

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 19 日現在

機関番号：82708

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26660163

研究課題名(和文)カタクチイワシの生息環境履歴データベースの開発とその適用

研究課題名(英文) Establishment of data bank for habitat history of Japanese anchovy and the application to wild fish

研究代表者

米田 道夫 (Yoneda, Michio)

国立研究開発法人水産総合研究センター・瀬戸内海区水産研究所・研究員

研究者番号：30450787

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではカタクチイワシの分布・移動および個体群構造を把握するため、筋肉および卵巣の炭素・窒素安定同位体比(SI)に及ぼす餌のSI値の影響を飼育実験により調べた。未成魚の筋肉SIの変化率は発育・成長に伴って緩やかになった。成魚の筋肉と卵巣のSI変化率には相違が認められ、成魚の卵巣SIは急速に変化し、20日以内に餌のSIに近似した値で収束した。これらより、成魚の筋肉は過去の、卵巣は直近の生息環境を示す指標として有効であることが明らかになった。瀬戸内海周辺海域において採取された天然雌親魚の筋肉と卵巣のSIの予備観察から、当該海域には複数の地域個体群が存在している可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study examined the effect of carbon and nitrogen stable isotope ratios (SIRs) of feed on SIRs of muscle and ovary of Japanese anchovy under captive condition to identify the distribution and migration patterns of wild fish. In immature females, the change ratio of SIRs of muscle decelerated as individuals grew and developed. There were significant differences in change ratio of SIRs between muscles and ovaries of mature females. The SIRs of ovaries changed much faster than those of muscles, and then converged around the SIRs of feed provided within 20 days after the diet-switch. These findings suggest that the SIRs of muscles could reflect those of prey in the past areas while the SIRs of ovaries could reflect those of prey in the current (spawning) areas. Our preliminary observations of the SIRs of muscles and ovaries of wild females suggested that there may be several local populations around the waters of Seto Inland Sea.

研究分野：水産資源学

キーワード：分布・回遊 個体群構造 繁殖戦略

## 1. 研究開始当初の背景

カタクチイワシは中・長期的な規模で資源の変動が認められるが、マイワシやマサバに比べると、その変動幅は小さく、比較的安定した資源であると認識されている。これは、本種が同一種でありながら、時空間的に極めて多様な繁殖特性をもつためであると考えられている<sup>1-5)</sup>。その一方で、環境を制御した水槽内において、本種の成長や産卵などの生物特性の詳細を観察した結果、「本種の生物特性の地理的変異は生息環境の違いによって起きている」という説明ができない事例が複数見出され<sup>6)</sup>、「日本周辺海域のカタクチイワシは一つの遺伝集団である」という解釈<sup>7)</sup>に再考の余地が投げかけられている。日本周辺海域には由来の異なる群の存在が示唆されているが<sup>4,5)</sup>、卵の分布が日本周辺のほぼ全海域に広がっていることや親魚が季節的に移動・回遊していることなどが知られており、本種の分布・回遊や個体群構造を明らかにするための有効な手段がほとんどないのが現状である。

魚の体組織・器官には、摂取した餌の栄養素や個体が経験した水温などの履歴が刻み込まれている。例えば、体組織の炭素・窒素安定同位体比 (SI) は摂食した餌の SI に反映する一方で、沿岸域は沖合域に比べて窒素 SI が高くなるといったような、海域による特性があることも知られている<sup>8)</sup>。また、脊椎骨の総数は発育初期に経験した水温に影響することが知られており、一般に低水温で育った個体は、高水温で育った個体に比べて、脊椎骨の総数が多くなる。このような特色を踏まえて、筋肉の SI や脊椎骨の総数に基づく分析結果から、回遊行動や個体群構造に関する研究において多くの情報がもたらされている。その一方で、このシステム (データバンク) を利用するには、餌や水温などの環境条件が管理された飼育下においてその裏付けとなる実証実験を伴うことが不可欠である。しかし、対象種の多くは飼育が難しく、また、長期間の水槽実験は極めて煩雑であるなどの問題を抱えているため、特に海産有用種における実証実験は極めて少ない。

