

# 魚群探知機に表れた記録解析の試み— I

鮪延繩の水中形状についての二, 三の知見

柴 田 恵 司

## Analysis of the Fish Finder Records— I

Some Informations on Underwater Formation of Tuna Long-line

Keishi SHIBATA

Mr. NISHIMURA has pointed out in his report<sup>1)</sup> that we have become able to know underwater distribution of tunas.

The author on board the Nagasaki-Maru<sup>\*1</sup> engaged in tuna long-line fishing in the South China Sea and in the waters off the Palau Is., in January, June and December 1961.

The author tried to record the underwater formation of the long-line by means of the fish finder,<sup>\*2</sup> obtaining successful records as shown in PL. III -Fig. 1 in June and analysable dater in December for the first time.

Using those records in December, the author calculated the resistance of water against the long-line.

From the result of calculation, the author believes that the echo-sounding is the most reliable method to verify the underwater formation of long-line and the distribution of tuna. The available range of the fish-finder, however, is rather limited, and the long-line can not be recorded in many cases by it as the long-line is often moved out of the signal range by currents and other factors, especially on rough sea.

Factors affecting the depth of hooks

1. Design of the long-line, the longer the main line, branch lines and float lines are designed, the deeper the hooks sink.
2. Amount of slack allowed during setting-down of line, The larger the distances between each buoy become, the deeper the hooks sink.
3. Effects of current and wind, The stronger the current and wind flow, the shallower the hooks become.

Variation of hook-depth after setting-down of lines

---

\* 1. Training vessel. Faculty of Fisheries, Nagasaki University.

\* 2. NEC 1260 Type

Fig. 1 is the diagram in which those records show the sinking stages of the deepest part of main line. Half an hour after setting-down of long-line, the main line usually sinks to a maximum catenary depth of 100m, and after one hour, it becomes perfectly balanced.

Theoretical diagram of vertical distribution of the gear

1. In case of no effect from current and wind

According to reports by YOSHIHARA(1951)<sup>2)</sup>, MORITA(1955)<sup>3)</sup>, HAMURO and ISHII (1961)<sup>4)</sup> and J. J. GRAHAM(1958)<sup>5)</sup>, they have all agreed that the underwater condition of tuna long-line indicates a catenary curve with any effect from external force. Fig. 2 shows the scale graph of a tuna long-line used by the Nagasaki-Maru. The condition of the main line differs according to the distance between buoys. The actual hook-depth is equal to the sum of the values of the branch line setting-point, length of buoy line and the branch line, i. e.,

$$y = a \cdot \cosh \cdot \frac{x}{a}, \quad \frac{1}{2} \text{ of total length of main line} = \frac{1}{2} \text{ of buoy distances} + \frac{\left(\frac{1}{2} \text{ buoy dist.}\right)^3}{6a^2}$$

2. In case of effect from current and wind

a) External force from horizontal right angle direction to the buoy formation is shown in Fig. 3, i. e.,

$$y = (\text{buoy line length} + a \cdot \cosh \cdot \frac{x}{a} - a) \cos \theta$$

$\theta$  : the heeling angle of long line under effect of external force

b) External force from longitudinal direction of the buoy formation is shown in Fig. 4. In any case, the long line always draws a catenary curve and no any other type of curve.

Analysis of fish-finder records

1. From the result of analysis conducted in December 3 1961 in the waters off the Palau Is., the author found the amount of external force against long-line in the water. As shown in Fig. 5 and PL IV-Fig. 4, the long-line has been affected by an external force from horizontal right angle direction to the buoy formation. In this case, the speed of external force is 0.2 knot.
2. As shown in Fig. 6 and PL. III-Fig. 2, the long-line has been affected by an external force from longitudinal direction to the buoy formation. In this case, the speed of external force is 0.26 knot.

## 緒 言

近年魚群探知機の発達に伴い、鮪群の水中の分布状態を記録し得る様になった事は、西村(1961)<sup>1)</sup>の論文で明らかであるが、筆者はこの魚群探知機を使い魚群の深度を知り、更にこの深度に釣針が垂下する様、延繩を操作すべきであると考えた。このためには、先づ延繩が水中で如何なる形を取るかを究明できれば、投繩操作等によって延繩釣深度のコントロールも容易にできると信じ、本研究を行った。即ち、本研究の最終目的は延繩の水中形状を知り、魚群探知機によって得た魚群深度に釣深度をコントロールして、延繩を展開する新しい時代の鮪延繩漁法を開発することである。練習船長崎丸は1951年1月、6月、12月に南支那海及びパラオ近海で操業を行い、NEC 1260型超音波測深機(13KC, 200KC)を使用して、延繩の水中状態を記録することに努め、6月初めてその形状記録に成功(PLATE III)し、其の後12月には初めて解析できる様な資料も併せて得ることが出来たので、一部を解析して、繩の受ける抵抗を算定して見た。

