



Title	サケ・マス魚群空間構造の解析法
Author(s)	黒木, 敏郎
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 16(1), 7-27
Issue Date	1965-05
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/23242">http://hdl.handle.net/2115/23242</a>
Type	bulletin (article)
File Information	16(1)_P7-27.pdf



[Instructions for use](#)

# サケ・マス魚群空間構造の解析法\*

黒木敏郎

(北海道大学水産学部漁具物理学教室)

## A New Method of Analyzing Space Conditions for Salmon Fish-schools

Toshirō KUROKI

### Abstract

In this paper, the author proposes to analyze space conditions for salmon fish-schools by means of an original method of correlation analysis.

The data which he treated was obtained in June ('64) in the Pacific Ocean, off the Kurile Is. and in July ('64) on the Okhotsk Sea off the Kamchatka Peninsula from Hokusei-maru (cf. Fig. 1<sub>1</sub>). In experimental fishing from this ship, various kinds of material and four sizes of mesh were used for gill-nets under a certain arrangement. (Cf. Appendices [A] and [B].)

First, the author treated catches per unit length of net (in the case of Tan, about 50m) for the calculation. Instead of an actual catch  $N_n$  in the  $n$ -th net,  $\bar{N}_n$  was used for the purpose of counteracting the effects of an obstructive randomness, where  $\bar{N}_n = \{(0.25 N_{n-1}) + (N_n) + (0.25 N_{n+1})\} \div 1.5$ , slidingly weighted.

Secondly, several examples of straight shape in net-setting were selected out of 17 setting shapes observed (cf. Fig. 1<sub>2</sub>). The series of square-root values ( $\sqrt{\quad}$ ) of  $\bar{N}_n$  in these gill-nettings were calculated as autocorrelation function (cf. Appendix [C]) from the view-point of catching efficiency characteristic of the nets. (Cf. Fig. 3<sub>1, 2</sub>). And their power-spectrums were analyzed (cf. Figs. 4, 5, 6, 7 and 8).

Thirdly, in consideration of the space analyzing method (cf. Fig. 11) the author tried to find out the space conditions concerning fish-schools; for example, how distant the intervals between each fish-school were?, in what direction they were shifting? and etc. Some actual values of the space conditions investigated are shown in Table 2.

It may be said that salmon fish-schools were shifting in the direction of  $N$  (north) or NNE with 50m (thin schools)~200m (rich ones) distances between each other in the Pacific Ocean off the Kurile Is. in June, 1964, and that they were shifting in NNE (at 200km from the Kamchatka Pen.) or NE (at 400km from the shore) with about 150m (thin)~600m (rich) distances from each other on the Okhotsk Sea in July, 1964.

Lastly, the author mentioned several experiments to be conducted in the future for the development of his methods; to measure the time elapsed since gill-netting of the fish-body under water to catching it on board, to treat the data which distinguished every kind (species) of fish, to get the data observed by two ships or more in short-time intervals or at short-space intervals, and so on. And, he hoped that the method would be improved further and that the resources of fish, or the stocks and their dynamic transferences, would become better known.

\* 日本水産学会北海道支部大会 (於函館) 1964. 9. 4; 同全国大会 (於下関) 1964. 10. 7 講演発表  
北海道大学水産学部 北洋水産研究施設業績第2号 (Contribution No. 2 from the North Pacific  
Research Unit, Faculty of Fisheries, Hokkaido Univ.)

結 言

ある漁期・漁場で実用漁具に遭遇する魚群の姿は均一に分布する形に見えることの方が少くむしろ漁具への獲られ方には群団をなしているかのように（濃密な又は多尾数の）山を現わす場合の方が多い。このような漁具への獲られ方を通して魚群の空間的な在り方を究めようとする試みが過去においてもしばしばなされて来た<sup>1,2)</sup>。

漁場で魚が均一平坦に分散分布しているものと仮定するかそれとも群団を成しているものと仮定するかの如何によって、例えば漁具漁法の改良を目的とする試験網縄漁具の仕立方や組合せなどは全く違ったものになる筈である。

北洋サケ・マス漁業にあっては実用上の漁具漁法は著しい進歩改善をとげているが、それは膨大な経験蓄積の上に立つものであるかのように見え一度漁具材料や対象魚群に本質的な変革がおこれば忽ち元のレベルに逆戻りして根本的な経験の積み直しを必要とする程度のものでしか思われぬ。従来の貴重な経験や資料を充分に活かしつつより解析的な手段によって魚群の空間的な構造を量的に把握し、そこに群変動の法則性を見出し得るような筋道を立てることが出来るのではないかと願って著者はここに一方法を提起したいのである。これはどこまでも方法の実例であって、得られた結果が役に立つのは勿論望ましい事に違いないけれども、この方法そのものが批判され改良されて行く事が最終的には大きな有用性を生ずるものと信ぜられるから先輩諸兄の御指導や御叱正を切に期待したい。

資料取扱いの考え方

具体的な資料としては 1964 年 6 月の中部千島南方海域ならびに同年 7 月のオホーツク（西カム）海域で行なわれた北海道大学練習船北星丸の試験操業の結果を利用するが資料処理に先立って次のような反省を行ないその対策をたてた。

I. 資料の単位

数量取扱いの始発には 1 反あたり漁獲尾数をとる。魚種によってその回游経路や成長の程度が違って居りそれらの混獲の比率にも変動がある（例えばこの資料で 6 月の千島海域ではマス 8 割サケ他 2 割、7 月のオホーツク海域ではマス 2.5 割サケ 6.6 割他 0.9 割である）けれどもここではサケもマスも漁獲現象を発現させる空間的素因としては同格であると見做し種別や魚体長の差などを網の漁獲特性（選択性）へくり込んだ結果として得られた反当尾数だけで計算を進める。基礎数量が反当尾数であるからには、魚群の空間構造

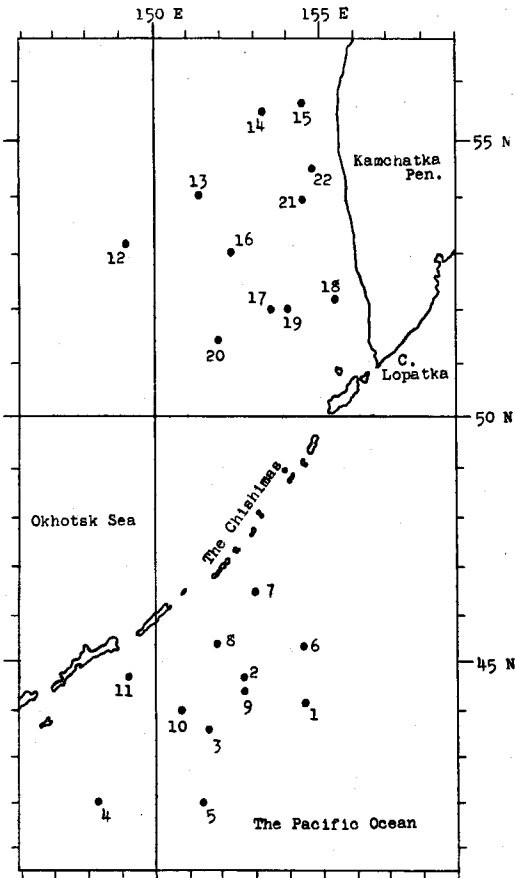


Fig. 1. Chart of fishing points (Hokusei-maru, 1964)

を解析した結果にあっても1反の仕立て長さ(約50m)がその精度の限界となることは勿論である。

ところで北星丸の使用した試験網は網糸材質や目合いの異なった数種のを一定の順序に並べ仕立てたものであって後述のように各網種ごとに漁獲率が相当違っている。このように漁獲性能(又は選択性)の異なる網が隣り合せて縫い縫がれた場合、ある網1反あたりの漁獲尾数はその両隣りの網の性能と互に干渉し合っている事や縫目自体にも罹網効果(マイナス効果も含めて)があることも考えられる。隣合う網同志の干渉の程度は魚の漁獲される生態機構が明らかにされていない現在確実な根拠をもった数値としては提案し難いが、一応魚の視覚を重視して当海域の透明度(6~20m, 平均13.3m)を考慮しつつ計算の便のために1反の1/4すなわち約12.5m程度の空間規模で干渉し合うと考えるのが妥当であろう。そこで得られた第 $n$ 反目の漁獲尾数 $N_n$ の代りに $\{(N_{n-1}/4)+(N_n)+(N_{n+1}/4)\} \div 1.5 = \bar{N}_n$ を実際計算には用いることとする。この修正のため空間解析長さの精度50mもボケるし、本質的には2~3反目ごとの周期性をフィルターにかけて見ることにもなってしまうのであるが、後述の計算を進める上で目的を乱だす程度のrandom性を消す第1次処理として必要と信じこれを行なった。文末 Appendix [A]には使用された試験網の目合・材質・反数・使用回数などを

