



Title	自己相関法によるシロザケの鱗相の解析
Author(s)	川島, 利兵衛; KAWASHIMA, Rihei; 久新, 健一郎 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 15(1), 25-33
Issue Date	1964-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23211
Type	departmental bulletin paper
File Information	15(1)_P25-33.pdf



自己相関法によるシロザケの鱗相の解析

川島利兵衛 · 久新健一郎

(北海道大学水産学部運用学教室) (北海道大学水産学部資源学教室)

On the Analysis of Chum Salmon Scale Pattern by Use of Auto-correlation Coefficient

Rihei KAWASHIMA and Ken-ichirô KYUÛSHIN

Abstract

Chum salmon scale is cycloid. The notable feature of this scale pattern is the relative approximation of ridges which is formed concentric about the focus. It is considered that the approximation of ridges depends upon the rates of scale growth and ridge formation. In a scale pattern, the ridges are given number from the focus toward outside of the scale successively on the axis. This is called the ridge number.

Presuming the ridge number as the biological time measure, the variations of the distance between the successive ridge versus ridge number shall represent the fluctuation curve. On this fluctuation curve, an attempt for analysing the scale pattern was made by the use of auto-correlation coefficient and power spectra in the present work.

Scale used in the analysis were collected from four rivers from the coasts of the Northern Pacific, that is, the Yukon, Skeena, Bolshaya and Amur rivers.

Considering the results in which the correlogram and spectra were calculated by the above mentioned from these data, the result for Canada-American area exceedingly differ from that of Asian area in 1959, but the result for the Yukon river stock is clearly distinguished from that of the other three river stocks in 1960. In the Canada-American area, it is also recognized that there is considerable difference between each river stock, and even between year class groups.

As to the expression of correlogram itself, it is considered that a correlogram is composed of two kinds of component that are random component and periodic one. Then, it is deduced that the population series of the approximation of ridges against this correlogram contain those two components.

Concerning the periodic component which are seen in power spectra, the remarkable difference between each river stock are recognized, but the range of periods almost coincide with each other, that is to say, the number of ridges between zones of compact ridges or zones of widely spaced ridges were about 18 to 24, in 1959 and 1960.

It is concluded that the characteristics of scale pattern which are shown in the results of analysis by the correlogram and power spectra are of use to distinguish the river stock of chum salmon.

I 緒 言

シロザケの鱗は円鱗で、鱗相の特徴は主として隆起線間隔の広狭によって示されている。隆起線形成の粗密は、鱗縁辺部の鱗の伸の度合と隆起線の形成率の変化によってできると考えられる。隆起線は広い意味で生物学的時間きざみを示すものと考えられ、この時間経過における鱗の伸び（隆起線間隔）の変化は不規則な波動を示す。よって自己相関法を用いて鱗相の特徴の解析を試みた。

自己相関法は近年理工学、医学および生物学の研究において、データ処理技術の発展とともに重要な役割をはたしてきつつある。すなわち、自動制御系の統計的処理、雑音の中にかくされた信号の検出あるいは予測問題の解明に、さらに生物の生理生態現象の解明においても自然の不規則な現象の中に潜在している本質の検出等に用いられている。自己相関法の実際的な解析手法は「定常確率過程のスペクトル解析」¹⁾として、統計数理研究所によって紹介されている。

本研究は北海道大学水産学部および北海道区水産研究所の検鱗機研究グループで行なっている自動検鱗機試作および鱗相解析の研究の一環として行なったものである。

本文に先だち、終始適確なるご指導をたまわり本報告をご校閲下さった北海道大学水産学部黒木敏郎教授、幾多の有益なるご助言を下された同学部佐藤修および久保達郎助教授並びに北海道区水産研究所米盛保技官に厚くお礼申しあげる。資料の使用に関しては、北海道区水産研究所花村宣彦遠洋資源部長から格別のご便宜をはかっていただいた。あわせて謝意を表する。

II 材料および鱗の測定方法

鱗の標本はカナダ・アメリカ水域のユーコン河およびスキナー河、アジア水域のポリシャ河およびアムール河の4地点で、1959 および 1960 年の2カ年にわたり7~8月の間に漁獲されたシロザケ

