

第 105 回 対馬暖流系

アジ・サバ・イワシ長期漁海況予報会議

調査・研究発表

要旨集

日 時：平成 28 年 10 月 27 日 13：00～16：30

場 所：長崎西彼農協ビル 会議室

主 催：国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所

## プログラム

### 調査・研究発表

13 : 00～13 : 30

「対馬東部定置網に設置した係留観測データによる海況・流況変動の1考察」

高木 信夫（長崎県総合水産試験場）

13 : 30～14 : 00

「志布志湾への外洋水の流入に伴う海況変動」

小路口 拓輝（鹿児島県水産技術開発センター）

14 : 00～14 : 30

「東シナ海産底魚類における音響資源調査の実施に向けた取り組み：

音響パラメータの整備」

川内 陽平（西海区水産研究所）

14 : 30～15 : 00

「卵仔魚の分布と輸送、仔魚の成長からみた親潮系冷水域におけるカタクチイワシの初期生態」

林 晃（西海区水産研究所）

15 : 00～15 : 15

休憩

### 特別発表

15 : 15～16 : 15

「魚類耳石の安定同位体組成を用いた高解像度環境履歴解析の進展」

石村 豊穂（茨城工業高等専門学校）

# 対馬東部定置網に設置した係留観測データによる 海況・流況変動の1考察

高木 信夫

長崎県総合水産試験場

## はじめに

対馬海峡のうち、東水道は対馬と北九州の間に緩やかな等深浅が続いており、沖合はイカ釣りの豊かな漁場となっている他、対馬東沿岸部には定置網の好漁場も点在し、浮魚類も多く水揚げされている。一方で近年の大型クラゲの出現においても、対馬東沿岸部は本県でも比較的定置網への入網が多い海域である。このような漁況等の変化を理解するためには、海況・流況といった環境の変動を把握することも重要だと思われるが、対馬東部沿岸部に関する環境の知見はほとんどない。このため、本報告では過去に得られたデータを基に、対馬東沿岸部の水温・流れの変動について検討した。

## 材料と方法

環境データのうち、水温は2006年～2009年までの対馬東に位置する峰町東部佐賀地区の定置網に設置した水温計のデータを用いた。水温は1,5,10,20m層を収集している。また流れについては、峰町東部志多賀地区及び佐賀地区の定置網近傍に1997年9月2日から10月13日まで係留した潮流計のデータを用いた。これらのデータの周期的変動を捉えるため、パワースペクトル解析を行い、水温と流れの周期性を

比較した。更に時系列変動を比較するため、流況データから潮汐調和定数を算出することにより、水温観測時の潮汐流を推定した。また流況については25時間移動平均により残差流を算出した。

## 結果

志多賀と佐賀の流れは東西成分に比べ、地形に沿った南北成分が卓越していた。一方で水温変動は7月～8月の5m以深で、大きく変化する周期的な変動が現れ、特に水深20mで顕著であ

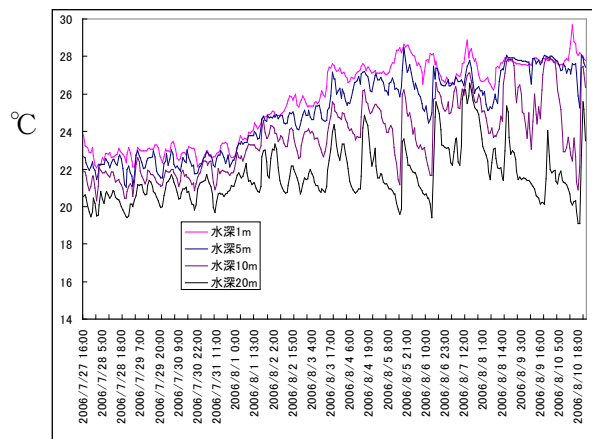


図1 佐賀における夏季の水温変動

った(図1)。このことから、7月～8月における水深20mの水温変動と、予測潮流の南北成分を比較したところ、両者の変動には連動した部分もみられるものの、すべてが一致したものでは

なかった。また、パワースペクトル解析から水温・流れともに、半日・1日周期の潮汐周期の他、2～5日周期の変動が見られた。更に残差流の変動は志多賀では地形に沿って北東・南西方向の周期的な流れが、佐賀地区では南東方向の周期的な流れがみられ、両者の周期変動は概ね一致していた(図2)。