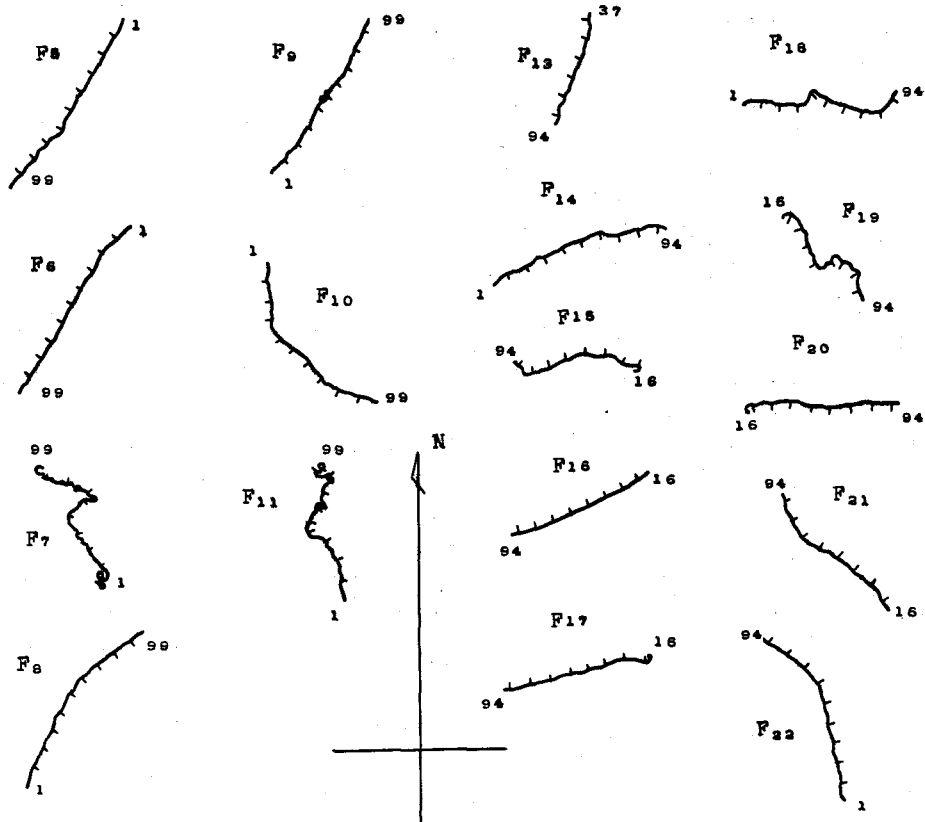


Fig. 12 Magnetic bearings of net-settings  
I ( $F_5-11$ ); in June II ( $F_{13-22}$ ); in July  
1-99, 16-94 and etc; ordered No. of net arranged

示し、同 [B] には操業の日時・地点・漁獲尾数（未修正値）などを示す。Fig. 1; 参照。

## II. 漁具浮設の空間性

底曳網などの漁獲では魚群移動が緩慢で網の動きそのものの掃海立体積が主問題となるのであるが、刺網や延縄の操業では移動する魚群との遭遇率が問題になるので漁具浮設の空間性がややもすれば軽視され勝ちであった。又一方確率的な計算によって魚群の空間構造を推定しようとする場合には標本数の減る事を避けるために取扱うべき操業資料数を増さざるを得ない理由もあって、漁具自体の空間性を考慮しつつ計算した例は少いようである。本論では北洋のサケマス魚群の空間構成を算出したのであるから浮設された漁具の方位や直線性を調査してそのうちのなるべく直線に近い例のみを扱うように努めた。22 操業のうち揚網時の形が実測された 17 例を Fig. 1<sub>2</sub> に掲げる。

尚、以上に述べた事は網を水平的のみに眺めた時の考え方で垂直的な（深さの）事には触れていない。網丈は約 5m で視界（透明度）を考えてもせいぜい 10 数 m 程度であり、水平的な刺網浮設の長さ数 km と比べほとんど 1/1000 の規模となるから、空間構造を取扱うのは水平 2 次元の問題に帰着せしめる事が妥当性を欠くものとは思われない。大きな漁場空間で 100~200m に及ぶ深淺移動のような魚群の生態空間を取扱う事は次の段階でなされるべきであって本論ではこれを扱わない。

## III. 罹網特性基準の考え方

前にも触れたように漁場が違い漁期が異なれば漁獲物の魚種の組成や種内体長組成が変る筈であって、当然材質や目合の如何による網の漁獲性能もそれに伴って変るように見える事になる。その漁場空間の区切りと漁期時間の区切りとを余り細かに採りすぎると標本数が不足して情報汲み上げが怪しくなるので、本論では 1964 年 6 月の中部千島海域を第 I 区分、同年 7 月の西カム海域を第 II 区分とし、各区 11 操業をそれぞれの資料としてまとめることにする。

魚群と漁具との遭遇現象が確率的に生ずるものならばこの区分内の全資料を同じ並べ方で加え合せると網自身以外の要因は高低相消し合い網特性のみが残され信号化されて眺められるであろう。この考え方は区分内の資料数が多ければ多い程正しく適用されるものであって、僅か 11 程度の資料の和では「雑音が消えて漁具特性信号のみが残る」程うまく処理されるかどうかいささか不安であるけれども、この不安は本節最後に述べるような考え方と処理法とで除去されるものと見てよいであろう。

使用網の特性が上のように一応設定されると各回操業での漁獲資料がこの基準特性からどのようにフレて現われたかという資料（各回平均値を総平均値へスライドさせた後で比較計算した結果）は相関解析法の対象となり得る。つまり、漁具（刺網）上に現われた魚群の姿（反当罹網尾数）は一種の空間系列（space-series）ではあるけれどもその現象が 1 一つの定常確率過程であり且つエルゴード的（ergodic）<sup>3)</sup> に生じているならば、狭い意味の「平均エルゴード定理」を適用してよいであろうから、反当罹網尾数の数列は時系列（time-series）として取扱う事を許されるであろう。こうして本論の計算は、使用された独自の網の特性値からのフレの数値列を普通の相関解析法によって解くという手法を踏み、ほぼ直線浮設の網漁具上に推定された遭遇魚群の母系列からその空間構造を求めて行くという順序を経る事になる。

この際、推定母系列が網特性基準からのフレとして求められる以上網基準自体の特質を抱き入っている心配があり、特に異種網間の接続点での不連続性が母系列の不規則成分を増長させている恐れも生ずる。そこで I 区 II 区ごとに網の特性基準そのものの総平均値からのフレを解析して置いてその解析で得られた特質分は、上記手順で推定される母系列の性質からこれを厳密に消去する必要がある。この仕方はいわば相互相関解析の逆利用であって、漁具特性の信号を消し各回ごとの魚群信号のみを掬い揚げようという考え方である。

## IV. 平方根処理の問題

一般に観測値の平均値を算出するにはいろいろな方法がある。最も普遍的なものは算術平均であって、本論のような1区11操業例を各反の網ごとに加えて11で割れば反ごとの平均罹網尾数が算出されると言った例である。ところが、操業1回当りの漁獲尾数が100尾以下から1000尾以上に及ぶ幅を持つ11の操業例ではたくさん(例えば1000尾)獲れた例と少く(例えば100尾)獲れた例とを単純な尾数で加え合せて行くと(例えば豊漁の2%の20尾と不漁の20%の20尾とは同じく扱われることになり)魚群の様相は殆ど豊漁例の資料に左右されて受けとられる事になる。では各回を同じ重みで扱えばどうなるかと言うと11回の各操業の漁獲尾数をそれぞれ100%にとり各反の罹網尾数を100分率に引き直して11例を加えてみると前例とは逆に不漁例の様相が支配的に現われて来る。第1区(6月

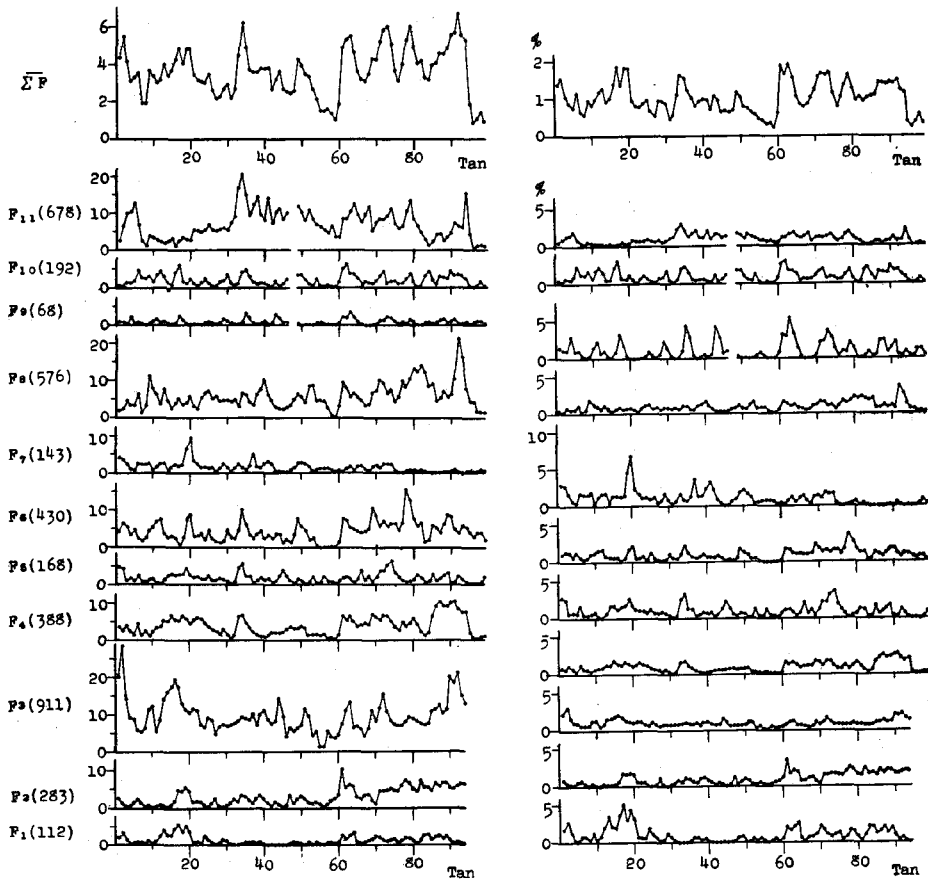


Fig. 2<sub>1</sub> Comparison between catches (per unit length of net) and their percentages in every setting of Group I

Left half; catches

Right half; percentages

Abcissas are ordered numbers of unit (length) net in the arrangement respectively.

