

ベンガル湾におけるまぐろ漁場環境

栗田嘉宥*・五月女雄二郎*・春日 功*・林 敏史*

Relation between Tuna-Catches and Oceanic Condition in Bengal Bay

Yoshihiro KURITA*, Yujiro SAOTOME*, Isao KASUGA*,
and Toshihumi HAYASI*

Abstract

Tuna long-line fishing and observation of CTD and XBT were carried out at 7 stations simultaneously in Bengal Bay, during a period from 13 to 19 February 1990, in order to study the relation between the tuna distribution and oceanographic environment, i.e. temperature, salinity and dissolved oxygen.

A uniform layer of each environmental factor existed beneath the sea surface, however, the thickness of this layers for salinity (30 m) was different from that of temperature and dissolved oxygen (80 m). These environmental factors had sharp gradients beneath the uniform layer. Altogether, 62 yellowfin tunas and 18 marlins were caught through fishings, and all were caught at depths between 65 m and 120 m. Comparing the tuna catch with the vertical distributions of the environmental factors, it is seen that most of them were caught in the boundary layer between the surface uniform layer and the sharp gradient of the temperature and dissolved oxygen.

1. 序

魚介類の分布と水温、塩分、溶存酸素等の環境因子との関係は古くから多くの人々に興味をもたれてきた(例えば、宇田, 1960)。まぐろ類の分布と環境因子の関係は主に漁獲結果を通して論じられてきたが、熱帯から亜熱帯循環系に生息するまぐろの遊泳層は表層から 300 m 深あるいはもっと深く 500 m 深ともいわれ(山中, 1974)、まぐろ類の分布には成層の存在が無視できないと考えられている。従って表層水温の情報からは漁獲と環境因子との関係を推定することは困難な場合が多い。BT の発達後、まぐろ漁業では水温の鉛直プロファイルから漁場探査を行ってきた。水温場とまぐろの漁獲に関する資料をもとに統計的な解析が積み重ねられ、平均的な水温場と漁獲の関係が議論されている(川合, 1969)。統計的解析では平均場での議論が主となり、変動する場の役割は取り扱われてはいない。最近、花本(1985)はまぐろ

漁業と海洋環境調査が同時に実施された資料を丹念に抽出し、メバチの分布と海洋環境との関係を調べ、メバチの適水温は 10~15°C であり、また溶存酸素量が 1ml/l 以下では分布していないことを報告している。

筆者らは、花本(1985)にならって、漁獲と環境の関係に注目し、冬季のベンガル湾でまぐろを漁獲しながら、同時に CTD, XBT による海洋観測を実施した。そしてまぐろの漁獲分布と水温、塩分、溶存酸素量、密度との関係を調べ、漁獲に対する環境因子の影響を明らかにすることを試みた。

2. 観測と漁獲試験

観測及び漁獲試験は、1990年2月11~22日、東京水産大学神鷹丸によってベンガル湾でおこなわれた(Fig. 1)。Fig. 1 の B 線では 20 海里間隔で XBT 観測を、Fig. 1 に示す観測線上の算用数字の測点では 60 海里間隔で CTD 観測を行った。XBT は 450 m 用を使用し、また CTD は 1,100 m 深までセンサーを降ろし、水温、塩分、溶存酸素量を測定した。A 線及び C 線では周辺域の水温と流れ

