

日本海

リサーチ & トピックス

2018年3月 第22号



標識のついたブリを探しています

実施機関：国立研究開発法人水産研究・教育機構 日本海区水産研究所

北海道と佐渡で
放流したブリが全国に
来遊するかもしれません

2017年5月
放流

2017年9月
放流

オレンジ色の標識

長さ 約10 cm

尾叉長

もし、見つけたら、**まずはご連絡ください**

- ・背中の標識をお送りください
- ・可能な限り以下の情報を教えてください

① 獲れた日・場所 ③ 尾叉長（上の図）・体重
② 漁具・漁法 ④ 獲った方のご連絡先

- ・魚体の買取りが可能が相談させていただきます
- ・報告者には粗品を贈呈いたします

連絡先 国立研究開発法人水産研究・教育機構
日本海区水産研究所
電話：025-228-0536 担当：古川・久保田

ブリの標識放流

- アーカイバルタグデータ解析によるブリの回遊履歴推定の試み
- 生物多様性研究を効率化する計算ウェブページの開設
- 耳石横断面法と表面法を用いた若狭湾西部産アカアマダイの年齢と成長
- サケの母なる川を訪ねて～山形県月光川編～

編集 日本海区水産研究所



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

目 次

アーカイバルタグデータ解析によるブリの回遊履歴推定の試み 古川誠志郎（資源管理部・資源管理グループ）	3
生物多様性研究を効率化する計算ウェブページの開設 高田宜武（資源環境部・浅海環境グループ）、 内田基晴（瀬戸内海区水産研究所・生産環境部）	6
耳石横断面法と表面法を用いた若狭湾西部産アカアマダイの年齢と成長 井関智明（資源生産部・資源増殖グループ）	9
サケの母なる川を訪ねて～山形県月光川編～ 阿部邦夫（資源管理部・さけます調査普及グループ）	13

表紙の解説

ブリの標識放流

現在、日本海区水産研究所では、背中にダート型のタグ（ダートタグ）を取り付けて標識放流調査を行っています。本編で紹介したアーカイバルタグは詳細な回遊経路が記録できる一方、測器自体が高額なため、対象とする個体数が限られてしまいます。これに対して、価格の安価なダートタグは放流位置と再捕獲位置の情報しか得られませんが、多数の個体に適用できるというメリットがあります。私たちは様々な方法を組み合わせて、ブリの回遊生態解明を目指しています。もしも、アーカイバルタグやダートタグの付いたブリを見つけましたら、ぜひご一報ください。

アーカイバルタグデータ解析による ブリの回遊履歴推定の試み



古川誠志郎（資源管理部・資源管理グループ）

アーカイバルタグという測器を魚に取り付けて回遊経路を調べる方法と、ブリを事例にしたデータ取得までのプロセスを紹介します

【はじめに】

「魚はいつ・どこにいるのか?」、このシンプルな疑問は、魚を獲るためにも、逆に魚を獲りすぎないようにするためにも大切な情報です。では、どのようにしてこの疑問に答えていけばいいのでしょうか。漁業対象種であれば、その魚が獲れた場所はその魚が居た場所に等しいこととなります。ですので、対象とする魚がいつ・どこで獲れているのかを知ることができれば、「魚はいつ・どこにいるのか?」という疑問に答えることができます。

ところが、「ある個体がいつ・どこにいるのか?」という問いになると、途端に答えるのが難しくなります。例えば、日本とアメリカで同一の魚種が漁獲されていたとします。このときに、例えば、同一の個体が日本から太平洋を横断してアメリカまで移動していたのかという疑問には、漁獲情報だけでは答えることができません。また、仮にこの魚が日本からアメリカまで移動していたとしても、どのような経路でどれくらいの期間をかけて移動していたのかは、漁獲情報だけでは知ることができません。

【照度から位置を推定するアーカイバルタグ】

こうした中、1990年代頃からアーカイバルタグ（図1）という小型の記録計を魚に取りつけて、回遊経路や遊泳行動を記録しようという試みが行われるようになってきました。アーカイバルタグはそれを取り付けた魚が経験する水温、深度、照度（魚の周囲の明るさ）などの環境情報を記録す

ることができます。その中でも特徴的なのが、照度データによる位置の推定です。

もしも対象が陸上動物であれば、記録計にカーナビやスマートフォンに利用されているGPS受信機を内蔵して、正確な位置を特定することができます。ところが、海水中では電波が減衰してしまうためGPSのような電波を用いた測器を利用することができません。そこで、アーカイバルタグを用いた研究では、電波を用いるのではなく、対象魚が経験する照度を時々刻々と記録することによって、日出と日没時刻を記録します。皆さんご存知の通り、地球上の位置によって日出没時刻は違いますので、これを利用して魚の位置を推定します。アーカイバルタグを用いて魚の位置を推定するまでの手順を以下に示しました（本当は、もう少し別の難しい考え方もありますが、ここでは簡単に代表的な考え方のみを示しました）。



図1. ブリに装着して回収されたアーカイバルタグ。ケーブルの先端は水温と照度のセンサーになっており、本体に温度と圧力のセンサーがついている。最近では、数グラム程度にまで小型化が進んでいるものもある。

まず、アーカイバルタグが、それを装着した魚が経験する照度を記録して、それをもとに毎日の日没時刻を推定します。図2 Aを見るとわかると思いますが、日中は明るく、夜間は暗いため照度データから日没時刻を推定することができます。次に、図2 Bのように、日没時刻から正午時刻を見積もり、該当する経度を推定します。さらに、日出と日没の時刻がわかれば、その間の日長（昼の長さ）を推定できます。日長は緯度によって異なるので、これによって魚がいる緯度を推定します（図2 B）。この手順を繰り返すことによって、魚の毎日の位置を推定し、回遊履歴を復元することができるのです。