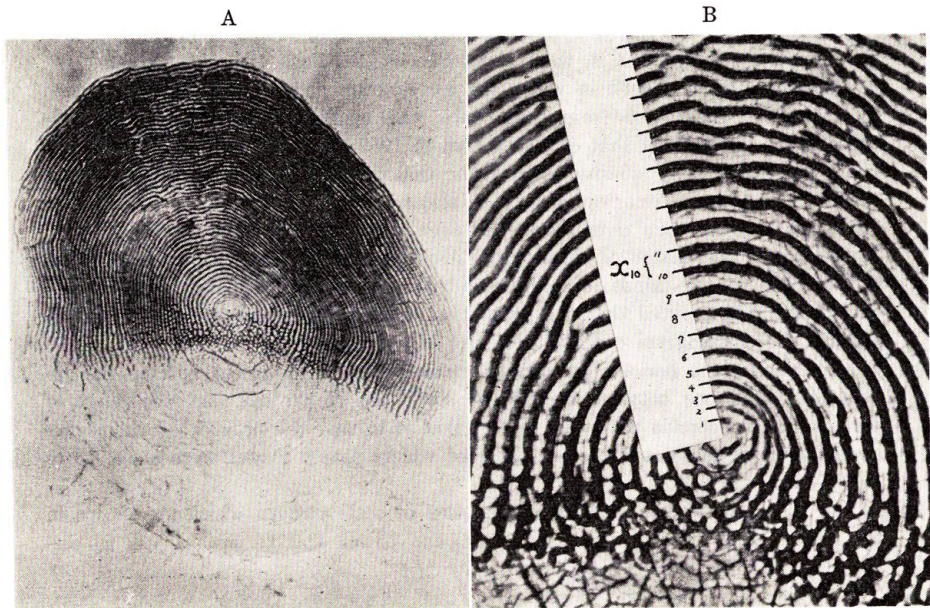


Fig. 1. A: Scale pattern of chum salmon
 B: Central portion of scale showing the standard of distance between ridges

から採取した。鱗相は発生年級群で異なると考えられるので、4才魚を研究の対象とした。調査個体数は各河川群とも雌雄おのおの5尾である。ただし、1960年のポリシャヤ河川群についてはプラスチック板に圧印された鱗相は不鮮明なものが多いため、雌では4尾より測定していない。

鱗はすべてプラスチック板に圧印したものを使用した。鱗の測定はオリンパス万能投影機で100倍に拡大した映像上で行なった。測定軸を鱗の最長軸に選定し、隆起線の外縁間の距離を隆起線間隔とした(第1図)。採鱗魚体部位は背鰭後端から油鰭の間で側線の上下の部位である。測定した鱗は1個体1枚である。

なお、自己相関係数およびパワースペクトルの計算は、当学部のデジタル型自動自己相関係数計算機で行なった。

III 鱗の隆起線間隔の函数表示並びにコレログラムおよびパワースペクトルの計算

鱗の中心より隆起線をかぞえ、それを生物的時間測度として t で表わし隆起線間隔を $\alpha(t)$ とする。時間 t の変化にともなって変動する $\alpha(t)$ をここでは隆起線の時系列と呼ぶ(第2図)。この隆起線の系列は無数に選ぶことができるので確率過程 $S=\alpha(t, \omega)$ で示されることになる。隆起線の時系列が定常確率過程からの任意標本であり、しかもエルコード性をもつという前提のもとにコレログラムを計算しパワースペクトルの推定を行なう。

任意の個体から標本抽出された鱗の隆起線番号 i に対する隆起線間隔の読み取り値を α_i 、隆起線数を M とし、平均 $\bar{\alpha}$ および平均からの偏差 $\hat{\alpha}_i$ をまず求める。

