HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	輪紋自動計測記録装置の研究
Author(s)	黒木, 敏郎; 久新, 健一郎; 川島, 利兵衛; 佐藤, 修
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 16(2), 83-113
Issue Date	1965-08
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23250
Type	bulletin (article)
File Information	16(2)_P83-113.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

輪紋自動計測記録装置の研究*

黒木敏郎・久新健一郎・川島利兵衛・佐藤　修
(北海道大学水産学部検鱗機試作研究グループ)

A Trial Setup of the Semi Automatic Scale Reading Recorder

Toshiro KUROKI, Ken-ichiro KYUSHIN,
Rihei KAWASHIMA and Osamu SATO

Abstract

The work of scale reading has become a routine matter in many fisheries laboratories, but it is a worrisome work for biologists; especially, the reading of enormous scales imposes a heavy burden on them. For the purpose of saving their labors, the authors have attempted to assemble a semi-automatic scale reading set.

Usually, the sampled scales are made into impressions upon a transparent plastic card. These impressions are then set on a microprojector. In this apparatus, the images magnified 50 or 100 times, are read by the photoelectric system and the information concerning ridge number and scale radius are recorded by the special pen-recorder (cf. Fig. 1). In reading action, it is difficult mechanically and photoelectrically to set the initial point of focus of a scale (image) and to select the axis of maximum scale growth automatically. Therefore, these two actions, setting the focal point and selecting the axis to read, must be left to human hands. This is the reason why the scale reading recorder should be made a "semi" automatic one.

In the apparatus, a photoelectrical resistor CdS (cf. Figs. 10 and 11) was used for the pickup (transducer) to find light and dark stripes on a scale image. The accommdation to the conditions of the system, combined with CdS' characteristics and photoelectric mechanisms, raised various problems in the processes of our studies. The answers to them are summarized as follows:

a) Photoaxis: When the axis of the photoreceptor (CdS pickup) deviated from the photoaxis of the microprojector, the base of electric variations in the out-put from the pickup deviated from the center level (cf. Fig. 3A). The base became flat throgh the use of a proper high pass filter against low frequency variations, and only high frequency electric variations in accordance with light and dark stipes (ridges) were passed and appeared (cf. Fig. 3 B). By means of slicing at a certain pre-set level, the electrical variations were signalyzed and counted as the number of the ridges (cf. Fig. 4). This filter was effective especially for the "Scanning method" (Scanner system, moving the pickup on the magnified image of the microprojector, cf. Fig. 5-1).

b) Slit of the pickup: The slit which was used for the purpose of a sharp reading of the stripes had to be decided as to proper shape. And we found

* 1963 年日本水産学会秋季大会（小樽）で一部講演発表。

the best position to coincide with the relation between the shapes of a photosensitive portion and circuli stripes and with the distance between the portion and the stripes (cf. Fig. 13).

c) Scanning speed and microsliding speed: The time-constant of the photosensitivity of the CdS resistor varied with the strength of light received (cf. Fig. 12). In the "Scanning method", the shifting speed of the scanner on the enlarged (× 50) of the ridge could not be more than 5 mm/sec and the mechanical relay for counting scarcely could follow this speed. In the "Microsliding method" (of which CdS pickup was fixed at the centre of the image glass and the plastic card on the stage of the microprojector was micro-slid with the stage), the sliding speed could be more than 0.34 mm/sec [(the shifting speed of enlarged (×100) image=0.34×100=34 mm/sec] and the electronical counter could aproximate this speed.

d) Recording system: It was very bothersome and expensive to mechanize the recording of the length of every space between ridges, but it was very easy to get the record of the integrated length of spaces. Then, in the records made by this apparatus, the number of ridges from the focus of the scale were shown on the abscissa and the integrated lengths of spaces between ridges (or the distances from the focus of scale) were shown on the ordinate.

After trial uses of the apparatus, the effectiveness of the two methods were compared with the usual human (visual) reading. Results obtained were as follows:

α) In both methods, the accuracy of lengths measured from the focus of the scale (image) were very high. These errors were not more than 1%.

β) Concerning the numbering of ridges, there were many misreadings (about 10.5~14.5%) in the "Scanning method". It seemed that the large errors happened by reason of the imperfection of our studies on the accommodations of photosystem (receptor's slit, distance between CdS and imaged stripes, and so on) and the time delay due to the mechanical relay and electric amplifyer. In the "Microsliding method", the errors in numbering were very small (about 0.5~2.2%) and the accommodations of this system seemed satisfactory.

γ) The decision on the positions of the annual rings on the scale growth curve was very accurate in the "Microsliding method" but was not accurate in the "Scanning method".

δ) Concerning the time length needed to read a scale (or impression), the time required in the use of the "Scanning method" was a little longer than that of the human (visual) reading. On the other hand, the time required in the use of the "Microsliding method" was much shorter (about 3/4) than the visual reading (cf. Table 6). In consideration of eye fatigue in the visual reading, the use of the "Microsliding method" to read the larger number of scales would be of greater advantage in order to save labor.

Furthermore, the authors tried an experiment to obtain more precise information (inter-paths of migration, subcommunity and etc.) about biological resources through the records made from the use of the apparatus. On the charts recorded by the apparatus (ordinate, Nos. of ridge; abscissa, distances from the focus of scale), several points of annual rings would usually be positioned on the line which passes the origin and the point of the largest annual ring and has a certain inclination. Furthermore, from the relation between the points of annual rings and line, and the tangential lines drawn to the partial curves from one point of annual ring to the next point, it is expected that more precise and more original information will be obtained after accumulating a number of records from the apparatus (cf. Fig. 23).

I.　序

魚類の鱗・耳石・脊椎骨などの輪紋相は生理生態と成長との関係を示す生物学的な形質としてしばしば研究対象に採り上げられており[1)2)]，また各種重要魚類の資源量測定および年次地方ごと系群の判別における必須の指標として重視されている[3)4)5)]。国際協議特に日米加・日ソの漁業交渉などに際しては，資源の科学的資料として数千から数万におよぶサケ・マス鱗の輪紋測定を取扱う必要を生じているが，今までのところその操作は専門的生物学者の目視手動に頼っているのが実情であって，その努力たるや莫大かつきわめて非能率的であると言われている。

この研究ではサケ・マス鱗を先ず対象にとり，その隆起線の数や線間々隔を光学的電子工学的に読ませ自記させ得るような装置を試作し，上述検鱗操作の自動化による作業時間の短縮・処理量の増大を図り，さらには資源量や系群の判定法にも新しい発展をもたらそうと意図するものである。研究にあたっては昭和 37～39 年度の 3 ケ年にわたって農林水産業特別試験研究費の補助を受け次のような事項について協力し合うグループを編成し研究試作を進めた。

○輪紋自動計測装置試作の総合的研究	；	（北海道大学水産学部）	黒木　敏郎
○計測系と記録系との試作整合の研究	；	（同　　上）	川島利兵衛
○検鱗法の応用光学的研究	；	（同　　上）	佐藤　修
○自動計測記録法の性能評価と生物学的応用研究	；	（同　　上）	久新健一郎
○記録結果の生物資源学的研究	；	（北海道区水産研究所）	米盛　保
○記録結果の応用統計学的研究	；	（当時日本海区水産研究所）	山中　一郎

尚，研究の各過程で，北海道さけます孵化場小林哲夫氏・東北大学農学部佐藤隆平氏・東京水産大学安田秀明氏・（当時）北海道区水産研究所花村宣彦氏・北大水産学部久保達郎氏・山田寿郎氏等多くの方々から資料文献の紹介や諸般の御助言を頂いた。本論に入るに先立ちこれらの方々を含め水産庁関係者・大学関係者の各位に対し深甚の謝意を表するものである。

II.　装置試作の概要

耳石や鱗は小さいものであるからその輪紋を読むのに現在は拡大投影器を用いているが，自動計測でもこの拡大投影を活用することは目視手動計測におけると同様である。耳石や鱗の拡大された映像が画面にあらわれた後，像の位置や方向を整えピント合わせや中心始発点（数え始める輪紋中心点）を決める操作まで自動的に行わせて計測させると言った型式のいわゆる全自動式計測記録装置の完成される事が理想ではあろう。しかし，輪紋の中心に計数の始発点を合わせること，及び計数すべき軸（コース）を適当に選ぶことの 2 操作は目視手動の労力も少く所要時間も短い割には機械の自動化がまことに困難な操作であるから，製作費過増・装置複雑化などの不利さと労力節減・計測時間短縮などの有利さとの balance sheet を考えて，この両操作を目視手動のまま残こし Rockwell の言う半自動式計測記録装置[6)] の試作という段階に焦点を定めた。受光子を移動走査させる方式を例にとって装置の概略を示したのが Fig. 1 である。

輪紋の明暗縞を光学的に読み判けるのには，輪紋映像を固定してその上に受光子を走らせるか，又は受光部を固定して映像を動かすか（前者を Scanning 方式と呼び後者を Microsliding 方式と呼ぶ），何れにしても輪紋映像と受光子とを相対的に移動させることが先ず必要である。簡単のため本文では前者をS方式，後者をM方式と略称しよう。この両方式の長短優劣については後で詳述するが，どちらを採用するにしても受光子で明暗縞を判別する場合の信号は微弱なので，これを増幅する必要がある。そこでこの信号入力を先ずブリッヂ回路に入れて 1 段増幅し，それを低周波増幅部へ通す。Fig.

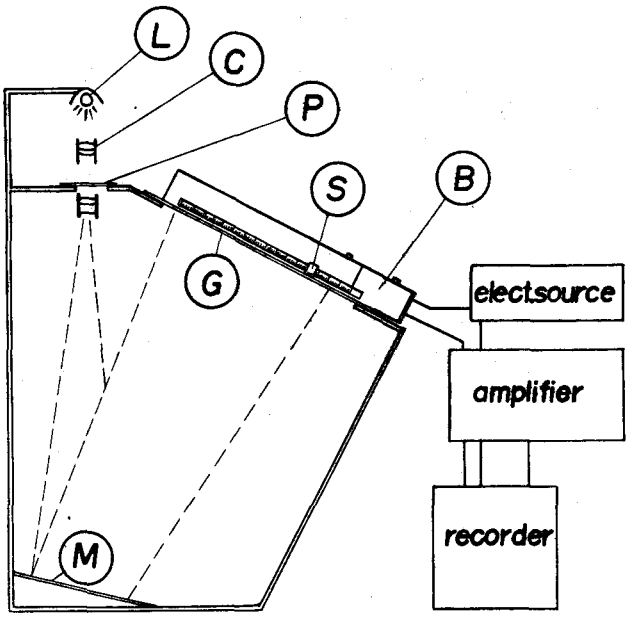


Fig. 1. Schematic illustration of the apparatus (scanning method)
L, light source; *C*, condenser lens; *P*, plastic card impressioned with scales (in the scanning method, the card is fixed; but in the microsliding method it is slid micrometrically.); *M*, reflecting mirror; *G*, opal glass (or transparent glass with opal-film) on which the enlarged image of scale is projected; *S*, scanner (photoresistor CdS); *B*, constant speed motor box

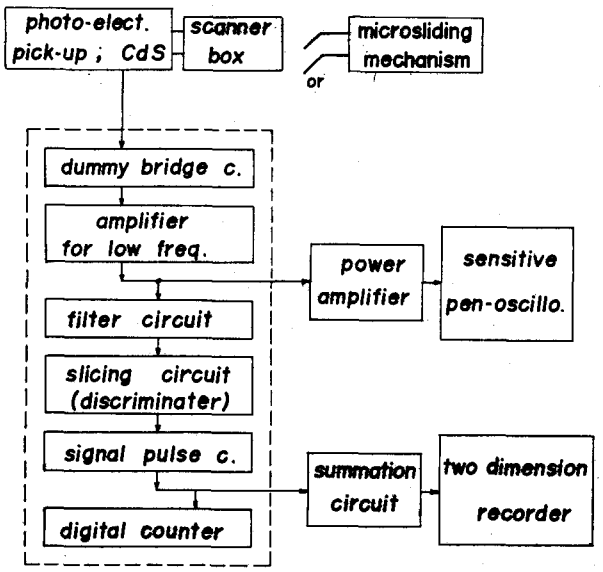


Fig. 2. Circuit blocks diagram of the apparatus

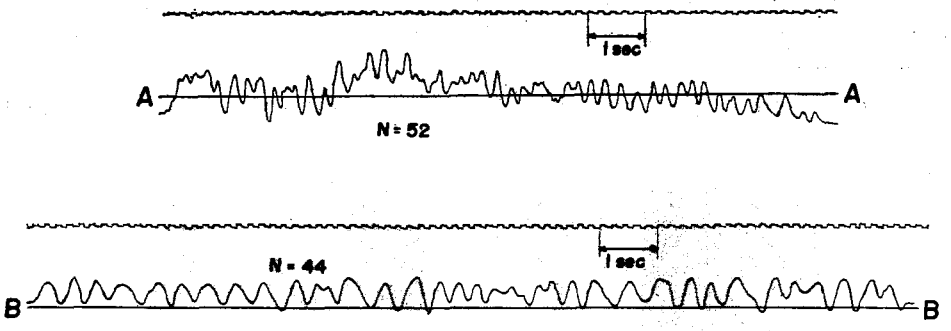


Fig. 3. Records of light and dark stripes of ridges
A; record, deviated from the set level by fluctuations of basic light intensity
B; record, paralleled to the level after filtering
Ordinates; light (up) or darkness (down)
Abscissae; moving distance (or time) of scanning
N; number of ridges [(*N* in *A*-sample)=52, (*N* in *B*-sample)=44]