Corrected number of catches are shown in ( ) of every setting.

Top figures are mean value series of 11 times of fishing respectively.

千島) を例にとって  
 このような模様を  
 Fig. 2: に示した。  
 最上左半図は尾数和  
 であり同右半図は百  
 分率和(共に平均値)  
 である。前者では第  
 3 回目・第11 回目の  
 操業が利いて居り後  
 者では第 1・7・9 回  
 目操業が利いて居て  
 非加法性の効果があ  
 る事を認めざるを得  
 ない。このような場  
 合統計的によく用い  
 られる平均の仕方に  
 平方根変換法がある\*。  
 ここでもそれを採  
 用したい。

著者が本論にこれ  
 を採用するにはもっ  
 と別な意味もある。  
 その1つは、漁業学  
 的に見て反当り漁獲  
 尾数が魚群のある時  
 空間断面(線)の二  
 剩で現われているも  
 のと思われるからそ  
 れをもとの一次の姿  
 に戻したい為である。  
 つまり魚群がある  
 空間構造を持つ場  
 合、濃密ならば群形  
 は大きいであろうし  
 稀薄群ならば群形は  
 小さいであろう。流  
 刺網漁具が長時間

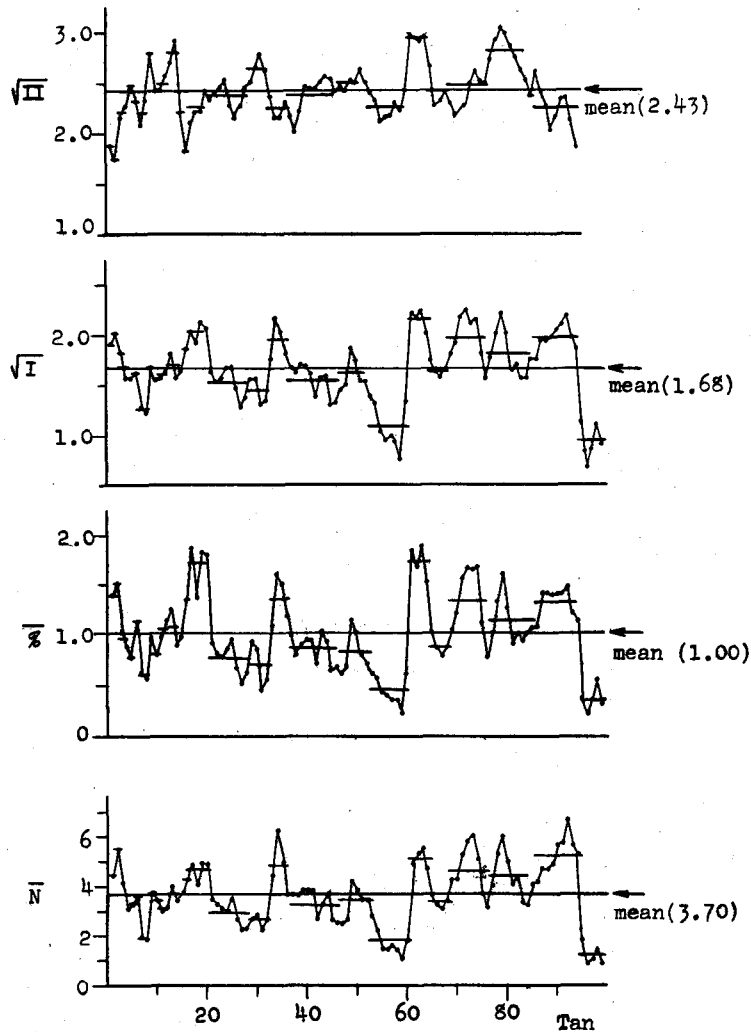


Fig. 2: Four figures of the series of square-root values, of the catches themselves and of their percentages.

Top figure; the series of square-root values (of Group II)  
 upper middle; the same one (of Group I)  
 lower middle; the series of the catches themselves (Group I)  
 bottom figure; the series of the percentages (Group I)  
 respectively, mean values of 11 times of fishing in every Tan.  
 Horizontal lines at various height mean the series of the standardized value.

\* 得られた数値の分散が平均値に比例し且非加法性効果を持つポアソン型分布の資料では  $\sqrt{N}$  (一部の数が小さい時には  $\sqrt{N+1}$ ) に変換した方が有効である。これを平方根変換法と呼ぶ。生物統計法の成書、例えば文末文献 4) を参照。

(1夜間) 海中に浮設されその時間内の積分網尾数が翌朝の漁獲尾数として勘定される以上, 濃い魚群では長い奥行(網に直角な方向の群の大きさ)が網に遭う事となり, 薄い魚群では短い長さの群しか網に遭わないから漁獲尾数は二剩次元で現われていると考えてよい。従って資料を平方根する事は, 魚群の時間(空間)断面を眺める事となって漁業学的に個体群生態学的に意味のある取扱いをしているものと見做されるのである。漁獲資料の平方根処理のもう一つの利点は数学的意味づけの便利さに

Table 1. Characteristic values of gill-nets through three expressions of catching efficiency (Group I)

*) Composition of net			Expressions of averages			Catch average		Percentage aver.		Square-root average		
			materials	mesh size (sūn)	ordered number	total length (tan)	per net-groups arranged	ratio to total average	per net-groups arranged	ratio to total average	per net-groups arranged	ratio to total average
A	3.5	1	1	4.43	1.20	1.40	1.36	1.91	1.14	1.30		
		15	1	3.76	1.03	0.99	0.96	1.65	0.98	0.97		
		16	1	4.30	1.16	1.35	1.31	1.86	1.11	1.23		
		85	1	4.11	1.11	1.07	1.04	1.78	1.06	1.12		
				(mean)	(1.12)		(1.17)		(1.07)	(1.15)		
	3.8	11, 12	2	3.16	0.85	1.07	1.04	1.62	0.96	0.92		
		69~76	8	4.63	1.25	1.35	1.31	1.99	1.18	1.40		
	4.0	3, 4	2	3.67	0.99	0.97	0.94	1.69	1.01	1.02		
		21~28	8	2.95	0.80	0.77	0.75	1.54	0.92	0.84		
	4.3	7, 8	2	1.95	0.53	0.61	0.59	1.26	0.75	0.57		
53~60		8	1.82	0.49	0.46	0.44	1.10	0.66	0.43			
N	3.8	9	1	3.76	1.01	0.98	0.95	1.69	1.01	1.01		
		61~64	4	5.16	1.39	1.74	1.69	2.18	1.30	1.68		
	4.0	13, 14	2	3.74	1.01	1.09	1.05	1.71	1.02	1.04		
		77~84	8	4.43	1.19	1.15	1.12	1.83	1.09	1.19		
	4.3	5	1	3.38	0.91	0.78	0.76	1.59	0.95	0.89		
		29~32	4	2.68	0.72	0.72	0.70	1.45	0.86	0.74		
P	3.8	2	1	5.53	1.49	1.51	1.47	2.03	1.21	1.46		
		17~20	4	4.74	1.28	1.72	1.66	2.04	1.22	1.48		
	4.0	6	1	3.64	0.98	1.15	1.12	1.63	0.97	0.95		
		33~36	4	4.85	1.31	1.36	1.32	1.96	1.16	1.36		
	4.3	10	1	3.45	0.93	0.80	0.78	1.56	0.93	0.86		
		65~68	4	3.40	0.92	0.89	0.87	1.66	0.99	0.97		
T	3.8	86~94	9	5.28	1.42	1.34	1.30	1.99	1.18	1.40		
S <sub>3</sub>	4.0	95~99	5	1.24	0.33	0.38	0.37	0.95	0.57	0.32		
(Total average)				3.70		1.03		1.68				

\*) Cf. Appendix [A].

Remarks: Data of S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> are omitted, but they are contained in calculation of total average.



Table 1. Characteristic values of catching efficiency in June (I) and July (II), 1964 (from Hokusei-maru)

Main net group <sup>*)</sup>				Catch itselfs (average)		Square-root average <sup>**)</sup>				Reverse check	
material	mesh-size (sun)	No.	length (tan)	I	II	average		ratio to total average		(ratio) <sup>2</sup>	
						I	II	I	II	I	II
						A	3.8	69~76	8	4.63	6.99
	4.0	21~28	8	2.95	6.88	1.54	2.37	0.92	0.98	0.84	0.95
	4.3	53~60	8	1.82	6.27	1.10	2.27	0.66	0.94	0.43	0.87
N	3.8	61~64	4	5.16	9.93	2.18	2.95	1.30	1.22	1.68	1.48
	4.0	77~84	8	4.43	9.71	1.83	2.85	1.09	1.16	1.19	1.35
	4.3	29~32	4	2.68	8.21	1.45	2.65	0.86	1.09	0.74	1.20
P	3.8	17~20	4	4.74	5.98	2.04	2.27	1.22	0.94	1.48	0.88
	4.0	33~36	4	4.85	6.34	1.96	2.25	1.16	0.93	1.36	0.86
	4.3	65~68	4	3.40	6.75	1.66	2.43	0.98	1.00	0.97	1.00
T	3.8	86~94	9	5.28	5.84	1.99	2.23	1.18	0.93	1.40	0.87
						(1.68)	(2.43)				
						(Total average)					

\*) Cf. Appendix [A]

\*\*) Cf. Appendix [C] and Fig. 1.

