

マダイとクロダイの鱗に刻まれている隆起線の形成特性

江副 覚^{*1}・永尾公壮^{*1}・太田博光^{*1}・今井千文^{*2}

Characteristics of Circuli Profile Deposited on Fish Scales of Red Sea Bream and Black Sea Bream

Satoru EZOE^{*1}, Koso NAGAO^{*1}, Hiromitsu OHTA^{*1}, and Chifumi IMAI^{*2}

It is important to evaluate the age and the growth carrier statistically for the management of fish resources. The authors developed a convenient and a useful tool to measure circuli deposited on fish scale easily by surface profilometer and to analyze the measured circuli data by personal computer processing. Specimens used in this study were of natural fishes of red sea bream and black sea bream that were caught by set net fishing in Senzaki bay facing Japan Sea in Yamaguchi Prefecture. Then, it was carried out that the number and the pitch of circuli deposited on the scales of respective fishes were analyzed minutely. The results obtained were as follows; 1) The depositing circuli number of each fish were proportional to the scale size and the proportional tendency of respective fishes were almost the equivalent. 2) The circulus pitch of Madai was changed wavy depending on the growing, on the other hand, that of Kurodai was deposited almost in even interval.

1 緒 言

魚類の資源管理を行うためには、魚の年齢や成長履歴を正確に知ることが重要である。このために鱗の輪紋や耳石の日周輪などの解析が行われている。

耳石に関しては、資源管理に役立てるために日周輪を計測し、日齢査定から多くの魚種で成長履歴を推定する研究が行われている^{1)~7)}。また、耳石に含まれる微量成分を分析し、魚の生育環境を推定する研究等が行われている^{8)~13)}。

耳石の日周輪による日齢査定の方法は精度がよく、詳細な解析が可能であり、非常に有効な手段ではあるが、耳石を採取するためには験体となる魚を殺し、解剖しなければならない。しかし、鱗は験体を解剖することなく容易に採取することができるので、水産関係者や市場等の協力が得られれば、多量にまた広範囲に収集することができる。また、生きた魚から鱗のみを採取し、そのまま逃がしてやると成長履歴の追跡調査が可能になる。

鱗には年齢査定の指標である輪紋のほかに隆起線と呼ばれる成長に伴う周期輪が刻まれている。隆起線には、成長の成熟度や産卵等の生理的变化等、および生育環境の変動が刻まれていると考えられ、隆起線に蓄積された履歴情報の解読のための基礎的研究が数多く行われている^{14)~22)}。

鱗の隆起線から成長履歴や生育環境を推定できるようになれば、魚類の持続的な資源管理に有効な手法になりうる可能性がある。従来、隆起線測定には光学顕微鏡が用いられていて、その測定には多大な労力と時間が必要であった。隆起線の検出を自動化し、鱗から得られる情報を数値データとして得るとともにコンピュータで解析すれば、多量の鱗を詳細に解析することが可能になり資源管理等に有用な情報が得られやすくなる。

著者らは、隆起線形状の多量のデータを統計的に解析するために、機械工学の分野で加工された部分の表面粗さという微小な凹凸を測定するのに用いられている触針式表面粗さ計を鱗の隆起線測定に応用し、隆起線を含む鱗の断面形状から得られる情報を数値化するとともに、コンピュー

2005年1月6日受付. Received January 6, 2005.

* 1 水産大学校海洋機械工学科 (Department of Ocean Mechanical Engineering, National Fisheries University, 2-7-1 Nagata-honmachi, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan).

* 2 水産大学校海洋生産管理学科 (Department of Fishery Science and Technology, National Fisheries University).

タで解析する簡便な方法を開発した^{28, 29)}。

本研究では、スズキ目科のマダイ (*Pagrus major*; Madai) とクロダイ (*Acanthopagrus schlegeli*; Kurodai) から採取した鱗の隆起線本数の違いとその間隔形成について詳細に解析した結果について報告する。

2 鱗の採取と測定準備

本研究には、平成14年4月15日に山口県仙崎沖の定置網で捕獲された天然のクロダイ40匹と、同年9月19日に定置

網で捕獲された天然のマダイ30匹を用いた。実験に用いたマダイとクロダイの体長や体重等のデータをTable 1に示す。マダイの体長は247~367mmで、体重は、280~560gの範囲にあった。また、クロダイは体長316~430mmで、体重は550~1460gの範囲にあった。なお、表中の括弧内の数値はそれぞれの平均値を示す。

マダイとクロダイの代表的な鱗の形状をFig. 1に示す。左側のFig. 1 (a) がマダイの鱗で、Fig. 1 (b) がクロダイの鱗である。またマダイの鱗に刻まれている年輪査定等に用いられる輪紋と、本研究で検出・解析した隆起線をマ