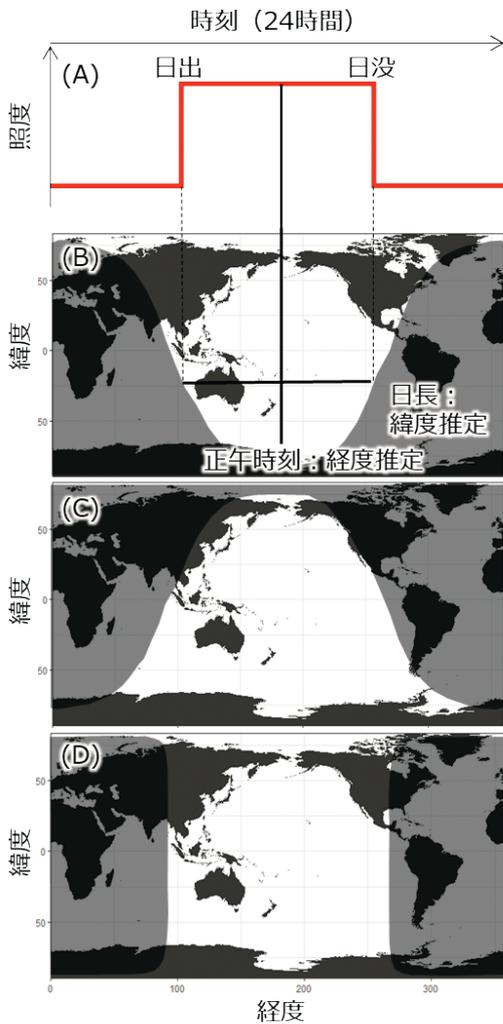


図2. 照度データから位置を推定するための模式図
(A)アーカイバルタグを装着した魚が経験した照度の時系列データの模式図。(B)夏至、(C)冬至、(D)春分・秋分時に地球上のどこが昼で、どこが夜なのかを示した地図の模式図。地図上のグレーの影が夜を示し、白色部分が昼を示す。

【推定位置の精度を向上させる研究】

前述のように、アーカイバルタグは電波を用いた測器が使えない海を回遊する魚の回遊経路を見出すことができる有用な測器です。しかしながら、実はその推定位置の誤差は大きいという欠点があり、実際の位置との差が数百kmに及ぶこともあります。誤差を生じさせる原因として、魚の深淺移動に伴う日没時刻推定の誤りや、春分・秋分時に日長から緯度を推定できないこと等が挙げられます（図2 D）。

このような測位誤差の問題を解決するために、各国の研究者達が知恵を絞ってきました（と言っても、この分野の研究者はそんなに多くはありません）。その方法の一つとして、位置の推定を照度データだけに頼るのではなく、同時に記録された魚の経験水温データを付加することで精度を向上させる方法があります。また、誤差の大きな推定回遊経路から、真の回遊経路を抽出しようとする統計モデルの開発も盛んに行われています。詳細は述べませんが、現在私達は、こういった統計モデルに海洋物理モデル組み込んだ方法を用いることで、日本海を回遊するブリの回遊経路を推定する手法の開発を行っています（図3）。

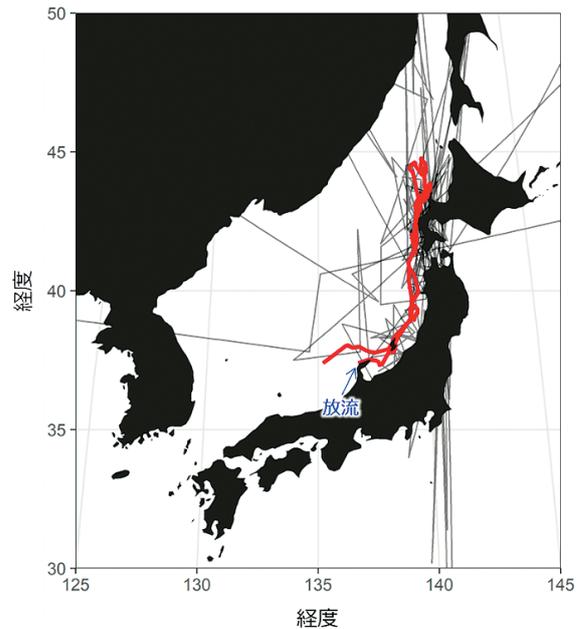


図3. アーカイバルタグで記録された照度データのみを用いて推定したブリの回遊経路（グレーの実線）と、海洋物理モデルを含んだ統計的処理により再構築した回遊経路（赤の実線）

【データを取得するまで】

ここまで、アーカイバルタグを用いて魚の回遊経路を推定する手法を紹介してきましたが、最後に、どのようにアーカイバルタグデータを取得するのか、日本海だけでなく全国的に漁業資源として重要なブリを事例に紹介したいと思います。

まず、ブリにアーカイバルタグを取り付けるところから始まります。ブリでは、魚体へのアーカイバルタグの取り付けは、外科的にメスで腹を開いて腹腔内に埋め込み、脱落しないように縫合糸で腹を縫い合わせています（図4）。この作業は、ブリが獲れる漁船の上で行うことも少なくありません。揺れる船上で生きの良いブリを相手に行う手術は、職人技とまでは言いませんが、それなりの慣れと経験が必要な作業です。次に、この手術でアーカイバルタグを取り付けたブリを再び海に放流します。そして、運良くもう一度この魚が捕獲されてデータを得る機会を得ます。研究者自らが魚を再捕獲できることはほとんどなく、漁業関係者や流通・加工関係者等の皆様のご協力とご報告に支えられています。装着魚が再捕獲されても、まだ油断はできません。アーカイバルタグが

脱落していたり、途中で壊れてデータが記録されていなかったりすることもあります。様々な困難を乗り越え、パソコンにデータを取り込み、データに異常がないことを確認してようやく一安心です。

現在、私は1999年から蓄積されているブリのアーカイバルタグデータを用いて、回遊生態と漁場形成機構の解明を目指して研究を行っています。データの回収に関わった全ての人達への尊敬の念を忘れることなく研究に勤しみたいと思っています。



