

統計的手法によるウロコ隆起線の本数と 高さの算出に関する研究

江副 覚*¹・太田博光*¹・永尾公壮*¹・小川和雄*¹

Studies on Calculation of Number and Height of Circuli of Fish Scale by Statistical Methods

Satoru EZOE*¹, Hiromitsu OHTA*¹, Koso NAGAO*¹ and Kazuo OGAWA*¹

Periodic rings such as annual ring or circuli, deposit on fish scale and they have utilized to research the age, the maturity level of growth, physiological factor, the changes in living condition, etc.

In order to improve researching reliability, it is important that a lot of the scales should be collected and analyzed automatically. If the circuli profile detect mechanically and the data being collected analyze numerically, it will become to research the characteristic of fishes in easy and in short time and then to increase the reliability of the estimation.

In this study, practical and useful processing techniques to analyze the number or the height of circuli profile are presented.

Key words : Fish scale, Circuli profile, Computer, Circuli count, Spectrum analysis, Peek analysis

1 緒 言

鱗の輪紋を解析して、輪紋と成長や生育海域との関わりに関する研究^{1),2)}や、成長や水温との関係等との関わりに関する研究^{3)~6)}が行われている。鱗には年齢査定指標である輪紋のほか、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^{7)~9)}が行われている。

これらの研究より、魚の成長や生育環境によって鱗の大きさや輪紋の位置および隆起線の本数等が変化していることがわかる。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。さらに、鱗は験体を解剖することなく容易に採取することが出来るので、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、解析精度の向上が期待できる。

したがって、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、多量の鱗を短時間で解析することが可能になり資源管理に有用な情報が得られやすくなる。本研究では、パーソナルコンピュータを用いて鱗の隆起線情報を統計的に解析処理し、隆起線の本数や高さを簡便に求める演算手法について述べる。

2 隆起線の検出と解析の前処理

測定に供する鱗は験体から注意深く採取した後、2%の水酸化ナトリウム溶液に浸漬するか、または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洗浄した後、自然乾燥させた。隆起線の検出には、触針式表面粗さ計（以後、粗さ計と略称する）を用いた^{10),11)}。そして、鱗を測定面にほぼ平坦な状態になるように測定治具に両面テープで固定し、粗さ計の触針を鱗の表面に接触させながら、鱗の焦点部分から外縁に向かって鱗の表面をトレースすることにより、隆起線の断面形状を検出した。

検出した隆起線を含む鱗の断面形状は数値データとして

捉え、そのデータから計測時の鱗の取付け形態等による鱗のうねり成分を取り除くことにより、鱗に湾曲がない状態、すなわち鱗を平坦な状態で測定したのと同様同じ隆起線の断面曲線を得た¹⁰⁾。

粗さ計で検出した隆起線の断面曲線のデータは、触針が鱗表面をトレースする間、 $0.25\ \mu\text{m}$ 間隔でサンプリングされる。すなわち、隆起線の高さ方向のみのデータが、一定間隔でサンプリングされることになる。本研究では前述のように、検出時の鱗の湾曲からくる誤差を除去し、鱗のうねりに沿った隆起線の断面曲線を算出しているため、高さに対してサンプリング間隔が約 $0.2\sim 0.3\ \mu\text{m}$ の範囲で変化する。したがって、本研究の目的である隆起線解析に統計的手法を応用するためには隆起線を波形データと同様に一定間隔で取り扱えるようにする必要がある。そのため本研究では解析の前処理として、サンプリング間隔を $0.1\ \mu\text{m}$ の一定間隔で再サンプリング処理すなわち本解析のための前処理を行った。この再サンプリング処理を施し波形処理が容易に行えるようにした隆起線の断面曲線を、以後、隆起線曲線と呼ぶことにする。隆起線の断面曲線から、本解析のために再サンプリング処理した隆起線曲線の一例を Fig. 1 に示す。以後の隆起線の解析には、この隆起線曲線を用いて本解析（統計的解析）を行った。

3 スペクトル法¹²⁾による隆起線本数の概数計測

3.1 計測の概念

通常の振動波形処理では、横軸を時間軸に取り、単位時間（1秒）に対する波の繰り返し数を周波数として定義している。これに対し、本研究で解析する隆起線の場合は、横軸が隆起線の測定長さに相当する。しかし、横軸の長さを時間に置き換えてやることにより、周波数解析と同じ解析手法が活用できる。本研究では、単位長さに対する隆起線の繰り返し数を比隆起線数と定義する。これは、一般的

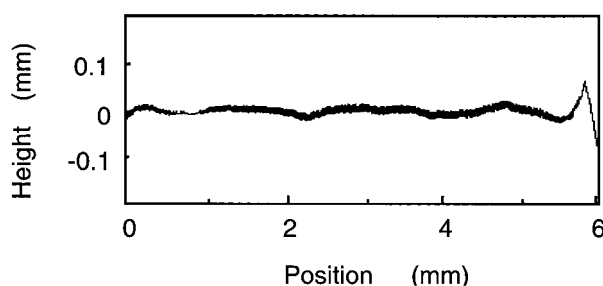


Fig. 1. An example of plane circuli profile without waviness used in this analysis

な波形処理の場合の周波数に相当し、具体的には、比隆起線数は単位長さあたり何本の隆起線が刻まれているかを示す数になる。

隆起線本数の概数計測には、統計処理方法の一つであるスペクトル解析法を用いて、コンピュータで統計的に隆起線本数を計数する手法について検討した。本手法は隆起線の本数を1本1本計数するものではないので精度は後で述べるピーク解析法より劣るが、迅速に本数の概数を知りたい場合には有効である。

