーの導入容量をどこまで許容できるかを検討し、リスク管理と経済性の優先度を明確に提示することが必要と考えられる。

一方で、供給電力量(11,001 kWh)の 75.4%に相当する 8,295kWh が養殖と水耕・露地栽培による食料生産によって消費され、蓄電池の充放電損失とインバーターの変換損失を補うために、それぞれ供給電力量の 18.5%、6.1%が消費されることが導かれた。さらに、発電電力量の 44.4%が余剰電力となることが明らかとなった。太陽光発電システムの発電単価について、食料生産によって消費された電力量を基準にして発電単価を求めると、7.2 メキシコペソ/kWh(0.375 US\$/kWh)と算出され、ラパス市の一般家庭の平均的な電気料金 1.9 メキシコペソ/kWh(0.097 US\$ / kWh)の約 4 倍になることが示された。実際に発電システムを運転する場合に発生する余剰電力を、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、将来的な電動トラック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で、発電単価を削減することができることも考えられる。それでも余剰電力が発生する場合は、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。

②研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

CIBNORモデルに導入した太陽光発電システムの導入設計と、ロス・プラネスに導入される農家実証モデルの電源システムの詳細設計をカウンターパートが実施したことから、太陽光発電を組み込んだ電源設計に関する技術移転が着実に進んだ。

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

2018年11月21日に電力供給の断続的な停止と、2018年12月17日および2019年1月8日の夜間において出力電圧の低下が発生した。これらは、平均日射量を下回る日が3日間から4日間続いたため、太陽光発電システムによる昼間の発電量不足が発生し、バッテリーの充電電力量が不足したことが原因と考えられる。シミュレーションで予測されたとおり、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運転に及ぼす影響が検証された。このことは、運転・維持管理上およびマニュアル作成の上で非常に重要な事項である。

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電力消費量の把握、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。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、実証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、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する。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する。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電力消費量の測定を実施し、1日、

1ヶ月など定期期間内の電力供給量と電力消費量を比較する。

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・精度向上を図っている。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: 鳥取大学・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。本年度に行った CIBNOR モデルシステム全体における微生物モニタリングにより、安全管理マニュアル作成に必要な第一段階のデータが得られた。鳥取大学モデルシステムにおいては、ティラピアに加えてバナメイエビ養殖に関する微生物群集構造に関するデータを得るとともに、廃液を利用した水耕栽培に関する微生物群集構造に関する解析を進めている。さらに、病原細菌の検出法として、マルチカラーマイクロコロニー法を検討し、増殖し得る数種の生きている細菌を同時にとらえることができることがわかった。

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、実験方法のシェアを進めている。また、実際に試料採取から DNA 抽出を担当者とともに実施し、技術移転を完了している。また、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現在実施中である。

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

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、結果によっては微生物管理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でき、その結果をもとに、本システムを安全に継続的に安全に管理するための管理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

前年度の研究から、増殖する可能性がある、生きている微生物を迅速に捉える場合には、マ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ことから、さらに方法を改良し、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。

また、出荷前の餌抜き処理によりティラピアの品質向上のみならず、微生物学的安全性の向上も期待できる可能性が示唆されたため、東京海洋大と共同で餌抜き処理がティラピア表面の微生物群集構造に及ぼす影響について検討した。具体的には、1. かけ流し式養殖における餌抜き処理 (5 日間)、2. 閉鎖型循環式養殖後の養殖水を用いた餌抜き処理 (5 日間)、3. 閉鎖型循環式養殖後、新たな地下水を用いた餌抜き処理 (5 日間)、3 処理を設け、処理前後におけるティラピア表面の細菌群集構造を調査した。現状の方法では解析長が短いため、種レベルでの結果を得ることが難しいため、ランダムクローニング法により 16S rRNA 全長について、各 96 クローン解析を行っている。これにより、種レベルでの微生物学的安全性向上に向けた知見を得ることができる。また、農家実証モデルシステムにおいては、新たな地下水で餌抜き処理を行う場合、使用する水の交換が可能であるため、交換頻度を上げることでより安全性を高めることができる可能性があるため、これについても検討し、最終的なマニュアルに反映する。

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、バナメイエビ養殖を行い、その微生物群集構造について解析を行った (図 17)。結果として、ティラピアとは異なり、大腸菌等が属する Gammaproteobacteria (朱) の割合が低いことがわかった。また、養殖中～後期 Actinobacteria (薄茶) 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 (ピンク) 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、養殖期間を約 80 日として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かもしれない。

CIBNOR モデルシステムにおける細菌群集構造解析の結果、ろ過槽で Bacteroidetes（こげ茶）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(図 18)。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ているが、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、より清掃等の管理はより重要になると考えられる。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る。しかし、養殖タンク内ではその数はすくなくなっていることから、現在の管理方法と合わせて解析することで、しっかりとした管理方法が提案できると考えられる。

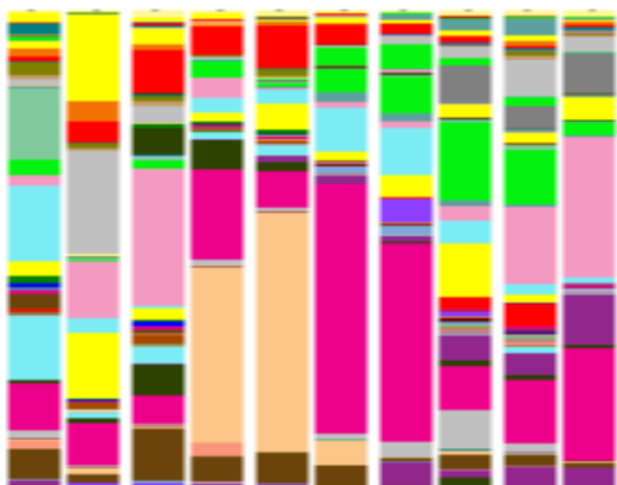


図 17 バナメイェビ養殖における微生物群集構造の変遷（鳥取大学モデルシステム）

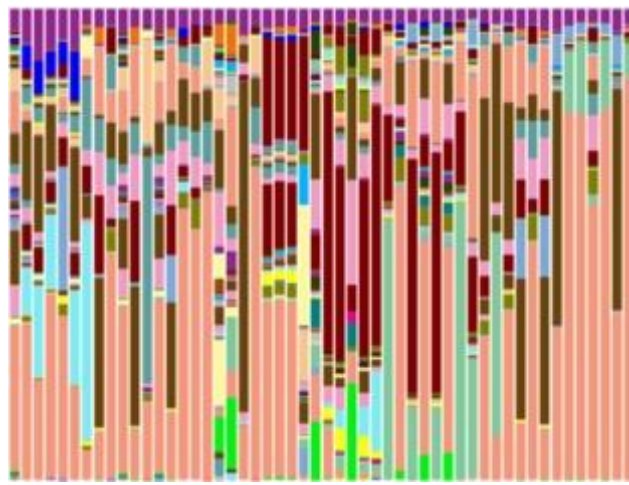


図 18 微生物群集構造の変遷（CIBNOR モデルシステム）

(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）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