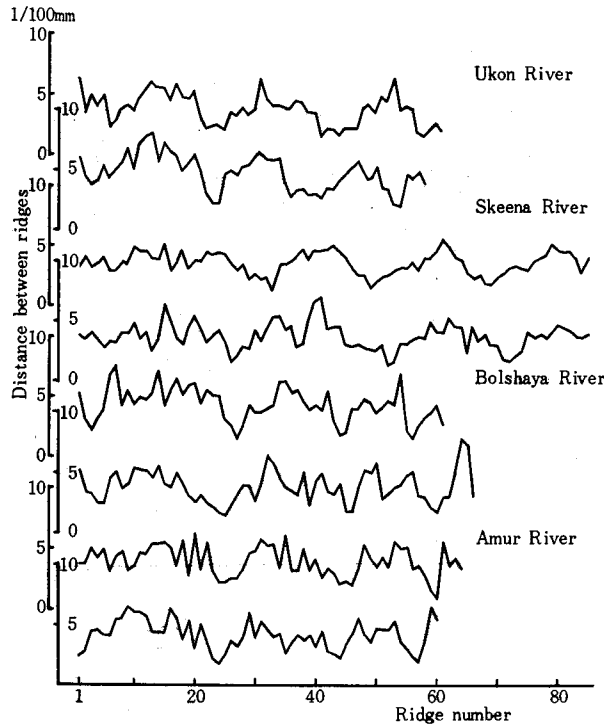


Fig. 2. Variations of the distance between ridges versus the ridge number

$$\bar{x} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i \quad i=1, 2, \dots, M \quad (1)$$

$$\hat{x}_i = x_i - \bar{x} \quad i=1, 2, \dots, M \quad (2)$$

(2) 式で求めた M 個の偏差を用いて共分散 $C_{xx}(k)$ を計算する。

$$C_{xx}(k) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M-k} \hat{x}_i \cdot \hat{x}_{i+k} \quad k=0, 1, 2, \dots, h \quad (3)$$

個々の鱗の隆起線数は約 50~80 程度であるから、スペクトル分割数 $h=36$ として計算する。自己相関係数 $R_{xx}(k)$ は次式で求められる。

$$R_{xx}(k) = C_{xx}(k) / C_{xx}(0) \quad (4)$$

(4) 式の $R_{xx}(k)$ のグラフをコレログラムという。また (3) 式の $C_{xx}(k)$ のグラフをもコレログラムと呼んでいる。

$C_{xx}(k)$ の値からパワースペクトル $\bar{P}_x(f)$ を求める。

$$\bar{P}_x\left(\frac{r}{2\Delta th}\right) = \Delta t \left[C_{xx}(0) + 2 \sum_{k=1}^{h-1} C_{xx}(k) \cos \frac{\pi}{\Delta th} rk + (-1)^r C_{xx}(h) \right] \quad (5)$$

(5) 式で $f = r/2\Delta th$, 隆起線間隔の読み取り間隔 $\Delta t = 1$, $r = 0, 1, \dots, h$ である。

パワースペクトルに平均化係数を用いて最終的なパワースペクトル $\hat{P}_x(f)$ を算出する。

$$\hat{P}_x\left(\frac{r}{2\Delta th}\right) = \Delta t \left[0.23 \bar{P}_x\left(\frac{r-1}{2\Delta th}\right) + 0.54 \bar{P}_x\left(\frac{r}{2\Delta th}\right) + 0.23 \bar{P}_x\left(\frac{r+1}{2\Delta th}\right) \right] \quad (6)$$

$\Delta t = 1$, $h = 36$ であるから (5) および (6) 式で求めた隆起線時系列のパワースペクトルは, 0, 1/72, 2/72, 3/72, ..., 36/72 の隆起線周波数について計算したことになる。

IV 結果および考察

生物的時間測度 t に対するコレログラム $C_{xx}(k)$ の形の一例として 1959 年のユーコン群の結果を示した(第 3 図)。個体別には図示していないが類似した変化を示すので、雌雄ごとに平均値を求めたものである。図で性間に有意と考えられる差異は認められない。その他の資料についてもその結果はほぼ同様であるので、年次別に各河川群の雌雄の平均値を求め、これよりコレログラム $R_{xx}(k)$ を算

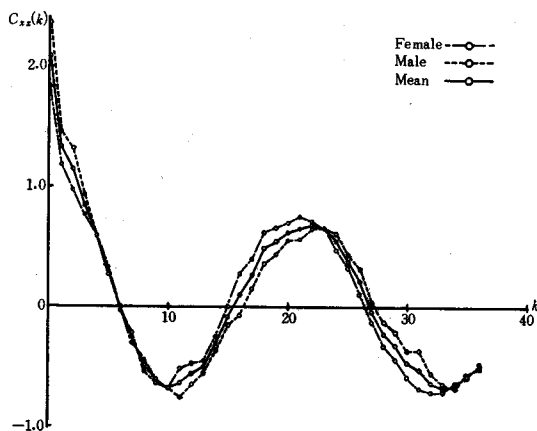


Fig. 3. Correlogram of the distance between ridges calculated from the data for the Ukon river in 1959