Table 1. Length and weight of Madai and Kurodai

	Proportion of samples			
	Total length (mm) (ave.)	Fork length (mm) (ave.)	Standard length (mm) (ave.)	Weight (g) (ave.)
Madai	247~367 (298)	220~300 (259)	191~262 (232)	280~570 (424)
Kurodai	316~430 (364)	262~410 (340)	260~355 (298)	550~1460 (893)

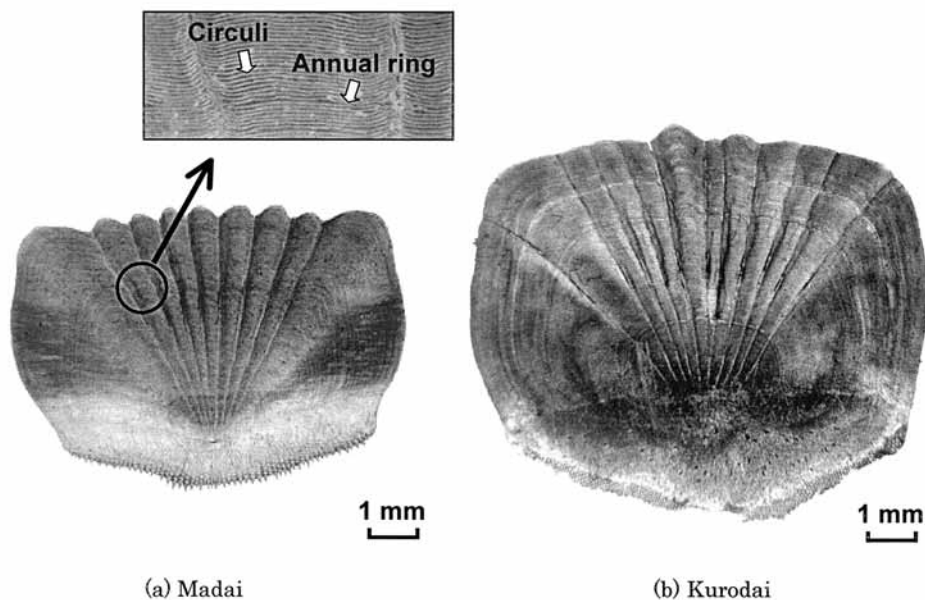


Fig. 1. Representative scales of Madai and Kurodai

ダイの鱗の上部に拡大して示す。図中ほぼ均等な間隔で刻まれている線が隆起線で、隆起線の間隔が広がっている所が輪紋に相当する。

マダイとクロダイの鱗は共に楕円形と呼ばれているが、クロダイの鱗はマダイの鱗に比べ角が少し丸みを帯びていて鱗の外形形状には少し違いがあるのがわかる。

鱗は魚体の位置で大きさや形状が異なるので、それぞれの魚体の異なる5箇所の位置から採取した。鱗の採取位置をFig. 2にA, B, C, D, Eで示す。A部は側線上部で鰓後部の背鰭の前縁部付近、B部は同じ側線上部で背鰭の中央

部付近、C部は尾鰭の付け根付近、D部は胸鰭付近、E部は尻鰭の中央部付近である。

採取位置の違いによる鱗形状（鱗の大きさ）の違いをFig. 3に示す。Fig. 3より、A, B, Cの位置から採取された鱗は、DやEから採取された鱗より一般的に小さいことがわかる。