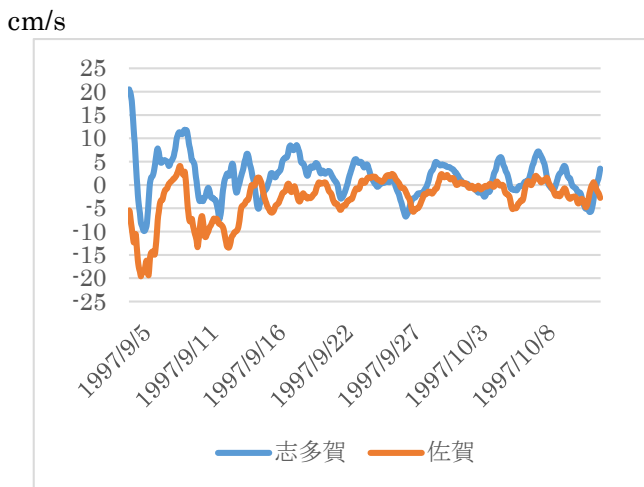


図2 志多賀・佐賀における残差流の変動

### 考察

夏季の水温にみられた周期的な変動と潮汐流の変動を比較した結果、この水温変動には潮汐流以外の駆動力が影響していることが示唆された。一方、スペクトル解析から両者とも潮汐周期とは別の2～5日の周期性が認められることや、対馬東水道では反時計回りの渦があり、この発生周期は数日で、発生頻度は潮汐周期(大潮、小潮)との関連性が報告されていること、更に本調査では互いに南北に位置する志多賀・佐賀の残差流も同様に変動していることから、対馬東水道では南北に連動する周期的な残差流があり、これが

佐賀で観測した水温変動に関連する可能性があると推察された。

### おわりに

本調査では、異なる時期に実施した水温・流動の観測結果を用いたため、水温と流動の関連性を明確に示唆することはできなかったものの、対馬東部の環境を知るうえでの、指標にはなっただと思われる。ここで、対馬東部の水温変動が流動と関連していると仮定して行った、水温と大型クラゲ入網状況の検討について記す(図3)。

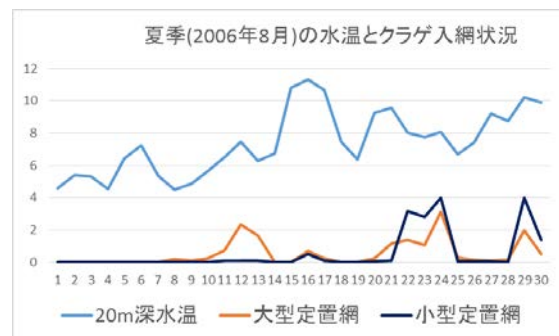


図3 水温変化と大型クラゲ入網状況の関係

クラゲの来遊量が時期により異なるため、変動量に差がみられるものの、大型クラゲの入網は、概ね水温変化に連動しているように見える。

今後、対馬東の沿岸部における水温変動と流動との関連性を視野に入れた調査を、夏季以外の時季についても実施することにより、水温変動と魚介類の移動を知る上で有用な知見を得られるよう努めたい。

# 志布志湾への外洋水の流入に伴う海況変動

○小路口 拓輝<sup>1</sup>・種子田 雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>鹿児島県水産技術開発センター，<sup>2</sup>水産研究・教育機構西海区水産研究所

## 1. はじめに

志布志湾は、鹿児島県大隅半島東部に位置し、湾口の幅は約 15km、湾奥部まで約 20km の内湾である。湾の形状は外洋に対して開放的で、海底に突出部はなく、なだらかな地形となっている。

また、志布志湾の沖合には黒潮が流れ、沿岸部も大隅分枝流や日向灘黒潮反流があり、志布志湾への黒潮系外洋水の流入出は多いと考えられるが、これらに関する知見は少ない(図1)。

過去の知見として、昭和 45 年に鹿児島県が志布志湾再開発のために行った海洋観測調査報告(未投稿)があり、この報告によると、志布志湾の海況変動は外洋水の流入による影響が大きく、外洋水は宮崎県都井岬側から流入し、鹿児島県内之浦側から流出する場合と、湾全域へ流入し、下層から流出する 2 つのパターンがあったとしている。