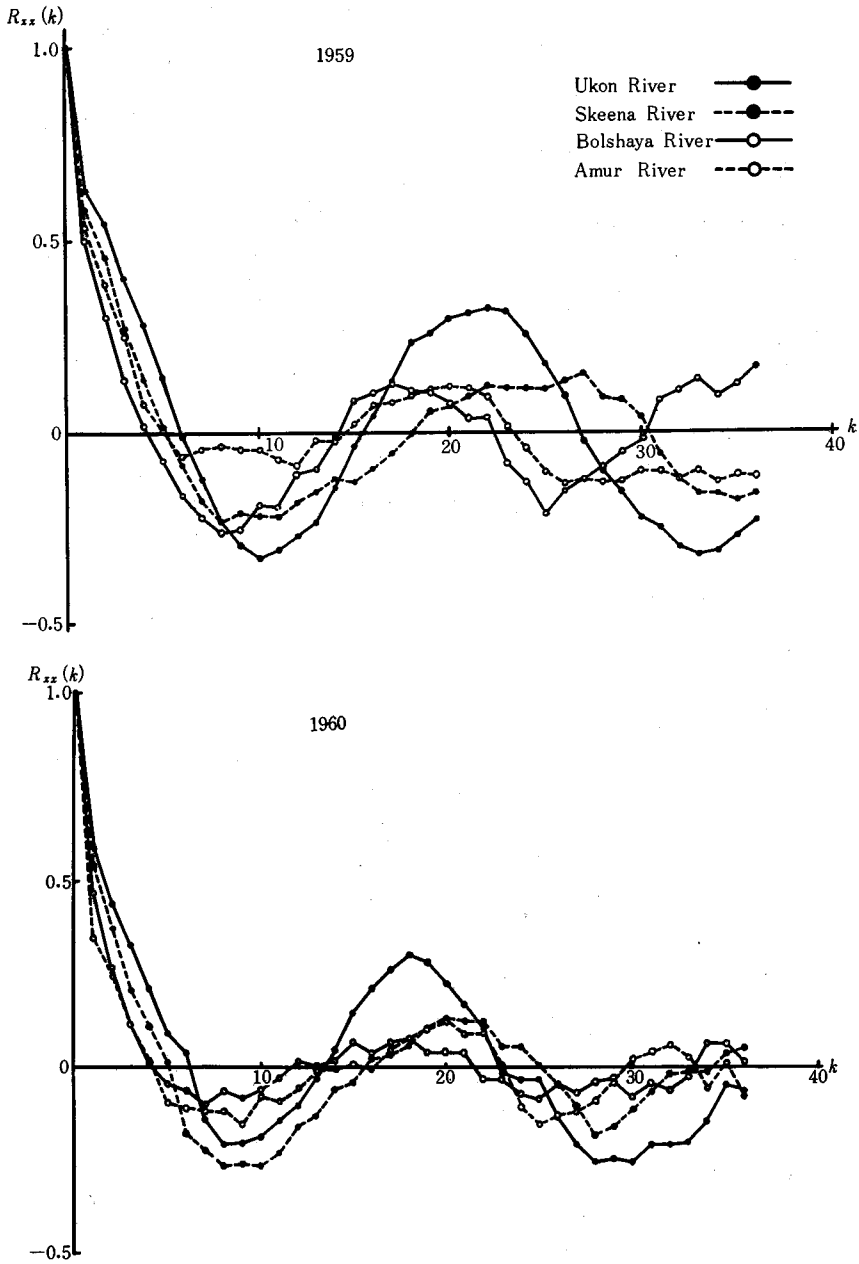


Fig. 4. Correlogram of the distance between ridges, $C_{xx}(k)$

出した(第4図)。いずれの結果も t に対する $R_{xx}(k)$ の形は波動的である。1959年の結果では、 $t=0$ の時の値を除けばその最大値はポリシヤ群およびアムール群の両者で t の値が 18 前後のところにあり、最小値は 9 および 26 前後のところにみられる。一方、ユーコン群およびスキナー群では最大値は前者で t の値が 22、後者では 25 前後のところに、また最小値はともに 10 および 34 前後のところにあって、いずれもアジア水域の結果に較べて t の値が大きい方に出現している。 $R_{xx}(k)$ の最大および最小値の絶対値はユーコン群が他の 3 河川群より大きい。1960年の結果では最大および最小値がみられる t の値には河川群間で差異は認められないようであり、ユーコン群の最大および最小値の絶対値が他の河川群に較べて極めて大きいのが特徴である。 $R_{xx}(k)$ の値は $t=0$ の時 1 であり、 t が大きくなるとともに急激に減少しているが、この減少傾向については河川群間に有意と考えられる差は認められないようである。

コログラム $C_{xx}(k)$ (第5図) は実際の変動量を示すものであって、その最大および最小値の位置は $R_{xx}(k)$ の場合と同様である。しかしコログラムの形は $R_{xx}(k)$ の場合とは若干相違し、ユーコン群の最大および最小値と他の河川群のそれとの間には、 $R_{xx}(k)$ にみられた以上の顕著な差異が認められる。