2 参照。低周波増幅部を通った所で系外へ導出し別系の電力増幅部を経て高感度ペンオッシロに掛けた結果は明暗の量的な記録になる筈であって，これを一応「原波形記録」と呼ぶ。その1例（隆起線数 $N=52$）を Fig. 3 の *A*-*A* に示す。この原波形では受光全量の変化が画かれて居り，基本光量（ベース）自体が変動しているので，このままあるレベルで切っても細い縞を示す信号としては受け取り得ないこととなる。ベース変動の理由としては輪紋の基質（実物鱗の濁りやプラスチックカードの厚みや不透明さ）などの不均一性による所もあろうが，S方式では拡大光学系の光軸に近い所で明るく，周辺部では暗いと言った投影装置の光学系不均一性にも起因することが考えられる。このようなゆっくりしたベース変動，いわば直流部分とも言うべきものをうまく沪過除去出来れば，光量をほぼ一定に保ち得る事を特徴とするM方式に頼らなくても装置完成を急げる訳である。Fig. 2 において信号入力を増幅した後フィルター回路へ入れたのはそのような意味である。これを通ったあとのベース平滑化済みの曲線例（$N=44$）を Fig. 3 の *B*-*B* に示す。これで次の比較整形回路（discriminator）へ入れてもよい段取りになるが，この図でも推定されるように，切るレベル（プレセットの高さ）の如何によっては読み落としの生ずるおそれも残っている（それはほぼ「年輪」附近の密な縞の所である）ことが判るのであって，これに関する詳しいことは後章の精度・誤差の検討で触れることとし，ここではさらに概要の説明を進める。さて，Fig. 3 *B*-*B* のようにベースが平滑化されると輪紋の明暗縞が一応電圧（電流）の高低で示される形になるので，これをある高さの電圧（プレセット・レベル）で切って，それを超過する所をパルス1波の発振点にとって信号化することが出来る。その模様を Fig. 4 に示す。上半波形 *X*-*X* の黒い部分はセットされたレベルより余分な電圧の高さであり，その左端が下半図 *Y*-*Y* に示すような信号パルスの立上り点と一致する。

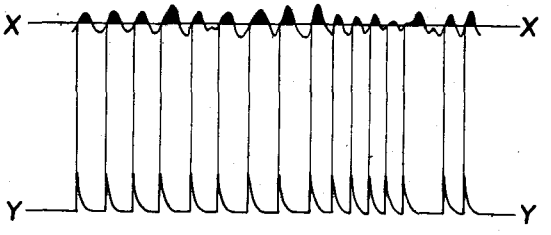
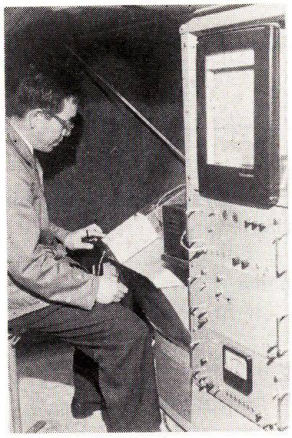
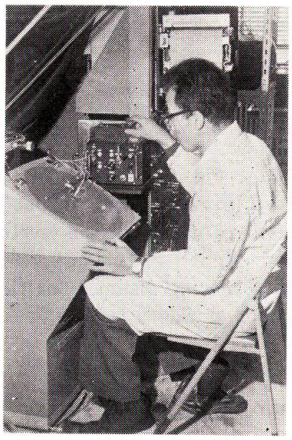


Fig. 4. Illustrations about the discriminating work
X; input signals sliced at a pre-set level
Y; output signal pulses to counter

こうして明暗の縞が信号化されると最後の回路に入り，一方は縞数を数える計数回路へ行き，他方は Fig. 2 の下部右方へ出て積算回路へ行く。前者は横軸を数えつつ縞番号を記録し，後者は縞間隔を積算しつつ縦軸量を記録するのであるが，最終的な記録方式については後章で述べる。以上のような諸回路部分や記録器などをフレームに組込んでパネリングした状況を Fig. 5 に掲げる。5-1 は S 方式で，5-2 はM方式でそれぞれ輪紋を計数している試用景況の写真である。



(5-1)



(5-2)

Fig. 5. Photographs of the apparatus
(5-1) Recorder, amplifier and counter (on the right-side panel) and scanner-rule on the glass of a microprojector
(5-2) Operating scene about the microsliding method

III. サケ・マス鱗の輪紋相を例とする記録法の選定

魚類の成長を示すと言われる鱗・耳石等の輪紋では，若（幼）年過程が小さく中心に成（老）年過程が大きく外縁に画かれるのを普通とするが，時間経過（例えばいわゆる年輪）を示す縞模様と成長を示す輪紋とが同心円的でない場合もしばしば生ずる。ここにとり上げる材料としては同心的な輪紋に重点を置く事とし，その好例であるサケ・マスの鱗を自動計測記録の対象としたい。特に，数千数万枚を取扱う対象としてはこの魚種の鱗の実物そのものよりも，これを透明プラスチック板に加熱押圧したいわゆるプレスカード（鱗の凹型を 6.5 cm×12.5 cm 広さの板 1 枚に普通 30 資料並べたもの）が主となるので，本装置の研究も対象資料にはこのプラスチック板鱗凹型を用いて行なうこととする。

ところで，鱗の隆起線の数や間隔を記録したり，その粗密から魚の成長度を判別したりするような生物学的情報判読操作が機械化される際には，それらの情報を減殺せしめたり偏倚せしめたりすることのないよう注意深く設計々画が立案されなければならない。従来サケ・マス魚群地方系別の判読に特定年輪までの半径長さとか年輪間或はその半長間内の隆起線数などを判定指標として活用する研究がなされて来た[4]。これらは現象論的には妥当でもあろうが，繊維性板1層につき骨質層部に隆起線2本を生ずるという知見もある[9]ので機械計測において隆起線間隔の細かいフレを平滑化するために移動平均式距離値を採用する事もあり得るわれわれの研究では「偶数選択の有意性」を慎重に考慮せねばならなくなる。更にまた，各隆起線間の間隔を形成順位に並べてこれに生物時間的な意味を持た

せようとする場合，再生鱗の観察で吸収現象があったり，鱗嚢側に記憶された縞模様のため周辺部だけでなく，中心に近い所でも鱗成長（輪紋形成）の現象が見られたり[9]することなどは魚の生活履歴とその内的周期性とが複雑難解な関係にある事実を示唆するものであるから，単純に水温や餌環境又はホルモンその他の内分泌腺活動量の時間函数であるとしてこれを平坦な生物時間に意味づけるような記録の仕方・情報の読み方をしては本質的な誤りを犯すことになりかねない。

以上の諸点を考慮に入れつつ輪紋相の自動計測記録法を具体化して行くわけであるが，読みわけるべきサケ・マス鱗の拡大像の1例を先ず Fig. 6 に掲げて説明の資料とする。これは1960年オホーツク海水域で獲られたシロザケの指定魚体部位から得た鱗の拡大写真である。中心から周縁へ数えた隆起線の番号 i を横軸にとり，それぞれの隆起線間（i 番目と $\overline{i+1}$ 番目と）の間隔 x_i を縦軸にとって図に画けば Fig. 7-1

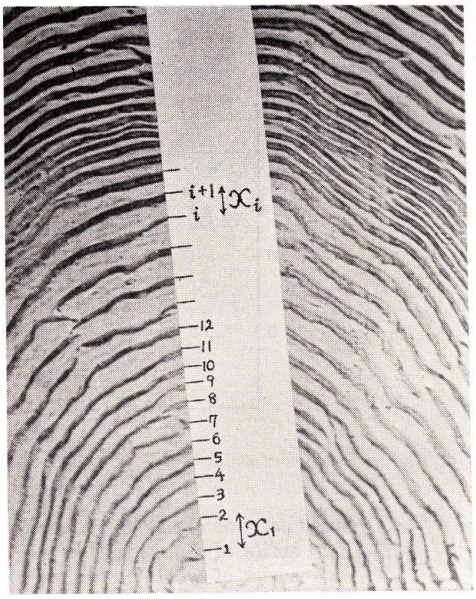
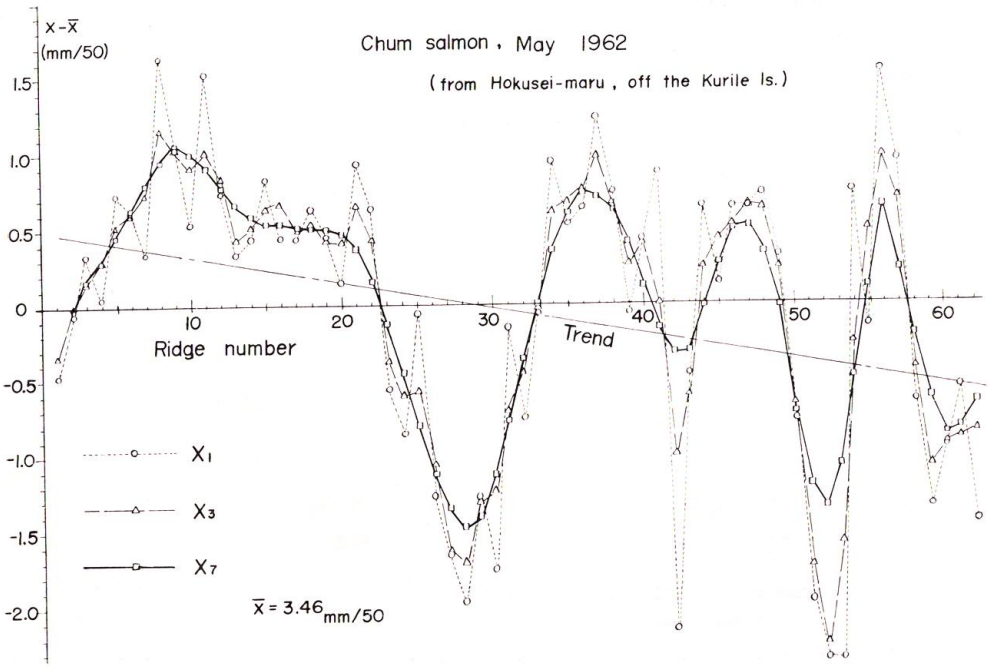
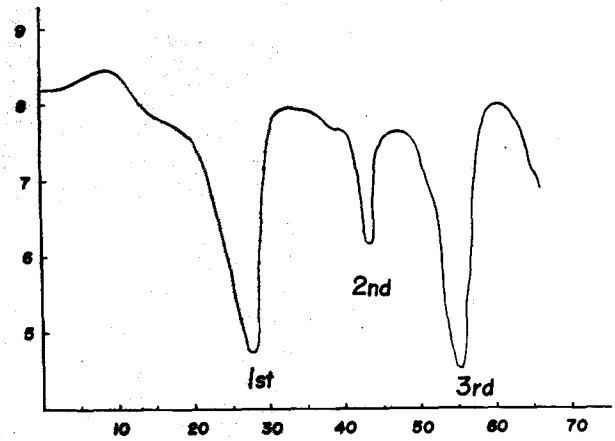


Fig. 6. Central portion of chum salmon scale showing the distance between ridges 1~2; X_1, 2~3; X_2, $\cdots i\sim\overline{i+1}$; X_i



(7-1)



(7-2)

Fig. 7. Ridge space diagrams

(7-1) Space between one ridge and next versus ridge number (by hand tracing method)
X_1; series of X_n oneself
X_3; series of weighted moving average X_{n-1}, X_n, X_{n+1} (total, 3)
X_7; series of weighted moving average X_{n-2}, X_{n-1}, X_n, X_{n+1}, X_{n+2} (total, 7)

(7-2) Relative intensity of projecting light through a wide slit versus ridge number (by a photo-electric method, not by this apparatus)

のようになる。このような画き方は従来もしばしば行なわれ，いろいろと解析もされた[7)8)]のであるが，著者等のうち川島・久新は隆起線数を一応生物時間的測度と見なし，その線間々隔の曲線を1種の時系列と見て解析し，その結果サケ系統群の識別に有力な手がかりを得る方法であると認めてこれをすでに報告した[10)]。しかし，この計算に堪え得る精度の縦軸値（隆起線間隔長）を機械的に読んで記録させることは，莫大な試作費にこだわらない場合は別として，我々の到底賄い切れない高額の経費を必要とする困難さを伴う。現段階で計画されている規模の機械では大型スリットから掬い上げる明暗変化でせいぜい Fig. 7-2 に示すような年輪判定用曲線を得ると言った程度のものしか得られないであろう。

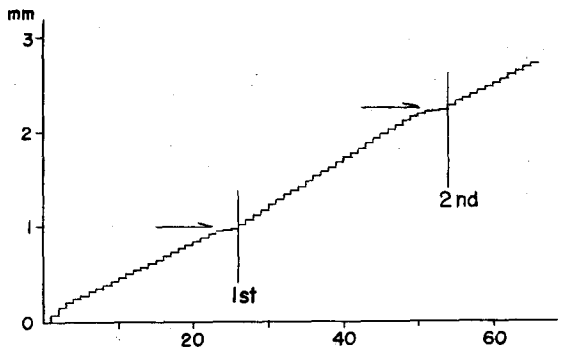


Fig. 8. Scale growth model curve predicted by this apparatus

Arrows show radii of year rings and ridge numbers from the centre

そこで，横軸に隆起線番号をとる事は Fig. 7-1, 7-2 と同様であるが，縦軸に隆起線間隔の積算値（つまり中心からの半径長さの値）を採る事にして画かせれば機械的には簡単となり製作費も過大でなくて済む事に着眼した。模式図を画けば Fig. 8 のような階段型の線になる。矢印で示すように，年輪部（休止帯）では横に平坦となるし，その中間部は傾斜の異なる直線型（又は直線に近い曲線型）の階段線になるであろう。現実的には休止帯のような輪紋縞の密な所では受光子（光感導電

