

北海道周辺海域におけるマダラの年齢組成 (資料)

星野 昇^{*1}, 田中伸幸², 本間隆之³, 鈴木祐太郎²

¹北海道立総合研究機構中央水産試験場, ²北海道立総合研究機構稚内水産試験場

³北海道立総合研究機構釧路水産試験場

Age compositions of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the coastal waters of Hokkaido (Note)

NOBORU HOSHINO^{*1}, NOBUYUKI TANAKA², TAKAYUKI HONMA³ and YUTARO SUZUKI²

¹ Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

² Wakkanai Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization

³ Kushiro Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization

キーワード: Age-Length Key, 耳石, 成長, 年齢, 北海道, マダラ

マダラ (Pacific cod; *Gadus macrocephalus*) は北海道周辺の海域で年間約2万トンの水揚げがある重要種である。沖合底びき網, 刺し網, はえなわ, 底建網, 釣りなど漁法も多様で, それぞれの漁業体において経営面での依存度も高い。通年漁獲があるが, 盛漁期は産卵期前後の12~2月頃であり, 主に産卵のため索餌期より浅い水深帯に集群する過程で漁獲対象となっている。

北海道立総合研究機構水産試験場 (旧北海道立水産試験場) では, 1990年代から資源評価のための漁獲物モニタリングや, 漁礁敷設事業の事前調査などで本種の生物測定を実施してきた。資源評価を行う際には, 盛漁期の漁獲物年齢・体長組成を推定し, 毎年の年齢別漁獲量を得てコホート解析などに基づいて資源動向を把握することが多い。一般に, 漁獲物年齢・体長組成は, 出荷に際して魚体や雌雄などの出荷規格別に選別・箱入れされる前の段階で無作為に標本採集するか, 規格別に選別・箱入れされた後, 各規格を標本採集しそれぞれの規格の漁獲量でひきのばしたものを合算して推定される。マダラの成魚については一個体の体長が50~100cm, 体重は数kgから10kg以上と非常に大型であるため, これを偏りなく無作為に標本採集することは実質的に不可能である。そのうえ大半の産地市場では, 魚箱に総重量が8~15kgになるよう数尾を収め, 「2尾入」等の収容尾数ごとの規格名で出荷されている。そのため, 全ての規格を一度に標本採集することは困難なうえに, 魚価も高価であるこ

とから一つの規格の標本数が少なくならざるをえず, 適切な漁獲物組成を得ることが難しい。これを踏まえ, 北海道日本海のマダラについては, 少数標本の年齢データに基づき漁獲物年齢組成を把握する簡便法が提案され (星野, 2010), 実用されてきたが, 他の海域では十分な標本数や漁獲統計が得られていないため, 漁獲物調査の標本データがあまり活用されてこなかった。しかし, 漁獲物全体の年齢・体長組成を推定することができなくとも, 漁獲物から任意に採集した標本の体長階級ごとの年齢頻度分布, いわゆるAge-Length Key (ALK) を推定することは可能である。ALKが得られると, 荷受け伝票など産地市場の漁獲統計等を用いて体長組成を把握できれば, それを年齢組成に変換することで資源評価の高度化を図ることができる。また, ALKから成長傾向の海域や年代の違いといった生態学的な考察も可能となるため, これまでの漁獲物調査で得られた標本データに基づいた海域ごとのALKを作成することの意義は大きい。

一方, 上記のような漁獲物標本組成を推定する難しさに加え, マダラ資源評価の進展を阻むもう一つの要素として, 個体の年齢決定の難しさがある。マダラの年齢は耳石 (扁平石) の横断薄片に観察される輪紋を計数する手法が広く用いられている。国内では陸奥湾産マダラについて, 桜井ら (1984) が同手法を用いた輪紋観察の有効性を示し, 服部ら (1992) が北海道や東北海域産のマダラについて, 継続サンプリング標本の耳石観察から輪

紋の年周性を確認したうえで読輪方法を提案した。マダラの資源研究を行う国内の研究機関では同手法が用いられている(成松ら, 2017)。服部ら(1992)の方法は、耳石の横断薄片を厚さ0.2~0.5mmに研磨処理し、肥厚方向(体幅方向)に刻まれる規則的な輪紋を計数する。北海道水産試験場によるマダラの資源評価(田中伸幸 <http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/>(2017)) (2017年6月9日)においても基本的には同法に準じ年齢を決定してきた。しかし、北海道では、日本海、オホーツク海、太平洋のそれぞれに耳石の形成パターンが大きく異なるうえに、服部ら(1992)が示した輪紋は高齢になるほど外縁部が不明瞭で、細かい輪紋(偽輪)と見分けられない場合が多かった。

そこで本資料は、これまで北海道周辺の海域における各種調査により得られたマダラの耳石断面標本から、服部ら(1992)の方法と耳石の伸長方向に形成される輪紋パターンの観察を併用することにより、これらマダラの年齢を決定した。この年齢と生物測定データを用いて体長-年齢関係(ALK)を作成するとともに、体成長に関する情報を海域、年代ごとに整理して、今後の北海道におけるマダラ資源評価の発展に資することを目的とした。

