

原著論文

## 耳石横断薄片法を用いたマサバの年齢査定の有効性

川島時英\*<sup>1</sup>・石井光廣\*<sup>1</sup>・片山知史\*<sup>2</sup>Age determination of chub mackerel *Scomber japonicus* using otolith transverse section

Tokifusa KAWASHIMA, Mitsuhiro ISHII and Satoshi KATAYAMA

Analyses of scale increments were commonly applied to determine the age of chub mackerel *Scomber japonicus*. However, it was difficult to sample scales suitable for age determinations from catches of purse-seine fisheries. In this study, we validated an otolith sectioning method to overcome this obstacle. The alternations of growth axes were observed in the transverse plane of otoliths as the change between the dorsal-ventral direction and the dorsal-ventral to proximal direction. We were able to estimate ages by counting the alternations of growth axes in the otolith microstructures. The direction of otolith growth changed from the dorsal-ventral to the proximal direction in the season with stagnant growth, mainly from November to February.

The growth curve estimated by otolith observation showed no significant difference from previous curves obtained by scale reading. We confirmed the usability of otolith sectioning based on the direction of otolith growth for determining the age of chub mackerel.

キーワード：マサバ, 耳石, 年齢査定, 薄片法  
2015年7月3日受付 2017年1月26日受理

マサバ *Scomber japonicus* 太平洋系群は、日本の太平洋沿岸に広く分布し、まき網漁業、火光利用さば漁業、定置網漁業などで漁獲されるほか、TAC対象種に指定されている重要魚種である。三陸・常磐海域から犬吠埼周辺を索餌成育場、常磐海域から犬吠埼周辺を越冬場、さらに黒潮内側域の伊豆諸島海域を産卵場としている（渡部 1970, 黒田 1992, 目黒ら 2002）。このようにマサバは索餌、産卵という生活年周期に応じて、南北に広く移動回遊していることが知られている。

マサバ太平洋系群の資源量は、1970年代は300万から470万トンの高い水準にあったが、1980年代に減少し、1990年以降は低位水準となった（川端ら 2015）。しかし、加入水準の高い2004年、2007年、2009年級群の発生により、2000年代初めの最低水準は脱し、2014年度の資源評価では、資源は増加の傾向を示している（川端ら

2015）。1990年以降の資源量の減少は、海洋環境の変化による加入量の減少と、強い漁獲圧によるものと考えられている。この時期には、数年おきに加入量水準の高い年級群が発生する一方で、著しく低い年級群もみられるなど、年々の加入量の変動が大きい。1992年および1996年に加入量水準の高い年級群が発生したが、これらは未成魚段階から多獲され、資源の回復にはつながらなかった（川端ら 2015）。

水産資源を適切に管理し持続的に有効利用するため、水産庁では日本周辺水域に分布するマイワシ、マアジ、マサバなどの主要魚種について漁獲量、年齢、体長組成などのデータをもとに資源の評価を毎年行っている（水産庁増殖推進部・水産総合研究センター2015）。資源評価を適切に行うためには資源量の推定が必要であり、多くの魚種でコホート解析が用いられている。この方法に

\*<sup>1</sup> 千葉県水産総合研究センター

〒295-0024 千葉県南房総市千倉町平磯 2492

Chiba Prefectural Fisheries Research Center, 2492 Chikura-cho Hiraiso, Minamiboso, Chiba 295-0024, Japan

t.kwshm8@pref.chiba.lg.jp

\*<sup>2</sup> 東北大学大学院農学研究科水産資源生態学分野

は、年齢別の漁獲尾数が必要であり、その基礎となる漁獲物の年齢組成が必須となっているが、マサバは年級群豊度の多寡により成長速度が大きく異なることから（川崎 1968, 飯塚 1974, 渡邊ら 2002）、毎年多くの個体の年齢査定が必要となる。

マサバの年齢査定の手法については、吉原（1955）は耳石の表面観察による手法を検討し、耳石に現れる輪紋が年 1 回形成されることから年輪であると推定した。また、近藤・黒田（1966）は鱗、耳石の表面観察、脊椎骨、鰓蓋骨で年齢形質の有無や作業効率などを比較検討し、胸鰭後下部の鱗による年齢査定を推奨しているが、まき網漁業の漁獲物では、鱗の脱落や再生鱗が多いため、市場に水揚げされた魚体から採取した鱗の使用については問題があることを指摘していた。現在、マサバの年齢査定には、採集方法や処理が簡便であることから鱗が主に使用されている。しかし、上記のように鱗を用いた年齢査定には問題が少なくない。特にまき網など、推奨される部位の鱗を採取できない漁業による標本では、鱗に代わる年齢査定手法を用いることが望まれる。

