



Title	マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式
Author(s)	服部, 努; 桜井, 泰憲; 島崎, 健二
Citation	日本水産学会誌, 58(7), 1203-1210 https://doi.org/10.2331/suisan.58.1203
Issue Date	1992
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/35537
Rights	© 1992 公益社団法人日本水産学会
Type	journal article
File Information	58_1203.pdf



マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式

服部 努, 桜井泰憲, 島崎健二

(1991年9月2日受付)

Age Determination by Sectioning of Otoliths and Growth Pattern of Pacific Cod*¹Tsutomu Hattori,*² Yasunori Sakurai,*² and Kenji Shimazaki*²

Using the sectioning of the otoliths of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*), age determination was made for a total of 1,076 individuals collected in adjacent regions of north Japan (off the southern coast of Hokkaido, the Musashi-Tai region, off Kinkasan, and the Matsumae-Kojima-Tai region) as well as off the Kamchatka Peninsula. The seasonal changes in percentages of otoliths with a translucent edge showed that the translucent part of the otolith was an annual growth ring formed during the autumn and winter. The change in monthly mean body lengths indicated that the body length of cod increased mainly between May and September. So we used samples collected during October and March for analysis of fish growth. The analysis of von Bertalanffy's curves revealed that there was little difference in growth rates in adjacent waters of north Japan, while it was significantly lower off the Kamchatka Peninsula.

タラ科魚類は世界に約 55 種近く棲息しており,¹⁾ その大部分は北半球の亜寒帯域から高緯度海域において重要な漁獲対象種となっている。なかでも、本研究で扱うマダラ *Gadus macrocephalus* は、北部大西洋に棲息する Atlantic cod *G. morhua* およびグリーンランド周辺海域に分布する Greenland cod *G. ogac* とともに 1 属 3 種をなす大型で商業価値の高いタラ科魚類であり、北太平洋の亜寒帯海域ではスケトウダラ *Theragra chalcogramma* に次ぐ主要な漁獲対象種である。しかしながら、マダラの年齢と成長に関する研究は、その資源的豊度の高いソ連側の海域²⁾ およびカナダ西岸域³⁻⁵⁾ でなされているものの、日本周辺海域ではほとんど行なわれていないのが現状である。

そこで、本研究では、周年にわたって採集したマダラを用い、樹脂包埋による耳石薄片法^{9,10)}の精度を検討し、その年齢査定法によって日本周辺海域およびカムチャッカ半島沖のマダラの成長様式を明らかにすることを目的とした。そして、本研究で得られた結果と既往の知見を比較検討し、日本周辺海域およびカムチャッカ半島沖におけるマダラの年齢-成長関係の位置づけを行なった。

材料と方法

標本の採集 本研究で使用したマダラは、1989 年 4 月から 1990 年 9 月までの期間に北海道太平洋側海域 (OSCH) で採集した計 487 個体、北海道立稚内水産試験場の調査によって 1990 年 3 月に日本海武蔵堆海域 (MTR) から採集された計 256 個体、宮城県水産試験場および東北区水産研究所八戸支所の協力によって 1989 年 11 月から 1990 年 3 月の期間に金華山沖 (OK) から採集された計 198 個体、1989 年 7 月に松前小島堆海域 (KTR) で採集した計 84 個体、および北海道水産研究所によって 1989 年 10 月にカムチャッカ周辺海域 (KC) で採集された計 51 個体であり、これらの標本はほぼ同時期のものであった (Fig. 1)。

採集したマダラは、船上および実験室内で被鱗体長 (以下体長と呼ぶ: BL) を測定の後、開腹して雌雄を区別した。耳石については、左右それぞれの耳石長、耳石幅および耳石重量を測定の後、蒸留水中に保存した。

樹脂包埋による耳石薄片法 合計 1,076 個体について、耳石薄片法を用いて年齢査定を行なった。年齢査定は、主として右側の耳石によって行なったが、右側が欠損あるいは変形しているものは左側の耳石を用いた。

*¹ 北海道大学水産学部北洋水産研究施設業績 第 253 号 (Contribution No. 253 from the Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University).

*² 北海道大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Minato, Hakodate, Hokkaido 041, Japan).