試料及び方法

漁獲物標本データ 本資料で取り扱ったマダラ標本は、水産庁受託事業「我が国周辺水域の漁業資源評価」、北海道資源管理協議会受託事業「北海道資源総合対策事業(前進事業を含む)」, その他、北海道庁による漁礁設置事業に関わる事前調査等に基づき、対象の漁業により採集された。十分なデータ数のある海域を5海域にまとめ(図1)、それぞれの海域で得られたデータは水揚げ港や漁法によらず同一の資源が対象となっているとみなした。各海域の主漁場や主な漁業は表1のとおりである。対象となるデータが存在している年度は海域により異なり、「後志南部」については継続的な調査を実施していないため、1992~1994年度と2006年度の2年代分で、それ以外の海域は2000年度前後から2015年度までである。資料



図1 マダラ漁獲物が採集された海域の区分

にとりまとめたデータは、体長と年齢との関係を海域や年代間で対比するときには同時期に得られたものである必要があるため、いずれも11月から3月までの盛漁期(産卵期)において漁獲されたものに限定した。この期間中の成長変化は成長の停滞する冬季(産卵期)であるため無視できるものとみなした。本資料における西暦の表記は4月1日を切り替え日とする年度表記とした。

年齢決定 年齢の表記は、本稿で扱ったデータをすべて産卵期とその前後期のものに限定したことから、満年齢とした。例えば「5歳」の表記は、産出・ふ化からおよそ5年間が経過した個体を指している。

耳石(偏平石)の薄片標本は、耳石中心を短軸方向に薄く切り出し、スライドガラスに接着後、厚さ0.2~0.5mm程度に研磨して作成した。実体顕微鏡による暗視野下で、シャーレに水を入れスライドガラスを浸漬した状態で倍率を適宜変えながら観察した。年齢は、服部ら(1992)の方法で年周性が確認された肥厚方向の輪紋と、それに対応している伸長方向の輪紋形成パターンの計数により決定した。道西日本海において幼魚期からの追跡サンプリングで得られた2014年級群について、2015年4月に採集された満1歳を経過した個体の耳石薄片標本を例にみると(図2-a)、図中の丸印で示した箇所には明瞭な透明帯が観察される。この丸印と中心の間には細かい輪紋が複数形成されており、個体や海域によっては比較的太い透明帯が観察される場合もある(図2-aの三角印)。こ

表1 マダラの生物測定データの概要

海域名称	主な漁場	主な漁業	対象期間(年度)	標本数	尾叉長(mm)			平均体重(g)
					平均値	最小値	最大値	
釧路沖	釧路市~厚岸町沖合	沖合底びき網	1996~2015	989	556.7	269	1,110	2,525
網走沖	北見大和堆南縁	沖合底びき網	2000~2015	1,409	536.9	298	880	2,086
道北日本海	稚内市, 礼文島沖~武蔵堆	沖合底びき網・刺し網	1999~2015	1,062	614.0	285	1,095	3,126
道西日本海	雄冬岬沖	沖合底びき網・刺し網	1998~2015	1,178	684.7	282	1,045	4,385
後志南部沖	島牧村沖	刺し網・底建網	1992~1994, 2006	186	721.6	351	1,079	4,022

これらの輪紋は、1歳輪（丸印）までの距離が相対的に短いことから読輪しないとされる（服部ら，1992）。この年級群がほぼ2歳となる2015年12月に採集された個体の耳石薄片標本（図2-b）では、満1歳時と比べ両端が顕著に伸長し外縁に透明帯が形成されている（図中の矢印）。個体や海域によっては、これら矢印までの伸長がさほど大きくなく3歳輪にかけ大きく伸長している場合もある。以上の2歳輪までの読輪ポイントは服部ら（1992）と同様であるが、服部ら（1992）が3歳以降の読輪ポイントを耳石肥厚方向（図2に向かって上側）に規則的に形成される透明帯を示しているのに対し、本資料で用いた薄片標本では、とくに高齢魚において観察が困難であった。そこで、本資料における3歳以上の読輪は、図2-cに矢印で示すとおり、図に向かって右方向に細かい輪紋が不透明帯を形成した後、輪紋の配列方向が変化して透明帯を形成していく一連のパターンを観察することで、透明帯の位置を見定めることとした。これにより観察される透明帯は服部ら（1992）が示す肥厚方向の輪紋と対応していることから、これを3歳以上の読輪方法とした。

マダラの体長については、一般的には被鱗体長を計測するが多いが、北海道水産試験場では、マダラの被

鱗体長は尾柄部付近の後端位置を定義しにくいいため、業務を担当する職員の変更などにより人為的な測定バイアスが生じる可能性を考慮して、尾叉長（mm）を計測している場合が多く、本資料における体長には尾叉長を用いた。一方、尾叉長ではなく被鱗体長や全長データのみのも年もあり、また、本資料での結果を道外の被鱗体長計測に基づく知見と対比することを想定して、尾叉長に対する被鱗体長および全長との関係を、それらすべての項目を計った標本のデータに基づき、それぞれ次式により推定して用いた。

$$\text{尾叉長 (mm)} = 1.07 \times \text{被鱗体長 (mm)} + 3.72$$

$$\text{尾叉長 (mm)} = 0.98 \times \text{全長 (mm)} + 1.29$$

ALKの体長階級幅は5cmと定めた。性別は生殖腺の外観観察に基づいて決定した。以降、本資料では尾叉長を単に「体長」と称する。

雌雄間で成長や寿命に差がある場合、それがALK全体に及ぼす影響が大きくなるため、各階級の雌雄比を比較した。

漁獲物の各年齢と体長との関係を検討した。ひとつの年齢の体長範囲は複数の出荷規格にまたがっているため、その体長平均値は、標本採集時に出荷が多く標本購入し易かった規格の体長範囲に偏っている可能性がある。そのバイアスを軽減させるため、各年・各年齢に対する体長の代表値には、平均値ではなく中央値（median）を用いた。