本研究に使用した漁具は幹繩50m×5本、枝23m×4本、クレモナ6匁、タール染で一鉢平均重量は空中10.3Kg、水中3.6Kgであった。なお、浮繩長は27mである。

本研究にあたり長崎丸乗組員及び乗組学生の協力を得たことを感謝する。

## 実験の方法

記録の方法は投繩終了後ただちに折返し、浮標列に沿って船速8節 (r. p. m. 300) で航行し、200KCの魚群探知機により記録した。記録紙には適宜次の項目を記入した。

- 1) 日付及び時刻。
- 2) 鉢番号 (投網順と逆に1.2.3……とする)。
- 3) 浮標が船の魚探振動子正横附近を通過する際のチェック。
- 4) 適宜浮標列と航跡との間隔 (浮標と船の間隔) をレーダー及び目測で確め、これを記入。

又、航走の際常に記録紙の上に延繩の形が最も大きく出る様に浮標列との間隔を種々変え、忠実に浮標列に沿って、回転数を300r. p. m. に保持して (標柱間速力試験の結果、風力3位迄は常に8節であった) 航走した。此の際、延繩は、必ずしも浮標列の風上に有るとは限らない事を認めたが、これは明らかに、海水の変動による圧流が浮標に対する風圧より卓越する事を示すものである。

又、浮標列全体としては、航走開始後時間が経過するに従い、浮標の並び方及びその間隔の不整が目立つ様になり、殊に末端部では大きな角度で風下に曲折する現象を認めた。此の場合、浮標間隔は増大し、繩が両浮標を結んだ線と殆んど一致して流されている。

又、浮標列が不整になる原因は、潮流の不均一に伴い、部分的に延繩に加わる外力の不均衡に由来するものと考えた。特に、延繩の末端部に於ける原因については、一端が自由に浮動し得る関係上、この部分が容易に潮下に圧流され得るためであると考へた。

### 延繩が投下されて完全に沈降する迄の時間

Fig. 1 は、1961. 11. 29—12. 5の期間の魚群探知機記録より算出した延繩の沈降を示したものである。これによると、30分前後で幹繩の示す曲線の最深部が100m位まで沈下している。

PLATE IV は、上記の結果を更に確めるために、天草牛深沖で実験的に14鉢の投繩を行った時の記録である。これによると、投繩直後は比重の重い枝繩から沈下し始め、それに曳かれて幹繩部は、コイルされた状態から解けて、順次沈下して行った。投繩10分後には、幹繩最深部が120mに達し、その後はほぼ一定水深に保たれていた。更に1時間後にも測定したが、延繩水深には特に目立った変化は認められなかったが、一部やや浅くなったものも認められた。

なお、魚探記録では、糾絡した繩を明かに認め得るが、捕獲中の鯖の反射映像は認め得なかった。

### 延繩の水中形状に対する理論的考察

延繩が水中に於ける形状については、既に吉原 (1951)<sup>2)</sup> 盛田 (1955)<sup>3)</sup> 葉室 (1958)<sup>4)</sup> 及び J. J. GRAHAM (1958)<sup>5)</sup> 等によって明かにされ、外部より影響がない場合はカタナリー曲線をなすと言われている。Fig. 2 は外力の影響が全くない場合に、延繩が水中で画く Catenary 曲線 ( $\frac{1}{1000}$ ) を示したものである。此の場合、枝繩長20m、幹繩長は50×5とし、水深による比重の変化を無視したものである。又、J. J. GRAHAM の方法により25cmの真鍮鎖 (径0.65mm) で  $\frac{1}{1000}$  模型を作り (枝繩は、水中重量比で長さを定めて、重量で

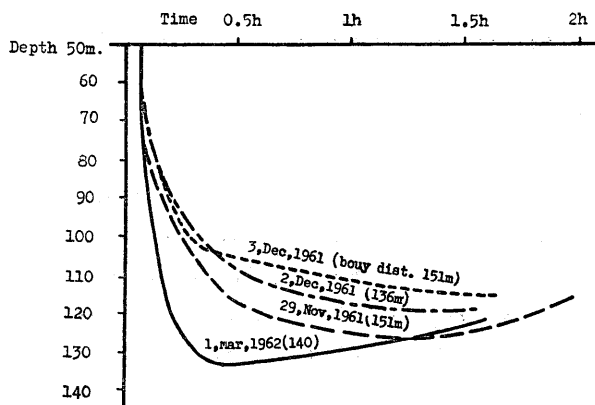


Fig. 1 The sinking stage of the centre of main line.

