

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：18001

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2020～2023

課題番号：20KK0143

研究課題名（和文）熱帯モンスーンの影響下にある浅海環境変化から読み解くサンゴ礁魚類の測季システム

研究課題名（英文）Interplay between nutrition and reproduction in the neuroendocrine network of fish under tropical monsoon environments

研究代表者

竹村 明洋（Takemura, Akihiro）

琉球大学・理学部・教授

研究者番号：40222103

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、モンスーンと連動する降雨量変化に起因する海域の一次生産量と魚類の栄養改善に着目しながら、魚類の繁殖活動の時刻あわせが成立する要因を明らかにすることを目的とした。フエ近郊の浅海域の環境変動と魚の生殖活動をモニタリングした結果、雨季には海域の一次生産量が上昇した。国内実験により栄養条件の好転が生殖活動に重要であり、メラトニンが成長ホルモンや甲状腺ホルモンを介したインシュリン様成長因子の発現に影響することが明らかとなった。モンスーン環境下に適応した魚は、日長を基本として時刻合わせを行っているが、モンスーンが関与する海域の一次生産量の変化も重要であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は魚類の繁殖活動の時刻あわせが生息海域の環境変動と密接に関係していることを明らかにした。光や温度の変化に加えて、熱帯・亜熱帯域における変動要因であるモンスーンに起因する海域の一次生産量が魚の栄養状態に影響を与え、繁殖活動が変化することを示した。これらの結果は、熱帯・亜熱帯域の魚類の繁殖活動を人為的に操作する基礎資料となり、熱帯・亜熱帯域で活発になっている養殖技術改良に資する。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to clarify the factors that synchronize fish reproductive activities. Attention was paid to the primary production in the sea and the nutritional improvement of fish due to rainfall changes linked to the monsoon. We monitored environmental changes and fish reproductive activities in a shallow-water area near Hue in central Vietnam. We also conducted the experiments to clarify the relationship between environmental factors and fish reproductive activity. It was found that primary production in the sea area increased during the rainy season. It was revealed that nutritional conditions in fish are important for reproductive activity and that melatonin affects the expression of insulin-like growth factors via growth hormone and thyroid hormone. In addition to changes in photoperiod, fish adapted to the monsoon may utilize changes in monsoon-involved primary production in the sea area for synchrony of their activities.

研究分野：水産生物学

キーワード：モンスーン ベトナム 降雨 日長 メラトニン

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

中・高緯度に分布する魚類の繁殖活動には明確な年周性が認められる。魚種による差はあるが、水温や日長の周期的変化が繁殖活動の開始に重要な役割を持つ。一方、低緯度地域の水温や日長の変化は中・高緯度地域ほど大きくない。低緯度地域に適応した魚類が水温や日長を繁殖活動の開始に利用する可能性は低い。そのため地域特性に応じた環境要因を繁殖活動の開始に利用していることが考えられる。研究代表者は熱帯モンスーン気候帯のサンゴ礁に生息する魚類の繁殖特性を明らかにする海外学術調査を行い、以下の成果を得てきた。

- (1) インドネシア中部ジャワ沿岸域に生息する 6 種類のアイゴ類には明確な生殖年周期があり、それぞれ年 2 回の繁殖期を持つ。沖縄に分布する同種の繁殖期は年一回である。アイゴ類の繁殖期には地理的な差が認められ、地域的な環境要因の周期的変動が繁殖期を規定する (平成 15~17 年度海外学術調査の成果)。
- (2) 沖縄に生息するアイゴ類は日長や水温の上昇時期に繁殖を開始していた。一方、インドネシアに生息するアイゴ類の繁殖期の開始時期は雨季から乾季もしくは乾季から雨季への季節の変わり目にほぼ相当した。このうち、主たる繁殖期は乾季から雨季の変わり目であった。熱帯モンスーン域のアイゴ類の繁殖は海域の一次生産量の変動とほぼ一致し、親魚の栄養状態の改善が生殖活性の増大に影響を及ぼす (平成 19~21 年度海外学術調査の成果)。
- (3) インドネシアと赤道をはさんではほぼ同緯度に位置するフィリピンの熱帯モンスーン気候帯に観測地点を設けてゴマアイゴの繁殖特性を調べた結果、季節の変わり目に主たる繁殖期が認められた。主たる繁殖期はインドネシアとは半年ずれていた。繁殖期以外にも散発的な産卵が認められ、個体の栄養状態が生殖活性に関わっていた (平成 22~24 年度海外学術調査の成果)。
- (4) 全ての調査地点において採集したアイゴ類の産卵周期には月周性があり、シモフリアイゴは新月付近、そしてゴマアイゴは上弦の月付近で産卵を繰り返した。産卵周期には地理的な差がなく、アイゴ類は月から得られる情報を産卵の同期に利用している (全ての海外学術調査の成果)。