## 2. 研究の目的

本研究では、日本周辺海域のカタクチイワシの生物特性には海洋環境由来 (沿岸域と沖合域) の変異があること<sup>4,5)</sup>に着目し、筋肉や生殖腺などの炭素・窒素安定同位体比および脊椎骨の総数に基づいて、個体が経験した生息環境や由来のデータバンクを開発することを目的とする。瀬戸内海のカタクチイワシは、瀬戸内海で再生産する内海群と太平洋から瀬戸内海へ来遊する外海群の2群で構成されていると考えられている<sup>9)</sup>。しかし、両群を判別する手段がないため、特に外海群の来遊時期や来遊量などの詳細は不明である。このため、瀬戸内海のカタクチイワシをモデルケースとし

て、開発技術を天然標本へ適用するに当たっての諸条件の一般化および問題点の抽出を行い、分布・回遊 (移送) 状況の予備的な把握に努める。

## 3. 研究の方法

### (1) 炭素・窒素安定同位体比 (SI) トレーサー実験

SI の異なる2種類の配合飼料を準備した。親魚から採卵を行い、ワムシやアルテミアを給餌しながら仔魚を飼育し、配合飼料の摂餌が可能となる仔魚後期～変態期に SI の低い配合飼料を給餌した。稚魚期 (体長 4~5cm; 61 日齢)、未成魚 (体長 6~7cm; 81 日齢)、成魚期 (体長 8~9cm; 135 日齢) の各発育段階において SI の高い餌に切り替えた後、100 日間実験を継続した。実験期間中、数日~数週間間隔で筋肉と卵巣 (卵黄形成) を採取し、それぞれの SI を分析した。得られた SI 値を指数関数モデルに当てはめ、発育段階および組織間 (筋肉と卵巣) で比較した。また、成魚期について、体長の異なる産卵群 (親と子 (F1)) の筋肉と卵巣の栄養配分を調べるため、上述と同様に種苗生産 (F1) し、孵化後 130 日に餌を切替えた後、50 日間実験を行った。

### (2) SI を指標とした分布・回遊把握のための天然魚への適用

2013 年 5~7 月 (産卵期) 瀬戸内海周辺海域 (燧灘、大阪湾、紀伊水道、日向灘、熊野灘) において天然雌親魚を採取した。標本の魚体測定をした後、筋肉と卵巣 (卵黄形成) を摘出し、SI 分析を行った。各組織から得られた SI 値を採集月や海域間で比較し、個体 (群) の分布・回遊状況を予備的に推察した。

### (3) 脊椎骨の総数に及ぼす水温影響および個体群特性に関する実験

長崎県大村湾、瀬戸内海中央の燧灘および千葉県房総で採集されたカタクチイワシを水槽内に収容し、照明時間、水温、給餌条件などを調整して成熟・産卵を促した。各海域の親魚から採取された受精卵を、複数の異なる水温条件に設定した水槽へ収容した。孵化後数日からワムシを、約 2 週間後からアルテミアを、孵化後 40 日から配合飼料をそれぞれ給餌し、孵化後 50~100 日に標本 (変態期~稚魚期) を採取した。得られた標本をソフトックスで撮影し、脊椎骨数を求めた。

## 4. 研究成果

(1) 実験期間中における各発育段階の成長率は稚魚期で最も高く、次いで未成魚期であ

り、成魚期が最も低かった。稚魚期や未成魚期の筋肉の SI は、餌の切り換え後から急速に増加し、約 40 日でそれぞれ収束した (図 1)。なお、稚魚期と未成魚期の収束値には相違が認められ、稚魚期の方が高かった。一方、親魚期の筋肉の SI は緩やかに増加するものの、実験終了時までの SI 増加量は稚魚期や未成魚期に比べて極めて低かった。成魚期の卵巣の SI は、餌の切り換え後から急速に増加し、約 20 日で収束した。

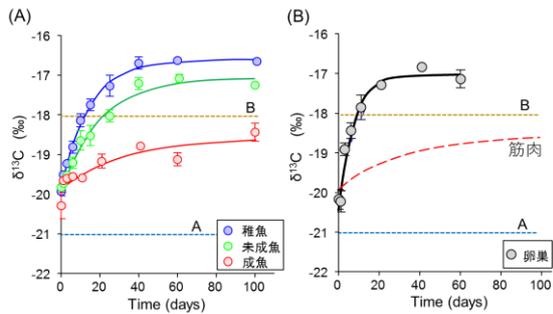


図1. 実験期間におけるカタクチイワシ筋肉と卵巣の炭素安定同位体比の変化 (A) 各発育段階の筋肉; (B) 成魚の卵巣と筋肉。餌A、Bの同位体比も示す。

親魚期の (体長の異なる) 親と子の筋肉の SI には相違が認められ、成長の停滞した親の SI は成長が活発な子よりも変化速度が遅かった。一方、卵巣の SI の変化速度には両者に相違が認められたが、いずれも餌切り替え後から約 20 日で値が収束した。