ただし、この調査は季節ごとに年 4 回の調査結果であり、連続的な調査は行われていないため、志布志湾への流入過程の全容は明らかになったとは言えず、その流入規模や黒潮流路変動による流入メカニズムも不明であり、海況と漁況との関連については知見がない。

一方、志布志湾における定期的な海洋観測はほとんど行われていなかったが、2008 年から鹿児島県水産技術開発センターが、月 1 回定線観測をおこなっている。また、(一社)漁業情報サービスセンターが 2006 年から 2012 年まで内之浦の定置網に水温ブイを設置しており、海洋観測データは蓄積されつつある(図1)。

本研究では、これらのデータから過去の知見における外洋水の流入パターンを検証・整理し、その流入規模を把握することで、志布志湾への外洋水の流入に伴う海況変化の基礎的知見を得ることを目的とする。

## 2. 使用データと方法

まず、志布志湾への外洋水流入パターンの検証・整理のために、鹿児島県内之浦と宮崎県串間に設置した水温ブイから得られた 2007~2013 年の 10m 深水温を比較した。2 地点の水温が同時期に 1℃以上上昇している

イベントを抽出し、そのイベント期間中の人工衛星

「NOAA」の 1 日合成水温分布画像(以下、NOAA 画像という)を観察した。串間の水温は国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所運用のリアルタイム海洋情報収集解析システムで収集された 2007 年以降のデータを利用した(<http://buoy.nrifs.affrc.go.jp>)。

なお、NOAA 画像は雲による欠測があるため、明瞭な画像がある期間のイベントのみ選択し、流入パターンを調べた。

次に、湾内への外洋水流入を捉えた NOAA 画像と 2008 年以降の海洋観測で得た水温・塩分の鉛直分布から、外洋水の水平方向・鉛直方向の流入規模を調べた。

流入規模は、沿岸系水塊と外洋系水塊のフロントを水温・塩分鉛直分布図から読み取り、水塊の違いを T-S 図で検証した。なお、海洋観測は月 1 回しか行っていないため、NOAA 画像と海洋観測日が一致している場合のみ解析した。

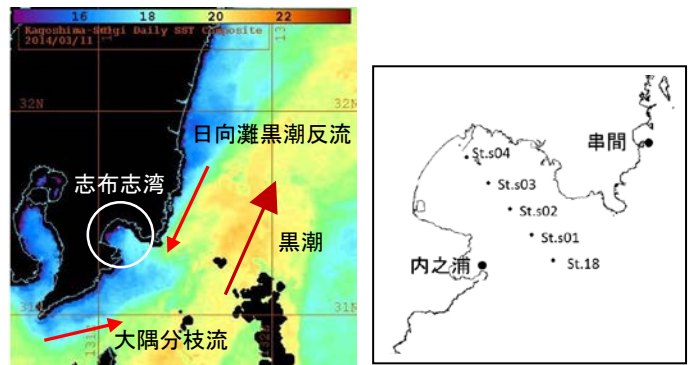


図1 南九州東部海域模式図と志布志湾観測点

## 3. 結果

外洋水の流入パターンを調べた結果、5つの事例を抽出することができ、2つの流入パターンを確認できた(図2~4)。1つは宮崎県都井岬側からの小規模な流入、2つは湾全域へ大規模な流入であった。これらは、過去の知見と一致している。また、これら事例では、水温の上昇の日数から流入イベントは数日の短期間であることが分かった。また、すべての事例において、宮崎県側の日向灘反流や都井岬への黒潮の接岸によって流入し、鹿児

島県内之浦側や大隅分枝流からの流入は確認できなかった。

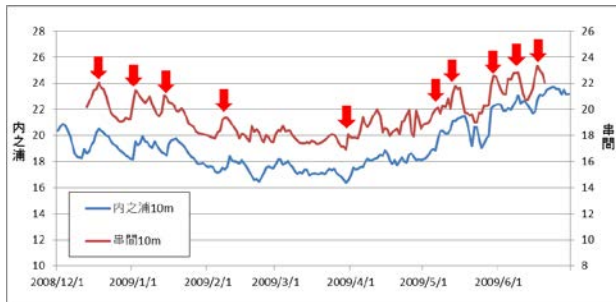


図2 内之浦-串間水温比較 (2008.12~2009.6)  
(矢印は昇温イベント)