1990年10月15日受理

* 東京水産大学 Tokyo University of Fisheries, Minatoku, Tokyo 108

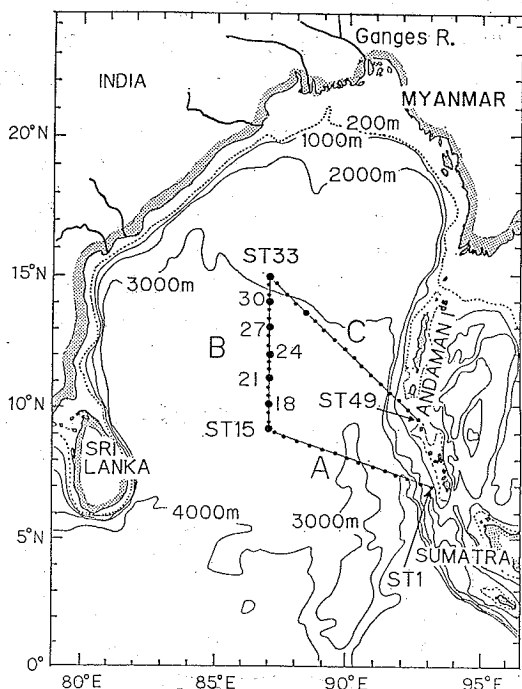


Fig. 1. The observational sites and fishing ground in Begnal Bay. The positions of the XBT drops are indicated by the small dots and of the CTD stations by large dots. The tuna fishings were made near the CTD stations.

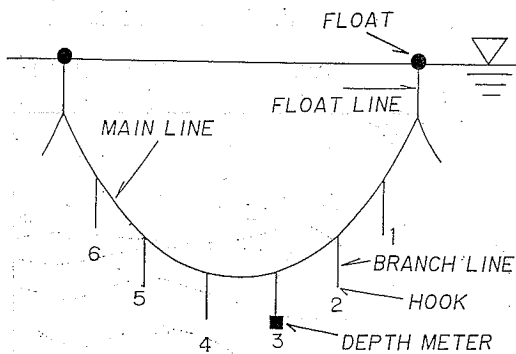


Fig. 2. Structure of the long-line for tuna fishing.

の情報を得る目的で30海里間隔でXBT観測を行った。漁獲試験はB線上のCTD測点を含む様に実施した。具体的には、漁獲試験と海洋観測との時間的・空間的ずれを極力少なくする為、投縄終了点がCTD観測予定点に来るようにし、投縄終了後、直ちに観測を行った。漁獲試験の内訳は100鉢操業が2回、150鉢操業が4回、200鉢操業が1回である。使用した延縄漁具は1鉢

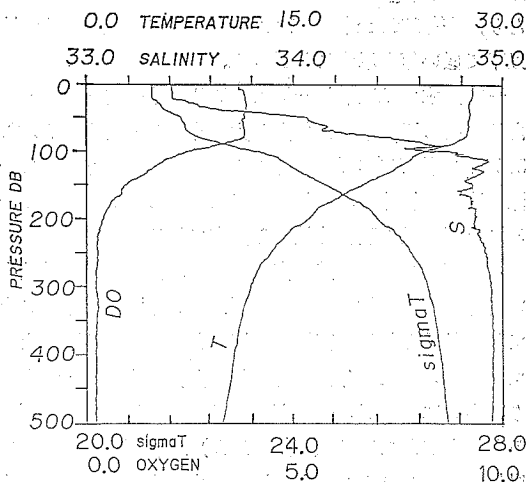


Fig. 3. Typical profiles of temperature, salinity, dissolved oxygen and sigma- t at St. 24.

280 m, 針は6本付けとした。また針深度を測定する為、深度針を150鉢操業では各々25鉢目、75鉢目及び125鉢目の中央部枝縄、すなわち、三番目の枝縄に一個ずつとりつけ (Fig. 2), 200鉢操業では各々50鉢目、100鉢目、150鉢目の中央部枝縄 (三番目枝縄) に一個ずつに取り付けた。100鉢操業のみ、深度計は2個として25鉢付近、75鉢付近の三番目または四番目枝縄に取り付けた。

