

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03862

研究課題名(和文)動物プランクトンの遊泳行動と仔魚用餌料としての性能評価

研究課題名(英文)Swimming behavior of zooplankton and its dietary value for fish larvae

研究代表者

萩原 篤志 (HAGIWARA, Atsushi)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・教授

研究者番号：50208419

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：有用海産魚類の種苗生産において初期餌料生物として用いられるワムシ類を対象とし、本分類群の遊泳行動を活性化することにより、これを摂餌する仔魚の健康度向上に繋げることを目的とした。マサバのアラを餌料源(FWD)とした場合、ワムシの最高到達密度が1190個体/mLとなり、栄養強化を行わなくてもDHA、EPA含量は仔魚の必須レベルを満たした。市販のプロバイオティクスの添加によってさらにワムシ密度が上がり、遊離アンモニアや有害細菌の増加を抑えて安定的な培養が可能であった。このときワムシの平均遊泳速度も25-58%増加した。FWDで培養したワムシを給餌したところ、キス仔魚の成長が早くなる傾向がみられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通じて、栄養状態が良いワムシは、悪環境からの逃避の際に、通常とは異なる大変活発な行動を示すことが明らかになってきた。カイアシ類やミジンコのように、ワムシも不規則で複雑な遊泳行動を示すようにでき、天然餌料に匹敵する餌料価値を付加することが可能と考えられる。世界人口の増加と食料不足が顕在化し、栄養価に優れた魚介類養殖への期待が高まっている。途上国を中心として海面養殖への期待は大きい。稚魚の生産コストが高いため、普及が遅れている。本研究の経過で付随的に開発に成功したワムシの低コスト培養技術は、途上国の海水養殖の普及に大きく役立つものである。

研究成果の概要(英文)：I conducted a study to improve the health of fish larvae by feeding rotifers with higher activity in their swimming behavior. Using fish waste from Chub mackerel as a food source (FWD), the highest density of rotifers reached to 1190 individuals/mL, and the DHA and EPA contents met the essential levels for the larvae without nutritional enrichment. The density was further increased by adding commercial probiotics, and stable culture was possible by suppressing the increase of free ammonia and harmful bacteria. The average swimming speed of the larvae increased by 25-58%, and the growth of the Japanese whiting larvae tended to be faster when they were fed with FWD-cultured rotifers.

研究分野：水産増殖学

キーワード：養殖 種苗生産 餌料生物 ワムシ類 カイアシ類 遊泳行動 生理活性物質 仔魚

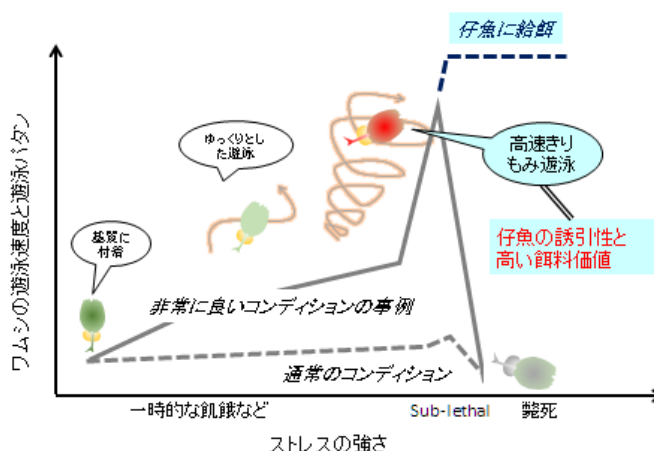
1. 研究開始当初の背景

日本の人工種苗生産技術は、世界の中でも特に高度化が進んでいる。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)等の動物プランクトンの培養技術と、高度不飽和脂肪酸やタウリン等の栄養強化で精鋭化された集約的な技術体系は、多くの魚種で高い成長速度と生残を伴う稚魚の量産を実現してきた。この技術は ODA 活動を通じて国外でも長年普及に努めてきたが、世界の食料生産の中心となる東南アジアやアフリカ等の開発途上国では、コスト面や設備面で導入が困難で、あまり普及していない。一方、日本国内では、稚魚量産が可能になったものの、生産した種苗の形態や行動の異常など、種苗の質に関する問題が頻発している。