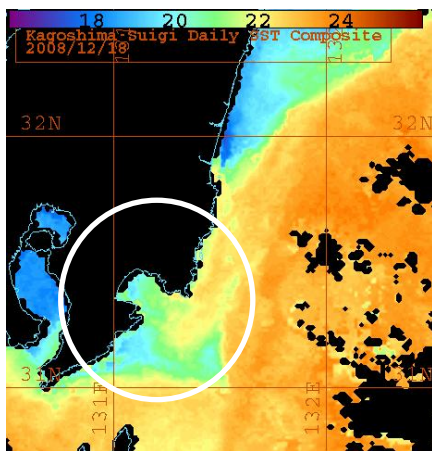


図3 NOAA 画像 (志布志湾全域への流入の様子)

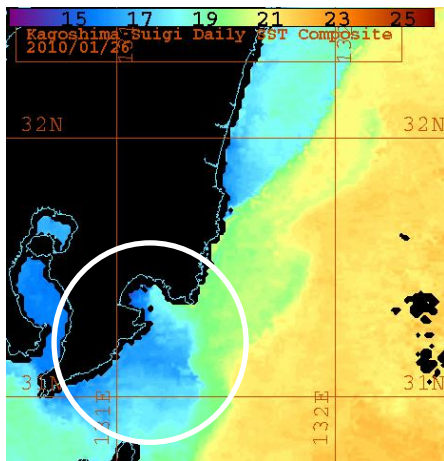


図4 NOAA 画像 (都井岬側からへの流入の様子)

次に流入規模について、NOAA 画像、水温・塩分鉛直分布、TS 図から調べた結果、外洋水が都井岬側から小規模に流入したパターンは1つ、湾全域へ大規模に流入したパターンは2つ事例を確認することができた。これら事例は先の結果の2つのパターンに当てはまる。

都井岬側からの流入パターンでは、水温・塩分鉛直分

布図から、St.s04 の湾奥部まで外洋水が達しており、水深 20~30m まで外洋水が及んでいた (図5左)。TS 図からも、すべての定点において、ほぼ同一の水塊であることがわかる (図6左)。

湾全域への流入パターンでは、St.s02 の湾中央部に水塊のフロントがあり、外洋水は湾奥部まで達していなかったものの、外洋水は水深 30~40m 付近まで及んでいた (図5右)。TS 図からも St.s04, St.s03 は沿岸系水塊、St.02 は混合域、St.01, St.18 は外洋系水塊であると判別できた(図6右)。

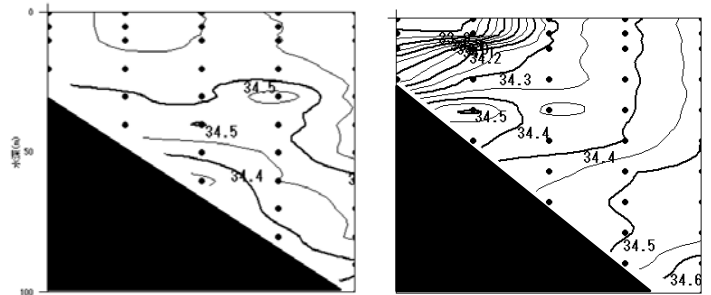


図5 塩分鉛直分布 (左: 都井岬側流入, 右: 全域流入)

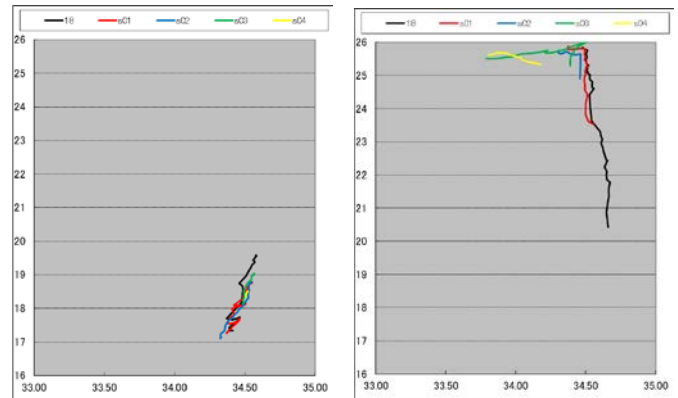


図6 TS 図 (左: 都井岬側流入, 右: 全域流入)

