

ミナミマグロ
(学名 : *Thunnus maccoyii*)
年齢査定マニュアル



耳石のサンプリング・処理
および輪紋の解釈

直接年齢査定ワークショップ
2002年6月11日 - 14日
オーストラリア、クイーンズクリフ

目次

1	はじめに.....	3
1.1	当文書の背景.....	3
1.2	標本の参照セット.....	3
1.3	現在の耳石の収集および保管.....	3
2	ミナミマグロについて.....	4
2.1	生活史及び生物学.....	4
2.2	回遊水域および産卵場の地図.....	5
3	過去の耳石年齢査定研究の成果.....	5
4	耳石のサンプリング.....	6
4.1	ミナミマグロの耳石の形態学と位置.....	6
4.2	耳石の摘出方法.....	7
4.3	清掃、取り扱いおよび保管.....	12
4.4	サンプリングの方法.....	13
5	若齢魚の耳石全体を使った年齢査定.....	13
5.1	処理.....	13
5.2	耳石全体の輪紋の解釈.....	13
5.3	耳石全体の輪紋の解読性レベル.....	15
6	年齢査定のための耳石切片の作成.....	15
6.1	ミナミマグロの年齢査定に適切な切片.....	15
6.2	切片の作り方.....	15
6.3	各方法の利点と欠点：複数の切片と単一の切片.....	16
7	耳石切片の輪紋構造の解釈と測定.....	19
7.1	耳石切片における年輪の解釈.....	19
7.2	解読性の尺度と耳石切片の信頼性.....	23
7.3	輪紋数のカウントから年齢査定への変換.....	23
7.4	電子画像を利用した年齢査定.....	24
8	年齢査定調査で期待される精度.....	24
8.1	精度（precision）と正確さ（accuracy）.....	24
8.2	一計測者の査定結果の差、ならびに計測者間の査定結果の差を見極めるための、精度の測定方法.....	25
9	耳石を利用した年齢査定のプロトコール.....	26
別添 A. 用語集.....		28
別添 B. ミナミマグロ若齢魚の耳石切片の画像と最終年齢推定値.....		32
別添 C. ワークショップ参加者リスト.....		35
別添 D. 参考文献.....		36

1 はじめに

1.1 当文書の背景

ミナミマグロ保存委員会 (CCSBT) 第 6 回科学委員会会合において、ミナミマグロ (SBT) の耳石を使用した年齢査定を行う際の基準を設定するために、2002 年中に年齢査定に関する技術会合を開催することが合意された。当ワークショップは、オーストラリア、ヴィクトリア州クイーンズクリフの海洋淡水資源研究所 (Marine and Freshwater Resources Institute :MAFRI) の中央年齢査定施設 (Central Ageing Facility: CAF) にて、2002 年 6 月 11 日から 14 日まで開催され、オーストラリア、日本、韓国、ニュージーランド、台湾の科学者が参加した。(参加者リストは別添 C)。

当ワークショップには 2 つの目的があった。第 1 は、ミナミマグロの耳石の収集、処理、ならびに輪紋の読み取りについて、加盟国の科学者間の技術交流を促すことであった。第 2 の目的は、ミナミマグロの耳石を使用した年齢査定に関し共通の基準を設け、加盟国の研究所で利用する作業マニュアルを作成することであった。当マニュアルは、ワークショップにおける共同作業の成果であり、耳石のサンプリングと処理、ならびに年輪を判断するための基準を示したものである。当マニュアルは、耳石を使用して年齢査定を行う研究所の作業の指針となり、共通の手続きを確立し、資源評価に貢献するために年齢査定の精度を高めるものと期待される。

当マニュアルの作成は、別添 C に示されているワークショップ参加者全員の共同作業の成果である。ナオミ・クリア (Naomi Clear) 氏が、伊藤智幸氏、マルコム・フランシス (Malcolm Francis) 氏、ドゥ・ハー・アン (Doo Hae An) 氏ならびにワン・ニン・ツェング (Wann-Nian Tzeng) 氏で構成されたマニュアル草案作成グループのリーダー役を務めた。各セクションへの個人の貢献についてはできる限り氏名を記した。

さらに、当マニュアルは加盟国の研究所で今までに行われてきた研究成果も反映しており、それらも可能な限り言及した。

1.2 標本の参照セット

当ワークショップにおいて、60 個の耳石から成るミナミマグロの耳石切片標本の参照セットを、合意された最終的な査定年齢と共に、CCSBT 事務局に保存することが決定された。さらに、これらの耳石の年輪にマーキングを付した電子画像を用意し、それを CD-ROM にまとめること、また CCSBT のホームページに掲載することが決定された。耳石標本の参照セットは加盟国に貸し出される。

1.3 現在の耳石の収集および保管

CCSBT では 1997 年の科学委員会において、全漁業部門において耳石収集を行うことが合意された。下記に示すのは、各国の耳石サンプリング制度と保管状況である。他の加盟国については、可能な限り早急に同様の耳石収集制度を確立することが期待されている。

オーストラリア:

オーストラリアは 1960 年代にミナミマグロの耳石の収集を始め、最近では表層漁業と延縄漁業で漁獲されたミナミマグロの内、年間数百尾から耳石を定期的に収集している。現在、保管されている耳石数は約 15,000 個である。さらに、インドネシアとの共同研究プログラムのもと、年間約 500 個の耳石がインドネシアの漁獲から

も収集されており、これらの年齢査定は定期的に中央年齢査定施設 (CAF) において行われている。

日本：

日本は 1990 年代初頭から、日本の延縄漁船に乗船したオブザーバーによる耳石の収集を始め、漁業者の協力および耳石回収の成功率は徐々に高まっている。最近では、毎年 200 から 300 個の耳石が収集されており、大型魚からのサンプリングも確実に行われるように体長階級を 10cm 毎に分類している。

ニュージーランド：

ニュージーランドは、延縄漁船に乗船したオブザーバーによるミナミマグロの耳石収集を 1998 年から開始した。現在までに約 2100 尾からの耳石が収集されている。

2 ミナミマグロについて

2.1 生活史及び生物学

当セクションの内容は、CCSBT ホームページの情報をもとにしたものである。ミナミマグロの生態についての更なる情報はホームページに記載されている。
(<http://www.ccsbt.org>)

ミナミマグロ（学名：*Thunnus maccoyii*）は、大型の海洋性回遊魚である。南半球全域で確認されているが、主に南緯 30 度から 50 度の海域に生息しており、東太平洋において確認されることは稀である。現在知られている唯一の産卵場は、インドネシアのジャワ島南東沖のインド洋である。

ミナミマグロは最高 40 歳まで生き、体重 200kg、体長 2m 以上にまで成長する。平均成熟年齢とサイズについては不確実な要素があり、委員会加盟国の研究課題となっている。現在のデータから推測される成熟魚のサイズは体長約 1.5m、年齢は 8 歳以上である。成熟したメスは、一回の産卵期に数百万個以上の卵を産卵することができる。

産卵はジャワ島南東沖の温暖な海域において、9 月から 4 月に行われる。若齢魚はオーストラリア西岸沖を南に回遊する。夏から秋（12 月から 4 月）にかけて、若齢魚はオーストラリア南岸の沿岸海域に集まる傾向があり、冬場は水深の深い温暖な海洋で過ごす。沿岸部の表層水域で 5 歳以上の魚が確認されることは稀である。

ミナミマグロについて既知の事実は以下のとおり。

- 遊泳速度は平均時速 2-3km
- 3 歳魚の平均成長率は月間 1.5cm（1980 年頃から、それ以前の時代よりも成長速度が早まった）
- ミナミマグロは、高度な血液循環系を持ち、周囲の水温よりも体温を高く保てるため、幅広い水温に耐えることができる
- 少なくとも 500m は潜水することが確認されている

2.2 回遊水域および産卵場の地図

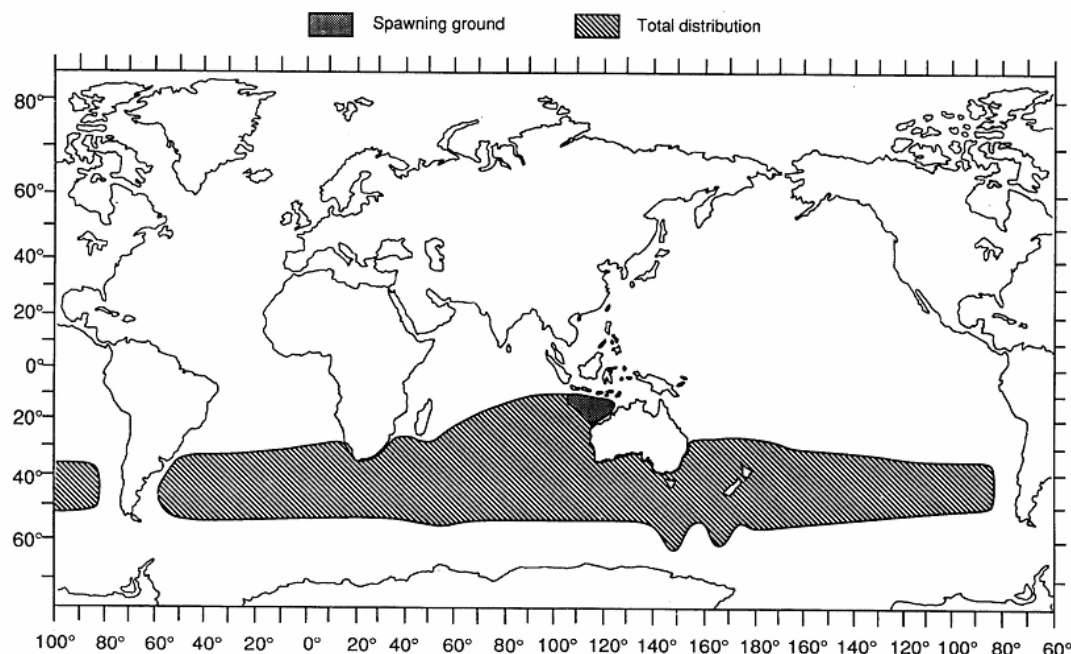


図 2.1. ミナマガロの分布（斜線部分）ならびに産卵場（濃色部分）。Caton (1991) の許可を得て再生。

3 過去の耳石年齢査定研究の成果

日輪：

Jenkins and Davies (1990) は、ミナマガロ仔魚の微小輪紋を光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて研究した。1 コホートから集められた耳石の縁辺成長解析と経過日数に伴う輪紋数の増加から日輪の形成を証明した。

Itoh and Tsuji (1996) は、1990 年から 1993 年にかけて若齢魚から収集した耳石の微小輪紋を調査した。エッチングした耳石を SEM で調べた結果、若齢魚の耳石には毎日輪紋が沈着されることが確認された。日輪のカウントから、年齢別の平均体長は 1 歳魚で 50.8cm、2 歳魚で 78.6cm と推定された。

異なる硬組織による直接年齢査定の比較：

Gunn *et al.* (1996) は、ミナマガロの鱗、尾部脊椎骨ならびに耳石の 3 つの硬組織を比較し、どの硬組織が最も正確な年齢を示すか調査した。その結果、鱗は 4 歳魚までの年齢査定にしか有用でないことが確認された。縁辺成長解析の結果、4 歳までは密な同心円帯が毎年形成されることが確認された。大型魚では鱗の縁辺において輪紋が重なってしまうこと、また再生した鱗が多いことから、年齢査定は非常に難しくなる。脊椎骨と耳石においては、明瞭な輪紋が不透明帯と透明帯として現れる。この 2 つの硬組織による年齢査定は 10 歳までは合致したが、大型魚の計数値

には差が見られ、耳石からの計数値の方が常に高い年齢を示した。付随的な検証調査（下記参照）の結果、耳石には一生を通じて年輪が形成されるのに対し、脊椎骨ではそうではなく、輪紋数が少ないことが確認された。