体）の時定数と走査速度との関係で縞数の読み落としが生じたり資料そのものの輪紋に Fig. 9 に示すような乱れや断裂の部分があったりするため，画かれる階段線は Fig. 8 のような理想的な形になるとは限らない。輪紋識別能力の低い装置によれば年輪部に平坦な線が画かれるどころか縦線の部分が画かれ（紋数は少く読まれ）てしまう。機械性能から生ずる読み落としや手動目視計測でも数えるのに迷うような鱗紋そのものの欠陥による読み落としなどについては別章で分析する。このような許容誤差を含んだまま Fig. 8 の形の曲線を沢山記録してその蓄積された資料からどのような情報を読みとるか，サケ・マス魚群の系統別判定やひいては地方別群衆体量の推定まで可能となるか否かは本研究の価値を左右する重大な問題であって，著者等は最後の章で述べるように可能性肯定の意見を持つものである。以下，本研究による機器試作の各部各過程について述べるが，それぞれの部門や段階での成果が相たすけ相促し合って，向上完成への途を辿ったのであるから，説明が前後錯綜したり二重になったりする所も生ずることを予め断わって置きたい。

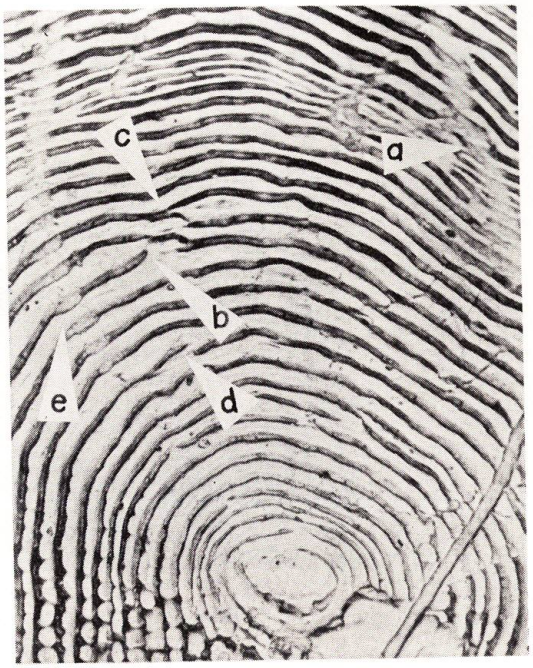


Fig. 9. Central portion of chum salmon scale showing some obtacles
Cracks on the plastic card (a and e), discontinued ridges (b and d) and branched ridge (c)

IV. 受光部の諸問題

鱗の隆起線による明暗縞を受光部（光感導電子）で pick-up し，之を信号として取り出し得るかどうかは本研究の中心問題であって，初期の研究努力は殆どこの点に集中されたが，機械装置を改作して性能向上せしめる度にこれは最後までつきまとう問題ともなった。

当初我々は拡大投影器の結像面に光電池（photocell；光をあてると電流の生ずる素子）を置き，幅 1 mm，長さ 2 mm の小レンズを通して光を受けさせてみた。検流計で調べた所，全暗と透過光照射との差は明瞭に出たけれども結像面における明暗縞の電流差は殆ど認められない事を知った。つまり現用プレスカードは透明なプラスチック板に鱗を押し写した凹型記録であるから，透過光量の散乱集束の差だけではコントラストが充分でなく明暗縞が入力信号となる程には至らなかったという訳である。そこで光電池使用をとりやめ，光を当てれば電気抵抗の変化する光導電体抵抗子（CdS 製）を受光部に採用することとした。この光感子（HTV P-109 型）では明暗差が 20 MΩ 台で ±5 MΩ 程度なので，前にも触れたようにこれをブリッヂ方式に組みようやく実用に堪える感度を得る事が出来た。採用すべき光感子は一応決まってもそれを実用するまでには種々の問題がある。次に「光導電子の特性」・「スリットの問題」・「S 方式と M 方式との比較」・「計測速度の問題」の 4 節に分けて述べよう。

IV-1. 光導電子（CdS）の特性

光量そのものの大小ではなく変化の差を信号として受けとりたいのであるから，光の微少な差によってでも電気的性質の量的変化が敏感に生ずるような光感子を用いなければならない。そのため光学器機に近年よく用いられる硫化カドミウム（CdS）製光導電子を使用するわけである。素子の型と外

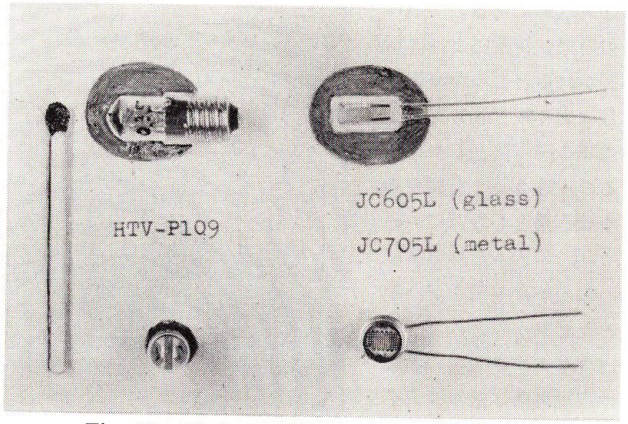


Fig. 10. Photo-sensitive resistors (CdS) used
HTV P-109, for the scanning method;
JC 605·L, for the microsliding method

形の写真を Fig. 10 に示す。Fig. 11 はそれぞれの最高感度を 100 とした時の対波長相対感度曲線である。これで見れば赤色（長波長）側へ感度が偏よっているので人間の眼に最も明るいと判断される光を当てるよりも，使用者の眼が疲れない限り橙赤色へ倚った色（温度）の光を光源に使った方がよい事を知る。更に「時定数」(Time-constant)* の問題がある。Fig. 12 には，上半図に HTV P-109 型の 1 秒間光（100 ルクスと 1 ルクス）照射に対する感応遅れ模様を示してある。下半図には P-109型と JC-605·L 型の両方について，暗→明応答の時定数を τ 曲線で，明→暗応答の時定数を τ' 曲線で示してある。これらの図から判るように，P-109 型の光電面に当る光の照度が 1 ルクス程度であれば，暗→明変化読みでも約 0.09 sec を経ないと 63% 量を示すに至らないし，明→暗変化を計数に用いれば 0.3 sec も掛ってようやく 63% 量で読める事になる。作られた装置での時定数が 0.3 sec であったとして，これが計測速さをどのように規制するか数値例で説明しよう。（前述プレセット・レベルがこの 63% 量に定めてあると考えてい

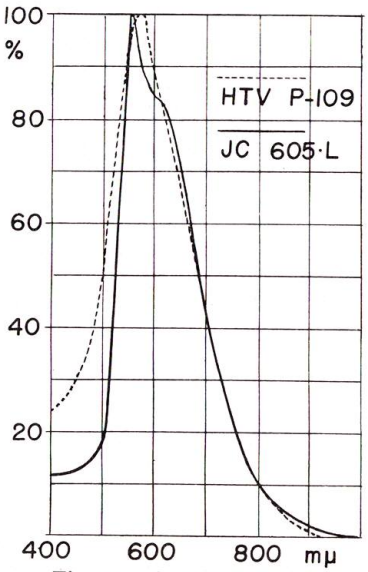


Fig. 11. Sensitivities of the photoresistors

* 一般に，外界変化に対して受感部の response は exponential に追随することが多い。外界変化量を 100% とした時，検出子（受感部）がその $(1-1/e)$ の値つまり初期変化量の約 63% を示す迄に経過した時間をもってその検出子の系の時間追随性を表現し，これを「時定数」(time-constant) と呼ぶ。ここに $e \fallingdotseq 2.718$ である。

る。）資料輪紋の明暗縞が50倍に拡大されて最小幅0.3 mmであれば光感子と像との相対移動速度は0.3 mm/0.3 secつまり1 mm/sec以上であっては読み落とすおそれがある。従って実長半径5 mmの鱗を読むのには5 mm×(50倍率)÷1 mm/sec=250 secとなり，片道だけでも4分以上を要する。これでは，光感子をquick-return(速く戻る)機構で次の読み姿勢へ素早く戻らせ得たとしても，人間の目視計測による速さと比べ遙かに遅い事となって機械化の効果すら疑わしい結果に陥るであろう。計測速度については後節で述べる。

IV-2. スリットの問題

光感部が明暗の縞を読みわけるためには光量変化の幅を大きくするのに必要な最低の絶対光量を確保しなければならない。一方50倍に拡大しても0.3 mm（実測）でしかないような最小の明暗縞を鋭く読みわける為には光を通す細隙も相当に狭くせねばならない。光感導電体の感度を上げるために光量を増す事と細い縞の映像を正確に読み判ける事(「歯切れよく読む」こと）とは矛盾した要求であって，ここにスリットの問題がある。

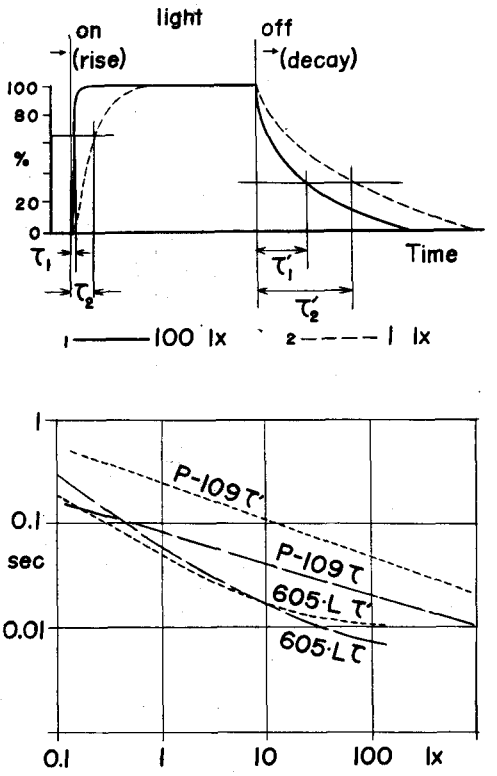


Fig. 12. Schematic diagrams explaining about the time-constant of the CdS response under various intensities after light changing (on—off and off—on)

読みの精度を上げるにはスリットをなるべく狭く鋭くすればよかろうと思って，はじめは2段スリット式とし幅0.1 mmのものを作ったが光量不足でかえって読み落としが多かったので次のように考え直した。光導電子の受光面はFig. 10でも判るように，例えばP-109型ではその幅が1.4 mm(長さ約7 mm)程度である。その幅一杯に丁度光が当たったり当たらなかったりする事が明暗縞を歯切れよく読みとる最良条件の第1であり，そして受光面での明暗の境界線がピントボケにならずくっきりとなることが歯切れを良くする第2の条件であろう。HTV P-109型では外管ガラス面から光感CdS面までの距離が2 mmであるから，そこにピンホールを設け，0.3 mm幅の縞像を1.4 mmのCdS面幅一杯の像にしようとすれば，拡大鱗結像面に密着させたスリットとピンホール位置までの間隔は2×0.3/1.4≒0.43 mmに保ち，スリットの長さは(幅は当然0.3 mmとして)0.3×7/1.4≒1.5mmにすることが第1の条件を満たす数値関係となる。その関係の説明図がFig. 13である。歯切れをよくする第2の条件として感光面結像をはっきりするためには，ピンホールの孔径が小さい程よいのであるが，孔面積に比例して光量が減じ計数増幅系への入力が限界以下となる不都合を生ずる。そこで問題は受光量を減らさないでピントをはっきりさせるにはどの方法がよいかという事に帰着する。これは梨地膜（拡大投影器の結像ガラス面に当てて使用する半不透明ポリエチレン膜）の要否に関係するし，次節のS方式・M方式の問題にもからんで来る。像を拡大しつつピントを合せる為にはレンズを用いるのが最良の方法であって，

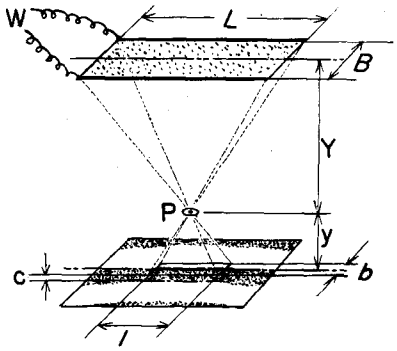


Fig. 13. Relation between the shape of the photo-sensitive portion of CdS and the breadth of stripes

L, B; length and breadth of the sensitive portion (CdS)
l, b ; length and breadth of slit (for sharp reading)
P ; lens or pinhole
c ; clearance between the slit and the glass of projector
Y, y; distances from the lens to the surface of CdS and to the slit, respectively
W ; leads of CdS electrodes

The breadth of slit must be equal to the minimum breadth of the image stripe for sharp reading. The breadth of the stripe (enlarged, ×100) is about 0.3 mm. $L=7$ mm, $B=1.4$ mm in the photo-cell P-109, then the length of slit (l) is decided from the simple calculation. $0.3\times7/1.4=1.5$ or $l=1.5$ mm. The lens (P) must be designed to content the condition of $Y/y=B/b=1.4/0.3=4.7$