図4. アーカイバルタグを外科的手術でブリの腹腔内に装着する様子

生物多様性研究を効率化する 計算ウェブページの開設

高田宜武 (資源環境部・浅海環境グループ)
内田基晴 (瀬戸内海区水産研究所・生産環境部)



生物群集の組成データを使って、多様度指数と群集解析法の解説と計算サービスを行うウェブページを開設しました

【はじめに】

日本近海は生物多様性のホットスポットの一つと考えられている。特に沿岸域は生産性が高く、人間にとって利用可能な種も多い。生態系の中で人間が利用している種はごく一部であっても、バランスを欠いた利用が生態系全体に影響を与える可能性がある。2010年に名古屋で開催された生物多様性条約第10回締約国会議では、愛知目標が設定され生物多様性と生態系サービスという概念が市民権を得た。これを受けて2012年には農林水産省生物多様性戦略が改訂された。しかし、生態系が多面的な機能を有するように、生物多様性の評価手法も多面的である。評価手法の一つである多様度指数にも多くの指数が提案されており、実務レベルではどの指数を選択すべきか悩ましい問題である。このような状況下で、指数の計算にかかる手間を大幅に簡略化できれば、選択に悩む前に一先ず計算して数値を得てから指数を比較することが可能となり、業務が大幅に効率化できると考えられる。

水産庁委託の「漁場環境生物多様性評価手法実証調査事業」(H25-H29年度)の目的の一つに、簡易な生物多様性評価手法を開発するという項目がある。そこで、多様度指数と群集解析の手間を軽減させるために、事業成果の一環としてインターネット上にて解説と計算サービスを行うウェブページ (<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/gunshu/>) を開設することとなった。

【ウェブページの構成】

ウェブページは「Rによる群集組成の解析」(注：Rは無償の統計処理ソフト)と題し、群集データの解析方法を解説したページと、利用者がデータをアップロードすることによって画面上で結果を得ることのできる計算ページからなる。これは、上記水産庁事業の成果を還元するウェブページの一部であり、全体のフロントページは瀬戸内海区水産研究所HP (<http://feis.fra.affrc.go.jp/seika/tayousei/>)にある。解説ページ・計算ページともに群集データを活用したい人を主に対象にしている。群集データとは、複数の地点で生物群集の調査をして得られたデータを想定し、各地点で或る種が何個体、別の種が何個体…という形式のデータである。

解説ページでは、統計ソフト「R」のコマンドの使い方と、

コマンドで計算された出力の見方が、解析の流れ(図1)に沿って4項目に分けて説明されている。1番目は「多様度指数の比較」で、群集組成の複雑さの指標となる幾つ

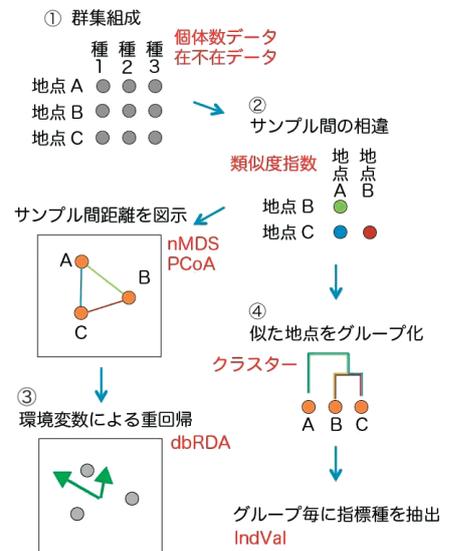


図1. 群集データ解析の流れ図

かの多様度指数を計算し、それら指数の比較方法を説明している (図1①)。2番目は「群集組成による配置図：間接傾度分析」で、群集間の類似度を計算し、多次元尺度法という方法を用いて群集組成の良く似た地点同士は近くに、似ていない地点同士は遠くなるように空間上に地点を配置して図示する方法を説明している (図1②、図2)。3番目は「群集組成と環境変数の関連：直接傾度分析」で、dbRDAという方法で群集組成の違いを各地点の環境変数で重回帰する方法を説明している (図1③)。最後の4番目は「群集の類別と指標種の抽出」で、クラスター分析と指標種の抽出方法を説明している (図1④)。

【計算サービスの使用法】

計算ページは2つあり、多様度指数と群集組成の類別の計算を行う。どちらも利用者自身の群集データ (csv形式のファイル) を用いて計算結果を画面表示することができる。csvファイルはデータがコンマ (,) で区切られたファイルで、エクセル等の汎用表計算ソフトで作成できる。一行目がインデックス、2行目以降がデータで、1列目は地点名、2列目以降に生物の個体数を並べる。多様度指数の計算ページにファイルをアップロードすると、各地点の4種類の多様度指数 (種数、シャノンの多様度指数、シンプソンの多様度指数、最優占種占有率の逆数) と地点全体の多様度を示す α β γ 多様度指数を計算し、数値とグラフの表示を行う (図3)。これらの多様度指数は表計算ソフトでも計算可能だが、入力ミス等の確認が必要だ。Rでの計算方法は解説ページに記している。また、 α β γ 多様度指数の計算は少々面倒なので、当計算サービスの活用をお勧めしたい。

多様度指数は群集組成の複雑さを数値化したものである。群集のある種に注目したとき、その種の個体数が全体の総個体数に占める割合が高い種もあれば、低い種もある。割合の高い種を優占種、低い種を希少種と呼ぶことにすると、希少種も優占種も同等に一種ずつと数えた場合に「種数」という多様度指数を得る。言い換えると、全

群集間の類似度を計算し、nMDSプロットを作成

nMDSは非計量多次元尺度法と呼ばれます。多次元で表された多数の点を、お互いに類似した点同士は近く、類似していない点同士は遠くなるように、なるべく低い次元 (二次元平面など) に配置し直す方法です。群集データの場合は、地点間の類似性は類似度指数で表します。

あらかじめ require(vegan) にてveganパッケージを読み込みます。veganには群集の多変量解析に便利な関数が含まれています。群集データをファイルから読み込みます。以下の例ではcsvファイルから読み込んでいます。header=TRUE を明示して種名を読み込んでいます。また、地点名を行の名前にするために row.names=1 を指定します。

```
dat <- read.csv("spcdat.csv", header = TRUE, row.names=1)
```