年輪の形成に関する検証：

Clear *et al.* (2000) は、ストロンチウムを使って耳石にマーキングを付ける実験を行い、耳石の年輪形成を検証した。CSIRO によるオーストラリア大湾での大規模な標識放流の際に、20,204 尾のミナミマグロに塩化ストロンチウム (SrCl_2) を注入した。注入した魚の耳石にはストロンチウムが沈着し、SEM で検証すると「タイム・スタンプ」として現れた。マーキングの付いた耳石について、輪紋の形成間隔を調べた結果、1 個から 6 個の輪紋があった耳石については、各輪紋が放流期間を通じて毎年形成されていたことが確認された。標識放流された魚の内、最も小さかった魚には、透明帯が 1 つあった。この第 1 輪紋が 1 年目に形成されたということは、日輪の研究 (Itoh and Tsuji 1996; Rees *et al.* 1996) から証明されており、両方の研究結果とも 1 歳魚の年齢別サイズは 50cm と決定している。年輪の調査では、体長 50cm の魚の耳石には 1 つの輪紋があり、1 歳プラスであると推定した。

ミナミマグロ大型魚の耳石に見られる輪紋が 1 年に 1 本形成される点については、耳石の輪紋計数値と、1980 年代に標識放流されて 1990 年代に再捕された魚の放流時年齢と放流年数の合計とが非常に近いことで証明された。これらのデータから、年輪の形成は少なくとも 13 歳まで続くことが示唆された。

Kalish *et al.* (1996) は、ミナミマグロの耳石の輪紋は一生を通じて毎年形成されることを、耳石の早期成長ゾーンの放射性同位体濃度の変化から得た年齢査定と比較して証明した。この調査では、23 歳魚から 34 歳魚について、2 つの年齢査定方法で同様の結果が得られている。

以上をまとめると、ストロンチウム・マーキングの実験、10 年以上放流されていた 2 尾の魚の耳石輪紋の計数値、ならびに放射性同位体変化の 3 つのデータから、ミナミマグロの耳石に見られる輪紋が、毎年形成されること、個々の魚の年齢査定に有効であることの強い証拠が得られた。

CCSBT 加盟国は、これらの技術を利用して得た年齢データを使って、成長モデルの構築や資源評価を行っている。

4 耳石のサンプリング

4.1 ミナミマグロの耳石の形態学と位置

魚の耳石（もしくは耳骨）は、脳の下部の三半規管にある小さな器官で、たんばく基質内に取り込まれた炭酸カルシウム層が日々沈着して形成される。他の硬骨類と同様、マグロ類には 3 組の耳石がある。ミナミマグロでは、3 組の中で最も大きいものが偏平石で、形状は楕円形で、突起状のロストラムと深いサルカスがある。

（訳者注：当文書の耳石は全て偏平石を指している。）

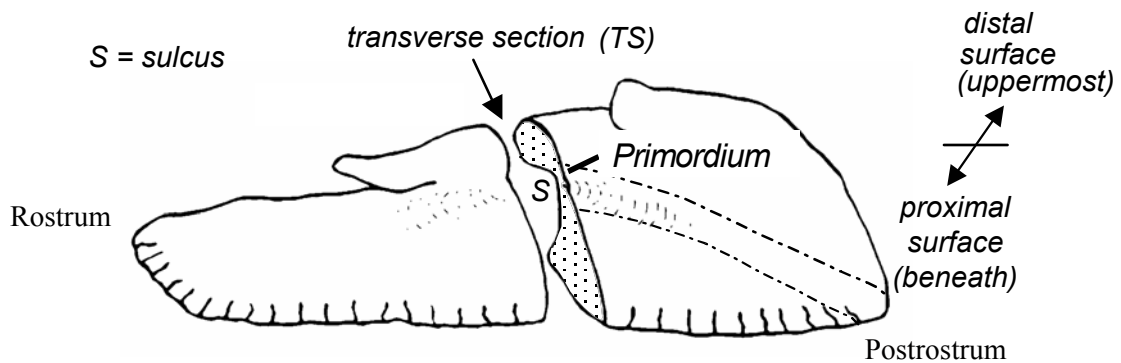


図 4.1 ミナミマグロの左偏平石ならびに横断切片の位置 (Rees *et al.* 1996 を一部変更して再生)

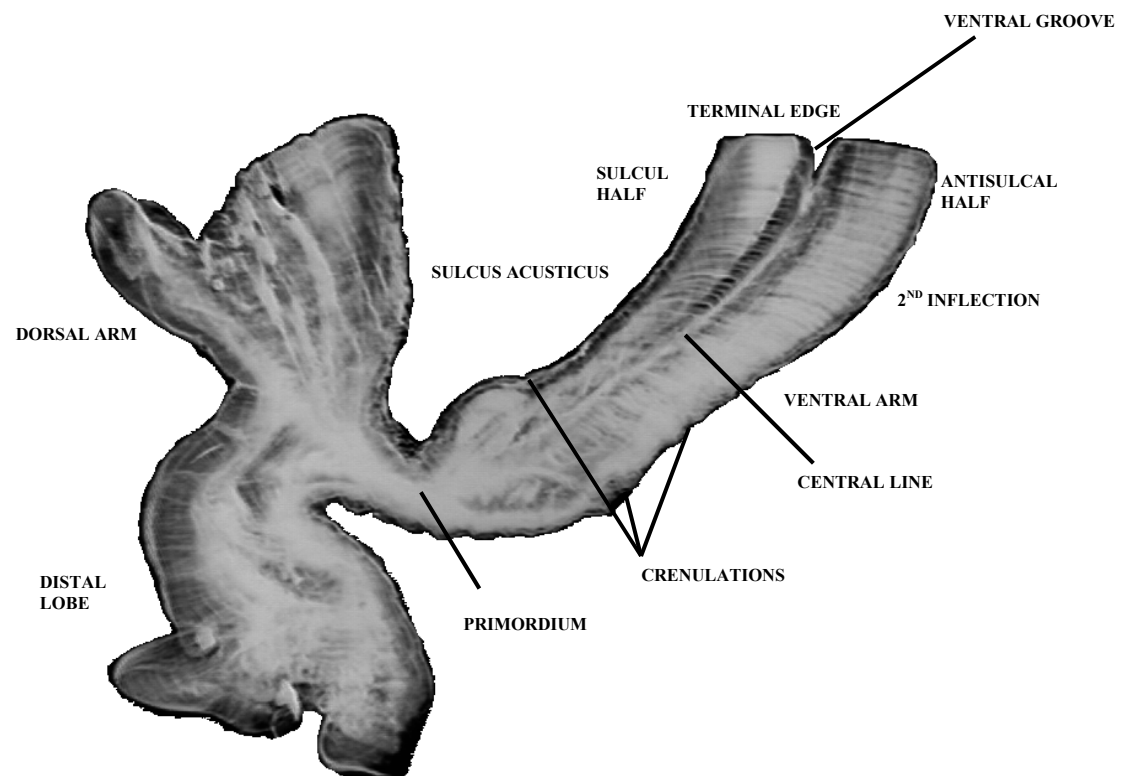


図 4.2 ミナミマグロの耳石の横断切片 (核を含む)

4.2 耳石の摘出方法

ミナミマグロの頭部から耳石を摘出する方法として、次の2つの方法がよく使われている。

- a. 頭部を切り離すことができる場合：

ノコギリもしくはナイフで、目の上の水平面もしくは目のすぐ後方の垂直面で頭部を切る。脳を注意深く取り出す。頭蓋骨後部のくぼみを確認する。この中に耳石を包み込む形で三半規管がある。ピンセットをくぼみに入れて耳石を取り出す。耳石は三半規管に納まったまま取り出される場合もある。

b. 頭部を切り離せない場合：

耳石が入っている頭部にドリルを差込んで標本を取り出す技術は、ソログッド (Thorogood 1986) が開発し、オーストラリアの CSIRO (Clear *et al.* 2000) が改良を加え、さらに日本の遠洋水産研究所で一部変更した。

この方法は、A の方法より信頼性は低く、2 つの耳石を対で取り出せない場合もある。しかし、このサンプリング方法を正確に行った場合、魚の外部への損傷が少ない（またはまったくない）ため、延縄漁業者からの許可が得られやすい。詳しい摘出方法は以下の通り。

耳石が含まれている組織標本を頭部からドリルでくり抜くことになる。生鮮魚の場合は、ホールソーを付けたコードレス（バッテリー充電式）のドリルが適切であるが、冷凍魚にはより強力なドリルが必要である。ホールソーは、魚のサイズによって異なる。例えば、尾叉長が 135cm 以下の場合は直径 35mm、尾叉長 135cm-170cm の場合は直径 45mm、尾叉長 170cm 以上の場合は 55mm といった具合である。

耳石を取り出すには、まず魚の背側を下にし、左右から頭蓋骨にホールソーを差込み、標本部分をくり抜く。ホールソーを差し込むところは基後頭骨で、これは第 1 脊椎骨の前、頭蓋骨と第 1 脊椎骨の連結部の真横に位置する。この部分は、魚のエラを取り出し、鰓蓋骨を取り除くと見える。耳石のおおよその位置は、親指と人差し指で基後頭骨を摘むことで見当をつけることができる。尾叉長約 150cm の魚の場合、耳石はこのように摘んだ親指の先の下あたりにある。基後頭骨から反対側の目の後部に向かってホールソーを入れると耳石がある先あたりまでくり抜くことができるはずである。うまくいくと、標本部分が簡単に頭蓋骨から離れる。ドリルで脊椎骨を壊すと、頭部がとれ商品価値を落とす結果になってしまうので、壊さないように注意する。

この方法で耳石のサンプリングを行うに当たっては、下記を含め、いくつかの課題がある。

- 漁労長、船長から許可を得ること
- ドリルを安全に使用すること
- 頭部内の耳石の位置を正確に知ること
- 標本から耳石を見つけること

ミナミマグロの市価は高く、皮膚の小さな傷でも市価を落とす原因となってしまう。したがって耳石のサンプリングを行う前に、漁労長や船長の許可を得ることが不可欠である。

必ずドリルを安全に使用することを確認すること。旋回するホールソーが魚から跳ね返ることがあるので、ドリルをしっかりと持つことが重要である。跳ね返りを防ぐには初めは逆旋回にして取っ掛けりの傷をつけると良い。

経験の豊富な者は、耳石がどこにあるかを理解しているので、ホールソーの位置と角度を正確に設定できる。位置と角度が正確であれば、摘出の成功率は高まる。

ドリルでくり抜いた標本から耳石をすぐに取り出す必要性はないが、摘出に成功したかどうか、またその後のサンプリングを改良することにつながるので、くり抜いたものから耳石をすぐに取り出すことを推奨する。



図 4.3 コード式ドリルを使用して冷凍ミナマグロから標本を採取している様子
(オーストラリア CSIRO 写真提供)