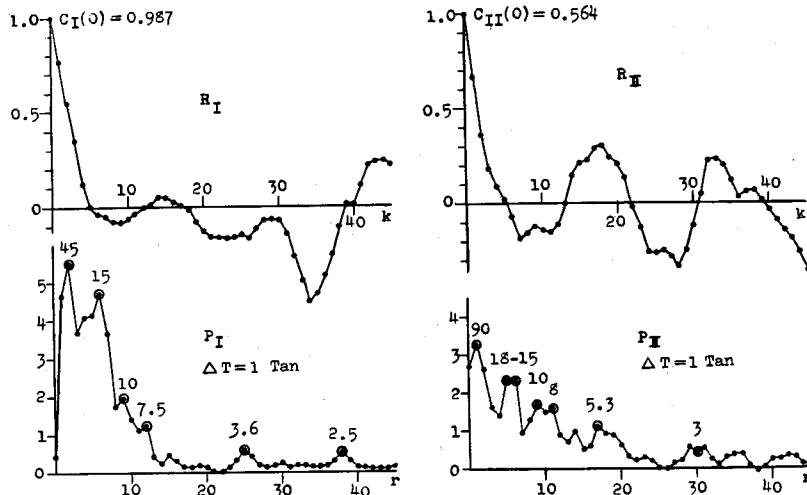


Fig. 3. Auto-correlograms and power-spectrums of the standardized series of square-root values

Left;  $R_I$  and  $P_I$  of Group I, Right;  $R_{II}$  and  $P_{II}$  of Group II

ある。時系列解析法が用いられる場合自己相関解析には先ず「たたまみ込み方式」で二乗次元単位の計算を行ない、次の周期スペクトル計算でもそのままの二乗（パワー）次元を用いる。このような二乗演算の手法は変動の様相や周期の特性値を鮮明に強調する事にはなるけれども得られた結果の具体的

解釈にはしばしば困難を招来する。処理されるべき原資料が初めから平方根処理をされていると、その二剰次元は元来の反当り尾数に戻るから得られた結果の解釈も容易となりこれを産業の現場へ還元するには大きな利点となるであろう。この利点は、特徴が強調され数学的情報が明確に得られ易い事を犠牲にした損失をも補なって余りある点であると言えよう。尚、22回の操業例全部について実際の計算で確めた所、各操業ごとの反当り平均罹網尾数と比較して平方根の各操業ごと平均値を二剰した尾数は $-0.3\sim-0.5\%$ の差(減)しか生じない事が判った。Fig. 2<sub>2</sub>の上半2曲線は平方根変換済み各区11例の平均値として求めたI区・IIの罹網特性基準値系列である。その下半には参考のためI区の尾数平均値特性・百分率平均値特性の2曲線を並べて画いてある。Table 1<sub>1</sub>, 1<sub>2</sub>の数値表でも判るように3つの方法のうち平方根平均による特性値が最も我々の経験的な知見と合致する。

Fig. 3には両区の特性基準値(Fig. 2<sub>2</sub>の山形曲線ではなく網種ごとに引かれた水平線を段階形につないだ線)の自己相関係数図(オートコロログラム) $R_I$ と $R_{II}$ 並びにそれらのパワー・スペクトラム $P_I$ ・ $P_{II}$ を掲げた。この図で窺われる周期性は前節で述べたように網特性によるものであるから爾後の解析では消去される側に置かれる。

### 解析の結果

解析の具体的な手順としてはFig. 1<sub>2</sub>に掲げた網の浮設図のうちから直線に近い形の操業例を選びAppendix [C]に示される計算法に従って先ず自己相関図(オートコロログラム) $R$ を画き次にそれぞれの母系列の周期性を見るためパワー・スペクトラム $P$ を求める。図中の $R$ や $P$ の添字は操業の順番号であってAppendix [B]中の第2欄Fの番号と揃えてある。

#### 第I区(6月中部千島の場合)について

Fig. 1<sub>2</sub>を見るとほぼ直線に近い形のもの $F_5, F_6, F_8, F_9$ である。これらのオートコロログラムとパワー・スペクトラムとをFig. 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>に掲げる。相当に周期性があるように見えるが網特性基準(Fig. 3の $P_I$ )のもつ周期性(波長で50~45反, 18~15反, 3.6反など)は除去して考えなければならぬから、この4操業例から得られる情報は30反, 9~8反, 7~6.5反, 5反前後, 4反前後の周期性が認められると言った程度のものである。アンダーライン(—)は優勢なものを示す。図中( )のついたものは特性基準 $P_I$ の周期と重っているものである。○のついたものは網特性とは無関係な独自の周期性のものを示し、そのうち弱いものは破線丸(○)印をつけた\*。

次にFig. 1<sub>2</sub>のうち曲って浮設された $F_7, F_{10}, F_{11}$ のオートコロログラムをとってみるとFig. 5のようになる。この図だけでも $F_{10}$ ( $R_{10}$ )には明らかな周期性が含まれること、 $F_7$ ( $R_7$ )と $F_{11}$ ( $R_{11}$ )とは長期傾向や大きな不規則性が含まれることが推定される。Fig. 6には $F_{10}$ と $F_7$ のパワー・スペクトラム $P_{10}, P_7$ を示す。見れば判るように $F_{10}$ では22.5反, 6反, 4.5~4.3反の周期性が含まれ直線形の4例(Fig. 4<sub>2</sub>)と殆ど同様である。一方 $F_7$ の方は8反の所に強くない周期性を示すけれども不規則性が強烈に含まれている( $r=0$ でのパワーが異常に高い)ことを知る。再びFig. 1<sub>2</sub>に戻って $F_{10}$ と $F_7$ との形を調べてみよう。 $F_{10}$ はゆるやかな曲りであって、この程度の場合にはほぼ直線的な形のものと同じように取扱ってよい事が判る。 $F_7$ は( $F_{11}$ と共に)ひどく曲っているのでFig. 6で示されるような不規則性の強大な形となるのも当然と考えられ、このような資料は魚群の空間構造を解析する情報源としては全く活用し得ないものである事が数学的にも明かにされた訳である。

\* Appendix [C]で判るように、図は $h=45$ で $P$ を画いてあるから周期の反数を横軸の読み $r$ より算出するには $45 \times 2 = 90$ を $r$ で割ればよい。例えば横軸 $r=6$ でパワー優勢ならば $90 \div 6 = 15$ となって15反目ごとの周期性が強いことになる。パワースペクトル $P$ の図中の山に付けられた数字は $2h \cdot \Delta t / r$ で計算済みの反数である。

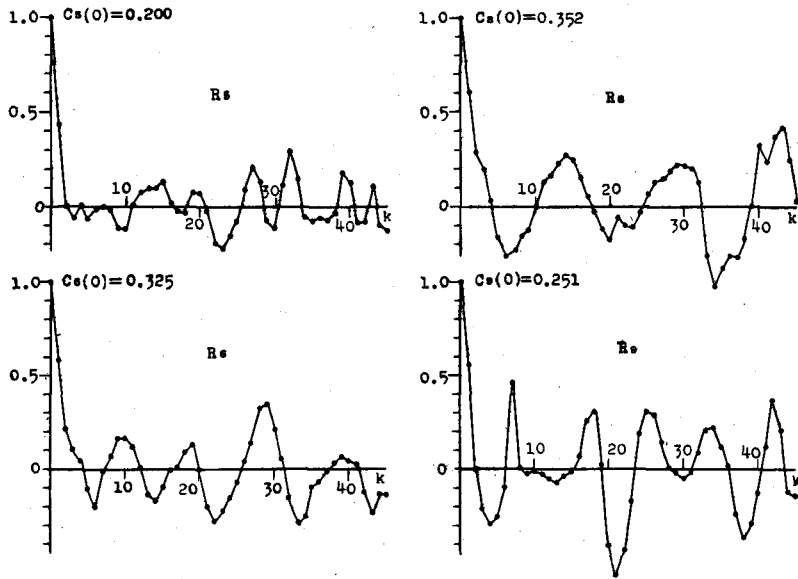


Fig. 4<sub>1</sub> Auto-correlograms of  $F_5$ ,  $F_6$ ,  $F_7$  and  $F_8$ , straight shapes in Group I

