

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15908

研究課題名(和文)カイアシ類は多価不飽和脂肪酸の一次生産者として機能するか？

研究課題名(英文)The role of copepods as primary producers of polyunsaturated fatty acids

研究代表者

壁谷 尚樹 (Kabeya, Naoki)

東京海洋大学・学術研究院・助教

研究者番号：90758731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：小型の甲殻類であるカイアシ類が保持する多価不飽和脂肪酸(PUFA)の合成能を解析することで、カイアシ類がPUFAの一次生産者として機能し得るかを検討した。PUFAの中にはエイコサペンタエン酸(EPA)やドコサヘキサエン酸(DHA)など多くの動物にとって生理学的に必須な栄養素も含まれるが、EPAやDHAは現状そのほぼ全てが海洋由来である。従って、海洋におけるこれら栄養素の生産過程について明らかにすることは重要である。本研究では、カイアシ類の中でも特定の種において、EPAやDHAを含む様々なPUFAの高い合成能が確認され、一部のカイアシ種は海洋においてPUFAの生産者となり得ることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

EPAやDHAは人にとっても重要な栄養素であることが知られている。現状これら栄養素のほとんどは海洋由来であり、海洋生態系においてどのようにこれら栄養素が作り出されるのかを明らかにすることは、これら栄養素を今後持続的に得るために重要な基礎情報となる。これまで、EPAやDHAは基本的に微細藻類などによって合成され、食物連鎖の過程で高次の消費者に蓄積されていくと考えられてきた。本研究では、小型甲殻類であるカイアシの一種から微細藻類と同等のEPAやDHAの生合成経路を有する種を見出した。このことは、海洋におけるEPAやDHAの生産について大幅な見直しが必要であることを示している。

研究成果の概要(英文)：The biosynthetic capabilities of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in copepods were elucidated in the present project. The copepods were tiny crustacean species mainly inhabiting in the aquatic environment. Some PUFA such as eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) are physiologically essential nutrients for many animals, although most of EPA and DHA are originated from marine environment. Therefore, understanding PUFA production mechanism in the marine ecosystem is important. In the present project, we have confirmed that particular species within copepods possessed high biosynthetic capabilities of PUFA including EPA and DHA, and hence those species could be primary producers of PUFA in the marine ecosystem.

研究分野：水産生物栄養学

キーワード：カイアシ 多価不飽和脂肪酸 EPA DHA 生合成

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海産魚類には多価不飽和脂肪酸(PUFA)が豊富に含まれていることが知られているが、これら生物は PUFA を自ら生合成しているわけではなく、主に微細藻類や原生生物、菌類が一次生産した PUFA を、食物連鎖を介して利用・蓄積しているに過ぎない。そのため、海洋生態系における PUFA の一次生産のほぼ全てを上記の生物群が担っていると考えられてきた。しかし実際には、一次生産者から高次消費者である魚類等に PUFA がたどり着くまでの間に無数の小型動物が関わっており、これらの PUFA 生産能が明らかでない以上、PUFA 一次生産者が上記生物群だけであるとするのは推測の域を出ない。そこで本研究は、小型動物の代表であるカイアシ類に着目した。カイアシ類は海洋において大量に存在しており、様々な生物の主要な餌料となっている。また、生理学的に重要なエイコサペンタエン酸 (EPA) やドコサヘキサエン酸 (DHA) などを高濃度で含有しているにも関わらず、その PUFA 生合成能はほとんど分かっておらず、餌由来の PUFA を蓄積しているに過ぎないと考えられてきた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的を、カイアシ類の PUFA 生合成能を解析することで、これら種が海洋生態系における PUFA の生産者として機能し得るかどうかを明らかにすることとした。

### 3. 研究の方法

PUFA 生合成経路には、図1に示す通り、複数の酵素が関与している。大きく分けると、

脂肪酸生合成酵素等による飽和脂肪酸の *de novo* 生合成から、最初の二重結合が導入されオレイン酸が合成されるまでの経路。

オレイン酸に対して、 $\omega$ x 不飽和化酵素の働きにより二重結合が順次導入され、リノール酸 (LA) および  $\alpha$ -リノレン酸 (ALA) といった PUFA が生合成される経路。

