

令和元年6月19日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26241018

研究課題名(和文) 魚類繁殖機構に及ぼす地球温暖化・気候変動影響の早期警戒指標の構築に向けて

研究課題名(英文) Towards an early warning information system for the effects of global warming/climate change on fish reproduction

研究代表者

Strussmann C. A. (STRUSSMANN, CARLOS AUGUSTO)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：10231052

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,900,000円

研究成果の概要(和文)：水温起因の生殖障害が生じやすい複数のトウゴロウイワシ目魚類で、生殖障害評価に利用可能な遺伝子(amhy等)を見出し、性転換個体の検出や生殖腺発達の評価を可能にした。また耳石微量元素Sr量と水温の間には相関があることを示し、輪紋解析と組み合わせることで、経験水温を個体レベルで推定可能であることを示した。さらにリモートセンシングを用いた調査エリアの水温監視には、実測水温と高い相関が認められた衛星MODISのデータが利用可能であることを示した。以上、地球温暖化と気候変動が魚類繁殖機構に与える悪影響を、監視・評価・予測するための早期警戒指標の基盤を樹立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化や気候変動に起因した異常水温が、魚類の生理機能、とりわけ種の繁栄・存続に直接的に関わる「繁殖」に与える悪影響が危惧されている。本課題では、水温起因の生殖障害が生じやすいとされる指標種(トウゴロウイワシ目魚類)を用い、「魚類繁殖機構に及ぼす地球温暖化・気候変動影響の早期警戒指標」を構築した。本影響評価系により、世界各地に生息する指標魚種の性比・生殖能力と環境水温の継続的なモニタリングがなされれば、将来的に危惧されている地球温暖化と気候変動に伴う異常水温が、内水面・沿岸域の生態系や重要水産生物資源に与える影響を、正確に監視・評価・予測することが可能となると期待される。

研究成果の概要(英文)：This study examined the suitability of inland-water and coastal Atheriniform fishes that are known to be reproductively sensitive to water temperature as biological indicators of the effects of abnormal water temperatures on fish reproduction. Particular emphasis was placed on the phenomenon of temperature-induced sex reversal and on identifying genes such as the testis-determining amhy and others that would allow monitoring of gonadal development and unambiguous identification of sex reversed individuals in the field. Methods to reconstruct the thermal history of individual fish based on otolith microchemistry and to monitor the surface temperature of natural water bodies at broad/focused scales based on remote sensing with satellite data were developed and field-tested. Overall, this study proposes and developed methodology for the use of reproductively sensitive species as biological early warning systems for the effects of global warming and climate change on fish reproduction.

研究分野：応用保全生物学

キーワード：生態系影響評価 温暖化 温度依存型性決定 魚類 指標種 耳石 リモートセンシング 海洋生態

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

魚類の性分化と生殖機能は先天的な遺伝情報のみではなく、水温などの外的環境要因の影響を受けやすい。例えば、適応範囲を超える高・低水温は性決定機構の攪乱（性転換や雌雄比の偏り）を、異常な高水温は生殖細胞の退行変性（生殖能力の低下）を引き起す。地球温暖化と気候変動が問題視されている今、特に回遊性に乏しい内水面および沿岸性魚類では、異常水温起因の生殖障害が生じやすく、その結果として集団の絶滅、さらには周辺生態系の崩壊をもたらす可能性が危惧される。本研究では地球温暖化と気候変動が魚類資源とそれを取り巻く生態系に与える悪影響を事前に予測するため、「魚類繁殖機構に及ぼす地球温暖化・気候変動影響の早期警戒指標」の構築に取り組んだ。

2. 研究の目的

トウゴロウイワシ目魚類は、魚類の中でも水温起因の生殖障害が生じやすいと言われている。本研究では、南半球と北半球に分布する複数の淡水/汽水/海産性のトウゴロウイワシ目魚類を指標種に選定し、生殖機能に及ぼす水温の影響に関する基礎的知見の収集、野生集団解析ツール（遺伝生化学的手法を用いた生殖障害アセスメントツール、耳石を用いた野生個体の経験水温履歴推定技術、リモートセンシングを用いた広範囲水温監視システム）の開発、および水温起因の生殖障害のモニタリングシステムの構築を目的とした。

