

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：32607

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06224

研究課題名(和文) 光による魚類の新しい色揚げ技術の分子基盤構築

研究課題名(英文) Construction of the molecular basis of new coloring technology of fish by light

研究代表者

水澤 寛太 (Mizusawa, Kanta)

北里大学・海洋生命科学部・准教授

研究者番号：70458743

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、照射光の効果によるニシキゴイの新しい体色向上技術の構築を目指して、光の波長スペクトルが体色と体色調節機構に及ぼす影響を調べた。その結果、ゼブラフィッシュの成魚とニシキゴイの大正三色において、照射光が体色に及ぼす影響は弱く、照射光の効果のみによって大正三色の体色を向上させることは困難であることが明らかとなった。その一方で、ゼブラフィッシュ成魚では体色調節ホルモンの発現応答に広い波長スペクトルを持つ光が必要であることが判明した。また、大正三色では体色を明化させるホルモンの作用がマゴイに比べて弱いことが、背地色に応じて体色が変化しにくい原因であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はゼブラフィッシュ成魚において体色調節ホルモンの発現応答に広い波長スペクトルを持つ光が必要であることを明らかにした。脳ホルモンの多くは光によって発現調節されており、それらのホルモンの発現応答にも光の質が影響する可能性がある。したがって、魚類の内分泌環境を安定的に保つためには、光の質を考慮することが重要である。また、本研究は大正三色の品種作出の過程において体色調節ホルモンの機能が変容したことを明らかにした。他のニシキゴイの品種においても体色調節ホルモンの機能が体色の色合いと鮮やかさに関与している可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the effects of light wavelength spectrum on body-color regulating mechanisms in zebrafish and a Koi carp, Taisho Sanshoku, to construct a new coloring technology by irradiating light. The results indicated that the effect of light spectrum on body color was weak in adult zebrafish and the Taisho Sanshoku, suggesting that it was difficult to improve the body color of the Taisho Sanshoku solely by the effect of irradiation light. On the other hand, light with a broad wavelength spectrum was found to be necessary for the expression response of body color regulating hormones in adult zebrafish. It was also suggested that the effect of hormones that induce paler body color is weaker in Taisho Sanshoku than in Magoi, which is the cause of the difficulty in changing body color in Taisho Sanshoku.

研究分野：魚類内分泌学

キーワード：ニシキゴイ ゼブラフィッシュ 大正三色 体色 ホルモン 光 波長スペクトル 背地色

1. 研究開始当初の背景

食用魚の見た目の新鮮さや観賞魚の美しさは商品価値を左右する。肉や皮膚の色を鮮やかにすること(色揚げ)を目的として、養殖ではカロテノイド等の色素を添加した餌が広く用いられている。しかし、餌による色揚げには限界がある。例えばカロテノイドには皮膚や肉の「赤み」を増す効果があるが、皮膚の「黒さ」や「白さ」を増す効果はない。また、ニシキゴイにカロテノイドを過剰に摂取させると白い皮膚の色が濁り、かえって商品価値を低下させる。いま、餌だけに頼らない、新しい体色制御技術の実現が求められている。

魚類は環境の明暗(照射光の明るさや背地色の色合い)に応じて体色を変化させる。魚類は黒色素胞、黄色素胞、白色素胞といったさまざまな色素胞を持ち、これらの細胞内部の色素顆粒が凝集したり拡散したりすることで体色は急速に変化する(生理学的体色変化)。また、色素胞の数や色素顆粒の密度の変化によって体色はゆっくり変化する(形態学的体色変化)。これらの体色変化は自律神経系と内分泌系によって調節されている。交感神経から分泌されるノルアドレナリン(NA)は体色を明化する。下垂体から分泌されるホルモンのうち、メラニン凝集ホルモン(MCH)と黒色素胞刺激ホルモン(MSH)は体色をそれぞれ明化または暗化し、ソマトラクチン(SLa)は黄色素胞を増やして白色素胞を減少させる。

研究代表者は、ゼブラフィッシュの仔魚に波長 400 nm の紫色光を照射すると MCH 遺伝子の発現抑制と MSH 遺伝子の発現亢進によって黒色素顆粒が拡散し、波長 530 nm の緑色光を照射すると MCH 遺伝子の発現亢進によって黒色素顆粒が凝集することを見出した。また、紫色光照射は黒色素胞数を増加させ、緑色光照射は黒色素胞数を減少させることを発見した(Mizusawa et al., 2018)。研究代表者はさらに、ニシキゴイ未成魚を一定の光条件下で2ヶ月飼育すると、1)太陽光に比べて蛍光灯下で黒い皮膚の色が薄くなること、2)蛍光灯光に紫外線を加えることで皮膚の明化を抑制できることを明らかにした(未発表)。これらの結果は、太陽光に含まれる紫外線成分がニシキゴイの墨色の発色に必要なことを示唆する。