水産養殖-水耕栽培-露地栽培を連結させた実証実験をロスプラネス地区で開始した。当初計画では、水産養殖区の廃液を水耕栽培区で浄化し塩濃度を低下させた上で、除湿機による回収水で希釈して露地栽培の灌漑用水とすることになっていた。しかし、実際には水耕栽培排水の EC が 9dS/m と想定以上に上昇し（図 19）、除湿機による回収水量では希釈目標値である 2dS/m の灌漑用水の確保は困難な状況となった。

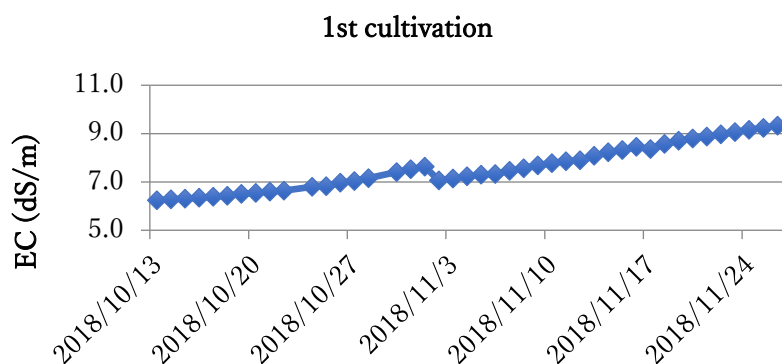


図 19 水耕栽培排水タンクの電気伝導度

そこで、清浄な地下水を購入して希釈水とし、2dS/m の灌漑用水を調製した。また、水耕廃液水の電気伝導度が高くなりすぎたことにより、2dS/m の灌漑用水調製後に余剰の廃液が発生した。そこで、これを用いて、4dS/m の高 EC 灌漑用水による灌漑実験を実施し、EC が高い場合に栽培可能な作物種の探索を行うこととした。

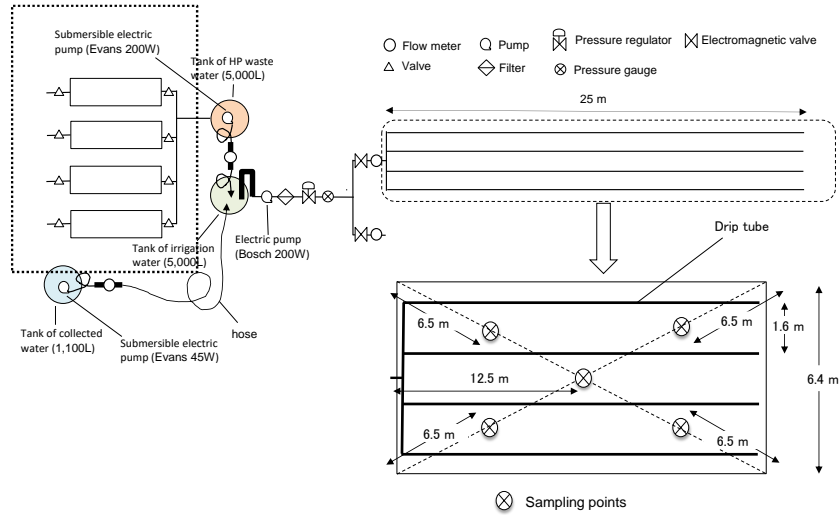


図 20 試験圃場の土壌サンプリングポイント

図 20 に示したとおり、栽培開始前に土壌の物理化学性の評価として、ロソプラネス地区の実証試験圃場の土壌を、1 区画 5 地点 2 深度を 2 区画分の合計 20 サンプル採取し、pH (1 : 2.5 抽出法)、EC (1 : 5 抽出法) を測定した。その結果、pH は 7.5~8.7 とやや高めであった。EC をみると、表層 10 cm で 0.10~0.68dS/m、下層 10 cm で 0.09~0.3dS/m となった。表層がややばらつきが大きいですが、全般的に低い値を示した。昨年度の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) 比較すると表層、下層いずれも小さな値を示した。本年度はサンプリング前にまとまった降雨が発生しており、両者の相違は、まとまった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。