3. 研究の方法

適応範囲を超える異常水温は多くの魚類で性転換や生殖腺発達障害を引き起こすが、その影響を正確に評価するためにはその個体の本来の性、すなわち遺伝型性（XX/XY/YY）の判別マーカーが不可欠である。そこで本研究ではまず、南米原産で内水面に生息する *Odontesthes bonariensis*、およびアジア原産で沿岸域に生息する *Hypoatherina tsurugae* の2種のトウゴロウイワシ目魚類をモデルに、遺伝型性判別マーカーの探索を行なった。次に *O. bonariensis* の飼育試験を行い、単離した判別マーカーを用いて性決定の温度依存性を調査した。また、本種野生集団内における判別マーカーの有用性を検証し、超雄個体検出法の開発に取り組んだ。さらに、水温起因性の生殖障害を評価するため、水温変動により生殖腺内発現量が増減する性分化関連遺伝子の単離を試みた。一方、野生集団の経験水温履歴を推定するため、本研究では耳石に着目した。魚類耳石は、日周性の輪紋を刻みながら体長に比例して成長し、その化学組成が生息環境の水温と水質に影響される。この特徴を利用すれば、個体の年齢、日齢、孵化日のみならず、個体が生涯に渡り時系列的に体験した水温履歴を推定でき、過去に各個体が経験した異常水温と生殖障害の因果関係を明らかにすることが可能となる。そこで、*O. bonariensis* 耳石の輪紋解析および微量元素解析技術を確立し、耳石に取り込まれた各種微量元素量と水温・塩分変動の関連を調査した。リモートセンシングを用いた調査エリアの水温監視技術の確立については、*O. bonariensis* の生息地であるアルゼンチン パンバ地方を調査エリアとして選定し、分解能の異なる2つの衛星データ（MODIS, Landsat）と調査エリアの湖（チャスコムス湖）に設置されたデータロガー（20地点）により、衛星データと実測水温データとの相関を検証し、より精度向上を目指した補正方法の確立に取り組んだ。

4. 研究成果

トウゴロウイワシ目魚類 *O. bonariensis* および *H. tsurugae* より Y chromosome-linked anti-Müllerian hormone, *amhy* を単離した。progeny test によりこの遺伝子は Y 染色体上に存在することが示唆されたため、*amhy* 遺伝子の有無を指標に個体の遺伝的性（XY か XX）を判別し、表現型性（精巣か卵巣）と照合することで、これまで不可能だった性転換個体（XY-雌、XX-雄）を検出することが可能となった。さらに、ゲノム DNA 上における *amhy* 遺伝子のコピー数の差を qPCR で定量することで、XY と YY（超雄）個体を判別する方法を開発した。これら開発した性転換・超雄個体検出法を用いて、実際にアルゼンチンチャスコムス湖における野生集団のフィールド調査を行ったところ、2014 年度（n=158）の調査では8%のXX-雄、4%のXY-雌および1%のYY 個体を、2015 年度（n=135）の調査では25.5%のXX-雄を、2016 年度（n=89）の調査では14.3%のXX-雄、4%のXY-雌をそれぞれ検出し、本遺伝子が野生集団においても遺伝型性判別マーカーとして有用であること、またチャスコムス湖では性転換および超雄個体が存在することが明らかとなった。また本種の性転換機構解明のため、稚魚の水温別飼育試験を行い性分化関連遺伝子発現に与える水温影響を調査した結果、雄性決定因子である *amhy* 遺伝子は水温に拘らず性決定初期に減少することが明らかとなった。また水温により発現が増減し、水温起因性の生殖障害評価に利用可能な性分化関連遺伝子（*amha*, *amhr2*, *hsd11b2*）を見出した。