各操業では全体の鉢の各枝縄の設定針深度を把握する為、投縄時、10鉢毎の時刻と対水速力航程示度を読みとった。

3. 水温、塩分、密度、溶存酸素量の分布

この海域の代表的な水温、塩分、 σ_t 、溶存酸素の鉛直分布として St. 24 での観測結果を Fig. 3 に示す。各成分共、表層の均一層、顕著な躍層、下層の勾配の小さな層により構成されている。しかし、均一層の厚さに違いが見られ、塩分は他の熱帯、亜熱帯の海域に比べ低く、表層均一層 (厚さ約 30 m) では約 33.4 PSS (実用塩分スケール: 以下単位は省略する) で、その下に顕著な躍層が存在し、下部の 120 m 深で極大の 334.8~34.9 となるが、それ以深ではほぼ一定で約 34.8 をとる。

溶存酸素量は、表層均一層では約 3.8 ml/l で、均一層の厚みは約 90 m で、90 m 深以深では深度の増加と共に急激に減少し、200 m 深では 0.4 ml/l と極度に低い値をとる。インド洋では浅いところに酸素極小層の存在することが知られていて (杉浦, 1970), Fig. 3 では 500 m 以深については示していないが、今回の 1000 m

深までの観測結果を見ると 300 m~400 m 深で極小値をとり、以後 1000 m 深までは僅かに増して行くが、1 m/l 以下で低い値を示すことが判る。

一方、水温は表層均一層で 28°C、厚みは約 90 m である。その下の躍層は勾配が大きく 200 m 深で 15°C、300 m で約 11°C となる。密度変化を示す σ_t は 90 m 深以浅では塩分の、それ以深では水温の影響を受けていることが各鉛直変化曲線から推定される。

この海域の鉛直構造は表層の高温、低塩分、比較的高い溶存酸素量の均一層、その下に顕著な躍層があることで特徴付けられる。表層が低塩分となっている理由としてベンガル湾での年間の降水量は蒸発量を 80 cm 上回り、さらにガンジス河などから多量の河川水の流入があるためとされている(高野, 1972)。顕著な密度躍層は動植物プランクトンなどの浮遊微生物や有機物質等の上層から下層への輸送を阻害すると考えられるが、躍層でのこれら物質の集積は基礎生産が高く維持されうことを示唆している。

次に B 線に沿っての水温鉛直断面図 (Fig. 4) を見ると、等温線は南側の測点の St. 15 から北に向かって、わずかに下降しているが水平勾配は小さい。St. 21 や、St. 30 では表層の均一層内で弱い水温逆転層が見られる。A 線及び C 線に沿っての水温鉛直断面図 (Fig. 5) を見ると均一層の厚さは、どちらも B 線におけるよりもやや薄い。17~27°C 等温線に挟まれる厚さ約 170 m の水温

躍層は東へ向かって浅くなっている。

塩分鉛直断面図 (Fig. 6) を見ると表層均一層は水温や酸素のものより薄く、かつ均一性も低い。St. 27 では

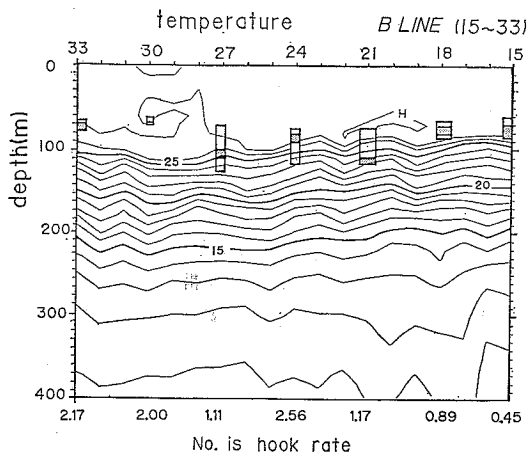


Fig. 4. Vertical temperature section along B line shown in Fig. 1. The columns show range of the depth of catch at each fishing and the most catch layer indicated by shadow.

The number in the bottom of the figure shows hook rate.

