

# 脂肪酸分析によるブリ、ヒラメ、トラフグ、クロマグロの 養殖判別法の検討

中山 祐輔、高嶋 康晴

Yusuke Nakayama, Yasuharu Takashima

## 要 約

ブリ、ヒラメ、トラフグ、クロマグロの 4 魚種について、天然魚と養殖魚の筋肉中の脂質の脂肪酸組成を比較したところ、クロマグロを除く 3 魚種において天然魚－養殖魚間でリノール酸等の脂肪酸組成に差が見られた。特にブリにおいては、リノール酸の脂肪酸組成の差が顕著であったことから、養殖判別の可能性が示唆された。

## 1. はじめに

我が国における食品の品質に関する表示は、食品表示法（平成 25 年法律第 70 号）及びこれに基づき制定された食品表示基準（平成 27 年内閣府令第 10 号）により定められており、生鮮水産物においては、養殖されたものである場合は「養殖」の表示が義務付けられている。

養殖業は、日本における重要な水産業の一つである。平成 27 年次の養殖業生産量は 111 万トンであり、漁業・養殖業総生産量の 23.6 %を占めている<sup>1)</sup>。海面養殖生産量が最も多い魚種はブリであり、平成 27 年次では海面養殖生産量全体の 57.0 %を占めている。次いで養殖生産量の多い魚種は生産量の順に、マダイ、クロマグロ、ギンザケ、フグ類、シマアジ、ヒラメ、マアジとなっている<sup>1)</sup>。

これらの魚種の卸売価格は、天然魚が養殖魚を上回ることが多く、ブリでは、天然ブリの卸売価格は脂の乗った冬に上昇し、養殖ブリの卸売価格を上回っている。また、魚を購入する際に、見た目や価格が同程度の場合、養殖魚より天然魚を選ぶ消費者が多い<sup>2)</sup>。しかしながら、切り身やさくの状態では養殖魚を目視により判別することは困難であり、科学的な判別法の開発が求められる。

養殖魚と天然魚の生体成分の比較については、一般成分（水分、粗たんぱく、粗脂肪、灰分）、遊離アミノ酸、無機質成分、ビタミン含量、筋肉硬度、脂肪酸組成等が報告されている<sup>3-10)</sup>。そのうち、脂肪酸組成については、いくつかの魚種で天然魚と養殖魚の差異が報告され<sup>3-10)</sup>、FAMIC においても、マダイについて天然－養殖間でリノール酸の脂肪酸組成に差が見られ養殖判別の有効な指標として用いることが可能であることを報告している<sup>11-13)</sup>。これらの知見を参考に、本研究では、養殖生産量が多く天然魚も一定量漁獲されているブリ、ヒラメ、トラフグ、クロマグロの 4 魚種について、天然魚と養殖魚の脂肪酸組成を比較し、養殖判別の可否について検討を行った。

## 2. 実験方法

### 2. 1 試料

4 魚種（ブリ、ヒラメ、トラフグ、クロマグロ）について、天然魚及び養殖魚を収集した（表1、表2）。試料の形態としては、ブリではラウンド又はフィレー、ヒラメではラウンド、トラフグではラウンド又は有毒部位を除去した身欠き、クロマグロではさくの状態で入手した。収集試料数は、各魚種の漁獲海域（養殖魚においては生産地）における漁獲量（養殖魚においては生産量）を参考にした。

表1 試料の内訳（ヒラメ、トラフグ、クロマグロ）

| ヒラメ |   | トラフグ |   |    |   | クロマグロ |   |      |   |       |   |
|-----|---|------|---|----|---|-------|---|------|---|-------|---|
| 天然  |   | 養殖   |   | 天然 |   | 養殖    |   | 天然   |   | 養殖    |   |
| 青森  | 1 | 大分   | 3 | 愛知 | 2 | 大分    | 2 | 青森   | 1 | チュニジア | 2 |
| 茨城  | 1 | 鹿児島  | 1 | 大分 | 1 | 熊本    | 1 | カナダ  | 1 | メキシコ  | 1 |
| 千葉  | 1 | 愛媛   | 1 |    |   | 長崎    | 1 | スペイン | 1 | 鹿児島   | 1 |
| 新潟  | 1 |      |   | 計  | 3 | 計     | 4 | 計    | 3 | 計     | 4 |
| 北海道 | 1 |      |   |    |   |       |   |      |   |       |   |
| 宮城  | 1 |      |   |    |   |       |   |      |   |       |   |
| 計   | 6 | 計    | 5 |    |   |       |   |      |   |       |   |