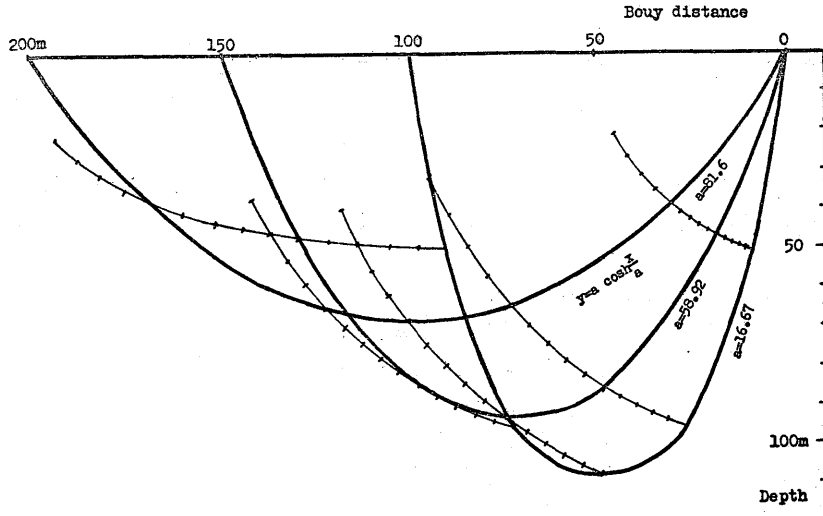


Fig. 2 Theoretical diagram of vertical distribution of the gear in the water

代表させた)これが画く画線と, Fig. 2のそれとを比較した結果, 全く一致していることが分った. 従って, 理論式と模型に依る作図が一致することを条件として, 鎖の一端をピンで固定し, これに対して他端を24cmから1cm毎に15cmまで近付け, 毎回枝縄取付部の画く軌跡を求めて見た.

その結果, 理想状態に於ける延縄垂下曲線は,

$$y = a \cosh \frac{x}{a} \quad (1)$$

で表され, 又, 式(1)に於ける a は

$$\frac{250}{2} = x + \frac{x^3}{6a^2} \quad (2)$$

によって求められるが( $x_{max} = \frac{1}{2}$ 延縄間隔), これは浮標間隔及び延縄長で定るものである.

次に(1)(2)式で示される延縄が外力を受けた時, 如何なる形を取るかを次の二つの場合に分け, その各々について考へて見た.

- 即ち 1) 延縄の浮標列に対し直角方向より圧流される場合. (Fig. 3)
- 2) 浮標列と同一方向から圧流される場合 但し, 此の場合圧流は常に水平線と平行のもののみとして考へて見た.

延縄が水中に展開され静止の状態にある時.

- 1) 延縄列の直角方向から圧流される場合, 幹縄の各部分の深さ.

$$y = (\text{浮縄長} + a \cosh \frac{x}{a} - a) \cos \theta \quad (3)$$

( $\theta^\circ$ は圧流のために生じた延縄の傾き)

実際は AD' は直線ではなく, 一種のカテナリーを画くが, (3)式で示しても大きな過誤はないと推定した.

- 2) 水中に展開され静止状態にある時, 延縄列に平行な方向から圧流された場合, 外力と抵抗が平衡すると, 延縄はもとと同じ鉛直面内に静止する. (Fig. 4)

図に於て釣合いの状態では CP に働く力は,

- 1) Cに於て水平に働く張力 So

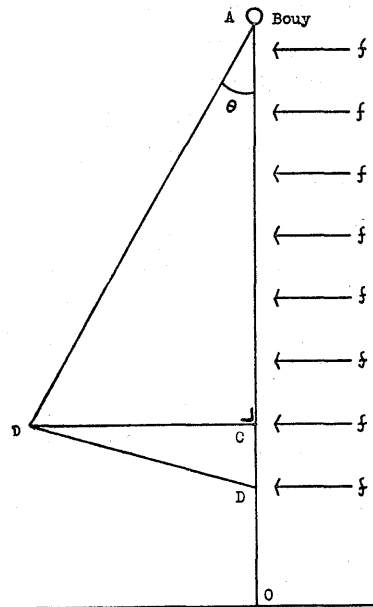


Fig. 3 Form of main line, when the shapes of longline has effected right horizontal force against the bouy floating line.