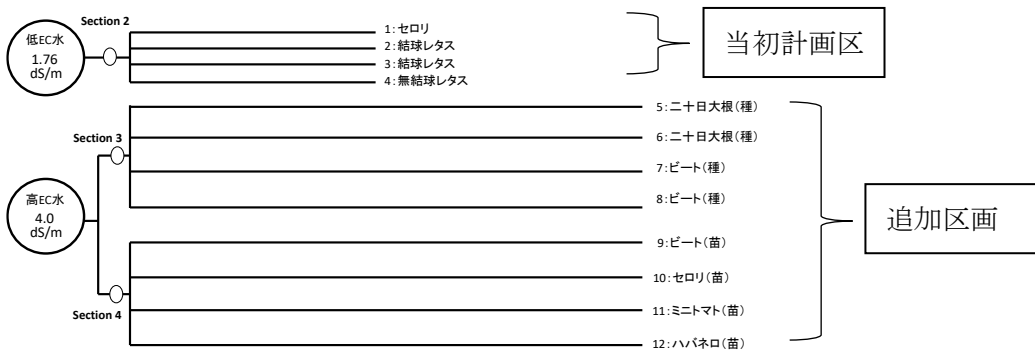


図 21 露地栽培圃場



図 22 農家実証モデルシステムの全景



図 23 実証試験露地栽培区

本年度は、2日に1度20分間灌水して、レタス、セロリ、ハツカダイコン、テーブルビート、ミニトマト、トウガラシを栽培した(図21-23)。

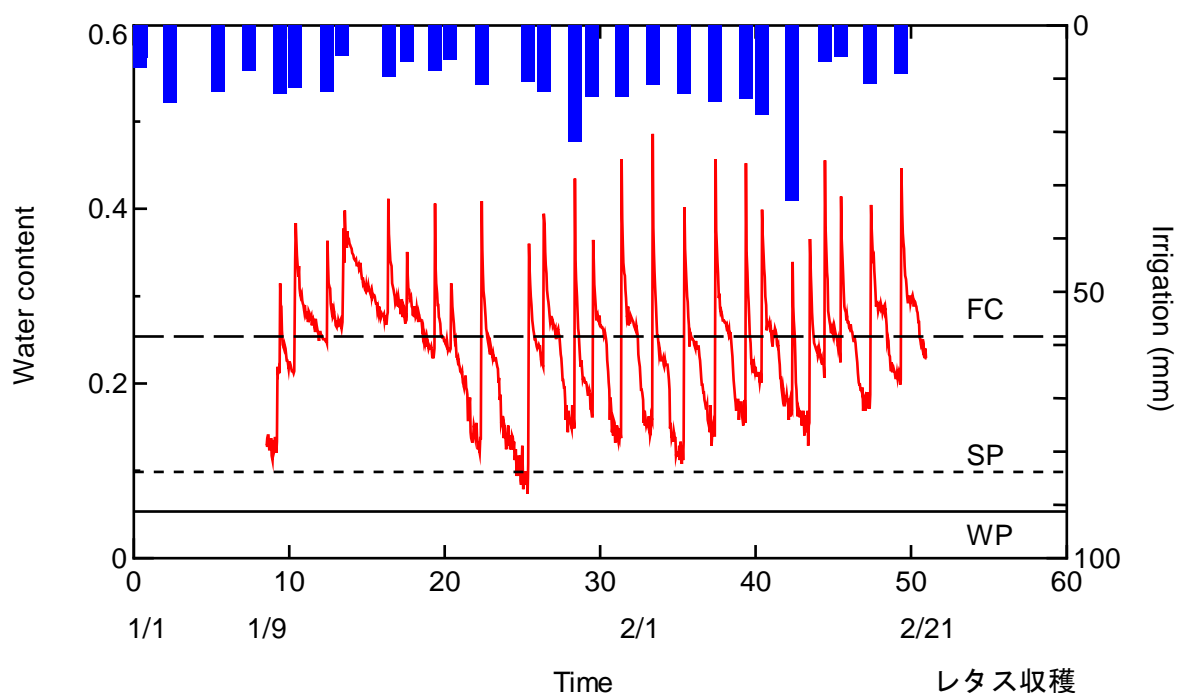


図 24 結球レタス圃場における土壌の体積含水率の経日変化

赤の実線は体積含水率、青の棒グラフは灌水量、

図中の FC は圃場容水量、SP は水ストレス発生点、WP は永久しおれ点を表している。

図 24 は、2019 年 1 月 9 日から 2 月 21 日までの期間における、結球レタス圃場の土壌における体積含水率と灌水量の経日変化を示している。2日に1度20分の計画であったが、実際には現場の状況のみでモデル農家の判断で灌水が実施されたため、灌水日・灌水時間にばらつきが発生している。体積含水率の変動をみると灌水直後に大きく低下しており、重力排水が発生していると思われる。体積含水率はセン

サーを挿入した深さ 12 cm地点のそれであるが、測定期間中、水ストレスが発生するレベルまで乾燥することはなかったと思われる。節水的な管理を行うには、作物根群域の体積含水率の変動を圃場容水量から水ストレス発生点の範囲内で収まるように管理するのが望ましい。そのためには1回の灌水量と灌水頻度（灌漑の間断日数）を安定させる必要がある。

高 EC 区では、現在使用している TDT センサーの塩濃度測定範囲を超過する可能性があるため、塩濃度測定に強い 5TE センサーを導入し、作物根群域内の塩濃度の挙動をモニタリングすることとし、図 25 のようにセンサー設置地点を変更した。

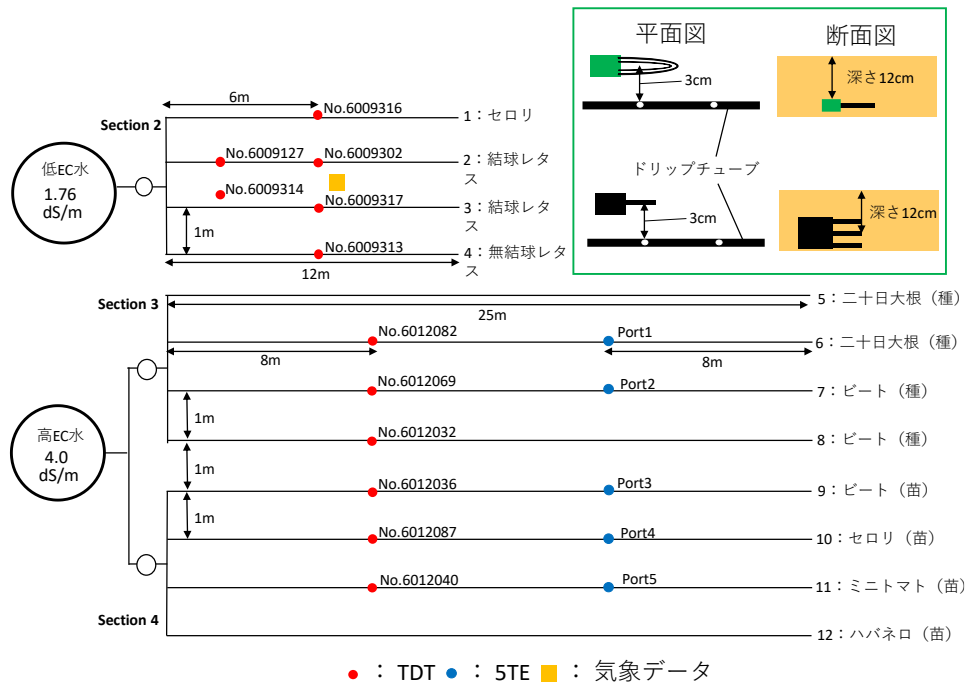


図 25 土壌水分・塩分測定センサー設置地点

高塩濃度区（高 EC 区）と低塩濃度区（低 EC 区）におけるシステム内の水の挙動について示すと次のようになる。

水耕栽培室内の水の動き・変化

毎週：養殖室から水耕栽培室へ 800L (EC : 6 dS/m) × 4 タンク の水が供給される

⇒ 1 日 40~60 L 程度/タンク の水が蒸発散で失われる

⇒ 結果的に毎週 600~700 L (EC : 6.5~7.5 dS/m) × 4 タンク = 2400~2800 L の水が生成
(蒸発散量および EC は水耕内の植物体のサイズによって変化)