表2 試料の内訳（ブリ）

| 種類    | 原産地<br>(県名) | 試料数   | 入手時期          |               |                 |               |
|-------|-------------|-------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
|       |             |       | 2015年<br>4~6月 | 2015年<br>7~9月 | 2015年<br>10~12月 | 2016年<br>1~3月 |
| 養殖    | 鹿児島         | 8     | 2             | 2             |                 | 4             |
|       | 大分          | 6     |               | 3             | 3               |               |
|       | 愛媛          | 5     | 1             |               | 4               |               |
|       | 香川          | 2     |               |               | 1               | 1             |
|       | 熊本          | 2     |               |               |                 | 2             |
|       | 高知          | 2     |               | 1             | 1               |               |
|       | 長崎          | 2     |               |               |                 | 2             |
|       | 宮崎          | 2     | 1             |               |                 | 1             |
|       | 三重          | 1     |               |               |                 | 1             |
|       | 計           | 30    | 4             | 6             | 9               | 11            |
|       | 天然          | 北海道海区 | 北海道           | 3             |                 | 1             |
|       |             | 岩手    | 1             |               | 1               |               |
| 太平洋海区 |             | 茨城    | 1             | 1             |                 |               |
|       |             | 千葉    | 3             |               |                 | 2             |
|       |             | 三重    | 1             |               |                 | 1             |
|       |             | 高知    | 1             |               |                 |               |
| 日本海区  |             | 新潟    | 1             |               |                 | 1             |
|       |             | 富山    | 2             |               |                 | 1             |
|       |             | 石川    | 3             |               |                 | 3             |
|       |             | 福井    | 1             |               |                 | 1             |
|       |             | 鳥取    | 2             |               | 1               | 1             |
|       |             | 島根    | 3             |               |                 |               |
|       |             | 瀬戸内海区 | 兵庫            | 1             |                 |               |
| 東シナ海区 |             | 山口    | 1             |               |                 | 1             |
|       |             | 長崎    | 5             |               |                 | 5             |
|       |             | 佐賀    | 1             |               |                 | 1             |
|       |             | 宮崎    | 1             |               |                 | 1             |
| 計     |             | 31    | 1             | 3             | 8               | 19            |

## 2. 2 脂肪酸組成分析

### 2. 2. 1 粗脂肪の抽出

既報の手法<sup>13)</sup>から試料の粉碎部分を改変した。すなわち、ブリでは背部筋肉のうち頭部側の筋肉から血合筋を極力除去し粉碎に供した。また、ヒラメでは有眼側の背部筋肉のうち頭部側の筋肉を、トラフグでは骨、皮、内臓等を除いた筋肉全量を、クロマグロでは試料全量を粉碎に供した。フードプロセッサーで十分に均一化したものを約 3.5 g 採取し、これに HI 混液（ヘキサン（関東科学）：イソプロピルアルコール（和光純薬）= 3 : 2, vol）を 50 mL 加え、ポリトロンホモジナイザー（PT 10-35、KINEMATICA）で 1 分間粉碎した。その後、HI 混液を 50 mL 追加し、1 分間粉碎した後、さらに HI 混液を 30 mL 追加し、1 分間粉碎した。粉碎混合した HI 混液全量を、減圧ろ過により不溶物を除去し、ろ液を分液ロートに移し 6.7 %硫酸ナトリウム（和光純薬又は関東化学）水溶液を 75 mL 加え、振とう後、有機層を回収した。水層は再度分液ロートに戻し、ヘキサン：イソプロピルアルコール混液（7 : 2, vol）を 50 mL 加え、振とう後、有機層を回収した。回収した有機層を合わせて、ロータリーエバポレーターにより溶媒を除去した後、真空下（100 Pa 以下）で溶媒を完全に除去したものを粗脂肪とした。