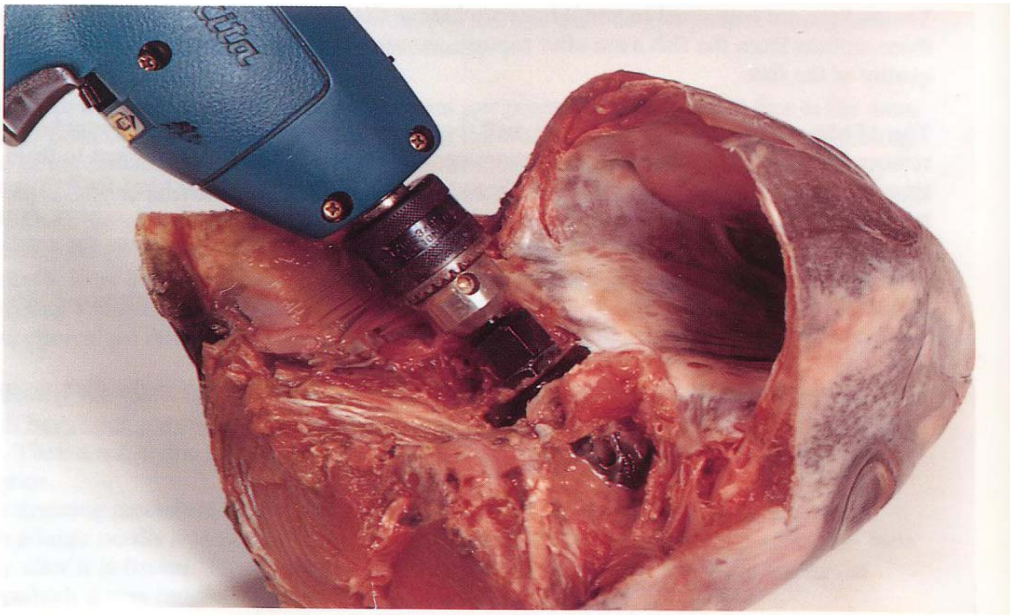


図 4.4 バッテリー充電ドリルで生鮮ミナマガロから標本を採取している様子
(CSIRO、遠洋水産研究所写真提供)

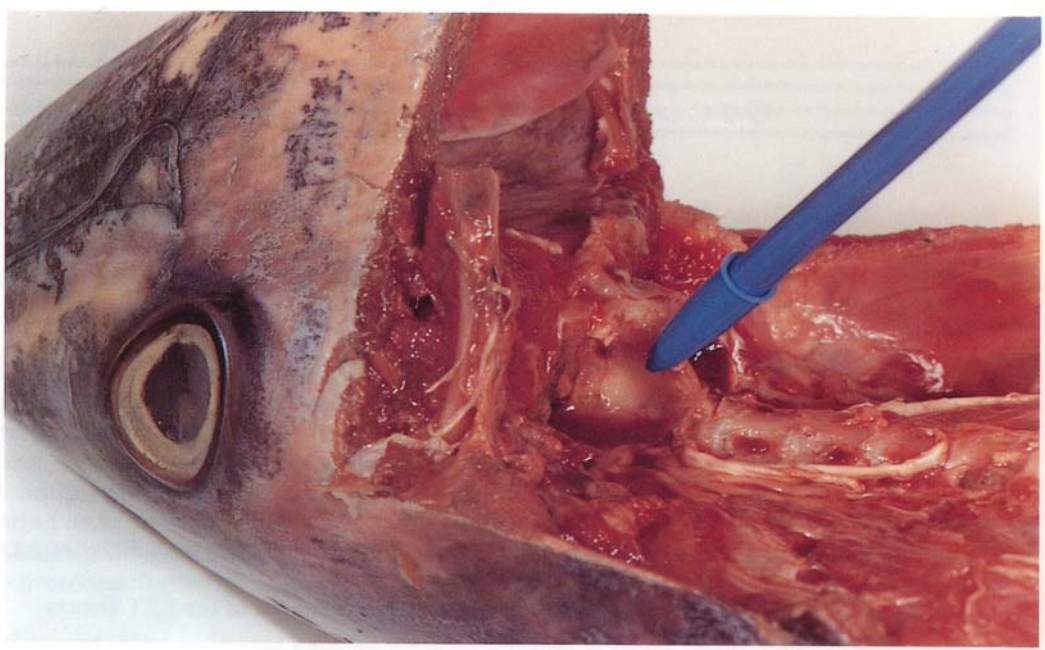
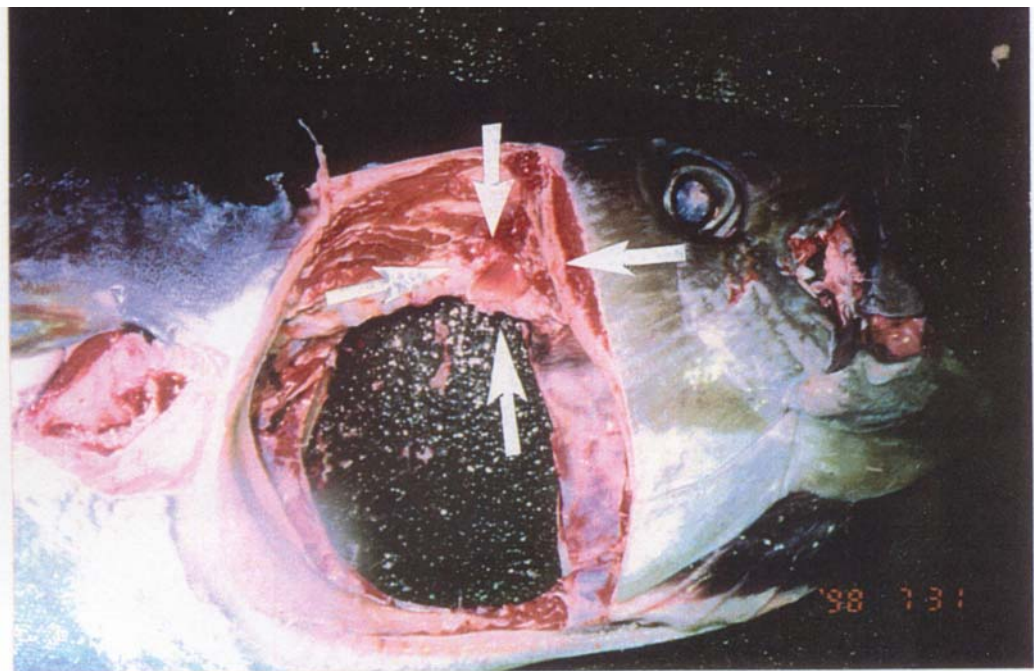


図 4.5 耳石を含んだ標本をくり抜くためには、ホールソーを基後頭骨（印）にあて、反対側の目に向かう角度に設定する（遠洋水産研究所、CSIRO 写真提供）

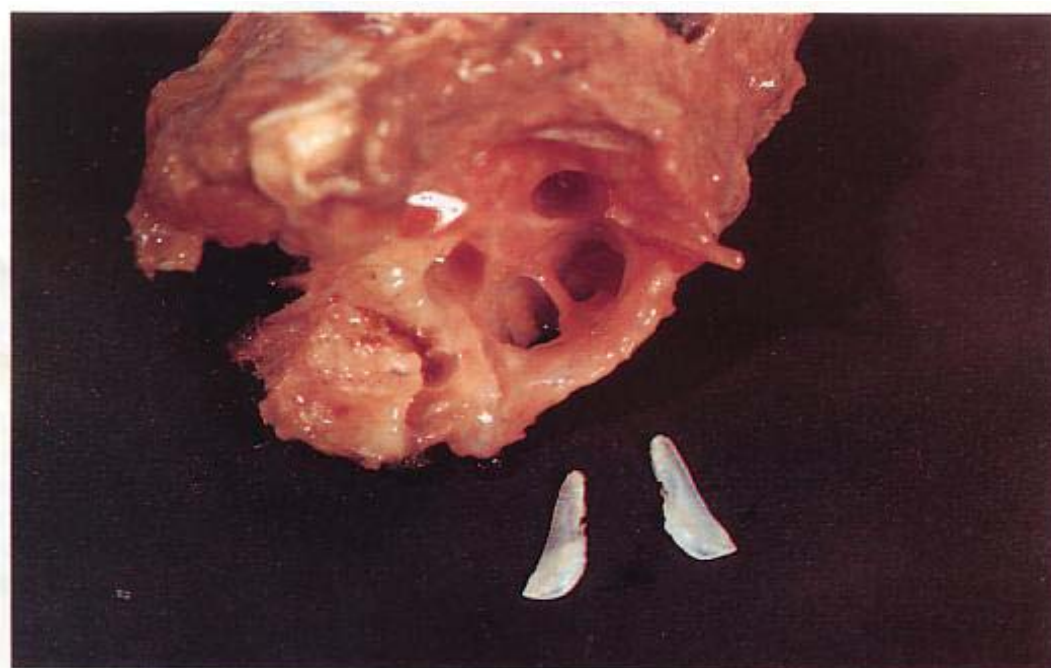
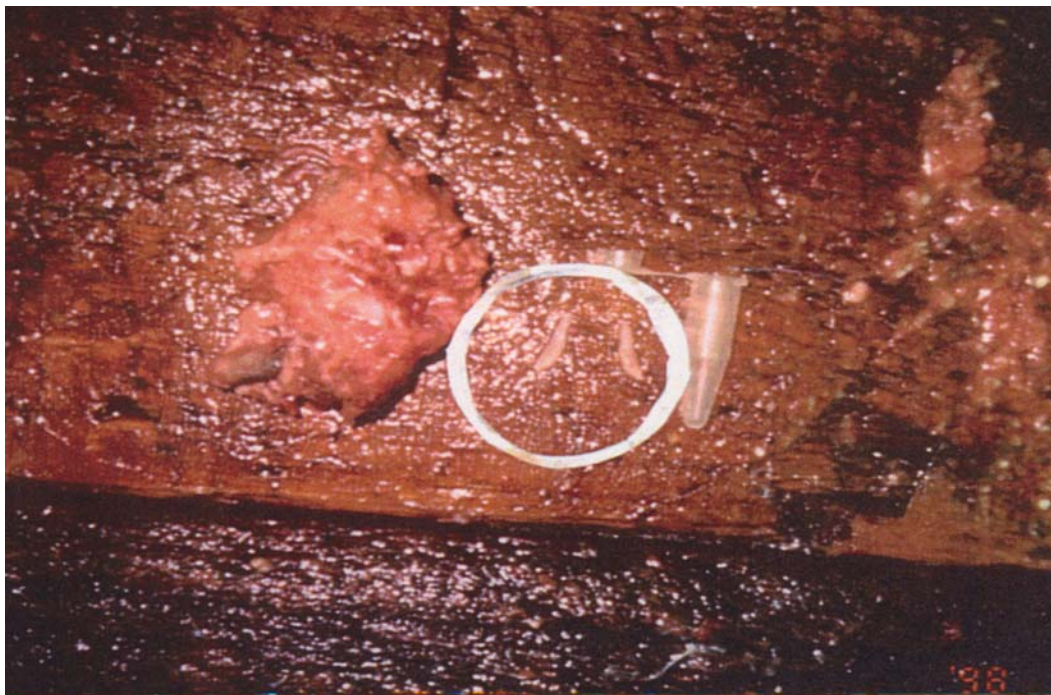


図 4.6 正しくくり抜かれた標本には耳石が含まれている (遠洋水産研究所、CSIRO 写真提供)

4.3 清掃、取り扱いおよび保管

耳石を取り出した後はすぐに軟組織の膜（耳石の周りの三半規管）を取り除く（乾燥してしまうと膜が取れにくくなる）。耳石は空気乾燥した後、小さなプラスチック瓶に保管するのが最も良い。瓶がない場合は紙の封筒に入れても良いが、封

筒の中でつぶれたり、封筒に付着してしまう場合もあり、破損してしまう結果となることが多い。

耳石を取り出した直後に上記のクリーニングをすることにより、切片作成の作業時間を短縮することができる。

4.4 サンプルングの方法

耳石のサンプルングに関し、2つの方法が加盟国間で採用されている。

- 各体長クラスから事前に決められた数の耳石を採取する、体長階層化サンプルング方法
- 無作為に選んだ魚から耳石を採取する、ランダム・サンプルング方法

体長階層化サンプルング方法は、さまざまな体長の魚から耳石を採取することができ、特に成長曲線と年齢体長相関表の作成、ならびに寿命の推定において有用である。年齢体長相関表を、資源を代表するようにスケーリングした漁獲の体長分布に当てはめることで、資源の年齢構造を得ることができる。