次に $C_{xx}(k)$ の値を前述の (5) および (6) 式による変換 (Fourier cosine) によって処理して

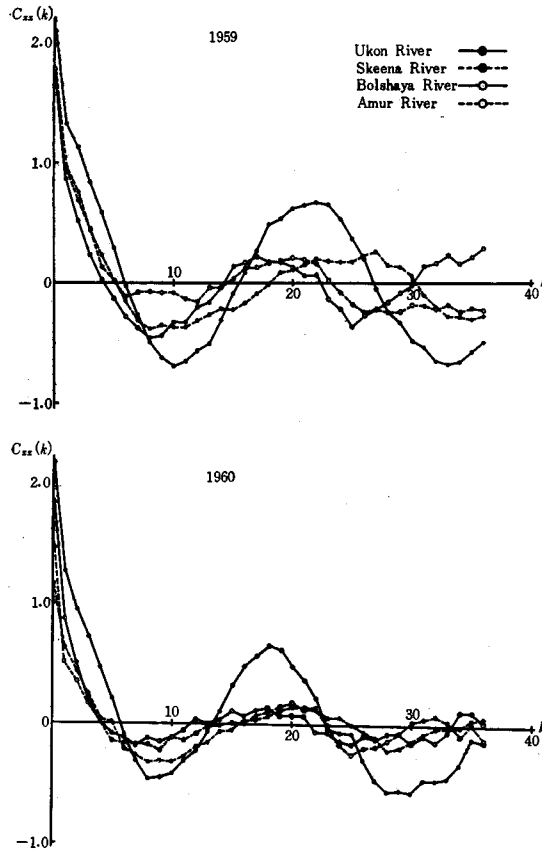


Fig. 5. Correlogram of the distance between ridges, $R_{xx}(k)$

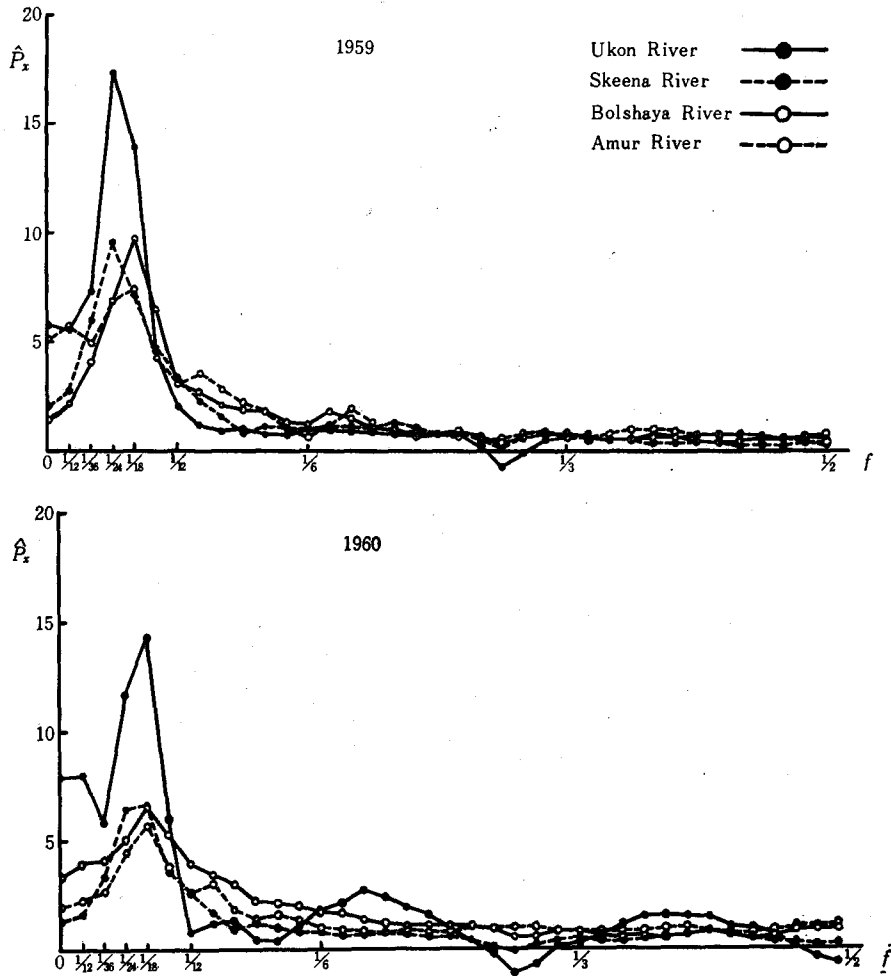


Fig. 6. Power spectra

スペクトル密度分布(第6図)を求め、コレログラムを周波数領域においてその特性を指摘すると、 \hat{P}_x の顕著な峰がみられる f の値は1959年の結果では、ユーコン、スキナー、ポリシャヤおよびアムールの各河川群でそれぞれ約 $1/20$, $1/24$, $1/18$ および $1/20$ に、また1960年の結果ではそれぞれ約 $1/20$, $1/20$, $1/18$ および $1/18$ である。その峰の \hat{P}_x の値はユーコン群が他の河川群より極めて大きい。