

魚群の移動と出現状況との関係^{*)}

黒 木 敏 郎

Correlation between the Movement and Appearance of Fish School

Toshiro KUROKI

The author discussed about the shifting speed of fish school as the velocity against the ground, separated from the 'pure' swimming velocity in a current. When fish were swimming in a current, they were seemed to hold a position constantly. But, because blind fish had not this tendency, the author recognized that it relied upon the sense of sight.

On the other hand, he estimated the maximum swimming velocity of fish upon the hypothetic that "this is equal to the velocity just under the water surface when fish is going to skip up or to dive away hastily into deep"; and he got the results that the value of the maximum velocity was 200 m/min or more at least for a moment. Generally, the swimming velocity under serene condition was about 1/5 of max. velocity.

Further-more, the author exprimented to investigate about the relations between shifting displacement of fish schools and their appearance on the fishing ground. And, according to the results of this experiments (discharging 100 of carp into 120 m ditch), he pointed out the possibility to estimate the source area and observation points (actual examples are spawning ground and fishing ones respectively). He could explain the shifting phenomena of tunny fishing ground through these ideas.

Lastly, he concluded that it was very important to investigate about the movement of fish school because the shifting displacement was one of the most important factors which influenced to the variations of the fish stock and catch.

序

- I. 游泳速度の考察
 - I. 1. 一般泳速とその分析
 - I. 2. 最大泳速について
- II. 魚群の移動と出現
 - II. 1. 長い溝渠内の放流試験
 - II. 2. 魚群出現条件の検討
 - II. 3. 漁場遷移の推定考察

結 言
文 献

序

水産資源変動の諸要因を考究解明して魚族の適切な保続や適正な活用を図るのが水産資源学の最も重大な目的の一つである事は論を俟たない。資源変動の解明には多くの先覚者

^{*)}九州大学農学部へ提出した学位請求論文「Stock 変動要因としての魚群移動について (1954)」のうち第4章のみを再編成したものである。九大相川教授の御厚意により之を發表し得る事となつたが、研究室火災のため詳細な資料を全部焼失し本論図表の正確な再現を期し得ない事を遺憾とする。

達が既に立派な業績をあげ亦現在でも優秀な研究者達が日夜研鑽を積みつつあるが¹⁾、海中資源としての魚群の様態を「時間の流れ」と「空間的移动」という二元的変化に関し同一視点より研究考察している例は案外に少く、漁獲高資料に拠らない基礎的研究は魚群探知機活用の研究例²⁾を除き殆ど無いかに見える。

筆者は前に適棲域内での魚群の拡散を論じ³⁾、大洋での魚群規模を算定する式⁴⁾や資源変動を準エルゴード的な考え方で解明する方法⁵⁾を述べたが、本報においては魚又は魚群の游泳速度並に移動そのものを要因とする出現状況を若干の基礎実験に基いて論じたい。本論を含み水産資源学上の研究考察については九州大学教授相川広秋・内田恵太郎両博士の終始変らざる御指導御鞭撻を頂いて来た。ここに両教授に対して深甚の謝意を表する次第である。

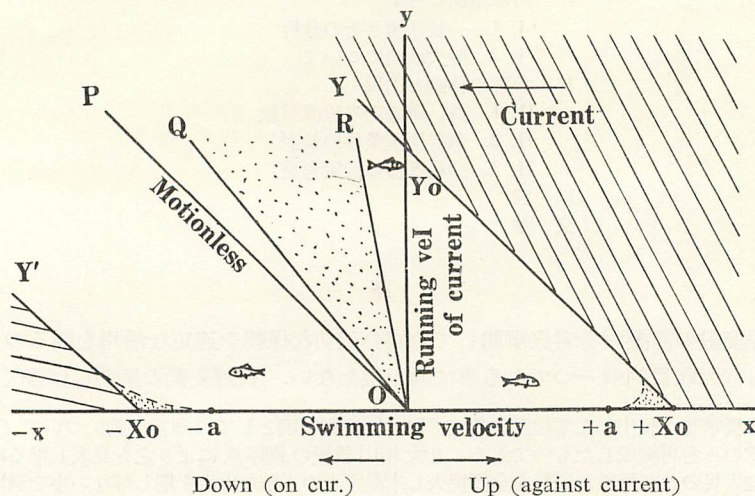
I. 游泳速度の考察

従来游泳速度とか移動速度とか言われているものは、海水移動の場で観察測定されているのが普通であつて、絶対静止の水域には魚群のいないことなどの理由から純游泳速度を測定した例は殆ど稀であると言つてよい。いわゆる洄游速度とは対地速度であつて、動かない地理学的座標内での移動速度を指すものである。これは海水流の対地速度と海流潮流の場内での魚群の速度即ち対流水速度との合成速度に他ならない。後者の対流水速度を「純泳速」と名づけていわゆる洄游速度(対地速度)からこれを分離し、魚群の移動速度と移動距離との関係などを明確にせねばならないであろう。

I. 1. 一般泳速とその分析

今、第1図に於て縦軸 Oy に流速をとり横軸 Ox に対地速度をとる。水流が右から左へ向うものとすれば、右方(x 正值)向きの速度は遡行速度を示し左方(x 負値)向きの速度は順流速度を示すことになる。 O より左へ斜め 45° の線 OP を置けば水流に乗つてこれと等速度で流される時の速度は全部この OP 線上に plot される筈である。

Fig. 1. Illustration of analysis on the shifting speed of fish.