ところで 1960,70 年代の日本のワムシ培養と海産魚種苗生産技術開発の黎明期には、ワムシ培養槽に魚のアラや鶏ガラ、鶏糞等を投入した培養が行われた例がある。この方法は、現在普及しているような高密度量産培養はできないが、低コストであり、生産されたワムシは現在のワムシ量産培養ではあり得ないような活発な遊泳と高い繁殖活性を有していた。これは、代表的な天然餌料であるカイアシ類(特にコペポダイト期)に匹敵するものであった。

当研究室では、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(不規則で複雑な速い動き)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。一方、栄養的に等価の配合飼料(沈降運動のみ)では仔魚の摂餌、成長共に最も劣った。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(右図)。

ワムシの活発な遊泳行動が誘起される推定メカニズム



2. 研究の目的

集約的な海産魚介類の種苗生産で用いられる汎用餌料生物(ワムシとアルテミア)は、コストが高い上、仔魚の活力や形態、行動等からみた餌料効果も天然餌料に及ばない例が多い。本研究では、汎用餌料の低コスト化(特にワムシ)と餌料価値の向上、ならびに国内外の実情に合わせた餌料系列作成を目的とする。そのために、1)ワムシの安定で低コストの培養技法の確立、2)培養の安定化と餌料生物が示す優れた指標行動と「鍵物質」(必須微量元素、アミノ酸等を想定)の特定、3)環境制御と「鍵物質」添加による餌料生物や非生物餌料の機能強化に取り組み、4)これらを仔魚に給餌して、餌料としての性能を評価する。

3. 研究の方法

(1) 魚のアラを用いた低コスト培養

1960,70 年代に国内で行われていた、魚のアラ(本研究ではマサバを使用、fish waste diet, 以下 FWD と略)を餌料源として、SS 型ワムシ(*Brachionus rotundiformis*)と超小型ワムシ(*Proales similis*)を対象とした再現試験を試み、培養の可否とワムシの諸性状を求めた。同様の検討をカイアシ類についても行った。

(2) ワムシ培養の安定化と遊泳行動に影響を与える因子

プロバイオティクスの添加によるワムシの培養安定化と行動への影響、アスタキサンチン添加による遊泳行動への影響、ワムシの活力向上に効果があると推測される不飽和脂肪酸の生合成について検討した。また、微細藻類の *Nannochloropsis oculata* で培養しているワムシに 2 種のプロバイオティクス製品(PB1、PB2)を添加し、ワムシの遊泳行動に与える影響を検討した。

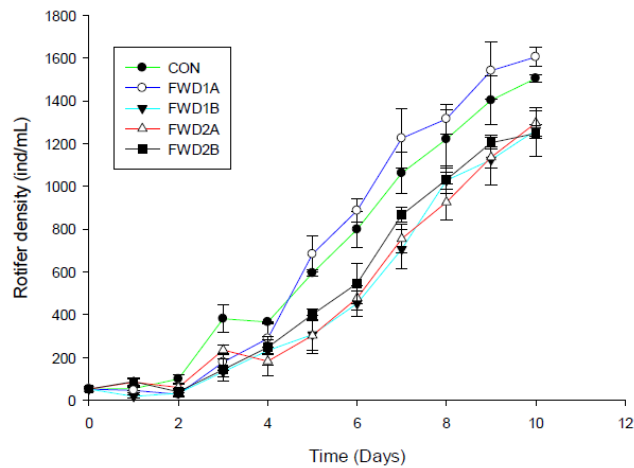
(3) 仔魚飼育

FWD を餌料とした SS 型ワムシの量産培養を実施し、これを給餌することによって 100L 水槽内で *Sillago japonica* 仔魚の飼育実験を行った。仔魚の成長と生残を 10 日令まで求めた。

