

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07548

研究課題名(和文) カワハギ類養殖における最適かつ最省力的な給餌技術の開発

研究課題名(英文) Development of optimum and labor-saving feeding technique for filefish culture using self-feeding system

研究代表者

神原 淳 (KOHBARA, Jun)

三重大学・生物資源学研究所・教授

研究者番号：90183334

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：カワハギ、ウマツラハギ共に自発摂餌を学習し、両種とも明期摂餌型であった。摂餌活動は明暗周期に完全に同調しており、光はハギ類の摂餌活動を制御する主たる外部環境要因であった。海上の風波の影響を受けない生け簀用のハギ類用光ファイバーセンサーを開発した。屋内実験でウマツラハギに対して試験使用した結果、良好なアクセスが得られた。生け簀に光ファイバーセンサーをスイッチとする自発摂餌システムを設置し、ウマツラハギを周年飼育した。給餌量は水温の影響を受けたが、周年に渡る継続的な摂餌活動が確認でき、光ファイバーセンサーを用いた自発摂餌式給餌法は、ハギ類養殖において有効な給餌技術となる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Both thread-sail filefish and black scraper learned the self-feeding within a short period. They showed clear diurnal feeding pattern synchronizing with a given photo period and the light-dark period defined to be a main external environmental factor which controlled the self-feeding activity of these two species. The optical fiber sensor for the filefish which did not receive the effect of marine wind and wave was developed, and filefish successfully accessed it and activated the self-feeder. Self-feeding system equipped with the optical fiber sensor was installed on the floating sea-cage and reared black scraper filefish. The feeding quantity received the effect of water temperature, however, continuous self-feeding activity was confirmed throughout a year. Thus, the self-feeding technique with the optical fiber sensor was confirmed to be a potential feeding technology for filefish culture.

研究分野：水産学 行動生理学

キーワード：ハギ類 養殖 自発摂餌 学習 食欲対応

1. 研究開始当初の背景

現在、魚類養殖は日本各地で行われており、多くの養殖魚が市場に流通している。しかし、古くから養殖対象魚として着目され、飼餌料開発や魚病対策も含めた養殖生産技術が確立されてきたブリやマダイでは安定的生産が可能になる一方で、供給過多によりブリでは700円/kg、マダイでは1000円/kgと魚価の低迷が続いている。

カワハギ *Stephanolepis cirrhifer* およびウマツラハギ *Thamnaconus modestus* はフグ目カワハギ科に属する魚で食用魚である。日本近海に多く生息しており、白身で低脂肪な肉質は味の評価も高い。また、肝も珍重されることから市場価値は高く、地域や季節によってはカワハギでは2500円/kg、ウマツラハギでは1700円/kg程度の値が付くこともある。これまでカワハギ類は、その食性から養殖生け簀の汚れの原因となる付着生物を取り除く目的でブリなどの主要養殖魚と混養されていたことはあっても養殖対象魚そのものとして着目されてはいなかった。しかし、先に述べたようにカワハギ類は肉が美味であり、肝臓は珍味として食される人気の高い食材でもあるため販売単価が高いこと、また、混養したカワハギ類は成長が良く、天然魚よりも肝臓が大きくなり、かつ臭みも少ないことから販売単価の面で有利であること、さらに1~2年の飼育期間で出荷サイズまで成長することなどの利点から、新規養殖魚として脚光を浴び、養殖技術開発が進められている。しかしながら、育成段階における給餌は、魚類養殖においては養殖対象魚の成長や商品価値を左右する最も重要な事項であるが、カワハギ類については以下の問題がなお指摘できる。

(1)カワハギ類の口は小さく、野生においてはついばむような摂餌生態が見られる。また、カワハギ類は無胃魚でもある。このため、ブリやマダイで行われてきた大量の飼餌料を短時間で集中的に給餌する従来の給餌法は適用できない。したがって、カワハギ類の給餌作業には、少量の餌を長時間にわたって給餌し続けなくてはならない必要性が推察できるが、近年の漁業従事者の高年齢化や人手不足から、手撒き・機械撒きでの給餌対応は従来のブリやマダイへの給餌作業と比較して負担が大きくなる可能性がある。