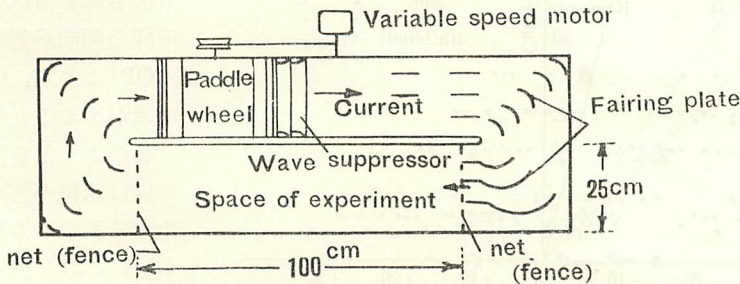


静水（流速 0 ）での游泳速度はそのまま純泳速と一致し基線— x , O , x 線上にあらわされるが最大純泳速— X_0O , X_0O を超えて絶対値の大きい方へ plot されることはない。任意の水流中では限界点（— X_0 ）, (X_0) より OP に平行に引かれた— X_0Y' , X_0Y 両線間にあらゆる観測点が現われるであろう。

純泳速は常に斜線 OP を基準として x 軸に平行に測られた長さで示されるものであり、もし点が $\triangle OX_0Y_0$ (Y_0 点は X_0Y 線と Oy 軸との交点) の内にあれば魚は水流に対して遡泳前進することになるし、 POY_0Y の区域内にあれば純泳速が遡行向きになっているに拘らず対地的には見掛け下りとなる。この時、もし対地的な位置を一定に保とうとする傾向があるならば、 OR 線より左方（図中点々部）には実測値は現われまいであろうし、又流れに乗る場合でも流されまいとして OP 線が OQ 線までズレる事も生じよう。狭い水槽内での測定では魚が最大速で泳ぐ事は稀であつて特に静水中での泳速は流水中での泳速と比べて（対地的な値に関してさえも）小である。従つて図中（— $a-X_0$ ）, $(+aX_0)$ 附近にも実測点が生じない事も予想される。

実験と得られた結果：実験に用いた水槽は第2図に示すように幅 25 cm の流水回路を形成する深さ 20 cm（水深は実験中これを 10 cm に保つ）の木製水槽であり平均全経路は約

Fig. 2. Apparatus of variable speed current.



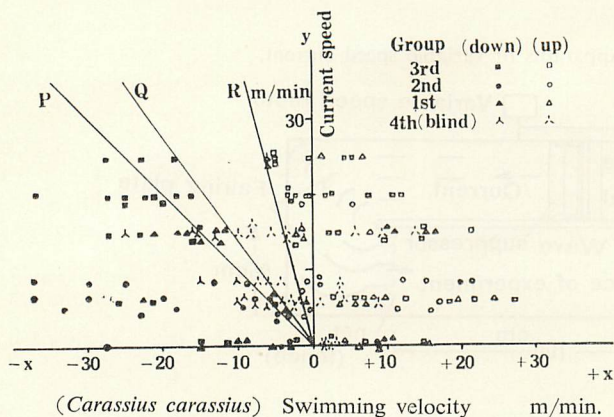
3 m 20 cm であるが、水流の乱れや流速分布の点からそのうちの約 1 m を使用して両端に網を置きその中に対象魚を入れて測定したものである。注入動力は可変速 1/3 HP モーターに発しギヤや V ベルトで $(1/21) \times (1/4) = 1/84$ まで減速した水車を廻らすようになっている。水車は 12 枚の平板羽根を放射状につけたもので直後の制波板を以て水流に著しい波動を生じないように注意してある。この装置ではモーター回転 1000~6000 RPM の範囲で 6~30 m/min の水流速度を生じた。流水回路には 4 隅に整流板を設けて一様な流速分布を得るように努めたが外側で大となり勝ちであつた。流速値としては水路中心に沿ひ 1 m 間の距離で測られた 5 回の値の平均値をとる。水温は 24.2~26.5°C の範囲内で変化したが、1 series 毎に水を新しく換えたので、その実験内の変動は 1°C 以内に収まつている。

対象として用いた魚はフナ・コイ・ボラの 3 種で、その体長を第 1 表に掲げる。フナの中 2 尾を盲にして用いた。これは眼球を剔出した 7 尾のフナを 2 日間静養せしめ、次の 2 日間他の（普通の）フナ約 30 尾と混泳せしめ、その最も良好な状態のもの 2 尾を選んで手術後 5 日目に実験へ投入したものであつて実験完了後も約 3 週間生存した。

Table 1. Fish experimented

Species	Body length, cm		Total number
フ ナ <i>Carassius carassius</i> (crucian)	[1 st group, small]	6.0, 6.1, 6.2	9
	[2 nd group, middle]	7.4, 8.0, 11.5	
	[3 rd group, large]	15.5	
	[4 th group, blinded]	8.0, 8.5	
ボ ラ <i>Mugil cephalus</i> (grey mullet)	[1 st group, small]	6.0, 6.2, 6.3	5
	[2 nd group, middle]	8.1, 9.2	
コ イ <i>Cyprinus carpio</i> (carp)	[1 st group, small]	4.2, 4.7, 4.8, 5.2	10
	[2 nd group, large]	18.5, 19.5, 19.6, 19.8, 20.0, 21.0	

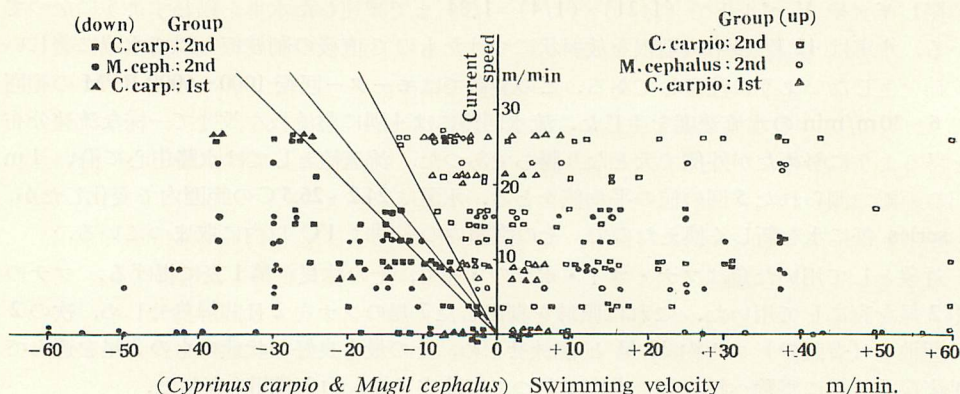
実験結果を第 3 a, b 図に示す. 同 a 図はフナについての測定結果であるが定位置にとどまろうとする努力 (OR 線から左に点が出ない) を認めることが出来る. その遡行速さと

Fig. 3-a. Swimming velocity in various speed current (*Carassius carassius*).

流速との比を遡泳率と称するならばこれは大きいフナで約 0.3 小型のもので 0.5 にも及んでいる. 順流 (下り流され) 游泳の場合にも同様な傾向が認められる.

(OP より右, OQ 迄の間に点が出ることを指す).

このような定位置保持の傾向は水槽の狭さによつて生ずるものかも知れない. もし, これが主として視覚によるものならば盲の魚はこの傾向を失う筈である.