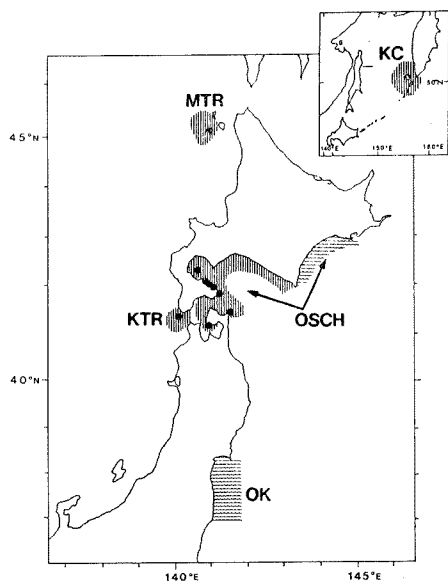


Fig. 1. Chart showing the division of sampling areas (OSCH: off the southern coast of Hokkaido, MTR: Musashi-Tai region, OK: off Kinkasan, KTR: Matsumae-Kojima-Tai region, KC: off the Kamchatka Peninsula). Stripes indicate sampling areas, including sampling sites denoted by solid circles, and waves indicate sampling areas investigated by trawl survey.

耳石包埋標本の作成には小型の製氷ケースを用い、ケース内に油粘土を薄く伸ばして土台とした。さらに、その上に5枚程度の耳石を縦にならべ、半透明のポリエスチル樹脂 (ブラキヤスト P-I) に硬化剤 (パーメック N) および硬化促進剤 (E) を加えたものを注入し、室温で48時間以上かけて完全に硬化させてブロック標本を作成した。これらブロック標本は、小型硬組織切断器 (マルターカッター MC101D) にて、耳石中央部の短軸方向に1.0-2.0 mmの厚さで切断し、次いで研磨器 (マルター MC101) で、厚さ0.2-0.5 mm前後に研磨した。以上の手法で耳石薄片標本を作成し、それらを蒸留水の入ったシャーレに入れ、実体顕微鏡の暗視野状態で耳石輪紋の読み取りを行なった。

なお、海域間の成長差の比較を行なう際、年齢群ごとの平均体長の検定を行なった。この平均値の検定には、等分散の時は Student の t-test を、等分散でない時は Cochran-Cox test を用いた。

結 果

耳石薄片法による年齢査定 年齢形質としての耳石の

採用と、年齢査定法としての樹脂包埋による耳石薄片法の有効性を検討した。

北海道各地におけるマダラの体長組成の周年変化から、8月に全長約240 mmの個体が1⁺ 齢であることは明らかであると報告されている。¹¹⁾ また、陸奥湾において8月に出現する全長100 mmから150 mmの個体は0⁺ 齢であることが知られているため、¹²⁾ 本研究において8月に採集された体長291 mmの個体は1⁺ 齢と判断できた。この個体の耳石薄片標本には、明瞭な透明帯 (r1) と、そのr1と耳石核との間に不明瞭な透明帯 (R) が観察できた (Fig. 2a)。このRは、1⁺ 齢以上の個体の耳石にもしばしば観察されたが、年齢と判断した輪紋に比べて細く不明瞭であり濃淡がはっきりしないこと、およびRとr1の間隔がr1とr2の間隔に比べて狭いことから、r1とは容易に区別できた。また、r1, r2, 時にr3は、数本の透明帯の束として観察されたが、各々の透明帯間の幅広い不透明帯によって明瞭に読みとることができた (Fig.s 2a-2c)。さらに、r3より外縁に形成されたr4, r5, r6, r7 およびr8は、r1, r2 およびr3より細く明確な1本の線として観察され、各々の輪紋および不透明帯の幅は狭く、輪紋の間隔は密であった (Fig.s 2d-2h)。

つぎに、耳石輪紋が年輪であるか否かを調べるため、北海道太平洋側海域で周年にわたって採集された個体 (N=419) について、耳石縁辺部における透明帯および不透明帯の月毎の出現割合を調べた (Fig. 3)。

その結果、透明帯は12月から2月に、不透明帯は5月から9月に大部分の耳石縁辺に出現しており、10月から12月および3月から5月がそれぞれ透明帯、不透明帯の形成開始時期にあたると判断できた。これらのことから、透明帯が秋期から冬期にかけて形成されることは明らかであり、これら透明帯を年輪とみなすことが可能と考えられた。したがって、以降、この基準によって年齢査定を実施した。

陸奥湾におけるマダラの産卵期は12月から1月を盛期とする^{12,13)} ことから、ここでは便宜的に1月1日を仮の生誕日として年齢査定を行なった。つまり、1月1日以前に採集された個体で耳石縁辺部に形成されている透明帯は年齢に含めず、1月1日以降に採集された個体で耳石縁辺部に形成されている透明帯は年齢に含めて読みとった。そして、年齢は0⁺ 齢, 1⁺ 齢, 2⁺ 齢, 3⁺ 齢... として表記した。したがって、Fig. 2aからFig. 2hに示した個体は、各々1⁺ 齢から8⁺ 齢と判断できた。