鱗は験体から注意深く採取した後、煮沸することによって鱗の表面に付着している粘質膜や汚れなどを除去した。そしてその後、自然乾燥させて計測に使用した。

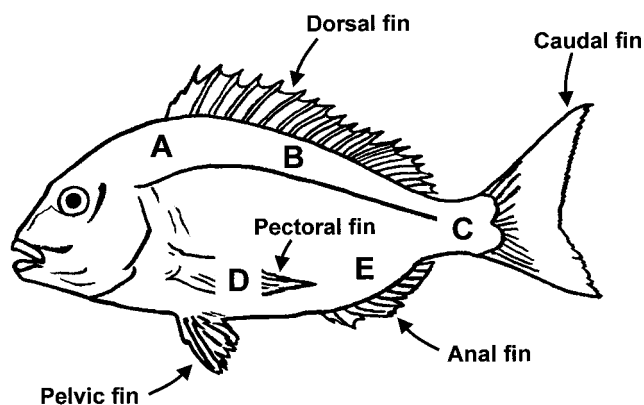


Fig. 2. Positions picked up scales

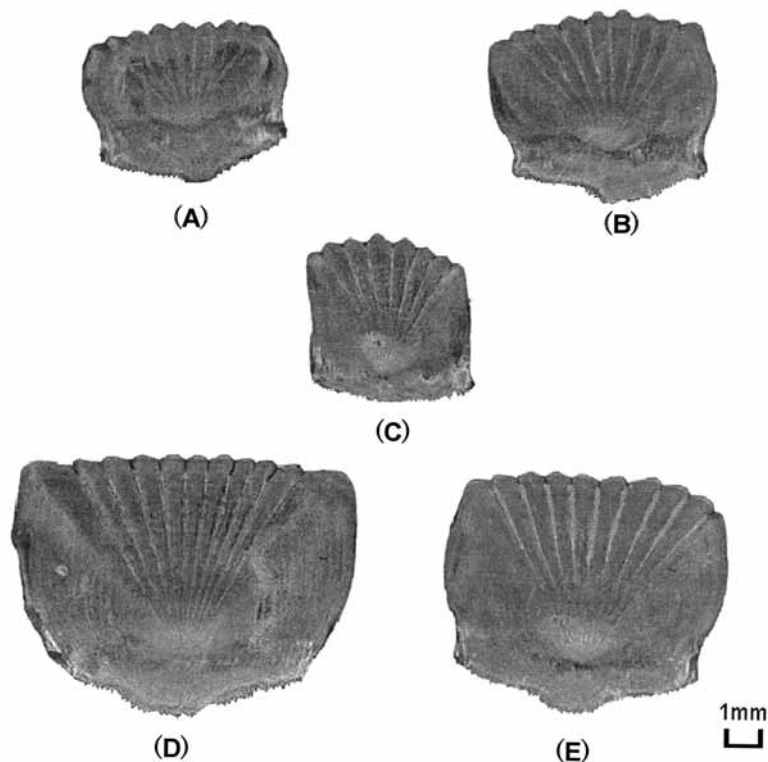


Fig. 3. Scales picked up from different positions

3 隆起線の測定と解析方法

3.1 粗さ計による隆起線の測定

隆起線の測定には、TH社製の触針式表面粗さ計（以後、粗さ計と略称する。）を用いた。粗さ計の概要をFig. 4に、またその仕様をTable 2に示す。

隆起線は、主としてFig. 5に示すように鱗の焦点から鱗の角部の外縁に向かって測定した。

測定したデータは、デジタル値に変換後パーソナルコンピュータで解析した。隆起線を解析するためには、鱗表面の凹凸（うねり）をできるだけ小さくする必要がある。そのため、測定する鱗は粗さ計の測定台座に両面テープで固定した。台座に固定した状態の鱗を粗さ計で測定した結果の一例をFig. 6に示す。Fig. 6は、鱗を測定したときの触針の通った軌跡で切断したときの断面形状（断面曲線）を示している、この図で示す鱗の断面曲線には、鱗のうねり成分と隆起線の形状成分が含まれていることになる。台座に固定することによりある程度鱗は平坦になり、測定後のうねりは0.05mm程度と小さくなっているが、前述のように鱗のうねり成分が含まれているので詳細な解析のために拡大するとこれが誤差の誘因になる。したがって、うねり成分を除去する必要がある。

測定時の工夫ではうねり成分を完全に取り除くことはできないので、コンピュータ処理の過程で取り除いた。このとき、うねり曲線を平坦な直線上に投影しただけでは、隆起線の間隔が変化する可能性がある。すなわち、うねり曲線が凸の場合は隆起線間隔が広がり凹の場合は縮むことに

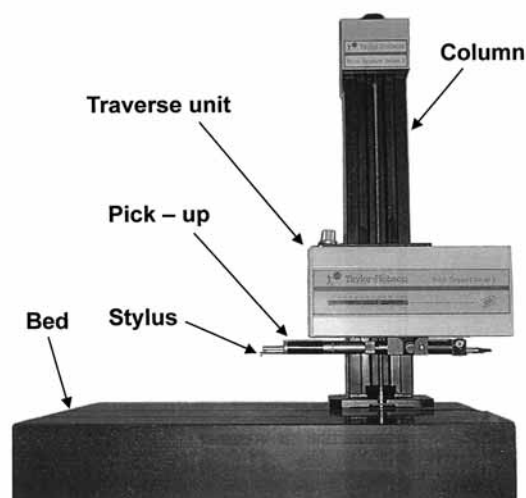


Fig. 4. Surface profilometer used in this study

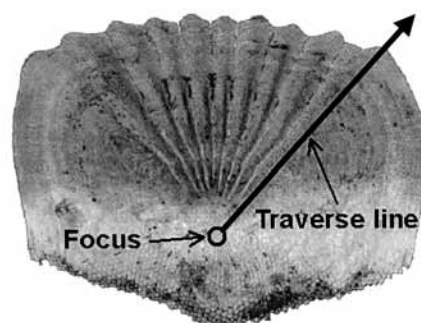


Fig. 5. Traverse direction in measuring circuli

Table 2. Specifications of surface profilometer used in this study

Maximum length of traverse	120 mm
Accuracy of traverse	0.5 μ m/120mm, 0.25 μ m/60mm
Pick-up type	Differential transducer
Stylus type	Diamond corn
Stylus force	0.7 ~ 1.0 mN
Measuring range	1.0mm(32nm), 0.20mm(6.4nm)
(Resolution)	0.10mm(3.2nm), 0.02mm(0.64nm)
Travers speed	0.5 ~ 10 mm/sec