### 2. 2. 2 脂肪酸メチルエステル化

既報の手法<sup>13)</sup>を用いた。粗脂肪を 10 ~ 30 mg（粗脂肪量が 10 mg に満たない場合は全量）脂肪抽出受器に採取し、メタノール（和光純薬）を 10 mL、塩酸（和光純薬）を 0.1 mL 加え 2 時間以上加熱還流した。還流後、飽和食塩水（塩化ナトリウム；一級以上、和光純薬又は関東化学）を 100 mL、飽和炭酸水素ナトリウム水溶液（炭酸水素ナトリウム；特級、和光純薬）を 10 mL 加えた分液ロートに回収し、50 mL のヘキサンで脂肪抽出受器を洗浄し、分液ロートに加えた。中性条件下で振とう後、有機層をスリ付き三角フラスコに回収した。無水硫酸ナトリウム（和光純薬）を 5 g 加え、栓をした状態で 1 時間静置し、有機層の脱水をした。脱水後、吸着剤としてシリカゲル（シリカゲル 60、メルク）、展開溶媒にヘキサン：ジエチルエーテル（和光純薬）混液（20 : 1, vol）を用いたカラムクロマトグラフィーにより脂肪酸メチルエステルを精製した。

### 2. 2. 3 脂肪酸組成の測定

水素炎イオン化検出器（Flame Ionization Detector; FID）を装備したガスクロマトグラフ装置（HP6890、Agilent Technologies）を用いて測定した。なお、分析条件は既報の測定条件<sup>13)</sup>を用いた。カラムはキャピラリーカラム（Omegawax<sup>TM</sup>250、Supelco）（長さ 30 m、内径 0.25 mm、シリカコーティング 0.25  $\mu$ m）を用い、注入口温度 230 °C、FID 検出器温度 240 °C、カラム温度は 215 °C（スプリット比 1/76）とし、キャリアーガスとしてヘリウムガス（0.7 mL/min）を用いた。精製した脂肪酸メチルエステルは約 10 mg/1.5 mL の濃度でヘキサンに溶解し、注用量は 1  $\mu$ L で測定を行った。各脂肪酸メチルエステルのピーク同定は、パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸、リノレン酸の各メチルエステル化物については、混合脂肪酸メチルエステル標準 F.A.M.E.Mix（GLC - 10、Supelco）を、アラキジン酸、エイコセン酸、アラキドン酸、エイコサペンタエン酸（EPA）、ドコサヘキサエン酸（DHA）の各メチルエステル化物については、混合脂肪酸メチルエ

ステル標準 FAME Qualitive Mix (1021-58209、GL サイエンス) を試料と同じように測定し、その保持時間から各脂肪酸メチルエステルピークを同定した。検出された上記 10 種類の脂肪酸メチルエステルのピーク面積の総和に対する各脂肪酸メチルエステルのピーク面積の百分率を、各脂肪酸の脂肪酸組成とした。ピークの検出及び脂肪酸組成の計算にはクロマトパック OpenLAB CDS ChemStation (Agilent Technologies) を使用した。

### 3. 結果及び考察

#### 3. 1 筋肉中の血合筋の影響

天然ブリ 1 試料について、血合筋と血合筋を除いた筋肉部位（普通筋）の脂肪酸（パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸、リノレン酸、アラキジン酸、エイコセン酸、アラキドン酸、EPA、DHA）を測定し、各脂肪酸組成を比較したところ、脂肪酸によって 0.54 ~ 1.49 倍の開きが見られ、ブリ筋肉中の血合筋と普通筋では脂肪酸組成が異なる結果となった（表 3）。このことから、ブリ試料を粉砕する際、血合筋を含めて粉砕すると脂肪酸組成に血合筋中の脂肪酸の影響が生じることが考えられた。試料に含まれる血合筋の割合は魚種ごとに異なり、自身魚に比べて含有量の多いブリにおいては、あらかじめ血合筋を除去し、普通筋のみを粉砕して分析に供するのが適切と考えられた。