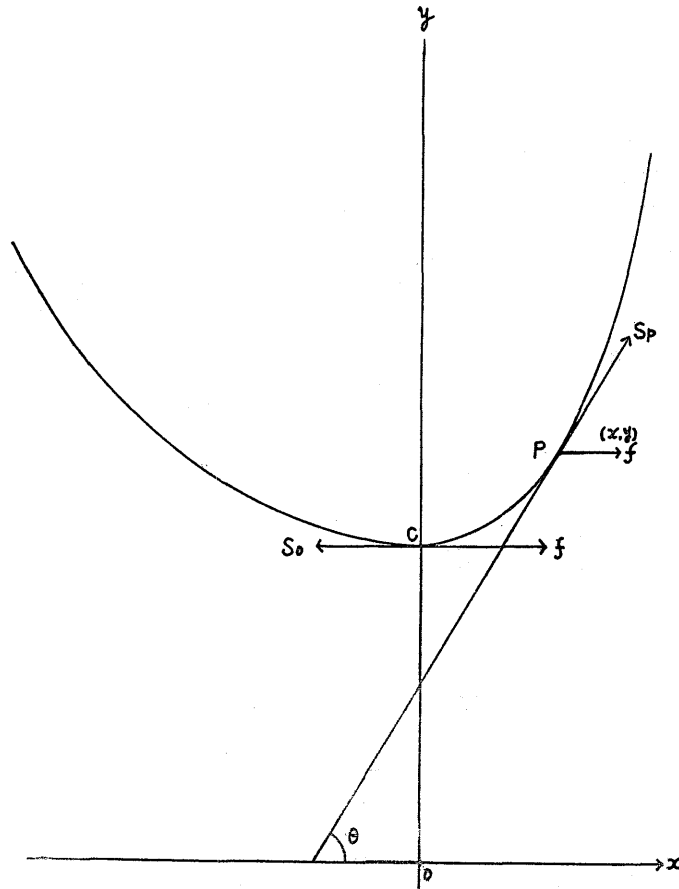


Fig. 4 Form main line, when effective force press the same direction of bouy floating line

- 2) Pに於て接線方向に働く張力  $S_p$
- 3) C P間の各部に働く重力  $g$
- 4) C P間の各部に働く海水の運動  $f$
- 5) C Pの長さ  $S$
- 6) Pに於ける線が  $x$  軸となす角  $\theta$

となると、延繩上の任意の一点Pに於ける平衡条件を満足させるために、次の二式が成立するはずである。

$$\sum X_i = -S_o + S_p \cos \theta + \rho = 0 \quad (4)$$

$$\sum Y_i = S_p \sin \theta - SW \quad (5)$$

$W$  : 単位長の重量

$$(4) \text{より } S_p \cos \theta = S_o - \rho$$

$$(5) \text{より } S_p \sin \theta = SW \quad S = \int_0^x \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

$$\therefore \tan \theta = \frac{SW}{S_o - \rho} \quad a = \frac{Th}{W}$$

であるから、此の場合

$$a = \frac{S_o - h}{W} \quad \therefore \tan \theta = \frac{S}{W} \quad P \text{の近くでは}$$

$$\frac{dx}{dS} = \cos \theta = \frac{a}{\sqrt{S^2 + a^2}}, \quad \frac{dy}{dS} = \sin \theta = \frac{S}{\sqrt{S^2 + a^2}}$$

$$x = a \log \left| S + \sqrt{S^2 + a^2} \right| + C_1 \quad (6)$$

$$y = \sqrt{S^2 + a^2} + C_2 \quad (7)$$

$S=0$ で $x=0$ であるから

$$a \log a + C_1 = 0$$

$$\therefore C_1 = -a \log a,$$

$$C_2 = 0$$

$y=a$ であるから

$$(6)より \quad x = a \log \frac{S + \sqrt{S^2 + a^2}}{a} \quad (8)$$

$$(7)より \quad y = \sqrt{S^2 + a^2} \quad (9)$$

$$(8)より \quad \frac{S + \sqrt{S^2 + a^2}}{a} = e^{\frac{x}{a}}$$

$$\sqrt{S^2 + a^2} = a e^{\frac{x}{a}} - S$$

$$S^2 + a^2 = a^2 e^{\frac{2x}{a}} = 2 \cdot a \cdot S \cdot e^{\frac{x}{a}} + S^2$$

$$2 \cdot S \cdot e^{\frac{x}{a}} = a \cdot e^{\frac{2x}{a}} - a$$

$$S = \frac{a}{2} \cdot \frac{e^{\frac{2x}{a}} - 1}{e^{\frac{x}{a}}} = a \cdot \sinh \frac{x}{a} \quad (10)$$

(9), (10) から

$$\text{此の式の意味は } y = a \cosh \frac{x}{a} \left( a = \frac{So-f}{SW} \right) \quad (11)$$

となる。無外力状態に於けるカタナリー( $a = \frac{SoW}{W}$ )に外力が加はると、 $y$ 軸は $\phi$ 度傾き  $a = -\frac{So-f}{W}$  のカタナリー曲線を画くことを示すもので、以上の仮設の下では延繩カタナリーの $x$ 軸方向の外力が加えられた時は $y$ 軸が $\phi$ 傾き、その時  $a = -\frac{So-f}{W}$  のカタナリーに変わることを証明したものである。