スペクトル解析法は振動や音、光、電気などの時間波形をフーリエ変換によって、周波数と位相の異なる種々の正弦波成分に分解したり、逆に周波数と位相の異なる正弦波形を逆フーリエ変換によって、ひとつの時間波形に合成するときなどに用いる解析法である。

ここでは隆起線曲線を波形として捉え、隆起線曲線の長さ領域信号をパワースペクトル解析することによりパワースペクトル密度を求めた。これは鱗の単位測定長さあたりに刻まれている隆起線の平均本数に相当する。以後、この単位測定長さあたりに刻まれている隆起線の本数を比隆起線数と略称する。

鱗に刻まれている平均的な比隆起線数に隆起線の測定長さを掛けてやることにより、鱗全体に刻まれている隆起線本数を概算することを検討した。

3.2 パワースペクトル密度の計算

パワースペクトル密度の平均値は以下の(1)式と(2)式で求めた。

$$C_{avg1} = \frac{\sum x_i y_i}{\sum y_i} \dots \dots (1)$$

$$C_{avg2} = \frac{\sum x_i y_i^2}{\sum y_i^2} \dots \dots (2)$$

ただし、 x_i は*i*番目における測定点を、また y_i はその点のパワースペクトルの強度を表す。

(1)式の C_{avg1} は、パワースペクトルの図心を表す代表点に相当し、スペクトル分布が平均値を中心にしてほぼ均等に分布するような場合には代表点として適していると考えられるが、分布が偏る場合などは(2)式の C_{avg2} のように、横軸からの距離の項を考慮した平均値の方が分布の特徴を代表すると考えられる。

Fig. 2に両式で求めた平均値をそれぞれ示す。図中の破

線が(1)式による平均値で、実線が(2)式による平均値である。この場合は、(2)式の平均値が適していると考えられる。

3.3 隆起線本数の概数計測

パワースペクトル分布から求めた単位測定長さあたりの平均隆起線数すなわち比隆起線数より、鱗に刻まれている隆起線の概数(C)は次式で求めることができる。

$$C = C_{avg} \times L \dots (3)$$

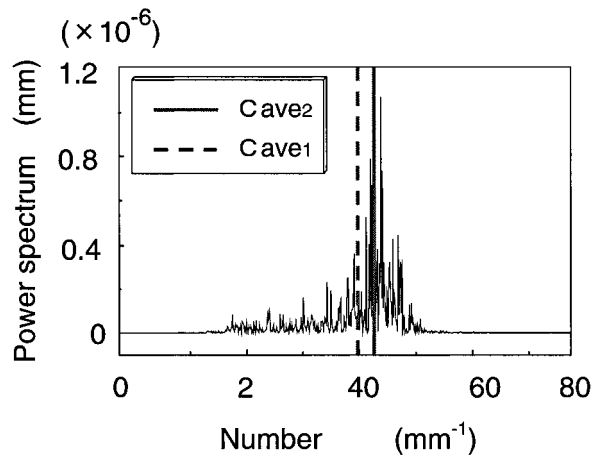


Fig. 2. Representative number of circuli obtained by spectrum analysis

ただし、 C_{avg} は代表する平均値で、 L は測定長さである。本スペクトル解析法では正確な隆起線の本数を知ることはできないが、平均的な本数は簡易に知ることが出来るので、隆起線の概略的な特徴を掴むのに有効であると考えられる。

3.4 計測精度の検討

パワースペクトル解析法で求めた隆起線の概数と実際に顕微鏡で観察し計測した本数と比較した結果をTable 1に示す。パワースペクトル解析を行った結果から算出した概数は鱗の測定長さ全体にわたって、すなわち隆起線が明瞭に刻まれていない範囲も含んで解析した結果であるが、双方の値は5%から7%程度の誤差ではほぼ一致しているのがわかった。

4 確率密度分布による隆起線平均高さの計測

4.1 フィルタリング¹³⁾による平坦化

スペクトル法による隆起線本数の概数計測では、隆起線のスペクトル解析を行うので、隆起線曲線をそのまま演算処理することができたが、隆起線の高さを計測する場合にはより厳密に隆起線曲線のうねりを除去(平坦化)する必要がある。ここでは隆起線曲線にフィルタをかけてうねりを除去し平坦化した。

Table 1. Estimation of number of circuli counted by spectrum analysis

Samples	Measuring length (L) mm	Actual circuli deposited	Average unit circuli number (C_{ave})		Total circuli number deposited ($C_n = C_{ave} \times L$)
			C_{ave1}	C_{ave2}	
①	6.30	259	C_{ave1}	38.46	242
			C_{ave2}	39.03	246
②	5.18	214	C_{ave1}	39.02	202
			C_{ave2}	39.05	202
③	5.65	232	C_{ave1}	39.01	220
			C_{ave2}	39.25	222
④	5.59	227	C_{ave1}	38.17	213
			C_{ave2}	37.07	207
⑤	5.86	239	C_{ave1}	38.44	225
			C_{ave2}	39.69	323

本研究における隆起線高さを計測するための演算手順をFig. 3に示す。

フィルタにはバンドパスを使用したので、フィルタリングにあたっては、通常の振動波形の周波数に相当する比隆起線数の分布領域を事前に知る必要がある。そこで、平坦化する前の隆起線曲線をフーリエ変換し、隆起線間隔の成分すなわち比隆起線数と微小うねり成分の分布を確認した。その結果をFig. 4に示す。図からわかるように、隆起線のパワースペクトルは比隆起線本数が40本ほどのところ