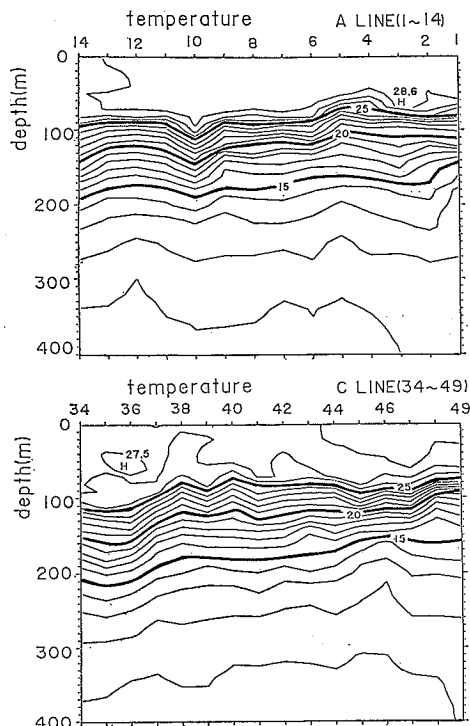


Fig. 5. Vertical temperature section along A (Top) and C (Bottom) lines. Unit is °C.

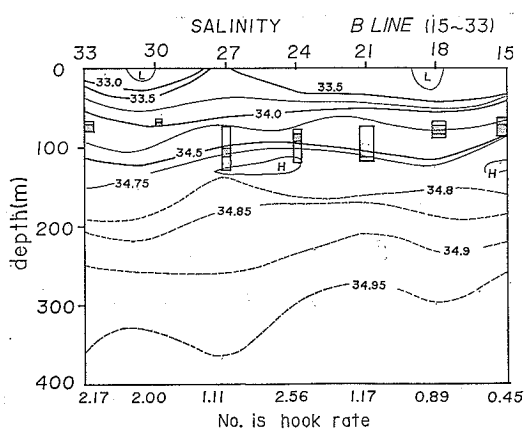


Fig. 6. Vertical salinity section along B line shown in Fig. 1. The columns show range of the depths of catch at each fishing and the most catch layer indicated by the shadow. The number in the bottom of the figure shows hook rate.

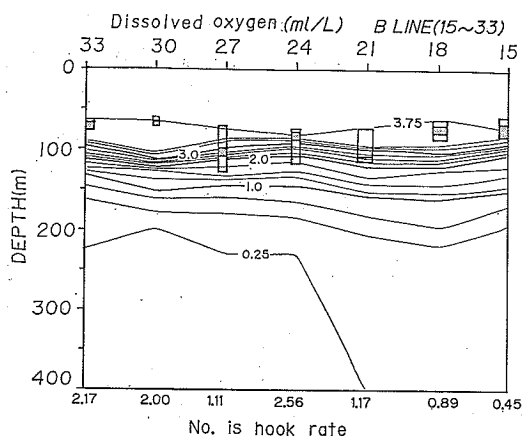


Fig. 7. Vertical dissolved oxygen section along B line shown in Fig. 1. The columns show range of the depths of catch at each fishing and the most catch layer indicated by the shadow. The number in the bottom of the figure shows hook rate.

海面まで 33.5 となって周囲より高塩分であり、St. 18, St. 30 では海面付近は周囲より低塩分となっている。塩分値を見ると、表層では北の測点の St. 30, St. 33 では 33.0 以下の低い値を示す。しかし、全体を眺めたときは St. 27 を除いては表層 30 m 深までは 33.0~33.5 の低塩分の均一層が優勢であり、その下に塩分躍層が存在している。また、この躍層上部の深度変化は小さい。この様な表層、躍層の成層状態は海面上方からの降水の影響と考えられる。

溶存酸素量の鉛直断面図 (Fig. 7) をみると 3.5 ml/l 及び 3.75 ml/l 等値線は Fig. 4 の 26°C 及び 27°C 等温線の変化に対応している。各測点とも溶存酸素量の躍層は 100 m 深が中心で、その厚さは約 40 m と薄く、勾配の大きさが注目される。水平的には変化は小さいが、局部的にわずかな変化があり、St. 30 付近で下に凸、St. 24 付近で上に凸となっている。