さらに、耳石核とr1の中間の細く不明瞭な透明帯は、孵化後1年目の間の成長停滞、もしくは何らかの生理的変化を反映して形成されたと推測された。

マダラの成長様式 樹脂包埋による耳石薄片法を用い

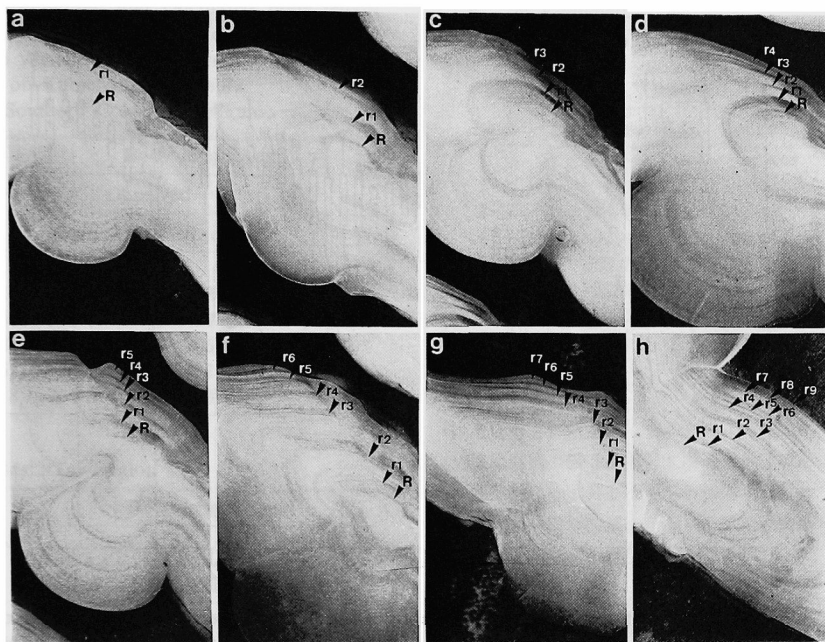


Fig. 2. Sections of the otolith of Pacific cod.

a. age: 1⁺, BL: 291 mm, Location: off Usujiri, date: Aug. '89. b. age: 2⁺, BL: 400 mm, Location: off Usujiri, date: Aug. '89. c. age: 3⁺, BL: 523 mm, Location: off Cape Erimo, date: May '89. d. age: 4⁺, BL: 601 mm, Location: off Cape Erimo, date: May '89. e. age: 5⁺, BL: 752 mm, Location: Musashi-Tai, date: Mar. '90. f. age: 6⁺, BL: 762 mm, Location: Musashi-Tai, date: Mar. '90. g. age: 7⁺, BL: 852 mm, Location: Musashi-Tai, date: Mar. '90. h. age: 8⁺, BL: 710 mm, Location: off Kamchatka Peninsula, date: Oct. '89. Formation of translucent edge (r9) was observed.

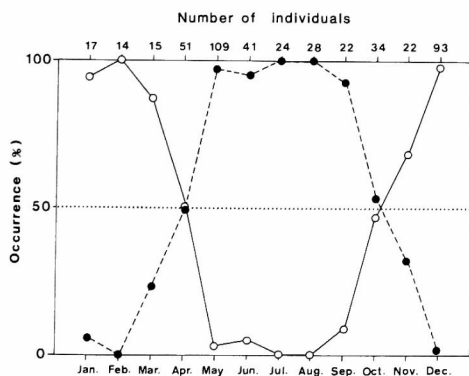


Fig. 3. The seasonal change in percentages of otoliths with translucent edge (open circles) and opaque edge (solid circles) in Pacific cod collected in the water off the southern coast of Hokkaido.

マダラの年齢を明らかにし、マダラの月別成長の変化および日本周辺各海域の成長曲線を求めることにより、各海域間における成長様式の差異の有無を検討した。

まず、周年にわたって標本を採集した北海道太平洋側海域の個体群について、1⁺ 齢から 4⁺ 齢までの平均体長の月別変化を調べた (Fig. 4)。なお、この解析では個体数が少ないため、雌雄をまとめて取り扱った。その結果、各年齢群とも 10 月から 4 月の間には成長停滞が認められ、5 月から 9 月の間に急速に成長することが明らかとなった。この成長停滞の時期 (10 月から 4 月) は、先に述べた耳石縁部に透明帯が出現する時期 (12 月から 2 月) を含んでおり、成長の良い時期 (5 月から 9 月) は、耳石縁部に不透明帯が出現する時期 (5 月から 9 月) と一致していた。つまり、マダラは耳石縁部に透明帯が出現する時期に体成長が非常に悪く、耳石縁部に不透明帯が出現する時期に急速に体成長すると判断できた。