梨地膜を使う場合には膜面上の像を（P-109 型では）1.4/0.3≒4.7 倍に拡大するように，梨地膜を使わない場合には鱗の輪紋の最狭縞の拡大像を直接感光 CdS 面一杯に結ばせるように，それぞれ考えなければならない。拡大投影器のガラス面に（Fig. 13 での $c=0$ として），上述のような 0.3 mm ×1.5 mm の矩形スリットを置いた場合を例にとって半径 1.0 mm の半筒型レンズを用いたならば，梨地膜を使わない時には P-109 型光感子の CdS 面をガラス（スリット）面から 23.3 mm 距った所に置くべきであり，梨地膜を使う時には膜（1 次結像の）面からレンズを 4.7 mm 離した上で更にレンズから光感 CdS 面を 23.3 mm 距て合計では膜面から 28 mm 距てて CdS 面を保持せねばならないことになる。こうして，使用する光感子 CdS 面の形とレンズ焦点距離との組合わせ如何で，歯切れよく読みとれるスリット～光感子間距離は定まって来る訳である。

IV-3. S (scanning) 方式と M (microsliding) 方式との得失比較

前にも触れたようにS方式はM方式よりも操作が簡単である。S方式では定規に沿わせて光感子を走査させるのであるから，拡大投影器の像面（ガラス面）上に輪紋が映った時，その中心と測定軸とを目視で簡単に選び，定規の方向と中心始発点とを殆ど1挙動で定めることが出来る。あとはボタンを押して走査と記録とを同時に始めさせればよい。ところがM方式ではプラスチック・カードの載った回転台を，microslide される方向へ輪紋測定軸が一致するまで廻わしてやり，そのあとで中心点に光感子をセットして始動にとり掛る。つまりS方式に比べM方式は少くとも1挙動だけ人間的動作を余分に要求されるので労力的にも消費時間から見ても不利なのである。

しかしS方式には光学的な弱点がある。Fig. 1 の G（ガラス面）上で Scanner（走査子）S が全行程を走ると，同図でも直に判るように拡大中心光軸を中点として最外端から他の外端まで動くこと

になり，中心光軸の方向に合わせた光感子の受光方向は外端附近において光線と実測 ±7.7° の角度ズレを生じ，Fig. 3 の *A-A* に示すような，明暗縞以外にベース自体の変動をかかえ込んだ全光量の変化を画くこととなる。このベース変動をフィルター回路で除去し得る程度に抑える事が出来た理由は梨地膜の使用にある。±7.7°程度の光軸の狂いがあっても梨地膜で散乱された光をスリットへ掬うのであるから中心軸部と周縁部とで殆ど差を生じないで済むのである。結局，S方式で梨地膜を用いることは必須条件であり，これはまた操作する人が目視で測定軸や始発中心点を求めるのに疲労する事なく作業し得る好条件でもあった。しかし前々節(IV-1.)で述べたように光感導電子の時定数を短縮するためには受光量を増さねばならないのに拘らず，この膜の使用は本質的に受光量を減少せしめる*ものであるから，計測速度を増そうと希むならばせめて受光窓の所だけでも梨地膜を取り除きたい。M方式では光感子を走査移動せしめることなく映像ガラス面（しかも中心光軸上）に固定し得るので，そこの所だけに孔を開けた梨地膜を用いればよい。すると測定軸や始発中心点を決める作業でも梨地膜によって眼の疲労をS方式同様少くする事も出来るし，孔のおかげで梨地の散乱吸収を受けないから受光に関しても透過する全量を受け取る事が出来るのである。

以上のような比較を総括的に述べれば両方式の優劣は次のようになる。

［S方式］ 梨地膜を用いねばならぬので受光量が減り走査（計測）速度を速くとり得ないが，測定長軸や始発中心点を決めて測定記録しはじめるのに人的疲労が少くて済む。

［M方式］ 測定軸を microsliding の方向と合致させるのに人間的1挙動（とそれに伴なう時間）の損失を抱き込むが，受光量を増し得るため計測速度を高めることが出来る。

この優劣のどちらを採りどちらを捨てるかは，機械製作費用多寡の問題もあるし，多量処理の問題になれば，人間の疲労を含めてどちらの半自動式が正確に多量の資料を扱い得るかの検討も必要なので，軽々には決められない所である。

IV-4. 計測速度の問題

従来行われて来た目視手刻み（直線尺度の記入された紙テープに鉛筆で印をつけて置き，後で隆起線の数や年輪位置までの半径長さを別記する）方式では，熟練者と未熟練者とで所要時間が異なるけれども，テープに印をつけるだけの作業所要時間は 60～70 sec 程度である。そこで機械計測記録の所要時間としては鱗1枚につき往復で（次の測定に掛れる姿勢へ戻るまで）約 40 sec と見積もれば，ほぼ機械化の目的を達し得るものと考えてもよいであろう。

鱗の径（測定軸上中心より縁辺までの長さ）の実長を約 5 mm と仮定し，これを 50 倍に拡大した 250 mm 映像を約 10 sec で読む速度を最高目標にとってみる。すると，映像と光感子との相対移動速度は 25 mm/sec となる。拡大像での明暗縞の最小幅は約 0.3 mm であるから，これをスリットの1辺が横切る時間は 0.3 mm÷25 mm/sec≒0.012 sec であって，光感導電子に HTV P-109 型を使えば必要な明るさが数 100 ルクス，JC-605L 型を使っても 100 ルクス程度以上という事になる。実際の拡大投影器の画面はそれ程明るく無い。O 社製のもので梨地膜を外ずしても 20～30 ルクス程度である。この明るさから逆算して行けば，光感子（JC-605L 型）の時定数はほぼ 0.02 sec であるから，0.3 mm の縞幅を数え落とさずに横切る最高速は 0.3 mm÷0.02 sec=15 mm/sec，従って 250 mm 全径を読むのに 17 sec を要する計算になる。往復を見込んで実際的には約 35 sec を要する程度で収まるであろう。この場合にはM方式を採用せざるを得ないのであって，機械リレー式計数機の追随性もこの速さには追いつけないので電子管式計数装置をM方式と組合せる事になる。

---

* 実測によれば，中心光軸の附近で両面梨地膜を用いた時の受光量はこれを用いない場合の約 30% である。

S方式では梨地膜の必要上明るさが 6～8 ルクス程度に落ちるので時定数は P-109 型で 0.06～0.07 sec, 605·L 型で約 0.03 sec 程度となり，0.3 mm 幅の縞を横切るのに前者では 4～5 mm/sec 以上の速さは用いられないし，後者でもせいぜい 10 mm/sec までである。つまり 250 mm を読ませるのに，P-109 型光感子を使えば 50～65 sec, 605·L 型を使っても 25 sec を要し，往復では前者で約 2 min 内外，後者で約 1 min を要するのである。この場合には機械リレー計数装置でも充分に随いて行けるし，記録ペンもまた追随するので Fig. 8 に示すような階段型図形に近い曲線を画く事が出来る。

M方式で1操作を約 0.5 min で済ませるか，S方式で約 1～2 min を掛けるか，人間的労力が1挙動介入することを考えに入れても時間的には前者が有利なように思われるけれども，得られた図形からの生物学的情報判読の難易にも関係するので両方式の優劣を即断する訳には行かない。

V. 具体的な諸装置と主要回路部分

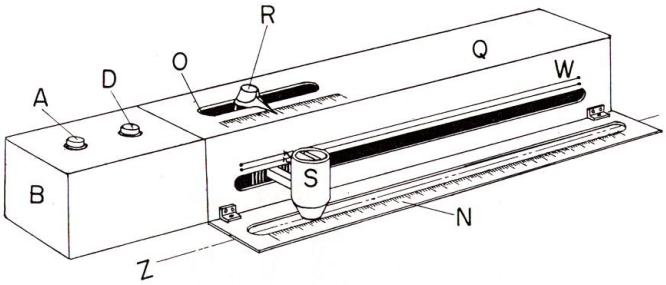
我々の最初に試作したS方式の走査定規概要を Fig. 14-1 に揚げる。初めは重量も 7 kg（行程 205 mm）で扱いも不便であり，走査速度も 5 mm/sec 程度のものであった。次回の試作では重量も 1.5 kg となり，速度も走査 10 sec，戻り 8 sec 程度（行程約 250 mm）になったが，後者は前章で述べた光感導電子の時定数の関係もあって，機械リレー計数回路と組合せ実用するには至らなかった。両走査定規の外観を Fig. 14-2 に示す。

M方式の microslider 駆動部の概要を Fig. 15-1 に掲げ，その外観・取付状況を Fig. 15-2, 15-3 に示す。

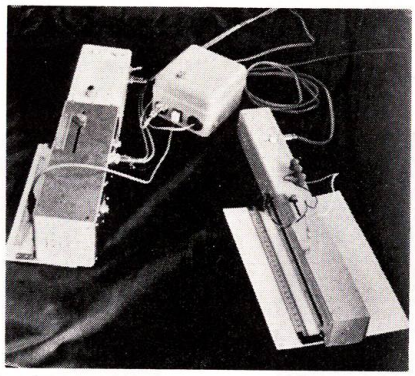
電気的な回路として主要な部分のうち，ブリッヂ回路部並びに機械計数用前置増幅回路部を Fig. 16-1 に，電子管計数用前置増幅回路部を Fig. 16-2 に，電子管計数回路部を Fig. 16-3 にそれぞれ揚げて置く 。

M方式の場合 JC-605L 型を用いたが，この増幅部の入力インピーダンスが過低で整合がとれなかったので更に別な増幅部を添加使用した。

記録装置としては，隆起線番号を横軸に鱗成長中心よりの半径（輪紋間隔の積算値）を縦軸にとるのであるから *X-Y* 記録機型のものが理想である。我々としては 1 画面上に多数本（少くとも数 10 本）を収めたいので，一応捲き戻しの利く時間流し自記装置（横川製 ER1-10 型）を活用し，とり敢えずは1本を画くごとに捲き戻し，始発点を適当な間隔だけズラしつつ記録させた。将来は希望本数だけ画き得る長さの記録紙を適当な直径のドラムに捲き，1 本画き了ってペンが始発点へ戻るごとに 1 刻み前進した所に画き始め点が移るような特殊な専用記録機を考案して自動計測・自記装置へ1歩前進すべきものと考える。



(14-1)



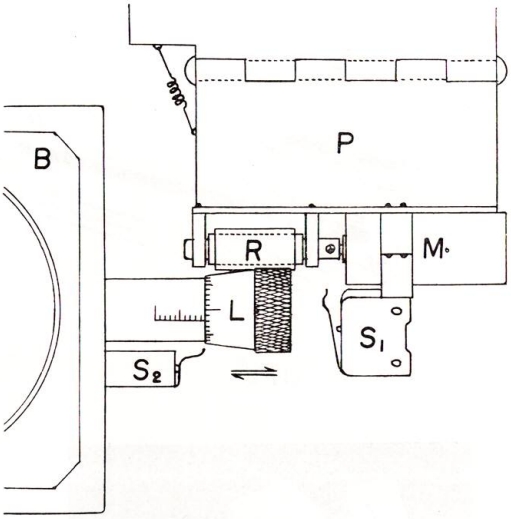
(14-2)

Fig. 14.　Scanner rules

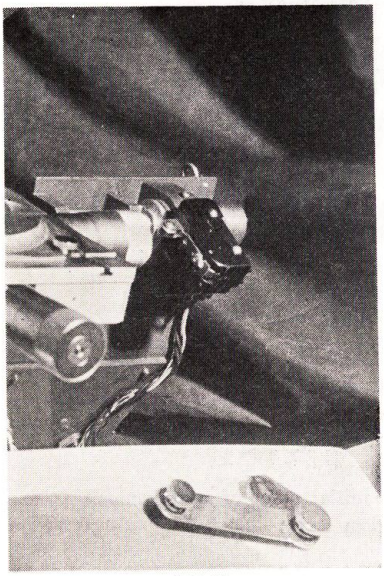
(14-1)　Schematic illustration

A,　push button for starting of operation
B,　synchronous geared motor box
D,　push button for stopping of emergency
O,　precedable starting point of recorder
R,　regulating slider to decide the initial point of measurement
Q,　running and returning mechanism box
W,　wires for scanner pantograph
N,　length scaled rule
S,　scanner piece, contained a photoresistor cell CdS
Z,　measuring axis

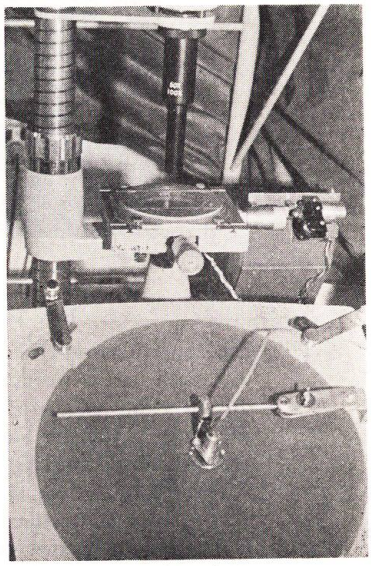
(14-2)　Photograph of scanner rules and the operating box
heavy type:　old　　light type:　new



(15-1)



(15-2)