以上の結果から、春～夏に産卵する (大型; 成長がほぼ停滞した) 雌親魚の筋肉の SI は過去に、卵巣の SI は直近に摂食した餌の SI を反映することが示唆され、両組織の SI は個体の生息環境履歴を示す指標として有効であると推察された。

(2) 瀬戸内海の燧灘と大阪湾、外海の日向灘と熊野灘の筋肉および卵巣の窒素 SI には相違が認められ、瀬戸内海の標本は 13~15‰であったのに対して、外海の標本は 8~9‰であった (図 2)。また、燧灘と大阪湾の炭素 SI にも相違が認められ、筋肉、卵巣ともに燧灘の炭素 SI は大阪湾よりも低かった。筋肉と卵巣の SI を比較したところ、燧灘、大阪湾、日向灘、熊野灘において炭素、窒素ともにその差異は小さかった。

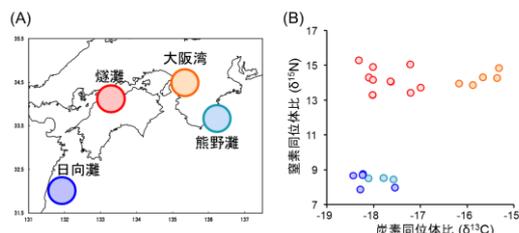


図2. 標本の採集海域(A)と各海域から採取されたカタクチイワシ卵巣の炭素・窒素安定同位体比(B)

一方、紀伊水道で採取された標本は時期や組織間において SI に違いが認められ、5 月標本の筋肉と卵巣の SI は炭素・窒素ともに低かったが、7 月標本の筋肉と卵巣の SI はともに高かった (図 3)。

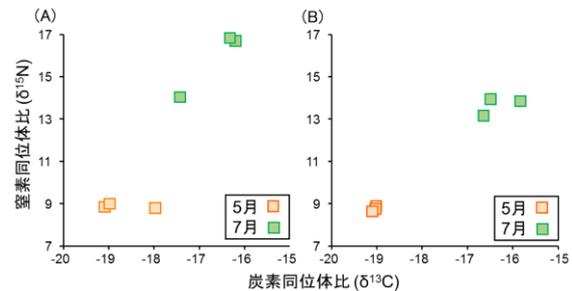


図3. 紀伊水道において5、7月に採取されたカタクチイワシ筋肉(A)と卵巣(B)の炭素・窒素安定同位体比

以上の結果から、① 窒素 SI により瀬戸内海由来と外海由来を区別することが可能であること、② 燧灘と大阪湾は炭素 SI により判別可能であり (餌の主要生物種の利用の違いに基づく; 例: 燧灘: 動物プランクトン; 大阪湾: ベントスなど, 私信)、両者の交流はほとんどないこと、③ 筋肉と卵巣の SI が類似していることから、燧灘、大阪湾、日向灘、熊野灘で採取された標本は過去の生育場と現在の産卵場がほぼ同じ海域であること、④ 紀伊水道の 5 月標本は外海由来、7 月標本は内海由来であり、海域での産卵が継続しているものの、産卵群は時期によって入れ替わっていること、などが示された。これらのことは、瀬戸内海周辺海域に複数の地域個体群が存在している可能性を示唆している。今後、さらに他の海域 (例: 瀬戸内海西岸) の天然魚にも適用させることにより、瀬戸内海周辺海域におけるカタクチイワシの分布・回遊や個体群構造の詳細が明らかにされることが期待される。

(3) 成長や発育に及ぼす水温の影響は明らかであり、いずれの海域の標本も変態期に到達したのは 22~24℃区では孵化後 50 日であったが、14~16℃区では約 90 日を要した。脊椎骨数の計測結果より、脊椎骨数に及ぼす水温の影響が認められ、低水温ほど脊椎骨数が少ない傾向がいずれの群でも認められた。一方、冬季に千葉県房総海域へ来遊する大型カタクチイワシ (沖合群: 被鱗体長 13~14cm) と大村湾と燧灘 (沿岸群: 被鱗体長 9~11cm) の脊椎骨数を調べた結果、20~23℃では沖合群の脊椎骨数は沿岸群よりも少ない傾向が認められた。