そこで本研究では、マサバの耳石を用いた年齢査定方法を検討した。東シナ海のマサバでは耳石の表面観察による年齢査定結果が報告されているが（Shiraishi et al. 2008）、鱗や耳石の表面観察法では高齢個体の年齢を過小評価することが多くの魚類で指摘されており（林ら 1995, 関河ら 2002, 増田ら 2003）、マサバにおいても同様のことが起こることを否定できない。そのため、今回は耳石横断面の観察による一度に大量処理が可能な年齢査定法を試みた。

## 試料と方法

**耳石横断薄片の作製及び観察** 試料として、2009 年 1 月から 2011 年 12 月に、北海道東部沖および三陸北部海域から九十九里海域でのまき網漁業および伊豆諸島周辺海域で火光利用さば漁業により漁獲されたマサバ 1,143 個体を用いた（図 1）。幼魚期から未成魚期の 0 歳魚の耳石断面構造の年周期的な形成も確認するため、体長組成の情報から明らかに 0 歳魚と判断できる尾叉長 300mm 未満の小型魚の収集にも努めた。魚体は、尾叉長、生殖腺重量を計測し、雌雄の判別および扁平石（以降、耳石という）を摘出した。使用した試料は、尾叉長 180～440mm の範囲で、2009 年は 220mm と 350mm、2010 年は 350mm、2011 年は 330mm にモードがみられた（図 2）。

耳石は、乾燥させた後、直径 25mm の台座に最大 60 個体分の耳石を立て、田中ら（2008）に従い、ポリエステル樹脂（丸本ストルアス社製）に包埋した。大きさの異なる耳石を台座に立てる際には、すべての耳石の中心部が同一の高さになるように台座の表面に中心部が出るように調整した。複数の耳石を一度に処理するために、

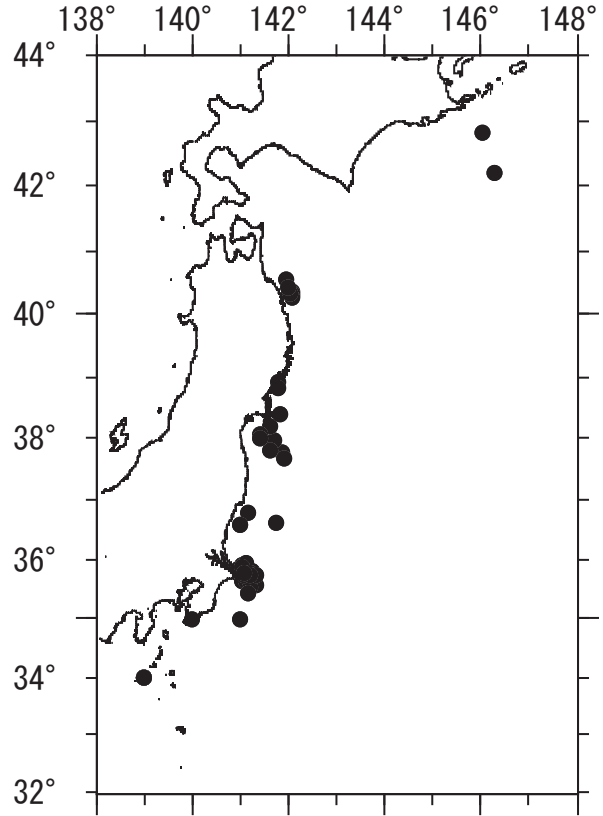


図 1. 耳石試料を採取したマサバの漁獲場所

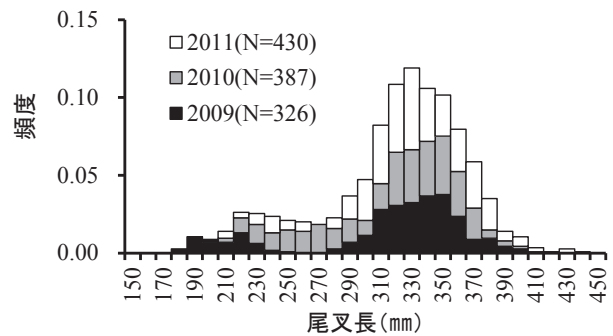


図 2. 試料として用いたマサバの尾叉長組成

包埋されたすべての耳石について中心を通る切断面を一回の切断で得ることが難しい。そこで、耳石中心部を通るように短軸方向に厚さ約 0.2mm の薄片を連続して 4 枚程度切り出した。薄片は、硬組織切断機（ゼーゲマイクロトム、ライカ社製 Leica SP1600）を用いて切断し、作製した。切り出した薄片は、4 枚程度スライドグラスにステッキワックス（マルトー社製）で貼り付け、耐水研磨紙（#800, #1200）で表面を研磨した後、0.2N の塩酸によって約 30 秒エッチング処理を行った（図 3）。各個体の耳石は、光学顕微鏡により透過光下で観察した。