ランダム・サンプルング方法は、資源の年齢構造について直接の推定値を示すが、すべての年齢クラスが完全に代表されていない場合には、成長曲線を得るための有効な手段ではない可能性がある。

どちらのサンプルング方法においても、年間を通じて各漁船団が漁獲する魚のすべてを代表するだけの十分な耳石サンプルを収集することは難しい。適切なサンプルング方法は、直接査定の年齢情報を資源評価でどのように利用するかによって異なる。本件については CCSBT 科学委員会で現在検討されている。

5 若齢魚の耳石全体を使った年齢査定

このセクションでは、CSIRO が開発した手法を説明する。更なる情報は、Clear *et al.* (2000) ならびに Gunn *et al.* (印刷中) に記載されている。

一般的に、尾叉長 135cm 以下の魚については、耳石全体を使って年齢査定を行うことができる。輪紋は不透明帯（成長の速い時期と想定される）と、より幅の狭い透明帯（成長の遅い時期と想定される）の 2 つから構成される。

5.1 処理

- 耳石をホットプレートでこんがり色づくまで焼く。透明帯が不透明帯より鮮明になる。
- 焼いた耳石を、黒い背景のもとで反射光を使って光学顕微鏡で調べる。

5.2 耳石全体の輪紋の解釈

- 耳石に沈着される初めの 1、2 本目の輪紋は通常、幅が広く、以後の輪紋に比べ鮮明度が低い。

- 輪紋が最も鮮明に見えるのは、ロストラム軸およびポスト・ロストラム軸の部分である（図 5.1 および 5.2 参照）。しかし透明帯は、通常これらの軸の間の腹側縁辺に平行した耳石表面に見られる。
- 耳石全体の輪紋は、核部から縁辺に向かって、ロストラム軸とポスト・ロストラム軸に沿って数える。
- ロストラム軸とポスト・ロストラム軸の長さ、核と各透明帯の内側（小型魚の耳石では透明帯の外縁を確認することが難しい）の距離を、ロストラム軸とポスト・ロストラム軸に沿って測定する。
- 一番最近に沈着された透明帯からロストラムに向かって、ロストラム軸に沿って縁辺の輪紋を測定する。
- 耳石全体を使った年齢査定の場合については、図 5.1、5.2 ならびに別添 B を参照のこと。

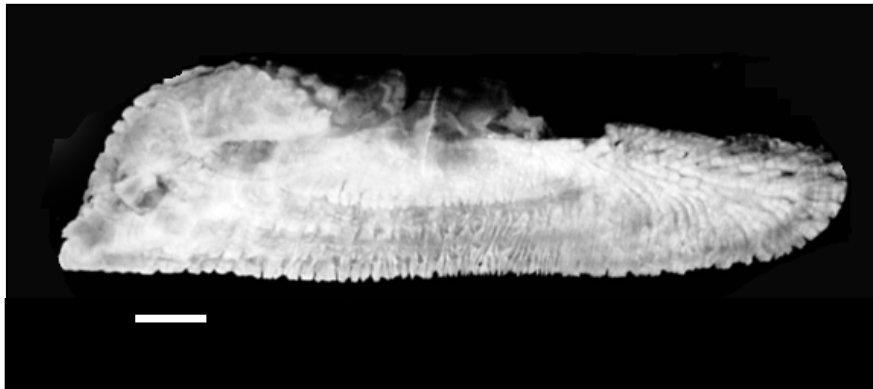


図 5.1. 1 月に漁獲された尾叉長 98cm のミナミマグロから採取した耳石全体を焼いたもの。この右偏平石から 3 つの輪紋が確認された。濃い透明帯が耳石の表面のロストラム軸からポスト・ロストラム軸に向かって腹側縁に平行して見られる。スケールバー: 1 mm

[Clear *et al.* (2000) より再生]

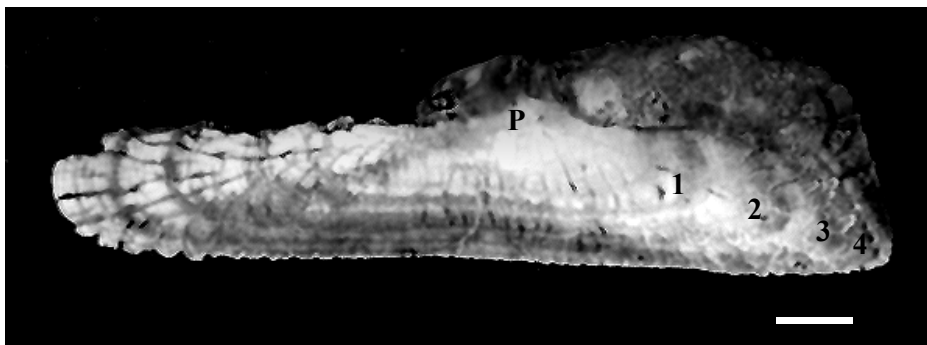


図 5.2. 1994 年 3 月に尾叉長 57cm でストロンチウムを注入した後に標識放流され、1997 年 2 月に尾叉長 111cm で再捕された魚の偏平石（標本 OB 764）。焼いた耳石全体から 4 つの輪紋が確認された。核から外側に向かい、ポスト・ロストラム軸に沿って測定された輪紋の距離はそれぞれ、2.2mm、3.6mm、4.4mm、4.9mm である。スケールバー: 1 mm

[出展: CSIRO、Naomi Clear]

5.3 耳石全体の輪紋の解読性レベル

- 各耳石の解読性（輪紋判断の容易さ）について、以下のように点数をつける。
 1. 解読性が非常に高い - 輪紋のカウントに疑いの余地のないもの
 2. 多少の疑問はあるものの、1つの解釈のみが考えられるもの
 3. 2つの解釈があるもの - 最良の推定値を示す
 4. 2つ以上の解釈ができるもの - 最良の推定値を示す
 5. 解読不可（明らかな輪紋が見られない）
 6. 破損または紛失

6 年齢査定のための耳石切片の作成

6.1 ミナミマグロの年齢査定に適切な切片

ミナミマグロの耳石では、背面の中心軸と腹面の中心軸に沿って物質が沈着していくため、厚みは側面に増していく。これらを背面アーム、腹面アームと称している（図 4.2）。これにより、非常に深いサルカス（溝）（訳者注：サルカスは溝の意味であるが、「溝」の用語は腹側アームの構造に用いているのでサルカスを使用した）が形成される。成長輪紋が最も鮮明に示される横断切片の厚さはおよそ 300-350 μm であることが確認されている。

6.2 切片の作り方

現在、ミナミマグロの切片を作成している研究所は、オーストラリア、ヴィクトリア州の中央年齢査定施設（CAF）、ニュージーランド、ウェリントンの国立水圏大気研究所（NIWA）、ならびに日本、三重県のマリノリサーチ株式会社である。各研究所では、異なる方法で薄切片を作成している。

オーストラリア、CAF

クリーニングして乾燥させた耳石を、透明なポリエステル樹脂（硬化剤として過酸化メチルエチルケトンを使用）に、核が同じ位置に並ぶよう、5 個ずつ 2 列に配置する。改良を加えたジェマスタ（Gemasta™）社のダイヤモンド回転鋸に幅 250 μm のダイヤモンド・ブレードをつけると、1 つの耳石から厚さ約 250-400 μm の横断切片を少なくとも 4 枚採取できる。切片を水洗いした後、アルコールですすぎ、乾燥させる。その後、ポリエステル樹脂を使い、番号をつけた顕微鏡用スライドガラスの上に置き、カバーガラスで覆う。通常この方法では耳石を焼かないが、焼いてもかまわない。1 日に約 250 個の耳石を処理することができる（作業プロセスの写真はセクション 6.3）。

日本、マリノリサーチ株式会社

大型の耳石（長さ > 10 mm）

耳石の核に印を付け、手持ちサイズの小さな切削機（ミニター（Minitor）社、ダイヤモンド切削ディスク）で切る。切り取った表面を研磨紙（2000 グリット）で磨いた後、瞬間接着剤でスライドガラスに固定する。スライドガラスに耳石が固定されたら小さな切削機で反対側を切り、約 1mm の厚さにする。さらに研磨紙で約 300 μm にまで削る。スムーズな表面を作るため、エポキシ包埋樹脂（ユパラル（Euparal）社）で表面を皮膜する。

小型の耳石（長さ<10 mm）

耳石をシリコン型に入れ、エポキシ包埋樹脂を流し込み、長方形のブロックを作る。ブロックが固まったら、切削機（マイクロカッター）を使って耳石の一部を取り除く。カッターの刃の位置を変えながら調整し、厚さ約 300 μm にする。この切片をエポキシ包埋樹脂でスライドに付着させ、ユパラル（Euparal）で皮膜してスムーズな表面をつくる。

ニュージーランド、NIWA

超音波クリーナーを使って耳石から組織を除去する。乾燥させた耳石を 1 つずつ透明なエポキシ樹脂のブロックにして、樹脂が固まるまで 24 時間置いておく。実体顕微鏡で反射光を使って、中心核を確認する。先端にタングステンのついたペンを使用し、樹脂ブロック上に横断ラインを刻み付ける。これにより、切片をつくる際に中心核を容易に確認することができる。スパーサーで間隔をとったダイヤモンド・エッジ・ブレードを 2 つ付けたストルアーズ社の鋸（Struers (Accutom-2)）を使用して、樹脂ブロックから薄い横断切片（厚さ約 650 μm ）を切り取る。

薄い切片を実体顕微鏡（反射光）で見て、もっとも鮮明な側（即ち核にもっとも近い側）を確認する。核をはっきりさせるため、この側を手で研磨する（初めは 1200 グリット、その後は 4000 グリットのカーボランダムを使用）。その後、1 μm のアルミナ・ペースト（リンド（Linde）社）を使って、残りの傷を取り除く。切片を顕微鏡用スライドガラスに載せ（研磨した側を下にする）、早期乾燥のエポキシ樹脂で固める。切片の上側表面を、まずは 1200 グリットのカーボランダムで、その後 1 μm のリンド（linde）で研磨し、厚さ約 350 μm にする。

6.3 各方法の利点と欠点：複数の切片と単一の切片

CAF の方法では一度に複数の切片が作成されるのに対し、マリノリサーチと NIWA の方法では各耳石につき 1 つの切片が作成される。複数の切片をつくる利点と欠点を以下に述べる。

4 つの切片を作成することにより、少なくとも 1 つは鮮明なものとなる可能性が高くなる。また、複数の切片を作成する場合には、各切片が必ずしも核を通らなくても良いため、切削の精度がそれほど重要でなくなる。このことは即ち、核に印をつけずに済むということで、処理時間を短縮することにもつながる。しかし、この方法では専用の薄い刃（厚さ約 250 μm ）の付いた高速切削機が必要となる。一般に市販されている厚い刃の機械では耳石を多く削りすぎてしまい、核をなくしてしまうリスクがある。薄い刃の付いた専用の機械を使っても、まれに 4 つの全ての切片で完全に核をはずしてしまうことがある。

切片を 1 つだけ作る方法の欠点としては、切片を可能な限り鮮明にしなくてはならないために、核の位置を確認して印を付けることが非常に重要であるという点で、このために多くの時間を要する。

CAF が採用している複数切片作成方法を以下の写真で示す。



1. 耳石をポリエステル樹脂に包埋するシリコンの型。出展：オーストラリア、中央年齢査定施設、カイン・クルジック・ゴラブ (Kyne Krusic-Golub)