単離した鱗に光を照射すると光の波長によって色素顆粒が拡散したり凝集したりすることは1980年代には知られていた(Fujii, 2000)。しかし、個体レベルの波長光特異的な形態学的体色変化についてはほとんど報告がなかった。MuellerとNeuhauss(2014)は、ゼブラフィッシュの仔魚に白色光を照射すると黒色素顆粒が凝集するが、紫外線を照射すると黒色素顆粒が拡散することを報告した。しかし、特定の波長光によって形態学的体色変化が起こることは、研究代表者によって初めて明らかにされた。

2. 研究の目的

ゼブラフィッシュとニシキゴイの仔魚の体色が特定波長光の照射によって変化するメカニズムについては、MCHの発現量が変化すること以外よくわかっていない。また、ニシキゴイの色素胞と体色調節メカニズムについては、マゴイに比べて不明な点が多い。そこで、本研究では

- (1) 特定波長光がゼブラフィッシュ仔魚の体色を変化させるメカニズム
- (2) 特定波長光がゼブラフィッシュ成魚の体色に及ぼす影響
- (3) 特定波長光がニシキゴイ稚魚の体色に及ぼす影響
- (4) ニシキゴイとマゴイの体色調節システムの違い

を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 特定波長光がゼブラフィッシュ仔魚の体色を変化させるメカニズム

黒背地下で飼育していた仔魚には緑色光を、白背地下で飼育していた仔魚には紫色光を30分間照射した。照射後に仔魚の頭部と尾部を撮影し、黒色素の拡散度を測定した。また、受精後4日目の仔魚を1時間ヨヒンビン溶液に浸漬した後、ヨヒンビン存在下で特定波長光を30分間照射し、仔魚の黒色素の拡散度を測定した。その結果、受精後2日目では光照射による黒色素の運動は認められなかった。受精後4日目では30分間の緑色光照射と紫色光照射によって黒色素がそれぞれ凝集または拡散した。ヨヒンビン存在下で緑色光を照射したときの黒色素の拡散度はヨヒンビン非存在下で蛍光灯光を照射した時と同等であった。ヨヒンビン存在下で紫色光を照射したときの黒色素の拡散度はヨヒンビン非存在下で紫色光を照射した時に比べて大きかった。短時間の緑色光照射によって黒色素が凝集したこと、ならびに緑色光照射による黒色素の凝集がヨヒンビンによって抑制されたことから、緑色光による黒色素凝集には交感神経が関与していることが示唆された。

(2) 特定波長光がゼブラフィッシュ成魚の体色に及ぼす影響

白背地または黒背地の水槽において紫色光、緑色光、または白色光照射下で3週間飼育したゼ

ブラフィッシュの頭部を撮影して黒色素の拡散度を測定した。脳を採取して脳内の MCH1 mRNA を定量した。さらに、白背地水槽に馴致したゼブラフィッシュ成魚をヨヒンピン(アドレナリン受容体アンタゴニスト)に浸漬して、黒色素の拡散度を測定した。その結果、黒色素の拡散度と MCH1 mRNA 量に照射光の違いによる差はなかった。一方、白背地条件に比べて黒背地条件で体色は黒く、黒色素胞数は多く、MCH1 mRNA 量は少なかったが、黒色素の拡散度に差はなかった。ヨヒンピン浸漬によって黒色素は拡散した。以上の結果から、成魚の体色は、光波長よりも背地色の影響を強く受けており、MCH よりも交感神経の支配を強く受けていることが示唆された。仔魚に比べて成魚では交感神経の働きが優位であり、特定波長光に対する MCH1 遺伝子発現の反応性は仔魚とは異なることが示唆された。