結果

本資料で対象としたマダラ標本の年齢は、最も若い個体は1歳で、10歳以上と判断された個体が23個体あった。すべての期間を通じた体長階級に対する年齢頻度分布（ALK）について、標本数の多い主要な漁獲サイズである尾叉長400mm台から700mm台の年齢は、主に3～7歳で構成されていた（図3）。標本採集数の少ない400mm未満のサイズでは2歳が多くを占めており、海域や年代によっては400mm未満の漁獲量が相対的に多い場合があることをふまえると、漁獲物の年齢としては2～7歳が中心といえる。8歳以上の高齢魚は概ね700mm台より大きいサイズにみられた。

ALKは海域ごとに特徴があった。釧路沖、網走沖、道西日本海のALKは比較的類似していたが、道北日本海のALKは同じ体長階級で比較した場合、これらの海域よりも高齢魚の割合が高く、前者で7歳以上が大半を占めたのは800mm台より大型であったのに対し、道北日本海では650mm台からであった。後志南部海域は最も高齢に偏った組成となっており、500mm台以上で50%

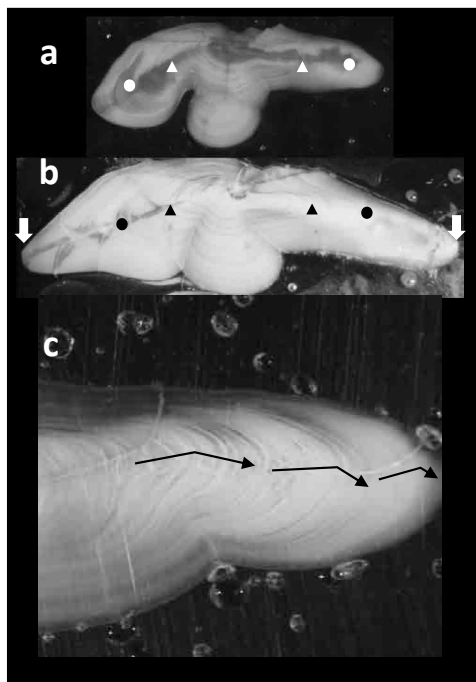


図2 マダラの耳石横断薄片
図中の丸印は1歳時の透明帯の位置、三角印は読輪しない透明帯の位置、矢線は3歳期以降の輪紋の形成パターンを示している。

a:1歳（2015年4月道西日本海、体長203mm）

b:2歳（2015年12月道西日本海、体長326mm）

c:5歳（2015年12月道西日本海、体長585mm）

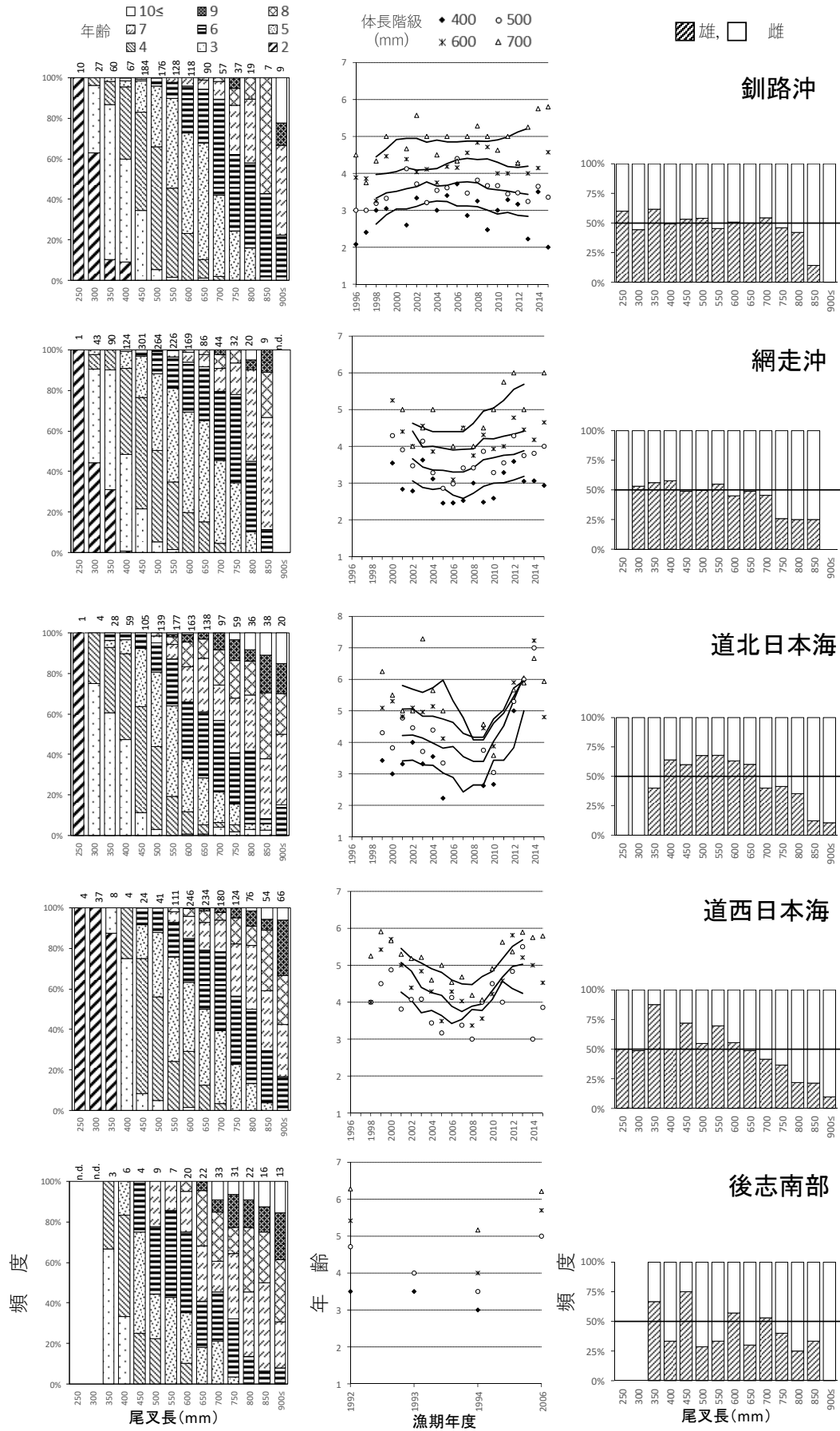