またスキナー群とポリシャヤ群の間にはほとんど差は認められず、それらの値はユーコン群の約 $1/2$ である。アムール群の値はスキナーおよびポリシャヤ群より若干小さい。各河川群の値を年次で比較すると、1960年の値は1959年よりいずれも小さく、相似的な変化を示しているようである。なお、ユーコン群および1959年のアムール群の結果には隆起線数72以上の長周期成分の存在が認められる。

鱗の隆起線間隔の測定値から求めたコレログラムは型の異なった成分から構成されていることが推定される。すなわち、この成分を分離して母系列の型を想定すると、第1種持続性(Random compo-

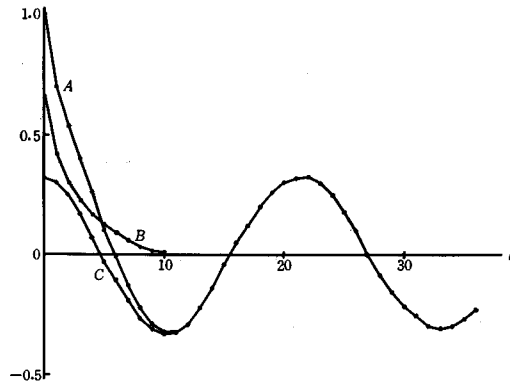


Fig. 7. Component of correlogram

A represents the correlogram of the distance between ridges, $R_{xx}(k)$;
B represents random component; C represents periodic component.