2. 改良を加えたジェマスタ（Gemasta™）社の鋸で切片を作成している様子。出展：オーストラリア、中央年齢査定施設、カイン・クルジック・ゴラブ



3. 耳石切片の取り扱い。出展：オーストラリア、中央年齢査定施設、カイン・クルジック・ゴラブ



4. 耳石切片をラベルの付いた瓶に入れる。出展：オーストラリア、中央年齢査定施設、カイン・クルジック・ゴラブ



5. 処理終了。切片をスライドグラスに付着させ、カバーグラスで覆う。出展：オーストラリア、中央年齢査定施設、カイン・クルジック・ゴラブ

7 耳石切片の輪紋構造の解釈と測定

7.1 耳石切片における年輪の解釈

1. 全般的なアプローチ
 - 光学顕微鏡で透過光を使って切片を見る
 - すべての耳石を同じ倍率で見る
 - 腹面（長い方）アームが最も信頼性の高い年齢推定値を示す
 - 不透明帯を数える（透過投射光では濃く現れる）
2. 初めに行うこと
 - 顕微鏡の光の強度と焦点が適切であることを確認し、必要に応じて調整する
 - 鮮明度、密度、核への近さ、その他の特徴を勘案して、年齢査定に最適な切片を選ぶ
 - 「最適な」カウントする部分を確認する（例：サルカス側、アンチサルカス側、あるいは両方の組み合わせ）
 - 以下を考慮しながら、魚が若齢、中齢、高齢であることを確認する
 - a. 背面アームと腹面アームの相対的な長さ
 - b. 腹面アームの溝の形成度合い
 - c. 第2屈折部があるか否か（第2屈折部は10歳から14歳に形成される）
 - d. 輪紋が一定間隔である外側エリアがあるか否か
 - 背面アームと腹面アームに類似する構造があるか否か

3. 輪紋のカウント

- 核から縁辺に向かって数える
- 内側エリア、中間エリア、外側エリアを確認する（存在する場合）
- 下記の特徴の内、いくつかを利用して内側部分の輪紋（最初の数個）を数える（注：これらすべての特徴を兼ね備えている耳石はまれである）
 - a. 腹面アームのアンチサルカス縁側の第 1 屈折部（ひじ）と核の間には年輪がない
 - b. 第 1 屈折部と第 1 年輪の間には通常、偽年輪があるが、これはカウントに含めない
 - c. 年輪は幅広く、拡散しており、内部には年輪ではない透明帯と不透明帯（サブバンド）を含んでいる
 - d. 中央ラインは、方向が変わったり、第 1 年輪の終了部分で無くなる場合がある（また、それ以降の輪紋の終了部分までラインが続くこともまれである）
 - e. 外縁（特にアンチサルカスの縁）に沿って波打った形状が見られる場合があり、この凹凸が年輪と一致することもある
 - f. サルカスもしくはアンチサルカスの縁に沿った軸の角度（成長方向）の変化が年輪と一致することもある
 - g. 核から第 1 屈折部までの距離は、第 1 屈折部から第 1 年輪までの距離とおおよそ同じであるが、後者の距離は生まれた時期により変動が大きい
 - h. 通常、核から縁辺に向かうにつれ、年輪間隔は狭まる（高齢魚の耳石の外側部分は例外）。
- 次の特徴を利用しながら、中間エリアの輪紋を数える（第 2 屈折部あたりまで）。
 - a. 中間エリアの輪紋は通常、あまり拡散しておらず、内側エリアより間隔が狭い。しかし、外側エリアよりは拡散しており、間隔も広い。
 - b. 中間エリアでは多くの場合、サルカス縁に交わる形で、細くて不規則なサブバンドが見られる。
 - c. 中間エリアの年輪は、縁の波打ち形状の凹凸に一致する場合がある。
 - d. カウントはサルカス側、もしくはアンチサルカス側、どちらか鮮明な方で行う（注：数える側を途中で変更する場合は、中央の溝を通して反対側まで続く鮮明な輪紋を追う）。
- 次の特徴を利用しながら、外側エリアの輪紋（第 2 屈折部以降）を数える。
 - a. 外側エリアで輪紋は通常、幅や見栄えが均一で、内側エリアや中間エリアの輪紋よりも色が濃く、鮮明である。
 - b. 外側エリアでの輪紋間隔は、中間エリアの輪紋間隔よりも狭い。
 - c. 外側エリアの輪紋は通常、単一（途中で枝分かれない）の透明帯もしくは不透明帯から構成されている。
 - d. 輪紋によっては重複して見えるものもある。顕微鏡の倍率を高め、2 つの構造が溝部分もしくはサルカス縁で交わっているか（その場合は 1 つと数える）、あるいは全体を通じてはっきりと 2 つ見られるか（その場合は 2 つと数える）を確認する。
 - e. 多くの場合、外側エリアでは腹面アームのサルカス側で輪紋を数えるのが簡単である。
 - f. 最も外側の輪紋を数えるにあたっては、顕微鏡の倍率を高める必要がある場合がある。

- 末端縁の状態（透明あるいは不透明）を検証する。必要に応じて顕微鏡の倍率、焦点ならびに光を調節する（注：影やその他の縁付近の影響によって、縁に不透明帯があるかのように見える可能性がある）。
- 末端に不透明帯がある場合にはそれも含めて全体の輪紋数とする。
- 最後の不透明帯以降に透明帯が見られる場合には、輪紋数の後ろに+サインを付ける。
- 輪紋計数値は必ずしも魚の年齢を示すものではない（セクション 7.3 参照）。
- 切片の詳細と解釈性を記録する（セクション 7.2 参照）。