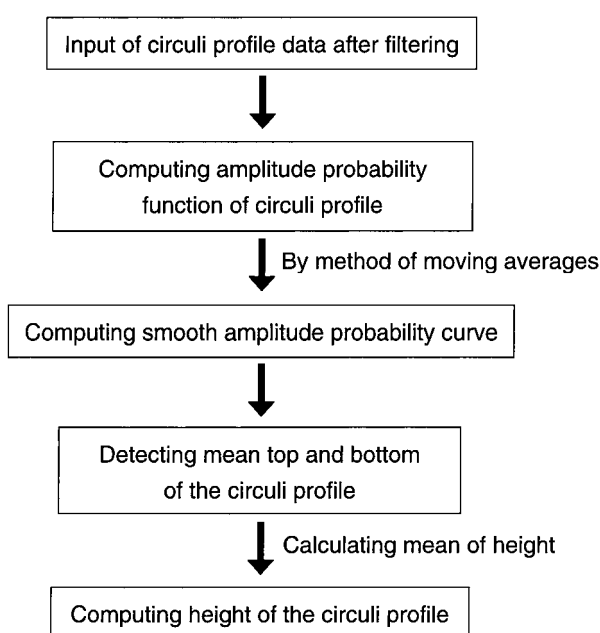


Fig. 3. Computing process for calculating the height of circuli profile

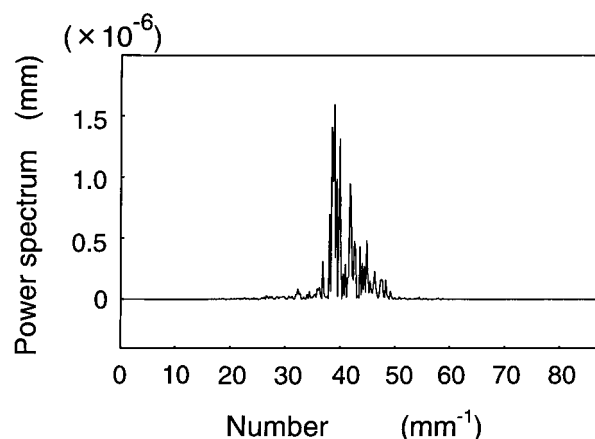


Fig. 4. Result of spectrum analysis in overall circuli profile

に強いピークがある。すなわち、この解析に用いた鱗には単位測定長さあたり約40本の隆起線が刻まれていることを示している。

この図に示すように事前のスペクトル解析により求めた隆起線の分布状況から、隆起線間隔によると思われる大きな鱗のうねり成分は単位測定長さあたり10本以下ではパワースペクトルの強度がほとんど認められなかったので、バンドパスフィルタの範囲は、単位測定長さ当たり10本から5000本に設定した。なお本研究では、多種の魚の隆起線がどの程度の範囲に分布するのかがよくわかっていないので、フィルタの範囲は大きめに設定している。しかし、魚種によってはフィルタの範囲を変更する必要があると思われる。

本研究ではバンドパスフィルタの種類の中から、Remezフィルタ、Kaiserフィルタ、Butterworthフィルタ、Chebyshev IおよびChebyshev IIフィルタ、さらにEllipticフィルタの計6種類のフィルタを用いた。そして、平坦化後の隆起線曲線の形状からフィルタリングの適性を見極めた。6種類のフィルタを通じた後の隆起線曲線をそれぞれFig. 5に示す。フィルタリングの設定によっては、隆起線の間隔と高さがフィルタリング前の隆起線曲線と少し異なる場合がある。(a)図はフィルタリング前の隆起線曲線を示し、(b)図から(g)図までがフィルタリング後の隆起線曲線を示す。フィルタリング後の隆起線曲線の中で、(b)図は隆起線が消失している。また、(c)図から(e)図までと(g)図に示したフィルタリング後の隆起線曲線は隆起線が刻まれていない両端の領域にあたかも隆起線が刻まれているような凹凸が新たに現れている。これらは隆起線本数の計数に誤差を生じさせることもあるので適当でないと考えられる。(f)図に示すチェビシェフII型IIRデジタルフィルタは、(c)図から(e)図等の現れた両端の誤差も小さく、またフィルタリング後の隆起線の高さもフィルタリング前の高さに近かった。したがって、チェビシェフII型IIRデジタルフィルタを使用することが適当と考えられる。

チェビシェフII型IIRデジタルフィルタは減衰特性が特に優れているが、位相特性が良くない¹⁵⁾。しかし、隆起線曲線を解析する場合には全体的に位相差が生じても各データ間の相関は保たれているので、ほとんど問題は生じない。したがって、本研究では以後、チェビシェフII型IIRデジタルフィルタを用いて隆起線曲線の平坦化を行った。