日本周辺海域のカタクチイワシは水温 15℃以上で最終成熟、排卵、産卵が進むこと

が知られているが<sup>1-3,6)</sup>、太平洋の沖合群は10℃前後でも産卵が可能である<sup>4,5)</sup>。このため、冷水温に適応している沖合群にとって、20～23℃は適水温の上限である可能性が高く、その結果、沿岸群の脊椎骨よりも少なくなったのかもしれない。カタクチイワシの脊椎骨数に及ぼす個体群特性の影響については、継代飼育などを通じて更に調査を継続していくことが望まれる。

#### <引用文献>

- ① Yoneda et al., Temperature-induced variation in sexual maturation of Japanese anchovy *Engraulis japonicus*, J. Mar. Biol. Assoc. UK, 95, 2015, 1271-1276
- ② Yoneda et al., Temperature and income resource availability mediated variation in reproductive investment in a multiple-batch-spawning Japanese anchovy, Mar. Ecol. Prog. Ser., 516, 2014, 251-262
- ③ Yoneda et al., Dynamics of gonadosomatic index of fish with indeterminate fecundity between subsequent egg batches: application to Japanese anchovy *Engraulis japonicus* under captive conditions, Mar. Biol., 160, 2013, 2733-2741
- ④ 須原三加他, カタクチイワシの繁殖特性の海域間比較, 79, 日水誌, 813-822
- ⑤ Takasuka et al., Temperature impacts on reproductive parameters of Japanese anchovy: comparison between inshore and offshore waters, Fish. Res. 76, 2005, 475-482
- ⑥ 米田道夫, 北野 載, カタクチイワシの成熟・産卵調節機構, 水産学シリーズ, 175, 2013, 79-91
- ⑦ Liu et al., Late Pleistocene divergence and subsequent population expansion of two closely related fish species, Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) and Australian anchovy (*Engraulis australis*), Mol. Phylogenet. Evol., 40, 2006, 712-723
- ⑧ Tanaka et al., Geographical variations in the trophic ecology of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, inferred from carbon and nitrogen stable isotope ratios, Mar. Biol., 154, 2008, 557-568
- ⑨ 高尾亀次, 瀬戸内海におけるカタクチイワシの回遊・産卵, 水産技術と経営, 3, 1990, 9-17

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計6件)

- ① 米田道夫, カタクチイワシの体サイズ・産卵経験に伴う繁殖投資戦略, 2015年度水産海洋学会, 2015年10月10日、釧路

- 市観光国際交流センター(北海道・釧路市)
- ② 米田道夫, カタクチイワシの産卵特性における地理的変異: 飼育実験による検証, 平成27年度日本水産学会秋季大会, 東北大学, 2015年9月23日(宮城県・仙台市)
- ③ 米田道夫, 小型浮魚類の加入量予測モデル構築に向けての課題, 平成27年度中央ブロック資源海洋調査研究会シンポジウム「数値モデルを利用した水産海洋研究」, 2015年9月15日、高知城ホール(高知県・高知市)
- ④ 米田道夫, カタクチイワシの分布・回遊の把握に向けた炭素・窒素安定同位体比の有効性, 平成26年度日本水産学会秋季大会, 2014年9月20日、九州大学(福岡県・福岡市)
- ⑤ 田中寛繁, 卵生産に必要な栄養源はいつ獲得されるのか?—炭素・窒素安定同位体比に基づく小型浮魚類での検証, 平成26年度日本水産学会秋季大会, 2014年9月20日、九州大学(福岡県・福岡市)
- ⑥ 米田道夫, カタクチイワシの生息環境履歴を示す生態標識の開発, 第45回瀬戸内海東部カタクチイワシ等予報会議, 2014年4月26日、瀬戸内海区水産研究所廿日市庁舎(広島県・廿日市市)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

米田 道夫 (YONEDA, Michio)  
国立研究開発法人水産総合研究センター・瀬戸内海区水産研究所・研究員  
研究者番号: 30450787

##### (2) 連携研究者

片山 知史 (KATAYAMA Satoshi)  
東北大学大学院・農学研究科・教授  
研究者番号: 30224455

##### (3) 研究協力者

河野 悌昌 (KONO Naoki)  
山本 昌幸 (YAMAMOTO Masayuki)  
長谷川 淳 (HASEGAWA Jun)  
太田 健吾 (OHTA Kengo)  
津崎 龍雄 (TSUZAKI Tatsuo)  
山田 徹生 (YAMADA Tetsuo)  
竹島 利 (TAKESHIMA Satoshi)