4. 漁獲結果と環境因存との関係

今回の 7 回の試験操業により 80 尾の漁獲があった。その内訳はキハダ 62 尾、かじき 18 尾である。環境因子と漁獲深度の関係を調べる目的で、設定針深度を推算した (付録参照)。

水温、溶存酸素量、塩分の分布と漁獲との関係を比較するために、各操業毎の釣針の深度範囲と最多獲深度及び釣獲率を Fig. 4, Fig. 6 及び Fig. 7 の上に描いた。

網目部は各操業で最も釣獲率の大きかった深度範囲である。これらの Fig. 4, Fig. 6 及び Fig. 7 から水温均一層と躍層の上部との境界は酸素量均一層と酸素量躍層との境界及び塩分の 34.5 等値線とほぼ一致して、この境界付近での釣獲率が大きかったことが分かる。また鉛直勾配の大きな酸素躍層]上部が上に凸となっている St. 24 付近で釣獲率が最大であることが注目される。塩分分布 (Fig. 6) から見ると、全体的な漁獲深度範囲は St. 30 が 34.0 以下であるのを除けば 34.0 から 34.8 の範囲にある。

魚種別に更に詳しく見ると、90 m 以浅ではキハダ 42 尾、かじき類 14 尾、90 m 以深ではキハダ 20 尾、かじき類 4 尾であった。キハダは、設定針深度範囲 65~120 m 深全域に渡って漁獲された。かじき類は全部で 18 尾漁獲されたが、その大部分の 14 尾は 90 m 深以浅で漁獲され、これは水温では 27°C 以上、溶存酸素量では 3.5 ml/l 以上に相当する。また、特に最も深い所、110 m 深から 120 m 深ではキハダが 5 尾漁獲されているが、この深度の溶存酸素量を Fig. 7 で見ると 1.75~2.0 ml/l の値となっている。

5. 考察

まぐろ延縄漁具に対する流れの影響については非常に興味ある問題である。今回の研究では残念ながら精度のよい直接測流データが得られなかった。しかし密度場から間接的に地衡流を推定することができるので、流況については、ある程度のことはわかる。鉛直平均密度、水温、塩分、熱膨張係数、塩分による収縮係数を各々 ρ_0 , T , S , α ($=2 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$), γ ($=8 \times 10^{-4}$) とすると、密度は次のように近似できる (たとえば高野, 1972)。

$$\rho = \rho_0(1 - \alpha T + \gamma) \quad (1)$$

X軸をA線、C線に対して右向きB線に対しては南向き、Z軸を鉛直上向きに取り、Y軸方向の流れ、重力加速度、コリオリパラメーターを各々 $V \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, g ($=9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) f ($=7.3 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$) とすれば、温度風の式は

$$\frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{g}{\rho_0 f} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial x} - \gamma \frac{\partial S}{\partial x} \right) \quad (2)$$

となる。

ここでB線に沿った水温分布 (Fig. 4) を見てみる。海面から約 90 m 深までは、水温 27°C の均一層となっており、この間各深度での水平勾配は無いとみてよい。90~250 m 深に存在する 13~26°C の各等温線の間隔は小さく、この間は躍層となっている。これらの各等

温線の深度変化は各深度における水温水平勾配の存在を示す。250~400 m 深では水温水平勾配は小さくなっている。90~250 m 深の平均的水温水平勾配を 150 m 深で見積ると約 $9.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ である。250~400 m 深は極小さいので 90~400 m 深の平均水温水平勾配をこの二分の一として $4.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ とする。