そのほか、隆起線曲線は正弦曲線のようにほぼ等間隔で刻まれているので、曲線の1ピッチの移動量で平均化すれば、隆起線曲線の山と谷の中心線が得られ、隆起線曲線か

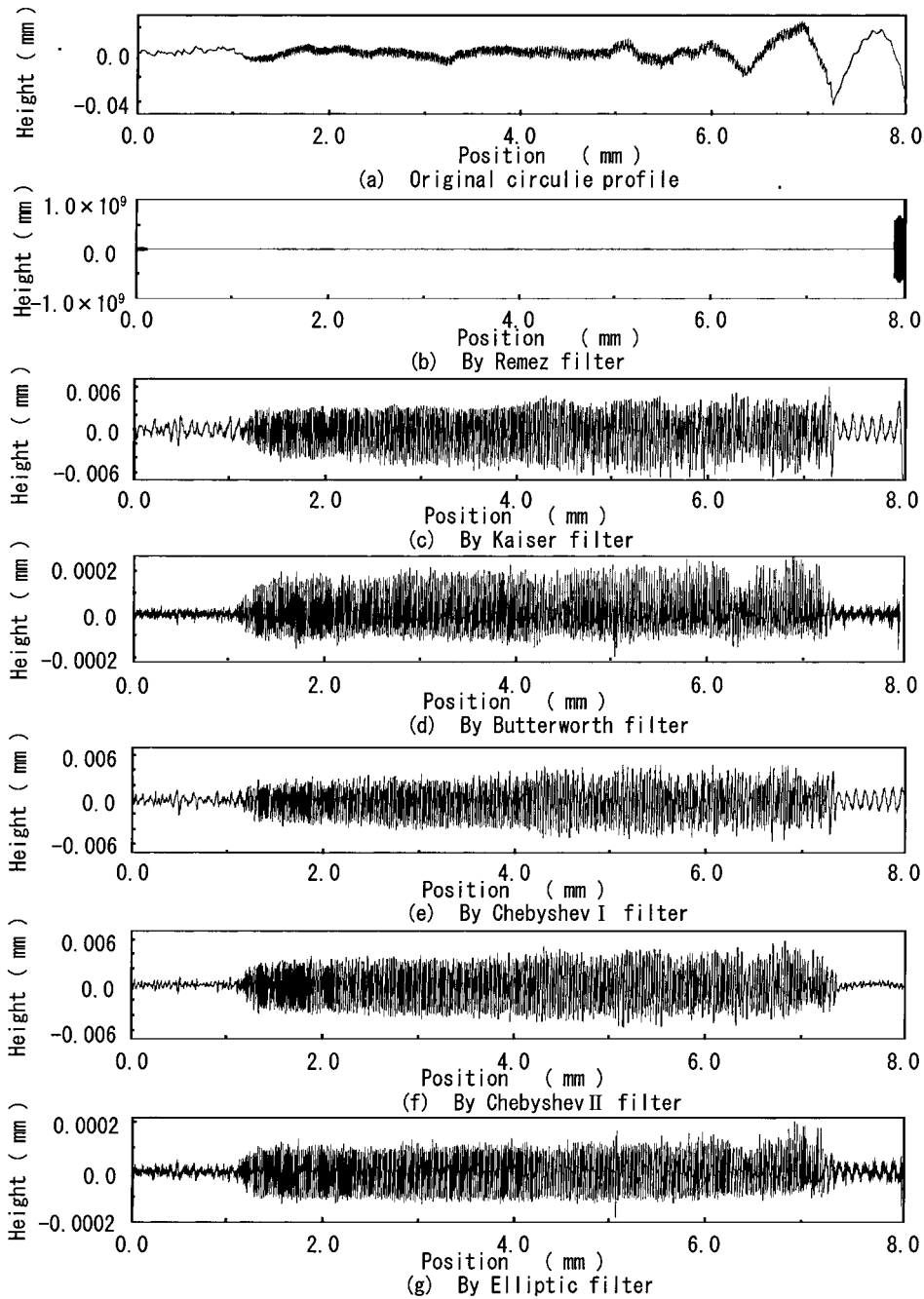


Fig. 5. Circuli profiles leveled by filtering

らこの中心線を差し引いてやると平坦化した隆起線曲線が得られる可能性がある。

ここで、隆起線曲線のサンプリングデータ点数が n 個あるとし、それぞれに対応する隆起線曲線の高さのデータを S_1, S_2, \dots, S_n とする。そして、移動平均の移動量、すなわち平均する量を m とすると、 i 番目の平均値 \bar{S}_i は次式で表される。

$$\bar{S}_i = \frac{S_{i-m} + S_{i-m+1} + \dots + S_i}{m} \dots (4)$$

このようにして、 i を1から n まで順次行くと隆起線曲線の平均値 $\bar{S}_1, \bar{S}_2, \dots, \bar{S}_n$ を求めることができる。そして高さの各点に対し、移動平均法で求めた平均値を差し引くことで、原理的には平坦化した隆起線曲線を得ること

ができる。

しかし、移動平均量と隆起線曲線のピッチが概略一致していない場合には、平均値が山と谷の中心からずれることになり、移動平均化した後の曲線にずれからくる微小凹凸が残ることになる。したがって、微小うねりは除去できても、隆起線曲線の山の高さが移動平均処理を行う前の高さと変わることになるので好ましくない。

Fig. 6に、移動平均法とフィルタリングにより平坦化された隆起線曲線の一例を示す。一番上の曲線は平坦化に用いた隆起線曲線を示し、真ん中の曲線は移動平均法により平坦化した曲線を、また一番下の曲線はフィルタリングにより平坦化した曲線を示す。Fig. 6の解析に用いた範囲は、隆起線形状が明瞭に認められる箇所を平坦化したものであるが、移動平均法を用いた場合、隆起線の山の高さが若干小さくなっているのが認められる。これは、隆起線のピッ