次に、metaMDS() で類似度指数を指定して、nMDSの計算を行い、結果を図示します。以下の例ではMorisita-Horn類似度を用いています。

```
res1.mds <- metaMDS(dat, distance="horn", autotransform = FALSE, trace = 0)
plot(res1.mds, type="t", display="sites")
```

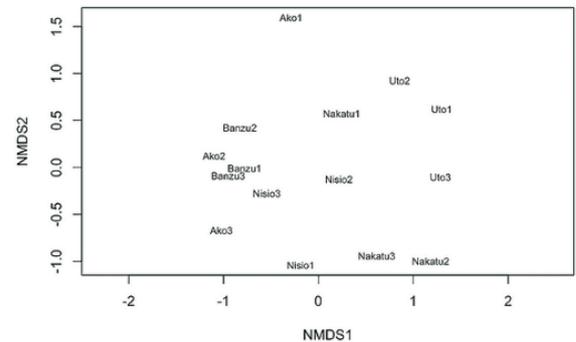


図2. 解説ページの一部。
Rのコードが灰色地で掲載されている

多様度指数の計算

群集組成を記述した地点×種の個体数のcsvファイルから、各地点の多様度指数 (種数、Shannon多様度の指数、逆数のSimpson多様度、最優占種占有率の逆数) と地域の α β γ 多様度を計算します。入力用csvファイルの形式は、2行目以降の各行が各地点のデータで最初が地点名、2番目以降が各種の個体数です。1行目は最初が地域名、2番目以降が種名ですが計算には使われないダミーです。なお、計算値の利用は利用者の責任でお願います。

多様度指数の計算をします。参照ボタンでcsvファイルを開いてください
===== (中略) =====

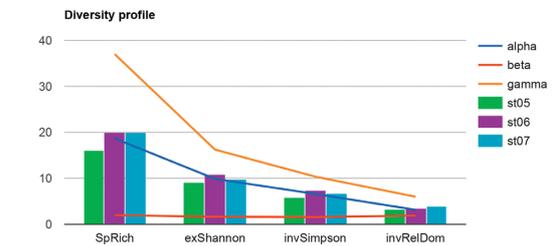


図3. 多様度指数計算ページの一部。利用者がデータをアップロードすると計算数値とグラフがウェブ上に描画される

種のウェイトを1として数え上げたのが「種数」である。逆に、もっとも割合の高い最優占種のみ注目し、割合が二位以下の種を無視した場合に「最優占種占有率の逆数」という多様度指数を得

る。このとき、最優占種にはその優占率の逆数をウェイトとし、二位以下はウェイトをゼロとおいて数え上げたと考えればよい。シャノンとシンプソンの多様度はこれらの間で、優占種のウェイトは1よりやや高く、希少種のウェイトは1より低い。シャノンとシンプソンではシャノンの方が希少種のウェイトが高いので、多様度指数に希少種の情報も含めたいが、希少種と優占種を同等に扱うほどではないという場合にシャノンの多様度指数を選択して利用すれば良い。ただし、希少種は調査の努力量が少ないと見落としやすいので、種数やシャノンの多様度指数の様に希少種のウェイトの高い多様度指数は信頼性が劣る場合がある(高田・手塚、2016)。図3の例では、st06とst07の種数はいずれも20で等しいが、最優占種占有率の逆数はst07の方がst06よりも大きいので、st07の最優占種はst06の最優占種よりも占有率が少し低いことを示している。

群集組成の類別の計算ページでは、データをアップロードしたのち計算方法(非類似度、データ変換、および組分けクラスター数)を選択する。すると、非計量多次元尺度法(nMDS)で求めた地点毎の群集の二次元配置図と、類似した群集を持つ地点同士を色分けしたクラスターが描画される。

【サイトの閲覧状況】

多様度指数の計算ページは2016年から試験的に公開し、利用者の意見を取り入れつつ内容の充実を図ってきた。2017年の10月から11月の2ヶ月間の閲覧状況をみると(図4)、一日平均16回の閲覧があり、最大は34回閲覧されていた。

【おわりに】

本ウェブページの特徴は、解説と計算サービスの両方が組み合わされていることである。科学的なデータの解析では、解析方法をよく理解しないと、結果の解釈で戸惑う場合がある。そうした場合には、計算サービスの結果を見てから解説

ページを見直して考察を深めることができる。一度計算して具体的な結果を得てみると、解説の理解が進む場合もある。最近ではRによるデータ解析法を解説したウェブページが増えているが、解説と計算サービスを組み合わせることで、より利用者の便宜が向上するだろう。また、計算内容を理解している利用者は、計算サービスだけを何度も利用するのが効率的である。より理論的な解説については専門書を参照してほしい。干潟漁場に関連する現実的な問題については、海洋と生物(227)に解説記事があり、事業成果のウェブページ全体(<http://feis.fra.affrc.go.jp/seika/tayousei/>)では、沿岸漁場の生物多様性評価に関して包括的に扱っている。ただし、計算値等の利用は各利用者の責任でお願いする。

ウェブページ開設の契機となった事業は終了するが、ページ自体のメンテナンスは継続していく予定である。Rの仕様の変更に伴ってコードの記述や入出力方法が変わる可能性があり、その場合は順次対応していきたい。何よりも利用者の声を聞きながら、より使いやすいものに上げていきたいと考えている。

【引用文献】

高田宜武, 手塚尚明, 2016: 干潟漁場における多様度指数. 海洋と生物, 38(227), 633-640.