インドネシア、フィリピン、そして沖縄で行ってきた調査結果から、熱帯サンゴ礁に起源をもつ魚類は水温や日長の感受機構を基本型としつつも、モンスーンに基づく海域環境を感受・利用しながら繁殖を繰り返していると考えられた。すなわち、海域の一次生産量増大による餌生物増が栄養状態の改善となり、親魚を生殖へと向かわせている可能性がある。この可能性を検証するためには、降雨以外の環境条件がほぼ同一の地域に調査地点を設定して魚類の繁殖活性と環境変動を比較することが必要となる。

熱帯モンスーンに伴う環境変化と魚類の繁殖開始との関連について以下の仮説が成り立つ (図 1)。本研究はこれらの仮説を検証しながら進めていく。

仮説1: 繁殖開始を規定する環境要因が日長や水温以外に存在する。

仮説2: 低緯度地域において脳深部の光受容体で感じ取る日長 (水温) 情報は繁殖の開始を常に許容する範囲にある。一方、中~高緯度地域では脳深部の光受容体で感じ取る日長 (水温) 情報が周期的に変動し、一年の特定の時期に繁殖を許容できる範囲に達する。

仮説3: 熱帯モンスーン地域では日長や水温以外の繁殖を規定する環境要因が周期的に強く現れることによって繁殖に年周期がうまれる。これには栄養状態の改善が深く関与している。

仮説4: 環境受容機構の中心は視床下部域に存在し、光受容系と栄養代謝系が GnRH ニューロンに近接して存在している。

エネルギー代謝関連ホルモンであるレプチン、グレリン、インシュリン様成長因子 (IGF) は、それぞれ脂肪組織、胃の X/A-like 細胞、および肝臓で産生されるペプチドホルモンである。これらのペプチドホルモンは視床下部域にも発現して HPG 軸に作用すると考えられている。

### 2. 研究の目的

モンスーンの影響を受ける熱帯地域の季節は雨季と乾季に大別される。この地域の浅海域に生息する魚類の多くは雨季・乾季にあわせた季節性繁殖を行っているが、繁殖活動の時刻あわせ機構の詳細は不明な点が多い。本研究では、モンスーンと連動する降雨量変化に起因する海域の一次生産量と魚類の栄養改善に着目しながら、彼らの繁殖活動の時刻あわせが成立するための生

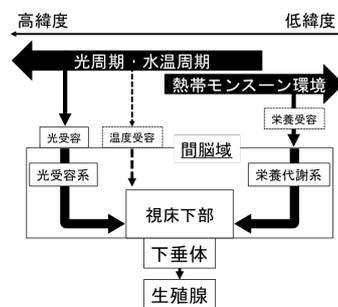


図 1. 環境受容と熱帯性魚類の HPG 軸

一年の特定の時期に繁殖を許容できる範囲に達する。

理機構を明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

海外調査として、ベトナム中部のフエを調査地域とし(図2)、海域の環境変動(水温、塩分濃度、クロロフィル量など)をモニタリングする。加えて、その海域に生息する魚を定期的に採取し、栄養と生殖のパラメーターを記録する。国内実験として、フエの調査地点に生息する近縁種を対象とし、仮説を検証するための生理学的な研究を行う。具体的には、栄養条件付加の違いが栄養関連遺伝子や生殖関連遺伝子の発現に与える影響を調べた。

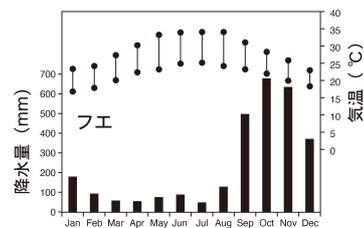


図2. ベトナム中部フエの気温と降水量の季節変化。

### 4. 研究成果

#### 海外調査

新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、本研究における海外調査は制限を受けた。日本人研究者のベトナムへの渡航が制限されたため、現地共同研究者と日本人研究者の合同チームによる調査が計画通り進まなかった。従って、渡航が制限されている間は、オンラインによる打合せをメインとし、現地調査は共同研究者によって行われた。本プロジェクトの最終年度(令和5年度)には渡航制限が緩和されたことから、日本人研究者が現地に赴き環境モニタリング結果に関する議論を行い、今後の共同研究へと繋げた。また、今後の共同研究の基盤とするため、ベトナム北部(ハロン市)を訪問し、海況調査を行った。