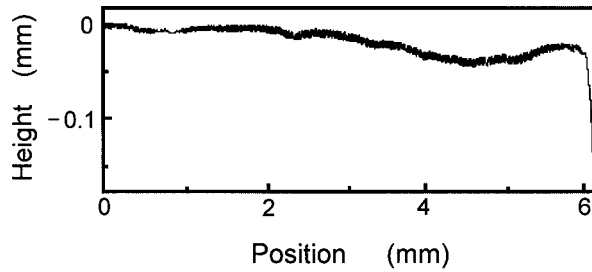


Fig. 6. Contour profile of scale measured by profilometer

なる。したがって、本研究ではうねり曲線に垂直な隆起線形状を求めた後、うねり曲線を平坦な直線に伸張することによりうねり成分の除去により生じる誤差を最小限に抑えた。その後、隆起線の間隔を解析した²⁹⁾。

3.2 隆起線の本数と間隔計測のための演算処理

Fig. 6 に示した測定後の鱗の断面曲線から、鱗のうねり成分を除去した後の鱗断面曲線、すなわち隆起線形状を Fig. 7 に示す。この処理により鱗のうねり成分はほとんど除去され、0.05mm程度あったうねりが0.02mm程度に小さくなり隆起線の成分のみになったことが伺える。すなわち、鱗を理想的な平面状態にして測定した隆起線形状に近いデータが得られたことになる。

しかし、本研究で用いたマダイとクロダイの隆起線の高さは平均で0.01mmから0.02mm程度有り、鱗のうねりを除去した後に残っている小さなうねり曲線とはほぼ同じ程度である。正確な解析にはこのうねりも除去する必要があるの

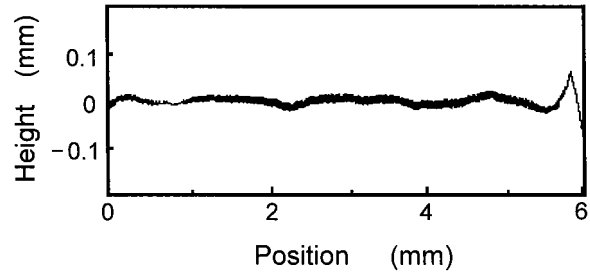


Fig. 7. Circuli profile removed waviness by computing

で、Fig. 7 に示した曲線にフィルター処理を行い隆起線曲線を平坦化した。その状態の一例を Fig. 8 に示す。

粗さ計は表面の微小凹凸を精密に測定することができるので、粗さ計で測定された後演算処理により平坦化された隆起線曲線には隆起線の頂上付近の微小な形状がそのまま正確に表わされたままになっている。隆起線の形状や高さ等を計測する場合には、この隆起線頂上付近の微小凹凸を含んだ状態で行う必要があるが、隆起線の本数や間隔を計測する場合には計数誤差が生じることがある。そこで、平坦化後の隆起線曲線にスムージング処理を施し、微小凹凸から生ずる計測誤差を除去した。スムージング処理した後の隆起線形状を拡大して Fig. 9 に示す。スムージング処理により隆起線の高さは計測値より低く表れるので隆起線の高さは正確に計測することができないが、隆起線の本数や間隔を計測する場合には影響がない。この平坦化とスムージング処理により、隆起線の本数と間隔がコンピュータの演算処理により正確に計測できるようになった²⁹⁾。