次にB線に沿った塩分分布 (Fig. 6) を見てみる。50 m 深での塩分等値線はほぼ水平になっておりこの付近の塩分水平勾配はごく小さいことがわかる。90~110 m 深の等値線の深さの変化は大きくかつ鉛直勾配も大きいので、この間の塩分水平勾配は大きい。100 m 深の塩分水平勾配を見積ると $8.2 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ である。110 m 以深 400 m 深までは鉛直勾配はごく小さく、この間の平均的塩分水平勾配を 150 m 深のもので代表してその値を見積ると $7.4 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ である。塩分水平勾配の大きな層は 50~400 m 深までの間でわずか 20 m 程度の厚さである。塩分水平勾配の最大となる 90~110 m 深での値、 $8.2 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ と前述の 90~250 m 深での平均的水温水平勾配、 $9.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ を (2) 式に代入し、右辺の二つの項の大きさを比べると水温項が塩分項の約 2.7 倍となる。塩分水平勾配の大きな深度は、この極薄

い層に限られる。50~400 m 深までの平均的な塩分水平勾配として前述の 7.4×10^{-6} 、90~400 m 深の平均的水温水平勾配として $4.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ [を採用して計算すると、水温項は塩分項の約15倍である。これらを総合すると、塩分が密度分布に影響するのは90~110 m 深の極薄い層に限られ、その層での割合も水温の約三分の一であることから、90~400 m 深までの流れは主に水温に支配されているといえる。A線、C線では塩分を測定していないがB線と同様に密度に対する塩分の影響は小さいとして流れを推定することとする。

三測線での水温鉛直分布 (Fig. 4, Fig. 5) から海流の構造を推定してみる。まぐろ延縄の平均的針深度が約 100 m 深とされたので、この深度での流れがどの程度であるか、またどの様な水平構造 (水平シア) を持つかに着目する。400 m 深を無流面として温度風近似によって流れを推算し、100 m 深の観測線に直交する流れ (Fig. 8) を得た。観測海域の大半は、流速 $0.1 \sim 0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で小さいが、B線に沿っては流向がしばしば変化し、流れに水平シアがあることがわかる。これは水中に設定された延縄漁具は流れによって吹かれるといわれるが (葉室・石井, 1958)、ここでも流れに水平シアがあることから針、枝縄が吹かれている可能性があることを示す。Fig. 5 から A線、C線では躍層の深さが東に向かって浅くなっているため、全体的に北から南への流れの存在が示唆される。これは冬季のベンガル湾で時計廻りの還流があるといわれていること (SWALLOW, 1983) と一致し興味深い。流れについては、ADCP、船の偏流等と地衡流の結果を比較し、更に正確に調べたい。

溶存酸素量については SHARP (1978) によればキハダが遊泳速度を保つために要する酸素量は 50 cm の魚体で 1.5 ml/l 、75 cm の魚体で 2.3 ml/l であるといわれているが、今回漁獲された 5 尾は体長約 100~140 cm でもっと大きいので、この論理からすればこの $1.75 \sim 2.0 \text{ ml/l}$ という酸素量は少ないようである。

6. まとめ

1990 年 2 月 13~19 日にベンガル湾のほぼ中央部で、XBT, CTD を利用しての海洋構造の観測とまぐろ延縄による漁獲試験を同時に行った結果、次のことがわかった。

(1) この時期のベンガル湾では表層に高水温、低塩分で溶存酸素量の比較的高い均一層があり、比較的浅い所にこれらの躍層があった。この内、水温と酸素の均一層の厚さはほぼ等しく、塩分の均一層はこれより浅い、塩