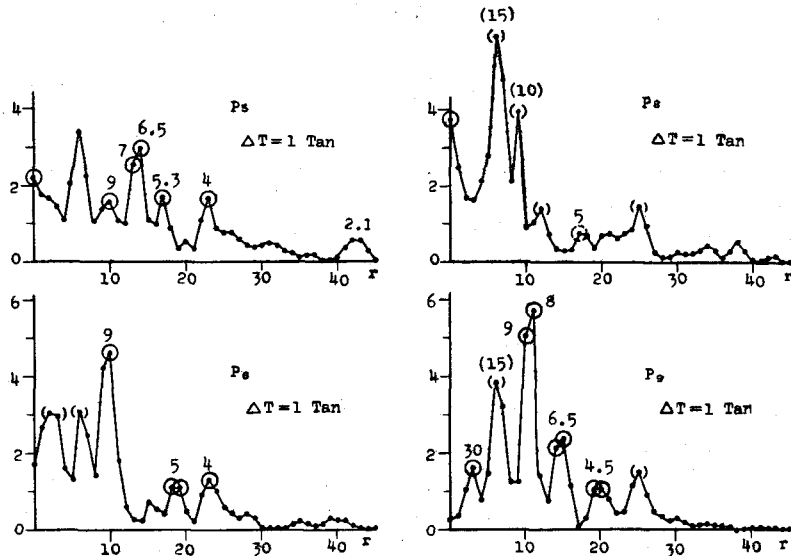


Fig. 4<sub>2</sub> Power-spectrums of  $F_5$ ,  $F_6$ ,  $F_7$  and  $F_8$  in Group I  
 Full circle; strong, broken circle; weak, parentheses;  
 affected by the standard characteristics (cf. Fig. 3  $P_I$ )

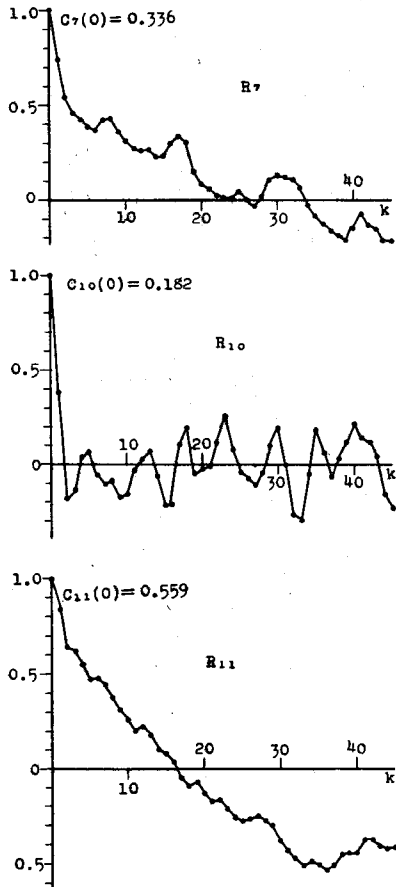


Fig. 5 Auto-correlograms of  $F_7$ ,  $F_{10}$  and  $F_{11}$ , random shapes in Group I

Fig. 6 Power-spectrums of  $F_{10}$  and  $F_7$  There is a certain periodicity in  $F_{10}$ , but a remarkable randomness is found out in  $F_7$ . Cf. Fig. 1.

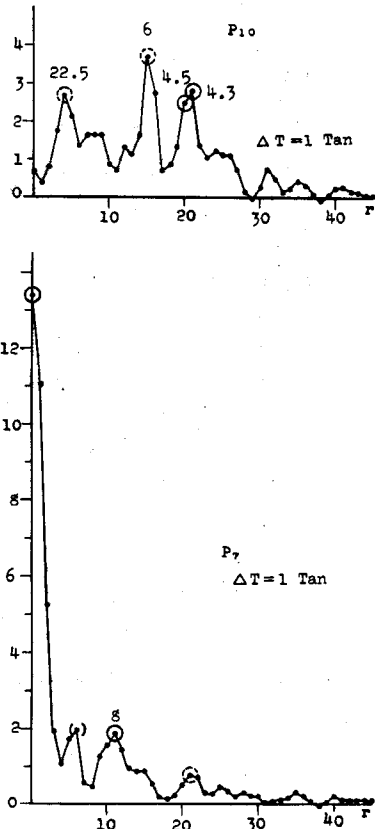


Fig. 6

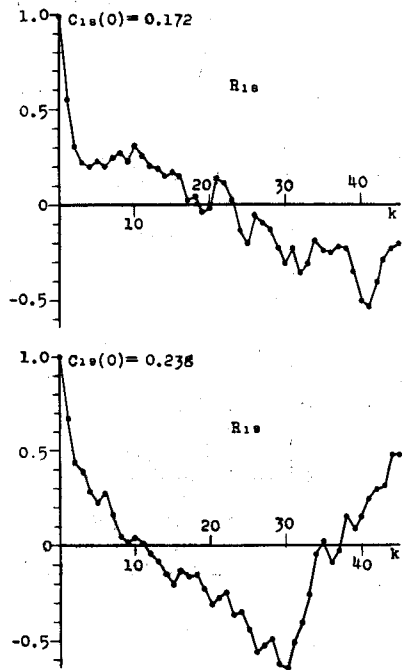


Fig. 7 Auto-correlograms of  $F_{18}$  and  $F_{19}$ , random shapes in Group II

Fig. 7

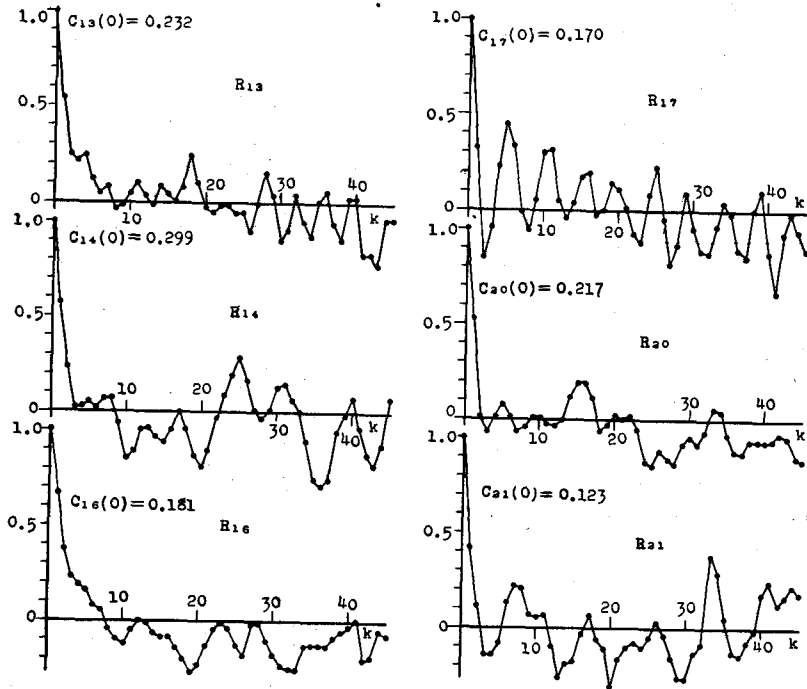


Fig. 8<sub>1</sub> Auto-correlograms of  $F_{13}$ ,  $F_{14}$ ,  $F_{16}$ ,  $F_{17}$ ,  $F_{20}$  and  $F_{21}$ , straight shapes in Group II

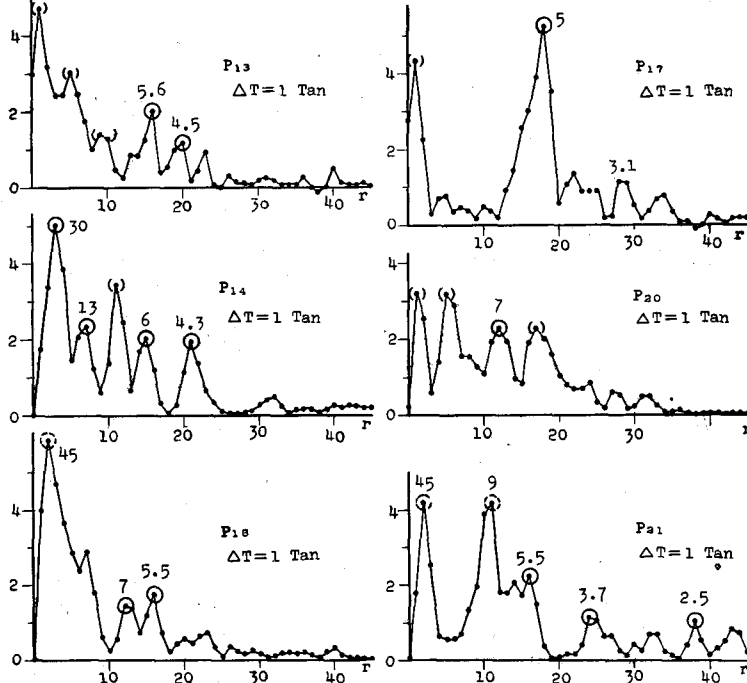


Fig. 8<sub>2</sub> Power-spectrums on these straight net-settings in Group II  
 Full circle; strong, broken circle; weak, parentheses;  
 affected by the standard characteristics (cf. Fig. 3 P<sub>II</sub>)

## 第II区(7月西カムの場合)について

前の例で著しく曲った浮設形の資料は周期性解明に利用し得ない事が判った。そこで Fig. 12 の II 区 10 例のうち曲った  $F_{15}$ ,  $F_{18}$ ,  $F_{19}$  を解析対象から除くことにする。念のため  $F_{18}$ ・ $F_{19}$  のオートコログラムのみを Fig. 7 にかげ解析資料としては外す事の妥当性を示しておく。 $F_{22}$  については後章で取扱うこととし、残り 6 例 ( $F_{13}$ ,  $F_{14}$ ,  $F_{16}$ ,  $F_{17}$ ,  $F_{20}$ ,  $F_{21}$ ) についてそれぞれのオートコログラムとパワー・スペクトラムとを Fig. 8<sub>1</sub>, 8<sub>2</sub> に示す。全体として見受けられるのは網特性基準の周期分を差引いて (45)~30 反, 7~5.5 反, 4.5~4.3 反, 3.7~3.1 反などの周期性である。基準値の中に含まれているものではあっても特にそれより遙かに優勢に(スペクトルとしては輝線的に)出ているのは  $P_{17}$  における 5 反という周期性である。