Fig. 3-b. Swimming velocity in various speed current (*C. carpio* & *M. cephalus*).

実験結果は推定通りであつて測定点（人，人印）が QOR 域にも散在する．盲の魚では対流泳力も低く 20m/min にも達しないと見られる．

第3b図 にはボラ・コイの場合を示す．静水中で余り急泳しないという性質はコイに於て最も強く，ボラでは反対に流水中でよりも静水中の方が高泳速を出すように見える．後向き泳ぎの速度はフナで最大 5m/min 程度，コイでは 4.3m/min 程度と算定される．

何れの場合でも本当の最大泳速はこんな小水槽中では観察され得ず，第1図における OX_0 ($=-OX_0$) は別の実験によらねばならないことを知つた．

I. 2. 最大泳速について

最大泳速は魚が逃避行動や跳躍飛泳を行う時に認められるのではないかという考え方から次の二つの実験・観察を行つた．

逃避泳力の測定： 魚が捕えられた状態で水中深く逃避しようとして急泳する時の力を測つた．コイでは眼とエラとの中間まで頭部を差込み得る大きさの孔を持つた金網枠を作り，魚体を損傷しないように孔の周辺を脱脂綿でまとう．金網枠は魚の胴体や尾部などの運動には支障を来たさぬようにして吊秤りに掛けられる．魚は孔に頭部を差込まれて水中に置かれると水底へ逃がれようとして急速泳動を始める．この時の魚が下へ引く力を秤で読みとる訳である．使用した水槽は幅 1m，長さ 2m，水深 1m 20cm の木製のもので水底には砂をしいてあり他のコイが自由に泳がせてある．このような状況では被実験魚が砂底の方へ逃避しようと努力するのは当然であらう．コイの逃避急泳力の測定要領を第4図に示す．ボラの場合には眼の附近がエラ部よりも肥つている形状のためこの金網枠を活用出来なかつた．そこで細い針金を両側エラ孔に引掛けこれを吊秤に連結してその曳力を読むように工夫した．

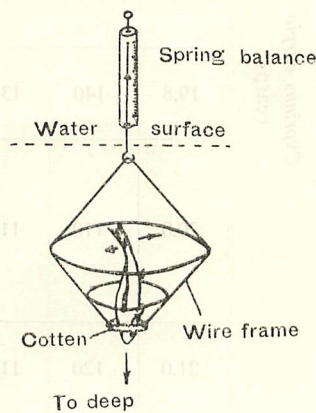
もしこの逃避運動が最大（瞬間）泳速を生ずる運動と殆ど等しいものならば，最大泳速時の魚に掛る流体抵抗はこの魚が吊秤上に示した引下げ力に等しい筈である．この“魚形の流体抵抗と魚の最大泳力とが釣り合う”という考え方から次式が成立する．

$$T = C_x \times \frac{\rho_w}{2} \times v^2 \times S$$

ここに T ：魚が受ける水の抵抗力 (kg)， C_x ：魚体進行方向での抵抗係数（魚形で 0.06～0.09）， ρ_w ：環境水の密度（淡水では 105.5 kg. S²/m⁴）， v ：魚の游泳速度 (m/s)， S ：進行方向に垂直な面での魚体最大断面積 (m²) であつて，実測で出た T と S について $C_x=0.09$ として計算した結果を第2表の左半に示す．

なお同表最下欄はマグロの実例についての計算結果である．これは 1950 年 6 月 12 日西南海域 (N: 27°53', E: 131° 40') で鹿児島大学練習船新潮丸の操業中著者自身が観察したもので，瓶玉浮き（直径約 30 cm のボンデン）1 個を海中に引き込んでいたマグロが舷側へ引きよせられて活潑に暴れたという記録と甲板上で測定されたその魚の体長・体深・体幅などの記録とより本実験にならび得る資料として表中へ編入したものである．

Fig. 4. Measuring of diving power of fish.



跳躍高さ測定による計算：魚が水面より空中へ跳躍した場合その仰角と最大高さが測られたならば、空気中の抵抗は殆ど無視出来るから跳び出す直前の水面下の泳速が計算されようという考え方である。即ち最大泳速で魚が水面を突き抜けたならば、空中へ跳び出す初速はこれと（ほぼ）等しい筈であつて、重力による下向き加速度を考慮に入れると跳躍最大高さからその初速は求められる訳である。

トビウオの如く上体が空中に尾部が水中にある場合は不確実となるけれども、コイ・ボラの場合は水面よりスポッと跳び出すので、水面を離れた瞬間の速さが水中での最高泳速と大差はないと想定する。そうすると次式が成立し、 h と θ とは実測に掛るので v が算出されることになる。

$$2gh = (v \cdot \sin \theta)^2$$

Table 2. Maximum swimming velocity of fish, calculated.

Kind of fish	Through diving speed into deep.						Through skipping height.			
	Total length cm	Body weight gr	Sectional area cm ²	Pulling power gr	Swimming speed (max.) m/min. mile/hr		Angle (degree)	Height cm	Swimming speed (max.) m/min. mile/hr	
<i>Cyprinus carpio</i> (carp)	18.5	90	9.4	39	176	5.7	About 30	10	168	5.4
				43	185	6.0	About 40	25	206	6.7
							29	21	250	8.1
	19.6	114	11.8	19	110	3.5				
				23	121	3.9				
				34.5	149	4.8				
	19.8	140	13.1	* 40	152	4.9				
				46	163	5.3				
	20.0	110	11.0	* 31	145	4.7				
				47	180	5.8				
				54.5	194	6.3				
				59	201	6.5				
	21.0	120	11.8	23	122	4.0				
				78	224	7.2				
<i>Mugil cephalus</i> (grey mullet)	8.1	10.5	1.3	5.0	220	7.1	Almost vertical	9.5	82	2.7
	9.2	11.7	2.1	* 3.4	143	4.6	About 25	10.0	198	6.4
<i>Thunnus thynnus</i> (tunny)	230	156	1660	130	240	7.8	Remark : * Be tired $C_x(\text{resist. coef.}) = 0.09$ Density of seawater = 109.2 Kg·s ² /m ⁴ .			

ここに g ：重力の加速度 (9.8 m/s^2), h ：跳躍した魚体重心の最大高さ (m), v ：魚の水中泳速 (m/s), θ ：魚体跳躍の初方向が水面となす仰角 ($^\circ$ degree).