上記の実験では紫色光、緑色光、または白色光の違いによる MCH 遺伝子発現の差は認められなかったが、緑色光や紫色光以外の波長光もしくはそれらを含む広範な波長光全体に対して MCH 遺伝子発現が応答する可能性が残されている。そこで本研究ではゼブラフィッシュ成魚を対象に、太陽光様 LED と UV 照射と背地色の違いがゼブラフィッシュ成魚の体色と MCH の遺伝子発現に及ぼす影響を調べた。その結果、光源の違いによる体色や MCH 遺伝子発現量の差は認められなかった。黒背地区と比べ白背地区では体色が明化し、MCH 遺伝子発現量が増加していた。これらの結果は、ゼブラフィッシュ成魚は光源の違いではなく背地色に対して体色を変化させることを示唆する。一方、UV と太陽光様 LED を同時照射したときにそれぞれを単独で照射したときに比べて MCH 遺伝子発現量が高かったことは、ゼブラフィッシュ成魚 MCH 遺伝子の発現にはヒト可視光と紫外光の両方が寄与することを示唆する。

照射光が体色に及ぼす影響が、背地色の影響よりも弱く、白または黒という極端な背地色条件下では照射光の影響が現れない可能性がある。そこで、灰色水槽を用いて太陽光様 LED と UV が体色と脳内 MCH 遺伝子発現量に及ぼす影響を調べた結果、光源の違いによる影響は認められなかった。以上の結果から、ゼブラフィッシュ成魚において、照射光は体色調節に重要ではないこと、また MCH 遺伝子発現は体色調節に関与しないことが示唆された。

(3) 特定波長光がニシキゴイ稚魚の体色に及ぼす影響

2019年3月から4月にかけて大正三色を屋内光区、白色 LED 区、太陽光様 LED を照射した区(太陽光様 LED 区 A)に分けて2ヶ月間飼育した(飼育実験1)。また、同年10月から12月にかけて飼育実験1よりも照射光量を増やし、屋内光のみ照射した区、屋内光に加えて太陽光様 LED を照射した区(太陽光様 LED 区 A)ならびに屋内光に加えて太陽光様 LED 区とは異なる太陽光様 LED(太陽光様 LED 区よりも400 nm の波長光が強い)を照射した区(太陽光様 LED 区 B)に大正三色を分けて2か月間飼育した(飼育実験2)。飼育期間中、1ヶ月ごとに体表を撮影し、黒い鱗の明度および面積比を比較した。飼育後脳および下垂体を採取し、脳内 MCH1 発現量と下垂体内 POMC 発現量を比較した。飼育実験1において、3月から4月にかけての左側面に占める黒鱗の割合の変化は太陽光様 LED 区 B と比べ屋内光区で有意に大きかったが、明度の変化および MCH1、POMC の遺伝子発現量については試験区間で差が見られなかった。飼育実験2において、10月から12月にかけての背面全体に占める黒鱗の割合と MCH1、POMC 遺伝子発現量を見たところ試験区間で差はなかったが、明度は太陽光様 LED 区 B の方が屋内光区よりも高かった(体色が薄かった)。以上の結果より、太陽光様 LED 照射の有無は大正三色の体色調節に大きく関与しないことが示唆された。しかし、飼育実験1に比べて飼育実験2では、屋内光区の MCH1 発現量は減少し、POMC 発現量は増加したことから、これらの遺伝子の発現量は光量または季節により変動することが示唆された。

新潟県内水面水産試験場において飼育された紅白ニシキゴイの体色を測定し、脳と下垂体を採取した。実験魚を屋内光区、太陽光様 LED 区 A、太陽光様 LED 区 B に分け、2019年10月~12月にかけて2ヶ月間飼育した。飼育期間中1ヶ月ごとに体表を撮影し、赤または白の模様の明度と赤い模様の面積比の飼育期間中の変化量を比較した。また、脳および下垂体を飼育後に採取し、脳内 MCH1 発現量と下垂体 POMC 発現量を比較した。その結果、赤い模様の明度変化と赤面積比の変化は飼育区間で差は無かった。白い模様の明度は10/29~11/26の1ヶ月間で太陽光様 LED 区 A よりも太陽光様 LED 区 B において有意に高くなった。また、MCH1 および POMC の mRNA 発現量には試験区間の差は無かった。以上の結果から、本実験において用いた光源の違いは体色調節ホルモンの作用や黄色素胞内の色素顆粒の状態には影響しないことが示唆された。

