狭い場所に馴らされたイワシの游泳状態に關して^{*1}

木 村 喜 之 助

(水 産 試 験 場)

On the Manner of Swimming of Sardines in a Confined Space.

Kinosuke KIMURA

SYNOPSIS

A shoal of sardines, when they are fully habituated to a confined space such as a bait-net or an aquarium having a horizontal section of a circle or of an equilateral polygon, is usually found in a steady motion, each individual swimming in a horizontal circle about the central axis of the confined space.

The author observed cinematographically the motion of sardines (*Sardinia melanosticta* T. & S.) habituated to a cylindrical tank 3.2 m in diameter for more than two months, and learned that the motion is of constant angular velocity $\dot{\theta}$ irrespective of the radial distance of each individual from the center, so that the relative position of each individual is undisturbed. The author obtained the values $\dot{\theta} = 8 \sim 10$ degrees/sec. $\dot{\theta}$ is more or less greater than these values, if the fish are not fully habituated to the space or are uneasy from some causes. It was also observed in a bait-net of the greatest size in practice, having the horizontal section of a regular octagon 3.6 m long on each side, that the sardines in it swim with constant angular velocity independent of the radial distance. That the same is the case with a confined space of far wider area is of course doubtful, because, if it were, the fish at the margin of the space would be forced to travel with a formidable linear velocity, which is quite unnatural.

Next, experiments were carried out concerning the layer of swimming of the sardines (*Engraulis japonicus* T. & S.) in a bait-net. The bait-net of the depth of 3.6 m was prepared on one side with five horizontal curtains of net work at the depths of every 0.6 m. When the curtains were shut instantaneously, the whole space of the bait-net, with the fish in it, was separated into six compartments of successive depths. The number of fish and the frequency distribution of their body-length in mm-classes were studied for each compartment with the following conclusions: 1) The fish of the small size-group are distributed denser in the upper layers than in the lower, when they are mixed with the group of larger size. 2) The difference in the layer of swimming of each group seems to be due to the difference in age of the fish. When the fish of the same age-group solely are kept in the net, the frequency distribution of the body-length does not show any difference among the different layers. 3) When a head-light lamp of motor car is lighted above the net at night, the fish in the net change the layer of swimming, many of them, especially the small ones, swimming upward at first and then, after a while, sinking down. In the present experiment with the bait-net of the depth of 3.6 m, the fish swarmed at last denser in the lower layers than they are in the daytime.

游 泳 速 度

漁獲されて廣い海から狭い場所に收容されたイワシは初め右往左往全く混亂状態にある

* 1 之は昭和七年夏東京帝國大學三崎臨海實驗所で、網いけす或は魚槽等狭い場所に收容されたイワシの斃死現象、運動・呼吸其の他の諸性質について實驗した結果の一部である。

が、その場所にすつかり馴れきつた（活付られた）ものは收容されたいけす或は魚槽の水平断面が正多角形或は圓形である場合にはその中心の鉛直軸の周りに旋迴運動をする。従つて之を説明するには座標軸として極座標 (r, θ, z) をとり、運動速度も $(\dot{r}, \dot{\theta}, \dot{z})$ で表はすのが便利である。運動が定常になると $\dot{z}$ と $\dot{r}$ と（上下及び内外側間の移動）はない。時に内側から外側へ、外側から内側へ或は上下に移動するものがあつても、群全體の定常運動からはもとより除外さるべきである。

イワシの游泳速度を具體的に測定する爲に、東京帝國大學三崎臨海實驗所の水族館入口にあるタイル貼りの圓形魚槽（直徑 3.2 m）内に游いでゐたマイワシ*2 を上部から活動寫眞に撮影した。一枚一枚の寫眞の間の時間を知る爲に、天井から錘を絲で吊し、之を魚槽の水面近くに搖り動かし、その往復運動をイワシと一

第 1 圖
直徑 3.2 m の圓形魚槽に於いて 9.55 秒間にイワシの描いた進路(右旋)

