

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H03063

研究課題名（和文）海産ワムシ類の遊泳行動制御と仔魚用餌料としての性能評価

研究課題名（英文）Regulation of swimming behavior of marine rotifers and evaluation of its food value for fish larvae

研究代表者

萩原 篤志 (Hagiwara, Atsushi)

長崎大学・水産学部・特定教授

研究者番号：50208419

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：鉄と亜鉛の濃度上昇に伴って、温帯性と熱帯性のワムシ共に遊泳速度が速くなった。非解離アンモニア濃度の上昇でも同様であった。低酸素条件への曝露は温帯性ワムシの増殖を阻害したが、熱帯性ワムシには影響を与えなかった。このとき熱帯性ワムシの増殖も昂進した。低酸素下では解糖系によるATP産生が活発化し、温帯性ワムシでは活性酸素レベルが上昇した。また、エネルギー供与体として原生動物の繊毛運動を活性化するアルギニンリン酸はワムシの遊泳も活発にした。アルギニンリン酸によるADPのリン酸化で生じるATPと、モータータンパク質（ダイニン）を水中に添加したところ、非解離アンモニアの曝露下でワムシの遊泳速度が増加した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

栄養状態の良いワムシを飢餓や悪環境に曝露すると、当該環境からの逃避行動とみなせる活発な遊泳を示すことを現象面とその分子機構から明らかにした。その結果、海産仔魚の主要な天然餌料であるカイアシ類に準じるような遊泳行動をワムシが示すようになった。

遊泳速度の速い餌生物に対し仔魚は失敗を重ねても摂餌を活発に継続し、良好な成長と活力を示すことが知られている。本研究の成果により、魚類種苗生産時の生物餌料として汎用されるワムシの遊泳行動を制御することが可能となり、生産される稚魚の質的改善に役立つことが期待される。

研究成果の概要（英文）：With increasing concentrations of iron and zinc, both temperate and tropical rotifers swam faster. The same was observed for increasing concentrations of non-dissociated ammonia. Exposure to hypoxic conditions inhibited the growth of temperate rotifers, but did not affect tropical rotifers. The growth of tropical rotifers was also enhanced. ATP production by the glycolytic system was enhanced under hypoxia, and ROS levels increased in temperate rotifers. Arginine phosphate, which activates ciliary movement in protozoa as an energy donor, also stimulated swimming in rotifers. When ATP produced by the phosphorylation of ADP by arginine phosphate and a motor protein (dynein) were added to water, the swimming speed of rotifers increased under exposure to non-dissociated ammonia.