図3 北海道周辺海域におけるマダラ漁獲物の体長, 年齢, および雌雄比. 左列: 体長-年齢関係 (Age-Length Key). 中央列: 体長階級 (400, 500, 600, 700mm台) ごとの平均年齢 (点) とその5年移動平均 (線) の推移. 右列: 体長階級ごとの雌雄比. なお, 左列各図の上部の数値は標本数, n.d.は標本数がないことを示す.

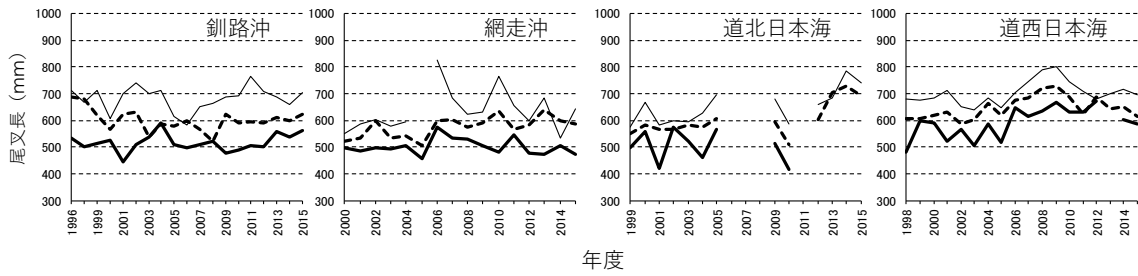


図4 主要な年齢群の体長範囲における中央値の年変化
太線：3歳，破線：4歳，細線：5歳

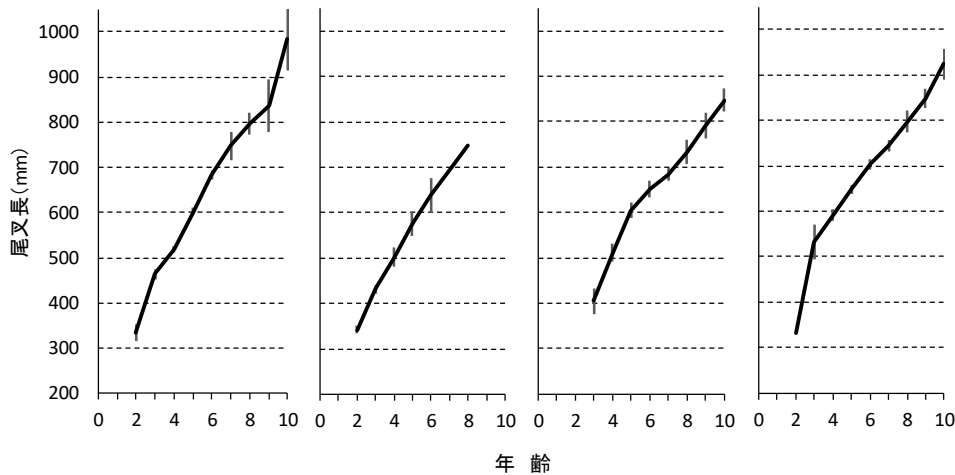


図5 各海域の漁獲物の成長傾向（縦線は平均値の標準誤差）

前後が6歳以上と、マダラ成魚としては中～小型の個体についても比較的高齢であることが多かった。

釧路沖では2000年代半ばにかけて400mm台から順に緩やかに平均年齢が高くなる傾向がみられ、2000年代半ば以降は700mm台を除き平均年齢が低くなる傾向があった（図3）。網走沖、道西日本海の2000年以降の変動傾向は似ており、釧路沖とは反対に、2000年代半ばにかけて平均年齢が低下し、それ以降は急激に高くなる傾向がみられた。道北日本海については平均年齢が低下から増加に転じた2000年代後半の標本データがないため、推移の詳細な特徴はわからないが、道西日本海と同様に2012年に顕著に各階級の高齢化がみられた。

各階級の雌雄比は、700mm前後までは、標本数の少ない階級でばらつきはあるものの概ね1対1であった。ただし、道北日本海では400～600mmで雄の割合がやや高い傾向があった。700mm以上ではいずれの海域でも雌の割合が高くなる傾向があった。