ヒラメ及びトラフグについては、筋肉中の血合筋の割合が低く脂肪酸組成への影響が少ないと考えられるため、血合筋ごと粉砕し分析に供した。また、クロマグロについては、赤身魚であり血合筋が多い種であるが、一般的に血合筋は除去されて流通するため、そのまま粉砕し分析に供した。

表 3 ブリ筋肉中の血合筋と普通筋の脂肪酸組成 (%) の比較

| 脂肪酸名         | 血合筋  | 普通筋  | 普通筋/<br>血合筋 |
|--------------|------|------|-------------|
| C16:0 パルミチン酸 | 19.8 | 28.3 | 1.43        |
| C18:0 ステアリン酸 | 12.2 | 8.1  | 0.67        |
| C18:1 オレイン酸  | 14.2 | 10.4 | 0.73        |
| C18:2 リノール酸  | 1.8  | 1.7  | 0.95        |
| C18:3 リノレン酸  | 0.7  | 0.7  | 0.97        |
| C20:0 アラキジン酸 | 0.6  | 0.4  | 0.73        |
| C20:1 エイコセン酸 | 4.1  | 2.2  | 0.54        |
| C20:4 アラキドン酸 | 1.8  | 2.7  | 1.49        |
| C20:5 EPA    | 6.6  | 8.9  | 1.36        |
| C22:6 DHA    | 38.2 | 36.6 | 0.96        |

#### 3. 2 各魚種における天然—養殖間の脂肪酸組成の比較

4 魚種（ブリ、ヒラメ、トラフグ、クロマグロ）について、筋肉中の 10 種類の脂肪酸（パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸、リノレン酸、アラキジン酸、エイコセン酸、アラキドン酸、EPA、DHA）を測定し、各脂肪酸組成を比較した（表 4）。

各魚種の脂肪酸組成の平均値を見ると、オレイン酸、リノール酸、リノレン酸の組成は

天然魚より養殖魚が高く、逆にアラキドン酸、DHA は養殖魚より天然魚が高く、その他の脂肪酸組成については、魚種ごとに異なる特色が見られた。特に、天然魚より養殖魚の方が平均値で2倍以上高い脂肪酸組成としては、ブリ及びトラフグではリノール酸及びリノレン酸、ヒラメではリノール酸が見られ、逆に養殖魚より天然魚の方が平均値で2倍以上高い脂肪酸組成としては、トラフグのアラキドン酸が見られたことから（表4 太字下線）、これらの脂肪酸組成が養殖判別の有効な指標となる可能性が示唆された。また、収集試料数の多いブリについて、t 検定により天然-養殖間の各脂肪酸組成を比較したところ、エイコセン酸と EPA を除く 8 種類の脂肪酸組成で統計的に有意な差が見られた。

脂肪酸組成による養殖魚の判別法については、複数の脂肪酸組成を用いて多変量解析を行い判別関数式を得ることで天然トラフグと養殖トラフグを判別する手法が報告されており<sup>9)</sup>、大きな差異が無くても複数の脂肪酸組成を組み合わせることで判別できる可能性があるかと推測された。

表4 各魚種における天然魚と養殖魚の脂肪酸組成 (%)