灌漑用水の調整

■ 高 EC 区：

灌漑用水の濃度は現地の地下水よりも低濃度の EC : 4 dS/m が目標

⇒ 水耕栽培室から排水された 2500L (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。これにより、毎週 5000 L (EC : 約 4

dS/m) の水を準備できる ⇒ 容量 5000 L の白タンク

- 低 EC 区 :

灌漑用水の濃度は中生植物も栽培可能な EC : 2 dS/m 以下が目標

⇒水耕から排水された 1000 L (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 : 4 で混合。これにより、5000 L (EC : 約 2 dS/m) の水が準備される ⇒ 容量 5000 L の白タンク

露地栽培での灌漑用水の利用

- 高 EC 区 : 25 メートルの畝、4 畝×2 セクション

⇒1 セクション当たり約 250 L/day を灌水 (実際には時間で管理 : 40 分間ポンプ)

⇒毎日 2 セクション合計で 500 L の水を消費

⇒約 10 日で 5000 L の水を消費

- 低 EC 区 : 12 メートルの畝が 4 畝

⇒セクション当たり約 150 L/day を灌水 (実際には時間で管理 : 40 分間ポンプ)

⇒約 30 日で 5000 L の水を消費

*高 EC 区で準備した水量は 10 日間分の灌漑に耐えられるが、タンクが空にならないように、7 日間毎に調製している。したがって、実際には 1 回の調製で 2500L の水耕廃液の全量を高 EC 区の灌漑用水の調製に使用しているわけではない。高 EC 区の調製に使用した残りの水耕廃液を使用して、低 EC 区の灌漑用水を 30 日に 1 回調製している。なお、水耕栽培区、養殖区の除湿機の運転が安定しないため、回収水は露地栽培には使用していない。

塩類集積防止技術の開発は主として日本で行っているが、最終年度と位置付けられた本年度のトウガラシ (品種 ; アバネロオレンジ) 栽培実験において、塩類集積防止と水利用効率の最大化を両立させる灌漑計画の実証を行った。その試験区概要を図 26 に示す。

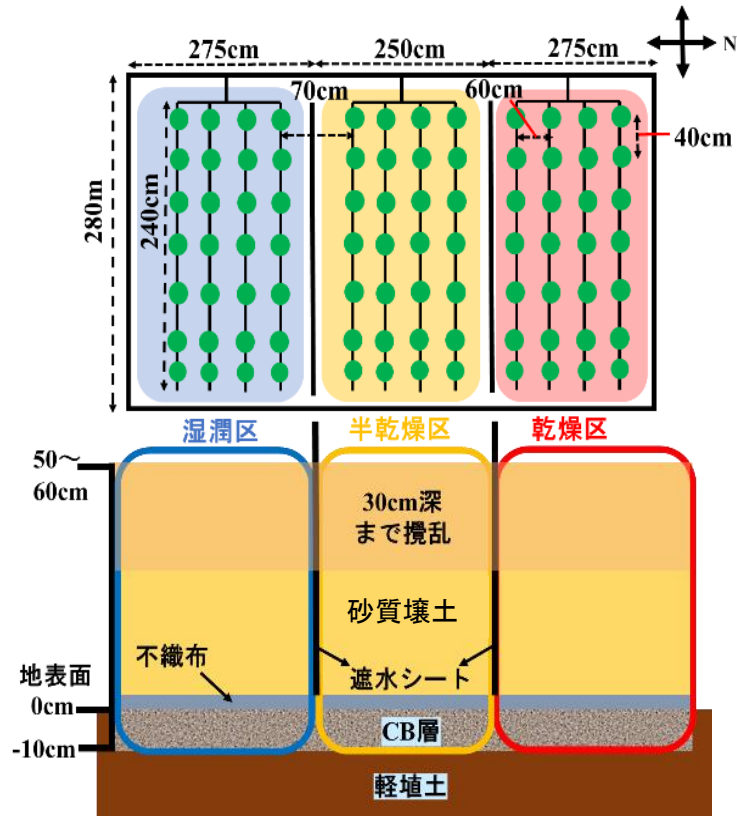


図 26 鳥取大学モデルシステムにおける試験区概要

湿潤区では灌水閾値を pF2.1 とし、半乾燥区では pF2.7、乾燥区では pF3.1 とした。1 回の灌水量は全ての区で同じとし、湿潤区が圃場容水量 (pF1.8) に戻る程度とした。したがって、湿潤区では最適な水分状態を維持し、半乾燥区では水ストレスは発生しないものやや乾燥気味、乾燥区では灌水直前には弱い水ストレスが発生することとなる。これらの灌水処理条件下におけるトウガラシ果実の乾物重とそれに対する水利用効率を比較した。