次に、低水温条件下において背地色(黒と白)と照射光(白色 LED と太陽光様 LED)の違いが紅白の体色の明度、ならびに MCH と POMC の遺伝子発現量に及ぼす影響を検討した。白背地水槽と黒背地水槽それぞれに白色 LED 区と太陽光様 LED 区 A を設けた。水温 15 で3週間し、飼育前後の明度の変化を比較した。また、に脳と下垂体を摘出し、脳内 MCH1 発現量と下垂体 POMC 発現量を比較した。その結果、全試験区において体色が明化し、背地色間と照射光間で体色に差は認められなかった。MCH1 mRNA 量は試験区間で有意差こそなかったものの、白背地の白色 LED 照射区でもっとも高く、同じ白背地の太陽光様 LED 照射区 A の2倍の値を示した。一方、POMC mRNA 量は各試験区でほぼ同じ値を示した。以上の結果は、太陽光様 LED には体色を暗化させる作用はないが、体色の明化を抑える効果があることを示唆する。

4) ニシキゴイとマゴイの体色調節システムの違い

背地色に対する体色と体色調節ホルモン発現量の変化

大正三色、マゴイ、紅白、黄白を3日間または3週間、白または黒背地で飼育し、体色と体重を測定した。また、脳における MCH1、MCH2a、MCH2b、および脳下垂体における POMC-a、POMC-b の mRNA 発現量と血漿中 MCH の濃度を測定した。その結果、マゴイは飼育期間に関わらず白背地で明化した。大正三色、紅白、および黄白の体色は変化しなかった。また、大正三色とマゴイではすべての飼育実験において体重が減少したが、紅白と黄白では体重が増加した。3日間白背地で飼育した大正三色の POMC-a 発現量は黒背地飼育魚よりも高かった。3週間白背地で飼育したマゴイの MCH1 発現量は黒背地飼育魚よりも高かった。3週間白背地で飼育した黄白の血漿中 MCH 濃度は黒背地飼育魚よりも高かったが、大正三色、マゴイ、紅白の血漿中 MCH 濃度には背地色による差はなかった。MCH1 がマゴイの体色の背地応答に関わることが示唆された。また、大正三色の MCH1 発現量はマゴイの 1/15 程度であり、紅白と黄白の 1/500 程度であった。これらの結果は、大正三色の MCH1 発現量が少ないことが、体色が明化しにくい要因であることを示唆する。

MCH ニューロンの脳内分布

黒背地で馴致していた大正三色、マゴイ、紅白、黄白の脳をブアン液で固定し、組織切片を作成した。抗キニンギョ MCH1 抗体と MCH2 抗体を用いた免疫組織化学染色法により、MCH1 と MCH2 ニューロンの脳内分布を調べた。その結果、大正三色、マゴイ、紅白、黄白それぞれの脳視床下部外側隆起核に相当する領域において MCH1 と MCH2 の免疫陽性細胞体が確認された。これらの細胞体の数は大正三色で最も少なかった。これらの結果は、大正三色の品種改良の過程において、MCH 産生量が少なくなるような形態学的な変異が固定されたことを示唆する。

鱗において発現する MCH 受容体サブタイプの同定

マゴイと大正三色の脳 total RNA を鋳型とした RT-PCR により 4 種類の MCH 受容体 (MCHR) サブタイプ (1a、1b、2S、2L) を同定した。演繹アミノ酸配列を比較したところ、ナンセンス変異は確認されなかったが、マゴイと大正三色とでアミノ酸が数箇所異なっていた。マゴイと大正三色の鱗における 4 つの MCHR サブタイプの発現量を比較した結果、MCHR1a と MCHR2S の発現量は大正三色赤鱗、大正三色黒鱗、マゴイ黒鱗の順で多かった。これまでの研究からマゴイと大正三色では色素胞の MCH 感受性が異なることが示唆されている。色素顆粒が凝集しにくい色素胞を多く含む鱗ほど MCHR1a と MCHR2S が多く発現したことから、MCHR1a と MCHR2S の発現量の違いが、黒色素胞の MCH 感受性に関係することが示唆された。