4. 研究成果

(1) 魚のアラを用いた低コスト培養

ワムシ: *Brachionus rotundiformis* (SS-type) では、FWD に小麦粉を混合することによって、最高密度 (1188 ± 67.7 個体/mL) となり、再現性も最も高かった ($CV7.47 \pm 1.68\%$)。これらは、汎用されている市販の微細藻 *Chlorella vulgaris* の単独給餌時よりも優れていた。培養水中には *Pseudomonas* sp. ほか 3 種の細菌が優占した。FWD の給餌でワムシは DHA 0.35、EPA 0.39 mg/g 含有し、DHA/EPA 比は 0.9 で高い餌料価値を示した。次に、FWD を 0~0.5 g/L とし、超小型ワムシ *Proales similis* の培養を比較したところ、FWD 0.75g/L (微細藻無添加) によりワムシの増殖は最大となり、最高到達密度は 1,605 個体/mL であった (右図)。以上では、FWD の分解に起因すると判断される粒径 2.5 ミクロン以下の粒子が増加し、細菌と FWD 分解物が餌料源になっていると推察された。以上を通じ、40-50 年前に国内で一般的に見られたワムシの粗放培養を再現できたが、活発で不規則な遊泳行動を再現するには至らなかった。



Growth performance of *Proales similis* under five different culture conditions (mean \pm SD, n=3). CON: *N. oculata* 2.5×10^6 cells ml^{-1} ; FWD1A: 0.75g/L fish waste diet; FWD1B: 0.75g/L fish waste diet + *N. oculata* 2.5×10^5 cells ml^{-1} ; FWD2A: 0.5g/L fish waste diet; FWD2B: 0.5g/L fish waste diet + *N. oculata* 2.5×10^5 cells ml^{-1}

カイアシ類: ワムシに比べ高い遊泳能力をもつカイアシ類については、鶏糞抽出液 (CME) 添加により、既報のハルパクス目の *Tigriopus japonicus* と同様に、カラヌス目の *Eurytemora affinis* についても個体群増殖を増大できる (1.3 倍) ことを確認した。T. japonicus に対する CME 添加のメカニズムを検討した結果、CME 中に含有する $0.22 \mu m$ 以下の大きさの物質 (E2 以外) が、T. japonicus の繁殖に効果を与えていることが分かった。

(2) ワムシ培養の安定化と遊泳行動に影響を与える因子

ワムシの餌料として微細藻類の *Nannochloropsis oculata* (対照として使用) を用い、これに市販のプロバイオティクス 2 種 (PB1、PB2) を添加した。その結果、PB1 の併用によって、対照に比べてワムシの増殖率と最高到達密度が上昇した。このとき遊離アンモニア濃度は毒性を示すレベルに達することはなく、ワムシ培養が安定化した。両性生殖の誘導には顕著な変化がなかった。ワムシの平均遊泳速度は 0.6 (対照)、0.75 (PB1)、0.95 mm/s (PB2) で、PB1 投与のとき最大速度 1.6 mm/s を示した。プロバイオティクスを投与しない場合、ワムシはシヌオシティ値 (sinuosity; 正弦係数) が大きく、絶えず方向転換を繰り返したが、PB1 と PB2 投与では逆に直線運動が多くなる傾向がみられた。また、アスタキサンチン添加 (20 $\mu g/mL$) によってワムシの遊泳速度が対照よりも速くなり、水温 30 $^{\circ}C$ では 1.2 倍上昇した。

ワムシは 8 種類の不飽和化酵素遺伝子を有し、系統解析により、それぞれ 2, 5, 1 種類の 4, 5/6, 9 不飽和化酵素に分類された。微細藻の *Tetraselmis suecica* を給餌したときのワムシの脂肪酸組成は、T. suecica の脂肪酸組成と比較して、より多くの種類の脂肪酸を含むことが分かった。