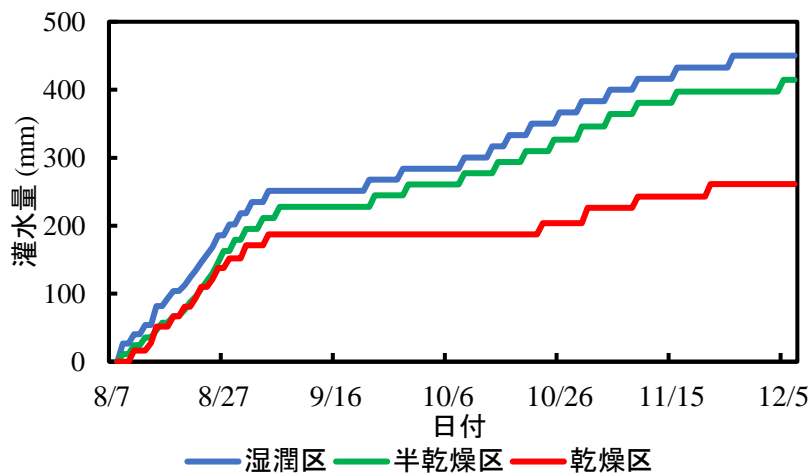


図 27 積算灌水量

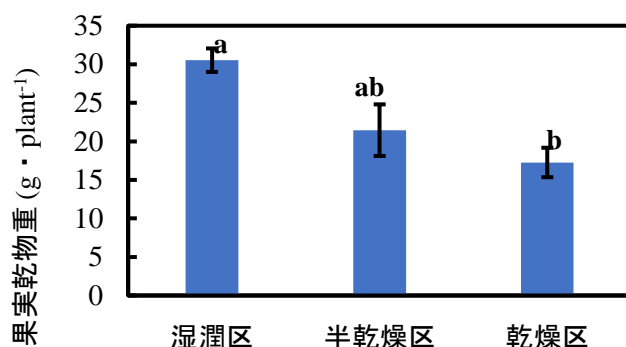


図 28 トウガラシ果実の乾物重

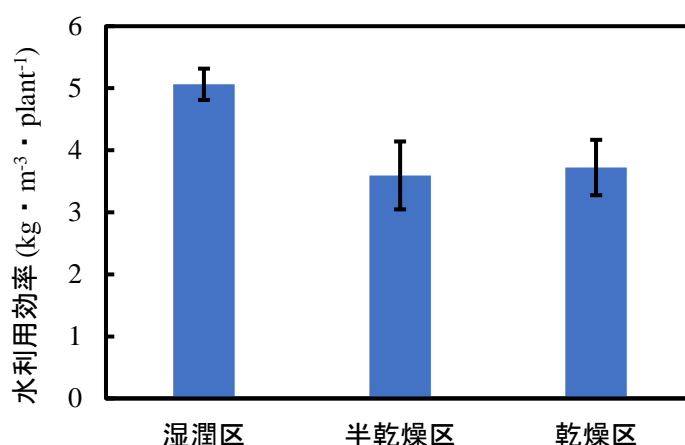


図 29 トウガラシ果実に対する水利用効率

積算灌水量 (図 27) をみると湿潤区と半乾燥区に大きな差がなく、乾燥区のみが湿潤区の 75%にとどまった。しかし、果実の乾物重をみると、有意に乾燥区の収量が小さくなっており (図 28)、その結果、水利用効率ではすべての区で有意差が認められなかった (図 29)。一般的には、乾燥気味の水管理で水利用効率は最大化するが、乾燥ストレスをかけるレベルまで乾燥気味に水管理を行うと、節水効果は大きくなるが、顕著な収量の低下をもたらし、水利用効率の低下につながる事が明確となった。

農家としては、収量を最大化することが収益を最大することに繋がる。このことから、節水による水利用効率の最大化は必ずしも農家にとるべき栽培戦略とは言えない。ストレスを発生させない水管理が可能な灌漑計画のもとで、利用できる灌漑水量に応じた面積での栽培が最も有利な方策と考えられる。

② 研究題目 5 のカウンターパートへの技術移転の状況

2018 年 7 月 9 日から 8 月 24 日まで、短期研修員としてマニュエル・カストロ技官を受け入れ、土壌水分センサーのキャリブレーション方法を教授した。また、鳥取大学の調査圃場においてプロファイルプローブ水分計によるトウガラシ (品種 ; アバネロオレンジ) 圃場の土壌水分計測を実習し、測定方法の指導を行なった。農家実証モデルシステムにおける露地栽培圃場では、圃場管理者に対して、灌漑用水の調製方法、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を伝授した。

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

水耕栽培廃液の塩分濃度が想定以上に高くなったため、当初計画である除湿機による回収水のみでの希釈では所定の濃度を調製することは不可能となった。そこで低濃度な地下水を購入して希釈することとなったが、その結果、農家実証モデルシステムで高濃度灌漑用水による栽培試験を実施できるようになった。これによって、地下水の塩分濃度が高い場合を想定した実証試験も可能となった。

④ 研究題目5の研究のねらい（参考）

本プロジェクトでは、養殖液および水耕栽培用培養液として利用された後の廃液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。養殖区および水耕栽培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も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。

また、あわせて、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、生産物の販売価格を用いた水利用効率の算定も行い、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試みる。

⑤ 研究題目5の研究実施方法（参考）

農家の実証実験では、栽培開始前と収穫後に所定の位置で土壌サンプリングを行い、pH、ECの計測を行うことにより、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、水耕栽培の廃液を用いた露地での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、モデル農家の主人であるホセ・アンヘル・ロドリゲス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つの灌水処理を施してトウガラシ（品種；アバネロオレンジ）の栽培試験を行った。灌水はセンサーの値をベースにマニュアル的に行った。土壌の水分状態は、メキシコに導入している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マニュアル測定を行った。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

農家実証モデルシステムの導入により得ることのできる売上高の推計に必要な基礎情報として、2017年度に開始した生産対象となり得る魚類および野菜類の年間を通した価格調査を、今年度も継続実施した。この結果、2年間にわたる価格変動データを用いることにより、より正確な売上高の推計が可能となった。これをもって本課題は完了とする。

販売先を開拓した。農家実証モデルシステムで生産されたティラピアの販売先として2店舗を選定した。フダンソウの販売先として、モデル農家の既存の販路1店舗に加えて、新規に1店舗を選定し、併せて販売先を2店舗とした。ティラピアとフダンソウの買取条件を以下に示す。

ティラピアの買い取り条件：

“BRAVO”市場内の鮮魚店“Pescadería Morales”およびスーパーマーケット“Aramburo”の2店舗が買い取りの意向を表明した。“Pescadería 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/尾の買い取り価格で引き受ける。また、尾頭付きからフィレへの加工について、1kg当たり10ペソで賃作業として請け負うことが条件提示された。“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。

フダンソウの買い取り条件：

ラパス中央卸売青果物市場内の卸売店“Hermanos Cervantes”は、毎週金曜日にフィルム包装60束、無包装60束、合計120束を購入することができる。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”については、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。

出荷および生産物(ティラピア・フダンソウ)の販売を開始した。ティラピアについては、“Pescadería 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。なお、本店はモデル農家が契約栽培によって野菜出荷を行ってきており、店側の要請により出荷した。

2) 実証試験のための実証サイトの選定

2016年度に終了した。

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
モデル農家における圃場の灌漑水・土壌の測定を継続した。現在運用している農家実証モデルシステムの農業経営実態調査を継続した。

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2018年8月20日に開始した。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30-35)。



図 30 ティラピア養殖における講義



図 31 飼育装置の説明



図 32 沈殿物の除去作業



図 33 ティラピアの魚体重測定の様子



図 34 配合飼料の準備



図 35 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36、37)。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。

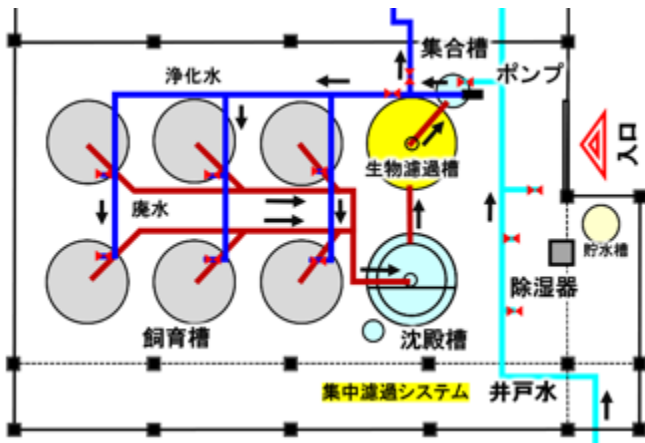


図 36 養殖システムの概要 (平面図)