(2)本種の摂餌生態に関する知見は少なく、本格的な単独養殖が始まったのはここ数年のことであり、適正な給餌時刻や日間給餌量の知見が少ない。

上述の2つの問題点に対して、その解決に有効に機能する給餌技術としては「自発摂餌式給餌法」があげられる。自発摂餌式給餌法はオペラント条件付けによる魚の学習能力を利用した給餌方法であり、魚の食欲に応じた給餌を行うことができる。給餌機にスイッチを接続し、魚がスイッチに対して接触や接

近などの学習行動を行うことによって自ら餌を得る仕組みでできている。この給餌法で期待される実用的なメリットは、1)魚が必要とする量の飼餌料を魚の食欲に従って与えられることから、高成長が期待できる。2)飼餌料の過剰投与が回避でき、残餌に起因する養殖環境の自家汚染抑止による環境保全効果が期待できる。3)飼餌料の有効活用による養殖業者の対飼餌料コストの削減や、給餌作業の機械化・自動化による省人・省力化などの経済的効果が期待できる。以上は、自発摂餌式給餌法の水産養殖の視点からの効果であるが、自発摂餌式給餌法から得られる魚類の摂餌情報は魚類の摂餌活動の特徴や各種の外部環境要因の変動が摂餌活動に与える影響等を研究する上でも有用となる。

2. 研究の目的

近年、魚価の低迷や飼餌料・燃油の高騰などにより、魚類養殖業は厳しい経営状況が続いており、付加価値の高い養殖対象魚種の開発・導入に期待が寄せられている。このような中で、新しい海産養殖魚の候補としてカワハギやウマツラハギなどのカワハギ類が注目されており、各県の水産研究センター等で種苗生産および育成に関する研究が行われている。一方、カワハギ類の付着生物をついばむように摂餌する特異的な行動生態は、これまでのマダイやブリ類で培ってきた給餌のノウハウが適用できないことは明白である。そこで本研究では、カワハギ類の摂餌生態にマッチした新しい給餌技術について研究し、現場での実証を試みる。

3. 研究の方法

自発摂餌式給餌法のカワハギ類養殖に対する有効性を検証するために以下の研究を行った。

(1)カワハギおよびウマツラハギの屋内試験水槽における自発摂餌飼育

本実験では両魚種とも愛媛県農林水産研究所研究センターにて生産された種苗を用いた。予備飼育したカワハギ、ウマツラハギを取り上げ、1尾ずつ麻酔をした後、体重・体長・全長を計測し、飼育水槽と同じ海水で覚醒させ水槽に戻した。実験開始時におけるカワハギの計測結果は、平均体重 21.2 ± 4.5 g、平均全長 10.2 ± 0.8 cm、平均体長 8.2 ± 0.6 cm、ウマツラハギでは平均体重 12.0 ± 2.1 g、平均全長 10.6 ± 0.4 g、平均体長 8.4 ± 0.4 gであった。

飼育水は市販人工海水と三重大学水産実験所(志摩市)より運搬した原海水を混合して用い、塩分濃度は $30 \pm 2\%$ になるよう適宜調整した。フィルター、砂、サンゴからなる外部ろ過システムによりろ過したものを再循環し、ヒーターと海水クーラーによりカワハギは 22 ± 0.5 、ウマツラハギは 24 ± 0.5

に調節した。また、魚の飛び出しを予防するために水槽に蓋を設置した。さらに、残餌を回収するためのザルを濾過フィルターの上部に設置した。

水槽中央部に自発摂餌装置を取り付け、24時間いつでも摂餌できるようにした。給餌機は観賞魚用小型自動給餌機を使用した。この給餌機は本体に取り付けたコンテナが回転することによって餌を供給する。スイッチはマイクロスイッチを改造してプル型スイッチとして使用した。スイッチのアクチュエータ部分にV字型に折り曲げたステンレス製の針金をハンダで溶接した。V字の谷の部分に、さらに細い針金の末端をハンダで固定し、反対側の端にはさらに細い針金をハンダで固定し、その先を小さい円形に変形させスイッチの先端とした。報酬量は給餌機コンテナの餌の出口の面積を調節することにより行った。第1期では、ピュアゴールド1号ペレットが約12.5粒/回、第2期以降は同2号が約6.5粒/回となるように調節した。照明として、20Wの調光可能な蛍光灯を暗室内の実験水槽上部に2本取り付け、調光機能付きタイマーにより明暗周期を制御した。光条件はLD12:12(明期:06:00~18:00)で設定した。明期100%点灯時の水槽の水面直上の照度は約 $200 lx (0.6 W/m^2)$ であった。実験期間終了後にデータを回収し、専用ソフトで日間や時間当たりの給餌機起動回数等を求めた。また、行動記録解析ソフトを用いて、アクトグラム作製やピリオドグラム解析を行った。