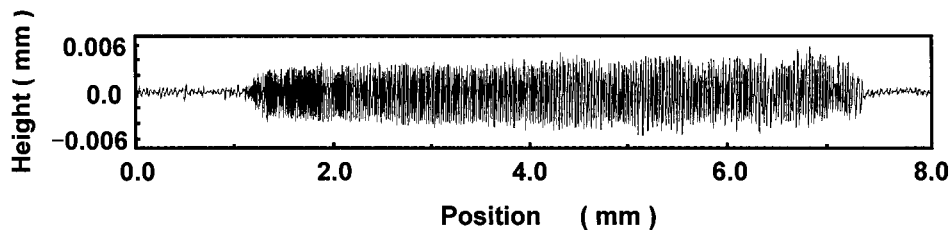


Fig. 8. Circuli profile after filtering

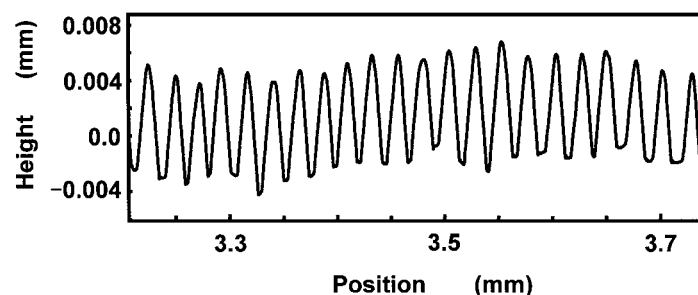


Fig. 9. Circuli profile after smoothing with computer

4 測定結果および考察

4.1 隆起線本数の計測

隆起線の形成特性を解析するためには、鱗の採取位置や大きさが隆起線本数や間隔等に及ぼす影響を明らかにする必要がある。そのためにまず、大きさが異なる鱗に刻まれている隆起線の本数を調べた。マダイとクロダイの鱗の大きさと隆起線本数の関係を、それぞれ、Fig.10とFig.11に示す。横軸は鱗の焦点から外縁に向かって測定したときの測定長さを示し、縦軸は測定された隆起線本数を示す。本研究では測定長さを鱗の大きさと見なし、鱗の大きさと隆起線本数の関係を整理した。なお、鱗の表面状態により隆起線が明瞭に観察できない鱗やその範囲はデータから取り除いた。

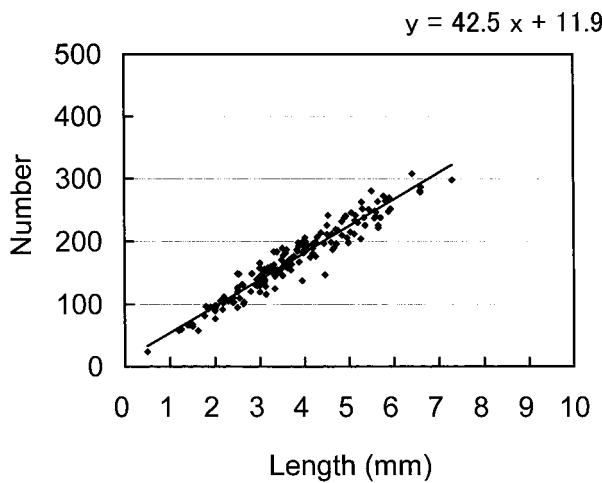


Fig. 10. Relationship between the number of circuli and scale size (in case of Madai)

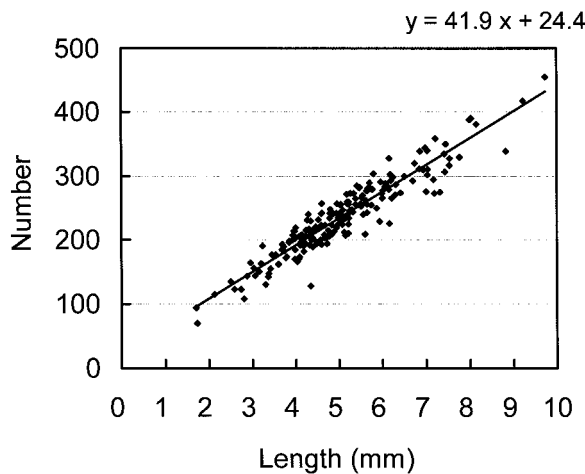


Fig. 11. Relationship between the number of circuli and scale size (in case of Kurodai)

Fig.10とFig.11より、マダイとクロダイの両方において鱗が大きくなると隆起線本数はほぼ直線的に増加していることがわかったので、データを最小二乗法で直線近似した。図中の直線は、近似直線を示す。マダイの場合は、

$$y = 42.5x + 11.9 \quad \dots\dots (1)$$

式で表され、クロダイの場合は、

$$y = 41.9x + 24.4 \quad \dots\dots (2)$$

式で表された。ただし、yは隆起線の本数を、またxは測定長さすなわち鱗の大きさを表す。なお、それぞれの近似曲線の相関係数は約0.9以上だったので、ほぼ良好な相関が取れていると考えられる。

Fig.10とFig.11より、マダイとクロダイと魚種が違ってても鱗の大きさに比例して隆起線本数は多くなることがわかる。また近似直線の傾き（比例定数）は、マダイの場合は42.5でクロダイの場合は41.9と、魚種の違いはほとんど表れなかった。言い換えれば、鱗の大きさが異なっても隆起線間隔はほとんど変わらないことがわかった。したがって、隆起線本数を解析する場合は鱗の大きさがある程度揃える必要がある。

4.2 隆起線間隔の変化

隆起線は成長線とも呼ばれているので、魚の成長に伴い隆起線間隔が変化する可能性がある。Fig.12にマダイの場合の隆起線間隔の変化を示す。図中左側の縦軸に近いところが鱗の焦点に近いところ、すなわち稚魚の時期に形成さ