LA や ALA を起点として、Front-end 不飽和化酵素、鎖長延長酵素が順次働くことにより、各種中間産物を経てアラキドン酸 (ARA) や EPA・DHA 等の長鎖多価不飽和脂肪酸 (LC-PUFA) が生合成される経路。

本研究では、特に PUFA 生合成に直接関わるこの経路に関わる酵素遺伝子 ( $\omega$ x 不飽和化酵素、Front-end 不飽和化酵素、鎖長延長酵素) を対象として、その単離および機能解析を行った。なお、この経路は基本的にほぼ全ての真核生物が保持する経路であるため、本研究では特に解析を行わなかった。上記を踏まえた上で、我々は本研究において以下に示す4点を行うことにより、カイアシ類が PUFA 生産者として機能し得るか解析することとした。

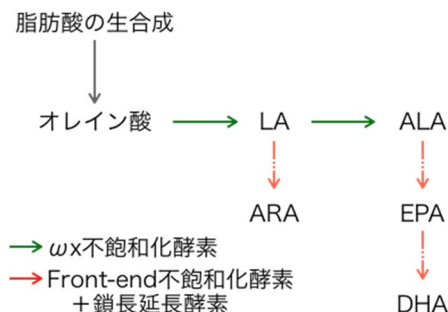


図1. PUFA 生合成経路 (概略)

### I. カイアシ類 PUFA 代謝酵素遺伝子様配列の網羅的単離と系統解析

特定の種の PUFA 生合成能を完全に理解するためには、生合成経路に関わると考えられる酵素遺伝子を漏れなく単離することが必要である。そのため、NCBI 等の核酸配列データベースに登録されているカイアシ類のゲノムやトランスクリプトームといった大規模解析データから PUFA 代謝酵素遺伝子様配列を PSI-BLAST や HMMER 等を用いて網羅的に探索した。得られた配列を用いて、最尤法やベイズ法等により分子系統樹を作成し、遺伝子の分類群ごとの分布や、他種との関係性を明らかにした。

### II. PUFA 代謝酵素遺伝子の活性解析

PUFA 代謝酵素の活性解析を行う種は餌生物として重要であると考えられる浮遊性や底生の種に限定した。具体的には、カラヌス目 (Calanoida)、ケンミジンコ目 (Cyclopoida)、ソコムジンコ目 (Harpacticoida) 等に属する分類群を対象とした。PUFA 代謝酵素の活性解析は、出芽酵母を用いた異所的発現法により実施した。

### III. 飼育試験

購入・飼育可能である種を対象に、従来の PUFA 一次生産者である微細藻類等と、それを捕食するカイアシ類という生態系を想定し、以下の条件下における脂肪酸組成や PUFA 生合成系を比較・解析することで、カイアシ類が PUFA の一次生産的に機能しているのかを考察した。特に本研究では、脂肪酸組成の異なる微細藻類を試験餌料とした (DHA 含有・不含有など)。

### IV. 安定同位体標識脂肪酸を用いた PUFA 生合成能の解析

安定同位体で標識したオレイン酸 (OA) をリポソームに封入し、対象のカイアシ種に投与することで、カイアシ体内における PUFA 生合成の追跡を行った。安定同位体比の分析には LC/MS を用いた。