つぎに、日本周辺各海域におけるマダラの年齢と成長の関係調べた。北海道太平洋側海域、武蔵堆海域、金華山沖、松前小島堆海域およびカムチャッカ周辺海域の

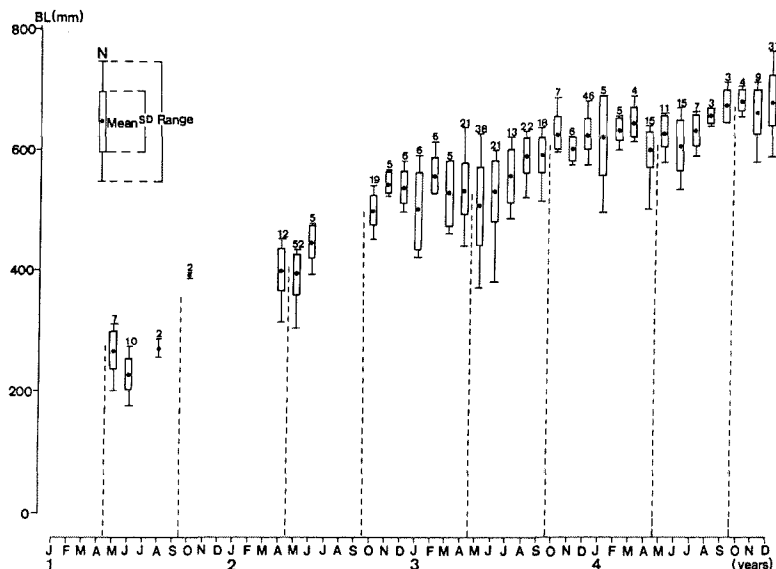


Fig. 4. The change in monthly mean body length of Pacific cod collected in the water off the southern coast of Hokkaido. Broken lines indicate times between April and May, and between September and October.

各マダラ標本間の成長を比較検討するため、まず、各海域ごとに雌雄の成長差を調べたところ、同一海域では雌雄差は認められなかった ($P > 0.05$)。そのため、海域ごとに雌雄をまとめて年齢別の平均体長と標準偏差を求めた (Table 1)。松前小島堆海域で採集した標本以外の成長曲線の解析には、10月から3月の間の体成長の非常に悪い時期に採集された個体のみを用いた。そのため、その間の体成長はほとんど無視できると考えられた。そして、1月1日以前の標本の査定年齢には1を加え、1月1日以後の標本の査定年齢はそのまま用いることにより、全個体の年齢を1月1日時点の満年齢として表わし、満1齢、満2齢、満3齢...として扱った。

7月に採集した松前小島堆海域の標本については夏期の急速な成長が開始していると推測されるため、便宜的に査定した年齢に0.5を加えてその他の海域と比較した。

Table 1の値に基づき、各年齢群の平均体長をWolfordの定差図に当てはめ、極限体長 (L_{∞})、成長係数 (k)、定数 (t_0) を求め、von Bertalanffyの成長式を導いた。式の算出に用いた年齢範囲は、北海道太平洋側海域では満2齢から満6齢、武蔵堆海域では満2齢から満8齢、金華山沖では満1齢から満6齢、松前小島堆海域では2.5齢から6.5齢、カムチャッカ周辺海域では満3齢から満9齢であった。各成長式は以下の通りであった。

北海道太平洋側海域

$$L_t = 966[1 - e^{-0.259(t+0.087)}]$$

武蔵堆海域

$$L_t = 933[1 - e^{-0.392(t-1.172)}]$$

金華山沖

$$L_t = 1080[1 - e^{-0.218(t-0.021)}]$$

松前小島堆海域

$$L_t = 1324[1 - e^{-0.128(t+0.012)}]$$

カムチャッカ周辺海域

$$L_t = 784[1 - e^{-0.278(t-0.593)}]$$

これらの式に基づき、日本周辺4海域 (北海道太平洋側海域、武蔵堆海域、金華山沖および松前小島堆海域) の成長様式の比較を行なった (Figs 5A-5D)。その結果、4海域とも満6齢までの個体がほとんどであり、満9齢以上の個体は確認されなかった。また、満3齢以上の平均体長の比較では、海域による差は北海道太平洋側海域の満3齢魚と金華山沖の満3齢魚 ($P < 0.01$) および北海道太平洋側海域の満5齢魚と武蔵堆海域の満5齢魚 ($P < 0.01$) の間で認められた。しかしながら、この差は、体長範囲の重複および成長曲線としての全体的な比較において、あまり意味を持たないと判断できた。さらに、各海域の満2齢魚では、北海道太平洋側海域が403 mmと金華山沖の378 mmという値に非常に類似していたのに対し ($P > 0.05$)、武蔵堆海域では259 mmと100 mm

Table 1. Observed and calculated body length (mm) by age group in Pacific cod collected from various sea areas around north Japan and off Kamchatka Peninsula