|              | ブリ         |      |            |      |               |     | ヒラメ       |      |           |      |               |
|--------------|------------|------|------------|------|---------------|-----|-----------|------|-----------|------|---------------|
|              | 天然<br>N=31 |      | 養殖<br>N=30 |      | 養殖平均/<br>天然平均 | t検定 | 天然<br>N=6 |      | 養殖<br>N=5 |      | 養殖平均/<br>天然平均 |
|              | 平均値        | 標準偏差 | 平均値        | 標準偏差 |               |     | 平均値       | 標準偏差 | 平均値       | 標準偏差 |               |
| C16:0 パルミチン酸 | 28.0       | 2.3  | 24.9       | 3.0  | 0.89          | **  | 24.7      | 0.5  | 27.1      | 0.4  | 1.10          |
| C18:0 ステアリン酸 | 7.8        | 1.4  | 5.4        | 0.9  | 0.70          | **  | 5.9       | 0.5  | 6.9       | 0.7  | 1.17          |
| C18:1 オレイン酸  | 21.9       | 7.1  | 31.6       | 6.4  | 1.44          | **  | 8.2       | 2.1  | 13.3      | 1.0  | 1.61          |
| C18:2 リノール酸  | 1.4        | 0.6  | 11.1       | 4.5  | <b>7.75</b>   | **  | 1.2       | 0.3  | 3.2       | 1.2  | <b>2.70</b>   |
| C18:3 リノレン酸  | 0.8        | 0.6  | 1.8        | 0.7  | <b>2.37</b>   | **  | 0.5       | 0.3  | 0.7       | 0.2  | 1.43          |
| C20:0 アラキジン酸 | 0.2        | 0.2  | 0.4        | 0.1  | 1.62          | *   | 0.2       | 0.0  | 0.2       | 0.0  | 1.06          |
| C20:1 エイコセン酸 | 4.0        | 3.7  | 2.3        | 0.7  | 0.59          |     | 1.6       | 0.6  | 1.4       | 0.4  | 0.88          |
| C20:4 アラキドン酸 | 2.1        | 0.6  | 1.2        | 0.4  | 0.57          | **  | 3.6       | 1.3  | 2.8       | 0.4  | 0.77          |
| C20:5 EPA    | 7.7        | 2.6  | 7.5        | 3.7  | 0.97          |     | 10.0      | 1.9  | 6.4       | 1.5  | 0.65          |
| C22:6 DHA    | 26.1       | 8.1  | 13.8       | 5.0  | 0.53          | **  | 44.2      | 4.8  | 37.9      | 1.9  | 0.86          |

|              | トラフグ      |      |           |      |               | クロマグロ     |      |           |      |               |
|--------------|-----------|------|-----------|------|---------------|-----------|------|-----------|------|---------------|
|              | 天然<br>N=3 |      | 養殖<br>N=4 |      | 養殖平均/<br>天然平均 | 天然<br>N=3 |      | 養殖<br>N=4 |      | 養殖平均/<br>天然平均 |
|              | 平均値       | 標準偏差 | 平均値       | 標準偏差 |               | 平均値       | 標準偏差 | 平均値       | 標準偏差 |               |
| C16:0 パルミチン酸 | 23.4      | 0.8  | 24.0      | 1.1  | 1.03          | 22.6      | 1.0  | 24.6      | 1.6  | 1.09          |
| C18:0 ステアリン酸 | 11.2      | 0.6  | 10.3      | 0.9  | 0.93          | 8.4       | 2.5  | 7.3       | 1.7  | 0.87          |
| C18:1 オレイン酸  | 11.5      | 1.2  | 13.6      | 1.1  | 1.18          | 19.0      | 8.2  | 19.7      | 4.4  | 1.04          |
| C18:2 リノール酸  | 1.0       | 0.2  | 4.3       | 1.1  | <b>4.25</b>   | 1.7       | 0.5  | 2.1       | 0.3  | 1.23          |
| C18:3 リノレン酸  | 0.1       | 0.1  | 0.3       | 0.1  | <b>2.48</b>   | 0.7       | 0.6  | 1.4       | 0.4  | 1.91          |
| C20:0 アラキジン酸 | 0.3       | 0.0  | 0.2       | 0.0  | 0.67          | 0.2       | 0.1  | 0.4       | 0.1  | 1.71          |
| C20:1 エイコセン酸 | 0.7       | 0.2  | 1.3       | 0.1  | 1.87          | 7.1       | 8.0  | 7.4       | 5.1  | 1.04          |
| C20:4 アラキドン酸 | 8.4       | 0.8  | 4.0       | 0.7  | <b>0.48</b>   | 2.9       | 1.8  | 1.6       | 0.7  | 0.56          |
| C20:5 EPA    | 9.5       | 1.1  | 9.6       | 0.7  | 1.01          | 9.5       | 5.7  | 15.7      | 5.3  | 1.65          |
| C22:6 DHA    | 33.9      | 0.7  | 32.4      | 1.0  | 0.96          | 27.8      | 11.2 | 19.7      | 7.0  | 0.71          |