## 検討並に考察

先ず、羅網特性基準でオートコログラムやパワー・スペクトルを取扱う本法と単純な毎回操業平均値からのフレで計算する方法との間にどのような差があるか、 $F_{17}$  を例として比較検討したのが Fig. 9 である。その上半には本法特性基準のオートコログラム  $R_{17}$  とパワー・スペクトラム  $P_{17}$  を並べ、下半には特性基準でない(単純平均値基準の)オートコログラム  $R_{17}'$  とパワー・スペクトラム  $P_{17}'$  とを並べた。後者のパワーには網の特性が混入していることは  $P_{17}'$  を Fig. 3 の  $P_{II}$  と比べてみれば直ちにうなづける所であって、前者(羅網特性基準)がオートコログラムにしてもパワー・スペクトラムにしても魚群情報のみを提供する点で空間構造解析に有効である事がよく判るであろう。又前章で述べたように曲った形で流された網の場合、オートコログラムが Fig. 5 の  $R_7$ ,  $R_{11}$  や Fig. 7 の  $R_{18}$ ,  $R_{19}$  のような明瞭に不規則性を含む形に出て来ること、特に  $R_{11}$  のように周期的

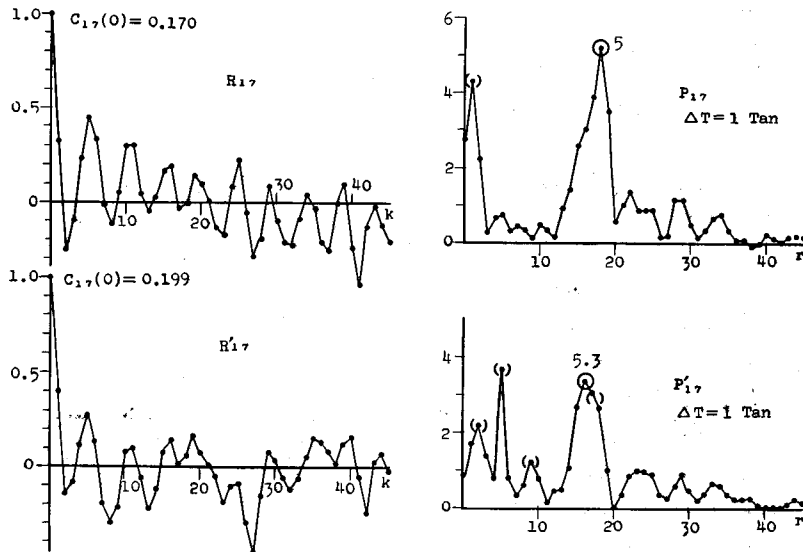


Fig. 9 Comparisons of auto-correlograms and power-spectrums, between the standardized efficiency (characteristic values) method and the overall mean values method; by sample  $F_{17}$

Upper figures  $R_{17}$  and  $P_{17}$ ; through the standardized values  
Lower figures  $R_{17}'$  and  $P_{17}'$ ; through the overall mean values  
Cf. Fig. 3  $P_{II}$  about  $P_{17}'$ .

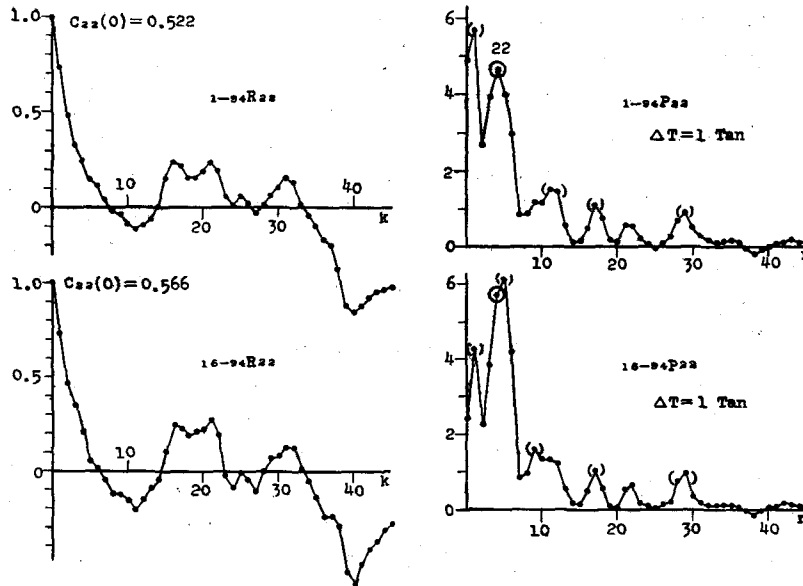


Fig. 10 Comparisons of auto-correlograms and power-spectrums, between overall calculation (net number 1st~94th, 94 Tan) and partial calculation (16th~94th, 79 Tan); by sample  $F_{22}$

凹凸を強く含まない母系列を示すことなどは魚群の空間構造を解明するのに罹網特性を基準にとるやり方が妥当を欠く取扱い方ではない事の証左と考えてもよいであろう。

附表 (Appendix [A], [B]) に示すように、第II区 (7月西カム) での試験網は 94 反仕立てであるが初反から 15 反目までは隔時揚網試験のため別扱いを受けるので資料としては 16 反目以降の 79 反だけを本論の計算対象とした。しかし 1 反から通し 94 反までの資料もあるので 79 反扱いと 94 反扱いとがどれ程の差になるかを確かめて置かねばならない。Fig. 10 に  $F_{22}$  を例とする両方の計算結果を示した。これによればオートコログラムでもパワー・スペクトラムでも両者酷似している事が判る。母系列として計算する相関解析法なのであるからこれは当然の事であって、生の反当り罹網尾数だけで考えるのと比べこの相関解析が遙か

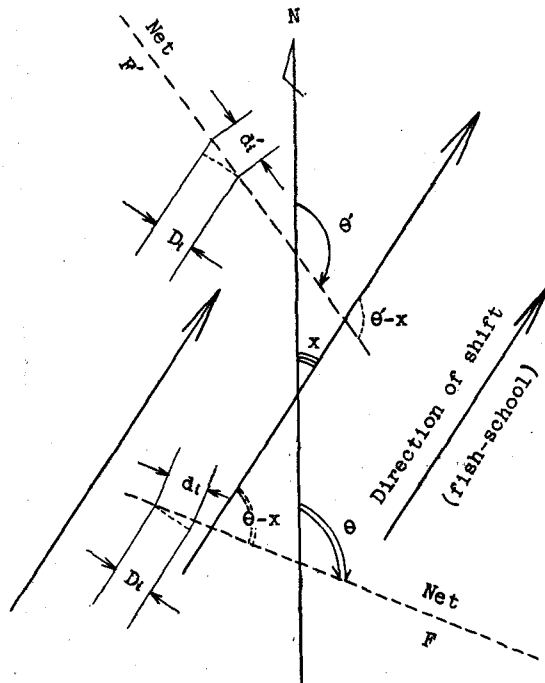


Fig. 11 Illustration explaining the method of space analysis

に信頼のおける方法であることが明白であろう。

以上は本論に採用された資料処理方法に関する反省検討であって、ではこのような手順で得られる情報をどうするのかという点になれば、例数も少く魚群空間構造解析の目的に添う計算成果は豊富なものではないが、一応次のような情報汲上げ法を展開してみた。

今、ある漁期内で近接した日時・空間にはほぼ直線形に浮設された流刺網操業例  $F \cdot F'$  があつたとする。Fig. 11 で示されるように、 $F \cdot F'$  は方位  $\theta \cdot \theta'$  (磁北基準・時計廻り) に置かれ魚群が  $\alpha$  なる方角<sup>\*</sup>へ移動して刺網に遭遇する時、 $F \cdot F'$  の漁獲がその魚群の空間構造特性を乱す事なく行なわれて我々の観測に掛つたものとしよう。図では網長が過大に画かれているが、魚場の広さに比べ網は点のような規模となるのでこの「乱れ無さ」は完璧ではなくとも爾後の計算を歪ませる程ではないと見てよいであろう。網は1夜間セットされて居りこれにそれぞれ  $(\theta - \alpha)$ 、 $(\theta' - \alpha)$  なる角度で魚群団が交差して行った結果を解析して我々は前章のようなオートコロログラムやパワー・スペクトラムを得ている訳である。

ここで  $F$  と  $F'$  とのオートコロログラムが異質のものでなく且それぞれのパワー・スペクトルから得られる空間波長(幾反目に山があるかという長さ)が次の関係にあるものとする。

$$\frac{d_1'}{d_1} \cong \frac{d_2'}{d_2} \cong \frac{d_3'}{d_3} \cong \dots \dots \dots = \alpha^{**} \quad \text{①}$$

ここに  $d_1, d_2, d_3, \dots$  は  $F$  操業におけるパワーの山  $p_1, p_2, p_3, \dots$  に相当する空間波長であり、そのパワー分布と相似な  $F'$  操業のパワーの山  $p_1', p_2', p_3', \dots$  に相当する空間波長が  $d_1', d_2', d_3', \dots$  であるとした。