A. off Southern Coast of Hokkaido

Age	N	Body length (mm)			
		Observed			Calculated
		Mean	S.D.	Range	
1	0	—	—	—	—
2	16	398.5	36.7	322-461	403.4
3	68	530.6	44.1	428-644	531.8
4	88	630.7	33.3	506-699	630.9
5	65	694.1	41.7	592-790	707.4
6	8	766.3	71.6	593-846	762.8

B. Musashi-Tai Region

Age	N	Body length (mm)			
		Observed			Calculated
		Mean	S.D.	Range	
1	0	—	—	—	—
2	100	299.9	33.6	200-432	259.1
3	53	522.2	32.9	461-617	477.7
4	49	636.8	27.1	583-686	625.3
5	39	716.1	24.1	673-762	725.1
6	9	786.9	30.5	726-823	792.5
7	2	841.0	—	830-852	838.1
8	4	883.0	14.6	871-908	868.9

C. off Kinkasan

Age	N	Body length			
		Observed			Calculated
		Mean	S.D.	Range	
1	56	203.6	49.0	122-310	207.6
2	37	383.3	32.4	312-446	378.4
3	36	508.5	27.3	459-561	515.9
4	43	621.7	28.4	572-680	626.4
5	21	702.8	27.1	651-760	715.2
6	5	787.2	13.4	762-798	786.7

D. Matsumae-Kojima-Tai Region

Age	N	Body length (mm)			
		Observed			Calculated
		Mean	S.D.	Range	
2.5	41	443.2	35.9	361-514	453.8
3.5	25	557.9	37.2	499-631	554.5
4.5	15	629.3	34.5	570-682	643.6
5.5	1	700.0	—	—	722.3
6.5	2	787.5	—	781-794	792.0

E. off Kamchatka Peninsula

Age	N	Body length (mm)			
		Observed			Calculated
		Mean	S.D.	Range	
1	0	—	—	—	—
2	0	—	—	—	—
3	2	398.0	—	396-400	382.5
4	11	492.9	33.7	433-548	479.9
5	19	558.1	39.2	489-618	553.7
6	12	612.8	38.2	560-678	609.6
7	4	660.5	10.6	648-672	651.9
8	2	700.5	—	696-705	684.0
9	1	710.0	—	—	708.3

以上も小さい値であった。また、体長範囲からみても、武蔵堆海域の満2齢魚と北海道太平洋側海域・金華山沖の満2齢魚の成長には明らかな差異が認められた。このように、武蔵堆海域と北海道太平洋側海域・金華山沖の標本間で満2齢魚の成長に明らかな差が存在することは、平均体長の比較によっても裏付けられた ($P < 0.001$)。なお、補正のため査定年齢に0.5を加えた松前小島堆海域では、2.5 齢で454 mmであった。この値は、北海道太平洋側海域の2.5 齢で472 mm および金華山沖の2.5 齢で451 mm という値に類似していたのに対し、武蔵堆海域の2.5 齢で379 mm という値とは異なっていた。

以上の結果から、武蔵堆海域で採集された個体群の満2 齢までの成長過程は、北海道太平洋側海域、金華山沖および松前小島堆海域に比べて遅れていたが、満3 齢以上では他の3 海域とほとんど差がないことが明らかとなった。また、北海道太平洋側海域、金華山沖および松前小島堆海域間では、全ての年齢群にわたり類似した成長様式を示した。

一方、カムチャッカ周辺海域の標本から求めた成長曲線 (Fig. 5E) では、先に述べた4 海域 (北海道太平洋側海域、武蔵堆海域、金華山沖および松前小島堆海域) と比べ、各年齢群毎に明らかに成長の遅い傾向が認められた ($P < 0.001$)。すなわち、カムチャッカの標本中で最大のものは、710 mm で満9 齢であったのに対し、日本周辺4 海域における同体長は満5 齢魚に相当するものであった。

考 察

これまで、硬骨魚類の年齢査定は、鱗、耳石、脊椎骨、鰭条、鰓蓋骨などの体形質を材料として行なわれてきた。そのなかでも、鱗と耳石は材料として採集が容易で保存性がよいことから広く用いられている。近年、マダラの年齢形質として鰭条を薄片とする方法が報告され、⁶⁾ 耳石、鱗および背鰭鰭条を含む5 つの年齢形質に

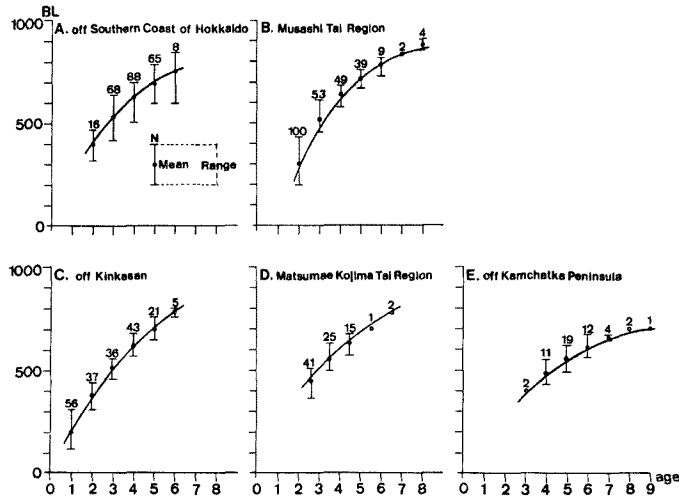


Fig. 5. Growth curves of Pacific cod. Open circles indicate the mean body lengths and vertical bars denote the ranges of body lengths.