耳石を用いた経験水温履歴推定技術の確立では、アルゼンチンチャスコムス湖にて捕獲した *O. bonariensis* の野生個体の耳石を、電子プローブマイクロアナライザで分析し、生息環境水温の指標となる元素の探索を行った。その結果、耳石内微量元素であるストロンチウム（Sr）量に明確な季節性が確認され、Sr 値と捕獲時の環境水温との間には正の相関が認められた。これにより、耳石の日輪解析と Sr 解析を組み合わせることで、その個体が過去に経験した水温を推定することが可能であることが示された。さらに、耳石上の Sr 値を核から辺縁部まで線状に測定し、Sr 値の増加のピークを夏、減少のピークを冬と推定した。この Sr 値の季節変動を利用すれば、捕獲時期からの逆算により、個体ごとの年級・孵化時期の推定ができ、*O. bonariensis* 野生集団のより詳細な資源量調査が可能となった。最後に、耳石に蓄積される情報（含有微量元

素)と外部環境(水温・塩分)の関係性を検証した。その結果、水温変動実験では高水温区では耳石 Sr 量が高く低水温区では低くなる傾向が、塩分変動実験では、高塩分区で耳石 Sr 量が高く低塩分区で低くなることから明らかとなった。さらに、耳石 Sr 値の各外部環境要因応答速度を調査した結果、水温変動は日単位で検出することが困難であったが、塩分変動は変動後約 1 日で耳石 Sr 量に反映されることが明らかとなった。

リモートセンシングを用いた調査エリアの水温監視技術の確立については、調査地として、*O. bonariensis*の生息地であるアルゼンチンパンパ地方を選定し、分解能の異なる 2 つの衛星データ(MODIS, Landsat)と調査エリアの湖(チャスコムス湖)に設置されたデータロガー(20 地点)による実測水温データとの相関を検証した。その結果、低分解能の MODIS データは実測水温と高い相関関係が認められたことから、衛星によるマクロな異常水温監視には MODIS データが使用可能であることが示された。一方、分解能の高い Landsat データは、湖の沿岸部でのみ実測温度との相関を示した。そこで、より精度向上を目指した補正方法の確立のため、Split-Window Algorithm を用いた大気補正、正規化水指数(NDWI)を用いた水域抽出法を検討した。これらを用いた大気補正および水域抽出の結果から、衛星データと実測データに差が認められていた湖中央部の水温差が減少し、本法の有効性が確認された。さらに、水域のインベントリを作成し、Landsat のデータから水域地域を抽出した。補正したデータと水域インベントリをもとにヒートマップを作成し、湖の氾濫や干ばつ時の水域変化を反映させることに成功した。これにより、湖の氾濫や干ばつの際にもその日の Landsat データからインベントリを作成することで水域を抽出し、水域内の表面温度分布を高精度で解析することが可能となった。以上の結果から、衛星情報を利用すれば広大なペレレイ生息域の異常水温をマクロ、ミクロの両視点から容易に監視可能であることが示唆され、今後衛星データと現地における実調査を併用した水温監視システムの構築が期待できる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9 件)

M. Sarida, R.S. Hattori, Y. Zhang, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Spatiotemporal correlations between *amh* and *cyp19a1a* transcript expression and apoptosis during gonadal sex differentiation of pejerrey *Odontesthes bonariensis*. *Sexual Development*, 査読有, 13, 2019, 99-108.

C.C. Martínez-Chávez, E.M. Alarcón-Silva, C.A. Martínez-Palacios, P. Navarrete-Ramírez, L. Raggi, G.A. Corona-Herrera, J. López García, C.A. Strüssmann, and L.G. Ross, Sexual dimorphism in pelvic fin length of two endangered freshwater atherinopsid species with high aquaculture potential. *North American Journal of Aquaculture*, 査読有, 80, 2018, 310-314.

R.S. Hattori, S. Tashiro, Y. Zhang, N. Kakuta, M. Yokota, C.A. Strüssmann, and Y. Yamamoto, Demonstration of viability and fertility and development of a molecular tool to identify YY supermales in a fish with both genotypic and environmental sex determination. *Ecology and Evolution*, 査読有, 8, 2018, 7522-7528.

Y. Zhang, R.S. Hattori, M. Sarida, E.L. García Cruz, C.A. Strüssmann, and Y. Yamamoto, Expression profiles of *amhy* and major sex-related genes during gonadal sex differentiation and their relation with genotypic and temperature-dependent sex determination in pejerrey *Odontesthes bonariensis*. *General and Comparative Endocrinology*, 査読有, 265, 2018, 196-201.