\* : 5%の有意水準で天然-養殖間に有意差が認められた脂肪酸  
 \*\* : 0.5%の有意水準で天然-養殖間に有意差が認められた脂肪酸  
 太字下線 : 養殖平均/天然平均が2以上または0.5以下

天然魚と養殖魚間で脂肪酸組成に差異が生じる要因については、一般に、養殖魚の脂肪酸組成は給餌された飼料の影響を受けると言われており<sup>7,8)</sup>、養殖魚に給餌される飼料と天然飼料間の脂肪酸組成が異なることが考えられる。そのうち、養殖魚のリノール酸組成が高い要因については、魚粉に代わるタンパク質源としての大豆かす等の植物性たんぱく原料の使用が考えられる。もともと、天然海域に生息する魚介類中の脂質のリノール酸組成は低いことが知られており<sup>8)</sup>、このためイワシなどの魚粉のリノール酸組成も同様に低い。一方、大豆かすにはリノール酸が多く含まれた油脂が残留していることが多く、これを使用した配合飼料のリノール酸組成を高くしていると考えられる<sup>5)</sup>。ブリ、ヒラメ、トラフグの養殖では近年配合飼料化が進められており<sup>2)</sup>、これらの養殖魚については、リノール酸組成が天然魚に比べて高くなったと推測された。

一方、クロマグロにおいては、いくつかの脂肪酸組成で天然－養殖間に差が見られるものの、他の3魚種に比べると顕著な差が見られた脂肪酸組成はなかった。原因としては、クロマグロの養殖では現在のところサバ類やイカ類などの生餌が中心であり、配合飼料化は進んでおらず<sup>2)</sup>、天然クロマグロと養殖クロマグロ間の食性に大きな差異がないため、脂肪酸組成に差異が生じにくいことが推測された。このためクロマグロについては、現在の養殖形態では養殖判別は難しいと考えられた。ただし今後養殖クロマグロの配合飼料化が進むことで、脂肪酸組成に変化が生じる可能性があるかと推測される。

### 3. 3 ブリにおける養殖判別の可能性

ブリにおいては、リノール酸組成が平均値で養殖魚が天然魚の 7.75 倍と顕著に高かったことから、リノール酸組成のみを用いた養殖判別の可能性について検討した。

天然ブリ及び養殖ブリ筋肉中のリノール酸組成の分布を比較したところ（図1）、養殖ブリ 30 試料のうち、天然ブリ 31 試料と分布が重なった試料数は3試料であった。このことから、リノール酸組成のみを用いて、養殖ブリをおおむね判別できる可能性が示唆された。なお、養殖業者からの聞き取りによる情報では、配合飼料化が進んだブリにおいても、生餌や生餌の割合が高い飼料の給餌をする場合があるとのことから、既報<sup>13)</sup>のマダイとは異なり、リノール酸組成においても、天然ブリと養殖ブリ間で一部分布が重なったと推測された。

また、背部筋肉で養殖ブリと天然ブリを比較したが、切り身やさくの状態では、それが魚体中のどこの部位のものであるかを特定することは困難なため、ラウンドで入手した天然ブリと養殖ブリ各 1 試料について、4 部位（背部筋肉の頭部側及び尾部側、腹部筋肉の頭部側及び尾部側）のリノール酸組成をそれぞれ測定したところ、天然ブリ、養殖ブリともにリノール酸組成の相対標準偏差は 5 %以下であり、部位間のばらつきが比較的小さいことから、部位が不明な切り身やさくの状態でも分析をしても判別への影響が少ないと考えられた。