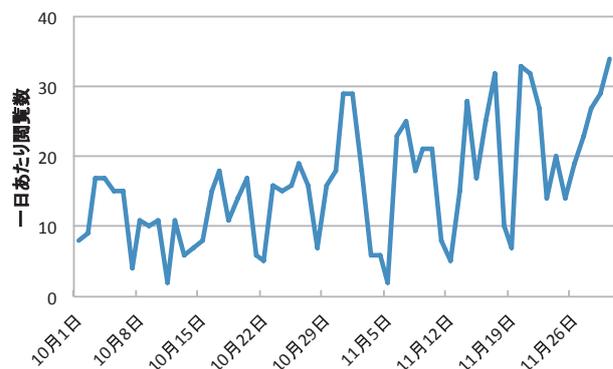
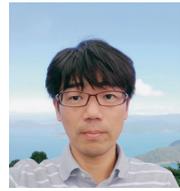


図4. 多様度指数計算ページの閲覧状況
2017年10月から11月までの2ヶ月間の一日毎の閲覧数。

耳石横断面法と表面法を用いた若狭湾西部産アカアマダイの年齢と成長



井関智明（資源生産部・資源増殖グループ）

若狭湾西部産アカアマダイの年齢と成長を耳石横断面法で調べ、標本数が乏しい1、2歳時の全長データは耳石表面法で推定、補完しました

【はじめに】

若狭湾において延縄漁業の主対象種であり、「ぐじ」とも称されるアカアマダイ *Branchiostegus japonicus* は、伝統的な京料理の食材として用いられるなど、水産資源としての重要性は高く、資源生態に関する知見が蓄積されてきた。このうち「年齢と成長」については、年齢査定に鱗（船田、1963）や耳石輪紋の表面観察（以下、表面法）（尾崎ら、2008）を用いた報告がある。これらの方法は簡便に多くの標本の年齢査定が可能であるという利点がある一方、成長が停滞する高齢魚では鱗および耳石の増大も停滞するため、輪紋（年輪）の識別が困難になるという問題点が指摘されている。また、アカアマダイでは、海底に巣穴を掘って生活することによる鱗の脱落が激しく、大型魚の鱗のほとんどが再生鱗であることも年齢査定上の問題点とされている（船田、1963）。

高齢魚の年齢査定におけるこのような問題点を解決する手法として、耳石を中心部（核）を含めて切断し、横断面に現れる輪紋を計数する耳石横断面法（以下、横断面法）が知られており、多くの魚種の年齢査定に用いられている。本研究では、この横断面法を主に用いることにより、若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長を調べた。

【調査方法】

本研究で用いた標本は、2012年6-12月の各月に若狭湾西部海域の水深50-70mにおいて延縄に

より漁獲され、京都府漁業協同組合宮津支所管内の江尻漁港に水揚げされた雌410個体（全長224-372mm）、雄164個体（230-452mm）、雌雄不明1個体（157mm）の計575個体である（図1）。標本は魚体計測、雌雄判別後、左右の耳石（扁平石）を摘出した。このうち、左体側より摘出した耳石をエポキシ樹脂に包埋し、核を含む短軸方向に0.5-0.7mm厚で切断、研磨した後、スライドガラスに貼り付け、耳石横断切片とした。切片は透過光下で実体顕微鏡により観察した。

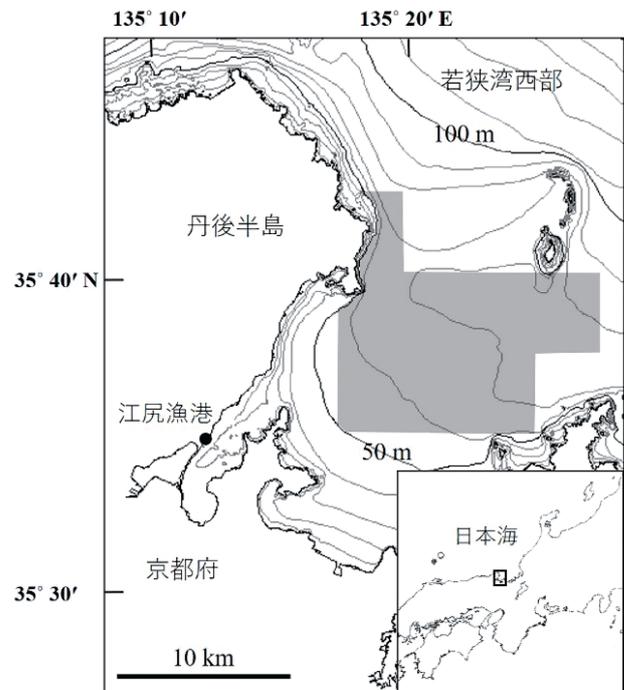


図1. 標本が漁獲された海域（グレーで示した部分）（井関ら、2017から引用）

【横断面法を用いた年齢査定】

耳石横断面では濃色で観察される不透明帯と淡色で観察される透明帯が交互に形成されている(図2)。表面法でも観察される核の左右方向に形成される幅広い不透明帯は加齢に伴って不明瞭となり、耳石の伸長が停滞する高齢時には識別が困難になる。一方、耳石の肥厚する方向の不透明帯は概ね明瞭な線状で 高齢時でも計数可能であったため、本研究ではこの部位の不透明帯を輪紋とした。ただし、第1輪紋については、この部位の不透明帯が識別できない個体も多く見られたため、核の左右に最初に形成される不透明帯(図2の白線部)を計数した。

輪紋による年齢査定を行う場合、その前提として輪紋が年輪である(年に1本形成される)ことを確認する必要がある。アカアマダイでは表面法における輪紋が年輪であることが報告されていることから(尾崎ら、2008)、表面法でも年齢査定が容易な1-4歳魚で、横断面法と表面法(右体側の耳石を観察)による年齢査定結果を照合したところ、一致率は98%であった。このことから本研究における輪紋も年輪であると仮定し、年齢査定を実施した。なお、雌の成熟個体の割合が8、9月では約9割、10月下旬では約3割であったことから、産卵盛期は8月から遅くても10月中旬までとみなし、年齢査定基準となる年齢起算日(ふ化日)を9月1日とした。