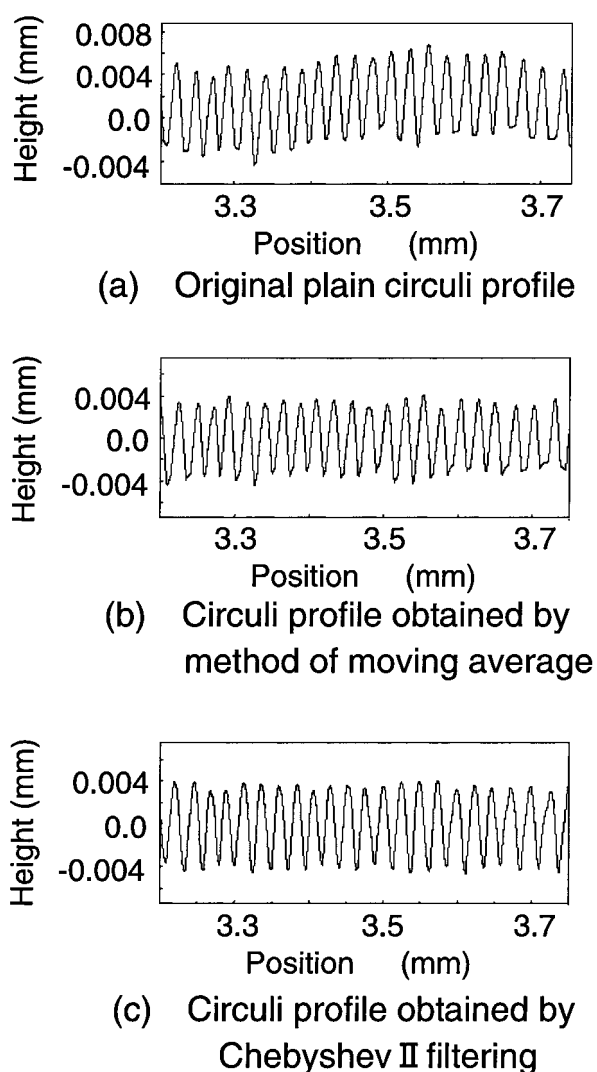


Fig. 6. Feature of circuli profiles leveled by different procedures

チと移動平均量が完全に一致している訳ではないので、移動平均後も少しの凹凸が残り、平坦化する前の隆起線曲線から平均曲線を差し引いて得られた平坦化された隆起線曲線に、高さの変化が生じやすいためである。したがって、移動平均法では隆起線本数を計数するときに誤差が生じやすくなるとともに、隆起線の高さを求めるときに不都合が生じる。また、移動平均法はコンピュータによる演算処理にフィルタ処理より時間がかかることもわかった。

フィルタリングは、波形の平坦化に適するフィルタを選定する必要があるが、選定した後はコンピュータの演算時間は短く、迅速な解析が行える特徴を持つ。

隆起線が明確に刻まれている範囲で、フィルタリングによる計測誤差はほとんどなかったため、本研究ではフィルタリングにより平坦化した隆起線曲線（以後、この曲線を平坦化隆起線と呼ぶ）を、隆起線の本数や高さのコンピュータ演算処理に用いた。

4.2 概数計測法と計測例

平均的な隆起線高さの計測には、確率密度関数（以後、振幅分布と呼ぶ）を用いた。

隆起線の形状は、三角関数の正弦波形で概略近似できる。ここで仮に正弦波形の振幅分布を求めると、正弦波の頂上部と谷底部で大きなピークが得られ¹⁰⁾、容易に山の高さが検出できる。もし隆起線形状が正弦波形に似た形状ならば、隆起線の頂上部と谷底部でピークが得られ、隆起線の平均的な山の高さを求めることができる。

いま、演算過程の説明を容易にするため、振幅分布の例をFig. 7に示す。任意の波形 $H(x)$ を考えたとき、その振幅値が h と $h+\Delta h$ の間にある長さの和 $\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n$ の、測定長さ L に対する割合、すなわちその確率は(5)式で示される¹⁵⁾。

$$\frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n}{L} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i}{L} \dots \dots (5)$$

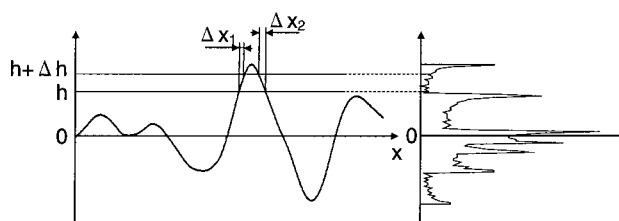


Fig. 7. Example of amplitude probability function of circuli profile

マダイの鱗に刻まれていた隆起線の振幅分布の解析例を Fig. 8 に示す。実際の隆起線は三角関数の正弦波形とは違うので、正弦波形の山と谷に相当する位置に表れる強くて大きなピークは認められないが、図中には三つのピーク、すなわち図の横軸の -0.004mm と $+0.003\text{mm}$ 近傍と中心部に大きな山が認められた。この内、左側の低いピークは隆起線の谷底の平均深さを表し、右側の低いピークは頂上部の平均高さを表している。また中心部の高いピークは、隆起線のほとんど刻まれていない部分の小さな凹凸によるものである。両端の低い二つのピークの差が、平均的な隆起線の山の高さを表すことになる。

しかしこの振幅分布には、あたかも雑音と同じような不規則な微小波形が含まれている。不規則な微小波形を含んだままの振幅分布から、隆起線の頂上部と谷底に相当する二つのピークを明確に求めることは困難である。コンピュータにより自動的に隆起線の高さを計測させるためには、この不規則な微小波形を取り除き、明確な二つのピークを求める必要がある。そのため、この微小波形を移動平均により平滑化処理することにより取り除いた後の振幅分布をピーク解析し、隆起線の頂上部と谷底に相当するピーク値を検出した。その結果を Fig. 9 に示す。図中、 -0.0035mm 付近と $+0.0023\text{mm}$ 付近に立っている鋭い三角波形が、谷底と山の頂上を示すピークである。得られた二つのピーク値の間隔を求めることによって、隆起線の平均的な高さを算出した。具体的には、この隆起線の平均高さは約 0.006mm であることがわかった。