その計算結果を第2表右半に掲げた。本表に示されるように、全然異なつた二つの方法で測定し計算した結果殆ど似た値の最大泳速が得られた事は注目に値する。即ち“少くとも瞬間的には魚の最大游泳速度は 200 m/min 以上に達する”と見做しても大過はないものと信ぜられるのである。この値はトビウオの如き 500 (Seitz)~ 1200 m/min (Ahlborn) 程度の高速には達しないけれども、日本近海の潮流や海流の流速が数十 m/min であることを思えば相当な高速だと謂い得るであろう。

II. 魚群の移動と出現

適棲水界内における小群の mass としての動きを確実に把握するには、海洋の適棲界域は余りに広大に過ぎるしその群の集散変動量の算定法も現在の段階ではまだまだ不確実なものにすぎない。そこで時間経過と群移動距離と群を成す個体の尾数と三者を同時に観測し得る実験のうちで最大の規模と思われる試験を行つて魚群の移動状況の観測やその出現条件の検討を行つた。

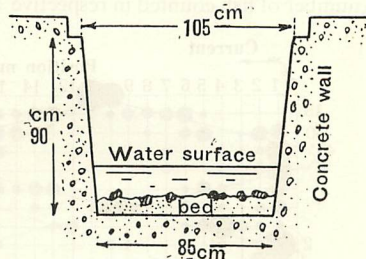
II. 1. 長い溝渠内の放流試験

実験の条件と方法：実験に供した溝渠は第5図に示すような断面を呈する幅約 1 m のコンクリート溝で、真直に 120 m の長さを有し、小石混りの底泥の上を $8.5 \sim 10 \text{ cm}$ の水深で淡（湧）水が流れている。実験時におけるその流速は約 6.1 cm/sec （中央部5回測定平均）で、水温は 11.8°C ~ 12.5°C であった。

魚としては大（体長 $14.9 \text{ cm} \pm 1.1$ ）30尾、中（体長 $11.5 \text{ cm} \pm 1.0$ ）30尾・小（体長 $8.6 \text{ cm} \pm 1.0$ ）40尾合計100尾のヨイを用いた。各実験の開始まではこの100尾の魚は溝渠長さの中央（実験の如何によつてはその他所定の箇所）で 1 m 平方の区域内に板網をもつてとじこめられている。この 1 m 平方の狭い水域を本実験における魚群の「源」と呼ぶことにしよう。板網は合図と共に取り外づされ魚群は溝渠内を自由に泳ぎ始める。これが測定開始の時期である。

直接測定者は21名とし定められた場所に静立して魚群に視覚的又は聴覚的な攪乱を与えないよう注意しつつ一定時間々隔で報られる合図と同時に自己担当の 1 m 平方水域内に居合わせた魚の尾数を数えて記録する。別に10名は溝渠内の魚群の集散を確認する役目を以つて溝渠に沿ひ魚群移動と共に静かに移動しつつ観測する。その他、源の板網の取外づし、溝の上流下流端に置かれた魚群逃逸防止用の板網附近の監視、測定時刻通報などに4名を要し合計35名で実験遂行に当つた。*)

Fig. 5. Section of the ditch (length; 120 m).



*) 本実験は鹿大水産学部水産製造学科第一期生の全員協力によつて遂行し得たものである。ここに深謝の意を表する。

測定は連続水域の場合と均一疎水域の場合との二つに分けて行う。前者では上流下流両端の仕切板網を近寄せ魚群の自由游泳範囲を 20m に縮める。するとこの場合には 1m 平方の各人担当面積を 20 名分並べて全水域を掩い得るので各観測者によつて測定された尾数を全部合計すれば「源」から放たれた当初の尾数と一致する筈である。「源」は 20m の中央に置かれて 2 回、上流側 1/4 の場所、同 3/4 (下流端より 1/4) の場所に置かれて各 1 回、上下流端に置かれて各 1 回合計 6 回の実験が行われた。後者の場合疎水域と呼ぶのは静立測定者が 6m 間隔に配置され隣りの者との間の 5m 水域は観測に掛らない状況で実験したからである。この実験では特に源を置かず、100 尾の魚が 5~6 群に分かれて 120m の溝渠を自然な動きで游泳している時期から測定を開始した。

実験結果：第 6, 7 図に観測結果の数例を掲げた。上の横軸には上流端からの距離を m で示してあり、縦軸は時間経過を秒 (″印) 又は分 (′印) で示してある。各黒丸の面積は尾数に比例して表わした。第 6a 図は源を 20m 水界の中央に置いた場合、同 6b 図は 3/4 点即ち上流端より 15m 下流端より 5m の所に源を置いた場合、第 6c 図は下流端に置いた場合、第 7 図は 120m の疎な観察水域の場合の結果である。第 6 図では両端の仕切板網附近に残留し勝ちな傾向を示す若干の小群は認められるけれども大部分の魚は大小 5~6 群に分れて夫々別個に上流へ下流へと往復洄游の動態を示す。

魚群のうち大きいものの動きを跡づけてその移動速度を図上に算定してみると、水流に乗つて下る場合には 31.7 cm/sec (19 m/min) 水流に逆らつて上る場合には 28.8 cm/sec

Fig. 6-a. Discharging of fish at the middle point of 20 m ditch.

(Area of circular marks is proportional to the number of fish counted in respective 1 m square.)

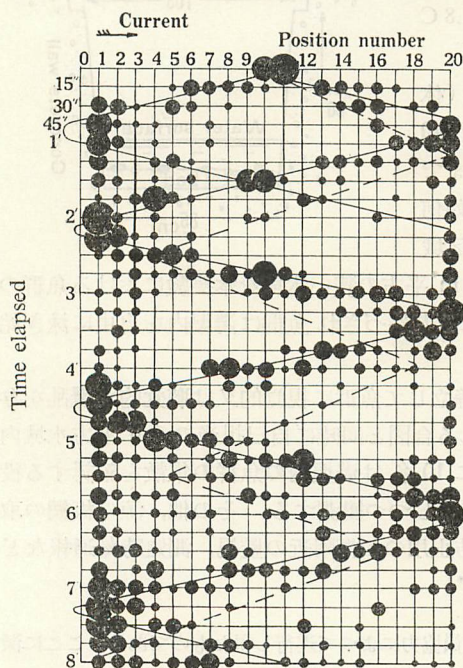


Fig. 6-b. Discharging of fish at the 3/4 point of 20 m ditch.