#### 4. まとめと今後の課題

本研究では志布志湾への外洋水の流入は、数日の短期間で都井岬側からの流入、または湾全域への流入するパターンを確認でき、その流入規模にも違いがあることがわかった。しかし、今回確認できた事例は多いとは言えず、今後もこの結果について検証が必要である。

また、外洋水流入のメカニズムは都井岬沖の黒潮流路変動に起因すると推察できるが、今後の研究課題と言える。

# 東シナ海産底魚類における音響資源調査の実施に向けた 取り組み：音響パラメータの整備

川内 陽平

水産研究・教育機構 西海区水産研究所

## はじめに

東シナ海産底魚類の資源動向を把握するために、調査船による漁業から独立した現存量推定の重要性は高く、西海区水産研究所でも毎年着底トロール調査を実施している。しかし、日程の制限から調査内で曳網回数を増やすことが難しく、現存量推定精度の向上に課題がある。

計量魚群探知機（以下、計量魚探）による音響調査は上記課題への有効な解決策になる可能性がある。他方、東シナ海産底魚類は種数が多く、生物量が少ないという本手法に不向きな特徴を持つことから、十分に活用の可能性を検討されてこなかった。しかし近年、底層の音響反射量と着底トロールの漁獲個体数密度に相関がみられることが明らかとなり、底魚類の生物量推定に対する計量魚探の有効性が見直されるようになった（川内ら 印刷中）。高精度な音響調査実施に向けた今後の課題としては、音響データからの魚種判別、現存量推定手法の検討等が挙げられるが、いずれにしても重要な音響パラメータである魚 1 個体あたり反射強度ターゲットストレングス（以下、TS）の推定は必要不可欠である。

本発表では、現在発表者が実施している TS 測定の取り組みや、東シナ海における過去の TS 情報のレビュー結果を紹介する。

## 材料と方法

### 1. 屋内水槽による遊泳魚の TS 測定

発表者らが開発した簡便な TS 測定方法（南ら 未発表）により得た結果を紹介する。ここでは、底魚ではないが、資源量が多く、底層に分布するため音響反射量への影響が大きいマアジを対象とした。2015 年 10 月、2016 年 6 月に得られた 5 個体の供試魚（FL = 21.5 ~ 27.5 cm）を、活魚のまま実験設備のある函館市国際水産・海洋総合研究センターに輸送した。その後、同施設内の大型屋内水槽の上部にスプリットビーム式計量魚探を設置し、水槽内で自由遊泳させたマアジの超音波 1 ピング送信周期ごとの TS と超音波ビーム内での 3 次元位置を、各個体で記録した。本実験では魚類の生物量推定に使われることが多く、マアジ成魚において TS 測定の事例が無い 38 kHz の計量魚探を用いた。得られた音響データから、個体ごとに平均 TS を算出し、体長との関係を近縁種での知見と比較した。また、今

回の TS 値が自然状態に近い遊泳行動から得られたものかを確認するため、ピング間の位置座標の違いから供試魚の遊泳角 (TS の増減に影響) を算出し、過去の知見と比較した。

## 2. 東シナ海産底魚類の TS レビュー

過去の文献で得られている TS 情報をレビューし、東シナ海での音響パラメータの整備状況を把握するとともに、魚類・頭足類の TS の特徴から、有効な魚種判別手法の開発に向け、予備的検討を行った。

## 結果と考察

### 1. マアジの TS 測定結果

実験の結果、平均 TS は -40.2 ~ -34.4 dB の範囲にあった。平均 TS と体長との関係は、一般的な有鰈魚の関係と比べて、ケープマアジ ( $TS = 20 \log L - 65.0$ ) により近いことが分かった。他方、供試魚の平均的な遊泳角は  $-5.6 \sim 0.7^\circ$  であり、自然環境で測定されたチリマアジの結果とよく似ていた。マアジについて自然状態の遊泳角を得た知見は無いため今後検証する必要はあるが、本実験の TS 値は比較的 naturally 近い遊泳行動から得られ、実海域へ適用する上で妥当性があると考えられる。