D.K. Bej, K. Miyoshi, R.S. Hattori, C.A. Strüssmann, and Y. Yamamoto, A duplicated, truncated *amh* gene is involved in male sex determination in an Old World silverside. *Genes, Genomes, Genetics*, 査読有, 7, 2017, 2489-2495.

G.A. Corona-Herrera, J.A. Tello-Ballinas, R.S. Hattori, C.A. Martínez-Palacios, C.A. Strüssmann, R.R. Cárdenas-Reygadas, and C.C. Martínez-Chávez, Gonadal differentiation and temperature effects on sex determination in the freshwater pike silverside *Chirostoma estor* Jordan 1880. *Environmental Biology of Fishes*, 査読有, 99, 2016, 463-471.

J.I. Fernandino, R.S. Hattori, C.A. Strüssmann, Y. Yamamoto, and G.M. Somoza, Sex determination in fish: *Odontesthes* spp. (Atherinopsidae) as experimental models. *Animal Reproduction*, 査読有, 12, 2015, 24-27.

S.A. Crichigno, R.S. Hattori, C.A. Strüssmann, and V. Cussac, Morphological comparison of wild, farmed and hybrid specimens of two South American silversides, *Odontesthes bonariensis* and *Odontesthes hatcheri*. *Aquaculture Research*, 査読有, 2014, 2014, 1-12.

Y. Yamamoto, Y. Zhang, M. Sarida, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Coexistence of genotypic and temperature-dependent sex determination in pejerrey *Odontesthes bonariensis*. *PLoS ONE*, 査読有, 9, 2014, e102574.

[学会発表](計 43 件)

H. Okajima, H. Yokochi, N. Kakuta, Y. Yamamoto, C.A. Strüssmann, L.A. Miranda, D.C. Colautti, G.E. Berasain, Otolith-based evaluation of the effects of water temperature on the sex determination of pejerrey in Lake Chascomus, Annual Meeting of the Biological Society of Argentina, December 5-7, 2018, Buenos Aires, Argentina.

H. Yokochi, H. Okajima, N. Kakuta, Y. Yamamoto, C.A. Strüssmann, L.A. Miranda, D.C. Colautti, and G.E. Berasain, Application of otolith analysis for elucidation of life-history and demographic parameters in pejerrey, Annual Meeting of the Biological

Society of Argentina, December 5-7, 2018, Buenos Aires, Argentina.

三好花歩, R.S. Hattori, 山本洋嗣, C.A. Strüssmann, トウゴロウイワシの性決定機構, 2018 年日本水産学会秋季大会 シンポジウム 魚類の性決定・性分化・性転換: これまでとこれから, 2018 年 9 月 15~18 日, 広島 (招待講演).

Y. Yamamoto, K. Miyoshi, D.K. Bej, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Coexistence of genotypic and temperature-dependent sex determination in cobaltcap silverside, 11th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, June 3-8, 2018, Manaus, Brazil.

K. Miyoshi, R.S. Hattori, C.A. Strüssmann, and Y. Yamamoto, A pilot study on the use of otolith analysis to examine the occurrence of TSD in wild cobaltcap silverside, 11th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, June 3-8, 2018, Manaus, Brazil.

E.L. Garcia Cruz, Y. Yamamoto, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Effects of environmental factors other than temperature on the sex determination of pejerrey *Odontesthes bonariensis*, a species with marked temperature-dependent sex determination, 11th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, June 3-8, 2018, Manaus, Brazil.

Y. Yamamoto, K. Miyoshi, D.K. Bej, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Temperature-dependent sex determination in wild cobaltcap silverside *Hypoantherina tsurugae*, an atherinid fish from the northwest Pacific Ocean, 8th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 16-20, 2018, Hawaii, USA.

R.S. Hattori, G.M. Somoza, J.I. Fernandino, S.A. Crichigno, C. Conte-Grand, V. Cussac, L.F. Almeida-Toledo, and C.A. Strüssmann, Sex genotype/gonad phenotype mismatches in natural populations of *Odontesthes hatcheri* in Patagonia and possible relation with environmental and geographical parameters, 8th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 16-20, 2018, Hawaii, USA.