魚群が似た状態で移動している時には、その移動方向に垂直な面(線)への投影間隔  $D_1, D_2, D_3, \dots$  は  $F$  操業でも  $F'$  操業でも同じ筈であつて、添字 1, 2, 3,  $\dots$  を  $i$  であらわせば

$$d_i \sin(\theta - \alpha) = D_i \quad \text{②}$$

$$d_i' \sin(\theta' - \alpha) = D_i \quad \text{③}$$

$$\text{①, ②, ③ 式より} \quad \therefore \sin(\theta' - \alpha) = \alpha \cdot \sin(\theta - \alpha) \quad \text{④}$$

$\theta \cdot \theta'$  は実測によって知り得るし、 $\alpha$  はパワー・スペクトル解析結果を比較する事によって求め得る値であるから、我々は  $\alpha$  つまり魚群の移動方角を知る事が出来る。 $\alpha$  が判れば ② 又は ③ の式から  $D_i$  (魚群団の間隔) をも知り得る事となる。

例えば、第II区(7月西カム)の操業  $F_{21} \cdot F_{22}$  の1組では  $\alpha \cong 0.71$  であつて、 $F_{21}$  の  $\theta \cong 310^\circ$ 、 $F_{22}$  の  $\theta' \cong 342^\circ$  であるから④式より  $\alpha \cong 25^\circ$  を得る。つまり魚群は NNE の方向へ移動している事を知る。更に  $D_i$  を求めると 1 反 50m と見做して魚群団間隔は 170m, 260m, 400~600m の頻度を持ち、そのうちでもパワーの高さから判断して 260m と 600m とが最も優勢な現われ方をする事まで判るのである。

空間的には離れすぎの嫌いははあるが、6月千島の  $F_5 \cdot F_6$ ;  $F_9 \cdot F_{10}$ ; 7月西カムの  $F_{13} \cdot F_{14}$  の3組も同じように計算し得る関係と認められたのでこれを試みた。上述  $F_{21} \cdot F_{22}$  の組の分も含めて計算結果を Table 2 に表示した。

\*  $\alpha$  なる角度を求める時には真北を基準とする事が普通であろうが、網の配列に対する資料のとり方は [例えば 1→94 迄ある特定値を持つよう] 決められているのであるから  $\theta \cdot \theta'$  の測り方に  $180^\circ$  の狂いを含まぬよう充分気をつけなければならない。

\*\* パワー・スペクトラムが全く等しければ  $\alpha=1$  になるが、相似であつても山の位置がズレている場合には  $\alpha < 1$  又は  $\alpha > 1$  となる。この符合を定めるのにはパワー・スペクトルだけでは困難であつてオートコロログラムの波形も考え合せつつ判断する。



Table 2 Data calculated by the space analysis method

Section (Group)	Month / Date	Zone		Direction of selected nets		$\alpha$ -value† ratio of apparent distances	Directions of shift of fish-schools Mag. bearing (°)	Enrichment ratio to before fishing	Actual distance between fish-schools (m) no mark; ordinary _____; more often _____; most frequently _____
		Latitude N(°-')	Longitude E(°-')	Fishing No.	Mag. bearing (°)				
I	June / 18-20	42-03	151-29	F <sub>5</sub>	33	0.78	24 (NNE)	3.3	30, 40, <u>50</u> , 75, <u>200</u>
		45-21	154-24	F <sub>6</sub>	31				
	June / 23-24	44-23	152-42	F <sub>9</sub>	33	0.74	2 (N)	1.5	120, <u>150</u> , <u>200</u>
		43-59	150-44	F <sub>10</sub>	318				
II	July / 10-11	54-01	151-22	F <sub>13</sub>	19	0.75	49 (NE)	1.5	110, <u>140-150</u> , <u>250</u> , <u>450-550</u>
		55-30	153-16	F <sub>14</sub>	71				
	July / 21-22	53-56	154-29	F <sub>21</sub>	310	0.71	25 (NNE)	2.6	170, <u>260</u> , <u>400-600</u>
		54-30	154-42	F <sub>22</sub>	342				

†) Cf. formula (1) and Fig. 11

僅か4例を以て全体を推す訳には行かないが、具体的な数値例としてこれをまとめれば次のようになる。

I. 6月中旬千島南方海域では、魚の主群（移動方向に垂直な次元での）間隔は50m, 150m, 200m程度の規模であり、これが刺網に掛る時の山の間隔は2倍から甚しきは6倍に拡大されて映る。魚群の移動<sup>\*</sup>の方向は北又は北々東と見なされ、群の濃密になる傾向（濃さの絶対値ではなくて濃さの変化）は千島列島に遠い方が強い。

II. 7月西カム海域では、魚群団間隔は140~150m, 250~260m, 550~600程度を優勢とし、刺網操業ではその2~3倍に拡大されて映る。群の移動方向は西カムに近い（距岸200km）あたりでは北々東へ、遠い（約400km）あたりではほぼ北東へ向くという例値を得たが、群の濃くなる変化の速さは前者が大であるように見える。

このように群の間隔が推定されその濃さの変化が判れば相対的な資源量（その漁期・漁場での群衆体量）も計算出来ることになるが、もっと例数を増し且隔時揚網<sup>\*\*</sup>又はその他の方法<sup>\*\*\*</sup>で罹網経過時間を測定し群移動方向次元での空間構造をも把握して計算の精密化を期しなければならないので、本論ではそこまで追及する事を差控える。しかし、水平魚探（ソーナー）や水中テレビの現段階での技術を以てしてはなかなか探究し得ない数100m規模のこう言った魚群空間構造はここに示された例のような方法で攻められるよりほかに妙案はないのではあるまいか。稚拙を省みず「解析法」として提案する所以である。

<sup>\*</sup> 移動方向が群団の進行方向と一致すとは限らない。10数km~数km程度のループや不規則曲線を描きつつ群団の前線（フロント）がその方向へ移動前進するという考えも含めて「移動方向」と表現していることに留意されたい。

<sup>\*\*</sup> 三島清吉他：1965年4月4日日本水産学会（東京）講演発表。

<sup>\*\*\*</sup> 梨本勝昭：1964年9月4日日本水産学会北海道支部大会（函館）、同年10月6日全国秋季大会（下関）講演発表。

## 結 言

以上、空間配列の測られた流刺網へのサケ・マス罹網の資料に時空間系列のスペクトル解析法を適用して魚群の空間構造を解明する事を試みた。資料数が少く、得られた結果も精確さを欠くものになったけれども、ここには「魚群の空間構造解析の一方法」として提案したものであって、このような考え方はサケ・マス流網のみならずまたマグロ延縄などにも適用されるものと信じ、且又これは従来の統計的手法では魚群特性量のスカラーしか得られなかったものをベクトル量へ一歩前進させ得る考え方であると信じてここに発表するものである。更にこのような資料が沢山集められ、本法のような処理の仕方がもっとうまく適用されるならば情報はもっと正確精密になり、例えばサケ・マスの地方群衆体量のマイクロな変動や群移動の傾向などが判明して漁獲の能率もより資源活用のあり方ももっと合理的なものになるであろう。

さし当り本法を展開して実用的なものとするには ㊶ 先ず罹網経過時刻を測定すること、㊷ 漁獲を魚種別に、同種内では成長段階別に仕分けて資料を処理し直すこと、㊸ 時空間的に近接した資料を得るためには2隻以上の船が協力して資料をまとめるべきこと、(この点については、1母船に所属する多数独航船の資料集取をもっと理論的に行なってこれを駆使するよう当業関係者に注意をうながしたい。) ㊹ そのような資料が研究調査すべき海域に亘って広く多数点で集められ、整理・計算・解析・情報解読などの手続きが一連の理解と協力との下に円滑に遂行される事、等々を必須の条件とするであろう。

水産資源解明と漁業生産性向上とに対する目的意識及び具体化されるべき有用性への数量化意識の両者の下に斯く提起された「魚群空間構造解析の一方法」が厳正に批判され更にはそれが進歩改良されて行くよう期待してここに一報とする次第である。

終りに、本論の資料をまとめるに当って快く協力して頂いた練習船北星丸斉藤船長及び乗組員各位・三島助教教授その他の方々並に相関解析計算に適切な助言を下された川島助教教授、膨大な計算を遂行するのに労を惜まれなかった葛西潤子氏等に深甚の謝意を表するものである。

## 要 約

時空間系列としての刺網漁獲資料を相関解析法で解明し、サケ・マス魚群空間構造究明の新方法を実例で提案することが本報告の目的である。

資料としては北星丸による1964年6月の千島南方海域(第I区とする)並に同年7月のオホーツク西カム海域(第II区とする)での試験操業結果を採り上げた(Fig. 1<sub>1</sub>)。この試験で使用された刺網では色々な材質のもの(目合も4種)が特定の順序反数で配列されている(Appendix [A], [B])。各操業での反当り罹網尾数は先ず無用の不規則性を抑える目的で前後 $\frac{1}{4}$ ずつの移動重みづけで均らされ、次に平方根変換されて、その後の両区ごと総操業平均(網種別)を以て示される罹網特性基準値からのフレ値として求められてからオートコログラムやパワー・スペクトラムが計算され画かれた。(算法は Appendix [C])。