鱗上の黒色素胞のカテコールアミン感受性

交感神経から分泌されるノルアドレナリンとアドレナリンがマゴイと大正三色の黒色素胞に及ぼす作用の違いを検討した。黒背地で飼育したマゴイと大正三色から鱗を採取し、100 nM、1 μM、10 μM、または 100 μM のアドレナリン (/ アゴニスト)、ノルアドレナリン (/ アゴニスト)、メトプロロール (/ アンタゴニスト)、プロプラノロール (/ アンタゴニスト)、サルブタモール溶液 (/ アゴニスト) または対照としてリンガー液に浸漬した。上記の試薬に浸漬する前後の鱗を倒立顕微鏡で撮影し、黒色素胞の色素顆粒が鱗上の一定の区画に占める面積を色素拡散度とした。浸漬前の拡散度に対する浸漬後の拡散度の比を求め、色素凝集効果の指標とした。その結果、マゴイの鱗においてアドレナリンに対する濃度依存的な色素凝集反応が認められたが、大正三色ではアドレナリンに対する色素凝集反応は認められなかった。一方、ノルアドレナリンに対しては、マゴイと大正三色の鱗において濃度依存的な色素凝集反応が認められた。ただし、大正三色の色素凝集反応はマゴイよりも弱かった。また、マゴイの鱗においてメトプロロール、プロプラノロール、およびサルブタモールはいずれも濃度依存的な凝集反応が認められた。以上の結果は大正三色の鱗では 受容体と 受容体のいずれかに対するアドレナリンの作用が弱いことを示唆する。

鱗に発現するアドレナリン受容体サブタイプの同定

NCBI に登録されているコイのアドレナリン受容体のサブタイプ遺伝子を検索し、分子系統樹を作成した。さらに、マゴイの黒い鱗と大正三色の黒および赤い鱗から抽出した total RNA を鋳型としてアドレナリン受容体の RT-PCR を行った。その結果、コイにおいてアドレナリン受容体サブタイプ遺伝子が 1、2、1、2、3 合わせて計 30 個見つかった。これらのうち、1-ab 受容体と 2-b2 受容体はマゴイの黒い鱗では発現せず、大正三色の黒い鱗および赤い鱗で発現することが判明した。また 1-aa 受容体、2-b1 受容体、2-b 受容体はマゴイの黒い鱗でのみ発現し、大正三色の黒い鱗では発現しないことが判明した。1 受容体はマゴイと大正三色の黒い鱗で発現し、大正三色の赤い鱗では発現しないことが判明した。これらの結果から、鱗に発現するサブタイプの違いにより、交感神経から放出されるノルアドレナリンの作用が異なる可能性が考えられる。

マゴイと大正三色の鱗の交換移植

マゴイと大正三色での鱗の交換移植を行い、移植先での鱗の色素顆粒の変化を観察することによって、大正三色において色素顆粒の凝集能が低い原因を推定した。《実験 1》マゴイを黒背地水槽と白背地水槽に分けて3日間馴致飼育を行った。馴致飼育後、それぞれの個体から鱗を採

取し、黒背地飼育個体の鱗を白背地飼育個体へ、白背地飼育個体の鱗を黒背地飼育個体へ移植し、3日後に顕微鏡観察を行った。《実験2》黒背地水槽と白背地水槽にそれぞれ同程度の大きさのマゴイと大正三色を分けて3週間馴致飼育を行った。黒背地飼育したマゴイと大正三色から鱗を採取し、白背地飼育マゴイまたは大正三色へ移植し、3日後に顕微鏡観察を行った。各試験区間で鱗における色素顆粒の凝集度を比較した。《実験1》の結果、黒背地飼育個体に移植した鱗で色素顆粒の凝集が、白背地飼育個体へ移植した鱗では色素顆粒の拡散が確認された。これらの結果から、色素顆粒の凝集は移植の影響ではなく、移植先の生理環境に適応した結果生じたと考えられる。《実験2》の結果、黒背地飼育マゴイの鱗を白背地飼育マゴイに移植したところ色素顆粒は凝集した。一方、白背地飼育大正三色に移植したところ色素顆粒は凝集しなかった。黒背地飼育大正三色の鱗を白背地飼育マゴイに移植したところ色素顆粒は凝集した。一方、白背地飼育大正三色に移植したところ一部の鱗で色素顆粒が凝集したが、凝集の度合いは個体や移植箇所の違いによって異なった。これらの結果から、大正三色とマゴイにおいて、白背地下での体内における液性の体色調節因子の作用に違いがあることが示唆された。