ここで求めた隆起線の平均的な高さは、隆起線が明確に刻まれていない範囲も含んだ状態のものから得られたものである。このままの状態では、隆起線の平均高さが求められると、明確な隆起線が刻まれていない範囲を予め除去するという余分な処理が不要になるので、演算が容易になる利

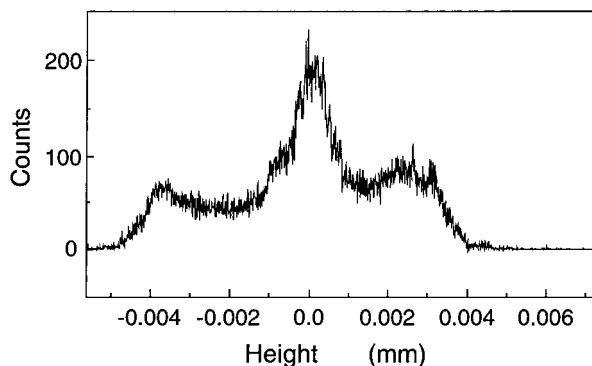


Fig. 8. Amplitude probability analysis of hole circuli profile

点がある。しかし、その有用性については検証が必要となる。

いま、隆起線が明確に刻まれている範囲のみから得られた隆起線の振幅分布を Fig. 10 の上部に示す。同図の下部は、平坦化後にピーク解析して得られた隆起線の頂上部と谷底の平均値である。

Fig. 8 に示した隆起線が明確に刻まれていない部分を含む隆起線の振幅分布と比較した場合、中央部の大きなピークを取り除くと、どちらの振幅分布もほとんど同じ形状を示しているのがわかる。また、得られたピーク値もほとんど

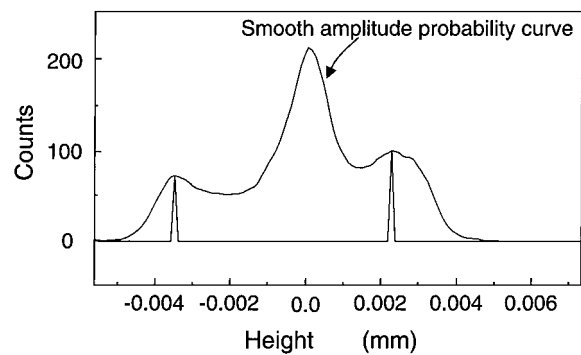
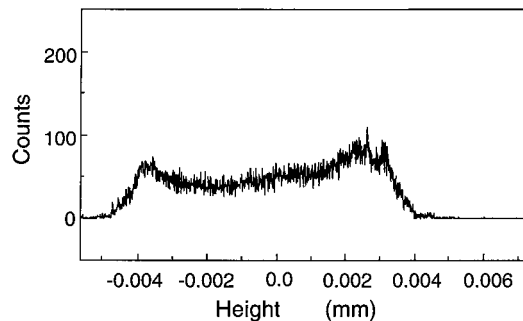
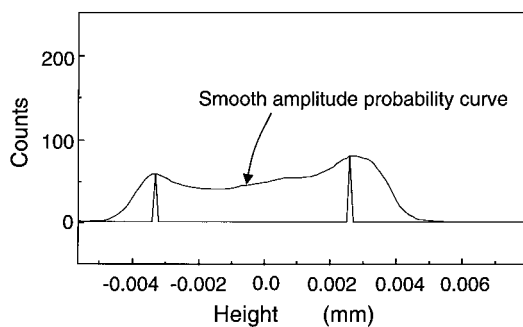


Fig. 9. Detecting the top and bottom of circuli profile



(a) Amplitude probability analysis of distinct circuli region



(b) Detecting the height of circuli profile

Fig. 10. Amplitude probability analysis and detecting the height of circuli profile

ど同じであった。

これにより、隆起線が明瞭に刻まれていない部分を含んでいても、隆起線の頂上部と谷底の平均振幅分布はほとんど変わらないので、特別な考慮をせずに隆起線高さを求めることができることがわかった。

隆起線の振幅分布から求めた隆起線の高さは、隆起線全体の平均高さを表したもので、個々の隆起線の高さを表したものではない。したがって、個々の隆起線の高さより少し小さい値になっている。しかし、相対的な隆起線高さを比較する場合には有効であると考えられる。

5 ピーク解析法¹⁶⁾による隆起線本数の正確な計測

5.1 計測の概念

ピーク解析法による隆起線の本数計数は、実際に刻まれている隆起線の本数を計数するので精度はよい。ピーク解析法の概要をFig. 11に示す。図中、上の曲線が隆起線曲線を示し、下の曲線がその傾きすなわち微分を表す。ピーク解析法は、対象波形に沿って順次その傾き、すなわち直前の値との差分を調べて、曲線の極大値や極小値を示す位置を探す方法で、極大値が隆起線の山の頂上に、また極小値が谷底に相当する。

図中の曲線には、二つの山と一つの谷が表されているが、これらの極大・極小の位置は、曲線を微分したときの値がゼロの点から求められる。そして得られた極大・極小値に、しきい値を与えることによって、それ以上のピーク値、すなわち隆起線の山のみを検出できる¹⁶⁾。