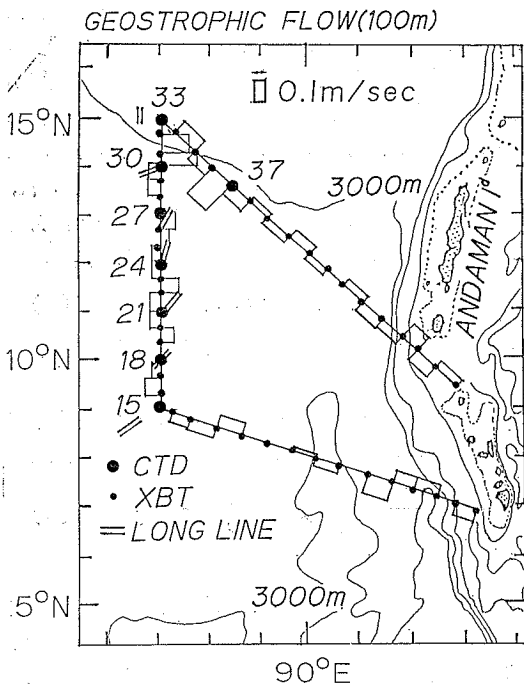


Fig. 8. Horizontal velocity field at 100 m depth relation.

分は 30 m 深付近から、水温、酸素は 80 m 深付近から躍層が発達し、顕著な密度躍層は 80 m 深付近から形成されていた。

(2) 水温、塩分、溶存酸素量とも水平変化は小さいが、ほぼ三角形を描いた XBT の観測線からは、ペンガル湾での時計廻りの環流の存在が示唆された。

(3) 漁獲状況を各操業毎についてみると水温、酸素の均一層と躍層の境界付近、水温で 26~27°C、酸素で 3.5 ml/l、塩分では 34.5 等値線付近に相当する所で最大釣獲率を見た。キハダは深度 65~120 m 深の全域に渡って漁獲されたが、かじきは18尾中14尾まで 90 m 深以浅で漁獲され、これは水温で 27°C 以上、酸素で 3.5 ml/l 以上、塩分では 34.5 以上の範囲に相当する。

(4) 100 m 深付近では東西成分が 0.1~0.2 m・s⁻¹ でしばしば流向が変わる海流の存在が示唆された。漁具がこの流れにどの程度影響を受けているかは明確にはわからなかった。

6. 謝 辞

本研究をすすめるに当たり、終始御指導とご校閲を頂いた東京水産大学海洋環境学講座松山優治助教授に厚く感謝を申しあげます。観測及び操業に協力いただいた、神鷹丸の乗組員の皆さん、及び神鷹丸第16次実習航海乗組学生諸君に厚く感謝します。また、データ処理に御助力戴いた東京水産大学海洋環境学講座吉田次郎博士、大学院生の山田東也氏、千手智晴氏に深く感謝申し上げます。最後に有益なるご教示を賜った神奈川県水産試験場、花本栄二博士に厚く御礼申し上げます。

付録：針深度の推算

延縄漁具の構成を Fig. 9 に示す。針深度は投縄所要時間と船速で決定され、海中の延縄はカタナリー曲線を描くとされている(吉原, 1951)。今回は正確な船速が得られなかった為、カタナリー曲線を描くとして、各枝縄の針深度を深度計の記録を利用して以下のように推算した。

カタナリー曲線は

$$y = a \cdot \cosh(x/a) \quad (1)$$

$$s = a \cdot \sinh(x/a) \quad (2)$$

で、 x, y は水平及び鉛直座標、 s は弧の長さ、 a は頂点の y 座標である。深度計は三番目の針に取り付けられているが、その深度(四番目の針深度も同じ)を d 、浮子縄長さを Lu 、枝縄長さを Le 、一鉢の幹縄長さを St と

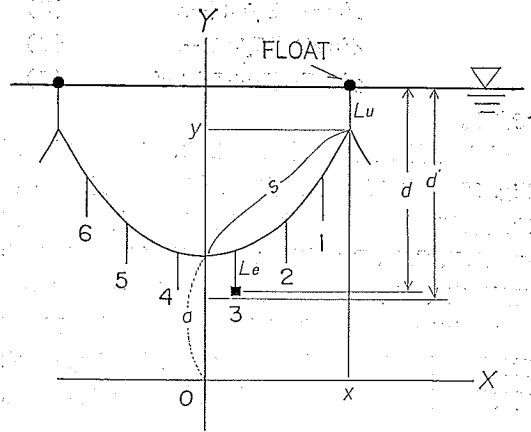


Fig. 9. Schematic views of the long-line structure for tuna fishing.