従って、海水の運動による影響に力  $f$  と重力方向  $W$  の働く方向の合成力の方向は明らかに本カタナリーの $y$ 軸線を示すものである。

即ち、外力は $y$ 軸線に働くと考えられ、 $y$ 軸線を $\phi$ だけ傾ける力は

$$\tan \phi = \frac{f}{W} \dots \dots \dots (12) \text{となる。}$$

本研究に用いたクレモナ延繩を流水に直角に置いた場合、抵抗は

$$R = 0.000075 V^2 d(Kg) \quad V = cm/sec \quad d = 6.1mm$$

であるから

$$\tan \phi = \frac{0.000075 V^2 \times 0.61}{\text{一鉢水中総重量}(3.6Kg)}$$

となる。

上式よりカタナリー $y$ 軸線の傾斜を得れば、その時の外力を算出し得る。

#### 魚探記録より求めた外力について

本研究で魚探超音波は200KCのものを使用した。これが水深百米附近で記録した延繩記録の線巾を換算すると11.5mとなる。

$\frac{11.5}{100} = \sin \theta$  から  $\theta = 3.4^\circ$  となり、魚探発振子より出た音波は、理論的半減角度  $\pm 3^\circ$  の範囲のみが記録されていることは明らかである。又、発振子の形状は円形であるので、記録可能な範囲は発振子面に対する垂線に  $3^\circ$  の拡りを持つ円錐形の範囲である。これが船の進行に伴って移動するので、記録紙上に現われるものは、発振子から  $\pm 3^\circ$  (100cmで10cm中位となる) の巾をもった三角形の範囲内に含まれたものである。即ち、本魚探 200KC の記録は航跡の鉛直下方にある現象の垂直分布を示すと見ても大きな誤りはない。

## (1) 横方向の圧流の例

1961年12月3日の延縄展開時の記録のうち、第24鉢目～第31鉢目迄の資料 (PLATE IV) が延縄浮標線に対して横方向から影響を受け、傾斜している状態と思われるので、これについて調べて見よ。(Fig. 5)

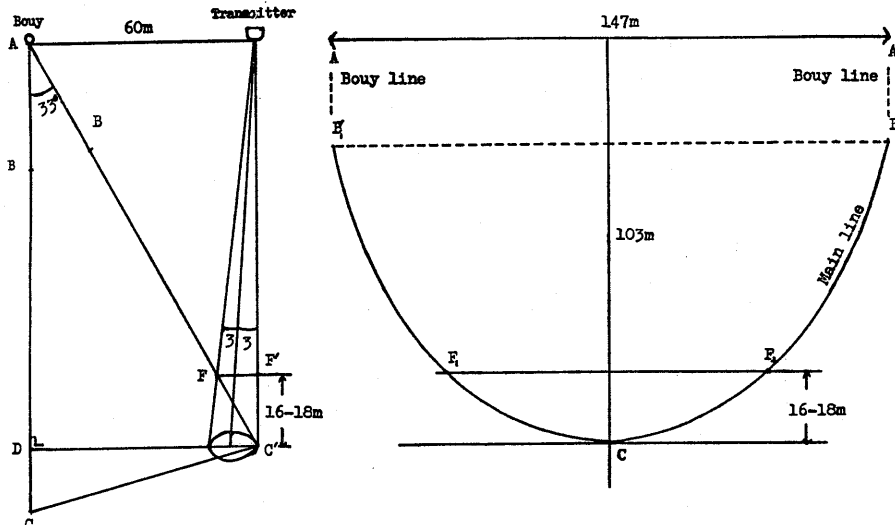


Fig 5 Analysing record of PLATE II, Fig. 4

- 1) 測定時、本船は浮標線から60m風下を航走して居た。(Raderによる推測及び目測)
- 2) 浮標間隔(AA')は此の前後の部分で平均147mであった。
- 3) 記録に表れた延縄最深湾曲部(TC')は103mであった。
- 4) 記録された延縄部分の長さは、深度に対して10~18mであった。

これらを図示すると Fig. 5 中の右の様になる。

外力が加わらない時、ABCの状態下垂下し、外力がDC'方向に加わり、A'B'C'の状態になったと仮定する(実際には、浮標の位置Aは釣合うまで移動する可能性がある)。上記の記録上の現象は次の通りとなる。

- 1) Tを船の発受信子の位置とすると、ATは60m
- 2) AA間間は147mであり、図により、標準状態におけるカタナリー最深部ABC=A'B'C'は95m+24m
- 3) TC'=103m
- 4) 本船発振子より鉛直方向に向けた±3°の半径を持つ円錐型内に入った延縄部分の深さF'C'が16~18mであること。

以上を図示すると次の様になる。

Aから60mの位置に発振子Fを置き、これから±3°の三角形を画き水深103mとの交点をC'、85m(103m~18m)との交点をF'とする。此の場合、延縄が記録可能な範囲に入った時はF'で、出る時がC'である。しかしC'においてはカタナリー最深部が記録されて居ると見ることが出来る。

AC'と鉛直線とのなす角度は33°である。又、実際にはC'F'B'Aを結ぶ一種のカタナリーをなすと想定して作図してみると、この弧の長さは115mとなり、この場合前述第2項の119mとはほぼ同様となる。