【年齢査定結果と確認された高齢魚】

横断面法により全575個体中549個体(95%)で年齢を査定することが出来た。その結果、雌で2-18歳、雄で2-14歳の個体が確認されたが、その多くは雌雄ともに3-6歳であった。なお、雌雄不明の1個体は標本中の最小個体かつ唯一の1歳魚であったため、後述の解析では雌雄両方のデータとして用い、それぞれの標本数にも含めた。本研究では、年齢が特定できなかった7個体も含め、10歳以上魚が雌で19個体(4.6%)、雄で2個体(1.2%)確認され(図3)、これらの中には20歳以上と推定される個体も見られた(雌2個体、雄1個体)。本研究で用いた標本は、必ずしも若狭湾西部

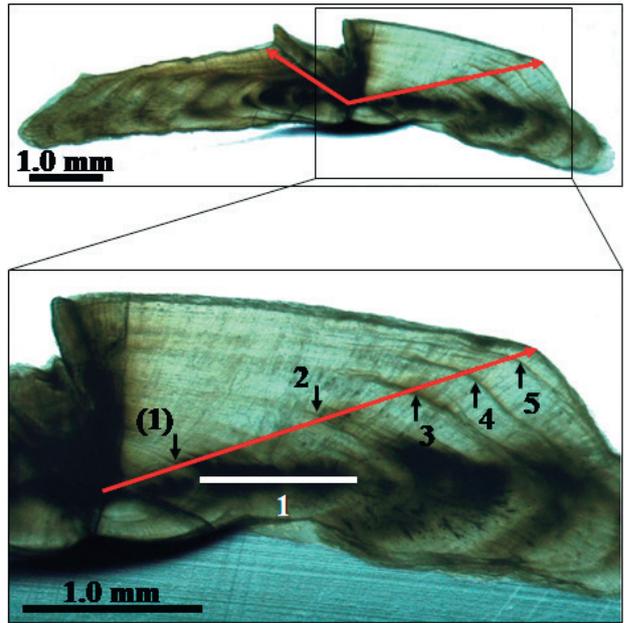


図2. 耳石横断面(雄、全長380mm、輪紋数5本)における代表的な輪紋計数軸(井関ら、2017から引用・改変)

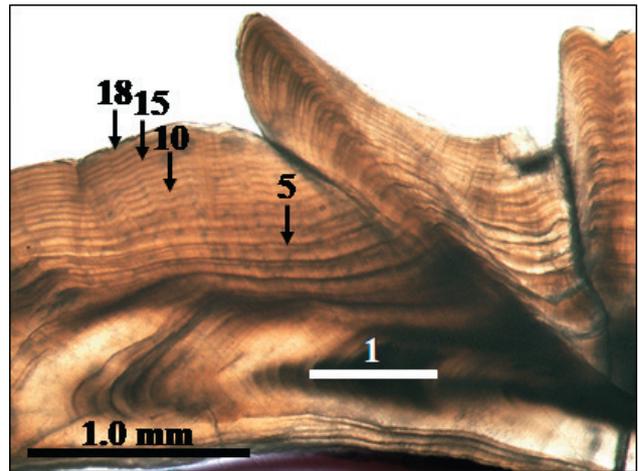


図3. 高齢魚の耳石横断面(雌、全長345mm、輪紋数18本)(井関ら、2017から引用・改変)

海域におけるアカアマダイ延縄漁獲物の年齢組成を代表するものではないが、横断面法を用いたことにより、表面法では不可能であった10歳以上魚の年齢査定が可能となり、漁獲物に上記のような高齢魚が少なからず含まれることが明らかとなった。

【表面法による1、2歳時データの補完】

本研究で用いた標本は全て延縄による漁獲物であるため、小型魚が少なく、成長解析にあたっては、漁獲がほとんど見られない1、2歳魚のデータが不十分であった。そこで、横断面法で輪紋数が1

から3本と判断された標本（以下、3輪以下群）の右体側より摘出した耳石を用い、表面法により第1、第2輪紋形成時の全長を以下の方法で推定した。なお、表面法における輪紋形成期は8、9月であり（尾崎ら、2008）、本研究における年齢起算日とほぼ一致しているため、第1、第2輪紋形成時の全長はそれぞれ満1、2歳時の値であるとした。

本研究では表面法における輪紋（不透明帯の外縁）の最大突出部が高齢時の輪紋になるほど、図4のように右回りにずれていく傾向が認められたが、本解析で対象とした3輪以下群については、第2、第3輪の最大突出部が第1輪と耳石外縁の最

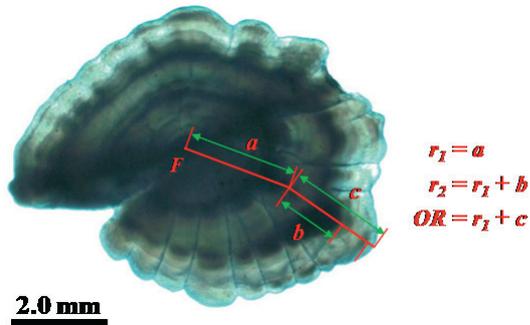


図4. 表面法（3輪以下群）における耳石径（OR）および第1、第2輪紋径（r1、r2）の計測軸（井関ら、2017から引用・改変）

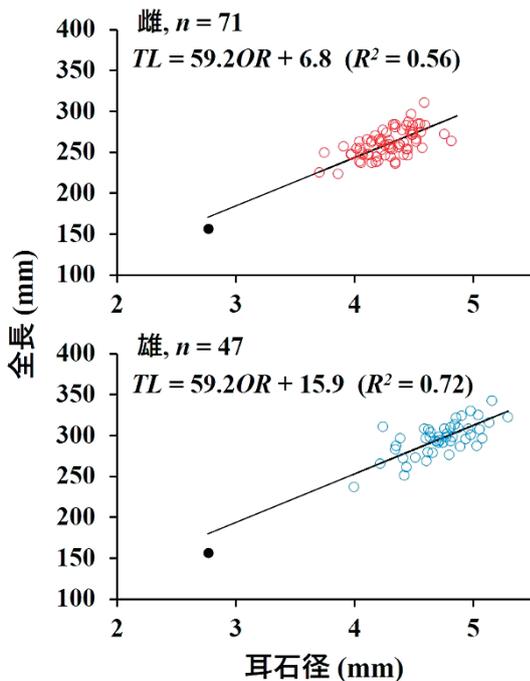


図5. 3輪以下群における耳石径と全長の関係（上：雌、下：雄）（井関ら、2017から引用・改変）
黒丸（●）は雌雄不明の1歳魚。

大突出部を結ぶ直線上に位置していることが確認された。このため、核と第1輪の最大突出部を結ぶ第1輪紋径（第1計測軸）と、第1輪と耳石外縁の最大突出部を結ぶ線分（第2計測軸）の長さの和を耳石径（OR）とし、第2輪紋径は、第1輪紋径と、第2計測軸の始点から同軸上の第2輪の最大突出部までの長さの和により表すこととした（図4）。