#### 国内実験

ベトナム調査地点に生息する魚類の近縁種であるルリスズメダイを用いて仮説の検証を行った。モンスーンの影響による一次生産量の変化が関係する可能性があったため、餌の量を変えて魚を飼育した。その結果、高い給餌量は生殖腺の発達に正の影響を与えることが判明した(図3)。この結果は生殖関連遺伝子の発現量にも見られ、脳の生殖腺刺激ホルモンサブユニット遺伝子(*lhβ*)や肝臓のアロマトラーゼ遺伝子が高給餌群で高くなった(図4,5)。一方、脳における成長ホルモン遺伝子は低給餌群で高くなった。これらの結果は、生殖に適した光環境や温度環境の場合、餌の十分量が生殖に影響を与えることが示唆される。また、成長ホルモンや甲状腺ホルモンが栄養状態の動態と密接に関係しつつ変動していることも判明した。

メラトニン合成の律速酵素である aralkylamine N-acetyltransferase

(*aanat*) 遺伝子の発現は夜に高くなった。この変化と同調するように *gh* 遺伝子は夜に高くなった(図6)。一方、脳と肝臓における甲状腺ホルモン転換酵素遺伝子(*dio2*)は昼間に高くなった

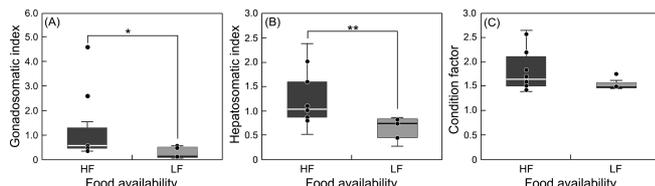


図3. 給餌量がルリスズメダイの生殖腺体指数(A)、肝体指数(B)、コンディションファクター(C)に与える影響。図中のアスタリスクは有意差を示す。

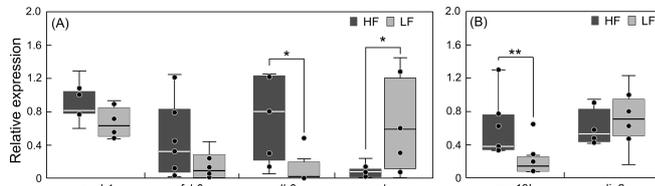


図4. 給餌量がルリスズメダイの脳における生殖関連遺伝子(*gnrh1*, *fshb*, *lhβ*)や成長ホルモン遺伝子(*gh*) (A) やアロマトラーゼ遺伝子(*cyp19b*)と甲状腺ホルモン転換酵素遺伝子(*dio2*) (B) の発現に与える影響。図中のアスタリスクは有意差を示す。

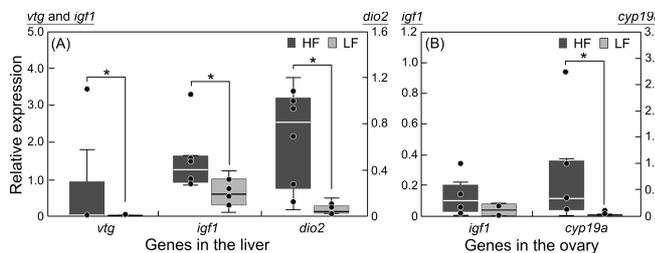


図5. 給餌量がルリスズメダイの肝臓におけるビテロジェニン遺伝子(*vtg*)、インシュリン様成長因子遺伝子(*igf1*)、甲状腺ホルモン転換酵素遺伝子(*dio2*) (A) および卵巣における *igf1* とアロマトラーゼ遺伝子(*cyp19a*) (B) の発現に与える影響。図中のアスタリスクは有意差を示す。

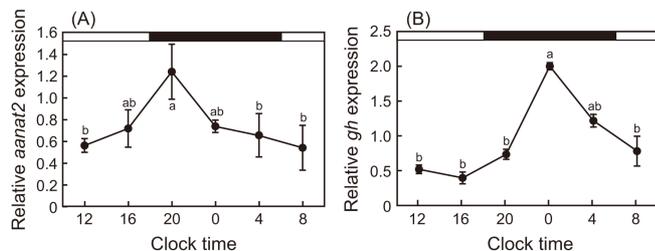


図6. ルリスズメダイ脳における aralkylamine N-acetyltransferase (*aanat*) 遺伝子 (A) 及び成長ホルモン (*gh*) 遺伝子 (B) の日内変動。図中のアルファベットは有意差を示す。