各区それぞれ11操業合計22例のうち網の曲りや浮設された方角が掲網時に観測されたのは17例(Fig. 1<sub>2</sub>)であって、このうち曲って居なかった例だけが時空間解析の対象となる。その解析計算以前の資料処理方法の反省検討が Fig. 2, 3, 9, 10, Table 1 に示され、以後の相関・スペクトル解析計算が Fig. 4, 5, 6, 7, 8 に示されている。解析した結果は網に映じた魚群濃淡の母系列であるから Fig. 11 式 ①, ②, ③, ④ によってこれを空間実体へ還元した。単なる統計的処理ではスカラー量しか得られない所を本法によって時空間ベクトル量へ転換して実用に供し易くする訳である。計算の結果例を Table 2 に示す。これを読めば、第I区では主群間隔50m~200mを拡げつつ、濃密化をゆ

るめつつ且北々東から北方へ移動方向を転じつつ千島列島へ魚群が近よる事を示唆し、第II区では主群間隔を150m~550mから260m~600mと拮げつつ、更に濃密化を強めつつ(カム西岸より200km附近で)北々東へ又は(同距岸400kmで)北東方向へ移動している事がうかがわれる。

このような具体的な数値は例数が僅少である故を以て不確実と批判されたり魚群取扱いが機械的物体主義的でありすぎると考えられる諸賢に対しては、ここに掲げられた実例値を重視される事の代りに、このような考え方や方法を重視して批判叱正されるよう亦このような考え方に代るべきマイクロな資源変動考究の方法を提案して下さるよう注意を喚起したい。このような方法又はその代案の新方法が改良され実用化され、資源群衆体の変動解明や漁業生産性の恒久的向上に役立つためには、更に捕獲魚の罹網経過時間の観察資料や近接した時空間での複数船操業の罹網資料などがより多く集められ、魚種別又は成長段階別の処理計算も進められるよう期待してやまないものである。

#### 文 献

- 1) Maeda, H. (1953). Ecological analysis of pelagic schools (I). *Jour. Sci. Fish. Jap.* 19 (4), 624-629.  
——— (1960). A tentative analysis of the distribution pattern of tuna projected on the long-line. *Jour. Shimonoseki Coll. Fish.* 9 (2), 89-308.  
——— (1964). Distribution pattern of ground-fish hooked along a raw of set-line in the shallower part of the continental slope in the Bering Sea III. *Jour. Sci. Fish. Jap.* 30 (8), 624-629.
- 2) Kuroki, T. (1956). Theoretical estimation of albacore-shoals dimensions in accordance with the characteristic of fishing-rates. *Bull. Fac. Fish., Kagoshima Univ.* 5 (1), 78-90.  
——— (1961). Dimensions of albacore shoals in the Pacific Ocean. *Proc. IX Pacific Sci. Congr.* 1957, 11, 46-53.
- 3) Wiener, N. (1948). *Cybernetics*. Tech. J. Wiley (New York). サイバネティクス, 池原・弥永・室賀共訳 (1957), 岩波. 60~73.
- 4) Snedecor, G. W. (1956). *Statistical method*. 統計的方法. 畑村・奥野・津村共訳 (1962), 岩波. 288~289.

Appendix [A] Materials and their arrangement in the composition  
of the gill-net used

Ordered number from one end	Material of thread <sup>*)</sup>	Mesh size (sun-unit) <sup>**)</sup>	Continued length of one material (tan) <sup>※)</sup>	Times of fishing	
				in June	in July
1	A	3.5	1	11	4
2	P	3.8	1	11	4
3, 4	A	4.0	2	11	4
5	N	4.3	1	11	4
6	P	4.0	1	11	4
7, 8	A	4.3	2	11	4
9	N	3.8	1	11	4
10	P	4.3	1	11	4
11, 12	A	3.8	2	11	4
13, 14	N	4.0	2	11	4
15	A	3.5	1	11	4
16	A	3.5	1	11	10
17-20	P	3.8	4	11	10
21-28	A	4.0	8	11	10
29-32	N	4.3	4	11	10
33-36	P	4.0	4	11	10
37-46	S <sub>1</sub>	(4.0)	10	11	11
47-52	S <sub>2</sub>	(4.0)	6	11	11
53-60	A	4.3	8	11	11
61-64	N	3.8	4	11	11
65-68	P	4.3	4	11	11
69-76	A	3.8	8	11	11
77-84	N	4.0	8	11	11
85	A	3.5	1	11	11
86-94	T	3.8	9	11	11
95-99	S <sub>3</sub>	4.0	5	8	—

\*) Marks of materials: A, Amilan (multi-filament); P, polypropylene (multi-f.); N, Nylon (mono-filament); T, used Tetoron (multi-f.); S<sub>1</sub>, shortening test net (used Amilan, multi-f.); S<sub>2</sub>, special composite net (each half, upper or lower, made of different materials); S<sub>3</sub>, trial material (Pylene ribbon twisted)

\*\*\*) Length of two legs in mesh; Japanese unit "sūn" equals to 30.3 mm

※) tan; Japanese unit of net-length, about 50 m in this case

Appendix [B] Data concerning the experimental gill-net fishing  
from Hokusei-maru, 1964

Section	Fishing No.	Date (set in)/(haul up)	Point of fishing		Length of net used (tan)	Catch number (of fish)	Transparency (m)
			Lat. N (°-′)	Long. E (°-′)			
I*)	F <sub>1</sub>	June 5/6	44-08	154-28	94	113	—
	F <sub>2</sub>	8/9	44-40	152-41	94	282	—
	F <sub>3</sub>	9/10	43-34	151-34	94	913	—
	F <sub>4</sub>	June 16/17	42-01	148-22	99	394	18
	F <sub>5</sub>	17/18	42-00	151-29	99	168	16
	F <sub>6</sub>	19/20	45-21	154-24	99	430	7
	F <sub>7</sub>	20/21	46-30	153-00	99	145	12
	F <sub>8</sub>	21/22	45-26	151-52	99	582	—
	F <sub>9</sub>	22/23	44-23	152-42	97	69	18
	F <sub>10</sub>	23/24	43-59	150-44	97	198	—
	F <sub>11</sub>	24/25	44-41	149-13	97	677	6
II*)	F <sub>12</sub>	July 7/8	53-11	149-11	94	251	—
	F <sub>13</sub>	9/10	54-01	151-22	58	446	—
	F <sub>14</sub>	10/11	55-30	153-16	94	884	—
	F <sub>15</sub>	11/12	55-38	154-29	79	774	—
	F <sub>16</sub>	13/14	53-00	152-20	79	310	—
	F <sub>17</sub>	14/15	52-00	153-30	79	572	—
	F <sub>18</sub>	15/16	52-09	155-25	94	444	—
	F <sub>19</sub>	16/17	52-00	154-00	79	281	—
	F <sub>20</sub>	18/19	51-27	151-56	79	198	—
	F <sub>21</sub>	20/21	53-56	154-29	79	673	—
	F <sub>22</sub>	21/22	54-30	154-42	94	1161	—

\*) Section I; North-west of the Pacific off the Kurile Is., in June, 1964

Section II: South-west of Okhotsk Sea off Kamchatka Pen., in July, 1964

## Appendix [C] Formulae for calculation and notations

$n$  ; ordered number of unit length (tan) of net from one end

$N_n$ ; catch per every  $n$ -th Tan

$\bar{N}_n$ ; (sliding weighted quantity of catch)  $= (0.25 N_{n-1} + 0.5 N_n + 0.25 N_{n+1})$

$$f_I(n) = \left[ \frac{1}{11} \sum_{F_1}^{F_{11}} f(\sqrt{\bar{N}_n}) \right], \quad f_{II}(n) = \left[ \frac{1}{11} \sum_{F_{12}}^{F_{22}} f(\sqrt{\bar{N}_n}) \right],$$

Where [ ] marks shows standardized characteristics of catching efficiency, or the I-II Groups' series of mean values for every same kind of net continued. (Cf. Fig. 2<sub>2</sub>)

In both sections (I and II Groups),  $f_I(n)$  and  $f_{II}(n)$  are expressed with  $f(n)$  generally.

$$\hat{f}(n) = f(n) - \bar{f}(n) \quad [n=1, 2, \dots, M]$$

Here ,  $M$ ; 94 or 99 etc. Cf. Appendix [B], 6th column.

$$\text{Auto-covariation; } C_{ff}(k) = \frac{1}{M-k} \sum_{n=1}^{M-k} \hat{f}(n) \cdot \hat{f}(n+k),$$

$$\text{Auto-correlation; } R_{ff}(k) = C_{ff}(k) / C_{ff}(0), \quad [k=0, 1, 2, \dots, h]$$

For (periodicity-) spectrum analyzing, put frequency  $q$ ,

$$q = r / (2h \cdot \Delta t) \quad [r=0, 1, 2, \dots, h; \text{ here } \Delta t = 1 \text{ tan}]$$

$$\bar{P}_f \left( \frac{r}{2h \cdot \Delta t} \right) = \Delta t \left\{ R_{ff}(0) + 2 \sum_{k=1}^{h-1} R_{ff}(k) \cdot \cos \left( \frac{\pi r k}{h \cdot \Delta t} \right) + (-1)^r R_{ff}(h \cdot \Delta t) \right\}$$

Power-spectrums are shown as the series of next values;

$$\hat{P}_f \left( \frac{r}{2h \cdot \Delta t} \right) = \Delta t \left\{ 0.23 \bar{P}_f \left( \frac{r-1}{2h \cdot \Delta t} \right) + 0.54 \bar{P}_f \left( \frac{r}{2h \cdot \Delta t} \right) + 0.23 \bar{P}_f \left( \frac{r+1}{2h \cdot \Delta t} \right) \right\}$$

(In this paper, auto-correlograms and power-spectrums are shown for  $h=45$ .)