図 37 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38)。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。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39-42)。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なく、順調に生産できている(図43)。また、水耕栽培システムへの廃水供給も可能となった。



図 38 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 39 水質測定の様子



図 40 給餌の様子



図 41 脱血作業の様子

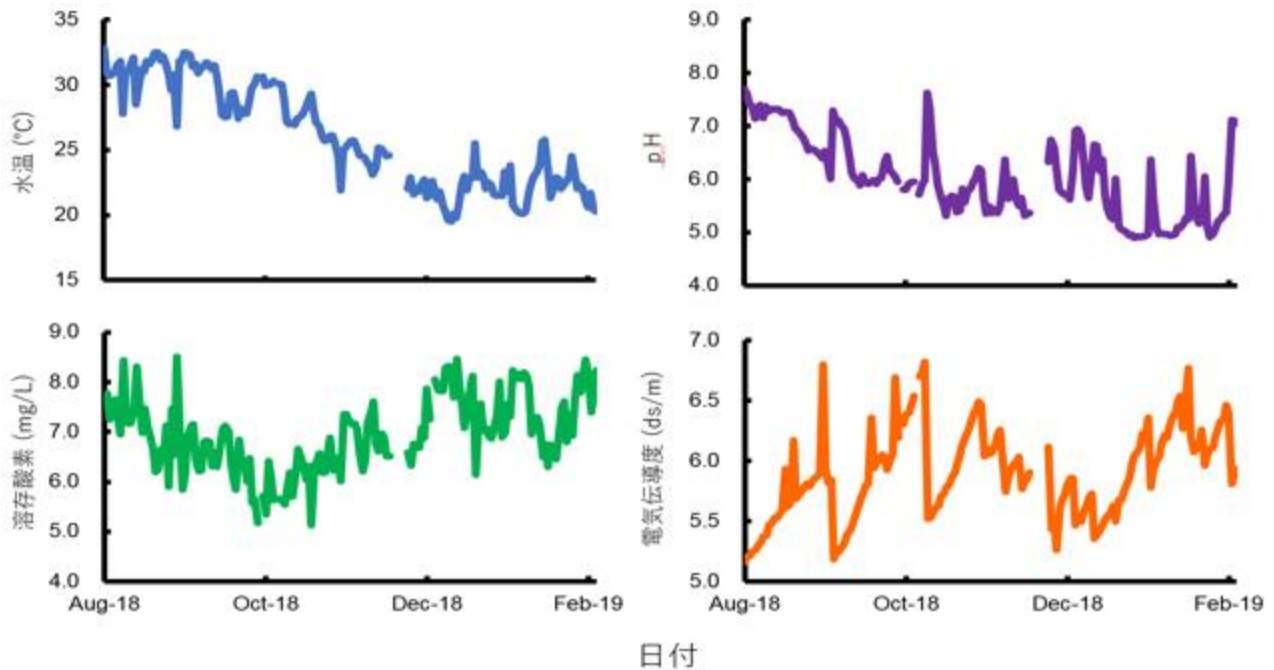


図 42 農家実証モデルシステム内の循環式養殖システムにおける水温、溶存酸素、pH および電気伝導度の経時的変化

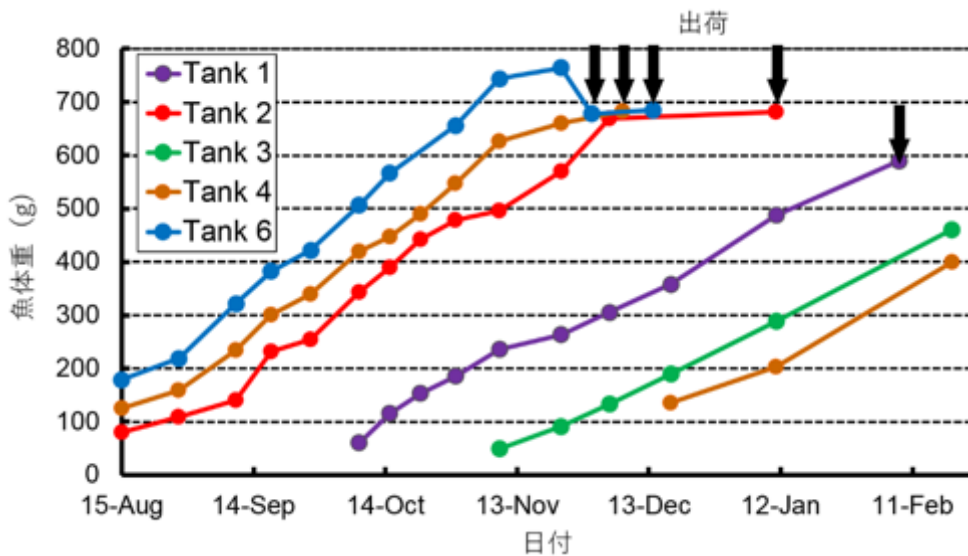


図 43 農家実証モデルシステム内の循環式養殖システムにおけるティラピア魚体重の経時的変化

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。

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
ティラピア養殖におけるマニュアル作成について概要を示す (図 44)。

ティラピア養殖のマニュアルにおいては、まず 2018 年 5 月 22 日に遠藤雅人が元となる項目立てを行った。具体的には 1) 稚魚導入、2) 飼育管理、3) 出荷前処理および 4) 出荷の順でそれぞれの項目において必要な作業内容を列挙した。6 月 23 日にフランシスコ・マガジョン博士およびジェニツツチェ・フィンブレ・アセド氏により、内容の詳細記述がなされ、第 1 暫定マニュアルが提出された。その後、

8月20日にフィンブレ・アセド氏が短期研修にて来日した際に蕪木絵実博士研究員とともに第1暫定マニュアルの修正箇所の検討を行った。具体的には実証農家が簡単に使用できるように簡略化がどれだけ可能になるのかという議論を行った。その後、9月13日に遠藤から第2暫定マニュアルが提出された。なお、マニュアル作成時の言語は日本語ースペイン語でのやり取りで行い、九笹逸郎業務調整員に翻訳を依頼した。実際にこのマニュアルに基づいて農家実証モデルシステムにおけるティラピアの飼育管理を行い、実質的な生産につなげている。今後はマニュアルと実飼育との乖離する部分の修正を行いながら、より実際の管理に沿ったマニュアルへの編集を進めていく。