(図7)。この結果は、成長ホルモンは夜のホルモンとして、そして甲状腺ホルモンは昼のホルモンとして重要な働きを持っている可能性を示す。

メラトニン投与は $gh$ 遺伝子の発現を増加させるとともに脳と肝臓のインシュリン様成長因子( $igf1$ )遺伝子の発現量を増加させた(図8)。また、甲状腺ホルモン(T3)投与は、 $gh$ 遺伝子発現量とともに、脳と肝臓の $igf1$ 遺伝子と $igf2$ 遺伝子の発現量を増加させた(図9)。以上の結果から、夜間に増加するメラトニンが夜のホルモンとしての成長ホルモン量を増加させ成長内分泌軸を刺激することに加え、このホルモンの減少が甲状腺ホルモンの転換を刺激し、中枢における成長内分泌軸を刺激することに加えて末梢(肝臓)におけるIGF1の増減に関与していることが示唆された。

モンスーン環境下に適応した魚は、日長(光)を基本としつつ成長と成熟の時刻合わせを行っていることに加えて、降雨の季節変動が関与する海域の一次生産量の変化も変動要因として利用していると考えられる。

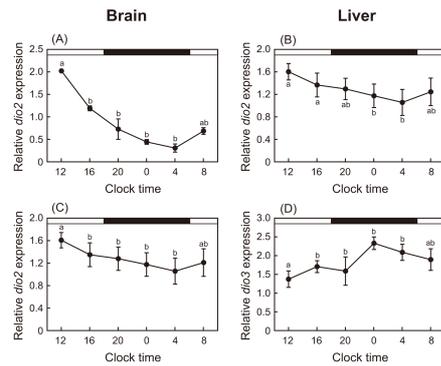


図7. ルリスズメダイの脳(A, C)と肝臓(B, D)における甲状腺ホルモン転換酵素遺伝子( $dio2$ ,  $dio3$ )の日周変化。図中のアルファベットは有意差を示す。

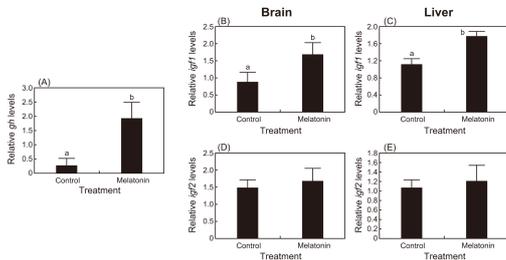


図8. メラトニン投与がルリスズメダイの脳と肝臓における成長ホルモン遺伝子( $gh$ )とインシュリン様成長因子( $igf1$ ,  $igf2$ )遺伝子の発現に与える影響。図中のアルファベットは有意差を示す。