研究分野：水産増殖学

キーワード：海産ワムシ類 遊泳行動 行動制御 遺伝子発現解析

## 1. 研究開始当初の背景

多くの魚類の幼生(仔魚)の飼育には、生きた動物プランクトンの給餌が必要である。種苗の初期段階に必須の汎用餌料であるシオミズツボワムシ(以下ワムシ)の培養技術と高度不飽和脂肪酸やタウリンなどの栄養強化で精鋭化された集約的な技術体系は、日本で開発されたのち世界の養殖業に大きく貢献したが、高コストで設備を要するため、養殖の盛んな東南アジアや南アジアには、ほとんど普及せず、生物餌料への依存度が低い淡水養殖が主体となっている。一方、国内では、生産した稚魚の形態や行動の異常など、種苗の質的な問題が頻発している。これらの課題解決と、国情や設備に応じた餌料生産の高度化が必要である。我々は海産仔魚を個別に飼育して行動と成長を評価する技法を確立し、代表的な天然餌料であるカイアシ類(不規則で複雑かつ速い動き)に対する仔魚の摂餌成功率が、ワムシ類(滑らかで遅い運動)より低いことをつきとめた。しかし、高度不飽和脂肪酸やタウリン等の仔魚の必須栄養素の含量を同等にしたにもかかわらず、仔魚は、カイアシ類を給餌したときの方がワムシ給餌よりも良い成長を示した。このとき、栄養的に等価の配合飼料(沈降運動のみ)は仔魚の摂餌、成長共に最も劣った(Pandeyら 2008 Env Biol Fish)。カイアシ類に対して、仔魚は失敗を重ねても摂餌を活発に継続し、良好な成長と活力を示す。そこで、ワムシの遊泳活性をカイアシ類と同等のレベルに高めることができないかと考えた。生産性の高い天然域で採集される動物プランクトンは遊泳速度が大きく、活発な運動を示す。実は、本研究の対象とするワムシも天然では活発な遊泳を行う場合がある。しかし、人工下の培養では、なかなかこれを再現できない。また、現在のフィリピン、インドネシアや、ワムシ培養が始まったばかりのかつての日本で行われていた、魚のアラや鶏糞を槽内に投入したワムシ培養では、ワムシが活発に方向転換しながら長時間にわたって素早く遊泳する例を何度か観察してきた(未発表)。申請者は、ワムシの遊泳能力を高める物質が魚のアラや鶏糞にあると考え、研究を行ってきたが、ついにそのような物質は見いだせなかった経緯がある。しかしこれまでの研究を通じ、(1)魚のアラでワムシはよく増え、汎用されている微細藻の給餌よりも高い増殖率を示すことがあり、(2)魚のアラは栄養価が高く、高度不飽和脂肪酸やタウリン等の栄養強化をせずに仔魚に給餌可能で、(3)鶏糞抽出液はワムシとカイアシ類の増殖を促進し、(4)プロバイオティクスの添加でワムシ培養が安定化する等、魚のアラは優れた餌料源となることが明らかになった。ワムシは遊泳と付着を繰り返すので、これらの行動が切り替わる要因について検討し、(5)餌が豊富にあるときワムシはその場に足で付着し、餌が不足すると遊泳する、(6)餌が豊富でも、環境の悪化によってワムシは遊泳を再開することを明らかにした。特筆すべきこととして、遊離アンモニア濃度の上昇によって、ワムシの遊泳速度が約30%増加し、粗放培養の観察例に劣るものの、活発に遊泳する現象を初めて再現した(Kim et al 2020)。

## 2. 研究の目的

上記により、魚のアラや鶏糞には、ワムシの遊泳運動を活性化させる化学物質は存在しないが、ワムシの増殖に高い栄養価を示すことが分かる。そして、「栄養状態の良いワムシを飢餓や悪環境に曝露すると、当該環境からの逃避行動とみなせるような、活発な遊泳を示す」という仮説(右図)が導かれる。この仮説の検証を行うことが本研究の目的である。すなわち、カイアシ類やミジンコ類に匹敵するような活発な遊泳行動をワムシでも発現させ、仔魚用餌料としての価値の向上を図る。ここでは、環境因子がワムシの遊泳に与える影響とその分子機構について研究を行うと共に、繊毛運動によってワムシが遊泳することから、その調節機構について検討を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) 環境因子がワムシの遊泳に与える影響とその分子機構

ワムシは、付着行動から遊泳行動に切り替えて悪環境を回避し、悪環境への曝露によって、遊泳速度が増大する。そこで、微量元素として生物の生存に必須であるが、水産種苗生産場では過剰投与になりがちな鉄(FeSO<sub>4</sub> 0-96 mg/L)、亜鉛(ZnCl<sub>2</sub> 0-2 mg/L)のほか、飼育水の水質の指標として重要な非解離アンモニア(0-29.3 mg/L)と溶存酸素量(0.3-1.0 mg/L)の影響を検討した。シオミズツボワムシ *Brachionus plicatilis* は複合種で15種が知られているが、本研究では大型で温帯性の *B. plicatilis sensu stricto* と、小型で熱帯性の *B. rotundiformis* を対象とし、培養に *Nannochloropsis oculata* を給餌した。上記の化学物質や環境因子がワムシに与える影響を、個体レベルで寿命や産卵数等の生活史パラメータ、個体群レベルで個体群増殖と両性生殖誘導を求め、同時に遊泳行動と生化学・分子遺伝学的特性値を求めた。