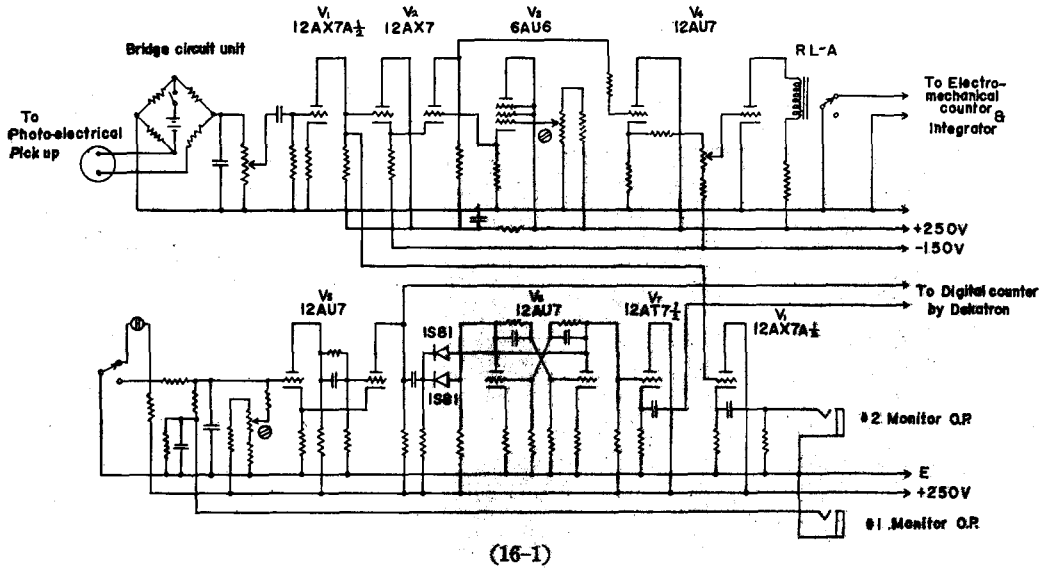
(15-3)

Fig. 15. Microsliding apparatus

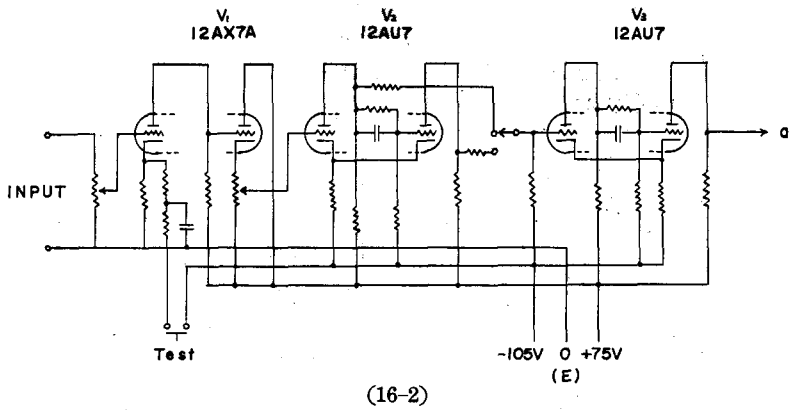
(15-1) Schematic illustration
- B, sliding stage on which a plastic card is set
- P, mechanism supporter (constant load supporting)
- R, roller covered by nonslip plastics
- M, geared micromotor (reversible rotation)
- L, micrometric slider
- S_1, returning back switch
- S_2, safety (stopping) switch

(15-2) Closed up figure of microsliding mechanism

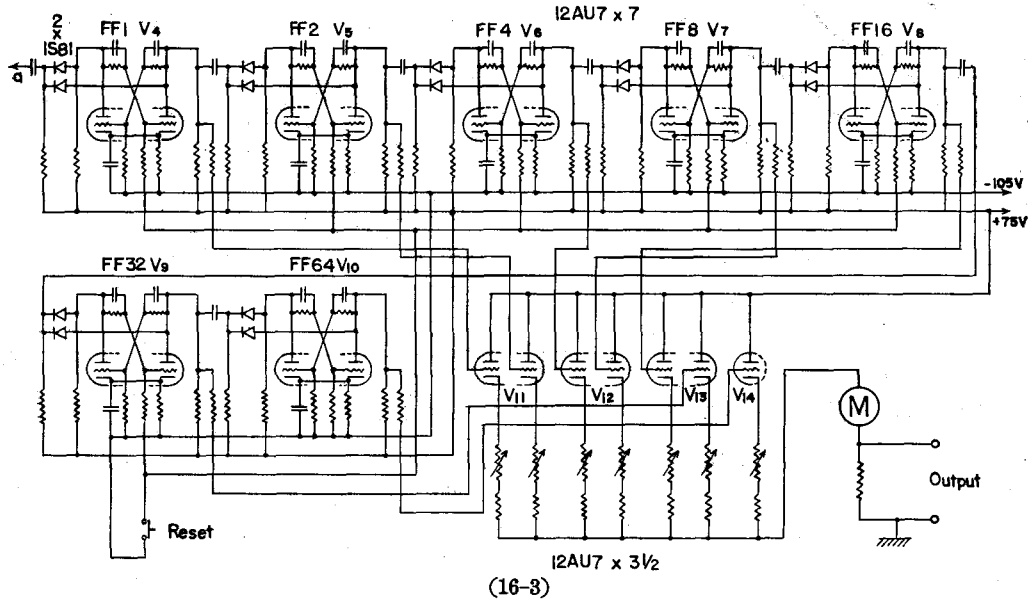
(15-3) Microprojector with the microsliding apparatus



(16–1)



(16–2)



(16–3)

Fig. 16. Circuit diagrams

(16–1) Bridge circuit unit and preamplifier circuit for the electro-mechanical integrator and digital counter

(16–2) Preamplifier circuit for electrical digital-analog converter and integrator

(16–3) Electrical digital-analog converter and integrator circuits

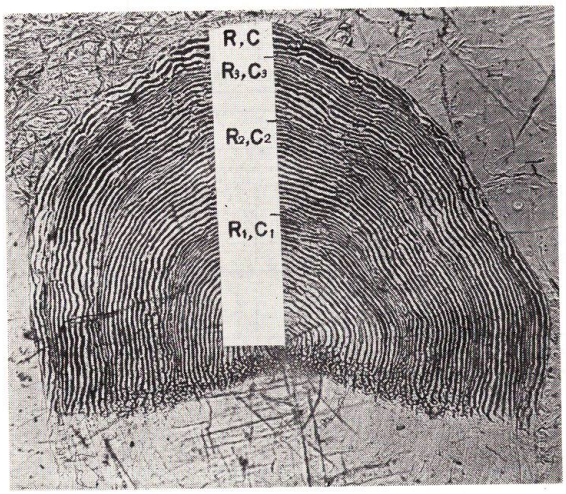


Fig. 17. Scale of chum salmon showing the measurement of scale radius (R) and number of ridges (C)

VI. 試用結果と問題点

輪紋自動測記録装置に要求される性能はその計測精度が高いことと能率が良いことの二点に要約され，しかも装置の操作が簡単なことが望ましい。本章では目視手動計測の結果と機器計測（S方式, M方式）の結果を対比することによって主として試作装置の精度と能率について検討した結果を述べる。

使用した鱗材料は，1960年 7月13～21日の間に中部千島からカムチャッカ半島南部に至るオコック海水域で漁獲されたシロザケから採取され（本学部練習船北星丸，1960年北洋調査第3次航海）[11]，プラスチック板に加温押圧

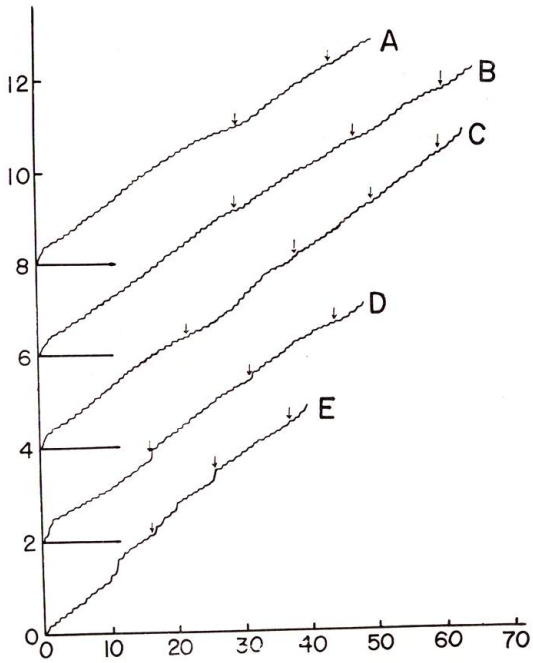


Fig. 18-1. Scale growth curves drawn by scanner method
Positions of annual rings are shown by arrows

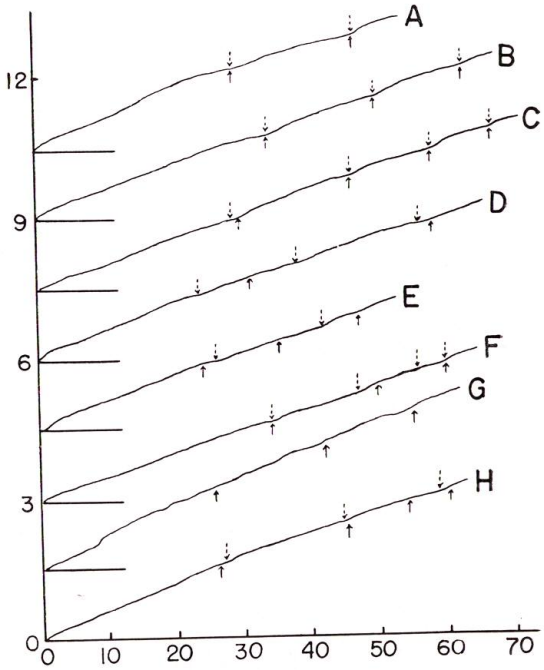


Fig. 18-2. Scale growth curves drawn by micro-sliding method
Positions of annual rings estimated from scale radius are shown by arrows and those pointed out from the growth curves are shown by arrows of dotted line

されたものである。この材料の一部から押圧鱗相の薄いものや極端に濃いもの，また鱗の測定軸上にプラスチック板についた傷があるため隆起線像の判定が難しいもの（Fig. 9, a）は機器計測の場合に誤差を伴うと考えられるので除外し，押圧像の比較的良好な105枚（1個体につき鱗1枚，3年魚15個体，4年魚72個体，5年魚18個体）を選出した。勿論再生鱗は本装置試用の材料に用いてはいない。

鱗の測定を最長軸上で行い，第1，第2，…，第 n 年輪および鱗縁辺までの長さをそれぞれ R_1, R_2, …, R_n および R とし，隆起線数を C_1, C_2, …, C_n および C とした（Fig. 17）。機器計測の場合には記録紙に画かれた鱗の成長曲線（Fig. 18-1, 18-2）から年輪位置を判定し，読み取った鱗長と隆起線数の結果を目視手動計測の結果と比較することによって本装置の精度を計り，その実用性を評価するのが望ましいのであるが，予備的な作動試験の結果S方式計測の場合（検出子の走行速度は5.0 mm/sec）には隆起線の読み落し率が高いために鱗の成長曲線から年輪位置の判定が困難であることが多いので（Fig. 18-1），検出子が年輪位置および鱗の縁辺を通過する際に記録紙上の隆起線数を読み取った。機器計測の記録紙の横軸には隆起線数，縦軸には鱗の長さが同時に記録されるので，年輪位置または鱗縁辺の隆起線数読み取り値から輪半径または鱗半径を知ることができる。このようなS方式計測のためには2名の観測者が必要である。M方式計測の場合では投面の映像移動速度が速いために（約34 mm/sec，S方式の約3.4倍の速さになる），年輪位置が検出子を通過する際の記録紙上の隆起線数読み取りが難しい。従ってS方式のような計測方法は行わず鱗縁辺を検出子上で止めることによって鱗の成長曲線を画きその最終端から R および C の値を読み取った（鱗の成長曲線上の年輪位置については後述する）。鱗の拡大倍率は目視手動とS方式計測では50倍，M方式計測の場合には100倍である。これら3方法による鱗の長さの記録を本装置投影器附属の標準尺度で測定した。なお，計測を行う前にあらかじめ鱗の最長軸上の縁辺部に印をつけ，3方法による計測を同一軸線上で行うように努めた。

VI-1. 精度について

i) 鱗の長さ

S方式の検出子の可動範囲は205 mmで，この距離を検出子が走行し終る時の記録紙上のペン記録長は102.2 mmであり，M方式では映像が68.94 mm移動する時にペン記録長は10 mmである（共に5回の観測の平均）。従って記録紙から読み取った輪半径と鱗半径の実長（mm）にS方式の場合には2.01を，またM方式の場合には3.45を乗ずることによって投影器の50倍投影面上の実長に換算し，目視手動の結果と比較することができる。3方法による年令群別の輪半径および鱗半径の平均値をみると（Table 1），機器計測の値が目視手動計測より若干大きい。S方式計測の R_1 では0.8～2.6%，R_2 では0.4～0.7%，$R_3 \cdot R_4$ では約1%，R では0.3～1.0%，M方式計測の R では0.3～0.9% それぞれ目視手動計測値より長めに測定していることになる。しかし個々の測定値の差の平均（平均値の差）は有意な値とは考えられず，目視手動計測と機器計測の結果はよく一致し前者の結果を基準にした場合に機器計測の長さに関する精度は極めて良好なものといえよう。

ii) 隆起線数

シロザケの鱗相は魚類のうちでは比較的に単純な様相を示しているものの一つであるが，隆起線とその形成の状態を高倍率で拡大し観察すると複雑な要素と部分を含んでいる。すなわち隆起線は鱗周縁とほぼ並行的に形成されてはいるが，或る部分で不連続になったり（Fig. 9, b），或る部分で分岐したり（Fig. 9, c），また不連続の隆起線端が軸方向の位置で食い違う場合（Fig. 9, d）も屢々観察される。隆起線自体の幅は鱗の部位で違いがあり一般に年輪位置で狭い。また鱗の中心周辺の部位で狭く鱗の縁辺になる程広くなって行く傾向を示しているようである。隆起線の映像の濃淡にも差がみ