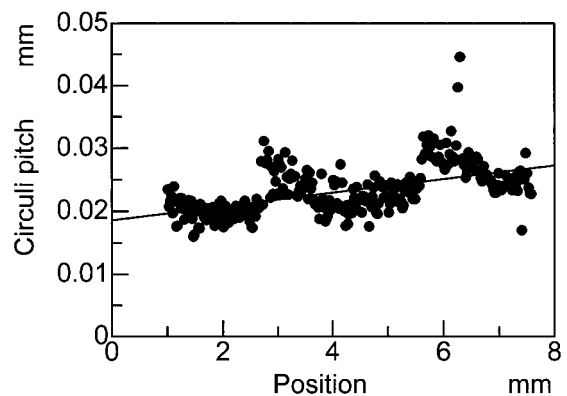


Fig. 12. Changes in circuli pitch (in case of Madai)

れた隆起線間隔を示し、図中右側が鱗の外側を示す。

隆起線は、成長するに従って鱗の外側に向かって形成される。マダイの場合は、成長に伴い隆起線間隔が波状に変化しているのが認められた。

この鱗の一部を拡大して隆起線の形成状態を示した写真をFig.13に示す。図中中央部付近横に隆起線間隔が広がっている湾曲した部分が認められるのが、これが年齢査定に用いられる輪紋と考えられる。実験に用いた大部分のマダイでは二本の輪紋が認められたので、生後2年が経過したと推定できる。Fig.13の輪紋付近を詳細に観察すれば、輪紋を境にして隆起線間隔が変化しているのを認めることができる。すなわち、輪紋より焦点側（図では隆起線の下側の部分）の輪紋の間隔は輪紋より鱗の外縁側（図では上側）の間隔より狭いことがわかる。これにより、Fig.12に示した隆起線間隔で、狭い間隔から広い間隔に不連続的に変化している箇所付近は輪紋付近と考えることができる。

これに対し、クロダイの隆起線間隔を解析した結果をFig.14に示す。クロダイの場合は一部間隔が大きくなっているところが認められるが、全体としてマダイのように隆起線間隔に波状の変化は認められなかった。すなわち、クロダイの場合は成長につれても隆起線間隔はほとんど同じであることがわかる。Fig.15にクロダイの場合の隆起線形成状態を拡大して示す。隆起線間隔が一部大きくなっているところが輪紋に相当すると考えられるが、マダイの場合のように輪紋を境にして隆起線間隔が変化することはほとんど認められなかった。

マダイとクロダイの隆起線間隔について、平均的な傾向をまとめてFig.16に示す。図中、左側の図がマダイの場合で、右側の図がクロダイの場合である。図からもわかるように、マダイの隆起線間隔には大きな波状の変化が認められるのに対し、クロダイの隆起線間隔はほとんど直線的に変化していることがわかる。

本研究で測定した鱗において、約8割のマダイで隆起線間隔が波打つように変化していたのに対して、クロダイの場合は約1割であった。すなわち、クロダイの約9割の鱗において、隆起線間隔が直線的に変化していた。

マダイとクロダイの隆起線間隔の違いが、生育環境や行動からもたらされるものなのか、また生理的な要因からもたらされるものなのかについては、今後詳細に検討する必要がある。

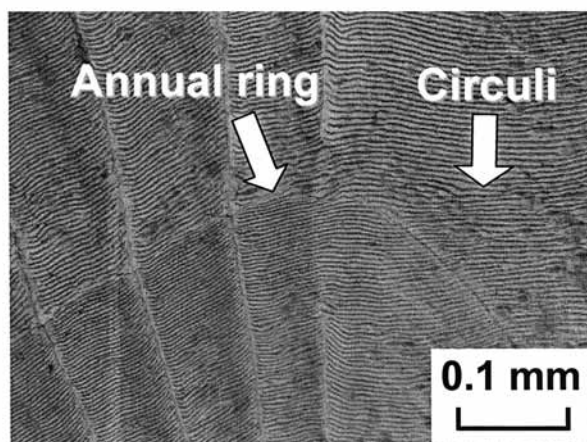


Fig. 13. Appearance of circuli near annual ring (in case of Madai)

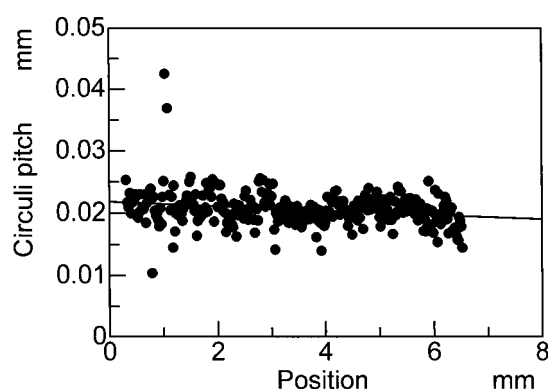


Fig. 14. Changes in circuli pitch (in case of Kurodai)