年齢ごとの体長中央値の経年変化からは、いずれの海域も傾向的な変化は見られなかった（図4）。海域ごとに各年の体長中央値を平均して年齢に対する体長の変化を

みると、網走沖と道北日本海の違いは小さく、それらに比べ道西日本海では3歳時点での体長は大きい、その後の成長量は小さかった。釧路沖では5歳以上でも成長はほとんど鈍化していなかった（図5）。

考 察

資料活用に際しての留意点 マダラの耳石断面の観察による年齢決定が難しいことは広く認識されており、ある程度の確度で年齢を決定するためには相当の熟練や経験を要し、北海道水試が研究対象とする主要資源のなかでは最も年齢決定の難しい種の一つであると考えられる。アラスカ産の太平洋マダラでは、耳石に蓄積された酸素安定同位体分析により得られた“正解”の年齢と薄片断面の観察によって決定した年齢の合致率は約61%であり、1齢分を過大もしくは過小に判断していた個体が多かった（Kastelle et al, 2017）。そのため、本資料にとりまとめた年齢情報にもある程度の誤差が伴っていると考えられる。今後、Kastelle et al. (2017)と同様の耳石成分分析に基づく方法や、標識放流により経過年数が既知の個体

の輪紋パターンを分析するなど、別の年齢決定方法を併用していくと、年齢情報の確度をより高めていくことが可能である。

本資料では定法に基づいて暗視野下で耳石薄片を観察したが、これを明視野下（プレパラート下側からの透過光）で観察すると、不透明帯と透明帯とのコントラストが鮮明になり、服部ら（1992）が示した耳石肥厚方向に形成される年輪も比較的明瞭に観察できる。一方で、不規則な細かい輪紋まで観察されるようになるため、観察に不慣れな場合は輪紋を過大に計数する可能性もある。複数名による読輪結果や同一個体に対する両方法での読輪結果を対比することで、結果の再現性が高い観察方法を吟味していく必要がある。

本資料に示したALKや体成長の特徴を解釈する際に、漁獲物標本の採集方法に伴うバイアスを考慮する必要がある。用いた標本の中で最も若い年齢は2歳であったが、各海域では1歳魚を含むさらに小型の漁獲物が水揚げされることがあり、これを標本採集していないことが多いことから、2歳の体長組成や平均値は、標本採集できた小さい出荷規格の体長範囲に偏った値となっている可能性がある。そのため、2歳期までの成長傾向を論じるには、調査船によるトロール調査でサイズ無選択に採集された標本の体長組成を分析するなど、新たな情報を補完する必要がある。また、大型魚の雌雄比が雌に偏る傾向が各海域でみられたが、これには、「1尾入」など大型個体では雌雄別に規格化されたものが多く、雄より市場価値の低い雌の方が標本購入しやすいといった標本抽出のバイアスが生じている可能性がある。そのため、700mmより大型の個体の雌雄比については、各産地の荷受け資料などから雌雄別の漁獲尾数を把握し改めて分析する必要がある。

今後の研究展望について 北海道周辺で漁獲されるマダラのALKは、海域間、年代間で様でないこと、日本海およびオホーツク海と、道東太平洋海域とでは、いずれも2000年代半ばを境に相反する傾向で変化したことが示された。これら各海域のALK数値を、今後の資源評価や研究展開に資する情報として、2005年以前と2006以降について、また、年齢に対する平均尾叉長（図5）の数値を、付表1, 2にそれぞれ記す。

各海域のALKは年代で大きく異なった。ALKが年代で変化する要因としては、個体の成長傾向が年代で変化する、年級群豊度が年代で変化する、他海域との大規模な移出入などが挙げられる。各海域ともに年齢と体長中央値との関係に傾向的な年変化は認められなかったことから（図4）、成長傾向の年代変化は大きくないと考えられる。一方、釧路沖では各体長階級の平均年齢が2000年

代半ばから低下傾向になっていたが（図3）、同海域では2000年代半ば以降に漁獲量が著しく増加した。これらの状況から、年級群豊度（新規加入量）が増加傾向となったことで、資源の年齢構成が相対的に若齢魚に偏り、小さい体長階級の平均年齢が低下傾向となって、それが年を経るごとにより大きい階級での変化傾向として伝搬していった可能性がある。網走沖、道北日本海、道西日本海の平均年齢は、2000年代半ばに低下し、それ以降は顕著に高齢化していた。日本海では、2005年級群が高豊度で発生したものの、後続年級の豊度は低調で推移したことがわかっており（田中伸幸<http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/>（2017））（2017年6月9日）、このような年齢構成の変化がALKに反映されたと考えられる。また、道北・道西日本海における2012年頃の平均年齢の上昇は、上記のような年齢構成の変化では説明できない急激な変化であるため、他海域との移出入を考慮する必要がある。これについては、後志南部海域のALKが他海域より著しく高齢に偏っていることから、後志南部海域に分布する資源がこの時期に突発的に道西・道北日本海に分布を移した可能性を指摘できる。後志南部海域における漁獲物の年齢組成情報は2年代分しか得られていないため、今後は同海域での情報の充実を図る必要がある。以上のことから、ALKを資源評価に際し年齢別漁獲尾数の算定等に活用する場合には、体長階級に対する年齢構成比が年代によって大きく変化することを踏まえて、できるだけ年・年代ごとのALK情報に基づき体長組成を分解することが望ましいと考えられる。