次に、魚のアラによるワムシ培養の安定化に効果のあったプロバイオティクス製品(東亜薬品工業社製)添加時のワムシの遊泳行動の変化を調べた。

## (2) ワムシの繊毛運動の調節機構

原生動物のゾウリムシ繊毛内では、モータータンパク質のダイニンが、アルギニンリン酸によって作られた ATP を加水分解する。このときに得られたエネルギーが微小管上でダイニンの滑りを引き起こし、この過程の繰り返しによって繊毛が波打ち、繊毛運動が起こることが分かっている。そこで、ワムシを3種の化学物質（アルギニンリン酸：0.01 - 1.0 mM、ATP：0.1 - 1.0 mM、ダイニン： $1.0 \times 10^{-4}$  -  $1.0 \times 10^{-2}$  mg/mL）に短期曝露（0 - 60分）し、遊泳速度の変化を調べた。次にアルギニンリン酸（0.1 mM）単独区、ATP（0.1 mM）とダイニン（ $1.0 \times 10^{-3}$  mg/mL）の混合区にそれぞれワムシを長期曝露（2 - 6日）して遊泳速度を求めた。さらにそのワムシを高濃度のアンモニアに曝露させ、逃避行動を起こしたときの遊泳速度を測定した。

## 4. 研究成果

### (1) 環境因子がワムシの遊泳に与える影響とその分子機構

鉄、亜鉛、アンモニアの *B. plicatilis* と *B. rotundiformis* に対する24時間半数致死濃度は、それぞれ469.6と363.6 mg/L（鉄）、29.9と13.3 mg/L（亜鉛）、40.0と26.9 mg/L（非解離アンモニア）で、大型の *B. plicatilis* が強い耐性を示した。一方、低濃度の曝露がワムシの生殖に与える影響を検討したところ、逆に小型の *B. rotundiformis* が高い耐性を示した。すなわち、*B. plicatilis* の産卵数と増殖率は6-48 mg/Lの鉄曝露の影響を受けなかったが、12 mg/L以上の鉄濃度で両性生殖が阻害された。逆に、*B. rotundiformis* では1.5-12 mg/Lの鉄濃度で個体群増殖と両性生殖の発現が促進的に起こった。亜鉛曝露下でも同様の現象がみられ、低濃度の亜鉛添加で *B. plicatilis* の生殖は抑制されたが、*B. rotundiformis* では生殖の促進作用がみられた。非解離アンモニアと低溶存酸素下の曝露によっても小型で熱帯性の *B. rotundiformis* の方が強い耐性を示した。このとき *B. plicatilis* では、細胞内の活性酸素量が増加すると共に、生殖器官中の中性脂質が減少し、同時に抗酸化酵素 Cu/ZnSOD 遺伝子の発現低下が起こったが、*B. rotundiformis* では逆の傾向がみられた。

以上の条件下でワムシの遊泳速度を求めたところ、生育に阻害的な環境への曝露で、温帯性ワムシの遊泳速度は対照の1.12-1.46倍、熱帯性のワムシでは1.22-1.82倍になることが明らかになった（表1）。また、プロバイオティクスの添加はワムシ遊泳速度を増大させ（最大遊泳速度  $2.46 \pm 0.37$  mm sec<sup>-1</sup>、平均遊泳速度  $1.33 \pm 0.25$  mm sec<sup>-1</sup>）、平均遊泳速度はプロバイオティクス無添加時の1.82倍となった。

表1 各種環境因子がワムシの遊泳速度に与える影響（対照を1とした場合の相対値）

	濃度 (mg/L)	<i>B. plicatilis</i>	<i>B. rotundiformis</i>
FeSO <sub>4</sub>	20-30	1.23	1.22
ZnCl <sub>2</sub>	2	1.42	1.82
非解離アンモニア	8.5	1.46	1.39
溶存酸素量	0.3-1	1.12	1.43