又、AC'に於ても112mとなり、三者共大差を認めず、圧流に依る繩の傾きはAC'と鉛直線との交角で表す事ができる。従って式(12)に代入すると

$$\tan(\theta=330) = \frac{0.000075 \times 0.61 \times V^2}{\frac{3.6\text{Kg}}{250\text{m}}}$$

但し式(12)におけるfを延縄が垂直に水中に置かれた時の抵抗  $R = 75V^2d \times 10^{-8} \text{ Kg/m}^2/\text{sec}$

$d = 0.61\% \text{m}$  クレモナ繩仕上りの直径

と置き換えて計算し、 $V=11\text{cm/sec}$  即ち0.2ノットを得た。当時の流速を0.2ノットが浮標列に対して直角の方向から加えられたと推定される。

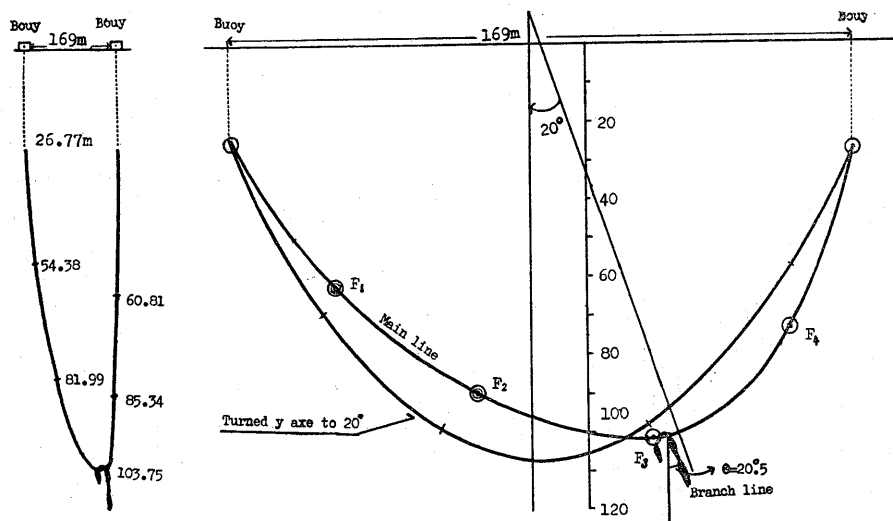


Fig. 6 Analysing PLATE I, Fig. 2

## (2) 浮標列方向から圧流された例

又、Fig. 6 は浮標列の末端より3鉢目の記録であるが、浮標索の附近から下は、明かに認められ、前述の記録可能な範囲  $\pm 3^\circ$  から考えて見て、繩はほぼ重力方向に垂下していることが明かであるが、これを浮標間隔によって水中状態の  $\frac{1}{100}$  に復原して作図し、同時に前述の如く、鎖を使用した模型が示す曲線と比較して見ると、y軸が約20度傾斜した場合の模型が示す曲線とほぼ一致する。この際、枝繩の傾きが20.5度の傾斜を持つことをあわせ考えれば、この傾角を生ずる力が潮流、その他の外力であることが推論され、又、前述の如く、外力はこの軸の傾きと正比例することは明かである。

$\tan \phi = \frac{f}{W}$  より計算して見ると  $V=14\text{cm/sec}$  となり、流速0.26ノットの圧流が1961年12月5日の、末端より3鉢目に於て浮標列方向によりかかって居たことを示すものである。

## 結 論

- 1) 本研究に使用した延繩は投入30分後には完全に沈下し、カテナリーを形成する様である。
- 2) 如何なる方向から外力を受けても、常に双曲線関数で表される曲線を描く。  
外力による延繩カテナリーy軸の傾斜角は  $\frac{0.000075 V^2 \times \text{クレモナ延繩の径 cm}}{\text{延繩単位長さ水中重量 Kg/sec}}$  である。
- 3) 長崎丸の例では0.2節で浮標列方向より受けて、カテナリーの中心軸が20度傾斜し、直角方向より0.2節で約33度傾斜することが明かになった。
- 4) 上述の如く、僅か0.2節位で30度傾斜する程圧流されることは明かであるから、魚群深度を測定し、これに釣深度をコントロールするには、潮流・風向等を考慮した上で投繩針路を決定し、その上で船速（投繩作業の面で人為的に加減するより、機関の r. p. m. で操作する方が容易である）を加減し、投繩しなければならぬ。
- 5) 今後、此の投繩作業の面で更に研究を進めたいと考える。

## 引 用 文 献

1. 西村 実, 漁船研究技報, 15, 79 (1961)
2. 吉原友吉, 東京水産大学研究報告, 41, 1, 1
3. 森田, 鹿児島大学紀要, 4, 8, (1955)
4. 葉室親正, 漁船研究技報, 11, 39, (1958)



5. GRAHAM : Special Scientific Report Fisheries, United States Department of The Interior Fish & Wildlife Service, 285 (1958)
6. WATHNE : Commercial Fisheries Review 21, 4, 1 (1959)