雌雄それぞれの耳石径（OR）と全長（TL）の関係は図5の式で表されたため、個体ごとの第1、第2輪紋径をこれらの関係式に代入することにより各輪紋形成時の全長を逆算推定した。

【年齢と成長】

前述の方法により推定した満1、2歳時の全長データおよび横断面法により得られた各個体の年齢と全長のデータを、非線形最小二乗法によりベルタランフィの成長式に当てはめた結果、雌雄それぞれの年齢t歳における全長Ltは図6の式で表された。

両式から推定される雌雄それぞれの全長は1、3、5、10歳で、雌が107mm、250mm、302mm、329mm、雄が124mm、290mm、376mm、450mm

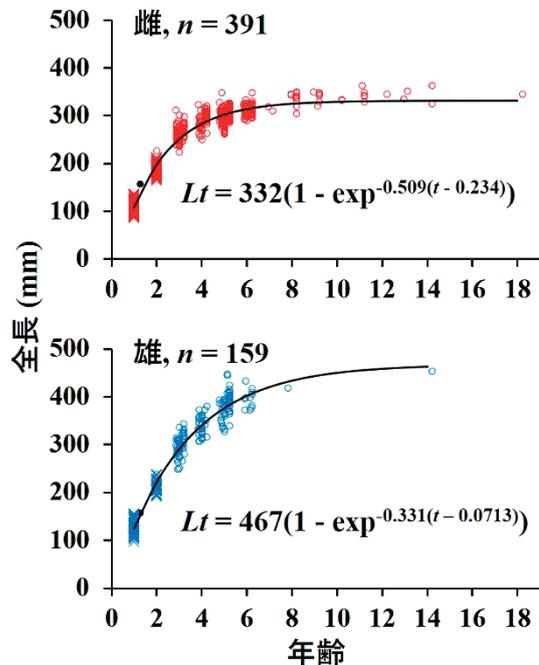


図6. 年齢と全長の関係（上：雌、下：雄）（井関ら、2017から引用・改変）
黒丸（●）は雌雄不明の1歳魚、×（赤、青）は雌雄それぞれの3輪以下群で表面法により逆算推定した満1、2歳時の全長データで、後者は標本数に含めていない。

となった。各年齢時の推定全長は雄で大きく、極限全長も雄で467mmと雌の332mmに比べて大きい。また、雌の全長は6、7歳以降ではほぼ横ばいとなったのに対し、雄で成長が停滞するのは10歳以降であった。成長の個体差は比較的大きく、雌では4歳、雄では5歳で既に極限全長に近い全長を示す個体が見られた。

【おわりに】

本研究では、若狭湾西部海域より得られたアカアマダイの成長解析に際し、横断面法を用いて、表面法では困難であった10歳以上の高齢魚も含めた年齢査定を実施し、漁獲物に15歳以上の個体が含まれることを明らかにした。一方、雌雄ともに確認された20歳以上の個体で年齢が特定できなかったことから、同海域におけるアカアマダイの寿命については言及することができなかった。資源特性値の一つとしての「寿命」は魚類の資源解析結果に大きな影響を与えることから、横断面法を用いて、より多くの大型個体での解析を実施することにより雌雄それぞれの寿命を明らかにする必要がある。

なお、若狭湾西部海域におけるアカアマダイの漁獲尾数は雌で5歳時、雄で4歳時に最も多く（尾崎ら、2008）、これらの年齢に達するまでは、同一年齢でも成長の良い（相対的に大きい）個体のみが漁獲対象となっていると考えられる。すなわち、本研究においては雌の5歳未満、雄の4歳未満の各年齢時の推定全長は、実資源における同年齢の平均より大きくなっている可能性が高い。この点については、操業試験、飼育実験により延縄の漁獲サイズ選択性（針や餌の大きさ、種類が漁獲物の大きさに与える影響）を明らかにすること、調査船による底曳網（桁曳網）調査で得られる小型個体を標本に加えることにより検討可能であろう。

なお、本報告は井関ら（2017）の内容を要約したものである。

【謝辞】

本研究を遂行するにあたり、黒田 高氏、黒田 憲夫氏、斎藤治雄氏、斎藤博信氏、下野雅己氏、永濱 肇氏、福田 稔氏ならびに京都府漁業協同組合の関係者の皆様には、標本の入手にご理解、ご尽力を賜りました。ここに記して関係各位に感謝の意を表します。

【引用文献】

- 船田秀之助, 1963: 若狭湾におけるアカアマダイの資源調査 アカアマダイの生物学的研究. 京都府水産試験場業績第15号, 1-24.
- 尾崎 仁, 飯塚 覚, 宮嶋俊明, 濱中雄一, 2008: 若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長. 京都府立海洋センター研究報告, 30, 1-11.
- 山下秀幸, 酒井 猛, 片山知史, 東海 正, 2011: 東シナ海産アカアマダイの成長と成熟の再検討. 日本水産学会誌, 77, 188-198.
- 酒井 猛, 青沼佳方, 2015: 平成26(2014)年度アマダイ類(東シナ海)の資源評価. 平成26年度我が国周辺水域の漁業資源評価(魚種別系群別資源評価・TAC種以外)第2分冊, 水産庁増殖推進部, 東京, 1076-1092.
- 渡辺健一, 上田幸男, 城 泰彦, 1995: 徳島県太平洋沿岸域のアカアマダイの年齢と成長. 平成5年度徳島県水産試験場事業報告書, 293-302.
- 井関智明, 町田雅春, 竹内宏行, 八木佑太, 上原伸二, 2017: 耳石横断面法と表面法を用いた若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長. 日本水産学会誌, 83, 174-182.