### (2) ワムシの繊毛運動の調節機構

高濃度のアルギニンリン酸に短期曝露したワムシの遊泳速度は速くなり、アルギニンリン酸に5分間曝露したワムシの遊泳速度は、曝露前（0.67 mm/s）よりも1.05倍速くなった。一方、ATPの短期曝露ではワムシの遊泳速度が遅くなり、ダイニンでは遊泳速度に変化は見られなかった。また、アルギニンリン酸に長期曝露するとワムシの遊泳速度は速くなり、曝露後4日目の遊泳速度は対照区（0.62 mm/s）よりも1.13倍速くなった。さらに、このワムシをアンモニアに曝露すると、アンモニア曝露前よりも1.13倍速くなった。ATPとダイニンの混合区の遊泳速度は対照区と差はなかった。しかし、アンモニアに曝露したとき、混合区に曝露後6日目のワムシの遊泳速度は、対照区（0.64 mm/s）よりも1.16倍速くなった。ワムシの遊泳速度を上昇させるには、アルギニンリン酸への曝露が最も効果的であるが、ATPとダイニンを混合して長期間曝露することでも遊泳速度を上昇させる可能性がある。従って、ゾウリムシの繊毛運動と同様の作用機序が、ワムシ繊毛内にも存在する可能性が示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計34件（うち査読付論文 30件 / うち国際共著 29件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Han Chengyan, Kim Hee-Jin, Lee Jae-Seong, Sakakura Yoshitaka, Hagiwara Atsushi	4. 巻 246
2. 論文標題 Iron reproductive toxicity of marine rotifer sibling species: Adaptation to temperate and tropical habitats	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aquatic Toxicology	6. 最初と最後の頁 106135 ~ 106135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquatox.2022.106135	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 該当する
1. 著者名 Kagali Robert Nesta, Ogello Erick Ochieng, Kiama Catherine Wachera, Kim Hee Jin, Wullur Stenly, Sakakura Yoshitaka, Hagiwara Atsushi	4. 巻 2
2. 論文標題 Culturing live foods for fish larviculture using non microalgal diet: The role of waste generated bacteria and selected commercial probiotics? A review	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aquaculture, Fish and Fisheries	6. 最初と最後の頁 71-81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aff2.33	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Byeon Eunjin, Kim Min-Sub, Lee Yoseop, Lee Young Hwan, Park Jun Chul, Hwang Un-Ki, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong, Park Heum Gi	4. 巻 42
2. 論文標題 The genome of the freshwater monogonont rotifer <i>Brachionus rubens</i> : Identification of phase I, II, and III detoxification genes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 100979 ~ 100979
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2022.100979	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 該当する
1. 著者名 Han Chengyan, Kim Hee-Jin, Sakakura Yoshitaka, Hagiwara Atsushi	4. 巻 550
2. 論文標題 Species-specific ammonia tolerance in the marine rotifers <i>Brachionus plicatilis</i> and <i>Brachionus rotundiformis</i> : Reproductive characteristics and its mechanisms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 737837 ~ 737837
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2021.737837	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 Lee Min-Chul, Yoon Deok-Seo, Park Jun Chul, Choi Hyuntae, Shin Kyung-Hoon, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong, Park Heum Gi	4. 巻 546
2. 論文標題 Effects of salinity and temperature on reproductivity and fatty acid synthesis in the marine rotifer <i>Brachionus rotundiformis</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 737282 ~ 737282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2021.737282	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 該当する

1. 著者名 Kim Duck Hyun, Jeong Haksoo, Kim Min Sub, Kim Sanghee, Souissi Sami, Park Heum Gi, Hagiwara Atsushi, Lee Jae Seong	4. 巻 338
2. 論文標題 Identification and characterization of homeobox gene clusters in harpacticoid and calanoid copepods	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jez.b.23112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kim Duck-Hyun, Park Jun Chul, Lee Young Hwan, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 40
2. 論文標題 Genome-wide identification of 216 G protein-coupled receptor (GPCR) genes from the marine water flea <i>Diaphanosoma celebensis</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 100922 ~ 100922
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2021.100922	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 該当する

1. 著者名 Kim Duck-Hyun, Kim Min-Sub, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 39
2. 論文標題 The genome of the minute marine rotifer <i>Proales similis</i> : Genome-wide identification of 401 G protein-coupled receptor (GPCR) genes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 100861 ~ 100861
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2021.100861	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 該当する