### PLATE

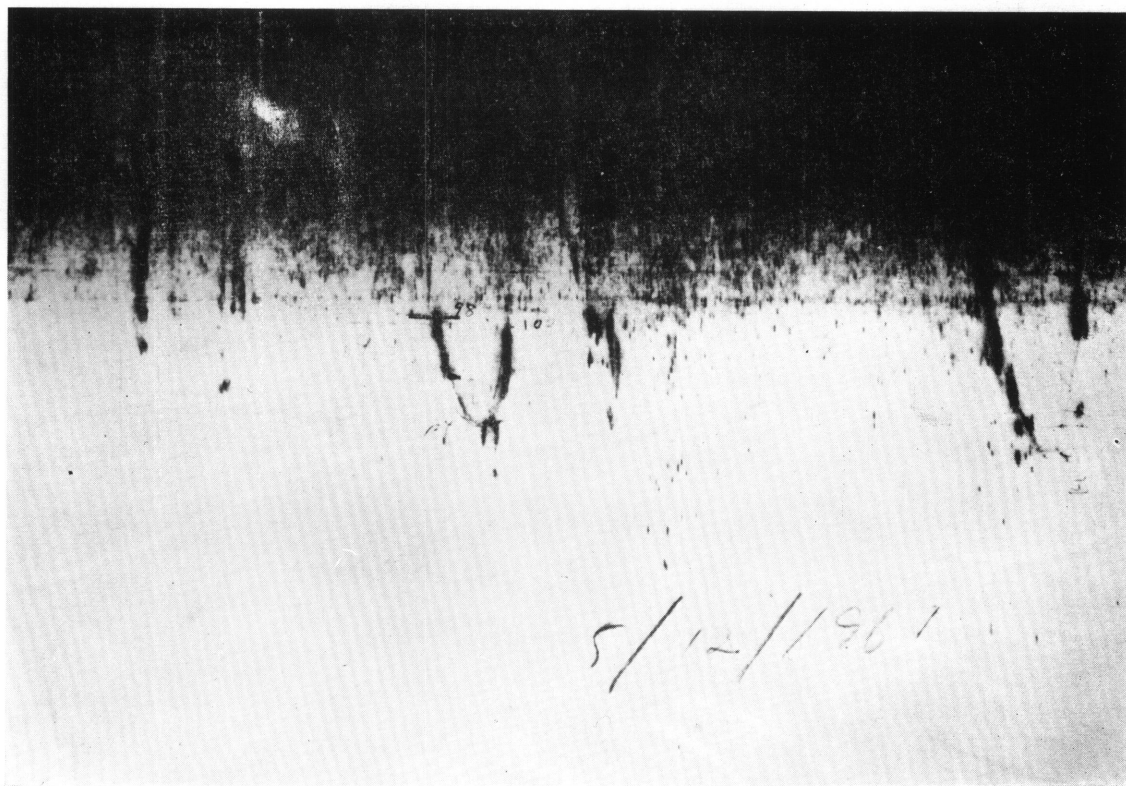
#### PLATA III

- 1 Echo-sounder trasing of a section of a longline set, at June 20, 1961 in the South China Sea
- 2 On Dec., 5, 1961 at the aproaching area off palau Is. asfig. 6.