年齢と漁獲物体長との関係には海域間で違いが認められ、とくに道西日本海は3歳にかけての成長量が他海域より大きく、5歳以降では釧路沖の漁獲物の成長量が大きかった。道北日本海では2歳の体長推定値が得られなかったが、主漁場である武蔵堆周辺で採集された標本に対し、服部ら（1992）、三宅・中山（1991）が年齢・成長関係を報告している。服部ら（1992）は武蔵堆の満2歳時の平均体長を約300mmと記しており、尾叉長では300mm台前半に相当する。三宅・中山（1991）は、冬季のはえなわ漁業による漁獲物体長組成の混合正規分解により、最も小さい体長モードを標準体長34.5cm（尾叉長300mm台後半）としていることから、この値が満2歳に対応しているとみられる。

北海道周辺のマダラ仔稚幼魚の成長生態に関する研究事例はないため、幼魚期の成長傾向や、成長に影響する餌生物の条件などの詳細は不明であるが、陸奥湾産のマダラ仔稚魚は*Pseudocaranus*や*Oithona*のノープリウスを摂食し70mm以上からヨコエビや魚類にシフトし成長し

ていくことが明らかとなっており (Takatsu et al, 1995), 北海道においても若齢期はこれと同様の生活史を送ると考えられる。また, 飼育実験によりマダラ稚幼魚の成長におよぼす水温の影響を調べた事例では, 水温10℃台前半までは水温が高いほど代謝と摂食行動が活発となり成長速度が大きくなるが, それ以上の水温では斃死やストレスを受ける個体が増えるため, 概ね8℃台が成長と生残のバランスの観点で最適水温帯であることが報告されている (Hurst, 2010; Park and Kim, 2016)。マダラは北海道周辺の漁獲状況から若齢期は大陸棚以浅に分布するとみられるが, 道西日本海は対馬暖流の影響でオホーツク海 (網走沖) や太平洋 (釧路沖) より, 陸棚以浅の年間水温推移が高い (気象庁: http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index_subt.html (2017)) (2017年6月9日)。また, 太平洋北東岸 (カナダからアラスカ沖) のマダラでは, 低緯度海域の資源が高緯度海域に比べて若齢期の成長・成熟が早く, 成長の鈍化も早いことが明らかになっている (Ormseth and Norcross, 2009)。同属の大西洋マダラでも同様の傾向があり, 生息水温の違いが原因とされているが (例えば Brander, 1994), Ormseth and Norcross (2009) は, 水温の直接作用よりは成長できる季節の長短の違いが大きいと指摘している。これらのことから, 北海道周辺のマダラにおいても若齢期の体成長に生息水温等が影響し, 成長量に海域差をもたらしている可能性がある。

釧路沖の5歳以上の成長量が他海域より大きい傾向があった。マダラは魚食性であるため, 大型になるほど体成長には生息海域での餌生物量が豊富であることが必要条件になると考えられる。これまでの漁獲物調査で胃中からは, スケトウダラ, ホッコクアカエビ, ニシンなど底生生物が確認されている。なかでも出現頻度の高いスケトウダラ (Yamamura, et al, 1993) の資源量は, 本資料の対象期間である1990年代後半以降, 太平洋では100万トン前後で安定して推移しているのに対し (船本ら, 2017), 日本海では1990年代に約50万トンから急減し2015年度には10万トン以下と推定されている (山下ら, 2017)。釧路沖の漁獲物に認められた5歳以降の大きな成長は, スケトウダラを初めとした主要餌種の生物量に起因しているかもしれない。

以上のように, 漁獲物の成長傾向にみられた特徴と背景について研究を展開していくことは, 本種の生態への理解を深化させるうえで大きな意義があろう。若齢期に形成された耳石輪紋パターンの比較検討や水温分布の経年値との対応分析, 本資料で示した海域以外で漁獲量の多い, 根室海峡海域や道南太平洋での漁獲物の成長特性を把握して, さらに東北太平洋・本州日本海海域の傾

向と比較するなど, 周辺海域全体での検討を進めていくことが重要である。

謝 辞

本資料にとりまとめたマダラの生物測定データを長年にわたり継続収集してきた, 北海道水産試験場の歴代担当職員の労に敬意と謝意を表します。また, 本稿のとりまとめにあたり, 査読者および編集者には多くのアドバイスをいただきましたことを重ねて感謝します。