サケの母なる川を訪ねて ～山形県月光川編～

阿部邦夫（資源管理部・さけます調査普及グループ）

前回（20号）に引き続き、「サケの母なる川を訪ねて」第2弾として、本州日本海側でサケを最も多く捕獲する山形県月光川を紹介します

【月光川の概要】

月光川は、山形県飽海郡遊佐町の北東に位置する鳥海山（標高2,236m、東北地方では福島県の燧ヶ岳2,356mに次ぐ2番目に高い山）の南麓に源を発し、南西に流れJR羽越本線遊佐駅付近で北に転じ、河口付近で吹浦川と名を変えて遊佐町吹浦より日本海に注ぐ流路延長17.4kmの2級河川です。また、主な支流として高瀬川、牛渡川、滝淵川、洗沢川があります（図1、2）。

月光の名称は薬師如来の脇侍の一つの月光菩薩



図1. 月光川（河口へ向かって撮影）



図2. 月光川（鳥海山に向かって撮影）

に由来します。中世以来、本地垂迹の思想により、鳥海山の祭神は鳥海山大権現、本地は薬師如来、垂迹は大物忌神とされ、この説に基づき薬師如来を山頂に祀る鳥海山を水源として、南面に流れ下る二本の河川を脇侍の月光菩薩と日光菩薩に見立て、その一本が月光川になったと言われています。

【月光川のさけ増殖事業について】

山形県では現在15箇所のふ化場があり、年間3,000万尾の放流が行われています。このうち月光川水系には4箇所のふ化場（箕輪・柝川・高瀬・洗沢）があり（図3）、2,300万尾の稚魚を放流し10万尾の親魚を捕獲しています

月光川のさけ増殖事業の歴史は古く、文化3年（1806）に三面川の種川制を手本とした天然産卵を保護する種川制度を導入しました。これが月光川のさけ増殖事業の始まりです。明治39年には高瀬川に野澤ふ化場が設置され、人工孵化放流事業が始まりました。昭和5年（1930）には9箇所のふ化場があり、放流数も一時期8千万尾を超えましたが、ちょうどその頃（昭和50年代半ば）から一転して不漁続きとなりました。さらに、行財政改革に伴う補助金の縮減などもあって、ふ化場の運営も苦しくなり、ふ化場や放流数は減っていきました。しかし、関係者のたゆまない努力と情熱により、サケの回帰は回復し現在に至っています。

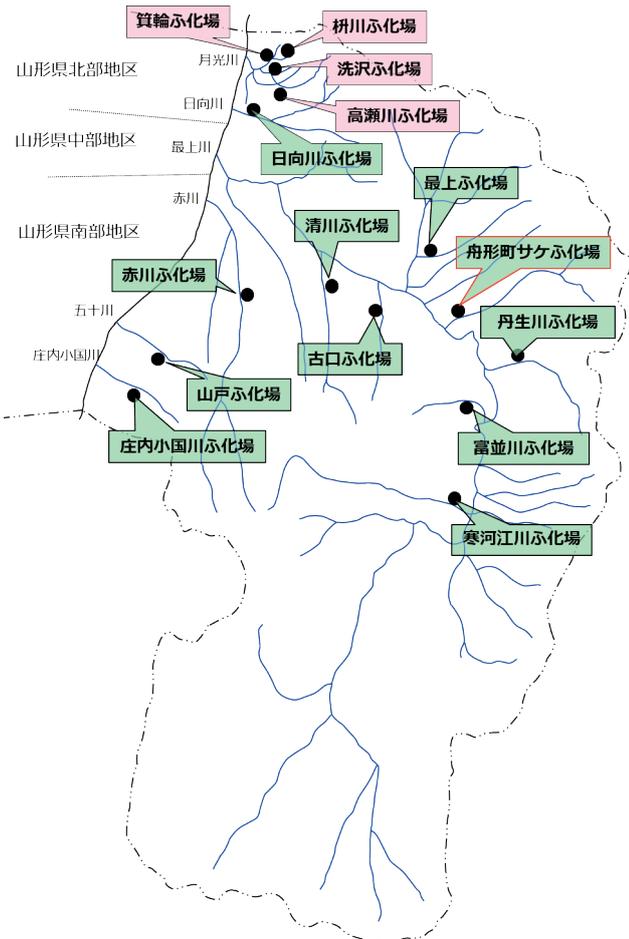


図3. 山形県のふ化場配置図
ピンク色が月光川水系のふ化場



図5. 栢川ふ化場（上：改修前、下：改修後）



図4. サケの捕獲風景

川水系の支流にある最上小国川を放流河川とする舟形町サケふ化場も平成28年度に施設整備が行われ、近代化されました（図3赤枠）。

【おわりに】

本州日本海、そして山形県を代表するサケの増殖河川である月光川では、その水系に位置する各ふ化場が鳥海山からの恵みである多量な地下水を利用してサケのふ化放流事業を行っています。ここは施設だけでなく、ふ化放流の技術も県内ではトップレベルです。近年、山形県におけるサケ資源はやや低迷していますが、ふ化事業に携わる関係者の熱意と努力が実を結び、今後大量回帰することを切に願います。

【近代的ふ化場の建設について】

平成28年度に月光川水系滝淵川を放流河川とする栢川ふ化場がふ化室・養魚池・飼育池等を改修し近代的なふ化場となり、生産数も900万尾から1,000万尾に増加されました（図5）。また、最上

発行：国立研究開発法人水産研究・教育機構

編集：国立研究開発法人水産研究・教育機構 日本海区水産研究所
〒951-8121 新潟市中央区水道町1-5939-22
電話：025-228-0451(代) FAX：025-224-0950
<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/>