1. 著者名 Park Jun Chul, Kim Duck-Hyun, Kim Min-Sub, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 39
2. 論文標題 The genome of the euryhaline rotifer <i>Brachionus paranguensis</i> : Potential use in molecular ecotoxicology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 100836 ~ 100836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2021.100836	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 該当する

1. 著者名 Kim Min-Sub, Lee Young Hwan, Kim Duck-Hyun, Kim Hee-Jin, Hwang Un-Ki, Shiel Russell, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 6
2. 論文標題 Complete mitochondrial genomes of two marine monogonont rotifer <i>Brachionus manjavacas</i> strains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 1921 ~ 1923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2021.1935349	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 該当する

1. 著者名 W. RASDI NADIAH, MHD IKHWANUDDIN MHD IKHWANUDDIN, AZMAN SYAMIMI, KARIM MURNI, SYUKRI FADHIL, HAGIWARA ATSUSHI	4. 巻 16
2. 論文標題 THE EFFECTS OF ENRICHED <i>Moina</i> ON THE GROWTH, SURVIVAL, AND PROXIMATE ANALYSIS OF MARINE SHRIMP ( <i>Penaeus monodon</i> )	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JOURNAL OF SUSTAINABILITY SCIENCE AND MANAGEMENT	6. 最初と最後の頁 56 ~ 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.46754/jssm.2021.04.005	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 該当する

1. 著者名 Choi Beom-Soon, Kim Duck-Hyun, Kim Min-Sub, Park Jun Chul, Lee Young Hwan, Kim Hee-Jin, Jeong Chang-Bum, Hagiwara Atsushi, Souissi Sami, Lee Jae-Seong	4. 巻 166
2. 論文標題 The genome of the European estuarine calanoid copepod <i>Eurytemora affinis</i> : Potential use in molecular ecotoxicology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 112190 ~ 112190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpolbul.2021.112190	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 Byeon Eunjin, Choi Beom-Soon, Park Jun Chul, Kim Min-Sub, Kim Duck-Hyun, Lee Jin-Sol, Lee Young Hwan, Jeong Chang-Bum, Hwang Un-Ki, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 38
2. 論文標題 The genome of the freshwater monogonont rotifer <i>Brachionus angularis</i> : Identification of phase I, II, and III detoxification genes and their roles in molecular ecotoxicology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 100821 ~ 100821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2021.100821	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 Yuslan Amirah, Najwa Sharifah, Hagiwara Atsushi, Ghaffar Mazlan A., Suhaimi Hidayu, Rasdi Nadiyah W.	4. 巻 13
2. 論文標題 Production Performance of <i>Moina macrocopa</i> (Straus 1820) (Crustacea, Cladocera) Cultured in Different Salinities: The Effect on Growth, Survival, Reproduction, and Fatty Acid Composition of the Neonates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Diversity	6. 最初と最後の頁 105 ~ 105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/d13030105	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 Kim Duck-Hyun, Choi Beom-Soon, Kang Hye-Min, Park Jun Chul, Kim Min-Sub, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 37
2. 論文標題 The genome of the marine water flea <i>Diaphanosoma celebensis</i> : Identification of phase I, II, and III detoxification genes and potential applications in marine molecular ecotoxicology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 100787 ~ 100787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2020.100787	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 Lee Young Hwan, Kim Min-Sub, Jeong Haksoo, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 36
2. 論文標題 Genome-wide identification and transcriptional modulation of histone variants and modification related genes in the low pH-exposed marine rotifer <i>Brachionus koreanus</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 100748 ~ 100748
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2020.100748	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 該当する

1. 著者名 Kang Hye-Min, Kim Min-Sub, Choi Beom-Soon, Kim Duck-Hyun, Kim Hee-Jin, Hwang Un-Ki, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 36
2. 論文標題 The genome of the marine monogonont rotifer <i>Brachionus rotundiformis</i> and insight into species-specific detoxification components in <i>Brachionus</i> spp.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 100714 ~ 100714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2020.100714	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 該当する