(3) 仔魚飼育

孵化から 10 日令までのキス *Sillago japonica* 仔魚の成長と生残は、対照 (クロレラ給餌ワムシ) と FWD 給餌ワムシとの間に有意差がみられなかったが、仔魚の全長は FWD 区の方が大きくなった。FWD 給餌とクロレラ給餌で飼育した仔魚の全脂肪酸中の DHA 含量はそれぞれ 35.2%、18.2% で、FWD が低コストかつ優れた餌料源になることがここでも確認された。

さらに、遊泳活性の高いワムシを摂餌した仔魚の健全性 (行動、形態) に関わる分子機構の解明を目指し、研究室でモデル魚として飼育している、自家受精魚のマングローブキリフィッシュ *Kryptolebias hermaphroditus* の全ゲノム解析を実施した。ゲノムサイズは 683Mbp、遺伝子数は 36,756 であった。今後、仔魚の健全な発育の指標となる遺伝子解析に活用していくことが可能となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計35件（うち査読付論文 34件 / うち国際共著 17件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hagiwara Atsushi, Marcial Helen S.	4. 巻 844
2. 論文標題 The use of non-Brachionus plicatilis species complex rotifer in larviculture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Hydrobiologia	6. 最初と最後の頁 163 ~ 172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10750-018-3837-z	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 Kagali Robert Nesta, Kim Hee-Jin, Koga Terumi, Sakakura Yoshitaka, Hagiwara Atsushi	4. 巻 844
2. 論文標題 Effect of two commercial probiotic products on population growth of rotifer Brachionus rotundiformis Tschugunoff	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Hydrobiologia	6. 最初と最後の頁 173 ~ 182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10750-018-3852-0	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 Choi Beom-Soon, Lee Young Hwan, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 4
2. 論文標題 Complete mitochondrial genome of the freshwater monogonont rotifer Brachionus calyciflorus (Rotifera, Brachionidae)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 3593 ~ 3595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2019.1676679	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 Choi Beom-Soon, Lee Young Hwan, Hwang Dae-Sik, Ma Chae Woo, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 4
2. 論文標題 Complete mitochondrial genome of the marine mysid Neomysis awatschensis (Mysida, Mysidae)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 3372 ~ 3373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2019.1673238	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 Wullur S, Ginting E L, Waraow V, Rumengan I F M, Ogello E O, Hagiwara A	4. 巻 567
2. 論文標題 Growth response of rotifers on a bacterial-based diet made from fishwastes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 012030 ~ 012030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/567/1/012030	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 Ogello E O, Wullur S, Hagiwara A	4. 巻 567
2. 論文標題 Blending fishwastes and chicken manure extract as low-cost and stable diet for mass culture of freshwater zooplankton, optimized for aquaculture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 012022 ~ 012022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/567/1/012022	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 Jeong Chang-Bum, Lee Young Hwan, Park Jun Chul, Kang Hye-Min, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 225
2. 論文標題 Effects of metal-polluted seawater on life parameters and the induction of oxidative stress in the marine rotifer <i>Brachionus koreanus</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology	6. 最初と最後の頁 108576 ~ 108576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbpc.2019.108576	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 Kim Hee-Jin, Yamade Takahiro, Iwasaki Keisuke, Marcial Helen S., Hagiwara Atsushi	4. 巻 518