**生殖腺熟度指数と産卵期** 本報ではマサバの資源評価で

用いられている漁期年に基づき年齢起算日を7月1日とした(川端ら 2015)。マサバの成熟開始年齢は2歳以上とされているが、資源評価では2歳当初時の成熟率は年齢査定起算日直前の産卵期である1歳魚の1~6月のデータを元に計算されている(川端ら 2015)。したがって、実際には成熟開始年齢は1歳以上となる。そこで、1歳以上を成魚、0歳を未成魚とし、体長組成に基づいて区分して雌の生殖腺熟度指数(KG)を求めた。

$$KG = \text{生殖腺重量 (g)} / \text{尾叉長 (cm)}^3 \times 10^4$$

産卵期は、マサバ雌のKG階層別変化による成熟段階の区分(加藤・渡邊 2002)から判断した。

**漁場水温** 試料を採取した漁船の漁労長から漁場位置、水温を聞き取りにより調べた。

**成長式の比較** 個体ごとの耳石横断薄片から得られた年齢査定結果と尾叉長に基づき、成長式を求めた。成長式の計算には、耳石の年齢表示数が5以下の尾叉長186~432mmの1,138個体の試料を用いた。表計算ソフトMS-Excel (Microsoft社製)のソルバー機能を用いて非線形最小二乗法により、年齢tに対する尾叉長Ltの関係について von Bertalanffy の成長式を求めた。得られた成長式については、近藤(1966)および飯塚(2002)が鱗から求めた従来のそれぞれの成長式と有意差検定を行った。その際、従来の成長式については年齢起算日を7月1日にあわせて以下の(1)および(2)のとおりとした。また、成長式の検定は赤嶺(2004)の方法に基づきF検定を用いた。

近藤(1966)の成長式

$$L_t = 411.6(1 - e^{(-0.49(t+0.40))}) \quad \dots (1)$$

および飯塚(2002)の成長式

$$L_t = 446(1 - e^{(-0.33(t+0.80))}) \quad \dots (2)$$

## 結果

**耳石横断薄片の年齢表示構造** マサバの耳石横断薄片を光学顕微鏡の透過光下で観察したところ、明瞭な透明帯と不透明帯の輪紋は観察されなかった。しかし、エッチング処理により写真では筋状に見える結晶構造は、不連続な溝状に観察され、この間隔が広い部分と狭い部分が繰り返され、間隔が狭い部分では、耳石の成長方向が肥厚方向に変化することが観察された(図3)。

**耳石横断面の成長方向の季節変化** 耳石の不連続な構造の生成時期を明らかにするために尾叉長から0歳魚および1歳魚以上に区分し、耳石縁辺域における成長方向の割合を月別にみた。0歳と想定される個体の耳石では、7~9月は全て伸長方向に成長しており、肥厚方向に成長する個体は11月から出現し、その割合は、11月は85.7%、12月は90.0%、1月は95.0%、2月には100%と2月まで増加する傾向がみられた。その後再び伸長方向に成長する個体が4月からみられるようになり、4月