図 44 農家実証モデルシステム用のティラピア養殖マニュアル (暫定版)

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 研究題目6のカウンターパートへの技術移転の状況

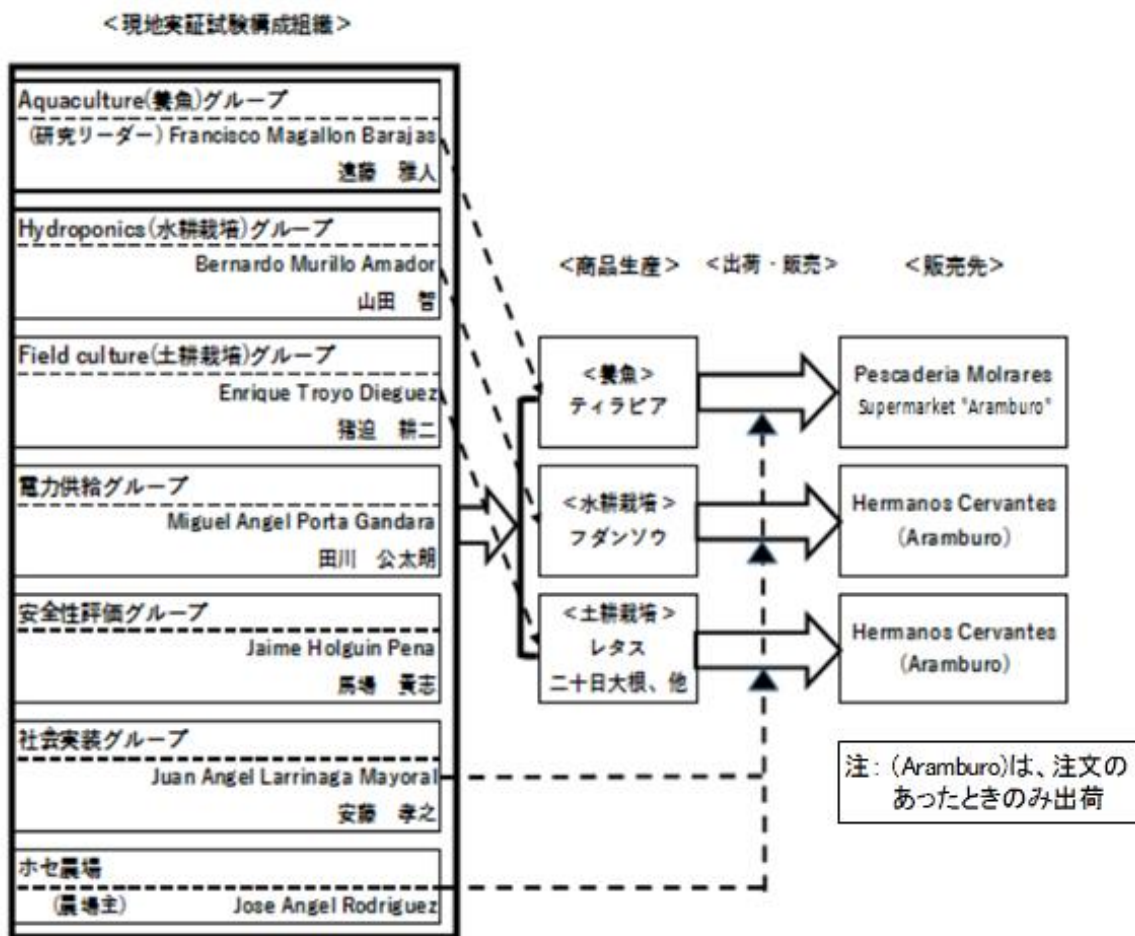
1) 南バハカリフォルニア州におけるシステムの導入可能な普及対象者・普及対象地域把握のためのベースライン調査

カウンターパートによって魚類および野菜の市場価格調査を定期的実施することにより、データ収集を着実に行えるようになった。本調査はこれをもって完了とする。

農家実証モデルシステムの運用および収穫後処理、販売に関して、以下に述べる取り組みを行うことによりメキシコ側カウンターパートが主体的に活動する体制が整備された(図45)。この体制を、シス

テムの運用、商品生産、収穫後処理・出荷、販売、全体総括に分けて説明する。

- ・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・



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 45 ロス・プラネス現地実証試験における業務推進体制

ラリナガ博士) が担当する。

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 46)。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
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、今後の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)

野菜類、魚類の市場価格、農業経営実態等の基礎データの収集により、農家実証モデルシステムの導入による収益性の評価を行うこと、実証試験農家圃場の土壌及び灌漑用水の分析、農業経営実態調査及びインタビュー等の結果からモデル農家を選定すること、農家実証モデルシステムの導入による経営改善効果を高めるための検討を行うことを可能にする。

⑤ 研究題目 6 の研究実施方法 (参考)

野菜類、魚類の価格調査は、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、10 日おきに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. 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)

2019 年 3 月に開催された第 6 回合同調整委員会 (JCC) で、農家実証モデルシステムのプロジェクト期間終了後の運用が条件付きで認められた。条件とは、プロジェクト期間終了後の CIBNOR-モデル農家間の同意書を更新することと、不測の事態により運用が不可能となった場合にその撤去費を CIBNOR が支出することである。昨年 8 月農家実証モデルシステムにおける実証試験が開始され、現在までに 5 回のティラピア販売と 3 回のフダンソウ販売を行なった。今後プロジェクト終了期間である 2020 年 5 月まで、継続的に農家実証モデルシステムを運用することが可能となったが、その間の留意点としては、1) 全グループ活動を統合した農家実証モデルシステムの運用、2) その結果得られた情報に基づく技術マニュアルの作成、3) 普及要件の解明、4) プロジェクト期間終了後の農家実証モデルシステムの運用体制・普及体制の構築、に重点を置くことである。