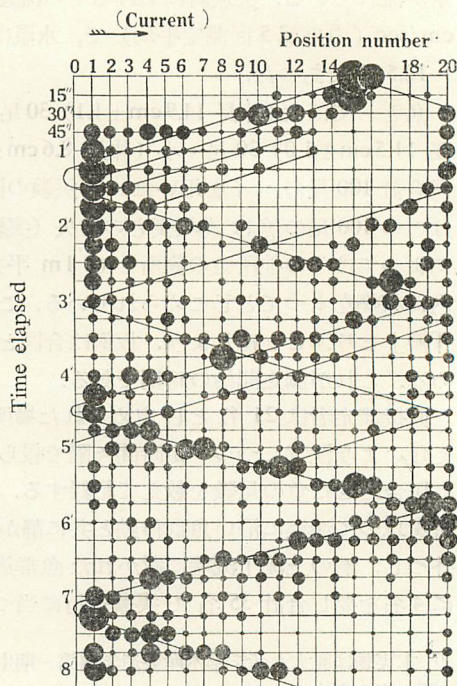


Fig. 6-c. Discharging of fish at the end of 20 m ditch.

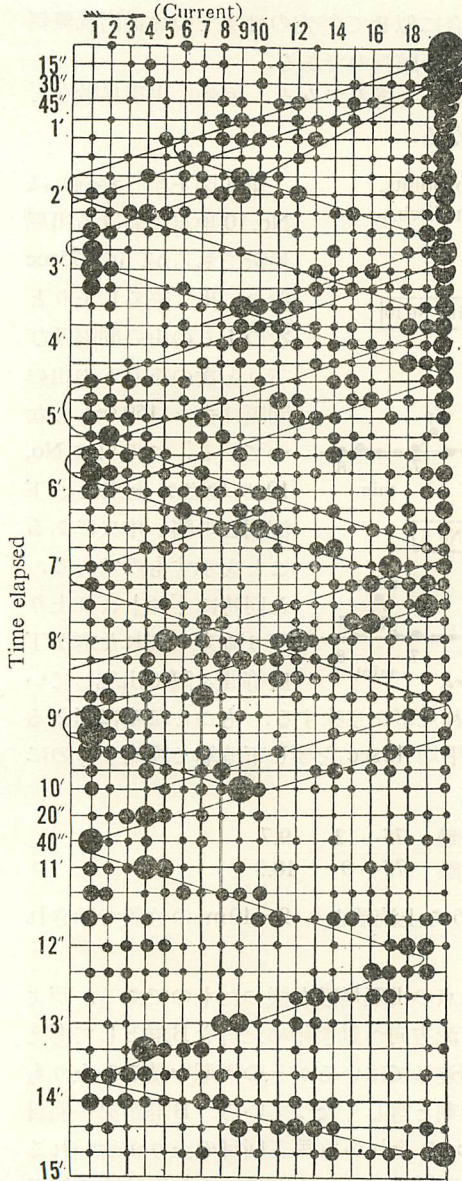
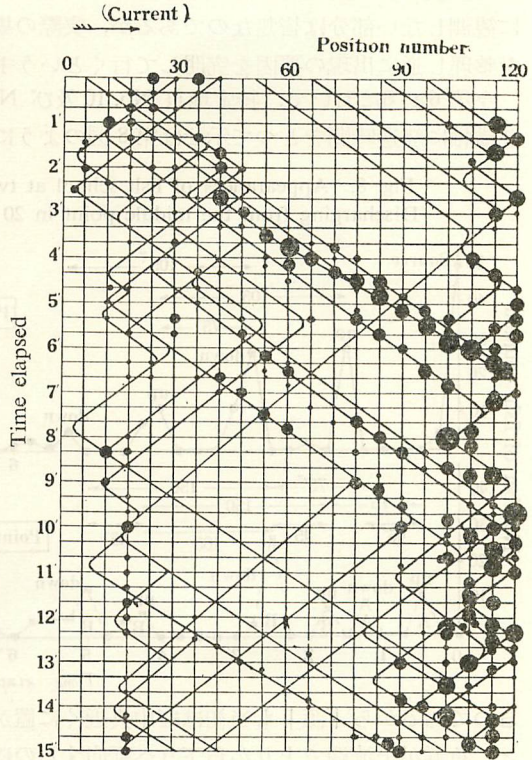


Fig. 7. Distribution of fish, discharged in 120 m ditch.



(16.7 m/min) となる。水流速は 6.1 cm/sec (3.7 m/min) であるから上り下りの純(対流水)泳速は夫々 25.6 cm/sec, 34.9 cm/sec となる。静水中の泳速は平均値 30.3 cm/sec であつて流されまいとする努力は上下共に 4.6 cm/sec, 従つて遡泳率はこの場合 75 % にも及ぶものと考えられる。

第 6b, c 図では「源」に魚を集める際 5 ~ 7 尾を源外に取り残して実験を開始したので前半では相当の乱れを生じているが 3 ~ 4 min 経過後にはやや明瞭に群の動きが認められる。

第 7 図は魚が存在し得る海域の一部分(等間隔)を観測したものであるが、魚が下流へ集まる傾向を持った為明確な結論を得べき好例とは言い難い。しかし、次節に述べるように出現条件の考察には役立つものと言ひ得よう。

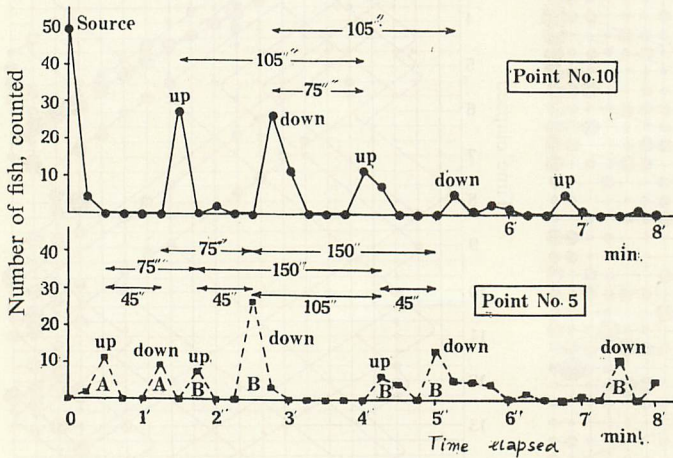
II. 2. 魚群出現条件の考察

海洋では実際の魚群の移動を時空的に追跡確認しつづける事は不可能であつて、ある特

定の漁場での漁獲量の時間的な変動等をもつて魚群出現量の変化と見做している。上に述べた実験では魚群の時空間的な追跡を行つて居り、特に 20m 溝渠連続水域測定では空間的に観測しない部分は皆無なのであるが、実際の場合に似せて特定の地点での魚群出現資料を整理し逆に出現の要因を究明して行くという手順を踏むのである。

今第 6a 図において、特定地点 No. 10 及び No. 5 を選んでみる。縦軸に出現尾数を取り横軸に経過時間をとつて示せば第 8 図のようになる。

Fig. 8. Appearances of fish school at two points.
(Discharging from the middle point in 20 m ditch.)