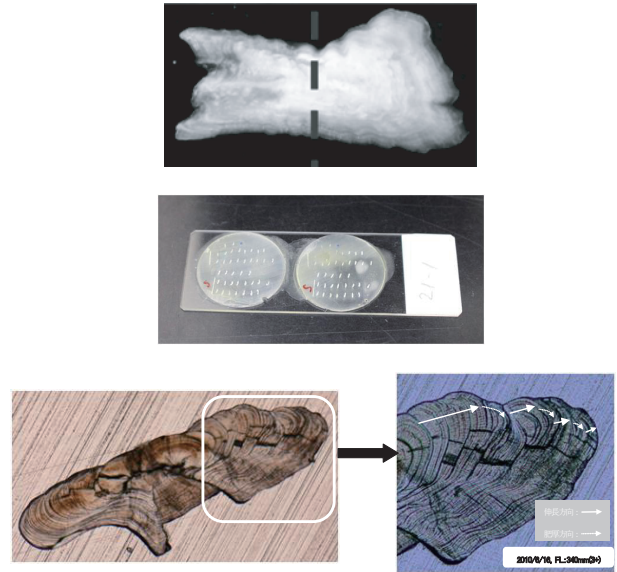


図3. マサバの耳石輪紋の観察画像

上図は表面観察で点線が切断軸、中図はスライドガラスに貼り付けた薄片、下図は薄片法による横断面の観察像を示す

は70.0%、5月は100%、6月は94.9%と増加した。1歳魚以上では、7~8月は伸長方向に成長する個体の割合が90%以上であったが、9月以降肥厚方向に成長する個体の割合が増加し、4月に100%となった。その後5月に再び伸長方向に成長する個体が出現し、その割合は、5月は、69.0%、6月は94.2%となった(図4)。

耳石は、9月から肥厚方向に成長を始め、その後4月からは伸長方向に成長方向を変える。耳石の肥厚方向への成長による溝状の不連続構造の間隔が狭い部分は、主に11~2月を中心に0歳の未成魚を含めて年1回形成されることが明らかとなった。

**成熟状態の季節変化** マサバの雌のKG値の季節変動をみると、1歳魚以上は、1月から増加傾向を示し、3月には最大の7.0となった。5月以降減少傾向となったが、6月まではKG値は5以上を示し、8月以降は12月まで1以下となった。このことをKG階層別変化による成熟段階の区分から判断すると産卵期は3~6月と考えられた。一方、0歳魚のKG値は、6月に2を超える値がみられたが、その他の期間は1を超えるものは出現せず、明瞭な成熟はみられなかった(図5)。

**0歳魚の平均尾叉長の季節変化と漁場水温** マサバの0歳魚の平均尾叉長は、7月193mm、8月206mm、11月228mm、12月226mm、1月232mm、2月239mm、4月264mm、5月269mm、6月289mmであり、11~2月に成長の停滞がみられた(図6)。マサバ漁場の水温は、9月に21.3°Cで最も高く、その後は低下傾向を示し、1

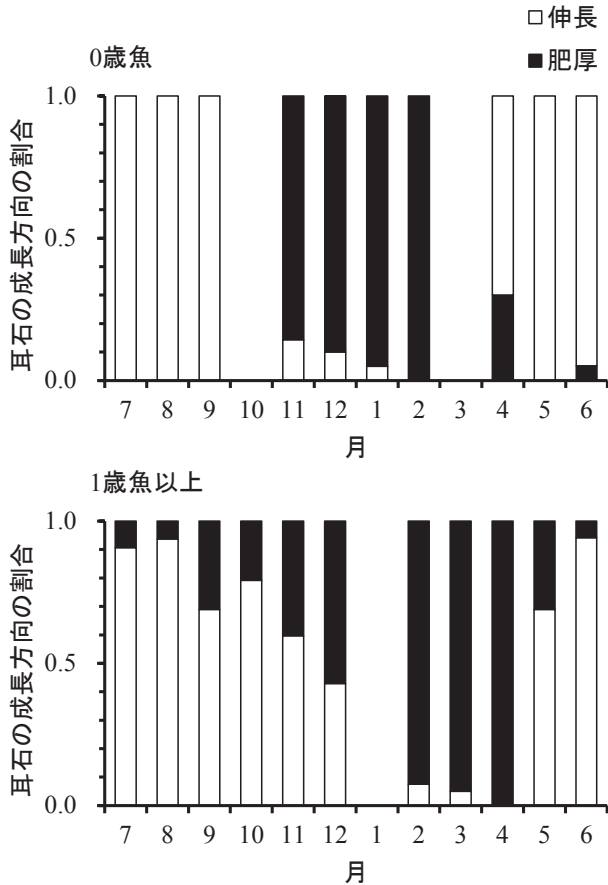


図4. マサバにおける耳石縁辺部の成長方向の季節変化  
上図は0歳魚 (N=173), 下図は1歳魚以上 (N=553) を示す

月に  $15.3^{\circ}\text{C}$  と最も低くなった。その後3月までは、 $15.3\sim 15.5^{\circ}\text{C}$  で経過した後上昇傾向を示し、8月には  $20^{\circ}\text{C}$  を上回った (図6)。

**年齢と尾叉長** 耳石に見られる溝状の不連続構造が密になり間隔の狭い部分は年1回形成されることから、これを年齢表示構造とみなし年齢査定を行った。この結果から、年齢別の尾叉長組成をみると、0歳魚の尾叉長は  $180\sim 320\text{mm}$ , 1歳は  $220\sim 380\text{mm}$ , 2歳は  $280\sim 390\text{mm}$ , 3歳は  $310\sim 400\text{mm}$ , 4歳は  $340\sim 410\text{mm}$ , 5歳は  $350\sim 430\text{mm}$ , 6歳以上は  $370\text{mm}$  以上であった (図7)。