現在のプロジェクトメンバー間の連携は、今までにない程、良好である。特に CIBNOR メンバーは、農

Solicitud de preparación de pescados	
Representación de Grupo 2 Lado: Miraflores De El Estero Viejo Lado: Loma De El Huevo Viejo	
Por favor llenar los espacios y enviarlos por correo electrónico a: juan.linares@cihnor.org.bo antes de las 10:00 AM	
Fecha: Hora de entrega	01 de Noviembre de 2019
Lugar de entrega	Miraflores, Paredón Miraflores
Compartido	Paredón Miraflores, Sr. Juan Carlos
Entregado	Si, Cero
Origen	Miraflores
Especies	
Cantidad	1700 para el Grupo 2
Fecha de la orden	Entregado entre 20 a 20.5 kg
Clave	Grupo 3, Preparar 1700 para el Grupo en cajas con hielo, para el transporte al centro de venta, beneficiar anterior y beneficiar. Preparar los pescados al momento de entregarlos.
No debe haber otros comentarios y solo se permite un correo a más de 2 días antes del pago.	
Representación de Grupo 3 Lado: Miraflores De El Estero Viejo Lado: Loma De El Huevo Viejo	
Pedido de entrega: 1000 kg de Pescado para Grupo 3 (10)	
Fecha de entrega	01 de Noviembre de 2019
Lugar de entrega	Miraflores
Compartido	1. Miraflores
Entregado	Si, Cero
Origen	Miraflores
Especies	
Cantidad	1000 para el Grupo 3
Fecha de la orden	Entregado entre 20 a 20.5 kg
Clave	Grupo 3, Preparar 1000 para el Grupo en cajas con hielo, para el transporte al centro de venta, beneficiar anterior y beneficiar. Preparar los pescados al momento de entregarlos.
No debe haber otros comentarios y solo se permite un correo a más de 2 días antes del pago.	

図 46 出荷要望書

家実証モデルシステムにおける各グループの活動を曜日別に定め、少なくとも1週間に1度は、現地における調査やモデル農家の訓練を行なっている。また、業務調整員や日本側メンバーとも頻繁に連絡を取り合っている。農家実証試験が本格的に進められるようになり、CIBNOR メンバーのモチベーションが上がったと考えている。さらに業務調整員は、常に日本側と CIBNOR 側の各種業務の調整を行なっている。また JST/JICA への相談も引き続き密に行なっていく。

CIBNOR モデルシステムの実証・展示、実証試験サイトにおける養殖・農業結合システムの稼働を引き続き実施するとともに、技術マニュアルを作成することにより、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確立」は、達成できる見通しである。上位目標として「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」を掲げているが、プロジェクト目標達成後に、構築した普及体制による普及プロジェクトの実施により、これも実現できると考えている。

プロジェクト期間終了後の普及の担い手として、南バハカリフォルニア州政府、農業農村開発省 (SADER ; 旧 SAGARPA、農業家畜農村開発漁業食料省)、国家乾燥地委員会 (CONAZA) を考えている。現在州政府から派遣されている 2 名の普及員を活用する。また現在、稼働を停止している CONAZA 考案のアクアポニックスに我々のアクアポニックス技術を提供することにより、再稼働を目指す。さらに新規アクアポニックス導入希望者に対しては、我々が開発する露地栽培結合型アクアポニックス導入の手助けをする。

本アクアポニックス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

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。

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。2018 年 11 月には、現地 (ラパス市) にて、日墨両国機関のメンバーが一同に集い、研究進捗報告を行なうとともに、今後の展開について協議している。2019 年 11 月には JST/JICA による終了時評価現地調査が予定されているが、これに際しても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る予定である。

(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、九笹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）

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することは非常に重要な技術要素であり、農家での実証試験を行うにあたり、入念に打ち合わせを行った。具体的には、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集まり、電力供給に係わる設備の構成や性能、配電回路、注意事項、故障時の連絡体制などについて確認した。さらに本グループでは、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）

日本砂丘学会第64回全国大会（2018年8月21日、於；つくば）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。

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

別添に示した。

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", <i>Russian Journal of Plant Physiology</i> , 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 (<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.) under salinity condition", <i>Sand Dune Research</i> , 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." <i>Soil Science and Plant Nutrition</i> , 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 (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.) and Thyme (<i>Thymus vulgaris</i> L.) Plants." <i>Sand Dune Research</i> , 2018		国内誌	in press	

論文数 4 件
うち国内誌 2 件
うち国際誌 2 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", <i>Microbes and Environments</i> , 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", <i>日本砂丘学会誌</i> , 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", <i>Sand Dune Research</i> , 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.)", <i>Soil Science and Plant Nutrition</i> , 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", <i>応用水文</i> , 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.)", <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 Hideyasu Fujiyama, "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 Hideyasu Fujiyama, "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, 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", <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	Takashi Baba*, Yuko Makino*, Mina Yamada* and Hideyasu Fujiyama (*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", <i>Soil Science and Plant Nutrition</i> , 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", <i>日本砂丘学会誌</i> , 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", <i>Journal of Plant Nutrition</i> , 2016, Vol. 39, pp.1186-1193		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", <i>Sand Dune Research</i> , 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 Selek, 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	
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.aquaculture.2017.11.033	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	
2017	Tagawa Kotaro and Li Yan : A wind tunnel experiment of self-starting capability for straight-bladed vertical axis wind turbine, Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 36(2):136-140,153	10.3969/j.issn.1674-8530.17.301	国際誌	発表済	
2017	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 <i>Jatropha curcas</i> . Scientific Reports, 8:1635	10.1038/s41598-018-20188-5	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, 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), 2018		国際誌	accepted	

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	馬場貴志,オルギン-ペニア R. ハイメ. "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, 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	
------	--	--	------------	-----	--

著作物数 20 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 Acuicultura 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, 東京海洋大学楽水会館, 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, 東京海洋大学楽水会館, 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 マンドウハーノ(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ア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 TRÓPICOS 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

招待講演 1件
口頭発表 16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、青日皓子、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9~11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
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
2017	国内学会	Baiyin Bateer, 田川公太郎, 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 tetraele 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, 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、日本土壤肥料学会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、山田 智(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、日本土壤肥料学会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、山田 智(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、日本土壤肥料学会2017年度仙台大会、宮城、9月5日	口頭発表
2017	国内学会	山田 智(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、山田 智、蕪木絵実(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、日本土壤肥料学会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、山田 智(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、日本土壤肥料学会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、山田 智(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?、日本土壤肥料学会2018年度神奈川大会、神奈川、8月30日	口頭発表
2018	国内学会	山田 智(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籾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	Koji Inosako, Tadaomi Saito 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

招待講演	6 件
口頭発表	35 件
ポスター発表	18 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	<u>藤山英保</u>	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	
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 Asia, 2017	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 Fimbres Acedo</u>	Latin American & Caribbean Aquaculture, 2017	1.当課題研究の成果である	
------	--------	--	---	--	--	---------------	--

7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カプログラム(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カプログラム(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。

10 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	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	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。

24 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。
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開催時期協議	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箇所に修正した。4名の新メンバーが承認された。
2018	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。

6 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	<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。