Table 1. Average of scale radius measured by three methods

Age	Method \ Scale radius	$\overline{R}_1$	$\overline{R}_2$	$\overline{R}_3$	$\overline{R}_4$	$\overline{R}$
3 ($N=15$)	H	65.73	109.57			122.87
	S	66.43	110.18			124.04
	H-S	-0.70 ($t=1.365$ $P>0.20$)	-0.61 ($t=0.883$ $P>0.40$)			-1.17 ($t=1.225$ $P>0.20$)
	M					123.21
	H-M					-0.34 ($t=0.253$ $P>0.50$)
4 ($N=72$)	H	61.67	97.59	121.31		132.26
	S	62.17	98.31	121.41		132.70
	H-S	-0.50 ($t=1.832$ $P>0.05$)	-0.72 ($t=1.625$ $P>0.10$)	-0.10 ($t=0.332$ $P>0.50$)		-0.44 ($t=1.189$ $P>0.10$)
	M					132.69
	H-M					-0.43 ($t=1.284$ $P>0.20$)
5 ($N=18$)	H	59.31	95.67	171.11	133.64	141.11
	S	60.56	96.04	171.34	133.81	142.19
	H-S	-1.25 ($t=2.059$ $P>0.05$)	-0.37 ($t=0.496$ $P>0.50$)	-0.23 ($t=0.516$ $P>0.50$)	-0.17 ($t=0.276$ $P>0.50$)	-1.08 ($t=1.619$ $P>0.20$)
	M					142.35
	H-M					-1.24 ($t=1.303$ $P>0.20$)

H: tracing method by hand, S: scanner method, M: micro-sliding method
Scale radius: ×50 (mm)

うけられ中心部位程うすい。このことは隆起線と隆起線間の部分とのコントラストの良否の問題になってくる。機器計測の場合にさらに誤差の原因として考えられるものは隆起線間に屢々みられる皺状模様の存在である。この皺状模様は映像の焦点を調節することによって薄くすることはできるが完全に消去することが難かしい場合もあり，薄くすることによって映像のコントラストを不良にすることもある。特に倍率100倍で行ったM方式計測の場合では最良の鱗相映像を得るためには焦点調節の熟練が必要である。

隆起線数の諸特性値からシロザケの系統群を判別する場合には，例えば測定軸上で隆起線が不連続のとき (Fig. 9, b) はつないで読み取る等の修正を行った隆起線数計測値を用いる（これを修正隆起線数と呼ぶことにする)。本試作装置の計測では検出子が鱗の最長軸線と交わった隆起線を算定して行くことになるから(これを実測隆起線数と呼ぶことにする)，隆起線算定に関する本装置の精度を検討するには目視手動による値としても実測隆起線数を採りこれと対比しなければならない。

目視手動計測による修正および実測隆起線平均値ならびに機器計測による隆起線数平均値を Table 2 に示す。表中の値は鱗の中心から第1輪 ($\overline{C_1}$)，第1輪から第2輪 ($\overline{C_2-C_1}$)，…最終輪から鱗縁辺 ($\overline{C-C_m}$) までの値を年令群別に求めたものである。先ず目視手動実測隆起線数値とS方式計測値を比べると，S方式の読み落し平均隆起線数は $\overline{C_1}$ で 3.1～3.4 本，$\overline{C_2-C_1}$ で 2.0～3.1 本，$\overline{C_3-C_2}$ で 1.6 本，$\overline{C_4-C_3}$ で 1.2 本であり，$\overline{C}$ では3年魚 5.8 本，4年魚 7.3 本，5年魚 9.3 本であって，

Table 2. Average of ridge numbers measured by three methods

Age	Method \ Average of ridge No.	$\overline{C_1}$	$\overline{C_2-C_1}$	$\overline{C_3-C_2}$	$\overline{C_4-C_5}$	$\overline{C-C_m}$	$\overline{C}$
3 ($N=15$)	H(1)	29.5	21.8			6.4	57.7
	H(2)	28.1	21.0			6.2	55.3
	S	25.0	18.6			5.9	49.5
	H(1)-S (%)	15.2	14.7			8.3	14.2
	H(2)-S (%)	10.9	11.4			5.4	10.5
	M	27.8	21.3			6.5	55.6
	H(1)-M (%)	5.7	2.5			−1.0	3.7
	H(2)-M (%)	1.0	−1.3			−4.3	−0.5
4 ($N=72$)	H(1)	26.1	17.7	12.4		5.2	61.4
	H(2)	25.0	17.2	11.7		4.9	58.8
	S	21.6	15.2	10.1		4.6	51.6
	H(1)-M (%)	17.2	14.3	18.2		11.0	16.1
	H(2)-M (%)	13.5	11.6	13.4		6.2	12.3
	M	25.6	17.6	12.1		4.9	60.1
	H(1)-M (%)	2.0	1.2	2.8		5.1	2.2
	H(2)-M (%)	−2.3	−2.0	−3.0		0	−2.2
5 ($N=18$)	H(1)	24.4	18.2	11.2	8.7	3.9	66.3
	H(2)	23.4	17.7	10.8	8.1	3.8	63.9
	S	20.3	14.7	9.2	6.9	3.4	54.6
	H(1)-S (%)	16.6	19.3	17.4	20.5	11.4	17.7
	H(2)-S (%)	13.0	17.2	14.9	14.5	10.1	14.5
	M	24.5	17.8	10.9	8.2	3.7	65.1
	H(1)-M (%)	−0.2	1.8	2.5	6.4	4.3	1.9
	H(2)-M (%)	−4.5	−0.6	−0.5	−0.7	2.9	−1.8

H: tracing method by hand, (1): ajusted ridge number, (2): actual ridge number,
S: scanner method, M: micro-sliding method

これを比率で示すと $\overline{C_1}$ 10.9～13.5%, $\overline{C_2-C_1}$ 11.4～17.2%, $\overline{C_3-C_2}$ 13.4 および 14.9%, $\overline{C_4-C_3}$ 14.5%, $\overline{C}$ 3 年魚 10.5%, 同 4 年魚 12.3%, 同 5 年魚 14.5% となり, 全資料こみで読み落し率は 12.5% となる。個々の資料の差の分布は Table 3 に示す通りで, 隆起線数が一致したものの割合は C_1, C_2-C_1, C_3-C_2 および C_4-C_3 で 11.4%, 16.2%, 26.7%, 27.8%, また C では 3 年魚, 4 年・5 年魚が 6.7% および 0% である。その他の大部分のものは C_1 では 1～9 本, C_2-C_1 では 1～8 本, C_3-C_2 では 1～5 本, C_4-C_3 では 1～3 本, C では 3 年魚 1～12 本, 4 年魚 1～16 本, 5 年魚 3～17 本の範囲内で読み落している。C_2-C_1, C_3-C_2 および $C-C_m$ では若干個体数のものが過多に計測しているが, その隆起線数はせいぜい 1～2 本であるから, これは両方法の計測時の測定軸のずれによる誤差とみてよいであろう。個々の計測値の差の平均値は $C-C_m$ の 3 年魚では有意性は認められないが, その他はいずれも有意である。鱗の成長曲線から隆起線読み落し鱗部位を指摘すると (Fig. 18-1, D, E) 中心周辺と年輪部位が多く, その推定読み落し率は約 20% と 52% であり, 合せて 72% の高率を示す。またプラスチック板上の傷で隆起線の映像がうすれている部分 (Fig. 9, e) や測定軸に隆起線が斜交している部分で読み落す場合も屢々みられた。なお参考までに目視手動によ

Table 3. Frequency distribution of the differences (x) in ridge numbers between the tracing method by hand and the S-method

Ridge / Age / x	C_1			C_2–C_1			C_3–C_2		C_4–C_3	C–C_m			C		
	3	4	5	3	4	5	4	5	5	3	4	5	3	4	5
− 2											1				
− 1					1		1	1			4				
0	4	6	2	3	12	2	20	4	5	12	53	13	1		
+ 1	2	12	1	2	22	2	17	5	7	1	8	3	1	1	
+ 2	2	9	5	3	16	2	16	3	4	2	1	2	1	7	
+ 3		11	5	4	8	6	11	2	2		3		2	2	1
+ 4	3	12	1	1	6	1	4	2			1		2	5	
+ 5	2	10	1		3	3	3	1			1			9	1
+ 6		5	2	2	2	2							1	8	2
+ 7		5			1								2	7	1
+ 8			1		1								2	9	2
+ 9	2	2												5	4
+10													1	6	2
+11														3	2
+12													2	6	
+13														2	1
+14														1	
+15															
+16														1	1
+17															1
N	15	72	18	15	72	18	72	18	18	15	72	18	15	72	18
$\bar{x}$	3.067	3.389	3.056	2.400	1.986	3.056	1.556	1.611	1.167	0.333	0.306	0.389	5.800	7.236	9.278
t	3.912 ($P<$ 0.005)	12.935 ($P<$ 0.001)	6.174 ($P<$ 0.001)	4.839 ($P<$ 0.001)	9.324 ($P<$ 0.001)	6.961 ($P<$ 0.001)	9.207 ($P<$ 0.001)	4.141 ($P<$ 0.001)	5.030 ($P<$ 0.001)	1.781 ($P>$ 0.05)	2.429 ($P<$ 0.05)	2.358 ($P<$ 0.05)	5.937 ($P<$ 0.001)	18.181 ($P<$ 0.001)	11.098 ($P<$ 0.001)

る修正隆起線数とS方式の結果を比較すると全資料こみで後者の方が 16.1% 少いことになる。

次に目視手動計測とM方式計測の結果を比べよう。前述したようにM方式の場合にはRとCの値は画かれた成長曲線から直ちに読み取ることはできても $R_1 \cdots R_n$ および $C_1 \cdots C_n$ は一度曲線の勾配の状態から年輪位置を判定した後でなければ読み取りえない。測定軸上の年輪位置は隆起線間隔の狭いところから広いところへの変移点であるから，成長曲線の上では上に凸の曲線から上に凹の曲線へのいわゆる変曲点となって現われる。しかし測定軸上に隆起線の不連続なところがあったり，年輪ではないが 1～2 本の隆起線が密に形成されている部分があるとそれらの部分では年輪位置と同様な曲線が画かれるであろうし，事実後述するように成長曲線から判断した年令と実際の年令とが食い違う資料も若干あるので，ここでは目視手動計測による $R_1 \cdots R_n$ の値を逆に記録紙の鱗長（縦軸）に換算し記入することによって C_1, C_2-$C_1 \cdots$ 等の隆起線数を読み取り（Fig. 18-2），目視手動の結果と比較した。長さに関するM方式の精度は極めて良好であるので，このような換算記入の操作から可成り正確な年輪位置を成長曲線上に指示したものと考えられる。両者の結果は Table 2 に示す通りで目視手動実測隆起線平均値とM方式計測平均値との差は $\overline{C_1}$ が −1.1～0.3 本，$\overline{C_2\text{-}C_1}$ が −0.4～−0.1 本，$\overline{C_3\text{-}C_2}$ が −0.4 および −0.1 本，$\overline{C_4\text{-}C_3}$ が −0.1 本であり，$\overline{C}$ が3年魚では −0.3 本，4年魚では −1.3 本，5 年魚では −1.2 本であって3年魚の $\overline{C_1}$ 以外ではいずれもM方式の方が若干多く数えている。これを比率で示すと $\overline{C_1}$ が −4.5～1.0%，$\overline{C_2\text{-}C_1}$ が −2.0～−0.6%，$\overline{C_3\text{-}C_2}$ が −3.0 および −0.5%，$\overline{C_4\text{-}C_3}$ が −0.7%，$\overline{C}$ では3年魚が −0.5%，4 年魚が −2.2%，5 年魚が −1.8% となり，全資料こみで −1.9% すなわち M 方式の方が 1.9% 多く読み取ったことになる。個々の資料の差の分布をみると（Table 4），分布の峰が0にある場合が多く，両者の隆起線数が一致したものの割合は C_1 が 37.1%，C_2-C_1 が 43.8%，C_3-C_2 が 45.6%，C_4-C_3 が 27.8%，C では3年魚が 26.7%，4 年魚が 18.1%，5 年魚が 27.8% である。個々の計測値の差の平均値は 4 年魚の全資料（但し C-C_m を除く）と5年魚の C_1 の場合には有意であり，その他の資料では有意性が認められない。鱗の成長曲線（Fig. 18-2）から隆起線を読み落している鱗部位や多く読み取っている鱗部位を具体的に指摘することは，このM方式計測の場合には読鱗速度が速く，曲線自体が可成り平滑化されているために困難である。なお目視手動による修正隆起線数と比較べれば全資料こみでM方式の方が 2.3% 少いことになる。