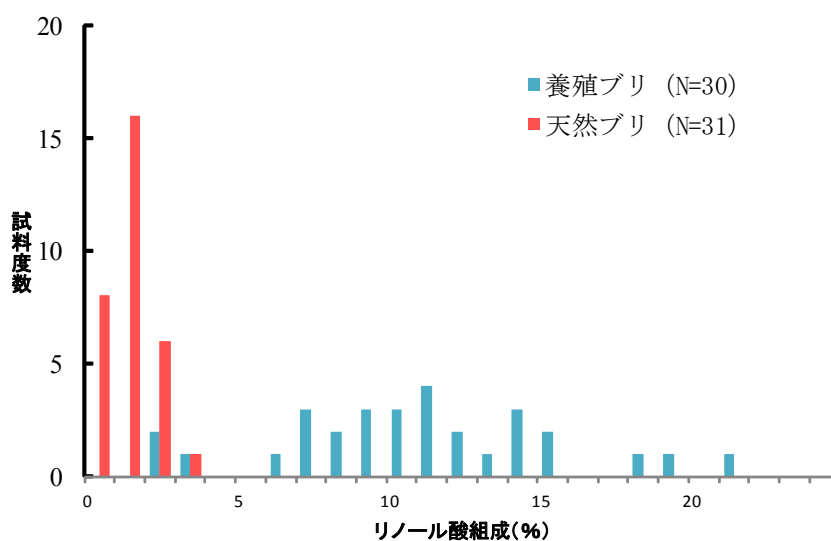


図1 ブリ筋肉中のリノール酸組成の分布

#### 4. まとめ

ブリ、ヒラメ、トラフグ、クロマグロの4魚種について、天然魚と養殖魚の筋肉中の脂質の脂肪酸組成を比較したところ、クロマグロを除く3魚種において天然魚－養殖魚間でリノール酸等の脂肪酸組成に差が見られた。特にブリにおいて顕著な差が見られたリノール酸について、天然ブリ及び養殖ブリ筋肉中のリノール酸組成の分布を比較したところ、養殖ブリをおおむね判別できる可能性が示唆された。

#### 5. 謝辞

試料の収集にあたり、ご協力いただきました漁業協同組合及び水産業者の皆様には深く感謝いたします。

#### 6. 文献

- 1) 農林水産省 平成27年漁業・養殖業生産統計
- 2) 水産庁 平成25年水産白書
- 3) 平野敏行, 中村秀男, 須山三千三: 天然および養殖アユの脂質の品質に関する化学的研究-II, 一般成分の季節変化, 日本水産学会誌, 46(1), 75-78 (1980)
- 4) 平野敏行, 須山三千三: 天然および養殖アユの脂質の脂肪酸組成とその季節変化, 日本水産学会誌, 49(9), 1459-1464 (1983)
- 5) 佐伯清子, 熊谷洋: 10種の天然魚および養殖魚の一般成分の比較, 日本水産学会誌, 50(9), 1551-1554 (1984)
- 6) 佐藤守, 吉中禮二, 西中義裕, 森本晴之, 小島朝子, 山本義和, 池田静徳: 天然および養殖ヒラメ肉の栄養成分の比較, 日本水産学会誌, 52(6), 1043-1047 (1986)
- 7) 青木隆子, 鷹田馨, 國崎直道: 天然および養殖魚6種の一般成分, 無機質, 脂肪酸, 遊離アミノ酸, 筋肉硬度および色差について, 日本水産学会誌, 57(10), 1927-1934 (1991)
- 8) 森岡克司, 森木竜也, 伊藤慶明, 小島渥: 異なる餌料で養成したマダイ体成分の比較, 日本水産学会, 64(5), 867-877 (1998)
- 9) 小泉鏡子: 筋肉中の脂肪酸組成による天然トラフグと養殖トラフグの判別について, 静岡水技研研報, 43, 75-77 (2008)
- 10) 齋藤洋昭: 「水産物の養殖・天然」日本分析化学会表示・起源分析技術研究懇談会編『食品表示を裏づける分析技術－科学の目で偽装を見破る－』, pp.157-165, 東京電機大学出版局 (2010)
- 11) 藤田卓, 安永聡, 辻映美, 小林佐貴子, 千場堅司, 矢野敏弘: 天然マダイと養殖マダイの判別法の検討, 農林水産消費技術センター調査研究報告, 26, 27-49 (2002)
- 12) 藤田卓, 千場堅司, 森田幸博, 矢野敏弘: 養殖魚と天然魚の判別方法の検討－マダイのフィレー部位における適用－, 農林水産消費技術センター調査研究報告, 27, 21-36 (2003)

- 13) 高嶋康晴：脂肪酸分析によるマダイの養殖魚判別法の検討，農林水産消費安全技術センター食品関係等調査研究報告，39，7-14（2015）