第 8 図上半 (実線) は No. 10 地点における出現尾数であるが、山は 75sec 置きに出て来るし上りと次の上りの山の間隔及び下りと次の下りとの山の間隔は夫々 150 sec となっている。この事は No. 10 の地点が上流端と下流端との略、中央にあることを示すものである。と同時に「源」より上り下り両方へ別れた群が丁度等間々隔で出現している

のであるから「源」も当初ほぼ中央近くに置かれた事を意味する。もつと細密に考えると、魚群が上流端で上りから下りへ転向するのに平均 12sec を要し下流端で転向するのに平均 9 sec を要している事を計算に入れて、

$$\frac{\text{地点 No. 10 の上流端よりの距離}}{\text{地点 No. 10 の下流端よりの距離}} = \frac{75-12}{75-9} = \frac{9.7}{10.3}$$

となり本図の魚群出現態様の表現は全長 20m のうち上流端より 9~10m の位置で示されるものである事が明確となる。

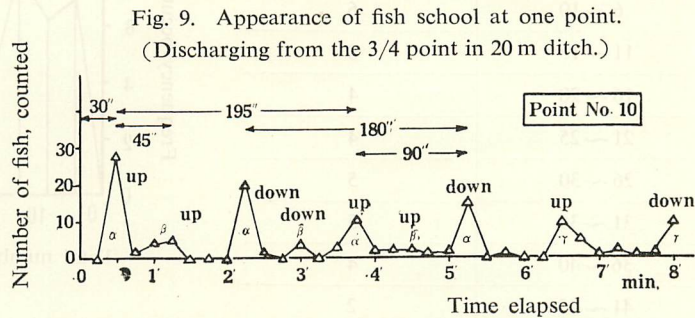
第 8 図下半 (点線) は別の一例として No. 5 地点の出現尾数を探つたものである。源より上流方向へ出発した群を A 群と名づけよう。下流方向へ動き始めた群を B 群として考えると、これは明かに A 群より遅れて No. 5 点へ到達してはいるがその周期を見ると上りも下りも共に 150 sec を示し前述 No. 10 点での周期と等しくなっている。B 群が第一回目に上つてから第一回目に下るまでの時間は 45 sec でそれから第二回目の上りが現われる迄には $150-45=105$ sec を経過している。前と同様に、上下端に於ける転向時間で修正すると

$$\frac{\text{地点 No. 5 の上流端よりの距離}}{\text{地点 No. 5 の下流端よりの距離}} = \frac{45-12}{105-9} = \frac{4.5}{15.5}$$

となつて、No. 5 点は上流端より 4~5m の位置にあることを示し得る。又 A 群の上り下りが夫々 B 群の上り下りよりも 75 sec (=150/2) だけ先行していることは、魚群出発の「源」が 20m の中央に置かれたことを示すものである。但し A 群第二回目以後の上り下りはよ

り大きなB群に遭つて吸収され消え去つてしまつている。これは第6a図より見てもうなづかれることで、生物現象では簡単に物理的な取扱いのみでは解決出来ないものが多いという事の証左となろう。それにしても100尾内外の数の魚の放流結果が、実験の初期条件を遡及推定計算出来る程度の現象として認められる事は重要な示唆であると信ぜられる。

第9図には「源」を上流より15~16m(3/4点)の地点に置いた実験(第6b図)でのNo.10地点における出現尾数曲線である。前述の場合よりも20mを往復する周期は長く180~195secとなつてゐる。最大群である α 群の上りと下りとから次のように観測位置を計算することが出来る。



$$\begin{aligned} \text{地点 No. 10 の上流端よりの距離} &= \frac{90-12}{90-9} = \frac{9.8}{10.2} \\ \text{地点 No. 10 の下流端よりの距離} &= \frac{90-9}{90-12} = \frac{10.2}{9.8} \end{aligned}$$

即ち、観測点は20m水域中の上流より9~10mの地点であることを示す。「源」位置の計算としては、游泳し始めてからの経過時間を考えに入れて第10図より判断し得るように、 α 群の一往復に要した時間から β 群の出現するまでの時間を差引いて魚群の泳速(平均23cm/sec)をかければ上流端までの距離が往復分だけ出る筈であるから

Fig. 10. Illustrative diagram for estimation of source (unknown) position.

$$\begin{aligned} &[(30+195-12-9)-(30+45-9)] \\ &\quad \times 23/2 = 1580 \text{ cm} \end{aligned}$$

となつて上流端より15~16mの点に源が置かれた事を明確に知るのである。

以上は初条件を知悉した実験から得られた結果を判断し逆に計算して初条件を確め得たものであるが、この程度に魚群の時間的、空間的移動現象が現われるものであれば任意の漁場に認められる出現傾向からその魚群の洄游の限界や「源」に相当する集合場(産卵場など)を推定することも可能であろう。このような考え方と水産における準エルゴード性との組合せを基として日本海のサバ資源の変動を既に論じた⁵⁾が、同様の考え方により北海道オホーツク海岸側のホタテガイ・太平洋岸側ブリなどの資源変動を計算した結果については別の機会に発表する予定である。

次に均一疎水域の観測結果(第7図)を検討する。もし魚群が均一に分布しているものならば観測者21名が各自1m²を分担して計上するのであるから出現尾数は100尾 \times 21m²/120m²=17.5尾程度となつてもよい筈である。所が、時隔20secで46回15分間測

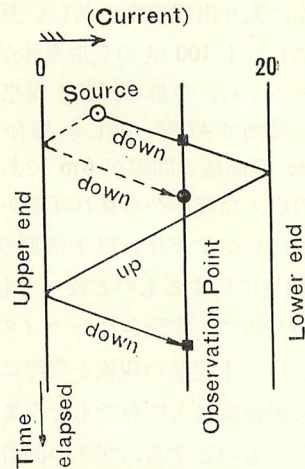


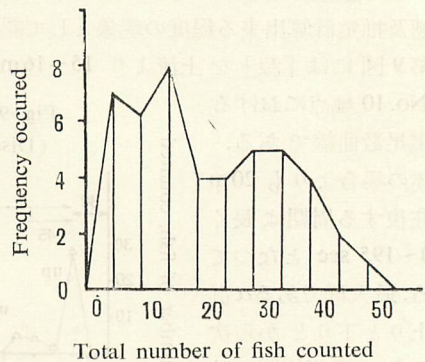
Table 3. Total numbers of fish counted and their frequency occurred.