**成長式の比較** 7月を基点として、耳石による年齢査定結果と尾叉長のデータをもとに von Bertalanffy の成長曲線を当てはめたところ (図8), 耳石による年齢査定結果から推定した成長式

$$L_t = 408.1(1 - e^{-0.6(t+1.082)})$$

が得られた。

耳石による成長式と鱗による成長式 (1) および (2) を F-検定法により比較した結果、両曲線間で有意な差はみられなかった ((1)  $F=1.46, p>0.05$ , (2)  $F=1.44, p>0.05$ ) (図9)。

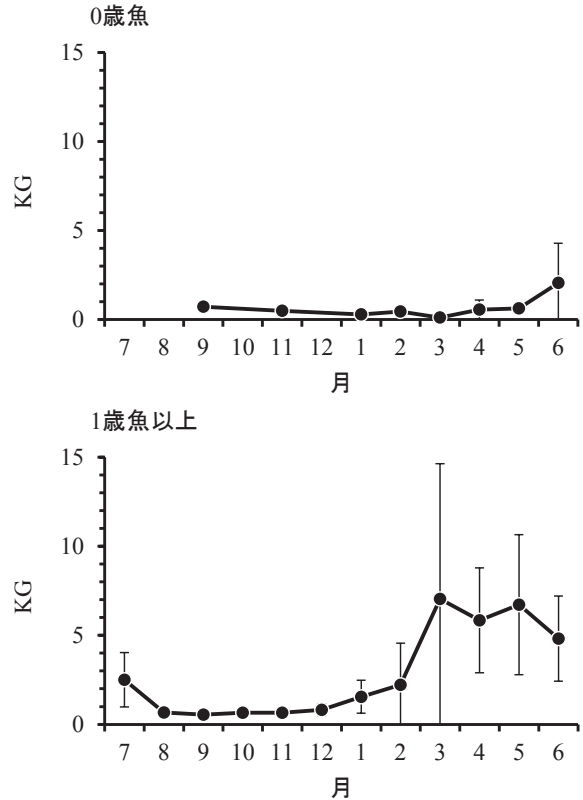


図5. マサバ雌における生殖腺熟度指数 (KG) の季節変化  
上図は0歳魚 (N=66), 下図は1歳魚以上 (N=478), 縦のバーは標準偏差を示す

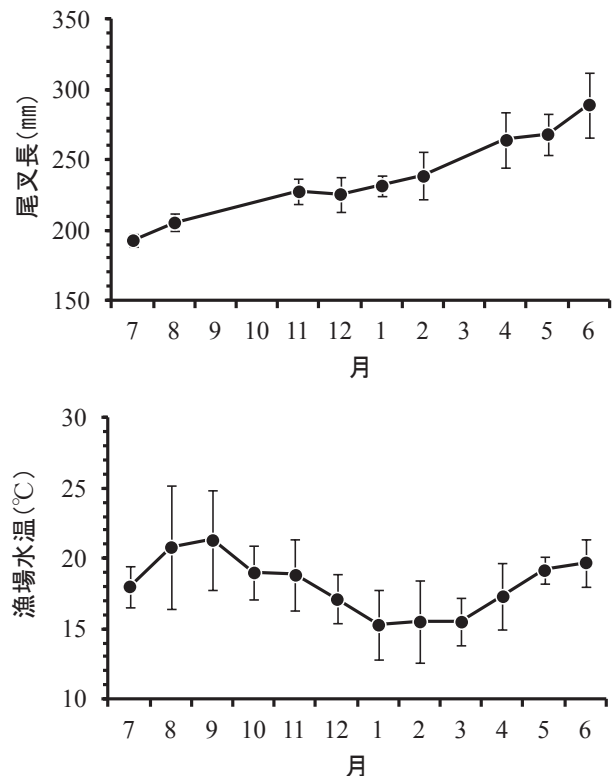