よる年齢査定と体長頻度分布との解析から、背鰭鱗条が最も精度の高い年齢形質であると報告された。¹⁴⁾ しかしながら、鱗条薄片法は年齢読み取りが難しく、高齢魚においては耳石が鱗条に比べて有効な年齢形質であると再び指摘された。¹⁵⁾ また、脊椎骨や鱗では高齢魚の年齢読み取り精度が低下すること、^{11, 16)} 鱗の輪紋では一般的に耳石に比べて読み取りが難しいこと¹⁷⁾や、高齢魚で年齢を過小評価しやすいこと¹⁸⁾などの問題点が指摘されている。

耳石による年齢査定については、カサゴ *Sebastes marmoratus*,¹⁹⁾ アカマダイ *Branchiostegus japonicus*,²⁰⁾ マコガレイ *Limanda yokohamae*,²¹⁾ アカガレイ *Hippoglossoides dubius*²²⁾ などの魚類の年齢は、耳石の表面観察により明瞭に判断できると報告されている。しかし、一般的には高齢化に伴って耳石表面における輪紋構成物質（主にカルシウム）は不均等に沈着するため、¹⁷⁾ タラ科魚類のような大型の耳石に対しては断面観察を行なうのが普通である。

本研究で用いた樹脂包埋による耳石薄片法は、Atlantic cod,²³⁾ コマイ¹⁰⁾などのタラ科魚類においても近年注目されている手法であり、マダラに関しても精度が高いと報告されている。⁹⁾ したがって、マダラの耳石横断面を顕微鏡で観察する方法²⁴⁾が、また、マダラの耳石切薄片による年齢査定⁹⁾が確立された現在、樹脂包埋による耳石薄片法を用いて年齢査定を行なうことが、扱いが最も容易で読み取り精度が高いと考えた。さらに、本研究で、耳石横断面の同心円状の輪紋構造が年に1輪づつ形

成されること、輪紋形成時期が明らかになったことにより、周年を通して得られた標本に対する年齢査定をより正確に行なうことが可能となった。したがって、採集が容易かつ保存性の良い耳石は、現時点で最も有効な年齢形質であり、本種の資源動態や生活史を解明するための一手段になると考えられる。

樹脂包埋による耳石薄片法から得た年齢を用いて求めたマダラの平均体長の月別変化は、カナダ西岸域において標識放流から得られた結果²⁵⁾と非常に類似していた。このことから、夏期に急激な成長を行い、冬期にはほとんど成長しない日本周辺海域個体群の成長様式は、カナダ西岸域の個体群と同様であることが明らかとなった。この成長様式は、マダラが秋から冬にかけて生殖腺を発達させて冬期に産卵すること、夏期に索餌回遊を行なうことなどの周年を通したエネルギー収支の変動と関連があると推測される。

また、本研究で得られた成長曲線と過去に各海域で調べられた年齢と成長の関係を比較した。過去の多くの研究では、マダラの体長は全長 (TL) を用いて報告されているため、桜井・福田⁹⁾が求めた以下の式 $BL(\text{cm}) = 0.929TL(\text{cm}) - 0.388$ ($N=96$, $r=0.998$, $P<0.001$) によって、体長 (BL) に換算して本研究との比較を行なった (Fig. 6)。また、ここで本研究との比較を行なった成長様式の多くは、体長頻度分布と標識放流から求められたものである。本研究で求めた日本周辺4海域（北海道太平洋側海域、武蔵堆海域、金華山沖および松前小島堆海域）の成長曲線のうち、武蔵堆海域の満2齢魚の成長のみが