#### 4. 研究成果

まず各種のカイアシにおける多価不飽和脂肪酸生合成能の多様性を確認するため、NCBI 等のデータベースに登録されているカイアシ類のゲノムやトランスクリプトームなどの解析データから、多価不飽和脂肪酸 (PUFA) の生合成に関わると予測される遺伝子の網羅的な単離を行った。その結果、カイアシ類の中でも特に、**Harpacticoida**、**Cyclopoida**、**Siphonostomatoida** といった分類群の種において、不飽和化酵素遺伝子や鎖長延長酵素遺伝子のコピー数の増大や、配列の多様化が起こっていることが明らかとなった。**Siphonostomatoida** は主に寄生性のカイアシが属するグループであるが、残りの2種は底生あるいは浮游性の種であり、高次消費者の餌生物としても重要であるため、本研究では特に、**Harpacticoida** および **Cyclopoida** に属するカイアシに注目することとした。続いて、**Harpacticoida** を代表する種として、ゲノム情報やトランスクリプトーム情報が豊富な **Tigriopus californicus** を対象とし、各種不飽和化酵素遺伝子および鎖長延長酵素遺伝子の単離を行った。さらに、得られた遺伝子の機能解析を、酵母を用いた異所的発現法により行い、この種がステアリン酸等の飽和脂肪酸 (SFA) からドコサヘキサエン酸 (DHA) を含む長鎖多価不飽和脂肪酸 (LC-PUFA) を生合成するために必要な全ての遺伝子を保持していることを明らかにした。また、様々なオメガ 6 系 PUFA を対応するオメガ 3 系 PUFA へと転換可能であることも明らかとなり、例えば本種はアラキドン酸 (ARA) から、エイコサペンタエン酸 (EPA) への転換が可能であることが示された。以上の結果より、本種は網目状の PUFA 生合成経路を有していることが明らかとなり、脊椎動物とは全く異なる経路によるエイコサペンタエン酸 (EPA)・ドコサヘキサエン酸 (DHA) の生合成が可能であることが強く示唆された。なお、以上の結果をまとめ日本水産学会にて口頭発表し、原著論文を **Open Biology** 誌に発表した。

また、**T. californicus** を用いて実施した EPA や DHA を含有しない各種微細藻類を用いた給餌試験から、本種はどのような脂肪酸組成の餌であっても常に一定の EPA・DHA レベルを保ち続けることが可能であることが明らかとなった。しかし、微細藻類を用いた実験では、上記カイアシ類の保持する最大の特性である SFA からの PUFA 生合成の効率を解析することができない。これは、微細藻類自体に SFA、一価不飽和脂肪酸 (MUFA)、リノール酸や  $\alpha$ -リノレン酸などの炭素鎖 18 の PUFA が含まれているためであり、あらゆる有機物から EPA や DHA を生合成可能と考えられる **T. californicus** の真の PUFA 生合成能を *in vivo* で示すことが難しいのが現状である。そこで本種が有する非 PUFA 基質からの PUFA 生合成を *in vivo* で解析することを目的として、リポソームによる安定同位体標識脂肪酸の封入および、カイアシ類への投与を行った。本手法により **T. californicus** に安定同位体標識オレイン酸を取り込ませることに成功し、液体クロマトグラフィー質量分析法により安定同位体比を解析することで取り込まれたオレイン酸が EPA および DHA まで代謝されることを明らかにした。本結果は上述の本種が有する各種 PUFA 生合成酵素の機能と合致するものであり、**T. californicus** が確実に非 PUFA (オレイン酸) から DHA までの生産能を有することが明らかとなった。すなわち、カイアシ類の中には、PUFA の一次生産者として機能し得る種が存在することが示された。これは、海洋生態系においては、微細藻類が PUFA の大部分を産出し、消費者はそれを蓄積・利用しているに過ぎないという従来の説に一石を投じる結果である。なお、上記成果をまとめて、令和 4 年度日本水産学会春季大会にて口頭発表、**XX International Symposium on Fish Nutrition and Feeding** にてポスター発表を行った。