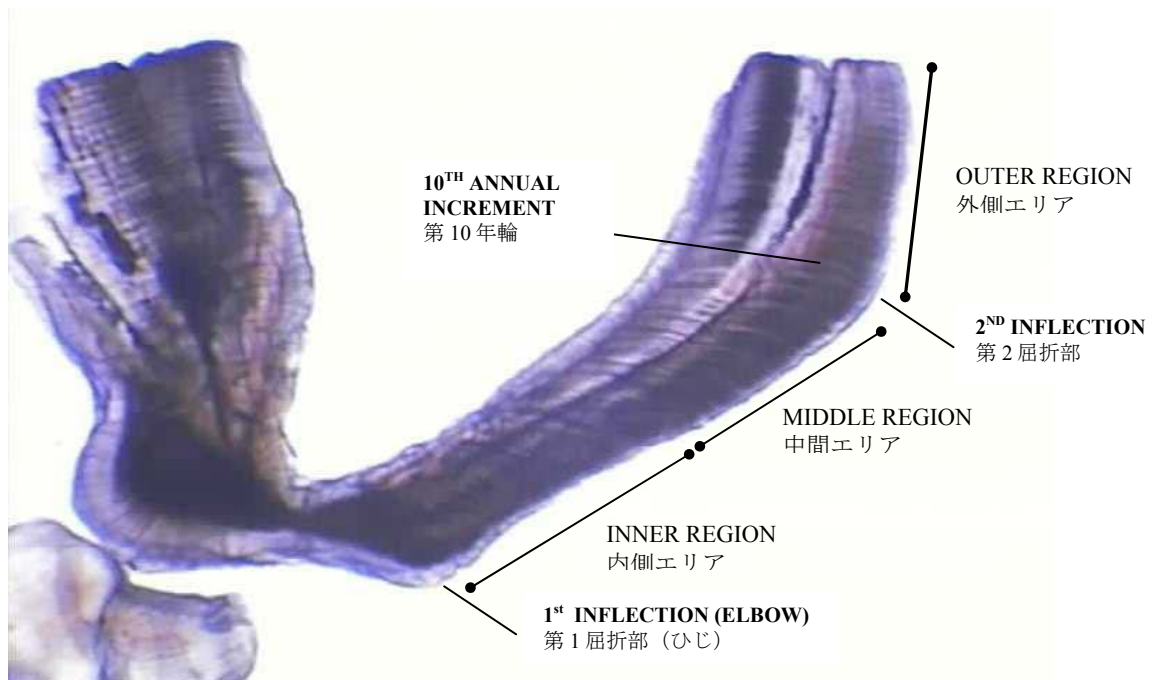


図 7.1 第 10 不透明帯の形成と合致する第 2 屈折部の位置

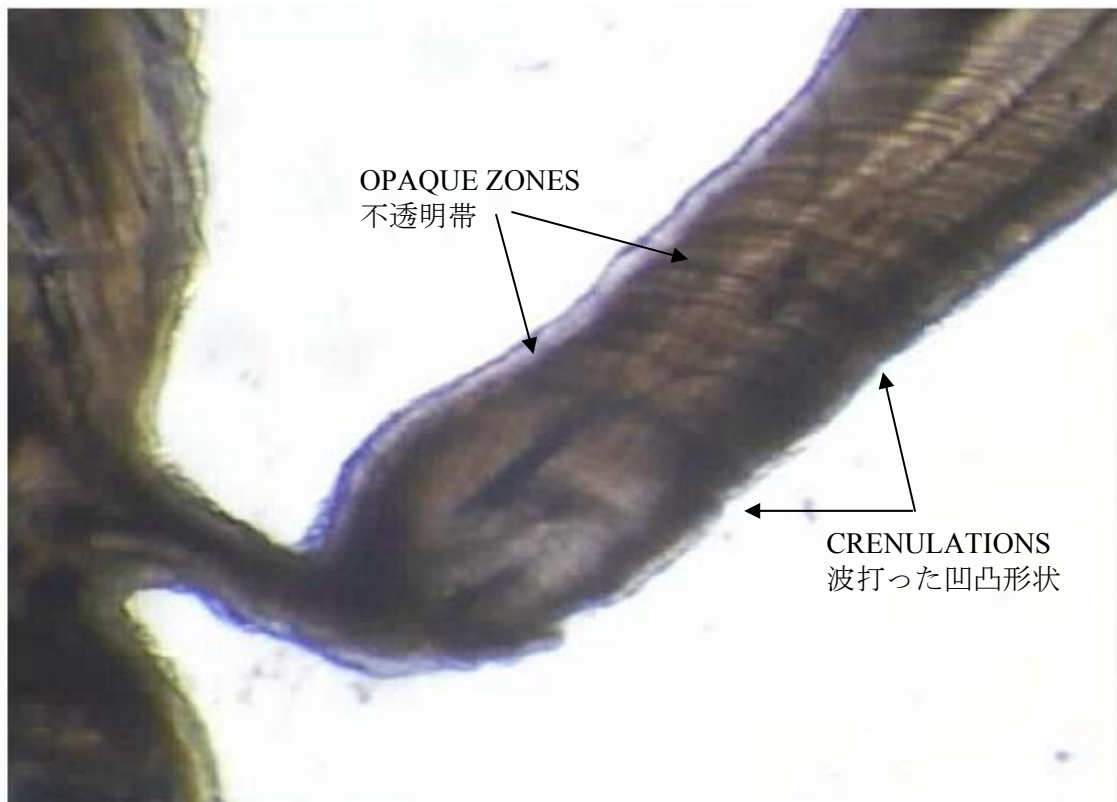


図 7.2 不透明帯の形成に合致する波打った凹凸形状

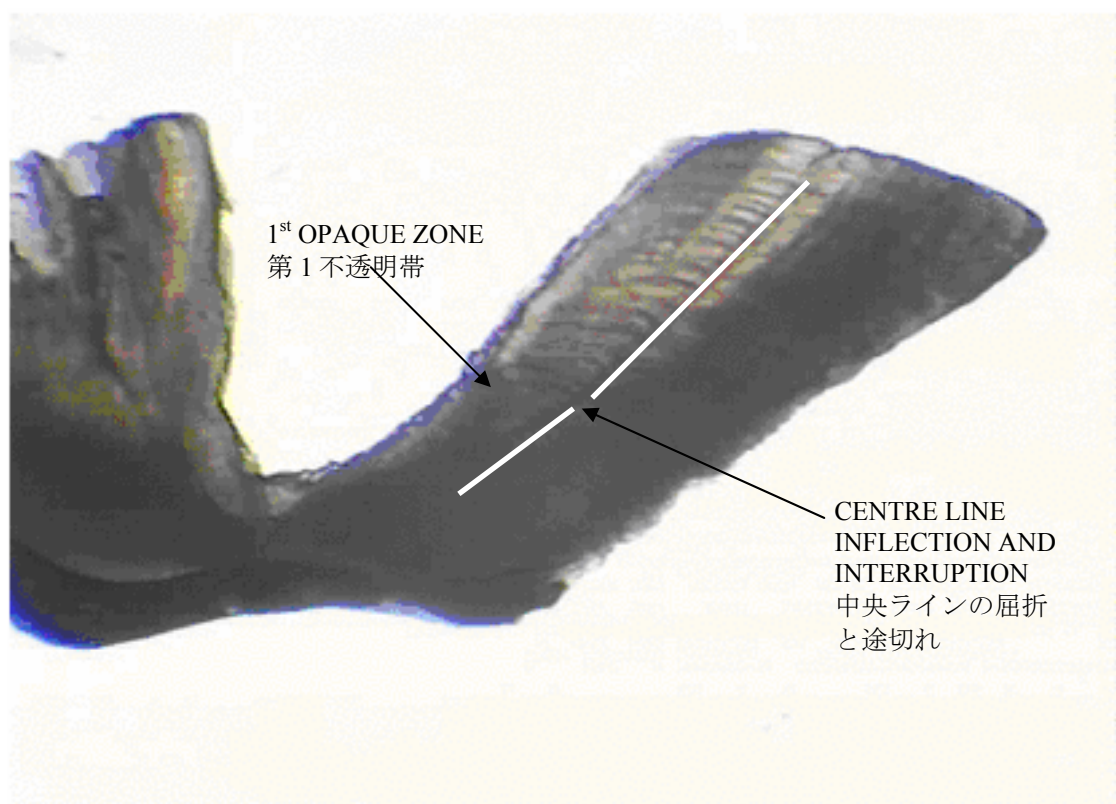


図 7.3 中央ラインの屈折と途切れ（白線）が、第1年輪の不透明帯を示す鍵となる可能性がある

7.2 解読性の尺度と耳石切片の信頼性

各耳石切片の「解読性」を査定すること。解読性とは、成長ゾーンの鮮明さと計測者の最終カウントの信頼性の両方を含む。内側、中間、外側の各エリアは、それぞれ鮮明さや信頼性が異なるので、各部分の解読性査定を行うこと。

さまざまな解読性の尺度が考えられるが、次に示すのは CSIRO で何年も使用されてきた尺度で、すでに確立されたものである。計測者間の統一を図るため、今後のすべてのミナマガロ耳石切片の年齢査定において、この尺度を採用することを推奨する。

耳石信頼度の点数

0. 明確なパターンなし
 1. パターンはあるが、輪紋として識別できない
 2. パターンはあるが、年齢査定は不確実
 3. 良好なパターンが見られる - 数箇所において不確実
 4. 良好なパターンが見られる - 年齢査定の信頼度も高い
 5. 疑いの余地がない

7.3 輪紋数のカウントから年齢査定への変換

最終的な輪紋計数値を年齢に変換する（すなわち年級の決定を行う）ためには、次の追加情報が必要である。

- 耳石の末端縁の構成（不透明もしくは透明）
- 理論上の誕生日
- 不透明帯が形成された年間の時期
- 魚の捕獲日

縁の構成は耳石の読み取りの段階で確認される。しかし透明または不透明帯が観察されるようになるのは、その形成開始からしばらく経ってからであることに留意する。

ミナマガロの理論上の誕生日は 1 月 1 日とされている。しかし、産卵期は 9 月から 3 月まで続き、ピーク時は同期間の初めと終わりであることから、個々の魚は理論上の誕生日から最長 3 ヶ月前後の幅を持って生まれていることが考えられる。

耳石全体を観察した場合には、第 1 透明帯は 5 月から 9 月（冬季）に、その次の不透明帯は 10 月から 4 月（夏季）に形成される (Clear *et al.* 印刷中)。透明帯の方が不透明帯より幅が狭い。しかし、耳石全体に見られる傾向と耳石切片で見られる傾向の関係は確認されていない。耳石切片の内側エリアにおいては、不透明帯の方が透明帯よりも幅が広いようである（実際のところは、各輪紋の始まりと終わりを確認するのが非常に難しい）。これは耳石全体の場合と一致している。しかし、高齢魚の耳石切片の外側エリアについては、不透明帯の方が透明帯よりも狭い場合がある。

現在数えている不透明帯が常に夏季に形成されているのかを確認するため、さらなる研究が必要である。これは下記の方法で確認できる。

- 異なる月の縁辺構成（透明帯か不透明帯か）を検証する

-
- 標識放流後に形成されるのが透明帯か不透明帯かを検証する （訳者注：耳石には標識放流のストレスによって明瞭なチェックが形成される。この後に形成されるのが透明帯か不透明帯かを調べるということ）

7.4 電子画像を利用した年齢査定

輪紋をカウントする場合や輪紋の距離や耳石の半径を測定する場合に、電子画像がよく利用される。顕微鏡での直接観察の代わりに電子画像を利用する利点と欠点があり、どちらの方法を使うかを決定する際に次の事項を検討すべきである。

顕微鏡を使った直接検証の利点

- 耳石の輪紋の構造、密度、色合いなどの違いをよりよく見ることができる
- 焦点を変えることで3次元の構造をよりよく解釈できる
- より高い解像度
- 単純な輪紋数カウントがより早くできる（しかし測定を行う場合や、多くのハードコピーの画像が必要な場合は時間がかかる）

電子画像の利点

- 以後の検証、討議ならびに配布のための、輪紋のマーキング、カウントならびに表示が可能
- 同じ輪紋を重複して数えたり、逆に数え落としの可能性が低い（カウントしながらスクリーン上で輪紋にマーキングした場合）
- 電子的に画像を操作して、鮮明度を高め、輪紋を区別することが可能
- 距離の測定をより早く効率的に行える
- 自動的にデータが処理されることにより、転記の際のエラーの可能性を低くすることができる

自動輪紋計数

理論的には耳石輪紋数の自動カウントは、専用のソフトを利用したり、他のアプリケーションに変更を加えることで可能なはずである。しかし、現在までのところ、非常に鮮明で明確に分離した輪紋のある種にのみ、自動カウントが実施されてきている。ワークショップ参加者は、ミナミマグロの自動年齢査定は近い将来においては不可能と考えた。

8 年齢査定調査で期待される精度

8.1 精度 (precision) と正確さ (accuracy)

年齢査定の研究においては、正確さ (accuracy) とは推定年齢の実際の年齢への近似性を意味し、精度 (precision) は同じ計測者による数回の査定結果や、異なる計測者間の査定結果の差のことを指す。

年齢査定の研究の目的は、精度と正確さの両方を高めることにある。しかし、精度が低くても、査定された年齢の平均が実際の年齢を反映していれば、その年齢推

定値は有用なものとなる。問題は、年齢推定値にバイアスがあり（年齢バイアス・プロットで明らかになる場合が多い、セクション 8.2 参照）、推定値が不正確であった場合である。年齢推定値の正確さを検証するには、たとえば塩化ストロンチウムでミナミマグロの硬組織にマーキングをするなど、別の方法で絶対値を求めるしか手段はない。精度指数を使う方法は、計測者間もしくは手法間（例：耳石 vs 脊椎骨）の比較には有用な手段となりうる。この方法はさらに、「解読が難しい」サンプル、即ち、信頼性の低い年齢推定値しか得られないサンプルを確認することにも有効である。

8.2 一計測者の査定結果の差、ならびに計測者間の査定結果の差を見極めるための、精度の測定方法

いくつかの方法を用いて、一人の計測者の査定結果の差、ならびに複数の計測者の査定結果の違い（一貫性）を定量化することができる。

平均エラー率 APE (Beamish and Fournier 1981 など)

$$APE_j = 100 * \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j},$$

ここで、 X_{ij} は j 番目の魚の i 番目の年齢推定値、 X_j は j 番目の魚の査定値の平均、 R は各魚の年齢査定の回数を示す。

平均年齢から、絶対偏差ではなく、標準偏差を使用することにより、変動係数 (CV) を得ることができる (Campana *et al.* 1995)。

$$CV_j = 100 * \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j}$$

ミナミマグロの年齢査定経験の豊富な者は、一計測者による複数の査定値、ならびに複数の計測者間の査定値における精度の平均エラー率 (APE) をおよそ 3% にすることができる。平均エラー率は最高 10% までと規定することを推奨する。エラー率が 10% 以上の年齢推定値を利用する場合は、その取り扱いに注意すること。

年齢バイアス・グラフ

年齢バイアス・グラフでは、1 つの年齢推定値を他の推定値に対応する形でプロットし、同値ライン (equivalence line) から解釈する。年齢推定値 1 = 年齢推定値 2 である場合は、完璧な一致が見られたということになる。

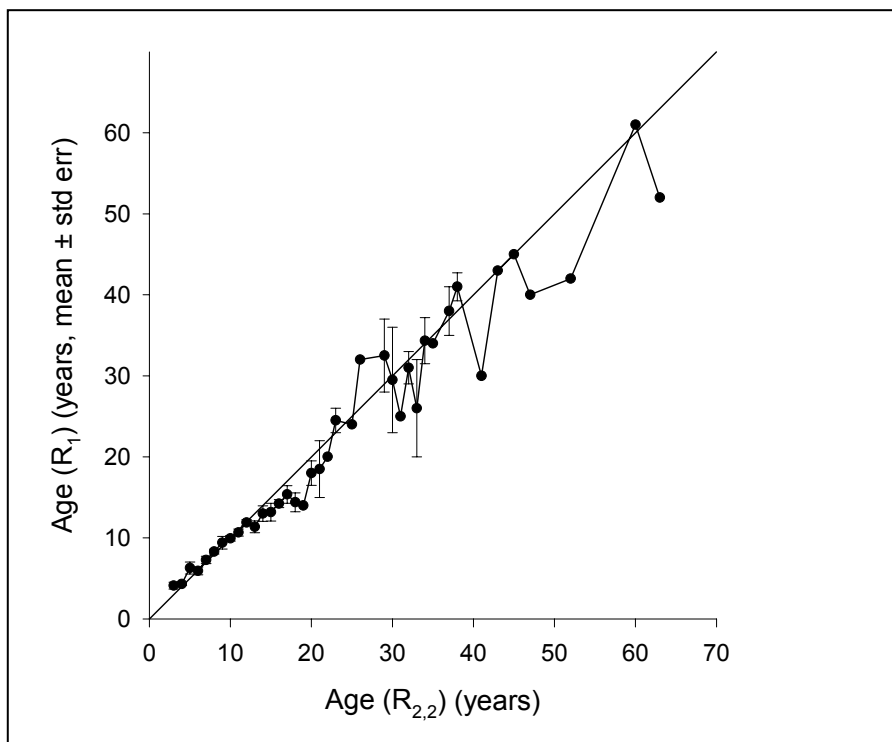


図 8.1 2 人の計測者によるハプク（学名：*Polyprion oxygeneios*）の年齢推定値の比較。対角線は年齢推定値が一致することを示す。Francis *et al.* (1999) より抜粋。

9 耳石を利用した年齢査定のプロトコール

年齢査定を行う前

- 前回の年齢査定から 1 ヶ月以上が経過した場合は、既に年齢推定値が出されている耳石 30 個ほどの読み取りを行い、感覚を取り戻す。

年齢査定において

- 耳石 1 個につき、3 回の読み取りを行う。一人がすべての読み取りを行う場合は、それぞれ 2 週間以上の間隔をあけること。
- 各読み取りにおいては、日付、計測者名、耳石の ID、さらに何度目の読み取りであるかを記録する。
- 第 1 回目と第 2 回目の読み取り時には、耳石の ID 以外の情報を計測者に知らせるべきではない。
- 第 3 回目の読み取りが最終年齢査定となる。この際には耳石の検証と共に、以前の 2 回の推定値を計測者に知らせる。
- 当マニュアルのセクション 7.1 に示されている方法で、耳石の読み取りを行う。電子画像を利用する場合は、年輪と思われる部分にマーキングを付ける。
- 当マニュアルのセクション 7.2 に示されている通り、解読性レベルを決定する。
- 年齢の推定値と解読性のレベルを記録する。査定結果に自信のない場合は、最良の推定値以外に、妥当と思われる年齢幅を記録すること。

複数の計測者の場合

- 複数の者が読み取りに関わる場合は、時間経過と同様に計数者間の輪紋解釈を一貫させて、グループによる結果として査定すること。既に年齢査定が行われた 30 個の耳石について、グループとして共同で読み取り作業を行うこと。
- 計測者グループとして最終的な年齢査定を行う。この時は各計測者の過去の推定値の情報も考慮して決定する。

別添 A. 用語集

この用語集は、ミナミマグロの耳石構造に関する混乱を減らし、年輪の読み取りを容易にすることを目的に作成されたものである。耳石の全部分の説明もしくは定義をすることは意図としておらず、計測者間のコミュニケーションの便宜を図るための用語統一を目指したものである。次の文献を参照して、用語集を作成した。

Lee DW, Prince ED, Crow ME (1982). Interpretation of growth bands on vertebrae and otoliths of Atlantic Bluefin tuna, *Thunnus thynnus*. In: Eric D. Prince and Lynn M. Pulos (editors). Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks. NOAA Technical Report. NMFS 8, P61-69.