1. 著者名 Kim Min-Sub, Choi Beom-Soon, Ogello Erick Ochieng, Kim Hee-Jin, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 5
2. 論文標題 Complete mitochondrial genome of the freshwater monogonont rotifer <i>Brachionus angularis</i> (Rotifera, Brachionidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 3736 ~ 3737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2020.1835578	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 該当する

1. 著者名 Lee Young Hwan, Kim Min-Sub, Kim Duck-Hyun, Kim Il-Chan, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 227
2. 論文標題 Genome-wide identification of DNA double-strand break repair genes and transcriptional modulation in response to benzo[ ]pyrene in the monogonont rotifer <i>Brachionus</i> spp.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aquatic Toxicology	6. 最初と最後の頁 105614 ~ 105614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquatox.2020.105614	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 該当する

1. 著者名 Kim Hee-Jin, Ohtani Masataka, Kakumu Akira, Sakakura Yoshitaka, Hagiwara Atsushi	4. 巻 86
2. 論文標題 External factors that regulate movement in the marine rotifer <i>Brachionus plicatilis</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 655 ~ 663
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12562-020-01438-w	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 該当する



1. 著者名 Lee Young Hwan, Kang Hye-Min, Kim Min-Sub, Lee Jin-Sol, Wang Minghua, Hagiwara Atsushi, Jeong Chang-Bum, Lee Jae-Seong	4. 巻 54
2. 論文標題 Multigenerational Mitigating Effects of Ocean Acidification on In Vivo Endpoints, Antioxidant Defense, DNA Damage Response, and Epigenetic Modification in an Asexual Monogonont Rotifer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 7858 ~ 7869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.est.0c01438	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 該当する

1. 著者名 Choi Beom-Soon, Park Jun Chul, Kim Min-Sub, Han Jeonghoon, Kim Duck-Hyun, Hagiwara Atsushi, Sakakura Yoshitaka, Hwang Un-Ki, Lee Bo-Young, Lee Jae-Seong	4. 巻 35
2. 論文標題 The reference genome of the selfing fish <i>Kryptolebias hermaphroditus</i> : Identification of phases I and II detoxification genes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 100684 ~ 100684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbpd.2020.100684	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 該当する

1. 著者名 Ogello Erick Ochieng, Wullur Stenly, Sakakura Yoshitaka, Hagiwara Atsushi	4. 巻 147
2. 論文標題 Dietary Value of Waste-Fed Rotifer <i>Brachionus rotundiformis</i> on the Larval Rearing of Japanese Whiting <i>Sillago japonica</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 E3S Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 01005 ~ 01005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/e3sconf/202014701005	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 該当する

1. 著者名 Lee Min-Chul, Choi Hyuntae, Park Jun Chul, Yoon Deok-Seo, Lee Yoseop, Hagiwara Atsushi, Park Heum Gi, Shin Kyung-Hoon, Lee Jae-Seong	4. 巻 521
2. 論文標題 A comparative study of food selectivity of the benthic copepod <i>Tigriopus japonicus</i> and the pelagic copepod <i>Paracyclops nana</i> : A genome-wide identification of fatty acid conversion genes and nitrogen isotope investigation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 734930 ~ 734930
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2020.734930	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 該当する

1. 著者名 NW Rasdi, A Arshad, Mhd Ikhwanuddin, A Hagiwara, F Md Yusoff, N Azani	4. 巻 41
2. 論文標題 A review on the improvement of cladocera (Moina) nutrition as live food for aquaculture: using valuable plankton fisheries resources	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Biology	6. 最初と最後の頁 1239 ~ 1248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22438/jeb/41/5(S1)/MS_16	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 該当する

1. 著者名 Choi Beom-Soon, Lee Young Hwan, Kim Hee-Jin, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 5
2. 論文標題 Complete mitochondrial DNA of the marine water flea Diaphanosoma celebensis (Cladocera, Sididae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 2254 ~ 2255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2020.1772138	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 該当する