続いて、**Cyclopoida** 目に属するカイアシの一種を対象とした各種 PUFA 生合成酵素遺伝子の単離およびその機能解析を進めた。まず、当該種の高精度トランスクリプトームデータベースを構築し、相同性検索により PUFA 生合成に関わる各種不飽和化酵素遺伝子および鎖長延長酵素遺伝子配列の網羅的単離を行った。続いて、これら遺伝子配列を出芽酵母に発現させることで、その機能を解析した。その結果、本種は **Harpacticoida** 目カイアシである **T. californicus** とは異なる PUFA 生合成経路を有することが明らかとなり、カイアシ類の PUFA 生合成経路は高度に多様化していることが強く示唆された。また本種も **T. californicus** と同様に、EPA・DHA を全く含まない餌料で飼育した場合において、常に高い EPA・DHA 含量を保ち続けることが示された。特に、**Cyclopoida** 目に属する本種は **T. californicus** に比べて 10 倍以上も高い脂質含量を示し、絶対量としての DHA 含量が非常に高いことが特徴である。

研究期間中は、**Covid-19** の流行に伴い出張等が難しくなったことや、非常事態宣言発出に伴い職員の出勤、実験をともに進めている学生の登校が一時的に禁止になったことなどが影響し、予定通りに実験を進めることが困難であった。特に、安定同位体を用いた実験では、カイアシに安定同位体で標識した脂肪酸を取り込ませるために利用するリポソームの調整にやや難航し、その後感染第三波に伴う二度目の緊急事態宣言が発出されるなど条件検討などにまとまった時間を使うことが厳しい状況が続いた。現状、飽和脂肪酸を用いたリポソームの作成を進めているが、我々が継続して共同研究を実施しているスペイン、トレ・デ・ラ・サルスの養殖研究所の **Oscar Monroig** 氏や、ベルギー、アントワープ大学の **Marleen De Troch** 氏に協力をお願いし、最終年度は比

較的スムーズに実験を進めることが可能であった。今後は、これまでの研究により絞り込んだ完全な **PUFA** 生合成経路を有する種を対象として、安定同位体標識技術を用いて、実際に本研究によって対象とした種がどの程度 **PUFA** を生産可能なのかを明らかにする研究を進める。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 5件）