(2)光ファイバーセンサーを用いたウマヅラハギの自発摂餌飼育

本実験ではウマヅラハギを使用した。種苗はマリンテック株式会社から取り寄せ、入手後すぐに実験室内に設置した100Lパンライト円形水槽に移して予備飼育を行った。実験に使用したウマヅラハギは体重31.2g、全長14.5cm、および体重30.9g、全長14.8cmの2個体を使用した。試験水槽には塩化ビニル製の33L水槽を用いた。飼育水は原海水と人工海水を混合させ、循環ろ過した。塩分濃度は30‰前後とし、水温はクーラーとヒーターによって23℃に調節した。光ファイバーセンサーは、回帰反射式を用いた。光ファイバーは発光用と受光用が2本で1組になっている物を使用した。先をテーパ状にして閉じ、さらに折り曲げたガラス管の中に、先端部に赤色のテープを巻き付けた光ファイバーを差し込んだ。次にグリセリンをガラス管に充填し、発受光を安定させた。感度(閾値)はセンサーのガラス管先端から数ミリの距離に物体(魚体)が接近した時にスイッチ信号が生じるように設定し、その信号が給餌機に伝えられ給餌できるように設定した。給餌機は観賞魚用小型自動給餌機を使用した。この給餌機は本体に取り付けたコンテナが回転することによって餌を供給する。本実験ではこの給餌機の電源を電池ではなく外部電源か

らとれるようにし、また、光ファイバーセンサーからの信号で給餌機本体を起動できるように配線の変更を行った。給餌データはデータロガーへ記録し、専用ソフトで日間や時間当たりの給餌機起動回数等を求め、さらに行動記録解析プログラムを用いて、アクトグラムやピリオドグラム解析を行った。ピリオドグラムによる周期性は99%の信頼限界で解析した。照明として、20Wの調光可能な蛍光灯を暗室内の実験水槽上部に1本取り付け、調光機能付きタイマーにより明暗周期を制御した。光条件はL:D=12:12(明期:06:00~18:00)で設定した。点灯時には6:00に自動タイマーにスイッチが入り徐々に増光し、6:25に100%点灯となる。そして17:35に再度スイッチが入り徐々に減光してゆき18:00に100%消灯となるように設定した。

(3)海面生け簀におけるウマヅラハギの自発摂餌飼育試験

本実験は三重県水産研究所尾鷲水産研究室と共同で、尾鷲湾に設置された同研究室試験生け簀を使用して実施した。試験魚は、ウマヅラハギ当歳魚、333尾(平均体重115g)を使用した。試験生け簀に、縦3m×横3m×深さ3mの大きさの網生け簀を設置した。網生け簀の上には黒色の遮光ネットをかぶせ、鳥による捕食被害の防止および直射日光の遮断を行なった。生け簀上部には自発摂餌用給餌機と光ファイバーセンサーを設置した。試験生け簀の脇には防水の可能なケースを設置し、その中に光ファイバーセンサーのアンプ、電源用の自動車バッテリー、センサーアクセス時刻および給餌時刻を記録するデータロガーを収容した。また、これまでの水槽実験で得られた知見から、ハギ類の場合は明期摂餌型であることが明らかとなっているため、給餌機内に起動制御タイマーを設置することによって給餌可能時間帯を日の出から日の入り間、すなわち明期のみに制限した。光ファイバーセンサーは、給餌機の横に設置し、センサー先の水深は1mとした。約1ヶ月のインターバルで成長状態を把握しながら、給餌機起動回数を記録した。また、水温もデータロガーにより記録し、水温と摂餌活性との関係も検討した。