### 2. 東シナ海産底魚類の TS

レビューの結果、東シナ海に生息する魚類・頭足類では 20 種程度 TS 測定が行われていることが分かった。重要な種では、キダイ、マアジ、サバ類、イボダイ、タチウオなどが挙げられる。しかし、いずれも周波数 (特に調査船で使われる 38、120 kHz)、発育段階・体長によって知見がないことが多かった。

周波数間での TS 値の差が魚種により異なることを利用した「2 周波法」は、音響データ上での魚種判別に有効な一手法として知られている。今回レビューした魚種のうち、有鰈魚を中心として魚類では低周波で、頭足類では高周波で TS が高い傾向にあり、今後、この特性の違いを利用した魚種判別が可能となることが示唆された。

## 今後の課題

上記のように、東シナ海産底魚類における音響調査実施に向けた TS 情報の整備が進みつつある。しかし、精度の高い調査を設計するためには、まだまだ多くの種の TS を明らかにする必要がある。別途進行中の研究からは、東シナ海では陸棚縁辺の重要種に絞った音響調査の有効性が示唆されており、特に今回測定したマアジに加え、キダイ、カイワリ等の TS を重点的に解明することが、詳細な魚種判別のために重要となる。発表者らは、現在これらの種でも実験を試みており、十分な結果が得られ次第、順次報告していきたいと考えている。



# 卵仔魚の分布と輸送、仔魚の成長からみた 親潮系冷水域におけるカタクチイワシの初期生態

林 晃

水産研究・教育機構 西海区水産研究所

## はじめに

1990年代の資源量増加に伴い、カタクチイワシ *Engraulis japonicus* は、分布域のみならず産卵場までも、黒潮系暖水域（千葉県以南）から親潮系冷水域（茨城県以北）へと北方拡大した。近年、本種の個体群動態や生態が、両海域間で異なることが明らかになりつつある。

本研究は、知見の乏しかった親潮系冷水域におけるカタクチイワシの①卵分布、②卵仔魚の輸送様式、③仔魚の成長動態を、黒潮系暖水域との対比を通して明らかにした。

## 材料と方法

- ①卵分布: 卵の分布密度の経月変化を調べる目的で、岩手県水産技術センターの岩手丸が、1980–2015年5–10月に稚魚ネットを用いて採集した標本から、カタクチイワシ卵を選別して計数した。どのような表面水温（SST）範囲で卵がよく採集されたかを調べる目的で、卵の採集結果を在・不在の2値データに変換し、採集点のSSTに対する Spawning Temperature Index<sup>1</sup>（STI）を求めた。
- ②卵仔魚の輸送: 親潮系冷水域に分布

する仔魚の供給源を調べる目的で、FRA-JCOPE2<sup>2</sup>の流動場データを用いた粒子追跡実験を行った。2011年1月1日–12月31日の期間の毎日、カタクチイワシ太平洋系群と対馬暖流系群の産卵量データの各格子の中心に、それぞれ100個の粒子を投入した。岩手県宮古湾（142°00'E, 39°42'N）と茨城県大洗漁場（140°36'E, 36°18'N）を想定した座標を中心とした半径0.3度の円を加入水域と定義し、投入から30日後に加入した粒子の個数を月毎に集計した。集計値を粒子投入点における産卵量で重み付けした。神奈川県相模湾（139°18'E, 35°18'N）においても同様の手順を実施し、結果を対比した。

- ③仔魚の成長: カタクチイワシ仔魚を、親潮系冷水域の宮古湾（2012–15年4–11月）と大洗漁場（2011–15年7–11月）および黒潮系暖水域の相模湾（2008年3月–2009年9月）において、船曳網を用いて採集した。仔魚の体長を計測し、耳石を摘出して日輪解析に供した。採集前5日間の体長成長速度（ $G_5$ , mm day<sup>-1</sup>）を Biological-

<sup>1</sup> Lluch-Belda *et al.* (1991) *CalCOFI Rep* **32**, 105–111.