ピーク解析法による隆起線本数の計測手順の概要を、Fig. 12に示す。

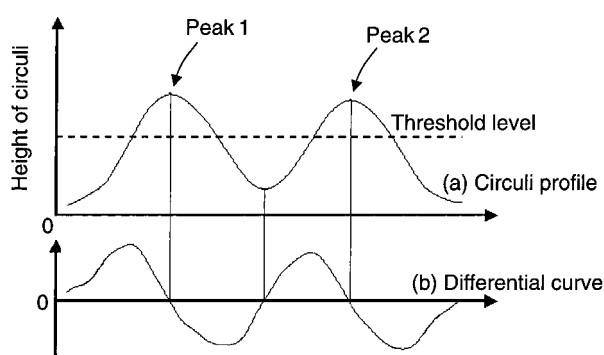


Fig. 11. Schematic circuli profile and its differentiation for computing the profile peak

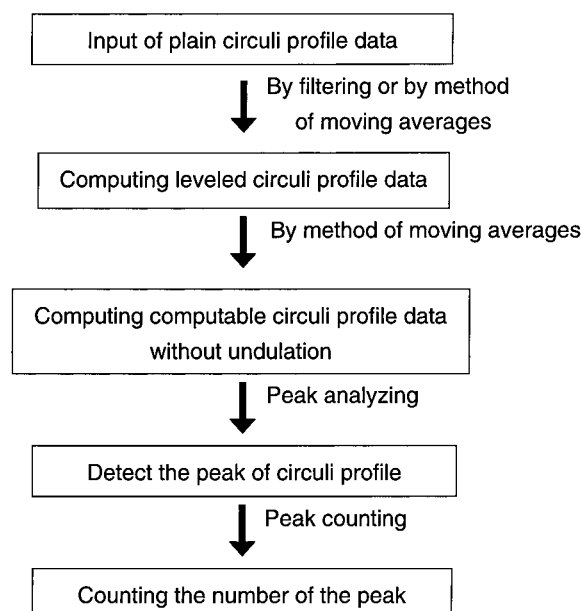


Fig. 12. Counting process of the number of circuli

5.2 隆起線頂上の微小凹凸の除去

この隆起線曲線の山の高さがほとんど同じで、かつなめらかであれば、ピーク解析法によってピーク値を検出できるとともに、それにしきい値を設けることにより容易に本数を計数できる。前節では、隆起線曲線の山の高さを平坦化し、高さの不揃いに起因する誤差を除去する方法について述べるとともに、平坦化にはフィルタリングが適していることを述べた。これにより、ピーク解析で得られたピーク値にしきい値を設定することにより隆起線本数の計測が容易に行えるようになった。しかし、実際の隆起線の表面はなめらかではなく、微小な凹凸を含んでいる。したがって、前節で述べた平坦化隆起線には微小な凹凸が含まれている。これにピーク解析処理を行うと、この凹凸の部分で曲線の微分値が正から負へ変化する可能性がある。このようなところでは、コンピュータはピークがあると判断し、あたかも隆起線が存在するかのように計数する。したがって、コンピュータによる隆起線の本数計測では、光学顕微鏡等を用いて肉眼で計測した本数より多く計数される場合が多々ある。

Fig. 13に平坦化隆起線の一部と隆起線の頂上部を拡大したものを示す。隆起線は全体的にはなめらかに見えるが、拡大すると、隆起線頂上部が微小な凹凸があることがわかる。具体的には、Fig. 13の下図に示すような微小な凹凸を持つ隆起線頂上部にピーク解析処理を行うと、ピーク値が二本検出されてしまう。しかし顕微鏡では、これは1本の隆起線として観察されるので、計数処理上好ましくない。

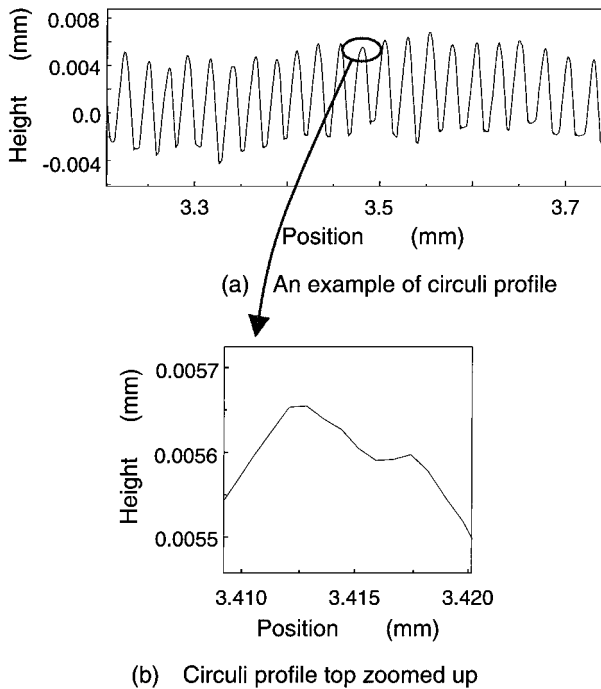


Fig. 13. Some small peaks existing in a typical circulus top
 (a) An example of circuli profile
 (b) Circulus top zoomed up

そこで移動平均法で、隆起線曲線を平滑化した。この平滑化は、4.1節で述べた隆起線曲線の平坦化とは異なり、曲線のみをスムーズにする処理である。

移動平均法を利用して平滑化した曲線を、平滑化前の曲線と比較し、Fig. 14に示す。(b)図が平滑化前の隆起線頂上部を示し、(c)図が平滑化した後の頂上部を示したものである。