#### PLATA IV

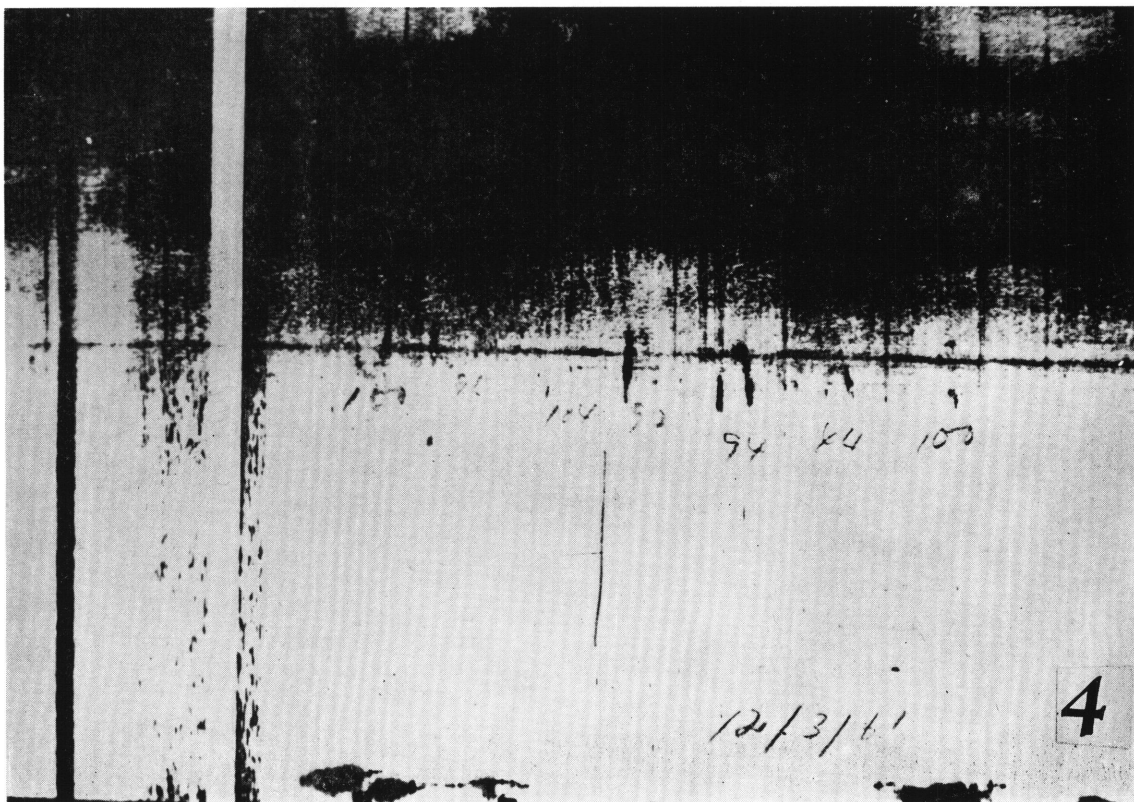
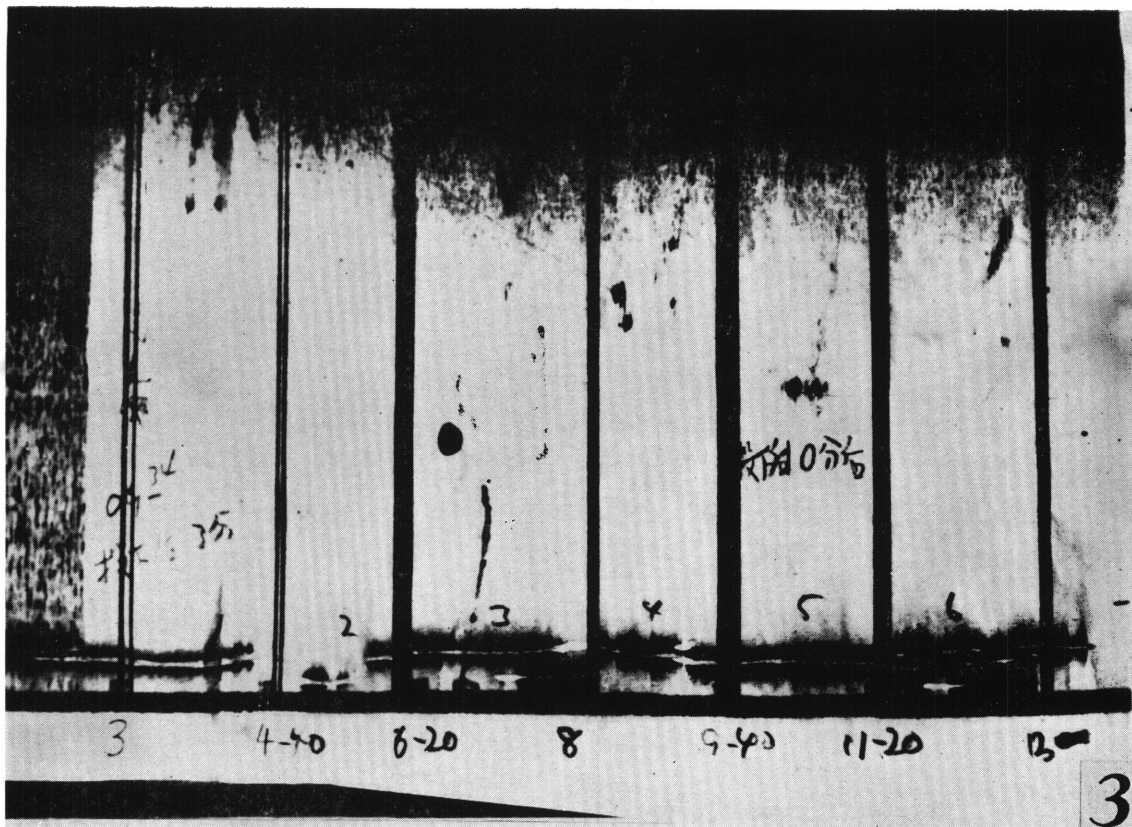
- 3 On March, 1, 1961 off Amakusa Is., sh0w the first sinking stage.
- 4 On Dec, 3, 1961 off Palau Is., as Fig. 5

PLATE III



K. SHIBATA : Analysis of the Echo Sounder Tracing

PLATE IV



K. SHIMATA : Analysis of the Echo Sounder Tracing