4. 研究成果

本研究により、ゼブラフィッシュとニシキゴイの体色に光照射が及ぼす影響と、ニシキゴイの体色調節機構について主に以下のことが明らかになった。

- (1) 特定波長光によるゼブラフィッシュ仔魚の体色変化には、体色調節因子として MCH だけでなく交感神経も関与する。
- (2) ゼブラフィッシュ成魚では、MCH に比べて交感神経の方が体色調節因子としての作用が強い。特定の波長光に比べて広範な波長スペクトルを持つ太陽光様 LED の方が MCH 遺伝子発現量を高めるものの、照射光の違いによる明瞭な体色変化は認められない。
- (3) ニシキゴイ(大正三色と紅白)稚魚において、屋内光に太陽光様 LED 光や紫外線を追加照射すると、しても明瞭な体色変化は認められない。MCH 遺伝子と POMC 遺伝子の発現量に対して明瞭な影響は認められない。
- (4) ニシキゴイ(大正三色)はマゴイに比べて背地色に対する体色の変化が小さい。大正三色ではマゴイに比べて、脳内 MCH 遺伝子の発現量が少なく、しかも背地色に対して変化しないこと、黒色素胞に対する MCH とアドレナリンの色素凝集反応が弱いこと、MCH 以外の体色調節ホルモンの作用が弱いことなどが、その原因であることが示唆された。

本研究の当初目標は、照射光の効果によるニシキゴイの色揚げ技術の構築を目指して、光が体色と体色調節機構に及ぼす影響を明らかにすることであった。当該年度の研究によって、モデル魚としたゼブラフィッシュの成魚とニシキゴイの大正三色において、照射光が体色に及ぼす影響は弱く、照射光の効果のみによって大正三色の体色を向上させることは困難であることが明らかとなった。その一方で、魚類の体色調節機構に関して2つの重要な発見があった。一つはゼブラフィッシュの成魚において、背地色と光波長によって脳全体の MCH 遺伝子発現量は変化するものの、体色変化は背地色のみに応答し、光波長には応答しないことである。このことは、光波長に応じて MCH 遺伝子発現を変化させる脳内の細胞群は体色調節に関与しないことを示唆する。もう一つの発見は、マゴイと大正三色において MCH の血中濃度が背地色に応答しないことである。この事実は、魚類の体色調節において MCH が血中ホルモンとして機能するという従来の概念が、少なくともマゴイと大正三色には当てはまらないことを示唆する。また、大正三色はマゴイに比べて体色が変化しにくいことが明らかになった。さらに、大正三色では脳内 MCH 遺伝子発現量と MCH とアドレナリンに対する黒色素胞の感受性がマゴイに比べて低いことから、これらの体色調節ホルモンの作用の違いが、大正三色の体色変化の弱さに関係すると思われる。おそらく、大正三色の品種作出の過程において、体色を明化させるホルモンの作用が減弱するような選抜育種が行われたのであろう。このことは、ニシキゴイにおける体色の向上技術を構築する上で、体色調節ホルモンの作用の改変が重要な鍵になることを示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3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 高橋明義、楊テイ舒、山口大梧、篠原由佳梨、笠木聡、水澤 寛太	4. 巻 8
2. 論文標題 ひと筋縄ではない魚類の体色調節と視床下部 - 下垂体系ホルモン	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本下垂体研究会誌	6. 最初と最後の頁 3~14
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 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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 篠原由佳梨、石井亮、佐藤将、高橋明義、水澤寛太
2. 発表標題 ニシキゴイにおける体色調節ホルモン遺伝子発現の背地応答はマゴイと異なる
3. 学会等名 第35回日本下垂体研究会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 篠原由佳梨、大藪春奈、小林聖弥、六鹿比斗志、山川将輝、石井 亮、佐藤 将、阿見彌典子、天野勝文、高橋明義、水澤寛太
2. 発表標題 ニシキゴイにおけるメラニン凝集ホルモンの産生と分泌
3. 学会等名 令和4年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水澤寛太、笠木聡、高橋明義
2. 発表標題 ゼブラフィッシュ成魚においてメラニン凝集ホルモンの発現に関わる光スペクトル
3. 学会等名 日本動物学会第91回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠原由佳梨、笠木聡、石井亮、佐藤将、水澤寛太、高橋明義
2. 発表標題 ニシキゴイにおける体色調節ホルモン遺伝子発現の背地応答はマゴイと異なる
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水澤寛太、笠木 聡、高橋明義
2. 発表標題 魚類における体色調節システムの発達をゼブラフィッシュのメラニン凝集ホルモンから読み解く
3. 学会等名 日本下垂体研究会第34回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水澤寛太、守屋伸一、井手口愛美、池谷夏輝、笠木聡、高橋明義
2. 発表標題 ゼブラフィッシュの光波長依存的な体色変化における交感神経の役割
3. 学会等名 第44 回日本比較内分泌学会及びシンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------