K. Miyoshi, R.S. Hattori, C.A. Strüssmann, and Y. Yamamoto, Application of otolith analysis to study the occurrence of temperature-dependent sex determination in wild cobaltcap silverside, 6th International Otolith Symposium, April 15-20, 2018, Keelung, Taiwan.

G.M. Somoza, M.R. Perez, B.J. Young, and C.A. Strüssmann, Effects of waterborne xenoestrogens on feminization of the testicular structure of two neotropical fish, 20th Brazilian Congress of Toxicology, October 8-10, 2017, Goiânia, Brazil.

M. Sarida, Y. Zhang, R.S. Hattori, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Spatiotemporal distribution of gonadal apoptosis, *amh* and *cyp19a1a* gene expression during gonadal sex determination/histological differentiation in pejerrey, The JSFS 85th Anniversary-Commemorative International Symposium "Fisheries Science for Future Generations". September 22-24, 2017, Tokyo, Japan.

K. Miyoshi, D.K. Bej, R.S. Hattori, C.A. Strüssmann, and Y. Yamamoto, Application of otolith analysis to study the possibility of temperature-dependent sex determination in wild cobaltcap silverside, The JSFS 85th Anniversary-Commemorative International Symposium "Fisheries Science for Future Generations". September 22-24, 2017, Tokyo, Japan.

G.M. Somoza, M. Perez, B. Young, C.A. Strüssmann, and P. Carriguiriborde, Effects of 17 β -ethynylestradiol on the testicular structure of two neotropical fish species, 12th SETAC Latin America, September 7-10, 2017, Santos, Brazil.

M. Elisio, Y. Zhang, L.A. Miranda, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Potential application of an in vitro gonadal culture assay to determine fish reproductive response to environmental temperature, 7th Annual Meeting of the American Society of Ichthyologists and Herpetologists, July 12-16, 2017, Austin, USA.

Y. Yamamoto, Y. Zhang, M. Sarida, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Genotypic and temperature-dependent sex determination in pejerrey, 18th International Congress of Comparative Endocrinology, June 4-9, 2017, Alberta, Canada (招待講演).

Y. Yamamoto, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Coexistence of genotypic and temperature-dependent sex determination in Atheriniformes, The Workshop on Turnover of Sex Chromosomes in Frogs and Fish, August 23, 2016, Hiroshima, Japan (招待講演).

K. Miyoshi, D.K. Bej, R.S. Hattori, C.A. Strüssmann, and Y. Yamamoto, Effects of temperature on sex determination of cobaltcap silverside *Hypoantherina tsurugae* and its usefulness as a bioindicator species of the effects of abnormal water temperatures on fish sex determination, 8th International Symposium on Fish Endocrinology, June 28-July 2, 2016, Gothenburg, Sweden.

Y. Zhang, Y. Yamamoto, R.S. Hattori, M. Sarida, K. Matsunaga, K. Futami, and C.A. Strüssmann, Transcriptional regulation of *amhy* and *amha* in temperature-dependent sex determination of pejerrey and their regulation by cortisol, 8th International Symposium on Fish Endocrinology, June 28-July 2, 2016, Gothenburg, Sweden.

M. Sarida, Y. Yamamoto, Y. Zhang, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Spatiotemporal coordination of *amh* and *cyp19a1a* gene expression and apoptosis during testicular differentiation in pejerrey *Odontesthes bonariensis*, 8th International Symposium on Fish Endocrinology, June 28-July 2, 2016, Gothenburg, Sweden.

E.L. Garcia Cruz, Y. Yamamoto, C.A. Strüssmann, R.S. Hattori, M. Yokota, Do non-thermal environmental factors also affect sex determination in the temperature-sex determined pejerrey *Odontesthes bonariensis*? 8th International Symposium on Fish Endocrinology, June 28-July 2, 2016, Gothenburg, Sweden.