2. 論文標題 Phototactic behavior of the marine harpacticoid copepod <i>Tigriopus japonicus</i> related to developmental stages under various light conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	6. 最初と最後の頁 151183 ~ 151183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquatox.2019.105230	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 Han Jeonghoon, Park Jun Chul, Choi Beom-Soon, Kim Min-Sub, Kim Hui-Su, Hagiwara Atsushi, Park Heum Gi, Lee Bo-Young, Lee Jae-Seong	4. 巻 214
2. 論文標題 The genome of the marine monogonont rotifer <i>Brachionus plicatilis</i> : Genome-wide expression profiles of 28 cytochrome P450 genes in response to chlorpyrifos and 2-ethyl-phenanthrene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aquatic Toxicology	6. 最初と最後の頁 105230 ~ 105230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2019.1644558	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 Choi Beom-Soon, Han Jeonghoon, Hwang Dae-Sik, Souissi Sami, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 4
2. 論文標題 Complete mitochondrial genome of the calanoid copepod <i>Eurytemora affinis</i> (Calanoida, Temoridae)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B	6. 最初と最後の頁 2731 ~ 2733
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2019.03.001	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, Park Jun Chul, Yoon Deok-Seo, Choi Hyuntae, Kim Hee-Jin, Shin Kyung-Hoon, Hagiwara Atsushi, Han Jeonghoon, Park Heum Gi, Lee Jae-Seong	4. 巻 30
2. 論文標題 Genome-wide characterization and expression of the elongation of very long chain fatty acid (Elovl) genes and fatty acid profiles in the alga (<i>Tetraselmis suecica</i>) fed marine rotifer <i>Brachionus koreanus</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 179 ~ 185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12562-018-01286-9	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, Hagiwara Atsushi, Park Heum Gi, Lee Jae-Seong	4. 巻 85
2. 論文標題 Genome-wide identification and expression of eight fatty acid desaturase genes, and the fatty acid profile, in the marine rotifer <i>Brachionus koreanus</i> fed the alga <i>Tetraselmis suecica</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 397 ~ 406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2018.12.043	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, Park Jun Chul, Yoon Deok-Seo, Choi Hyuntae, Shin Kyung-Hoon, Kim Hee-Jin, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 503
2. 論文標題 Lipid metabolism modulation by five different food types in the monogonont marine rotifer <i>Brachionus koreanus</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 596 ~ 601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2018.12.001	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 Han Jeonghoon, Park Jun Chul, Hagiwara Atsushi, Park Heum Gi, Lee Jae-Seong	4. 巻 29
2. 論文標題 Identification of the full 26 cytochrome P450 (CYP) genes and analysis of their expression in response to benzo[]pyrene in the marine rotifer <i>Brachionus rotundiformis</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 185 ~ 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2018.09.012	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 Sakakura Y., Yamazaki W., Takakuwa Y., Sumida T., Takebe T., Hagiwara A.	4. 巻 498
2. 論文標題 Flow field control in marine fish larviculture tanks: lessons from groupers and bluefin tuna in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 513 ~ 521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11233/aquaculturesci.67.347	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 菊池 学、山出 貴弘、金 禧珍、阪倉 良孝、萩原 篤志	4. 巻 67
2. 論文標題 海産カイアシ類 <i>Tigriopus japonicus</i> の生残、発育、繁殖に対する鶏糞抽出液の添加効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 水産増殖	6. 最初と最後の頁 347 ~ 355
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 -