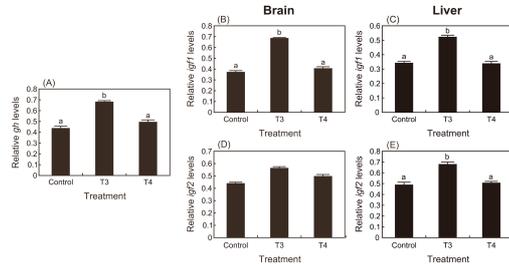


図9. 甲状腺ホルモン投与がルリスズメダイの脳と肝臓における成長ホルモン遺伝子( $gh$ )とインシュリン様成長因子( $igf1$ ,  $igf2$ )遺伝子の発現に与える影響。図中のアルファベットは有意差を示す。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Rizky Dinda, Mahardini Angka, Byun Junhwan, Takemura Akihiro	4. 巻 295
2. 論文標題 Molecular cloning of insulin-like growth factor 3 (igf3) and its expression in the tissues of a female damselfish, <i>Chrysiptera cyanea</i> , in relation to seasonal and food-manipulated reproduction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 General and Comparative Endocrinology	6. 最初と最後の頁 113479 ~ 113479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ygcen.2020.113479	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mahardini Angka, Rizky Dinda, Byun Jun Hwan, Yamauchi Chihiro, Takeuchi Yuki, Takemura Akihiro	4. 巻 333
2. 論文標題 Food availability alters expression profiles of genes in relation to reproduction and nutrition in the females of tropical damselfish ( <i>Chrysiptera cyanea</i> )	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology	6. 最初と最後の頁 619 ~ 628
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jez.2409	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 竹村明洋	4. 巻 6
2. 論文標題 環境制御による養殖魚の成長促進	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 18-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 竹村明洋	4. 巻 8
2. 論文標題 3つの視点で捉える海にやさしい陸上養殖の基礎知識	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 養殖ビジネス	6. 最初と最後の頁 6-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Imamura Satoshi, Hur Sung-Pyo, Takeuchi Yuki, Badruzzaman Muhammad, Mahardini Angka, Rizky Dinda, Takemura Akihiro	4. 巻 48
2. 論文標題 Effect of short- and long-term melatonin treatments on the reproductive activity of the tropical damselfish <i>Chrysiptera cyanea</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Fish Physiology and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 253 ~ 262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10695-022-01051-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 名護恵美・武方宏樹・福永耕大・宇田川伸吾・Zhu Yafan・竹村明洋
2. 発表標題 甲状腺ホルモン経口投与がヤイトハタの成長に与える影響
3. 学会等名 令和6年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 陸上養殖プロジェクトによる地域創生; 「持続可能な観光地」づくりの視点を含めて
3. 学会等名 つながる特許庁in那覇 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 農業と水産業を融合した一次産業への誘い
3. 学会等名 JICA Chair in Bolivia (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根岸隆伍・竹村明洋・福永耕大・宇田川伸吾・Zhu Yafan・高橋縁充
2. 発表標題 浸透圧変化がヤイトハタの成長機構に与える影響
3. 学会等名 沖縄生物学会第59回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhu Y, Fukunaga K, Udagawa S, Shimabukuro A, Takemura A
2. 発表標題 Selected wavelengths of light stimulate the growth endocrine axis in the Malabar grouper
3. 学会等名 14th International Congress of the Biology of Fish (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 琉球大学COI-NEXTサステイナブル陸上養殖拠点
3. 学会等名 令和4年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 沖縄県における「共創の場」の取り組み
3. 学会等名 第2回水産増殖懇話会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根岸隆伍・Zhu Yafan・福永耕大・宇田川伸吾・竹村明洋
2. 発表標題 塩分濃度変化がヤイトハタの成長機構に与える影響
3. 学会等名 令和4年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中里真由子・山科芙美香・福永耕大・武方宏樹・長谷川侑香・竹村明洋
2. 発表標題 ヤイトハタにおける時計遺伝子の脳内発現局在からみる概日時計発達
3. 学会等名 令和4年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 農水一体型完全陸上養殖の取組み
3. 学会等名 令和3年度アグリ技術シーズセミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 沖縄で開始する農水一体型サステイナブル陸上養殖プロジェクト
3. 学会等名 第6回「農水産業支援技術展」沖縄（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 沖縄県農産物の素材の事業における活用法開発の検討
3. 学会等名 琉球大学・オリオンビール株式会社共同研究報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福永耕大・山科芙美香・山内千裕・武方宏樹・竹内悠記・竹村明洋
2. 発表標題 熱帯性ハタ科魚類カンモンハタにおける月周性産卵機構の解明
3. 学会等名 沖縄生物学会第58回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福永耕大・山科芙美香・山内千裕・竹内悠記・竹村明洋
2. 発表標題 人工的な月光条件が与える月周性産卵魚カンモンハタの産卵への影響
3. 学会等名 第92回日本動物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹村明洋・福永耕大・竹内悠記
2. 発表標題 熱帯性魚類の産卵と月光
3. 学会等名 第28回時間生物学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福永耕大・山科芙美香・山内千裕・武方宏樹・竹内悠記・竹村明洋
2. 発表標題 月齢に合わせた魚類産卵リズムと月の光～月夜の時間生物学～
3. 学会等名 第28回時間生物学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 月光が操るサンゴ礁生物のリズム
3. 学会等名 第42回日本光医学・光生物学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 光が拓く新たな養殖業
3. 学会等名 第5回「農水産業支援技術展」沖縄
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 JST共創の場プロジェクト
3. 学会等名 琉大SDGsシンポジウム2020
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹村明洋
2. 発表標題 資源循環型共生社会実現に向けた農水一体型サステイナブル陸上養殖プロジェクト
3. 学会等名 サステイナブル陸上養殖技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://www.takemura-lab.jp">http://www.takemura-lab.jp</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山内 千裕 (Yamauchi Chihiro) (20888664)	琉球大学・理学部・技術補佐員  (18001)	
研究分担者	武方 宏樹 (Takekata Hiroki) (60814192)	琉球大学・戦略的研究プロジェクトセンター・特命助教  (18001)	
研究分担者	野津 了 (Nozu Ryo) (70774397)	一般財団法人沖縄美ら島財団(総合研究センター)・総合研究センター 動物研究室・研究員  (88003)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------