4. 研究成果

(1)カワハギおよびウマヅラハギの屋内試験水槽における自発摂餌飼育

カワハギはハギ類に適したスイッチを呈示すると、直後からスイッチ引き行動を継続的に行った。48時間ダブルプロット法で示した自発摂餌のアクトグラム例を図1に示した。縦軸は日付、横軸は時間を表している。縦軸の上のバーは明暗周期を示しており、白色が明期、黒色が暗期である。グラフ内の黒く細い縦線は、給餌機の作動したタイムスタンプを示す。カワハギは明期に摂餌を行い、暗期の給餌機起動も若干は見られたが、その頻度

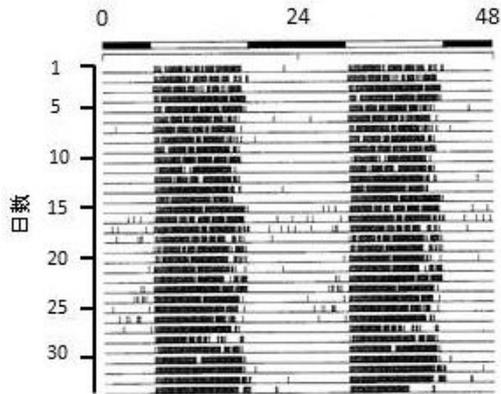


図1. カワハギの自発摂餌アクトグラム

は著しく少なかった。また、自発摂餌活動の周期性をピリオドグラム解析した結果、カワハギでは、自発摂餌活動の周期は 24.0 h であり、摂餌活動は明暗周期に同調していることがわかった。図2にカワハギの各時刻における給餌機起動回数の割合を示した。縦軸は給餌機起動回数(%)、横軸は時刻を示している。アクトグラムの解析では、カワハギの自発摂餌は主として明期に確認されたが、その時刻別のプロファイルにおいては、特に照明が点灯し始める6時台に摂餌活動が集中して

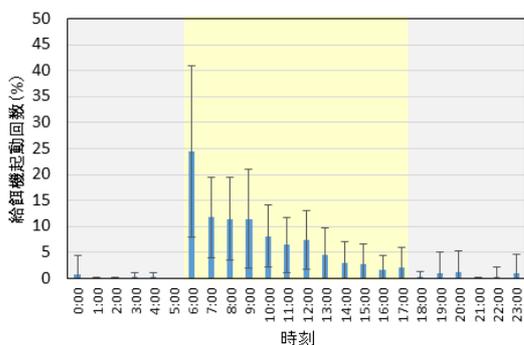


図2. カワハギの時刻別給餌機起動のプロファイル

行われ、一日のうちでは6時以降の午前中の早い時間帯に多くの摂餌が行なわれて、午後より時間の経過とともに摂餌活動は減少し、摂餌活動頻度は右下がりに少なくなるパターンの特徴が確認された(図2)。また、暗期には、摂餌活動はほとんど観察されなかった。ビデオカメラによる観察で、カワハギにおいて自発摂餌機のスイッチを引く様子を観察できた。また、一部の個体では自発摂餌機に近寄る他個体への追い払い行動も観察された。本実験では、個体識別を行っていないが、体色、模様、サイズなどから自発摂餌機起動と追い払い行動を行っている個体は同一であると考えられ、ある特定の個体が自発摂餌のスイッチ引き行動を行っているかと推察された。

ウマヅラハギでは、先に述べたカワハギと同様にハギ類に適したスイッチ形状開発できた直後からスイッチ引き行動を継続的に行った。ウマヅラハギの自発摂餌のアクトグラム例を図3に示した。ウマヅラハギもカワハギと同様に、実験期間を通して主に明期に