本研究では、隆起線の本数や間隔をコンピュータで自動計測するのに、平坦化隆起線に、本節で述べた平滑化した隆起線曲線を用いた。したがって、以後の説明を簡略化するために、この平坦化隆起線を平滑化した曲線を本数演算用隆起線と呼ぶことにする。

5.3 隆起線本数の自動計数

本研究では、隆起線が明確に認められる領域について隆起線の自動本数計測を行った。隆起線の本数は、本数演算用隆起線にピーク解析処理を施し、検出されたピーク値を計数することによって計測した。本数演算用隆起線のピーク的位置を検出した状態を、Fig. 15に示す。隆起線の頂上部とコンピュータで自動検出処理されたピーク的位置が一致しているのがわかる。

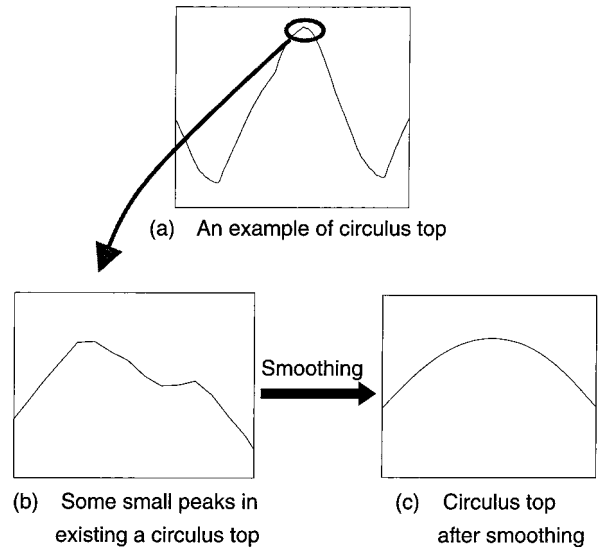


Fig. 14. Circulus top smoothed by the method of moving averages
 (a) An example of circulus top
 (b) Some small peaks existing in a circulus top
 (c) Circulus top after smoothing

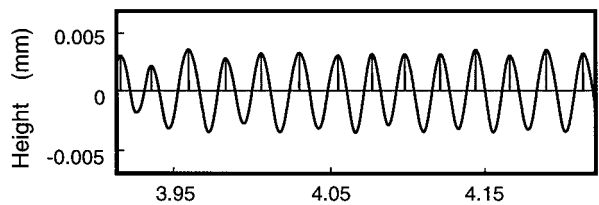


Fig. 15. Result of detecting and counting of computable circuli profile

5.4 隆起線間隔計測への応用

5.3節では、鱗の湾曲を除去するとともに隆起線検出時の鱗の個体間誤差を最小にする処理を行った隆起線曲線に、計測誤差を少なくするための平坦化や隆起線頂上部の微小凹凸を平滑化して得られた本数演算用隆起線にピーク解析処理を行い隆起線の本数を計測したが、得られたピーク間の位置の差を計算すると、本手法は隆起線の間隔を求めることに応用できる。

6 結 言

本研究では、隆起線から得られる多量の情報を、パーソナルコンピュータ等を活用し、統計的に解析する手法を開発することを目的にして研究を行った。本研究のおもな成果をまとめると以下ようになる。

- 1) スペクトル解析法により隆起線の平均本数や間隔を簡

- 易に求める方法を開発した。
- 2) 確率密度分布法を応用し、隆起線の高さを計測する手法を開発した。
 - 3) さらに、ピーク解析法を応用し、隆起線の本数や間隔をコンピュータで詳細に計測する手法を開発した。

文 献

- 1) 戸嶋孝・桑原昭彦・藤田真吾：若狭湾西部海域におけるマダイの移動と鱗の第一輪紋径との関係について, 日水誌, 62-4, 586-591 (1996).
- 2) 戸嶋孝・桑原昭彦・藤田真吾：第一輪紋径からみた若狭湾西部海域におけるマダイ群の移出入, 日水誌, 64-4, 665-670 (1998).
- 3) 高場稔：マダイの年成長量の年変動, 日水誌, 63-4, 563-569 (1997).
- 4) 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, 日水誌, 63-6, 892-898 (1997).
- 5) 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).
- 6) 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, 日水誌, 56-3, 437-443 (1990).
- 7) 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, 日水誌, 61-3, 316-319 (1995).
- 8) 荒井修亮：マダイ稚魚の耳石・鱗による環境履歴, 日水誌, 62-1, 136-137 (1996).
- 9) 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, 日水誌, 62-2, 213-216 (1996).
- 10) 江副 覚：触針式表面粗さ計による鱗の隆起線の解析, 水産大学校・釜慶大学校学術交流懇談会講演論文集, III155-178 (1999).
- 11) 江副 覚・永尾公壮・太田博光・今井千文：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, 水大研究報告, 53-4, 159-167 (2005).
- 12) 日野幹雄：スペクトル解析, 朝倉書店, 東京, 1977, pp. 193-208.
- 13) 中村尚五：ビギナーズデジタルフィルタ, 電機大出版局, 東京, 1995, pp. 17-132.
- 14) 豊田利夫：設備診断のための信号処理の進め方, 日本メンテナンス, 東京, 1996, pp. 46-64.
- 15) 南 茂夫：科学計測のための波形データ処理, CQ出版社, 東京, 1992, pp. 69-72.
- 16) 南 茂夫：科学計測のための波形データ処理, CQ出版社, 東京, 1992, pp. 111-121.