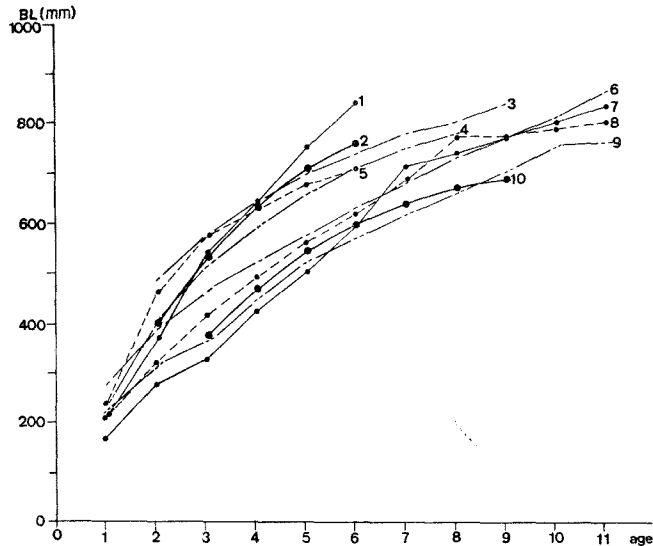


Fig. 6. Age-length relationships for Pacific cod collected from various regions in the North Pacific Ocean. 1: East coast of Korea,²⁷⁾ 2: off the southern coast of Hokkaido (current study), 3: Hecate Strait,⁸⁾ 4: Hecate Strait,⁴⁾ 5: Strait of Georgia,⁸⁾ 6: Gulf of Alaska,⁸⁾ 7: West Bering Sea,²⁾ 8: Sea of Okhotsk,²⁾ 9: East Bering Sea,⁸⁾ 10: off the Kamchatka Peninsula (current study)

明らかに遅れていたが、このような成長の遅れを1年で取り戻し、満3歳で他の海域の成長様式に追いつくということは考えにくい。この原因として、武蔵堆海域の標本は3月に採集されたものであり、採集時期が当海域のマダラの産卵期にあたることから、²⁸⁾ 満3歳以上の個体は武蔵堆海域で産卵する成魚であり、成長の悪い満2歳魚は他の系群の未成魚であった可能性が考えられる。しかしながら、このような標本の偏りについては本研究で明らかにすることは不可能であったため、武蔵堆海域の系群を把握する更なる調査が必要であろう。そのため、Fig. 6には、今回得られたカムチャッカ周辺海域から採集された個体群と、日本周辺4海域から得た成長曲線のうち北海道太平洋側海域から採集された標本の成長曲線を代表的な例として加えた。過去の知見と比較すると、北海道太平洋側海域の成長曲線は、カナダ西岸域のHecate Strait,^{4,8)} Strait of Georgia⁸⁾ および韓国東岸海域の成長様式²⁷⁾ に非常に類似していた。また、カムチャッカ周辺海域で採集された個体群は、アラスカ湾,⁸⁾ 東部ベーリング海,⁸⁾ オホーツク海²⁾ および西部ベーリング海の成長様式²⁾ に類似しており、高緯度海域に棲息する個体群の成長過程に類似していた。

タラ科魚類のコマイでは、北方海域の個体は北海道東部海域に棲息する個体に比べ低い成長率を示すと報告されている。¹⁰⁾ 本研究で扱ったマダラに関して、コマイ

と同様に棲息南限に近い北海道太平洋側海域、韓国東岸海域およびカナダ西岸域の個体群では高い成長率を示し、寿命が短いのに比べ、棲息北限に近いアラスカ湾、オホーツク海、東部ベーリング海、西部ベーリング海およびカムチャッカ周辺海域の個体群では低い成長率を示し、寿命が長いという傾向が認められた。これらのことから、マダラ個体群の成長様式は、棲息海域の緯度によって多分に影響される水温および索餌期の長さなどの物理的環境要因に大きく依存していると推測される。特にマダラはAtlantic cod等の他のタラ科魚類に比べて限られた回遊を行ない、²⁸⁾ かつ北太平洋の高緯度から低緯度に広く分布しているにもかかわらず、個々の繁殖群の独立性が極めて高いと考えられていることから、²⁹⁾ 緯度によって決定される水温および季節変化の違いが個体群の寿命を含めた成長様式に大きく影響しているものと推測される。

謝 辞

本研究を通して終始懇切なる御指導と御鞭撻を賜った北海道大学水産学部小城春雄助教授、標本の採集に多大なる御協力をいただいた北海道区水産研究所若林 清氏(現・中央水産研究所)ならびに渡辺一俊氏、東北区水産研究所八戸支所稲田伊史氏ならびに北川大二氏(現・東北区水産研究所)、北海道立稚内水産試験場夏目雅史氏

(現・函館水産試験場), 宮城県水産試験場児玉純一氏, 北海道大学水産学部附属白尻水産実験所職員の方々, 北海道大学水産学部附属調査船うしお丸松島寛治船長ならびに乗組員一同, 渡島支庁渡島南部地区水産技術普及指導所ならびに尻岸内漁業協同組合の方々に心から謝意を表します。