1. 著者名 Park Jun Chul, Hagiwara Atsushi, Park Heum Gi, Lee Jae-Seong	4. 巻 156
2. 論文標題 The glutathione S-transferase genes in marine rotifers and copepods: Identification of GSTs and applications for ecotoxicological studies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 111080 ~ 111080
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpolbul.2020.111080	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 該当する

1. 著者名 Han Jeonghoon, Lee Jin-Sol, Park Jun Chul, Hagiwara Atsushi, Lee Kyun-Woo, Lee Jae-Seong	4. 巻 155
2. 論文標題 Effects of temperature changes on life parameters, oxidative stress, and antioxidant defense system in the monogonont marine rotifer Brachionus plicatilis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 111062 ~ 111062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpolbul.2020.111062	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 該当する

1. 著者名 Lee Young Hwan, Jeong Chang-Bum, Wang Minghua, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 153
2. 論文標題 Transgenerational acclimation to changes in ocean acidification in marine invertebrates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 111006 ~ 111006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpolbul.2020.111006	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 該当する

1. 著者名 Byeon Eunjin, Park Jun Chul, Hagiwara Atsushi, Han Jeonghoon, Lee Jae-Seong	4. 巻 218
2. 論文標題 Two antidepressants fluoxetine and sertraline cause growth retardation and oxidative stress in the marine rotifer <i>Brachionus koreanus</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aquatic Toxicology	6. 最初と最後の頁 105337 ~ 105337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquatox.2019.105337	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 該当する

1. 著者名 Choi Beom-Soon, Lee Young Hwan, Lee Jin-Sol, Yamade Takahiro, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 5
2. 論文標題 Complete mitochondrial genome of the marine monogonont rotifer <i>Proales similis</i> (Rotifera, Proalidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 1151 ~ 1152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2020.1730265	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 該当する

1. 著者名 Choi Beom-Soon, Kim Duck-Hyun, Lee Jin-Sol, Kim Hee-Jin, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 5
2. 論文標題 Complete mitochondrial genome of the euryhaline monogonont rotifer <i>Brachionus paranguensis</i> (Rotifera, Brachionidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 502 ~ 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2019.1704655	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 該当する

1. 著者名 Choi Beom-Soon, Lee Young Hwan, Lee Jin-Sol, Ogello Erick O., Kim Hee-Jin, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 5
2. 論文標題 Complete mitochondrial genome of the freshwater monogonont rotifer <i>Brachionus rubens</i> (Rotifera, Brachionidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 5~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2019.1694853	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 該当する

1. 著者名 Han Chengyan, Kim Hee-Jin, Lee Jae-Seong, Sakakura Yoshitaka, Hagiwara Atsushi	4. 巻 277
2. 論文標題 Species-specific effects of iron on temperate and tropical marine rotifers in reproduction, lipid and ROS metabolisms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 130317 ~ 130317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2021.130317	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 該当する

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Chengyan Han, Hee-Jin Kim, Yoshitaka Sakakura, Atsushi Hagiwara
2. 発表標題 Zinc effects on the male performance and sexual reproduction of the marine rotifer <i>Brachionus rotundiformis</i>
3. 学会等名 日本水産学会春季大会 (国際セッション) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Han Chengyan, Kim Hee-Jin, Hagiwara Atsushi
2. 発表標題 Effects of iron compounds on sexual and asexual reproduction in the marine rotifer <i>Brachionus plicatilis</i>
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会 2021年3月27日 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

水産増殖学研究室 萩原篤志  
http://www2.fish.nagasaki-u.ac.jp/FISH/KYOUKAN/hagiwara/index.htm  
Laboratory of Aquaculture Biology A. Hagiwara  
http://www2.fish.nagasaki-u.ac.jp/FISH/KYOUKAN/hagiwara/index-e.html

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	金 禧珍  (Kim Heejin)  (10823437)	長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・准教授   (17301)	

	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
研究協力者	リー ジェソン  (Lee Jae-Seong)		
研究協力者	カガリ ロバート・ネスタ  (Kagali Robert Nesta)		
研究協力者	ラスディ ナディア  (Rasdi Nadiah)		

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