<sup>2</sup> Miyazawa *et al.* (2009) *J Oceanogr* **65**, 737–756.

intercept 法<sup>3</sup>により算出した。

## 結果と考察

- ①卵分布: 卵分布密度の月平均値は、5–6月には0.1粒 m<sup>-2</sup>に満たなかったが、7月には5.3粒 m<sup>-2</sup>へ急増した。卵分布密度は8月に1.2粒 m<sup>-2</sup>まで低下した後、9月以降には0.01粒 m<sup>-2</sup>を下回り、産卵は実質的に終息した。STI算出の結果、卵は13–20°CのSST範囲に出現すると判断されたが、出現確率は15–16°Cで著しく高かった。親潮系冷水域のカタクチイワシは、SSTが産卵水温の下限(15°C)を上回る初夏に集中的に産卵することによって、本海域を産卵場として利用していた。
- ②卵仔魚の輸送: 相模湾の加入粒子は全てが黒潮系暖水域由来であったのに対して、宮古湾と大洗漁場には複数の海域から粒子が加入した。大洗漁場では、2・3月には加入粒子の全てが黒潮系暖水域由来であったが、親潮系冷水域由来の粒子が4–7月にはおよそ70%以上、9–11月には95%以上にまで増加した。8月の加入粒子は20%以上が親潮系冷水域由来であった。宮古湾では、6月には加入粒子のおよそ40%が親潮系冷水域由来であったが、残りは対馬暖流域東部と移行域に由来する粒子がおよそ30%ずつを占めた。5・7・9月の加入粒子は、全てが親潮域由来であった。
- ③仔稚魚の成長: 相模湾では、仔魚のG<sub>5</sub>(0.30–0.70 mm day<sup>-1</sup>)は水温(12.8–28.1°C)と有意に正相関した。一方、大洗漁場と宮古湾では仔魚のG<sub>5</sub>(

0.27–0.98 mm day<sup>-1</sup>)は水温(11.0–26.2°C)とは無関係であった。これは親潮系冷水域の時空間的に不安定・不均一な餌料環境の反映であり、18–21°Cの水温範囲で観察された高成長(>0.80 mm day<sup>-1</sup>)は、仔魚が突発的に現れた好適餌料環境を利用した結果と考えられた。

## まとめと今後の展望

本研究の結果、親潮系冷水域におけるカタクチイワシの生活史は、夏季の温暖(>15°C)な水域を利用した集中産卵によって始まることがわかった。孵化した仔魚は、対馬暖流域域や黒潮域系暖水域で発生した群と共に沿岸域へ来遊し、主に餌料環境に規定された成長過程を経ると考えられた。

親潮系冷水域のカタクチイワシは、好適水域に遭遇すると、黒潮系暖水域ではみられない集中産卵や高成長を示す。しかし、本海域の仔魚は複数海域で発生した仔魚の混成群であることから、産卵・成長への時空間的制限を補償しうるこのような生態は、遺伝的差異に基づくものではなく、環境に対する応答と考えられる。

カタクチイワシの漁獲量の変動幅は親潮系冷水域で大きく、黒潮系暖水域で小さい。本種の種内で見られる個体群動態の南北差は、様々な生物種間でみられる南北差と類似している。今後は、この南北差が生態の南北差に起因しているという想定のもと、本種の資源量変動機構の解明を狙う。

<sup>3</sup> Campana (1990) *Can J Fish Aquat Sci* **47**, 2219–2227.

# 魚類耳石の安定同位体組成を用いた高解像度環境履歴解析の進展

石村豊穂

独立行政法人国立高等専門学校機構・茨城工業高等専門学校

## はじめに

海洋生物が作る炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ : 有孔虫・サンゴ・貝類などの殻や骨格) の炭素酸素安定同位体組成 ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) は、過去の地球環境変動を反映することから、過去 60 年以上にわたり環境解析に多用されてきた。魚類の耳石も  $\text{CaCO}_3$  で形成されるため、 $\delta^{18}\text{O}$  は生息環境の温度を反映し、 $\delta^{13}\text{C}$  は餌や代謝といった生体情報を記録している (Amano et al., 2015 など) とされる。さらに耳石の場合には、成長輪形成とともにその時点での環境情報を安定同位体組成として記録することから、生態履歴推定への活用が期待されている。しかしながら、耳石を高解像度で成長段階ごとに切削し同位体比分析をするには、①切削技術の開発、②極微量の粉末試料の回収方法の検討、③微量での同位体比分析の実践が必要であった。