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 1005
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 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 Atsushi Hagiwara, Helen Marcial	4. 巻 -
2. 論文標題 The use of non- <i>Brachionus plicatilis</i> species complex rotifer in larviculture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Hydrobiologia	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10750-018-3837-z	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 Robert Kagali, Hee-Jin Kim, Terumi Koga, Yoshitaka Sakakura, Atsushi Hagiwara	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of two commercial probiotic products on population growth of rotifer <i>Brachionus rotundiformis</i> Tschugunoff	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Hydrobiologia	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10750-018-3852-0	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 Wullur, S., Kumagai, S., Sakakura, Y., Hagiwara, A.	4. 巻 11
2. 論文標題 Assessment of different minute zooplankton in the larval rearing of rusty angelfish <i>Centropyge ferrugata</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AAFL Bioflux	6. 最初と最後の頁 1495-1501
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 Jun Chul Park, Duck-Hyun Kim, Min-Chul Lee, Jeonghoon Han, Hee-Jin Kim, Atsushi Hagiwara, Un-Ki Hwang, Heum Gi Park, Jae-Seong Lee	4. 巻 28
2. 論文標題 Genome-wide identification of the entire 90 glutathione S-transferase (GST) subfamily genes in four rotifer <i>Brachionus</i> species and transcriptional modulation in response to endocrine disrupting chemicals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Comp. Biochem. Physiol., Part D	6. 最初と最後の頁 183-195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2018.09.003	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 Bo-Young Lee, Min-Chul Lee, Chang-Bum Jeong, Hee-Jin Kim, Atsushi Hagiwara, Sami Souissi, Jeonghoon Han, Jae-Seong Lee	4. 巻 28
2. 論文標題 RNA-Seq-based transcriptome profiling and expression of 16 cytochrome P450 genes in the benzo[_a]pyrene-exposed estuarine copepod <i>Eurytemora affinis</i> .	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Comp. Biochem. Physiol., Part D	6. 最初と最後の頁 142-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2018.08.002	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 Hee-Jin Kim, Jae-Seong Lee, Atsushi Hagiwara	4. 巻 497
2. 論文標題 Phototactic behavior of live food rotifer <i>Brachionus plicatilis</i> species complex and its significance in larviculture: A review.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 253-259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2018.07.070	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 Chengyan Han, Hee-Jin Kim, Koushirou Suga, Mingyou Li, Atsushi Hagiwara	4. 巻 87
2. 論文標題 Comparison of resting egg gene expression with different hatchability related to salinity variations in the marine rotifer <i>Brachionus manjavacas</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 663-669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12562-018-1213-6	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 Robert Kagali, Erick Ochieng Ogello, Yoshitaka Sakakura, Atsushi Hagiwara	4. 巻 49
2. 論文標題 Fish-processing wastes as an alternative diet for culturing the minute rotifer <i>Proales similis</i> de Beauchamp	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Aquaculture Research	6. 最初と最後の頁 2477-2485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/are.13707	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 Hye-Min Kang, Jin-Sol Lee, Min-Sub Kim, Young Hwan Lee, Jee-Hyun Jungb, Atsushi Hagiwara, Bingsheng Zhou, Jae-Seong Lee, Chang-Bum Jeong	4. 巻 201
2. 論文標題 Genome-wide identification of 99 autophagy-related (Atg) genes in the monogonont rotifer <i>Brachionus</i> spp. and transcriptional modulation in response to cadmium.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Aquatic Toxicology	6. 最初と最後の頁 73-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquatox.2018.05.021	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 Chengyan HAN, Hee-Jin KIM, Mingyou LI and Atsushi HAGIWARA	4. 巻 66
2. 論文標題 Usability of selenium fortified <i>Chlorella</i> diet for rotifer resting egg production and hatching	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Aquaculture Science	6. 最初と最後の頁 111-116
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 該当する