Range of total number (fish counted)	Frequency occurred
0 ~ 5	7
6 ~ 10	6
11 ~ 15	8
16 ~ 20	4
21 ~ 25	4
26 ~ 30	5
31 ~ 35	5
36 ~ 40	4
41 ~ 45	2
46 ~ 50	1
	46

Min. number : 1

Max. number : 47

Fig. 11. Frequency diagram of total number of fish counted, (cf. Table 3).



つた結果は第3表に掲げたように最高47尾、最低1尾となり第11図の同ヒストグラムから見ても17.5尾を中心とする正規分布にはならない。これは魚が大小5~6群に分れて游泳している

という理由にもよるであろうし、又それらの游泳移動速度が平均4.5 cm/secであつて測定時隔20 sec毎に魚群は90 cm進むので20回測定(18 m)中に3回は観察間隔6 m中の同位相に入り出現頻度に甚しい歪みを生じてしまったという理由にもよるであろう。

何れにしても100尾の魚群衆体がこの水界から外部へ逃れ出ないよう仕切りを施しているのであるから、魚群の通路を観察してさえ居ればその大部分が測定計上されそうに思われるのに最高で47%、甚しき場合1%しか認められなかつたのである。これは時間々隔が20 sec 観測地点間隔が6 mであつたという時間空間的な粗放さのために生じた事である。あの広大な海洋から見れば僅かに点としか考えられない漁場で、しかも時間的には全く経験的にしかすぎない粗な漁期の間で、相当な漁獲を挙げ得るという現用漁法の適確さは実に驚異に値するものと言つてもよいであろう。

参考のために、実験されたコイの体長を10 cmとし実際の大型魚例えばブリの体長を80 cmとして本実験の規模を実際に引き直してみると次のようになる。但し前章で述べたように移動速度は大型魚でもそのまま小型魚同様17~19 m/min程度と見積もつて妥当性を欠かないものとする。ブリの河游路を長さ2000 km、幅10 km、平均水深200 mとすればその比は $10^4:50:1$ となつて実験溝渠の長:幅:深の比 $1.2 \times 10^4:10:1$ とComparableになり、単位水界体積当りの魚体重量を実験の値(約3 gr/m³)と一致させるためのブリ尾数は約 4×10^8 尾となる。実験水流速度3.7 m/minは大型魚に対する30 m/min(≒1 mile/hr)となつて略々海流速度に等しいから、本実験が時間空間的な動きに関しては妥当な規模であつたけれども空間的な密度から見た場合には稍々濃密に過ぎるものではなかつたかとも思われるのである。

II. 3. 漁場遷移の推定考察

上に述べた 諸実験観察を 総合する時 次のようなことが考えられる． 大海流の中では魚は流れ自体を意識せずに 游泳しているものであるう． 従つて索餌傾向や天敵逃避行動が生じない限り， 静水乃至緩流中で最もしばしば観測される泳速をもつて大海流内で泳いでいるものと思われる．（前章，盲魚実験参照）

この泳速を v_0 ，海潮流の速度を V_0 とすれば流れに沿う魚群の移動速さは $(V_0 - v_0) \sim (V_0 + v_0)$ の範囲にある． 流れに沿つて平行に移動するのではなく， 第 12a 図の如く静水中ならば直径 D なる円を書く筈の所結果としてはループを画いてしまい， 魚群は幅 D の範囲（之を魚道の幅と考える）内で巡回しつつ流されて行くものと考えてみよう．

今，ループの 交点 附近における 2 点 $m \sim n$ 間の移動を考えれば魚群の移動時間即ち m 点に現われて後 n 点に現われるまでの時間 T_1 は

$$T_1 = \pi D / v_0,$$

従つて mn 間の流れに平行な距離 L_1 は

$$L_1 = V_0 \cdot \pi \cdot D / v_0.$$

これは特に遡行性向のない魚群（例えば餌付き不良群）のループ游泳に適用される式であろう． 例えば魚道幅 $D = 50 \text{ miles}$ の時，魚群移動速度 v_0 は最大泳速の約 $1/5$ 程度に現われるから⁶⁾ 第 2 表計算値 7.8 mile/hr の $1/5$ として $v_0 = 1.6 \text{ mile/hr}$ とすれば $T_1 = (\pi \times 50) / 1.6 = 98 \text{ hr} \approx 4 \text{ days}$ となる． V_0 を平均海流速度で $V_0 = 0.7 \text{ mile/hr}$ とすれば， $L_1 = 69 \text{ miles}$ という結果を得る． つまり魚道に沿つて漁船が

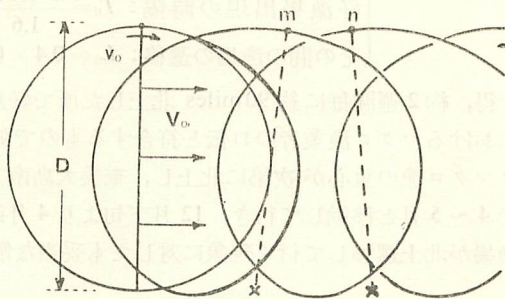
北上しつつあるとき魚群に遭遇してから再びこれと遭遇するためには 4 日後に 69 miles だけ潮下へ行けばよい事になる． 以上は魚が完全に流れに乗つた場合の計算であるから魚群の平均移動速さは海流と略々等しく上の例（時速平均 0.7 miles ）では 1 ヶ月間に約 500 miles も移動することになる． 餌付き不良の魚群が急速に北上する例を聞くのもこんな所に基因するのではなからうか．