Secor DH, Dean JM, Campana SE (1995) Recent Developments in Fish Otolith Research. The Belle W. Baruch Library in Marine Science Number 19.

Smale MJ, Watson G, Hecht T (1995) Otolith Atlas of Southern African Marine Fishes. J.L.B. Smith Institute of Ichthyology, Grahamstown, South Africa. Ichthyologic Monographs Number 1.

Summerfelt RC, Hall GE (1987) Age and Growth of Fish. IOWA State University Press.

Accuracy - The closeness of a measured or computed value to its true value.

正確さ：真の値と、測定値または算定値の近似性。

Age estimation, age determination - These terms are preferred when discussing the process of assigning ages to fish. The term aging (ageing) should not be used as it refers to time-related processes and the alteration of an organism's composition, structure, and function over time.

年齢査定、年齢決定：魚の年齢を決定するプロセスでは、age estimation, age determination などの用語を使用することが望ましい。Aging (ageing) は、時間の経過に伴うプロセスを指し、時間とともにある組織体の構成、構造、ならびに機能が変化することを意味するため、この用語は使用されるべきではない。

Age group - The cohort of fish that have a given age (e.g., the 5-year-old age-group). The term is not synonymous with year-class or day-class.

年級：年齢が指定された魚のコホート（例：5歳年級）。これは年齢クラスや日齢クラスと同意語ではない。

Antirostrum - The antero-dorsal corner or projection of the otolith.

アンチロストラム：耳石の前背角もしくは突出部。

Annulus (pl. annuli) - One of a series of concentric zones on a structure that may be interpreted in terms of age. The annulus is defined as either a continuous translucent or opaque zone that can be seen along the entire structure or as a ridge or a groove in or on the structure. In some cases, an annulus may not be continuous or obviously concentric. The optical appearance of these marks depends on the otolith structure.

年輪：同心円に並ぶ一連のゾーンの1つを指し、年齢査定に使用できる。年輪の定義は、耳石全体を通じて見られる透明帯と不透明帯、または内部や表面にある隆起と溝である。場合によっては年輪が連続的でないことや、同心円でないこともある。耳石の構造によって見え方は異なる。

Band – A sub-unit of a growth increment (See Zone)

バンド：輪紋の副単位（「ゾーン」参照）

Basi-occipital plates – The bony plates at either side of the base of the cranium situated anterior to the first vertebra and immediately lateral to the junction of the cranium and first vertebra.

基後頭骨：頭蓋骨下部の両側にある骨状のプレートで、第 1 脊椎骨の前部、頭蓋骨と第 1 脊椎骨の接続部の真横にある。

Check - A discontinuity (e.g., a stress-induced mark) in a zone, or in a pattern of opaque and translucent zones.

チェック：輪紋内の中断、もしくは不透明帯、透明帯のパターンの中断（例：ストレスで起きたマーク）。

Core - The area surrounding the primordium and bounded by the first prominent growth zone.

中心核：プリモーディウム周辺部分で明らかな第 1 成長帯までの部分。

Cranium – Skull or brain case.

頭蓋骨：頭骨または頭蓋。

Crenulation – Wave, bump or indentation on the margin (sulcal or antisulcal) of the ventral arm. May be adjacent to an opaque growth zone. Crenulations typically have a “scalloped” appearance and maybe useful annuli indicators.

波打った形状：腹面アームの縁（サルカス側もしくはアンチサルカス側）の波状または凹凸の形状。不透明帯に隣接している場合もある。この形状は多くの場合、貝殻のようになっており、年輪を示す有効な指標となり得る。

Increment - The region between similar zones on a structure used for age estimation. The term refers to a structure, but it may be qualified to refer to portions of the otolith formed over a specified time interval (e.g. sub-daily, daily or annual). Depending on the portion of the otolith considered, the dimensions, chemistry, and period of formation can vary widely. An annual increment comprises an opaque zone and a translucent zone. Increments can be complex structures, comprising multiple opaque and translucent zones.

輪紋：年齢を推定するために利用する、構造上の同様なゾーンの一帯。輪紋とは通常、構造そのものを指すが、特定の期間を通じて形成された耳石の一部分を指す場合もある（例：1 日内に形成される輪紋、日輪、年輪）。検証されている耳石の部分により、寸法、化学構成、形成時期は大きく異なる。1 年輪は、1 不透明帯と 1 透明帯から構成される。輪紋は、複数の不透明帯や透明帯から構成される複雑な構造となっている。

Inflection - Change in the direction of the growth axis.

屈折部：成長軸の方向の変化する部分。

Marginal increment - The region beyond the last identifiable zone at the margin of a structure used for age estimation. Quantitatively, this increment is usually expressed in relative terms, that is, as a fraction or proportion of the last complete annual or daily increment.

縁辺の輪紋：年齢の推定に使用される構造の縁辺の、最後に確認できる輪紋以降の一帯。定量的には、この輪紋は通常、相対的に表現される。即ち、最後の完全な年輪もしくは日輪の一部と見なされる。

Microincrement - Increments that are typically less than 50 μm in width; the prefix “micro” serves to indicate that the object denoted is of relatively small size and that it may be observed only with a microscope. Often used to describe daily and sub-daily increments. See increment.

微小輪紋：通常、幅 50 μm 以下の輪紋を指す。「微小」というからには、相対的に見て小さいサイズのものを指し、顕微鏡を使用しなければ見えない可能性が高い。多くの場合、日輪や 1 日以内に形成される輪紋を指す。「輪紋」参照。

Nucleus - Originally used to indicate the primordium and core of the otolith but is now considered ambiguous and should not be used. The preferred terms are primordium and core (see definitions).

Nucleus（核）：もともとはプリモーディウムと core（中心核）の部分を示す用語として使用されていたが、あいまいな用語なので、使用されるべきではない。Primordium もしくは core という用語が望ましい（それぞれの定義を参照）。

Opaque zone - A zone that restricts the passage of light when compared with a translucent zone. The term is relative, because a zone is determined to be opaque on the basis of the appearance of adjacent zones in the otolith (see Translucent zone). In transmitted light, the opaque zone appears dark and the translucent zone appears light. Under reflected light the opaque zone appears light and the translucent zone appears dark if viewed against a black background.

不透明帯：透明帯に比べて、光の通過が制限されているゾーン。耳石の隣接ゾーンと比較して「不透明」と称することから、相対的な意味合いを持つ用語である（「透明帯」を参照）。投射光では、不透明帯は濃い色、透明帯は明るい色で現れる。黒い背景の下での反射光では不透明帯が明るく、透明帯が暗く見える。

Postrostrum

ポスト・ロストラム：耳石における魚の腹側後方の角。

（訳者注：英語の原文では欠けていたが当マニュアルに頻繁に出てくる用語であり、ここに追加した。）

Precision - A measure of the variability between individual age estimates.

精度：個々の年齢推定値の差。

Primordium (pl. primordia) - The first-formed part of an otolith. It consists of granular or fibrillar material surrounding one or more optically dense nuclei from 0.5 μm to 1.0 μm in diameter.

核（プリモーディウム）：耳石の中で最初に形成される部分。直径 0.5 μm から 1.0 μm の 1 つまたは複数の光学濃度の濃い nucleus（核）を囲み、粒状もしくは小繊維状の物質で構成される。（訳者注：Nucleus は前記のようにあいまいな用語である。しかし和訳の分かりやすさを優先して本文書ではあえて「核」を用いた。本文書内の全ての核は primordium が原語である。）

Rostrum - The anterior extension of the otolith.

ロストラム：耳石前部の伸張部分。

Sagitta (pl. sagittae) - One of the three otolith pairs found in the membranous labyrinth of osteichthyan fishes.

偏平石：硬骨魚類の内耳の三半規管にある 3 組の耳石の内の 1 組。

Sulcus acusticus (commonly shortened to sulcus) - A groove along the medial surface of the sagitta.

サルカス・アクスティカス（略してサルカス）：偏平石の中心軸表面の溝。

Translucent zone - A zone that allows the passage of greater quantities of light than an opaque zone. The term is a relative one because a zone is determined to be translucent on the basis of the appearance of adjacent zones in the otolith (see opaque zone). Under transmitted light, the translucent zone appears light and the opaque zone appears dark. Under reflected light with a dark background, the translucent zone appears dark and the opaque zone appears light. The term hyaline has been used, but translucent is the preferred term.

透明帯：不透明帯と比較して、より多くの光を通すゾーン。耳石の隣接ゾーンと比較して「透明」と称することから、相対的な意味合いを持つ用語である（「不透明帯」参照）。投射光では、透明帯は明るい色、不透明帯は濃い色で現れる。黒い背景の下での反射光では透明帯が暗く、不透明帯が明るく見える。透明帯を指すのに、Hyaline という用語が使用されたこともあるが、translucentの方が好まれる。

Validation - The process of demonstrating that an age estimation method is accurate, i.e. confirming the temporal meaning of the structures being counted.

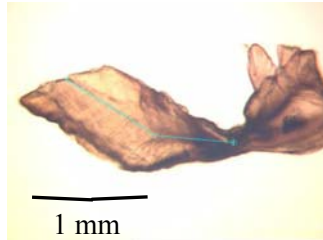
検証：年齢推定方法が正確であることを示すプロセス。即ち、カウントされる構造の時間的意味合いを確認する方法。

Zone - Region of similar structure or optical density. Synonymous with ring. The term zone is preferred. A band is a sub-unit of a zone.