21 D.K. Bej, K. Miyoshi, R.S. Hattori, C.A. Strüssmann, and Y. Yamamoto, Identification

- of two *amh* paralogues and their expression profiles during gonadal sex differentiation of cobaltcap silverside *Hypoatherina tsurugae*, 8th International Symposium on Fish Endocrinology, June 28-July 2, 2016, Gothenburg, Sweden.
- 22 Y. Yamamoto, S. Tashiro, R.S. Hattori, Y. Zhang, L.A. Miranda, D.C. Colautti, G.E. Berasain, and C.A. Strüssmann, Development of methods to identify the sex chromosomal genotype (XX, XY, YY) in pejerrey and its application in a field survey of sex reversals and super-males, 8th International Symposium on Fish Endocrinology, June 28-July 2, 2016, Gothenburg, Sweden.
 - 23 M. Sarida, Y. Yamamoto, Y. Zhang, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Spatiotemporal coordination of *amh* and aromatase gene expression and apoptosis during testicular differentiation in pejerrey *Odontesthes bonariensis*, 平成 28 年度日本水産学会春季大会, 2016 年 3 月 26-30 日, 東京.
 - 24 山本洋嗣, C.A. Strüssmann, 地球温暖化が魚類の性へ与える影響 - トウゴロウイワシ目魚類を指標種に用いた評価法の確立 -, 第 17 回マリンバイオテクノロジー学会シンポジウム S-7, 2015 年 5 月 30-31 日, 東京 (招待講演).
 - 25 C.A. Strüssmann, G.M. Somoza, L.A. Miranda, R.S. Hattori, and Y. Yamamoto, Environmental effects on sex determination and fertility of fish, with special reference to temperature and Atheriniforms, 7th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 13-17, 2015, Hawaii, USA (招待講演).
 - 26 Y. Yamamoto, Y. Zhang, M. Sarida, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Genetic sex determination at intermediate temperatures in pejerrey *Odontesthes bonariensis*, a fish with marked temperature-dependent sex determination, 7th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 13-17, 2015, Hawaii, USA.
 - 27 D.K. Bej, K. Miyoshi, R.S. Hattori, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Expression profiles of two *amh* homologues during gonadal sex differentiation of cobaltcap silverside *Hypoatherina tsurugae*, an atherinid fish from the Northwest Pacific Ocean, 7th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 13-17, 2015, Hawaii, USA.
 - 28 K. Miyoshi, D.K. Bej, R.S. Hattori, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Effects of temperature on sex determination of cobaltcap silverside *Hypoatherina tsurugae*, an atherinid fish from the Northwest Pacific Ocean, 7th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 13-17, 2015, Hawaii, USA.
 - 29 M. Sarida, Y. Zhang, R.S. Hattori, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Male gonadal differentiation in pejerrey *Odontesthes bonariensis*: co-occurrence between apoptosis and anti-Mullerian hormone gene expression, 7th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 13-17, 2015, Hawaii, USA.
 - 30 S. Tashiro, R.S. Hattori, Y. Zhang, Y. Yamamoto, L.A. Miranda, D.C. Colautti, G.E. Berasain, and C.A. Strüssmann, Occurrence of sex genotype/sex phenotype mismatches and YY supermales in wild populations of pejerrey *Odontesthes bonariensis*, 7th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 13-17, 2015, Hawaii, USA.
 - 31 Y. Zhang, M. Sarida, R.S. Hattori, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Roles of *amhy*, *amha* and *amhrII* in temperature-dependent sex determination of pejerrey *Odontesthes bonariensis*, 7th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 13-17, 2015, Hawaii, USA.
 - 32 J. Kaiga, C.A. Strüssmann, R.S. Hattori, M. Oura, and M. Yokota, Some like it hot: temperature selection during the critical period of thermolabile sex determination in pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), 7th International Symposium on the Biology of Vertebrate Sex Determination, April 13-17, 2015, Hawaii, USA.
 - 33 三好花歩, D.K. Bej, R.S. Hattori, 山本洋嗣, C.A. Strüssmann, シイソイワシ *Hypoatherina tsurugae* 性決定機構の温度依存性の検証, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 2015 年 3 月 27-31 日, 東京.
 - 34 山本洋嗣, D.K. Bej, 三好花歩, R.S. Hattori, C.A. Strüssmann, ギンソイワシ *Hypoatherina tsurugae* における 2 種類の *amh* 遺伝子の単離と性分化時期の発現解析, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 2015 年 3 月 27-31 日, 東京.
 - 35 田代誠也, R.S. Hattori, Y. Zhang, 山本洋嗣, C.A. Strüssmann, ペヘレイ *Odontesthes bonariensis* の超雄 (YY) 検出法の開発および野生集団における出現率調査, 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 2015 年 3 月 27-31 日, 東京.
 - 36 Y. Zhang, M. Sarida, R.S. Hattori, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Expression of *amha*, *amhy* and *amhrII* during temperature-dependent sex determination in pejerrey *Odontesthes bonariensis*. 平成 27 年度日本水産学会春季大会, 2015 年 3 月 27-31 日, 東京.
 - 37 R.S. Hattori and C.A. Strüssmann, Mechanisms of sex determination in fish: a continuum from environmental to genetic sex determination, International Symposium on Reproductive Biology of Fish - from major breakthroughs to future research, February 8-11, 2015, Rennes, France (招待講演).
 - 38 S. Tashiro, R.S. Hattori, Y. Zhang, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Viability of supermale (YY) pejerrey *Odontesthes bonariensis*, 6th Argentine Congress of Limnology, September 14-18, 2014, La Plata, Argentina.
 - 39 C.A. Strüssmann, 30 years of pejerrey research at the Tokyo University of Marine Science and Technology, 6th Argentine Congress of Limnology, September 14-18, 2014, La Plata, Argentina (招待講演).