沖合底びき網の漁獲物の多くは, 水産庁委託事業「我が国周辺水域漁業資源調査」の契約に基づき購入したものである。

引用文献

- Brander KM. Patterns of distribution, spawning, and growth in North Atlantic cod: the utility of inter-regional comparisons *ICES mar. Sei. Symp.* 1994; 198: 406-413.
- 船本鉄一郎, 千村昌之, 山下夕帆, 田中寛繁, 石野光弘. 平成28 (2016) 年度スケトウダラ太平洋北部系群の資源評価. 平成28年度我が国周辺水域の漁業資源評価第1分冊. 水産庁増殖推進部・国立研究開発法人水産研究・教育機構, 東京. 2017; 407-453.
- 服部 努, 桜井泰憲, 島崎健二. マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式. *日水誌* 1992; 58(7): 1203-1210.
- 星野 昇. 北海道日本海産マダラにおける漁獲物年齢組成の推定方法. *北水試研報* 2010; 77: 35-44.
- Hurst TP, Laurel BJ, Ciannelli L. Ontogenetic patterns and temperature-dependent growth rates in early life stages of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). *Fish. Bull.* 2010; 108: 382-392.
- Kastelle CR, Helser TE, McKay JL, Johnston CG, Anderl DM, Matta ME, Nichol DG. Age validation of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) using high-resolution stable oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) chronologies in otoliths. *Fish. Res.* 2017; 185: 43-53.
- 三宅博哉・中山信之. 日本海武蔵堆海域のマダラの年齢と成長. *北水試研報* 1991; 37: 7-25.
- 成松庸二, 服部 努, 鈴木勇人, 柴田泰宙, 永尾次郎. 平成28 (2016) 年度マダラ太平洋北部系群の資源評価. 平成28年度我が国周辺水域の漁業資源評価第2分冊. 水産庁増殖推進部・国立研究開発法人水産研究・教育機構, 東京. 2017; 958-985.
- Ormseth OA, Norcross BL. Causes and consequences of

- life-history variation in North American stocks of Pacific cod. *ICES J. Mar. Sci.* 2009; 66: 349-357.
- Park J, Kim PK. The effect of water temperature on growth performance and hematology of Pacific cod *Gadus macrocephalus* reared in land-based culture tanks. *Fish. Sci.* 2016; 82(6): 953-960.
- 桜井泰憲, 福田慎作. 陸奥湾に来遊するマダラの年齢と成長. 青森水増セ研報 1984; 3: 9-14.
- Takatsu T, Nakatani T, Mutoh T, Takahashi T. Feeding habits of Pacific cod larvae and juveniles in Mutsu Bay, Japan. *Fish. Sci.* 1995; 61: 415-422.
- 山下夕帆, 田中寛繁, 千村昌之, 石野光弘. 平成28(2016)年度スケトウダラ太平洋北部系群の資源評価. 平成28年度我が国周辺水域の漁業資源評価第1分冊. 水産庁増殖推進部・国立研究開発法人水産研究・教育機構, 東京. 2017; 299-362.
- Yamamura O, Watanabe K, Shimazaki K. Feeding habits of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, off eastern Hokkaido, north Japan. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 1993; 6: 44-54.

付表1 北海道周辺主要海域におけるマダラの体長階級ごとの年齢割合

釧路沖 (全期間)								(~2005年度)								(2006~2015年度)							
尾叉長 (mm)	満年齢							尾叉長 (mm)	満年齢							尾叉長 (mm)	満年齢						
	2	3	4	5	6	7	8S		2	3	4	5	6	7	8S		2	3	4	5	6	7	8S
250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
300-350	0.630	0.333	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.630	0.333	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
350-400	0.100	0.767	0.117	0.017	0.000	0.000	0.000	0.102	0.763	0.119	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
400-450	0.090	0.507	0.358	0.030	0.015	0.000	0.000	0.097	0.516	0.339	0.032	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.600	0.000	0.000	0.000	
450-500	0.000	0.342	0.489	0.152	0.011	0.005	0.000	0.000	0.432	0.421	0.126	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.247	0.562	0.180	0.000	0.011	
500-550	0.000	0.051	0.608	0.301	0.040	0.000	0.000	0.000	0.065	0.674	0.239	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.536	0.369	0.060	0.000	
550-600	0.000	0.016	0.438	0.445	0.078	0.023	0.000	0.000	0.033	0.443	0.475	0.033	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.433	0.418	0.119	0.030	
600-650	0.000	0.000	0.229	0.500	0.229	0.042	0.000	0.000	0.000	0.267	0.450	0.250	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.190	0.552	0.207	0.052	
650-700	0.000	0.011	0.089	0.578	0.267	0.044	0.011	0.000	0.022	0.130	0.652	0.174	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.500	0.364	0.068	
700-750	0.000	0.000	0.018	0.404	0.474	0.088	0.018	0.000	0.000	0.038	0.423	0.538	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.387	0.419	0.161	
750-800	0.000	0.000	0.000	0.243	0.378	0.243	0.135	0.000	0.000	0.000	0.286	0.429	0.143	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.217	0.348	0.304	0.130	
800-850	0.000	0.000	0.000	0.158	0.421	0.316	0.105	0.000	0.000	0.000	0.214	0.429	0.214	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.600	0.000	
850-900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.429	0.000	0.571	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.000	0.667	
900-950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.222	0.444	0.333	0.000	0.000	0.000	0.286	0.429	0.286	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000	