対地速度が魚に意識されていないくても浮游餌料を遡泳捕食する事を考へ入れると第 12 b 図のように環境海流中で移動速度を減少した状態で流されることになる． 単尾の魚の泳速は v_0 であつても，ある小群の中で各々の魚が任意な動きをしている時には v_0 の代りに v_0/π を採らねばならない．³⁾ 従つて前式 T_1 より，

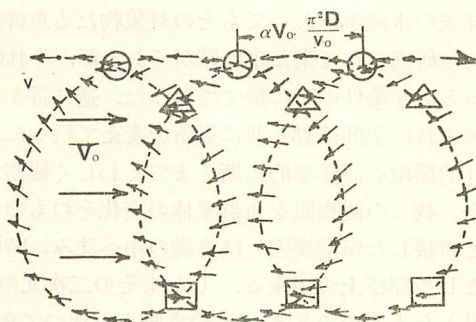
$$T_0 = \frac{\pi^2 D}{v_0}$$

Fig. 12. Illustration of loop type of Swimming path in a current.

a) Downward swimming



b) Up-ward swimming



又前章の実験で得られた遡率を α ($\alpha=0.3\sim 0.5$) とすれば T_0 時間内に移動する流れ方向での距離 L_0 は前述 L_1 と同様に考えて

$$L_0 = \alpha \cdot V_0 \pi^2 D / v_0.$$

第 12b 図で明らかなように一つの node から次の同相 node までの距離が L_0 でありその間を移動する時間が T_0 であつて図中○印間・△印間・□印間に適用される。小魚群が陸続として同じコースを移動しつつある場合、これ等の印をつけた地点では 2 魚群の重畳する可能性が濃厚であつて好漁場が形成され易いものと判断されるのである。

前例と同様に $D=50$ miles, $v_0=1.6$ mile/hr, $V_0=0.7$ mile/hr とし, $\alpha=0.4$ と置くならば前二式より

$$\begin{cases} \text{好漁場出現の時隔: } T_0 = \frac{\pi^2 \times 50}{1.6} \approx 310 \text{ hr} \approx 13 \text{ days} \\ \text{その間の漁場の遷移: } L_0 = 0.4 \times 0.7 \times 310 \approx 87 \text{ miles} \end{cases}$$

を得、約 2 週間毎に約 90 miles 北上した所で好魚が繰返される事になる。これは南西海域におけるマグロ漁業者の口伝と符合するものであり、宮古島東南方に初冬より行われるクロマグロ漁の重心が次第に北上し、奄美大島南方で 1 月上旬、種子ケ島東方で 2 月、紀南で 4~5 月と移動して行き、12 月下旬より 4 月迄の約 120 日間に黒潮に沿つて約 800 哩程漁場が北上遷移して行く現象に対しても妥当な解釈を与えるものと信ぜられる。

結 言

従来の水産学においてもその対象物たる魚群衆体が時間経過的にと空間移動的にと両方面から研究されて来た事は確かであるが、それは生物学的変化に研究者の眼が固着されているという条件の下に於てであつた。逆に言うならば、研究者の眼が時間経過と共に時間に流され、空間移動と共に場所を変えて行つたからこそ対象物魚群衆体を生物学的に又その外的環境を海洋学的に斯くまでくわしく観察考究記述し得たものと言えるであろう。

今、我々の観察眼を魚群衆体の変化そのものに乘せた時、対象物たる魚群衆体（乃至それと密接した環境要因）は意識の中へ沈み、時間の経過と空間的移動とが明確な研究の対象として浮び上つて来る。しかもその二次元の変化は紙上に表現し易くもあり考察記述も容易となるものである。この立脚点を採つて魚群衆体の変動要因としての群移動と出現とを考究しようとしたのが本論である。従つて本文においては内的・生物学的考察や外的環境（海況・漁獲効果等）の関連考察に就いて欠くる所の多い事も又やむを得ない所であろう。前にも触れたようにホタテガイ・ブリの資源変動考察や産卵場推定計算などに関してはその発表を他日にゆづるけれども、その基礎は同様に資源の時空的移動重視という立場に置かれている。本論を含む幾つかの報告を貫く著者のこのような考え方がどの程度実際の所謂「水産学」発展に寄与するものか、諸賢の御指導と御叱正に頼つて一層の研鑽を積み上げようと念願している次第である。

文 献

- 1) 相川：水産学会報 7, 4 (1938) ; 9, 1 (1942)
日本水産学会誌 6, 2 (1936) ; 8, 5 (1940) ; 9, 1 (1940)
水産資源学総論 (1949) ; その他

- 青山：日本水産学会誌 **20**, 8 (1954)
Beverton, R. J. H.: Jour. Conseil **19**, 1 (1953)
土井：日本水産学会誌 **14**, 2 (1948); **15**, 7 (1949); **21**, 5 (1955)
Farran, G. P.: Jour. Conseil **13**, 1 (1938)
Graham, M.: Jour. Conseil **4**, 3 (1929); **13**, 1 (1938); その他
Hickling, C. F.: Jour. Mar. Biol. Ass. **26**, 2 (1945); その他
川尻：日本水産学会誌 **15**, 4 (1949); その他
木村：水産試験場報告 **8** (1937); その他
久保：日本水産学会誌 **7**, 5 (1939); **19**, 4 (1953); その他
三善：日本水産学会誌 **3**, 5 (1935); **7**, 6 (1936)
村上：日本水産学会誌 **15**, 3 (1949); **15**, 4 (1950)
Ricker, W. E.: Jour. Fish. Res. **5** (1940); **11**, 5 (1954); その他
Russell, E. S.: Jour. Conseil **12**, 2 (1937); その他
田中：日本水産学会誌 **20**, 7 (1954); **23**, 1 (1957); その他
田内：日本水産学会誌 **9**, 3 (1940); **12**, 5 (1944); **16**, 12 (1951); その他
2) 横田, 他：日本水産学会誌 **19**, 4 (1953); その他
川田, 他：日本水産学会誌 **24**, 1 (1958)
3) 黒木：日本水産学会誌 **18**, 1 (1953); **19**, 4 (1953)
4) 黒木：鹿児島大学水産学部紀要 **5** (1956)
5) 黒木：鹿児島大学水産学部紀要 **4** (1955)
6) 三善・宮崎：水産学会報 **10**, 6 (1942)