nent) および周期性 (Periodic component) の 2 型に大別できる (第 7 図)。

第 1 種持続性は周波数応答系では外囲刺激に対する系自体のその刺激を減衰させようとする性質であるから、鱗の場合には環境の刺激に対するシロザケの内部的反応特性を示すものと考えられる。本研究に用いた材料は、シロザケの鱗相の諸研究²⁾³⁾⁴⁾の結果から考えて、それぞれ異なった系統群または地方群から得た鱗の標本であると考えられるが、第 1 種持続性で示される特性は河川群および年級群で差異は認められないようであり、これはシロザケのもつ種的内部特性と考えてよいであろう。一方、周期性には河川群および年級群で差異が認められる。コレログラムから想定される周期性は単一なものではなく、いくつかの異なる周波数の波形が複合されたもので、それらはシロザケ自身の外囲環境条件、例えば水温、餌料等の変化並びに成長、成熟等の生物的条件の変化を反映したものと見做される。シロザケはその生涯に一度成熟し産卵することと、成長その他の生物的性質は環境条件によって大きく影響されると考えられるところから、周期性の主因は環境的なものであろうと推定される。本研究では鱗相に反映している条件を適確にしかも具体的に指摘することはできないが、コレログラムおよびパワースペクトルの結果から、総合的な意味でユーコン群の経歴条件の変化は他の河川群のそれより顕著に大きいといえることができる。

周期性の周波数およびそのパワー (振幅の 2 乗) はすでにパワースペクトルの結果に示した通りで、隆起線形成の密部から密部または粗部から粗部にいたる隆起線数は約 18~24 本の範囲内にあり、カナダ・アメリカ水域の河川群の数がアジア水域の河川群より若干多いようである。また隆起線間隔の変動はユーコン、スキナーまたはポリシャヤ、アムールの河川群の順に大きいことが推定される。ユーコン群および 1959 年のアムール群に認められた長周期成分は、隆起線の時系列 (第 2 図) について考えると隆起線間隔が鱗径の増大とともに小さくなって行くことを示すもので、鱗相の一つの特性値と考えられる。しかし、この特性が外囲環境条件を反映しているものであるのか、あるいは河川群または年級群のもつ内在的性質を示しているものであるのか未詳である。

サケ・マス類の鱗相の計測的解析についての研究は極めて多く、系統群の識別のために鱗の中心から休止帯までの長さおよびその間にある隆起線数、あるいは鱗の特定部位における単位長間の隆起数または特定数の隆起線が形成されているところの鱗の長さ等がその指標として用いられている。本研究においては経歴条件が反映していると考えられる隆起線間隔の計測値をすべて使用して鱗相の特徴を解析したものであり、この点が既往の諸研究と異なる。将来の研究で魚群の生活してきた環境条件

および魚自体の生物的内部条件を測定することができれば、さらに相互相関係数等を用いて隆起線間隔に変動を与えている要因を明らかにすることができるであろう。

V 要 約

シロザケの鱗相を自己相関法で解析し、その特徴を指摘した。鱗の標本はカナダ・アメリカ水域のユーコンおよびスキナー並びにアジア水域のボリシャヤおよびアムールの4河川の魚群から、1959および1960年の2カ年に採取した。

コレログラム(第4図)の形は波動的で、これより母系列の型を想定して第1種持続性および周期性の2成分に別けた(第7図)。第1種持続性については河川群および年級群で差異は認められないが、周期性はカナダ・アメリカ水域とアジア水域の資料で、またカナダ・アメリカ水域の資料でもユーコン群とスキナー群と相違し、年級群による差異もカナダ・アメリカ水域の資料にみられる。パワースペクトル(第6図)から推定した隆起線形成の密部から密部、あるいは粗部から粗部にいたる隆起線数は約18~24本の範囲内にあり、隆起線間隔の変動は河川群や年級群で異なる。

コレログラムおよびパワースペクトルにみられるいくつかの特性値は、シロザケの系統群を識別するのに役立つものと考えられる。

VI 文 献

- 1) 統計数理研究所(1963). 不規則振動のスペクトル解析. 156 p. 東京.
- 2) Tanaka S., Shapard M. P. and Bilton T. H. (1960). Scale characteristics of chum salmon in coastal areas and on the high seas of the north Pacific Ocean. *I. N. P. F. C. Doc., Ser.* 405, 27 p.
- 3) Sato, R. (1959). The use of probability paper for the graphical analysis of percentage compositions of chum salmon with different scale characteristics. *Tohoku Jour. of Agr. Res.*, 10(1), 75-87.
- 4) 小林哲夫(1961). サケ *Oncorhynchus keta* (WALBAUM) の年令, 成長並びに系統に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, (16), 1-102.