文 献

- 1) J. S. Nelson: Fishes of the world, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1984, p. 191.
- 2) P. A. Moiseev: 極東海域のタラ類及びカレイ類 [I] (仲弘, 崎浦治之, 古瀬 良, 渡辺 任, 竹村浩吉, 小山 譲 訳), ソ連北洋漁業関係文獻集, 21, 1-158 (1953).
- 3) K. S. Ketchen: Observations on the ecology of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Canadian waters. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 18, 513-558 (1961).
- 4) K. S. Ketchen: Preliminary results of studies on growth and mortality of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Hecate Strait, British Columbia. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 21, 1051-1067 (1964).
- 5) W. A. Kennedy: Reading scales to age Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) from Hecate Strait. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 27, 915-922 (1970).
- 6) R. J. Beamish: Use of fin-ray sections to age walleye pollock, Pacific cod, and Albacore, and importance of this method. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 110, 287-299 (1981).
- 7) R. P. Foucher and D. Fournier: Derivation of Pacific cod age composition using length-frequency analysis. *North Amer. J. Fish. Manag.*, 2, 276-284 (1982).
- 8) R. P. Foucher, R. G. Bakkala, and D. Fournier: Comparison of age frequency derived by length-frequency analysis and scale reading for Pacific cod in the north Pacific Ocean. *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 42, 232-242 (1984).
- 9) 桜井愛恵, 福田慎作: 陸奥湾に遡遊するマダラの年齢と成長, 青森県水産増殖センター研究報告, 3, 9-14 (1984).
- 10) 陳 二郎: コマイ (*Eleginus gracilis*) の年齢と成長および再生産過程に関する生物学的研究, 博士学位論文, 北海道大学水産学部, 函館, 1989, pp. 1-163.
- 11) 北海道区水産研究所, 北海道立水産試験場, 北海道区底魚資源研究集団: 北海道の機船底曳網漁業とその資源, 北海道区資源調査報告, 1, 44-50 (1956).
- 12) 川村輝良, 小久保清二: 陸奥湾産鰻 (*Gadus macrocephalus* Til.) に就いて, 青森水産資源調査報告, 1, 186-191 (1950).
- 13) D. Inaba: On the some teleostean eggs and larvae in Mutsu Bay. *Records of Oceanographic Works in Japan*, 3, 53-62 (1931).
- 14) H. L. Lai, D. R. Gunderson, and L. L. Low: Age determination of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, using five aging methods. *Fish. Bull.*, 85, 713-723 (1987).
- 15) D. K. Kimura and J. J. Lyons: Choosing a structure for the production aging of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 50, 9-23 (1990).
- 16) 久保伊津男, 吉原友吉: 水産資源学, 第1版, 共立出版, 東京, 1957, pp. 44-102.
- 17) T. Irie: The growth of the fish otolith. *J. Fac. Anim. Husb.*, Hiroshima Univ., 3, 203-221 (1960).
- 18) D. E. Chilton and R. J. Beamish: Age determination methods for fishes studied by the ground fish program at the Pacific Biological Station. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 60, 1-102 (1982).
- 19) 水江一弘: カサゴの研究 III, カサゴの耳石に顕われる輪紋及びカサゴの成長について. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, 7, 1-9 (1958).
- 20) 林 康行: 東シナ海産アカマダいの成長に関する研究 II, 耳石による年齢と成長の推定. 日水誌, 42, 1243-1249 (1976).
- 21) G. Solomon, M. Sano, M. Shimizu, and Y. Nose: Age and growth of the pleuronectid flounder *Limanda yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53, 711-716 (1987).
- 22) 中谷敏那, 小泉広明, 横山信一, 前田辰昭, 高橋豊美, 松島寛治: 噴火湾産アカガレイの年齢と成長. 日水誌, 56, 893-901 (1990).
- 23) R. L. Radtke: Cod fish otolith. Information storage structure, in "The Propagation of Cod *Gadus morhua* L." (ed. by E. Dahl, D. S. Danielssen, E. Moksness, and P. Solemdal), part 1, Oluf Rasmussen A. s, Skien, Norway, 1984, pp. 273-300.
- 24) K. S. Ketchen: An examination of criteria for determining the age of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) from otolith. *J. Fish. Res. Bd. Can. Tec. Rep.*, 171, 1-42 (1970).
- 25) K. S. Ketchen: Growth rate of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) as indicated by tagging in Hecate Strait, British Columbia. *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 42, 223-231 (1984).
- 26) 三宅博哉, 中山伸之: 日本海武蔵湾海域におけるマダラの成熟体長と産卵期. 北水試月報, 44, 209-216 (1987).
- 27) 内田恵太郎: 朝鮮近海のタラに就いて. 朝鮮之水産, 130, 24-39 (1936).
- 28) P. A. Moiseev: The behavior of Pacific cod in various zoogeographical areas. *Zool. Zh.*, 39, 558-562 (1960).
- 29) S. Mishima: Stock assessment and biological aspects of Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius) in Japanese waters. *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 42, 180-188 (1984).