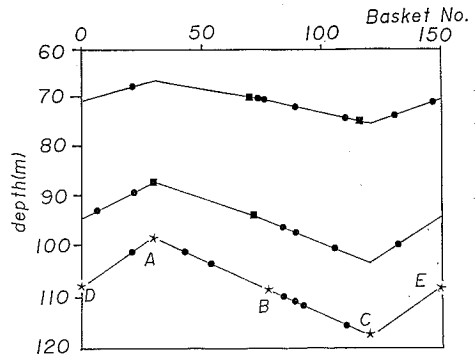


Fig. 10. Catch depth along the long-line at ST24. Asterisks (A~E) are the hook depth obtained by depth meter. Upper line represents the depth of No. 1 and No. 6 branch line hook.

Middle line represents the depth of No. 2 and No. 5 branch line hook. Lower line represents the depth of No. 3 and No. 4 branch line hook. Circle symbol represents the yellowfin tuna, and square symbol represents the marlin.

すると、

$$y = d - (Lu + Le) + a \quad (3)$$

$$s = St/2 \quad (4)$$

である。ここで、 $Lu=25$ m、 $Le=28$ m、 $St=280$ m である。(3)、(4) から求めた y, s の値を、(1)、(2) 式に代入すると、 a が求まり、結果として各枝縄での針深度が求められることになる。ただし、今回の様に枝縄が偶数本付け(六本)の場合は、 d はカタナリー最下点での値ではないので a を補正して d, y を再計算して針深度を求め直す。ここで補正された値は各々 $a' d' y'$ とすると、

$$a' = a - \{Y(j=3) - a\} \quad (5)$$

$$d' = d + \{Y(j=3) - a\} \quad (6)$$

$$y' = d' - (Lu + Le) + a' \quad (7)$$

である。

延縄の各鉢の各枝縄針深度は St. 24 を例にとれば Fig. 12 の様に三本の線で表わされる。深度計を取り付けた鉢及び延縄両端部の鉢での三番目枝縄針深度を星印の、A, B, C, D, E で表わす。延縄両端部の鉢での三番目針深度 (D, E) は各深度計の値の平均値から求めた。

こうすると図の様に結んだ線は延縄全体の鉢の三、四番目枝縄針深度を平均的に表わす。同じ様にして一、六番目枝縄針深度線、二、五番目枝縄針深度線が得られる。

文 献

葉室親正・石井謙治 (1958) 自記式鮪延縄用深さ計による鮪延縄漁具の水中における形状その他についての

二、三の考察。漁船技報, 11, 39-119.

花本栄二 (1985) 海洋環境がメバチの分布に与える影響。神奈川水産試験場論文集, 2, 1-61.

川合英夫 (1969) 熱帯大西洋における水温構造とマグロはえなわ漁場分布との関係について—I. 遠洋水産研究所報告, 2, 275-303.

SHARP, G.D. (1978) Behavioral and Physiological Ecology of Tunas, Academic press. 397-449.

杉浦吉雄 (1970) 物質の分布とそれをもたらす要因。海水の化学, 東海大学出版会, p. 236-237.

SWALLOW, J.C. (1983) Eddies in the Indian Ocean. In: A.R. Robinson (ed), "Eddies in marine Science" 200-218.

高野健三 (1972) 海洋大循環。海洋物理 II, 東海大学出版会, p 1-92.

宇田道隆 (1960) 海洋漁場学。恒星社厚生閣, 1-347.

山中 一 (1971) カツオ・マグロの分布・移動と海洋環境。海洋学講座, (13), 92-99.