網走沖 (全期間)								(~2005年度)								(2006~2015年度)							
尾叉長 (mm)	満年齢							尾叉長 (mm)	満年齢							尾叉長 (mm)	満年齢						
	2	3	4	5	6	7	8S		2	3	4	5	6	7	8S		2	3	4	5	6	7	8S
250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
300-350	0.442	0.465	0.070	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.475	0.475	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	
350-400	0.311	0.589	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.455	0.455	0.000	0.000	0.000	0.000	0.342	0.608	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000		
400-450	0.008	0.476	0.427	0.081	0.008	0.000	0.000	0.000	0.370	0.543	0.065	0.022	0.000	0.000	0.013	0.538	0.359	0.090	0.000	0.000	0.000		
450-500	0.000	0.216	0.548	0.206	0.030	0.000	0.000	0.000	0.188	0.550	0.228	0.034	0.000	0.000	0.000	0.243	0.546	0.184	0.026	0.000	0.000		
500-550	0.000	0.053	0.451	0.379	0.110	0.004	0.004	0.000	0.027	0.381	0.449	0.129	0.007	0.007	0.000	0.085	0.538	0.291	0.085	0.000	0.000		
550-600	0.000	0.013	0.336	0.460	0.155	0.031	0.004	0.000	0.000	0.270	0.440	0.240	0.040	0.010	0.000	0.024	0.389	0.476	0.087	0.024	0.000		
600-650	0.000	0.000	0.195	0.497	0.249	0.047	0.012	0.000	0.000	0.158	0.447	0.316	0.053	0.026	0.000	0.000	0.206	0.511	0.229	0.046	0.008		
650-700	0.000	0.000	0.151	0.500	0.267	0.058	0.023	0.000	0.000	0.000	0.769	0.154	0.000	0.077	0.000	0.000	0.178	0.452	0.288	0.068	0.014		
700-750	0.000	0.000	0.045	0.409	0.341	0.114	0.091	0.000	0.000	0.000	0.333	0.500	0.167	0.000	0.000	0.000	0.053	0.421	0.316	0.105	0.105		
750-800	0.000	0.000	0.000	0.344	0.438	0.156	0.063	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.467	0.167	0.067		
800-850	0.000	0.000	0.000	0.100	0.350	0.450	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.350	0.450	0.100	0.100		
850-900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.556	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	0.000	0.000	0.000	0.000	0.167	0.667	0.167	0.167	
900-950																							

道北日本海 (全期間)								(~2005年度)								(2006~2015年度)							
尾叉長 (mm)	満年齢							尾叉長 (mm)	満年齢							尾叉長 (mm)	満年齢						
	2	3	4	5	6	7	8S		2	3	4	5	6	7	8S		2	3	4	5	6	7	8S
250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
300-350	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
350-400	0.000	0.607	0.321	0.036	0.036	0.000	0.000	0.438	0.438	0.063	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000	0.833	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000		
400-450	0.000	0.475	0.424	0.068	0.034	0.000	0.000	0.325	0.525	0.100	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.789	0.211	0.000	0.000	0.000	0.000		
450-500	0.000	0.114	0.524	0.286	0.076	0.000	0.000	0.098	0.512	0.305	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.174	0.565	0.217	0.043	0.000		
500-550	0.000	0.029	0.410	0.367	0.144	0.036	0.014	0.010	0.353	0.402	0.176	0.039	0.020	0.000	0.000	0.081	0.568	0.270	0.054	0.027	0.000		
550-600	0.000	0.000	0.192	0.446	0.232	0.073	0.056	0.000	0.000	0.225	0.442	0.246	0.065	0.007	0.014	0.000	0.000	0.077	0.462	0.179	0.103		
600-650	0.000	0.006	0.111	0.259	0.284	0.173	0.167	0.000	0.151	0.264	0.321	0.189	0.066	0.009	0.000	0.018	0.036	0.250	0.214	0.143	0.339		
650-700	0.000	0.007	0.043	0.232	0.326	0.268	0.123	0.000	0.038	0.228	0.392	0.291	0.025	0.025	0.000	0.017	0.051	0.237	0.237	0.237	0.220		
700-750	0.000	0.041	0.021	0.155	0.351	0.175	0.258	0.000	0.023	0.186	0.349	0.209	0.209	0.023	0.000	0.074	0.019	0.130	0.352	0.148	0.278		
750-800	0.000	0.017	0.034	0.102	0.254	0.271	0.322	0.000	0.000	0.045	0.318	0.227	0.227	0.182	0.000	0.027	0.054	0.135	0.216	0.297	0.270		
800-850	0.000	0.028	0.000	0.028	0.361	0.278	0.306	0.000	0.000	0.000	0.300	0.250	0.200	0.250	0.000	0.063	0.000	0.063	0.438	0.313	0.125		
850-900	0.000	0.027	0.000	0.027	0.027	0.297	0.622	0.000	0.000	0.000	0.000	0.296	0.296	0.407	0.000	0.091	0.000	0.091	0.091	0.273	0.455		
900-950	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	0.350	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.286	0.143	0.571	0.000	0.000	0.000	0.000	0.231	0.385	0.385		

道西日本海 (全期間)								(~2005年度)								(2006~2015年度)							
尾叉長 (mm)	満年齢							尾叉長 (mm)	満年齢							尾叉長 (mm)	満年齢						
	2	3	4	5	6	7	8S		2	3	4	5	6	7	8S		2	3	4	5	6	7	8S
250-300	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
300-350	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
350-400	0.875	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
400-450	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.750	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
450-500	0.000	0.083	0.667	0.167	0.083	0.000	0.000	0.083	0.667	0.167	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.667	0.000	0.000	0.000		
500-550	0.000	0.049	0.512	0.317	0.122	0.000	0.000	0.026	0.500	0.342	0.132	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.211	0.553	0.184	0.053		
550-600	0.000	0.000																					

付表2 北海道周辺主要海域におけるマダラ漁獲物の年齢別平均体長 (mm)

海域	年齢									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10≤	
釧路沖	334	463	518	602	683	748	798	836	984	
網走沖	343	431	503	576	638	695	747			
道北日本海		405	511	605	652	683	733	791	847	
道西日本海	331	531	592	648	704	744	798	849	924	