図6. マサバ0歳魚の平均尾叉長と漁場水温の季節変化  
縦のバーは標準偏差を示す



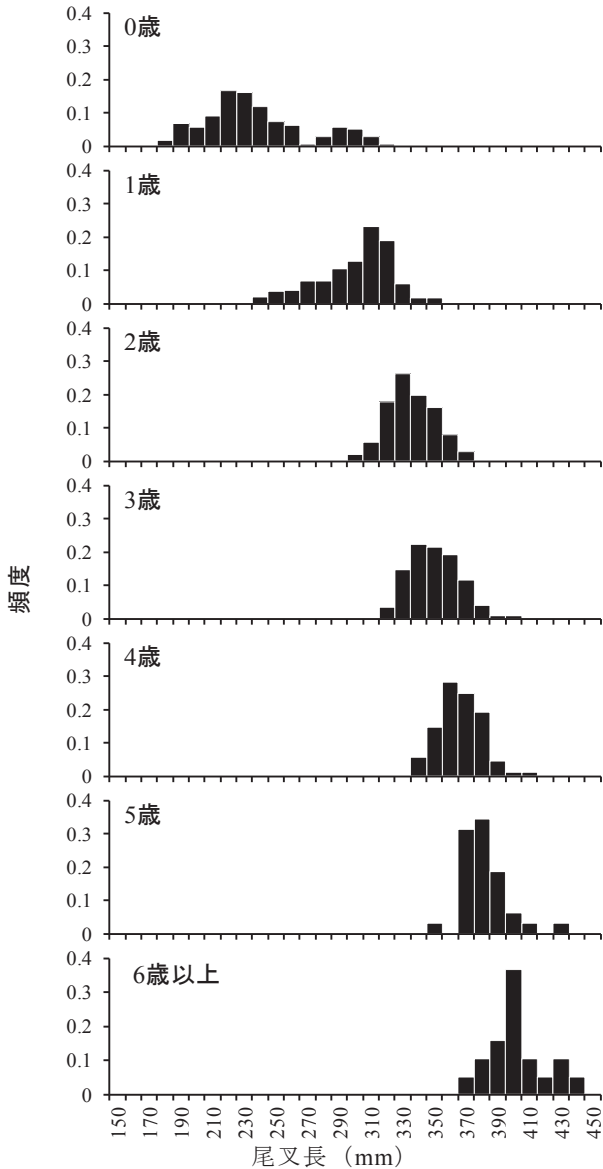


図7. 試料として用いたマサバの年齢別尾叉長組成

### 考察

マサバの年齢査定を行うにあたり、耳石薄片にみられる微細な構造を観察し、年齢査定の方法を検討した。マサバの耳石横断面には明瞭な透明帯と不透明帯の輪紋は観察されなかったが、エッチング処理によって、溝状の不連続構造が明瞭に観察され、その間隔が狭い部分と広い部分が繰り返され、加えて間隔が狭い部分では、耳石成長方向が肥厚側に変化していることが確認された。耳石が肥厚方向に成長する個体が増加する時期は、マサバ雌のKG階層別成熟段階区分の基準(宇佐美1969)から判断すると、成魚では成熟初期から成熟中期にあたる。他の魚類でも耳石が肥厚側に成長する時期は、成熟から