以上の結果は目視手動による輪半径の換算値から推定したM方式読みによる隆起線数と目視手動計測隆起線数とを比較したものであるが，次に問題になるのは輪半径からの推定隆起線数と成長曲線自体から判読算定した数がどの程度一致するかということである。換言すれば検出子が隆起線を読み落そうと隆起線以外の模様を読み取ろうとそれらとは関係なく検出子が年輪位置までに数えた隆起線数と成長曲線から判断される年輪位置までに算定した数（共に記録紙の横軸，Fig. 18-2）とを比較することによって成長曲線からの年輪位置判定の精度を明らかにすることである。資料中実際の年輪数と成長曲線から判定した年輪数とが食い違うものは3年魚で2個体（成長曲線からの判定年輪数 3, Fig. 18-2, D），4年魚で7個体（判定年輪数2のもの2個体，4のもの4個体，判定不能なもの1個体，Fig. 18-2, E, F, G），5 年魚で3個体（判定年輪数 3, Fig. 18-2, H）みられ，その割合はそれぞれの年令群の資料の約 13%，10% および 17% にあたる。これらを資料から除外して上記2方法による $C_1 \cdots C_n$ の差をみると（Table 5），いずれもその度数分布の峰は0にあって隆起線数の一致している個体の割合は C_1 が 61%，C_2 が 51%，C_3 が 66%，C_4 が 67% であり，±1 本の許容範囲をとればその間にそれぞれ 91%，87%，91% および 93% がはいる。Table 5 の中には飛び離れた値を示すものが若干みられるが，差の平均値は C_1 が −0.13～0.23，C_2 が −0.60～−0.14，C_3 が −0.13，C_4 が −0.33 で，3 年魚の C_1 以外の資料では成長曲線から判断算定した隆起線数の平

Table 4. Frequency distribution of the differences (x) in ridge numbers between the tracing method by hand and the M-method

Ridge / Age / x	C_1			C_2–C_1			C_3–C_2		C_4–C_3	C–C_m			C		
	3	4	5	3	4	5	4	5	5	3	4	5	3	4	5
−7															1
−6														2	1
−5					1									3	
−4		3	2				1							5	
−3		1	1							1	1		1	12	2
−2		10	2	2	7	2	9	1	3		1		1	12	2
−1	5	20	6	5	20	4	19	3	4	1	7	2	6	10	3
0	6	28	5	6	33	7	30	11	5	13	54	12	4	13	5
+1	1	8	2	1	8	4	11	2	4		6	4		8	3
+2	2	1			3	1	1	1	1		3		2	4	1
+3		1					1		1				1	3	
+4	1			1											
N	15	72	18	15	72	18	72	18	18	15	72	18	15	72	18
$\bar{x}$	0.267	−0.583	−1.056	−0.267	−0.347	−0.111	−0.347	−0.056	−0.056	−0.267	0	0.111	−0.267	−1.278	−1.167
t	0.728 ($P>$ 0.40)	3.913 ($P<$ 0.001)	3.043 ($P<$ 0.01)	0.728 ($P>$ 0.40)	2.690 ($P<$ 0.01)	0.437 ($P>$ 0.50)	2.669 ($P<$ 0.01)	0.273 ($P>$ 0.05)	0.171 ($P>$ 0.05)	1.342 ($P>$ 0.20)		0.810 ($P>$ 0.40)	0.654 ($P>$ 0.50)	5.051 ($P<$ 0.001)	2.080 ($P>$ 0.05)

Table 5. Frequency distribution of the differences (x) between ridge numbers estimated by putting the actual scale radius into scale growth curve and that counted by the position of annual rings on scale growth curve

Ridge / Age / x	C_1			C_2			C_3		C_4
	3	4	5	3	4	5	4	5	5
−5					1				
−4						1			
−3		1			1				1
−2		3			2	1	2	2	
−1	1	10	6	4	15	5	8	3	3
0	8	43	6	6	35	6	46	7	10
+1	4	5	2	2	5	2	8	1	1
+2		2	1		5		1	2	
+3		1			1				
+4				1					
N	13	65	15	13	65	15	65	15	15
$\bar{x}$	0.231	−0.108	−0.133	−0.154	−0.139	−0.600	−0.133	−0.133	−0.333
t	1.392 ($P>$ 0.10)	0.885 ($P>$ 0.20)	0.564 ($P>$ 0.50)	0.413 ($P>$ 0.50)	0.979 ($P>$ 0.20)	1.869 ($P>$ 0.05)	1.622 ($P>$ 0.10)	0.433 ($P>$ 0.50)	1.435 ($P>$ 0.10)

均値の方が若干大きいが，その差はいずれも有意でない。このことは両方法による年輪位置までの隆起線読み取り数が平均的な意味でよく一致していることを示しており，個々の資料の一致の度合もまた前述のように可成り高いものであった。

VI-2. 能率について

鱗の測定所要時間を比べることによって目視手動，S方式およびM方式計測の能率を検討することにする。10 枚の鱗を連続的に測定し，間に 5 分の休み時間をおいて，これを 5 回繰返した結果を Table 6 に示す。これらの 3 方法による結果は同一観測者が異なった日時に行ったものである。この場合にはS方式計測では作動中に前述した記録紙上の年輪位置の読み取りは行なっていない。計測操作の主な手順は次の通りである。

Table 6. The time required for scale reading by three methods

Exp.	Individual number	Record of time		
		H min.-sec.	S min.-sec.	M min.-sec.
1	10 (4-year: 6, 5-year: 4)	17—24	19—15	11—33
2	10 (4-year: 9, 5-year: 1)	16—11	17—31	10— 0
3	10 (3-year: 5, 4-year: 4, 5-year: 1)	13—59	17—56	9—42
4	10 (3-year: 2, 4-year: 6, 5-year: 2)	13—55	17—40	9—16
5	10 (3-year: 2, 4-year: 8)	14—30	17— 3	9—22
Total	50 (3-year: 9, 4-year: 33, 5-year: 8)	75—59	89—25	49—53

H: tracing method by hand, S: scanner method, M: micro-sliding method

目視手動計測

①投映機の電源スイッチ入，②鱗の像を投影面に入れる，③焦点を合わせる，④鱗の最長軸に紙片をあて隆起線および年輪位置を記入する，⑤次の鱗の像を投影面に入れる。

S方式計測

①投影器，検出子送り用モーター（M方式では載物台送り用モーター），機械リレー式計数装置（M方式では電子管式計数装置）および記録機のスイッチ入，②③同上，④検出子を鱗の中心に，検出子走行線を鱗の最長軸にそれぞれ合わせる，⑤検出子送り用モーター起動ボタンを押す，⑥記録装置のペンをもどし記録紙を送って次の目盛り原点にペンを合わせる，⑦次の鱗の像を投影面に入れる。

M方式計測

①②③S方式と同じ，④投影面の梨地上に画かれた直線（載物台の走行方向軸）に鱗の最長軸を合わせる。⑤映像を移動して固定検出子に鱗の中心を合わせる。⑥載物台送り用モーターおよび記録装置モーターの起動ボタンを同時に押す，⑦S方式の⑥と同じ，⑧次の鱗の像を投影面に入れる。

以上の諸手順に従って計測を行なった結果，10 枚の鱗の連続測定所要時間は目視手動で 13 分 55 秒～17 分 24 秒，S方式で 17 分 3 秒～19 分 15 秒，M 方式では 9 分 16 秒～11 分 33 秒かかり，50 枚の集計所要時間はそれぞれ約 76 分，89 分および 50 分となり，M方式が最も短く時間的には目視手動より約 35%，またS方式より約 45% 能率が良いことになる。操作手順の多い割に M方式の能率が良好な理由は読鱗速度が極めて速い（34 mm/sec）ことによるものである。S方式の能率が目視手動の場合より若干悪いのは操作手順が多い上に検出子の走行速度が遅く（5.0 mm/sec），しかも走行軸の終着点から始発点に検出子がもどる間に約 41 秒かかるためである。能率の判定は厳密には可成り複雑な要素をも加味して検討しなければならない問題であって，鱗の測定所要時間は例えば観測者の測定時における精神的肉体的条件の良否によっても変るであろうし，計測方法に対する観測者の習熟の程度によっても左右されるであろう。本結果はS方式およびM方式計測ともにほぼ同様な操作の習熟状態のもとで行なわれて得られたものであるから，観測者の精神的肉体的条件は大体同様であったと見做せば両方式による能率の差はほぼ妥当な値とみてよいであろうが，目視手動計測と機器計測の能率の差は観測者によって若干修正しなければならないかも知れない。読鱗作業による観測者の疲労の度合は特に多数枚の鱗を処理する場合には累積的に能率影響するものと考えられるので重要な問題であるが，本試験では3計測方法による疲労の程度は測定していない。しかし機器計測では目視手動計測に比べて視覚と腕の疲労は少ない反面，操作事項の多いことが精神的な負担になることだけは指摘できそうである。

以上の諸結果の検討から，本装置と計測過程で再度点検すべきところや将来精度向上と能率増進のためにさらに改良すべき諸点を次に指摘する。

本装置の長さ（鱗長）に関する精度はS方式・M方式ともに極めて良好であるが，いずれも実長より若干長めに測定する。この差は統計的には有意でないが多数の資料を測定した場合には有意な偏りとなりうる可能性も考えられるので，①検出子送り用モーター，載物台送り用モーターおよび記録紙送り用モーターの回転にむらはないかどうか，②M方式の場合に載物台送り用モータ起動スウィッチと，記録紙送り用モーター起動ボタンを同時に操作した時の両者モーターの始動と余動の差異，③計測の諸過程における観測者の個人的な誤差等の諸点に検討を加える必要がある。傾向的な測定値の偏りが機械的原因によるものか，人為的な原因によるものかを明らかにし，その偏りの程度を測って鱗長の読み取り値を補正すれば長さに関するより正確な値を得ることができる。

隆起線数算定に関してはS方式計測の精度は良好とはいえず，その読み落し率は 12% に及んでいる。これは検出子中心軸が投影器光軸と一致しない範囲が必ず生ずるという機械的な欠陥によること

もあろうが，結像面とスリットと光感面との関係が充分に調整され得てないことにその主要な原因が伏在しているものと思われ，この方式にもっと修正改良の余地のあることを示唆するものであろう。一方M方式計測の場合にはほぼ満足すべき精度は得られたが，傾向的には目視手動計測より数えた値が若干大きく，年級群の資料によっては有意な偏りを示した結果もあった。M方式計測では特に鱗相の鮮明度を失わない程度に焦点を調節することによって隆起線間に観察される皺状模様を消去するように努力したのであるが，完全に消去しえなかった皺状模様の或るものを検出子が読み取ったために上記のような結果が得られたのかも知れない。若しその主因が皺状模様にあるとすれば隆起線に比べて極めて映像の薄いこれら皺状模様を読み取らないような電気光学的な改良を必要とするものと思われ，ここにもスリットや光感導電子の整合がさらに必要とされる点が残されたといわなければならない。

M方式計測によって記録紙に画かれた鱗の成長曲線から年輪位置を指示することは，定規の一辺を曲線に沿わせて移動することによって容易に行なうことができる。しかし年輪位置を判定しえなかったものや実際の年令と違った年令判定を行なったものの割合は約 11% もあり，これは無視することのできない値であると同時に，資料中に 11% 前後の間違いがあれば例えば年令組成や鱗相の諸特性値から正確な生物学的情報を得ることは難しくなるであろう。また年輪数は一致していても実測輪半径から推定した年輪位置と誤差とは別の原因で異なった位置を指示した場合もわずかではあるがみられた。従って本自動検鱗装置にさらに例えば成長曲線上の任意のところで打点標示できるような装置を附加することが望ましい。

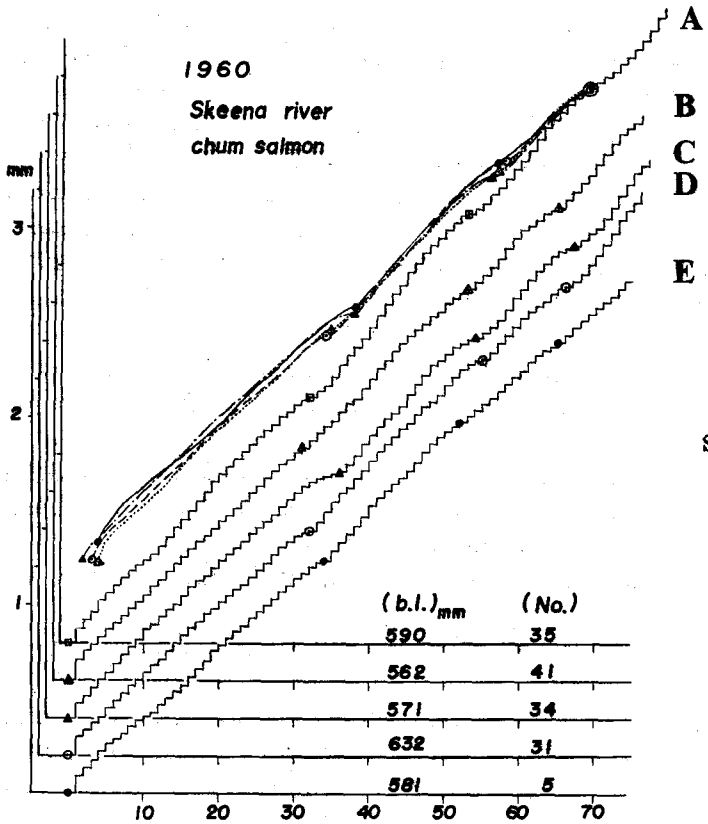
機器計測の能率をさらに高めるためにはM方式の場合では鱗の測定軸と中心をそれぞれ載物台移動方向軸と固定検出子に合わせる作業を自動化すること，S方式では検出子の読鱗時の走行速度を速くし，終着点から始発点への検出子のもどりを急速に行なうこと，またいずれの方式でもスイッチまたはボタンの一操作で記録ペンをもどし記録紙の次の目盛り原点に合わせることが必要である。諸スイッチおよびボタン類を本装置の操作し易い一板面に配列整理することも操作を簡単にし疲労を削減して能率を向上させる一方法である。