1. 著者名 Kim Hui-Su, Lee Bo-Young, Han Jeonghoon, Jeong Chang-Bum, Hwang Dae-Sik, Lee Min-Chul, Kang Hye-Min, Kim Duck-Hyun, Kim Hee-Jin, Papakostas Spiros, Declerck Steven A. J., Choi Ik-Young, Hagiwara Atsushi, Park Heum Gi, Lee Jae-Seong	4. 巻 18
2. 論文標題 The genome of the freshwater monogonont rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Molecular Ecology Resources	6. 最初と最後の頁 646-655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1755-0998.12768	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, Park Jun Chul, Yoon Deok-Seo, Han Jeonghoon, Kang Sujin, Kamizono Shohei, Om Ae-Son, Shin Kyung-Hoon, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 8
2. 論文標題 Aging extension and modifications of lipid metabolism in the monogonont rotifer <i>Brachionus koreanus</i> under chronic caloric restriction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-20108-7	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 Han Jeonghoon, Kim Duck-Hyun, Kim Hui-Su, Kim Hee-Jin, Declerck Steven A.J., Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 25
2. 論文標題 Genome-wide identification of 31 cytochrome P450 (CYP) genes in the freshwater rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i> and analysis of their benzo[]pyrene-induced expression patterns	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 26 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2017.10.003	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 486
2. 論文標題 Composting fishwastes as low-cost and stable diet for culturing <i>Brachionus rotundiformis</i> Tschugunoff (Rotifera): Influence on water quality and microbiota	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 232 ~ 239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2017.12.026	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 Hui-Su, Hwang Dae-Sik, Kim Hee-Jin, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong, Jeong Chang-Bum	4. 巻 252
2. 論文標題 Genome-wide identification of nuclear receptor (NR) genes and the evolutionary significance of the NR10 subfamily in the monogonont rotifer <i>Brachionus</i> spp.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 General and Comparative Endocrinology	6. 最初と最後の頁 219 ~ 225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ygcen.2017.06.030	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 Le Duy V.B., Nguyen Phuoc N., Dierckens Kristof, Nguyen Dung V., De Schryver Peter, Hagiwara Atsushi, Bossier Peter	4. 巻 476
2. 論文標題 Growth performance of the very small rotifer <i>Proales similis</i> is more dependent on proliferating bacterial community than the bigger rotifer <i>Brachionus rotundiformis</i>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 185 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2017.03.046	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, Iwabuchi Mutsumi, Sakakura Yoshitaka, Hagiwara Atsushi	4. 巻 83
2. 論文標題 Comparison of low temperature adaptation ability in three native and two hybrid strains of the rotifer <i>Brachionus plicatilis</i> species complex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 65 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12562-016-1045-1	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 Kim Hui-Su, Han Jeonghoon, Kim Hee-Jin, Hagiwara Atsushi, Lee Jae-Seong	4. 巻 23
2. 論文標題 Identification of 28 cytochrome P450 genes from the transcriptome of the marine rotifer <i>Brachionus plicatilis</i> and analysis of their expression	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbd.2017.04.005	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