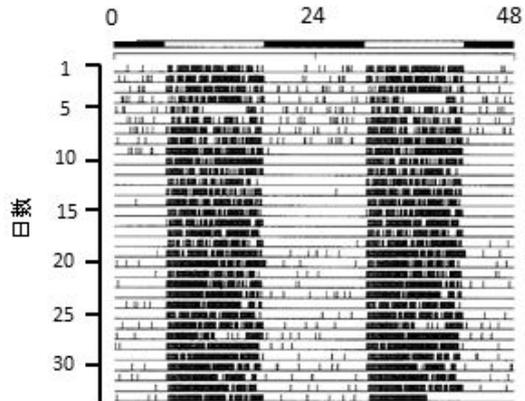


図3. ウマヅラハギの自発摂餌アクトグラム

摂餌を行った。また、暗期の摂餌活動が見られたがその頻度は少なかった。しかし、暗期の摂餌頻度をカワハギのそれと比較すると高い傾向があった。自発摂餌活動の周期性を99%の信頼限界でピリオドグラム解析をした結果、どの実験期間においても自発摂餌活動の周期は 24.0 h であり、ウマヅラハギの摂餌活動も明暗周期に同調していた。時刻別給餌機起動回数のプロファイルは、カワハギに類似していた。すなわち、自発摂餌は主として明期に確認された。カワハギでは特に照明が点灯し始める6時台に摂餌活動が集中して行われたが、ウマヅラハギではカワハギほど顕著な自発摂餌のピークが確認されなかった(図4)。一日のうちでは6時以降の午前中の早い時間帯に多くの摂餌が行なわれ、時間の経過とともに摂餌活動は減少し、摂餌活動頻度は右下がりに少なくなるパターンの特徴が各実験期間でカワハギと共通していた。また、暗期には、ほとんど摂餌活動は観察されなかった。

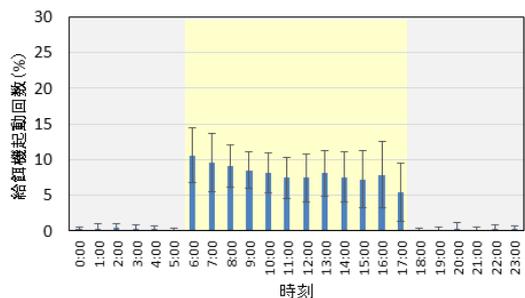


図4. ウマヅラハギの時刻別給餌機起動のプロファイル

(2)光ファイバーセンサーを用いたウマヅラハギの自発摂餌飼育

図5に光ファイバーをセンサーとして用いた場合のアクトグラムを示す。ウマヅラハギの摂餌活性は、明期の始まりとほぼ同時刻に上昇していることがわかる。一方、暗期では、明期ほどの高い摂餌活性は見られないものの、暗期に起動回数の多い時間帯があった。また、摂餌周期性をピリオドグラム解析した結果、摂餌活動の周期は 24.0 時間で、ウマヅラハギの摂餌は明暗周期に同調していることがわかった。図6に時刻別給餌機起動回

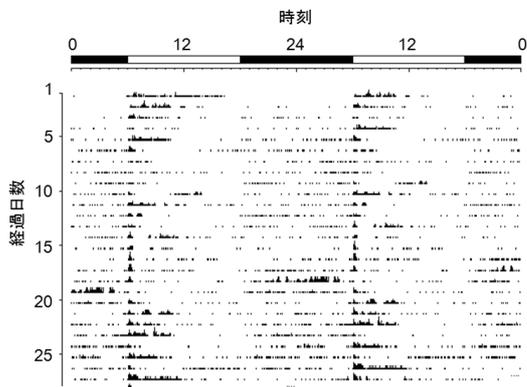


図5. 光ファイバーセンサー使用下でのウマヅラハギの自発摂餌アクトグラム

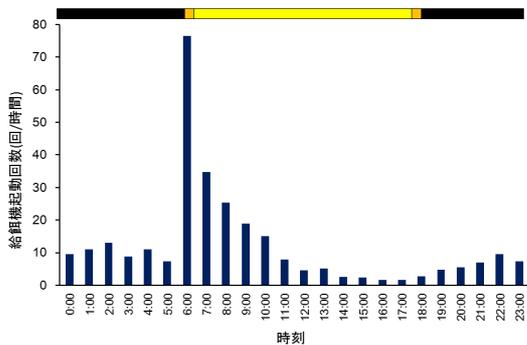


図6. 光ファイバーセンサー使用下でのウマヅラハギの時刻別給餌機起動のプロファイル

数を示す。グラフより、給餌機の起動は薄明期に急激に上昇し、その後徐々に減少している。また、暗期の起動回数はゼロではないが、薄明期から明期の初めにかけての時間帯と比較すると少ない結果となった。