本装置製作の目的は前述のように鱗紋測定を自動化することによる読鱗作業の能率化にあるが，本装置の重要な特徴は鱗の成長曲線すなわち生物学的時間（隆起線の形成）に対する鱗の伸びの状態を画かせるところにある。従来の鱗相解析の研究で測定され現在でもなお多数の研究者が測定している鱗相の諸特性値，例えば第1輪までの鱗の長さおよび隆起線数，鱗の中心から特定本数の隆起線が形成されているところまでの鱗の長さ等をこの成長曲線から容易に読みとることができるし，鱗の成長曲線を魚の生活経歴曲線の一種と考えた場合，さらにいくつかの有用な資源生物学的知見を得ることができるであろう。これに関しては次章で若干の試見を述べてみたい。

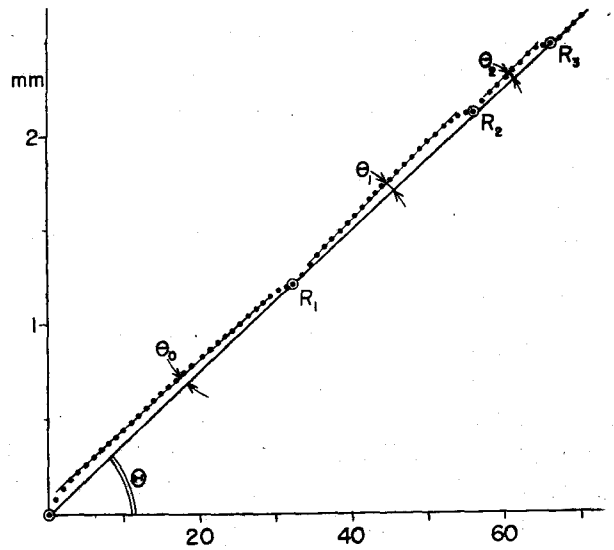
VII. 将来への期待

本研究では，試作経費の面から考えて縦軸に隆起線間隔をとらずその積算値（中心からの距離）をとる形に計画したけれども，横軸に隆起線番号をとり縦軸にその間隔をとって画かれる曲線（Fig. 7-1, 7-2）は従来もしばしば生物学者によって種々検討されて来たし，著者等（久新・川島）も時系列解析の手法を応用して系統群判別の新しい可能性を展開した事は前にも述べた通りである。しかし機械による計測自動記録がそれに役立つような縦軸を画き得ない現段階では我々は我々の画き得た鱗成長曲線についての別な解釈や応用を発展させなければならない。

実例としてアラスカの Skeena 河で獲られたシロザケ5尾の鱗を階段型成長曲線に画いてみる。そして最終年輪位置で5本を揃えてみると Fig. 19-1 のようになる。すなわち A だけ外ずれて居り，



(19-1)
Superposing comparative method



(19-2)
Inclinations (or the angle of tangential lines) method

Fig. 19. Explaining diagrams of utilizing of scale growth curves
Ordinates; distance (or integrated spaces) from the focus of scale
Abscissae; ridge number

他の B·C·D·E の 4 つは起源点もほぼ一致する。A は採鱗部位の差による輪紋成長差を（相似三角形的に）補正して考えれば第 1 輪までが成長不足と思われ［採鱗部位の差がなく鱗の絶対生長量で比べてもよいならば第 1 輪以後（第 2 年目，第 3 年目）が成長過多と思われ］るのである。精細に見ると C·E は他と比べ第 1 輪だけの位置を異にしており，第 2 年目へ入る時期が隆起線で 3～4 本（人間暦で恐らく 1 ケ月余り）遅れるような洄游を経て来た事を思わせる。

このように，従来の第 1 輪の特性値による判定法で同じ地方（起源）群と見なされる僅か 5 尾の例でも漁獲迄の経歴差によって更に細かく分別されることを知る。そこで，本方式の機械計測記録法が実用化された暁の生物資源問題解明への寄与として，我々は次のような考え方を提唱してもよいであろう。

a）先ず最終年輪点を揃えて中心始発点を検討する。始発点が揃わなくても中間年輪点同志の関係と共に最終年輪点を頂点とする相似三角形を形成するならば，それらの鱗は全く同一系群と見做してよいであろう。何故ならば，魚体長や採鱗部位の違いによる差は鱗径とほぼ相似的にしか変化しないからである。

b）次に Fig. 19-2 に示すように，中心始発点と最終年輪点（R_3）とを結ぶ直線をその鱗（即ち魚体）の平均成長係数と見る。各次年輪点はほぼこの直線に乗るが，第幾次年輪点がこの直線より上又は下のどちらへ外ずれるかで系群の判定が簡便に出来るものと期待される。

c）更に各次年輪点間の成長曲線部分に接線を引いて，前述平均成長係数直線となす角をそれぞれ $\theta_1, \theta_2, \cdots$ とすればこれらの角度の大小がまた生物的な意味（多分年次ごと成長係数変化を示す）を持ち得る筈であって，これらは各魚群の 2, 3, 4, ··· 年目の生育環境を精細に区分するのに役立つであろう。

d）最後に同図 θ_0 は初年度鱗成長曲線に引いた接線が平均成長係数直線となす角であって，これは従来の地方群判別の考え方と根本的には共通なパラメータとも目されるべきものである。初年次後半を重視するか否かはさて置いて従来の佐藤(隆)判定法や久保(達)判定方式ではこれらの接線と横軸そのものとのなす角（図で $\Theta+\theta_0$）の tangent 又はその逆数を見ている事に考え方としては同等であって，θ_0 を見つめているものではない。我々は隆起線番号をある意味での生物時間刻みと見做したいのであるが，実用上これを人間暦（物理時間）に換算する事がまだ成功していない現在では，このような不明部分を減少させる為には横軸を基準としないで平均成長係数直線を基準とすべき事つまり θ_0 を重視する事を提唱したいのである。

機械そのものの改良点はまだ沢山残されているが，その 1 つとして他種輪紋の判読能力を持たせる問題がある。本論では対象例がサケ・マス鱗の輪紋に限られていたので検討考案のし易い事も多かった訳で，今後このような同心円的輪紋だけでなくて他魚種（例えばニシン・イワシ型の鱗，特に隆起線と年輪とが並行的に生じないものなど）も処置判読し得るような形式まで機械の能力を展開せしめる事が先ず肝要であろう。又，鱗のような透過光利用のものだけでなく，反射光線を用いて輪紋を判読計数化する（耳石・脊椎骨・鯨の耳垢栓などの）ものへ簡単に切換え得る方式まで進展させる事が切望されるであろう。

検鱗記録資料が自動計測によりどしどし蓄積され，その読み判けについてもある基準に拠り急速多量に行われるようになったとしても，系群の精細な判別とその間の生理生態差との関係などもっと高次の生物学的資源学的情報を掬み上げ得るためには，機械の誤差を少くしたり人間労力を節減したりする実用的研究のみにとどまらず，もっと生物資源学的基礎研究をも前進させなければならない。生物時間探究のためには，促成魚種（テラピヤ）などを飼育して各部硬組織形成の機序を解明したり，

時系列解析の方法を駆使して不明パラメーターを再整理し直し，これらと魚類の生理・生態との関連を正確に把握したり，根本的研究へ立戻っての正攻法的姿勢が必要となること勿論である。

装置試作の現状は決して満足すべきものではないのであるが，基礎的な難問題にはそれぞれ解決のメドをつけ得たものと確信し，これらの資料を踏み台として更により高い研究が遂行され，一日も早くこのような機械が安価に作製され実用化されて行くよう期待してここに一報とする次第である。

要　　約

鱗の隆起線を読んだり年輪を決定したりする作業は，生物学者にとって実に気骨の折れる仕事であり，処理資料の数が大きいと大変な負担になる。このような労力を節減し，個人誤差を排除するために我々は半自動計測記録装置を試作した。サケ・マスの鱗はプラスチックカードにプレスされ収録されているので，この凹型明暗縞の拡大像を光学的に機械読みさせようというのである。この際鱗の中心を決めることや測定軸を選ぶ事まで機械にやらせるとなれば装置も複雑となり，製作費もかさむので，この2動作は目視手動に残し，その後の計数記録を自動化しようという事で「半自動化」と呼ぶ。

この装置の光感部には光照射で抵抗の変る光導電体 CdS を用いる。それの性能と光学系としての本装置全体との適合性の可否で種々の問題が生ずるので我々は次のように解決して行った。

a) 光軸； 測定時に光軸が偏すると電気的変化量のベース自体がフレるので低周波フイルターを通して明暗縞だけ信号化出来るようにした。これは特にS方式（scanning; 拡大像面上に走査子を動かす方式）の場合有効であった。

b) スリット； 信号化を鋭く「歯切れよく」するためにスリットを活用しようと試みる場合，読み判けるべき明暗縞像の幅と光感部（受光面）の幅との関係やそれら両者間の距離の大小によって，用いるべきスリットの形や置くべき位置なども必然的に決まって来る。

c) 走査時間； 光の強弱によって CdS の response には時定数の大幅な差が生ずる。M方式（microsliding; 光感子を固定し，プラスチックカードの台を微移動させることにより拡大像を辷らせる方式）では光軸の偏移が排除される。又梨地膜の減光作用も避け得るので受光量を大きくとり得ることとなり，拡大像の辷り速さを 34 mm/sec まで上げることが出来た。

d) 記録方法； 隆起線の間隔 1 つずつを縦軸にとり，隆起線数を横軸にとる記録法は，機械化するのに技術的にも経費的にも難点をもつ。そこでこの機械では縦軸に隆起線間隔の積算値（つまり中心からの距離）をとる事にした。この際機械式リレー計数装置では縞幅の狭い所で追随性不足のため読み落としを生ずる事が判った。従って，電子管リレー計数装置とそれに整合するM方式受光装置との組合せが最良である。slit をもっと工夫して小型レンズなどを駆使すればS方式と電子管計数機との組合せもまた実用し易いものとなるであろう。

このようにして試作研究を進め，ほぼ装置の出来上った所でこれを試用してその効果を検討した。従来の目視手刻み方式（これをH方式と呼ぼう）を基準として比較した結果は次のようにまとめられる。（スリットの関係や拡大像面の制限から，H方式とS方式とでは 50 倍，M方式では 100 倍の拡大率を使った。）

α) 鱗の中心からの距離（隆起線間隔の積算値）については，S方式でもM方式でも非常に精度がよく，H方式との比較誤差はそれぞれ 1% 以下である。

β) 隆起線の数え方については，H方式と比べS方式では読み落としが非常に多く 10.5～14.5% に及ぶ。これはスリットその他の光学系の調整研究不充分のためと思われ，そこにはもっと改良考察の余地が残されている。M方式では読み落としによる誤差は少く（約 0.5～2.2%），ほぼ満足すべき

程度である。

γ）年輪位置の判定については従ってS方式が不良でM方式は良好という事になる。

δ）鱗読み所要時間については，S方式はH方式より僅かに遅い程度であるが，M方式ではH方式のほぼ 70% の時間で済み，多数処理に伴なう測定者の疲労を考えると，この機械装置による労力の節減量は相当なものになると期待される。

以上のように，従来の人間的作業よりも精度を余り落とさずに能率を増進させ得る事が判ったが，得られた記録から更に精細な生物資源学的情報を汲みとり得ないかを著者等は考えてみた。本方式で得られる記録（横軸隆起線番号，縦軸は中心から隆起線までの距離）では，各年輪位置が原点と最終年輪位置とを通る直線上にほぼ乗る筈である。この直線を平均成長係数直線と名ずけるが，これと各年輪点との関係（直線からの外ずれ，各年輪点間隔の相似長など）や2つの年輪間の部分曲線に引いた接線がこの平均成長係数直線となす角度などから，従来得られて来た情報以上の系別判定（例えば，起源海域は同じでも成長の経歴——洄游径路——が違うと判ることなど）が可能になるのではないかと期待される。

文　　献

1) 檜山義夫 (1940). 一定期間の飼養による鮭鱒型鱗の成長について. 水産学会報 **8**, 105–115.

2) 近藤恵一 (1957). カタクチイワシ鱗について (I). 東海水研報告 (17), 15–25.

3) 小林哲夫 (1961). サケの年令・成長並に系統に関する研究. 北海道孵化場研究報告 (16), 1–102.

4) Sato, R. (1959). The use of probability paper for the graphical analysis of percentage compositions of chum salmon with different scale characteristics. *Tohoku Jour. Agricultural Research* **10**(1), 75–87.

5) 安田秀明 (1958–61). 鱗の輪紋の研究 (I–IV). 日水誌 **24**(8), 613–615, **25**(2), 95–99, **25**, (7～9) 505–509, **27**(9), 825–830.

6) Rockwell, J. (1962). Progress Report on the semi-automatic scale reader. Mineofax, 1–5.

7) Creaser, C.W. (1926). Structure and growth of the scale of fish in relation to the interpretation of their life-history, with special reference to the sunfish *Eupomotis gibbosus*. *Univ. Mich. Misc. Pubs.* 17.

8) Koo, T. S.Y. (1962). *Age and growth studies of red salmon scale by graphical means. Studies of Alaska Red Salmon.* Univ. Washington (Contrib. No. 107), 51–121.

9) Yamada, J. (1961). Studies on the structure and growth of the scales in the goldfish. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* **9**(2), 181–226.

10) 川島利兵衛・久新健一郎 (1964). 自己相関法によるシロザケの鱗相の解析. 北大集報, **15**(1), 25–33.

11) 北大水産学部 (1961). 海洋調査漁業試験要報 No. 5, 263–342.