近年、安定同位体比質量分析 (IRMS) における試料導入系の改良により、極微量 ( $0.1\mu\text{g}$ ~) での炭酸塩安定同位体比質量分析が可能になった (MICAL3c, Ishimura et al., 2004, 2008)。この分析システムは耳石に残された環境情報を数十マイクロメートルオーダーで高精度に分析できる世界で唯一の分析システムである。我々は、高精度切削システム Geomill326 (坂井, 2015) を活用し、回遊経路が未知の魚類耳石を成長段階ごとに切削・回収し、それらの安定同位体比から魚類の回遊履歴全体を高解像度で再現できるかどうかについて検討をしつつ、応用研究への展開を目指している。最終的には日輪レベルまでの高時間分解能での回遊履歴を抽出することにより、産卵時期・規模、回遊中に魚類が経験した水塊情報の推定、そして当該魚種の集団構造を明らかにすることへの貢献が期待できる。

## 応用研究の進展と今後の展望

我々は開発した分析システムを用いて、マグロ仔魚の耳石を用いた水温換算式の構築 (Kitagawa et al., 2013) や、マイワシを用いた太平洋における回遊履歴の判別法の構築 (尾田ほか, 2016) を試行してきた。さらに、高解像度回遊履歴の解析例としてマイワシの耳石を成長段階ごとに詳細に切削し安定同位体比

を測定することに成功している。成長輪に沿った切削は幅 30 $\mu\text{m}$  前後，最大深度 100 $\mu\text{m}$ ，サンプル量はそれぞれ 0.6~5.5 $\mu\text{g}$  であった（従来法の数十倍の解像度）。分析の結果，成長段階によって  $\delta^{18}\text{O}$  が明瞭に変動することを確認できた（Ishimura et al., in prep.）。この変動には，黒潮域から親潮混合域，そして親潮へ移動した情報が明瞭に記録されており，実際の回遊経路とも整合性があることが明らかとなった。この成果は初めての高解像度解析例であり，得られた成果は回遊モデルのチューニングやその妥当性の検証に活用することが可能で，水産資源の保全を目的とした動態解析にも貢献できると考えている。また， $\delta^{18}\text{O}$  と同時に測定した  $\delta^{13}\text{C}$  も回遊履歴に伴う顕著な同位体比変動を記録しており，回遊履歴解析の検討要素の 1 つとして認識するに至っている。今後は日輪レベル分析への応用を試み，魚類動態の詳細な把握など新たな学問分野の創造が期待できる。本発表ではこの分析技術の最適化と新たな応用研究の展望についても紹介する。

## 文 献

- Amano, Y., Shiao, J. C., Ishimura, T., Yokouchi, K., & Shirai, K. (2015). Otolith geochemical analysis for stock discrimination and migratory ecology of tunas. In “*Biology and ecology of Bluefin tuna*” (Takashi Kitagawa and Shingo Kimura, eds.) 225-257. CRC Press. DOI: 10.1201/b18714-14
- Ishimura, T. Tsunogai, U., Nakagawa, F. (2008). Grain-scale heterogeneity of the stable carbon and oxygen isotopic compositions in international standard calcite materials (NBS19, NBS18, IAEA-CO-1, and IAEA-CO-8). *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 22, 1925–1932. DOI: 10.1002/rcm.3571
- Ishimura, T., Tsunogai, U., and Gamo, T., Stable carbon and oxygen isotopic determination of sub-microgram quantities of  $\text{CaCO}_3$  to analyze individual foraminiferal shells. (2004). *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 18. pp 2883-2888. DOI: 10.1002/rcm.1701.
- 坂井三郎，地球科学におけるマイクロサンプリング技術の進歩. (2015). 地球化学, 49, 99-110.
- Kitagawa, T., Ishimura, T., Uozato, R., Shirai, K., Amano, H., Shinoda, A., Tsunogai, U., and Kimura, S. (2013). Validity of otolith  $\delta^{18}\text{O}$  of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) as an indicator for ambient environment. *Marine Ecology Progress Series*. 481. 199–209. DOI:10.3354/meps10202
- 尾田昌紀，鐵智美，坂井三郎，石村豊穂. (2016). 耳石の安定同位体比分析を用いたマイワシ回遊履歴の判別法. 水産海洋研究. 80(1), 48-55.