(3)海面生け簀におけるウマヅラハギの自発摂餌飼育試験

図7に試験生け簀飼育により得られたウマヅラハギのアクトグラムを示す。図から明らかのように、ウマヅラハギは室内の明暗制御下の飼育試験と同様に摂餌活動を明るい時間帯に行う明期摂餌型を示し、夜間の摂餌活動はみられなかった。

6月24日から2月25日までに得られた給餌量と水温の関係を図8に示す。水温は、実験開始直後では約22であったものが、8月初旬には約28まで上昇した。その間の給餌路量は日ごとのばらつきは大きいものの約600g/日~800g/日の間を推移した。一方、水温が20に近づくと給餌量は200g/日程度に低下した。その後、水温が20~15の間では、1日の給餌量の変動は大きかった。これ

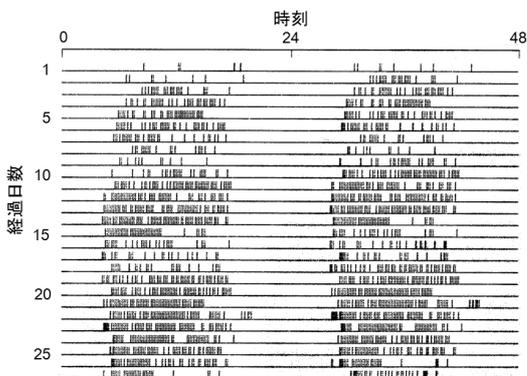


図7. 海面生け簀における光ファイバーセンサー使用下でのウマヅラハギの自発摂餌アクトグラム

らの結果から、安定した給餌量が得られるのは、ウマヅラハギの場合は20~30の間であると推察された。一方、期間毎の日間成長率と飼料効率をみてみると、最も良好な成績であったのは、水温が25~30の期間で、日間成長率は0.50、飼料効率は41.4%となった。さらに、水温が低下傾向に移る20~25の間でも、日間成長率は0.35、飼料効率は42.7%となった。一方、水温が20以下になると、日間成長率は0.05~0.08%、飼料効率は6.2~9.2%まで落ち込み、冬場の成長はそれほど見込めないことがわかった。

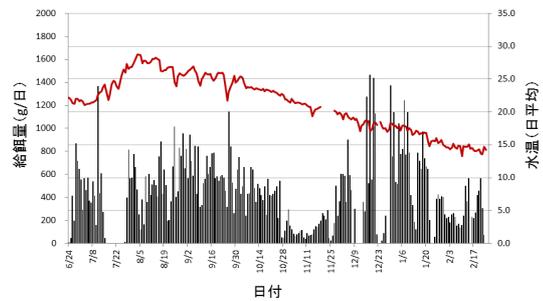


図8. 海面生け簀における光ファイバーセンサー使用下でのウマヅラハギの給餌量日変化

(4)まとめ

・カワハギもウマヅラハギもオペラント条件付けによる自発摂餌を学習することができた。また、学習期間も短く、自発摂餌式給餌法を有効に適用できる魚種であることが確認できた。

・カワハギとウマヅラハギの摂餌活動は、いずれも明期摂餌型であることが明らかとなった。ハギ類は、夜間はアマモなどに口をつかまって休むことが知られているが、自発摂餌摂餌飼育によっても暗期(夜間)は摂餌活動をしなことが本研究によって確認された。

・摂餌活動の周期解析から、その摂餌活動は明暗周期に完全に同調しており、光はハギ類の摂餌活動を制御する主たる外部環境要因であることも明らかとなった。

・生け簀におけるハギ類養殖に自発摂餌式給餌法を適用するため、海上の風波の影響を受けないハギ類用光ファイバーセンサーを開発した。屋内実験でウマヅラハギに対して試験使用した結果、良好なアクセスが得られ、使用可能であることが確認できた。

・生け簀に光ファイバーセンサーをスイッチとする自発摂餌システムを設置し、ウマヅラハギを周年飼育した。自発摂餌による給餌量は水温の影響を受けたが、周年に渡る継続的な摂餌活動が確認でき、光ファイバーセンサーを用いた自発摂餌式給餌法は、ハギ類養殖において有効な給餌技術となる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)
〔学会発表〕(計0件)
〔図書〕(計0件)
〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神原 淳 (KOHBARA Jun)
三重大学・大学院生物資源学研究科・教授
研究者番号：90183334

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：

(4) 研究協力者

なし ()