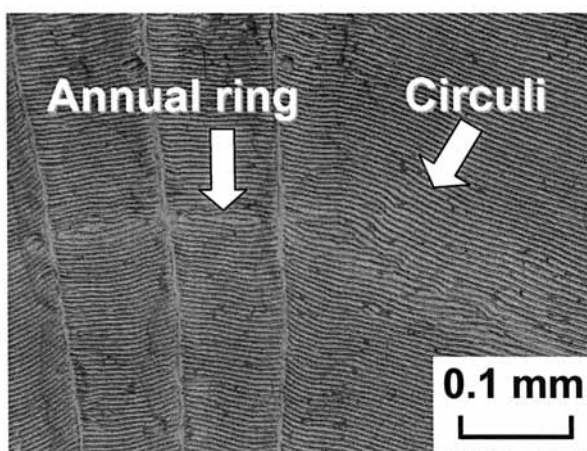


Fig. 15. Appearance of circuli near annual ring (in case of Kurodai)

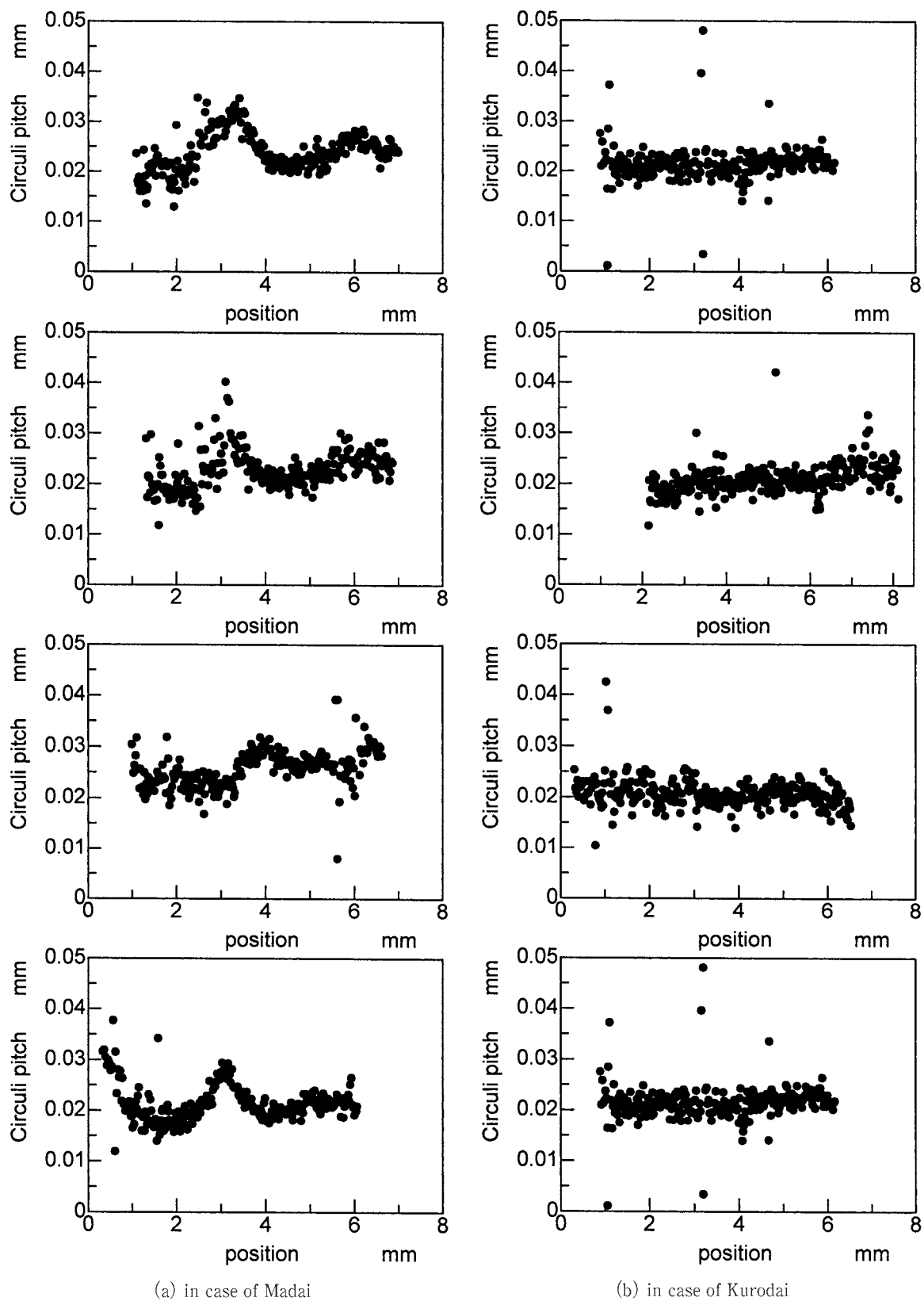


Fig. 16. Representative changes in circuli pitch in Madai and Kurodai

5 結 言

同種目（スズキ目）科のマダイとクロダイの鱗に形成されている隆起線の本数と間隔を詳細に解析した結果、以下のことがわかった。

- 1) マダイとクロダイの鱗に刻まれている隆起線の本数は鱗の大きさにはほぼ直線的に比例し、マダイとクロダイの魚種の違いはほとんど認められなかった。
- 2) マダイの場合、隆起線間隔は成長過程で変化するのに対し、クロダイの場合は一様であった。