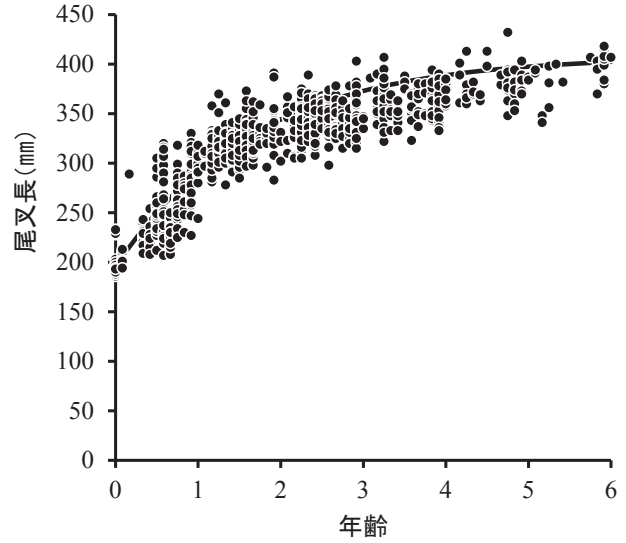


図8. マサバの耳石を用いた年齢査定結果と尾叉長の関係  
実線は von Bertalanffy の成長曲線を示す

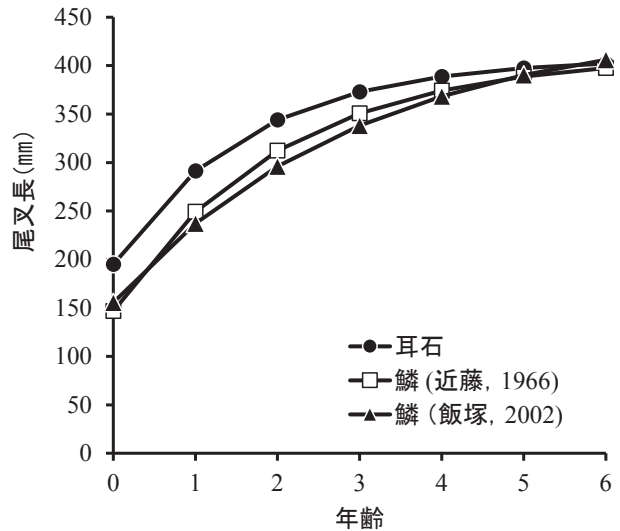


図9. マサバの耳石と鱗から求めた成長曲線の比較  
鱗の成長式は7月基点に修正するために年齢+0.5で補正した

産卵の時期と報告されている(片山ら2007, 田中ら2008, 山本ら2008, 山田ら2011)ことと一致した。成魚については耳石の成長方向が伸長から肥厚に変化する時期と成熟との関係が示唆された。一方、未成魚では耳石の成長方向が伸長から肥厚に変化する時期および伸長方向への成長時期は、それぞれ、体成長の低下と漁場水温の低下時期および体成長の促進と漁場水温の上昇時期と一致することから、未成魚の耳石の成長方向の変化は体成長や水温との関係が示唆された。

このことは成熟や漁場水温によって体成長の低下する時期に耳石の伸長方向への成長が鈍化することで不連続

構造の間隔が狭くなり、耳石の厚みの方向への成長は続くために耳石の成長方向が肥厚方向に変化するという現象と考えられる。このことから、マサバでは成熟期は3月から6月の年1回であり、漁場水温が低下する時期も年1回なので、溝状の不連続構造が密であり耳石成長が肥厚方向となっている部分は年に1回形成される年齢表示構造と見なすことができた。

耳石を用いた年齢査定結果から得られた成長曲線と近藤(1966)および飯塚(2002)の鱗による年齢査定結果から得られた成長曲線を比較すると0歳魚、1歳魚の尾叉長に5cm程度のずれが両者間でみられるが、F検定の結果では両者の成長曲線の間に有意な差が見られなかった。本研究の標本を得た近年のマサバ資源量は、近藤(1966)および飯塚(2002)が年齢査定で取り扱った1970年代以前の資源量に比べて少ない。マサバの成長は加入量水準および海洋環境の影響を受けて変化することが知られているため(川崎1968, 飯塚1974, 渡邊ら2002, 川端ら2015), 資源量の変動により、ある程度の成長差が生じうると考えられる。また、成魚では鱗の輪紋形成期は産卵期に当たるとされ(渡邊ら2002), 耳石の年齢表示構造形成時期と同時期であった。これらのことから、耳石による年齢査定結果は、従来の鱗による年齢査定結果と成長推定においても同様の結果が得られると推測される。

以上からマサバの年齢形質として耳石の不連続な構造を指標とすることにより耳石横断薄片法を利用した年齢査定が可能であることが明らかとなった。

マサバの年齢査定には、採集や処理が簡便であることから、これまで主に鱗が年齢形質として使用されてきた。しかし、千葉県に水揚げされるマサバの多くはまき網漁業によって漁獲されたものであり、本漁法により漁獲されたマサバでは、適切な部位の鱗が脱落している個体が多く年齢査定に使用できる鱗が採取できない問題があった。しかし、今回の横断薄片法は効率的に大量の処理が可能であり、観察も鱗による査定法と同程度の時間で行うことができた。また、耳石は、鱗のように脱落などの問題も生じない。

さらに、鱗や耳石の表面観察法では高齢個体の年齢を過小評価することが多くの魚類で指摘されている(林ら1995, 関河ら2002, 増田ら2003)。一般に魚類は高齢になるほど成長が鈍り、鱗の成長や耳石の伸長方向への成長も鈍化するが、耳石の肥厚方向への成長は続く(厚地2004)。このことから、ヒラメでは耳石横断薄片法を用いた方法により、耳石の表面観察では困難であった高齢魚までの正確な年齢査定が可能になると推察されている(厚地2004)。

マサバにおいても、耳石の構造観察により、溝状の不連続構造が密である部分を年齢表示構造であると仮定して年齢査定を行ったところ、マサバは全ての個体で査定が可能であった。また、表面観察法による高齢魚の年齢