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Matsushita Yoshiyuki, Miyoshi Kaho, Kabeya Naoki, Sanada Shuwa, Yazawa Ryosuke, Haga Yutaka, Satoh Shuichi, Yamamoto Yoji, Strussmann Carlos Augusto, Luckenbach John Adam, Yoshizaki Goro | 4. 巻<br>3         |
| 2. 論文標題<br>Flatfishes colonised freshwater environments by acquisition of various DHA biosynthetic pathways  | 5. 発行年<br>2020年   |
| 3. 雑誌名<br>Communications Biology   | 6. 最初と最後の頁<br>516 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s42003-020-01242-3   | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Kabeya Naoki, Ogino Masanari, Ushio Hideki, Haga Yutaka, Satoh Shuichi, Navarro Juan C., Monroig Oscar  | 4. 巻<br>11           |
| 2. 論文標題<br>A complete enzymatic capacity for biosynthesis of docosahexaenoic acid (DHA, 22 : 6n?3) exists in the marine Harpacticoida copepod <i>Tigriopus californicus</i> | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Open Biology  | 6. 最初と最後の頁<br>200402 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1098/rsob.200402   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Ribes-Navarro Alberto, Navarro Juan C., Hontoria Francisco, Kabeya Naoki, Standal Inger B., Evjemo Jan O., Monroig Oscar                                     | 4. 巻<br>19              |
| 2. 論文標題<br>Biosynthesis of Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids in Marine Gammarids: Molecular Cloning and Functional Characterisation of Three Fatty Acyl Elongases | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>Marine Drugs   | 6. 最初と最後の頁<br>226 ~ 226 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3390/md19040226   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Galindo A., Garrido D., Monroig O., Perez J.A., Betancor M.B., Acosta N.G., Kabeya N., Marrero M.A., Bolanos A., Rodriguez C. | 4. 巻<br>530                   |
| 2. 論文標題<br>Polyunsaturated fatty acid metabolism in three fish species with different trophic level                                     | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Aquaculture   | 6. 最初と最後の頁<br>735761 ~ 735761 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.aquaculture.2020.735761   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Ridwanudin Asep, Kasuya Hitaka, Haga Yutaka, Kabeya Naoki, Satoh Shuichi   | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Interactive effect of dietary fish oil and pyrimidine nucleotide supplementation on the fatty acid composition of juvenile rainbow trout <i>Oncorhynchus mykiss</i> : Enhancement of ARA and DHA contents in the fillet of fish fed supplemented diet | 5. 発行年<br>2021年 |
| 3. 雑誌名<br>Aquaculture Research   | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1111/are.15327  | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>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<br>-       |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Nakamura Kohei, Gonzales-Plasus Marina Mojena, Ushigusa-Ito Tomoko, Masuda Reiji, Kabeya Naoki, Kondo Hidehiro, Hirono Ikuo, Satoh Shuichi, Haga Yutaka   | 4. 巻<br>87              |
| 2. 論文標題<br>Taurine synthesis via the cysteic acid pathway: effect of dietary cysteic acid on growth, body taurine content, and gene expression of taurine-synthesizing enzymes, growth hormone, and insulin-like growth factor 1 in Japanese flounder <i>Paralichthys olivaceus</i> | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>Fisheries Science   | 6. 最初と最後の頁<br>353 ~ 363 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s12562-021-01500-1  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Garrido D., Monroig O., Galindo A., Betancor M.B., Perez J.A., Kabeya N., Marrero M., Rodriguez C. | 4. 巻<br>523                   |
| 2. 論文標題<br>Lipid metabolism in <i>Tinca tinca</i> and its n-3 LC-PUFA biosynthesis capacity                  | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Aquaculture  | 6. 最初と最後の頁<br>735147 ~ 735147 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.aquaculture.2020.735147  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Garrido Diego, Kabeya Naoki, Betancor Monica B., Perez Jose A., Acosta N. Guadalupe, Tocher Douglas R., Rodriguez Covadonga, Monroig Oscar | 4. 巻<br>9           |
| 2. 論文標題<br>Functional diversification of teleost Fads2 fatty acyl desaturases occurs independently of the trophic level                              | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Scientific Reports   | 6. 最初と最後の頁<br>11199 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41598-019-47709-0   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>KABEYA NAOKI  | 4. 巻<br>85              |
| 2. 論文標題<br>Diversification of enzymes for biosynthesis of long-chain polyunsaturated fatty acids in aquatic animals: Implications for aquaculture | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>NIPPON SUISAN GAKKAISHI   | 6. 最初と最後の頁<br>386 ~ 389 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2331/suisan.WA2653   | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Ishikawa A, Kabeya N, Ikeya K, Kakioka R, Cech JN, Osada N, Leal MC, Inoue J, Kume M, Toyoda A, Tezuka A, Nagano AJ, Yamasaki YY, Suzuki Y, Kokita T, Takahashi H, Lucek K, Marques D, Takehana Y, Naruse K, Mori S, Monroig O, Ladd N, Schubert CJ, Matthews B, Peichel CL, Seehausen O, Yoshizaki G, Kitano J | 4. 巻<br>364             |
| 2. 論文標題<br>A key metabolic gene for recurrent freshwater colonization and radiation in fishes   | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>Science   | 6. 最初と最後の頁<br>886 ~ 889 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1126/science.aau5656   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Semmelmann Florian, Kabeya Naoki, Malcicka Miriama, Bruckmann Astrid, Broschwitz Bastian, Straub Kristina, Merkl Rainer, Monroig Oscar, Sterner Reinhard, Ruther Joachim, Ellers Jacintha | 4. 巻<br>222             |
| 2. 論文標題<br>Functional characterisation of two 12-desaturases demonstrates targeted production of linoleic acid as pheromone precursor in <i>Nasonia</i>   | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>The Journal of Experimental Biology   | 6. 最初と最後の頁<br>jeb201038 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1242/jeb.201038  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Garrido Diego, Kabeya Naoki, Hontoria Francisco, Navarro Juan C., Reis Diana B., Martin M. Virginia, Rodriguez Covadonga, Almansa Eduardo, Monroig Oscar | 4. 巻<br>1864              |
| 2. 論文標題<br>Methyl-end desaturases with delta-12 and omega-3 regioselectivities enable the de novo PUFA biosynthesis in the cephalopod <i>Octopus vulgaris</i>      | 5. 発行年<br>2019年           |
| 3. 雑誌名<br>Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids   | 6. 最初と最後の頁<br>1134 ~ 1144 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.bbalip.2019.04.012   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |

|  |                        |
|--|------------------------|
| 1. 著者名<br>Naoki Kabeya, Ibrahim Gur, Angela, Jan Ove Evjemo, Arne M. Malzahn, Francisco Hontoria, Juan C. Navarro, Oscar Monroig                               | 4. 巻<br>375            |
| 2. 論文標題<br>Unique fatty acid desaturase capacities uncovered in <i>Hediste diversicolor</i> illustrate the roles of aquatic invertebrates in trophic upgrading | 5. 発行年<br>2020年        |
| 3. 雑誌名<br>Philosophical Transactions of the Royal Society B  | 6. 最初と最後の頁<br>20190654 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1098/rstb.2019.0654   | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する           |

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松下芳之, 川村亘, 壁谷尚樹, 矢澤良輔, 吉崎悟朗  |
| 2. 発表標題<br>海産肉食性回遊魚であるサンマは完全なDHA合成経路をもつ |
| 3. 学会等名<br>日本水産学会大会                     |
| 4. 発表年<br>2020年                         |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>SANTIZO-TAAN R., KABEYA N., HAGA Y., SATOH S. |
| 2. 発表標題<br>植物性飼料原料の栄養価改善に及ぼすエクストルージョン温度条件の影響             |
| 3. 学会等名<br>日本水産学会大会                                      |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>RIDWANUDIN Asep, KABEYA Naoki, HAGA Yutaka, SATOH Shuichi                        |
| 2. 発表標題<br>ニジマス <i>Oncorhynchus mykiss</i> 幼魚の成長と脂肪酸代謝におよぼす低魚粉と魚油を基にした飼料へのプリンおよびヌクレオチド補給の影響 |
| 3. 学会等名<br>日本水産学会大会   |
| 4. 発表年<br>2020年   |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Naoki Kabeya, Ibrahim Gur, Angela Oboh, Jan O. Evjemo, Arne M. Malzahn, Francisco Hontoria, Juan C. Navarro, Oscar Monroig  |
| 2. 発表標題<br>Methyl-end desaturases in the common ragworm demonstrate unique activities enabling the production of various omega-3 polyunsaturated fatty acids via multiple pathways |
| 3. 学会等名<br>ISSFAL 2021 VIRTUAL CONGRESS (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Garrido D, Monroig O, Betancor MB, Perez JA, Kabeya N, Giraldez I, Marrero M, Rodriguez C                 |
| 2. 発表標題<br>Metabolismo lipidico de la tenca (Tinca tinca): Estudio de la capacidad de biosintesis de omega-3 LC-PUFA |
| 3. 学会等名<br>XVII Congreso Nacional de Acuicultura   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kabeya N, Monroig O, Ushio H  |
| 2. 発表標題<br>Genes for de novo EPA and DHA biosynthesis are present in the harpacticoid copepod Tigriopus californicus |
| 3. 学会等名<br>Marine Biotechnology Conference 2019 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kabeya N, Ogino M, Tanaka S, Ushio H, Haga Y, Satoh S, Navarro JC, Monroig O  |
| 2. 発表標題<br>A marine harpacticoid copepod, Tigriopus californicus can produce docosahexaenoic acid (DHA, 22:6 3) from oleic acid (OA, 18:1 9) |
| 3. 学会等名<br>XX International Symposium on Fish Nutrition and Feeding (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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 |
|---------|---------|
|---------|---------|