第 1 表

(A)		(B)		(C)	
r	$\dot{\theta}$	r	$\dot{\theta}$	r	$\dot{\theta}$
24 ^{cm}	10.61 degree/sec	68 ^m	8.0 degree/sec	46 ^{cm}	9.16 degree/sec
72	10.61	71	9.25	68	10.78
80	9.34	71	11.25	68	8.37
86	7.47	76	10.5	68	6.50
132	11.40	86	10.75	78	8.38
154	8.93	94	8.0	80	7.85
156	9.35	102	8.0	92	9.00
		112	7.5	104	7.65
		116	8.75	114	8.37
		130	7.25		
		156	10.5		
mean angular velocity $\bar{\dot{\theta}} = 9.67$		$\bar{\dot{\theta}} = 9.07$		$\bar{\dot{\theta}} = 8.45$	
standard deviation $\sigma_{\dot{\theta}} = 1.22$		$\sigma_{\dot{\theta}} = 1.38$		$\sigma_{\dot{\theta}} = 1.11$	
$\frac{\sigma_{\dot{\theta}}}{\bar{\dot{\theta}}} = 0.126$		$\frac{\sigma_{\dot{\theta}}}{\bar{\dot{\theta}}} = 0.152$		$\frac{\sigma_{\dot{\theta}}}{\bar{\dot{\theta}}} = 0.131$	

緒に寫眞に納めた。寫眞の中に寫つてゐる非常に澤山のイワシの中から若干のイワシを取出して、その各寫眞の中的位置を 1 枚の圓形方眼紙に記入し、その位置の變化から游泳速度を

* 2 體長約 15 cm のマイワシで、魚槽に收容後 2 ヶ月以上を經過し、魚槽にすつかり馴れきつてゐた。

求めた(第1圖)。

今三通りの寫眞(A)(B)(C)に就いて各々の場合のイワシの游泳角速度 $\dot{\theta}$ を求めると第1表(A)(B)(C)のやうになり、游泳半径 r に係らず $\dot{\theta}$ が略々一定となつてゐる。勿論 $\dot{\theta}$ の値は各個體により相當の差異があり、同一個體も時に遅速がある。若し r に係はらず $\dot{\theta}$ が一定であるとすれば、何時迄旋迴運動を續けても各個體間の相對的の位置が變らぬことになる(第1圖)。(A)(B)(C)三つの場合の平均角速度 $\bar{\theta}$ は9.67, 9.07, 8.45 degree/secで、3回の値の多少違つてゐるのは此の場合主として撮影時のフィルム回轉速度の勘定の不精密に基く。

上記のイワシの游泳角速度はイワシが全く魚槽に馴れきつた場合の値で、小魚槽に收容後間もなく測定すれば之より遙に大きい値を示す。例へば昭和六年・七年に $90\text{cm} \times 90\text{cm} \times 180\text{cm}$

第 2 表

魚 種	v	$\bar{\theta}$	$\sigma_{\bar{\theta}}$	$\sigma_{\bar{\theta}}/\bar{\theta}$	測 定 日	漁 獲 後 経過日数	備 考
マイワシ・カタクチ	10.6 cm/sec	degree/sec 13.5	degree/sec 2.18	0.16	昭和7年8月9日	20日	27.2cmを泳ぐ時間から計算す
マイワシ・カタクチ	12.2 "	15.5 "	2.65 "	0.17	6年9月27日	12日	同 上
	12.1 "	15.4 "	2.27 "	0.15	"	"	"
		16.9 "	3.03 "	0.18	"	"	一周する時間から計算す

(深さ)の小魚槽を用ひて、マイワシ・カタクチの混合群の斃死状態を實驗した際第2表のやうな游泳速度 v ・角速度 $\dot{\theta}$ を觀測したが、その値は上記の値の約2倍である。然し此の小魚槽内の運動は相當不規則なものがあつた、決して定常的旋迴運動とは云へぬ場合であつた。尙魚槽内の海水の含有酸素量が不足して來ると游泳速度が漸次増加することも觀察した。

扱て充分場所に馴れたイワシが8~10 degree/secの角速度で旋迴運動をするとすると、非常に大きい網いけすや魚槽では外側を泳ぐイワシは随分大きな速度を持つことになる。普通海中にある網いけすの大きいものは2間8角、之に内接する圓の半径は4.4 m.で $\dot{\theta}=8.0$ degree/secと假定すれば $v=61$ cm/secとなる。未だ網いけすのイワシの游泳速度を實測してはないが、外側を泳ぐイワシの速さは此の程度であつたやうに思はれる。然しあまりに大きい網いけすや魚槽では上記のやうな内側から外側迄揃ふて剛體的等角速度運動を繼續するといふことが出来なくなるのは當然である。

游 泳 層

イワシがいけす或は魚槽等で泳いでゐる時、 r の小さいところ即ち中心近くには非常に少く、壁の近くに多い。この中心からの距離に對する密度の相違は適當の資料を持つてゐないから詳説しない。又 θ の方向には何處も一樣に分布してゐるから論ずる餘地がない。此處では z 方向即ち垂直の密度變化を述べよう。之を實測する爲に著者は $1.8\text{m} \times 1.8\text{m} \times 3.6\text{m}$ (深さ)の網いけすを作り、上下0.6m毎に壁の網目と同じ材料の幕を取付け、時に應じて之を横に引いてイワシの上下移動を完全に遮斷した。數回の試験によると、幕を閉づる時游泳中のイワシは驚いて今迄の定常運動を擾すけれど、その逃げまわる運動は殆ど同一の水面に限られ、