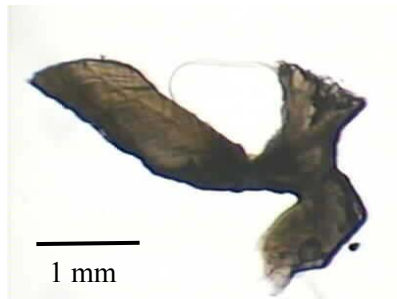
ゾーン：構造もしくは光学濃度が同様の部分。Ring と同意語だが、ゾーンの方が用語としては好まれる。バンドは、ゾーンの副単位。

別添 B. ミナミマグロ若齢魚の耳石切片の画像と最終年齢推定値

別添 B の第 1 画像は、遠洋水産研究所が提供したものである。その他の画像は、CSIRO の標本を中央年齢査定施設のカイン・クルジック・ゴラブ氏が撮影したものである。



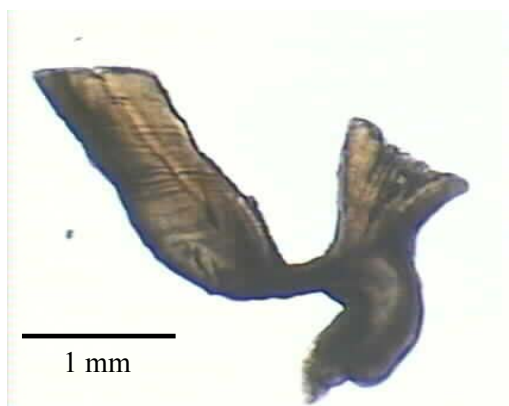
- 捕獲日：1997 年 2 月、体長 51 cm
- 体長からの推定年齢= 1 歳
- 背面アームに少量の成長が見られる
- 核から第 1 屈折部までの距離= 第 1 屈折部から縁辺までの距離



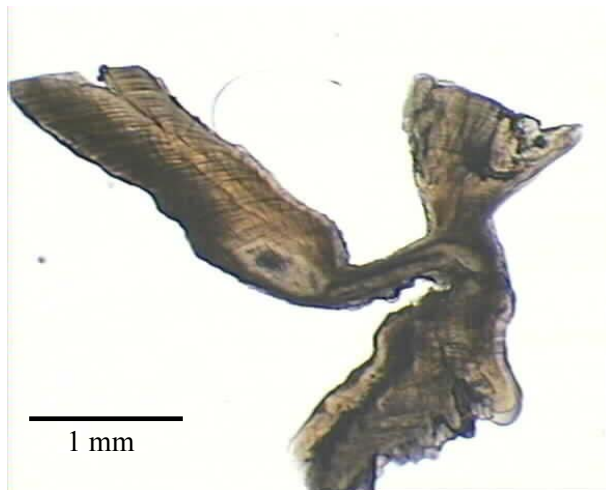
- 標識 No. OB 94、体長 87 cm
- 推定年齢= 2 歳
- 背面アームに更なる成長
- 波打った形状と年輪形成方向の変化の兆しが見られる



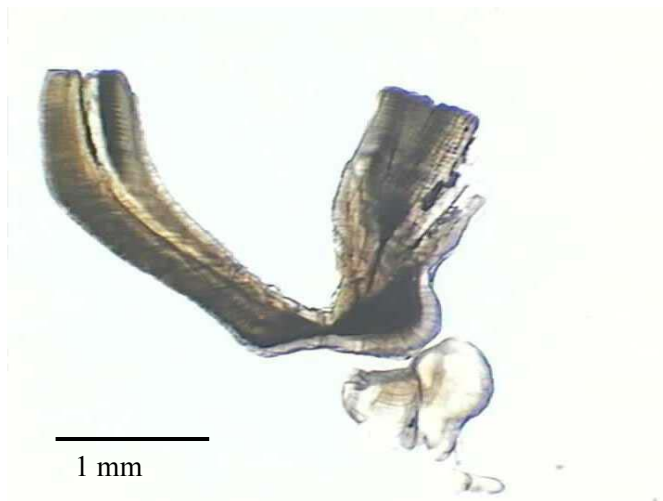
- 標識 No.139、体長 98 cm.
- 推定年齢=3 歳
- より大きな腹面アーム
- 更なる波打った形状と年輪形成方向の変化の兆しが見られる



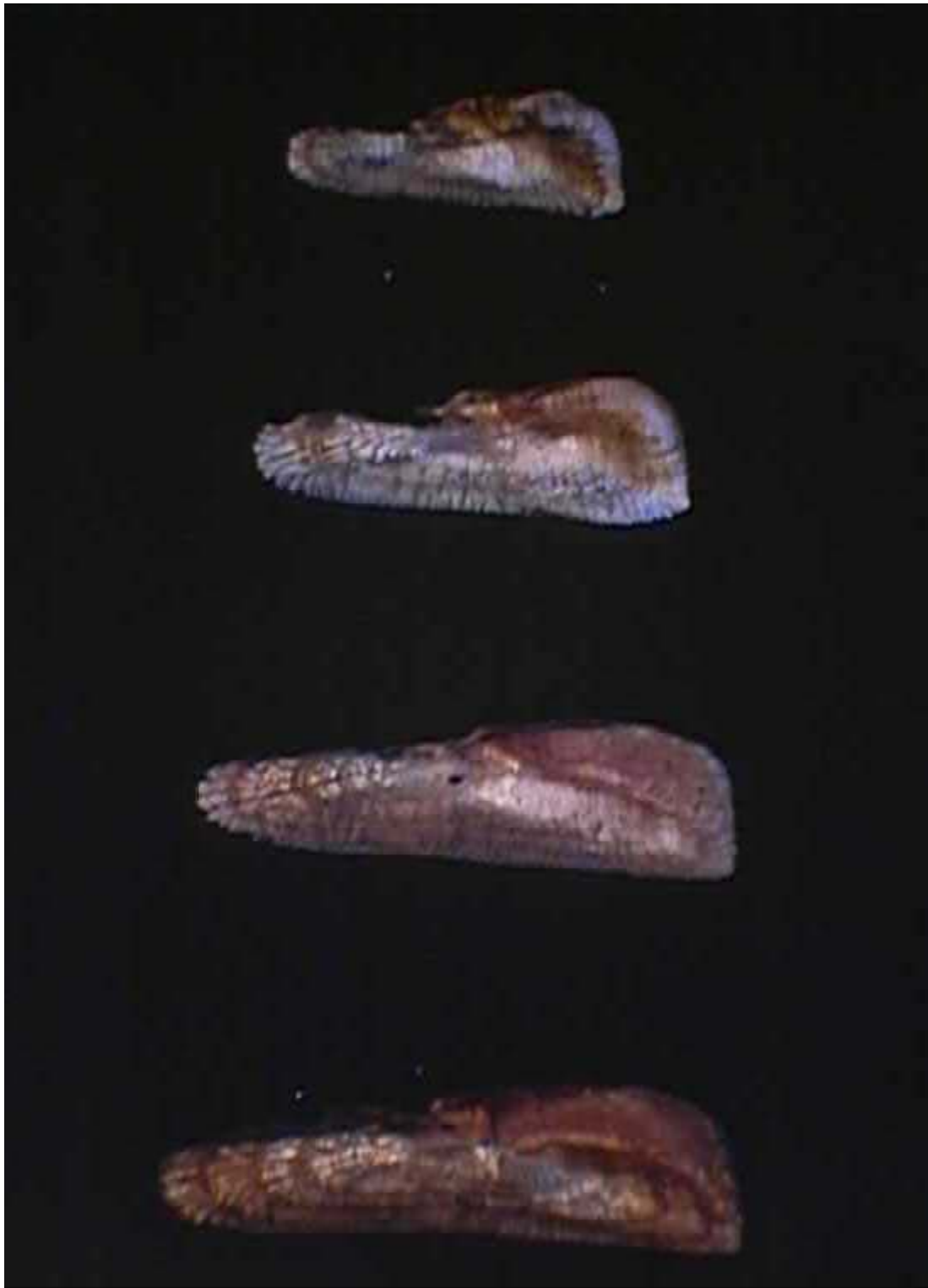
- 標識 No OB 214
- 推定年齢 = 4 歳
- 大きいほうの背面アームの年輪が明瞭である
- 腹面アームの縁辺に波打った形状が見られない
- 年輪形成に関連して、中央ラインに明瞭な分断が見られる



- 標識 No. 5773.
- 推定年齢 = 10 歳
- 腹面アームの縁辺に第 2 屈折部と腹面の溝の形成が始まっている



- 魚 No. 13108.
- 推定年齢 = 27 歳
- よく発達した腹面アーム
- 第 2 屈折部と腹面の溝がある
- 第 2 屈折部以降の外側ゾーンが明瞭に見られる



図：耳石全体を焼いたもの。透明帯が不透明帯より焼けており、これらの画像では茶色く現れている。これらの耳石の推定年齢は、上から1歳、2歳、3歳ならびに4歳である。画像は CSIRO の提供。

別添C. ワークショップ参加者リスト

議長

ジェームス・フィンドレー 農漁業林業省農村科学局漁業海洋科学部上席調査官

オーストラリア

ナオミ・クリア CSIRO 熱帯及び表層生態系計画研究員
カイン・クルジック・ゴルブ 海洋淡水資源研究所研究員

日本

辻 祥子 遠洋水産研究所浮魚資源部温帯性まぐろ研究室長
伊藤 智幸 遠洋水産研究所浮魚資源部温帯性まぐろ研究室
平井 明夫 マリノリサーチ株式会社
表 健一郎 マリノリサーチ株式会社

ニュージーランド

マルコム・フランシス 国立水圏大気研究所研究官
コリン・サトン 国立水圏大気研究所研究員

韓国

ドゥ・ハー・アン 国立漁業調査開発研究所遠洋漁業資源部上席研究官

オブザーバー

台湾

ワン・ニン・ツェング 国立台湾大学科学部動物学科
ジェイ・シャオ 国立台湾大学科学部動物学科

CCSBT 事務局

金子 守男 事務局次長

通訳

小池 久美

別添 D. 参考文献

- Beamish, R. J. and Fournier, D. A. (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. of Fish. Aquat. Sci.* 38:982-983.
- Campana S. E., Annand, M. C. and McMillan, J. I. (1995). Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 124:131-138.
- Caton, A. E. (ed.) 1991. Review of aspects of southern bluefin tuna biology, population and fisheries. In R. B. Deriso and W. H. Bayliff (eds). World meeting on stock assessment of bluefin tunas: strengths and weaknesses. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Special Report No. 7:181-350.
- Clear, N. P., Gunn, J., and Rees, A. J. (2000). Direct validation of annual increments in the otoliths of juvenile southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, by means of a large-scale mark-recapture experiment with strontium chloride. *Fishery Bulletin* 98: 25-40.
- Clear, N. P., Eveson, J.P. and Polacheck, T. (in press). Investigating the timing of annual growth zones in otoliths of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). Appendix 11. In, Polacheck, T., L., Laslett, G. M. and Eveson, J. P. An integrated analysis of growth rates of southern bluefin tuna for use in estimating catch at age in stock assessments. FRDC Final Report Project Number 99/104.
- Francis, M. P.; Mulligan, K. P.; Davies and N. M.; Beentjes, M. P. (1999). Age and growth estimates for New Zealand hapuku, *Polyprion oxygeneios*. *Fishery bulletin* 97(2): 227-242.
- Gunn, J. S., Clear, N. P., Carter, T. I., Rees, A. J., Stanley, C. A., Farley, J. H., and Kalish, J. M. (in press). The direct estimation of age and growth in SBT, *Thunnus maccoyii*, using otolith, scales and vertebrae. *Fishery Bulletin*.
- Itoh, T. and Tsuji, S. (1996). Age and growth of juvenile southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* based on otolith microstructure. *Fisheries Science* 62: 892-896.
- Jenkins, G. P. and Davis, T. L. O. (1990). Age, growth rate, and growth trajectory determined from otolith microstructure of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* larvae. *Marine Ecology Progress Series* 63: 93-104.
- Kalish, J. M., Johnston, J. M., Gunn, J. S., and Clear, N. P. (1996). Use of the bomb radiocarbon chronometer to determine age of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). *Marine Ecology Progress Series* 143: 1-8.
- Rees, A. J., Gunn, J. S. and N. P. Clear. (1996). Age determination of juvenile southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, based on scanning electron microscopy of otolith microincrements. CCSBT/SC/96/8 (Appendix). Second Meeting of the Commission for the Conservation of Southern Bluefin Tuna (CCSBT), 26 Aug-5 Sep 1996, CSIRO Marine Laboratories, Hobart, Tasmania. 122 pp.
- Thorogood, J. (1986). New technique for sampling otoliths of sashimi-grade scombrid fishes. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 115:913-914.