査定の高齢魚まで読み取ることができた。このことから、マサバの年齢査定において耳石薄片の不連続構造の密な部分を年齢指標として扱うことは適当であると判断された。

今後、マサバの年齢査定にあたっては、まき網漁業の漁獲物のように推奨される部位の鱗を採取できない場合は耳石を用い、それ以外は、従来のとおり鱗を用いるなど、必要に応じて耳石と鱗を使い分けることが可能になるものと考えられた。

## 文 献

- 赤嶺達郎(2004)魚類の成長式における検定とモデル選択. 水産海洋研究, **68**, 44-51.
- 厚地 伸・増田育司・赤毛 宏・伊折克生(2004)耳石横断薄片法を用いた鹿児島県近海産ヒラメの年齢と成長. 日本誌, **70**, 714-721.
- 林 周・道津光生・太田雅隆(1995)耳石によるカサゴの年齢査定における横断面法と表面法の信頼性の比較. 日本誌, **61**, 1-5.
- 飯塚景記(2002)1960~70年代におけるマサバ資源と漁場. 月刊海洋, **34**, 273-279.
- 飯塚景記(1974)東北海区におけるマサバ未成魚の生態Ⅳ. 東北水研報, **34**, 1-16.
- 片山知史・五利江重昭(2007)メイトガレイの年齢と成長. 東北底魚研究, **27**, 99-100.
- 加藤充宏・渡邊千夏子(2002)マサバとゴマサバの成熟・産卵および食性. 月刊海洋, **34**, 266-272.
- 川端 淳・渡邊千夏子・上村泰洋・水戸啓一(2015)平成26年度マサバ太平洋系群の資源評価. 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)第1分冊, 水産庁増殖推進部・水産総合研究センター, p137-172.
- 川崎 健(1968)マサバ太平洋系群未成魚の生態について. 東海区水研報, **55**, 59-114.
- 近藤恵一(1966)サバ属魚類の成長-II. マサバの鱗による年齢査定方法. 東海水研報, **47**, 31-49.
- 近藤恵一・黒田一紀(1966)サバ属魚類の成長-I. マサバの年齢形質の比較. 東海水研報, **45**, 31-59.
- 黒田一紀(1992)日本の太平洋沿岸域におけるさば属魚類の産卵期, 産卵場及び産卵量の水準の動向. 水産海洋研究, **56**, 65-72.
- 増田育司・酒匂貴文・松下 剛・白石哲朗・切通淳一郎・神村祐司・小澤貴和(2003)鹿児島湾産アカカマス(マサバ)の年齢, 成長および年級群組成. 日本誌, **69**, 709-716.
- 目黒清美・梨田一也・三谷卓美・西田 宏・川端 淳(2002)マサバとゴマサバの分布と回遊(成魚). 月刊海洋, **34**, 256-260.
- 関河武史・高橋豊美・高津哲也(2002)北海道木古内湾におけるアイナメ*Hexagrammos otakii*の年齢と成長. 水産増殖, **50**, 395-400.
- Shiraishi T, Okamoto K, Yoneda M, Sakai T, Ohshimo S, Onoe S, Yamaguchi A, Matsuyama M (2008) Age validation,

耳石によるマサバ年齢査定の有効性

- growth and annual reproductive cycle of chub mackerel *Scomber japonicus* off the waters of northern Kyushu and in the East China Sea. *Fish. Sci.*, **74**, 947-954.
- 水産庁増殖推進部・水産総合研究センター（2015）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），P.664.
- 田中種雄・片山知史・加藤正人・目黒清美（2008）耳石横断薄片法を用いた銚子周辺海域におけるヒラメの年齢と成長。千葉水総研報，**3**，1-5.
- 宇佐美修造（1969）関東近海におけるマサバ成魚の生活様式-I。東海水研報，**58**，97-125.
- 渡邊千夏子・小林憲一・川端淳・梨田一也（2002）マサバとゴマサバの年齢と成長。月刊海洋，**34**，261-265.
- 渡部泰輔（1970）マサバの発育初期における形態・生態ならびに資源変動に関する研究。東海水研報，**62**，1-283.
- 山田英俊・片山知史・高田淳史・安樂康宏・真田康広（2011）豊後水道西部海域におけるイサキの年齢と成長および漁獲物の年齢組成。水産海洋研究，**75**，161-169.
- 山本昌幸・片山知史・牧野弘靖・竹森弘征（2008）瀬戸内海中央部におけるコウライアカシタビラメの年齢，成長および漁獲年齢組成。水産海洋研究，**72**，174-181.
- 吉原英吉（1955）サバの耳石に顯われる輪紋に就いて。日水誌，**21**，214-217.