第 3 表

実験番号	魚 種	試験尾数	漁獲日	試験 日	備 考
(A)	カタクチ	2391尾	8月19日	8月29日昼間	燈火 (6V 50 Watt 自動車らんぷ) を網いけすの上へ置き、点火後5分、イワシが明るさに充分馴れて定常旋迴運動を行つてゐる時に幕を引いて各層を遮断した
(B)	"	2202	"	" 夜間	
(C)	"	2613	8月24日	8月30日昼間

第 2 圖 網いけすの各層に分布せるイワシ (カタクチ) の尾数と平均體長
●...尾数 ×...平均體長

第 3 圖 網いけすの各層に分布せるイワシ (カタクチ) の體長分布圖 ◎... 平均體長

層にも亦相違が甚だ僅かである。(C)の試験では 6.5 cm を中心とする中型群は僅かに 3% に過ぎず、殆ど全部が大型群だから上下各層の平均體長が一定してゐる。(B)の試験は燈火を點じた場合で、小型群は第2層に多く、第3層以下には急減するが尙少數存在する。中型群も下層程減少するが減少の程度は小型群程劇しくない。従つて平均體長も下層程増加する。

此處に注意すべき事は、魚體の大小によつてイワシの垂直分布に差異があるやうに見えることが、實は單に魚體の大小によるのではなく、年齢階級の相違によるといふことである。若い年齢階級のもの程上層に多く下層に向つて急減するが、同一年齢階級のものではその中の大なるものと小なるものとの間に明かな游泳層の相違が認められない。例へば (C) の試験では殆ど同一年齢階級のイワシばかりであるが、各游泳層にゐるイワシの大きいものと小さいものとの割合が殆ど一定である。

試験 (A) では少數のマイワシを混じてゐたが、それは第4層に5尾、第5層に7尾、第6

上下の移動は僅かである。そこで幕を閉ぢてからこの網いけすの各區劃のイワシを別々に取出してその尾數と一尾一尾の體長を測定した。實驗は3回行ひ、試験材料として第3表に示すやうなイワシを用ひた。

(I) 密度 各層に居たイワシの尾數は第2圖に示してある通り (A) では第3層 (1.2^m~1.8^m) に、(C) では第4層 (1.8^m~2.4^m) に最も多く、最下層 (3.0^m~3.6^m) には兩回共甚だ少い。(B) は夜間眞上から燈火で照らした場合であるが點火直後はイワシの浮び出るものが甚だ多く殊に小型のものが多かつたけれども、やがて皆沈んでしまつて極く表面には殆ど居なくなつた。従つて第1層の尾數も3回の試験中最も少く 168 尾で、下層程尾數が増加してゐる。

(II) 平均體長 3回の試験に各層に居たイワシの平均體長は第2圖に、個々の體長分布圖は第3圖に示されてゐる。第3圖を見ると、(A)・(B) の試験材料のイワシは平均體長 8.95 cm の群 (大型群) が多いけれども、7 cm 附近に分布する中型群も相當にあり、5.5 cm 程度の小型群も少し混つてゐることを知る。その割合は (A)・(B) 共略々同様で中型群が約 $\frac{1}{4}$ 小型群が約 $\frac{1}{30}$ 、他は全部大型群である。(A) では小型群は第1・第2層に、中型群は第1・第2・第3層に多い。且つ第1・第2層ではその中に居る大・中・小型各群の尾數の割合も略々等しいから平均體長にも相違が少ない。平均體長の著しい相違は當然第2・第3・第4層の間にあり、大型群ばかりの第4・第5・第6

層に3尾で、マイワシが下層をカタクチが上層を占めることは常に見らるる現象である。

尙試験(A)では第1・第2層間の幕を閉ちて先づ第1層のイワシを取出した後、幕を開いてイワシの様子を見てみると、第2層に居たものの若干は第1層へ浮び出た。充分時間を過してから再び幕を閉ちて第1層に集つたイワシの採集を行ひ、更に幕を開き幕を閉ちて第3回目、第4回目の採集を行つた。第3圖(A)の第1層第1回目(上段)、第1層第2,3回目(第2段黒の部分)、第1層第4回目(第2段白の部分)に各回採集されたイワシの體長分布が示してある。幕の開閉によるイワシの上下移動の程度が之で多少推定されるであらう。