隆起線の形成特性の違いが、生育時の環境の変化や行動形態からもたらされるものか、生理的要因からもたらされるものかは重要な意味を持つと考えられるので、今後研究を進める予定である。

文 献

- 1) Amane Hayashi, Yoh Yamashita, Kouichi Kawaguchi and Takeo Ishida: Rearing Method and Daily Otolith Ring of Japanese Sardine Larvae, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55-6**, 997-1000 (1989).
- 2) Yukimasa Ishida, Soto Ito and Kenji Takagi: Stock Identification of Chum Salmon *Oncorhynchus keta* from their Maturity and Scale Characters, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55-4**, 651-656 (1989).
- 3) Katsumi Tsukamoto: Otolith Daily Increments in the Japanese Eel, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55-6**, 1017-1021 (1989).
- 4) 中谷敏邦・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, *日本水誌*, **56-6**, 893-901 (1990).
- 5) Katsumi Tsukamoto and Yasuhiro Shima: Otolith Daily Increment in Sandfish, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56-7**, 1083-1087 (1990).
- 6) Takakazu Ozawa and Grace C. Peñaflo: Otolith Microstructure and Early Ontogeny of a Myctophid Species *Benthosema pterotum*, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56-12**, 1987-1995 (1990).
- 7) Yasuo Mugiyu and Satoshi Tanaka: Otolith Development, Increment Formation, and an Uncoupling of Otolith to Somatic Growth Rates in Larval and Juvenile Goldfish, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58-5**, 845-851 (1992).
- 8) 麦谷康雄: 魚類の耳石情報解析に関する研究, *日本水誌*, **60-1**, 7-11 (1994).
- 9) 岩川敬樹・小澤貴和: 鹿児島湾産オオハタの年齢と成長, *日本水産学会誌*, **65-2**, 194-199 (1999).
- 10) 戸嶋孝・荒井修亮: 対馬暖流域におけるマダイ耳石のストロンチウム濃度変動, *日本水誌*, **66-1**, 25-32 (2000).
- 11) 角田出: 摂餌条件の違いがヒラメ稚魚耳石の元素組成に及ぼす影響, *日本水誌*, **66-3**, 495-496 (2000).
- 12) 角田出: 追い回しストレスによるヒラメ稚魚耳石の元素組成変化, *日本水誌*, **66-3**, 493-494 (2000).
- 13) 海野徹也・清家暁・大竹二雄・西山文隆・柴田恭宏・中川平介: 耳石微量元素分析による広島県太田川サツキマスの回遊履歴の推定, *日本水誌*, **67-4**, 647-657 (2001).
- 14) 戸嶋孝・桑原昭彦・藤田眞吾: 若狭湾西部海域におけるマダイの移動と鱗の第一輪径との関係について, *日本水誌*, **62-4**, 586-591 (1996).
- 15) 戸嶋孝・桑原昭彦・藤田眞吾: 鱗の第一輪径からみた若狭湾西部海域におけるマダイ群の移出入, *日本水誌*, **64-4**, 665-670 (1998).
- 16) 高場稔: マダイの年成長量の年変動, *日本水誌*, **63-4**, 563-569 (1997).
- 17) 伊元九弥・吉岡直樹・北島力・松井誠一: 九州東北部沿岸におけるアオギスの年齢と成長, *日本水誌*, **63-6**, 892-898 (1997).
- 18) 伊藤外夫・石田行正: 鱗相によるさけ・ます類の種の同定と年齢査定, *遠洋水研報*, **35**, 131-154 (1998).
- 19) 山口由二・平山信夫・小池篤・フセイン アマル アダム: エジプト・ハイダム湖産ティラピア2種の年齢査定と成長, *日本水誌*, **56-3**, 437-443 (1990).
- 20) 荒井修亮・坂本亘: マダイ鱗の隆起線形成に及ぼす水温の影響, *日本水誌*, **61-3**, 316-319 (1995).
- 21) 荒井修亮: マダイ稚魚の耳石・鱗による環境履歴, *日本水誌*, **62-1**, 136-137 (1996).
- 22) 荒井修亮・坂本亘: マダイ稚魚期の飼育水温と鱗の隆起線形成との関係, *日本水誌*, **62-2**, 213-216 (1996).
- 23) 江副覚・今井千文・小畑清和・太田博光: 鱗の隆起線の簡便な解析手法の提案, *日水工講論集*, 129-130 (1998).
- 24) 江副覚・永尾公壮・太田博光・澤田 純: 隆起線形状の波形解析処理, *日水工講論集*, 221-224 (2002).