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Atsushi Hagiwara, Helen Marcial
2. 発表標題 The use of non- <i>Brachionus plicatilis</i> species complex rotifer in larviculture
3. 学会等名 XVth International Rotifer Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋原篤志
2. 発表標題 動物プランクトンの生物機能研究と水産増養殖への応用
3. 学会等名 第89回日本農学大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋原篤志
2. 発表標題 餌料生物の行動と餌料価値
3. 学会等名 第16回 種苗生産技術交流会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多賀須誠輝, 脇村尚至, 阪倉良孝, 秋原篤志
2. 発表標題 極小ワムシProales similisの増殖と培養槽の形状の関係
3. 学会等名 平成30年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊優音, 阪倉良孝, 小林孝幸, 福田裕章, 渥美欣也, 秋原篤志
2. 発表標題 シオミズツボワムシBrachionus plicatilis sp. complexに対する微細藻類Pseudococcomyxa sp. KJ株の餌料価値
3. 学会等名 平成30年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Robert Nesta Kagali, Yoshitaka Sakakura, Atsushi Hagiwara
2. 発表標題 The potential of fish processing waste as a low-cost and stable diet for the live foods.
3. 学会等名 平成31年度日本水産学会春季大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Yamade, Hee-Jin Kim, Yoshitaka Sakakura, Atsushi Hagiwara
2. 発表標題 Effect of astaxanthin on phototaxis of marine copepod <i>Tigriopus japonicus</i> related to developmental stages
3. 学会等名 平成31年度日本水産学会春季大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aung Naing Win, Takamasa Hasegawa, Kentaro Higuchi, Toshinori Takashi, Koichiro Gen, Atsushi Hagiwara, Yoshitaka Sakakura
2. 発表標題 Effect of tank proportions on survival and growth of red sea bream <i>Pagrus major</i> and Pacific bluefin tuna <i>Thunnus orientalis</i> larvae
3. 学会等名 平成31年度日本水産学会春季大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Robert Nesta Kagali, Hee-Jin Kim, Yoshitaka Sakakura, Atsushi Hagiwara
2. 発表標題 Effect of two commercial probiotic products on population growth of <i>Brachionus rotundifolium</i> (ss-type)
3. 学会等名 15th International Rotifer Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Yamade, Hee-Jin Kim, Yoshitaka Sakakura and Atsushi Hagiwara
2. 発表標題 Phototactic behaviors of marine copepod <i>Tigriopus japonicus</i> related to developmental stages
3. 学会等名 日本水産学会創立85周年記念国際シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Erick Ochieng Ogello, Stenly Wullur and Atsushi Hagiwara
2. 発表標題 Composting fishwastes as a low-cost and stable diet for mass culture of <i>Brachionus rotundiformis</i> Tschubunoff (Rotifera)
3. 学会等名 日本水産学会創立85周年記念国際シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H.-J. Kim and A. Hagiwara
2. 発表標題 Phototactic behavior of live food zooplanktons and its significance in larviculture
3. 学会等名 Larvi2017 fish & shellfish larviculture symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 E.O. Ogello, S. Wullur and A. Hagiwara
2. 発表標題 Blending fishwastes and chicken manure extract as a low-cost and stable diet for planktonic live food production
3. 学会等名 Larvi2017 fish & shellfish larviculture symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Wullur, D.Dewanto, I.F.M. Rumengan, E.O.Ogello and A. Hagiwara
2. 発表標題 A simple and low-cost technique for culturing Rotifera without microalgae
3. 学会等名 Larvi2017 fish & shellfish larviculture symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 L.V.B. Duy, N.N. Phuoc, K.Dierchens, N.V. Dung, P.De Schryver, A.Hagiwara and Bossier
2. 発表標題 Growth performance of the very small rotifer PROALES SIMILIS is more dependent on proliferating bacterial community than the bigger rotifer BRACHIONUS ROTUNDIFORMIS
3. 学会等名 Larvi2017 fish & shellfish larviculture symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池学, 山出貴弘, 阪倉良孝, 萩原篤志
2. 発表標題 海産カイアシ類2種の増殖に対する鶏糞抽出液の添加効果
3. 学会等名 平成30年度 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kagali R.N., 阪倉良孝, 萩原篤志
2. 発表標題 魚類廃棄物がProales similisの個体群増殖に与える影響
3. 学会等名 平成30年度 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮里憲太郎, 松本尚子, 小林弘吉, 阪倉良孝, 萩原篤志
2. 発表標題 汽水産ミジンコ <i>Diaphanosoma celebensis</i> の雄の出現機構と交尾行動について
3. 学会等名 平成30年度 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kagali R.N., Y. Sakakura, A. Hagiwara
2. 発表標題 Effects of fish wastes diet on the population growth of euryhaline rotifer <i>Proales</i>
3. 学会等名 XVth International Rotifer Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Hagiwara, H. Marcial
2. 発表標題 Use of non- <i>Brachionus plicatilis</i> rotifer in larviculture
3. 学会等名 XVth International Rotifer Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Atsushi Hagiwara, Tatsuki Yoshinaga (eds)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 180
3. 書名 Rotifers: Aquaculture, Ecology, Gerontology, and Ecotoxicology	

1. 著者名 Atsushi Hagiwara, Hee-Jin Kim, Helen Marcial	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 12
3. 書名 Mass Culture and Preservation of Brachionus plicatilis sp. complex. In: Rotifers. Eds by Hagiwara and Yoshinaga	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ワムシの変異系統の作出方法、ワムシの変異系統、および重イオンビームの判定方法	発明者 萩原篤志他11名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-015899	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>長崎大学 水産増殖学研究室 萩原篤志 http://www2.fish.nagasaki-u.ac.jp/FISH/KYOUKAN/hagiwara/index.htm http://www2.fish.nagasaki-u.ac.jp/FISH/KYOUKAN/hagiwara/index-e.html</p>

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
連携研究者	阪倉 良孝 (SAKAKURA Yoshitaka) (20325682)	長崎大学・水産・環境科学総合研究科・教授 (17301)	
連携研究者	菅 向志郎 (SUGA Koushirou) (60569185)	長崎大学・水産・環境科学総合研究科・教授 (17301)	

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			
インドネシア	サムラトランギ大学			
韓国	成均館大学校			
ケニア	マセノ大学	ジョモケニヤッタ大学	ケニア国立海洋水産研究所	