- 40 R.S. Hattori, Y. Zhang, M. Sarida, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Molecular mechanisms of temperature-dependent sex determination and genotypic sex determination in pejerrey *Odontesthes bonariensis*, Aquaciencia, September 1-5, 2014, Foz do Iguacu, Brasil.
- 41 Y. Yamamoto, Y. Zhang, M. Sarida, R.S. Hattori, and C.A. Strüssmann, Genetic versus temperature-dependent sex determination in pejerrey: evidences from the testis-determining gene *amhy*, 10th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, May 25-30, 2014, Olhão, Portugal.
- 42 M. Sarida, R.S. Hattori, Y. Zhang, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Apoptosis and anti-müllerian hormone gene expression during gonadal sex differentiation in pejerrey *Odontesthes bonariensis*, 10th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, May 25-30, 2014, Olhão, Portugal.
- 43 Y. Zhang, M. Sarida, R.S. Hattori, Y. Yamamoto, and C.A. Strüssmann, Expression profile of *amhy* and *amha* genes at high and low temperatures during early larval development in pejerrey, *Odontesthes bonariensis*, 10th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, May 25-30, 2014, Olhão, Portugal.

〔図書〕(計 1 件)

Y. Yamamoto, R.S. Hattori, R. Patiño and C.A. Strüssmann, Environmental regulation of sex determination in fishes: insights from Atheriniformes. In: B. Capel, ed. Current Topics in Developmental Biology, Sex Determination, Elsevier, Vol. 134, Chapter 9, 2019, pp. 46-69.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

名称：耳石観察用一次包埋ブロック、耳石観察用標本ブロック、耳石試料片の製造方法

発明者：C.A. Strüssmann, D.C. Colautti

権利者：同上

種類：特許

番号：特開 2019-66442

出願年：平成 30 年度

国内外の別：国内

名称：試料ブロック支持部材、耳石切片作製方法

発明者：C.A. Strüssmann

権利者：同上

種類：特許

番号：特開 2019-70531

出願年：平成 30 年度

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：山本 洋嗣

ローマ字氏名：Yoji Yamamoto

所属研究機関名：東京海洋大学

部局名：学術研究院

職名：助教

研究者番号(8桁)：10447592

研究分担者氏名：大竹 二雄

ローマ字氏名：Tsuguo Otake

所属研究機関名：東京大学

部局名：大気海洋研究所

職名：特任研究員

研究者番号(8桁)：20160525

研究分担者氏名：近藤 昭彦

ローマ字氏名：Akihiko Kondoh

所属研究機関名：千葉大学

部局名：環境リモートセンシング研究センター

職名：教授

研究者番号(8桁)：30201495

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：坂本 崇

ローマ字氏名：Takashi Sakamoto

研究協力者氏名：横田 賢史

ローマ字氏名：Masashi Yokota

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。