

## Hunter Bank 付近における海洋特性についての一考察

山 中 一・行 縄 茂 理

### A study on the oceanographic features in the vicinity of the Hunter Bank

Hajime YAMANAKA\* and Mori YUKINAWA\*

Various studies on the oceanographic features of the oceanic bank have advanced themselves recently by many authors (UDA and ISHINO, 1958, BENNETT and SCHAEFER, 1960, UDA, 1961, HANAMOTO *et al.*, 1964, HANAMOTO, 1971, NAKAO *et al.*, 1973, NASU *et al.*, 1973, TAWARA *et al.*, 1974). As a valuable approach of such study, the authors conducted a series of oceanographic observation on a micro-scale basis in the vicinity of the Hunter Bank (as indicated in Fig. 2) by the ex-SHUNYO MARU, a research vessel of the Fisheries Agency, sponsored by the Far Seas Fisheries Research Laboratory, in October 1971. As the results of the cruise, some interesting findings are presented as follows:

1. According to the result of harmonic analysis of tidal current at the station P (Lat. 9°57'N and Long. 138°15'E, about 30 m in depth), it is indicated that northerly residual current is prevailing at each layer of 1 m, 5 m and 10 m in depth (Figs. 7 and 8).

2. Observed currents at each station are relatively determined, because every current observation was made without anchoring. An outline of the distribution of currents as observed by the index of a current pattern at respective 25 m and 100 m depth are shown in Fig. 9. It is suggested that a northerly current is dominated on the western side of the bank and an easterly current is prevailed on the eastern side.

3. The vertical profiles of temperature along north-and-south and east-and-west observation lines are indicated in Figs. 10 and 11, respectively. The disturbance of isotherms becomes more remarkable as the observational station is closer to the bank. This suggests that the bank-effect upon the flow is greater in degree as approaching to the bank. However, it is not clear from the profile of temperature distribution if there exists the displacement, divergence or convergence of isotherms near the bank.

4. Judging from the distribution of the surface layer depth (Fig. 14), it is suggested that there exist a large clockwise eddy centering around the bank accompanied by some surrounding clockwise eddies and a couple of counter-clockwise eddies at the northwestern and southeastern sides of the bank.

5. Measurement of wet weight of zooplankton sampled ranged from 5 to 45 mg/m<sup>3</sup>. Higher values of zooplankton volumes are observed on the western side of the bank, comparatively large concentration being shown on the southwestern side of the bank (Fig. 15).

6. The result of acoustic fish counting by the Supersonic Fish Counter (28 KHz) is shown in Fig. 16. Fish schools whose body lengths are estimated equivalent to those of skipjack or small yellowfin could not be seen near around the bank. They could just only recognizable on the north western, north and south sides apart from 3 to 4 nautical miles off the bank.

7. It seems to be difficult at the moment to relate the distribution of clockwise and counter-clockwise eddies with those of surface salinity and horizontal distribution of temperature at each layer, moreover, with the distributions of wet weight of zooplankton and fish schools. It was not possible to discuss fully on the origin of the abovementioned eddies.

In conclusion, it seems to be necessary to make further oceanographic observation other than temperature and surface salinity to determine the effect of vertical and horizontal mixing process by the bank. Concerning the relationship between the distribution of tunas and primary productivity of the ocean, further study should be necessary to substantiate the suppositions supposed by BENNETT and SCHAEFER (1960) and BLACKBURN (1965).

## まえがき

海山、礁、島の付近にカツオ、マグロ類の漁場のみられることは経験的に知られており、富永 (1957) は、島、礁の周辺にみられる渦流部やよどみ等に、カツオの好漁場が形成されると述べている。その後、UDA and ISHINO (1958) は、模型実験により、海山、礁、島では流れの下方にあたる背後側に背後渦流を生じ、さらに、局地的に湧昇や収束現象が発生することを確かめている。そして、宇田 (1961) は、それらが好漁場の形成に関連していると報告している。

海山や礁における集魚機構については、次のように解説されている。即ち、“海底地形によって湧昇が起こされ、深層から栄養塩の豊富な海水を表層近くまで汲み上げ、植物プランクトンの繁殖にひきつづいて、動物プランクトンの繁殖をうながし、これらを捕食する小魚と、それらを目的とするカツオ、マグロ類が集まり、さらに、流線の攪乱によって渦流を生じ、それが魚の足をとめて魚群の濃密化を起す……宇田 (1961)” と言われている。しかしながら、上述したような集魚機構についての具体的な解析や、上記機構の消長等については、未解決のまま残されている点が多い。

BENNETT and SCHAEFER (1960) は、Revilla Gigedo 諸島の近くで、物理、化学、生物等に関連した環境要因を調査して、前述した機構について検討している。花本、外 (1964)、花本 (1971, a, b) は、海底地形とマグロ漁場との現象的な関連について報告している。また、中尾、外 (1973) は、大和堆の調査を、奈須、外 (1973) は中部太平洋の海山調査を、さらに、俵、外 (1974) はセイシェル群島域の調査を行っており、海洋バンクについての海洋学的特性の研究は、最近大いに進められつつある。

著者等は、前述したような海洋バンクにおける海洋学的特性の研究の一端として、遠洋水産研究所の所属調査船 (旧) 俊鷹丸 (185.6 t) により、1971 年 10 月～11 月にかけて、西部太平洋の Hunter Bank 付近で、マイクロな海洋調査を実施した。その結果、Hunter Bank における海洋特性について、2, 3 の知見を得たので報告する。

## 資料および方法

俊鷹丸による調査航海は、農林水産技術会議による特別研究の一環として、試作された超音波魚量計数機の実用化試験のために、西部太平洋におけるカツオ、マグロ類の計数に関するモデル調査として実施されたものである (山中、外, 1973, YAMANAKA *et al.*, 1976)。この調査と並行して、黒潮源流部と亜熱帯反流域における海洋構造の調査や、既述した Hunter Bank 付近におけるマイクロな海洋調査も実施された。これらの全般的な調査航跡や海洋観測点は、図 1 に示すようである。

図 1 のモデル海域は、Hunter Bank を中心にした海域である。Hunter Bank では、潮流の時間的変化を調べるために、船を碇置して 24 時間の測流観測を実施した。このため、バンクの最浅の平坦部を魚群探知機によって探し、後述する P 点 (水深、約 30 m) において、船を日本錨とロープで碇置して、TS-V<sub>2</sub> 流速計により 30 分ごとに 1 m, 5 m, 10 m の各層の潮流を観測した。

次に、バンクを中心にした 10 海里平方の海域における微細な海洋構造を調査するために、1 海里ごとの観

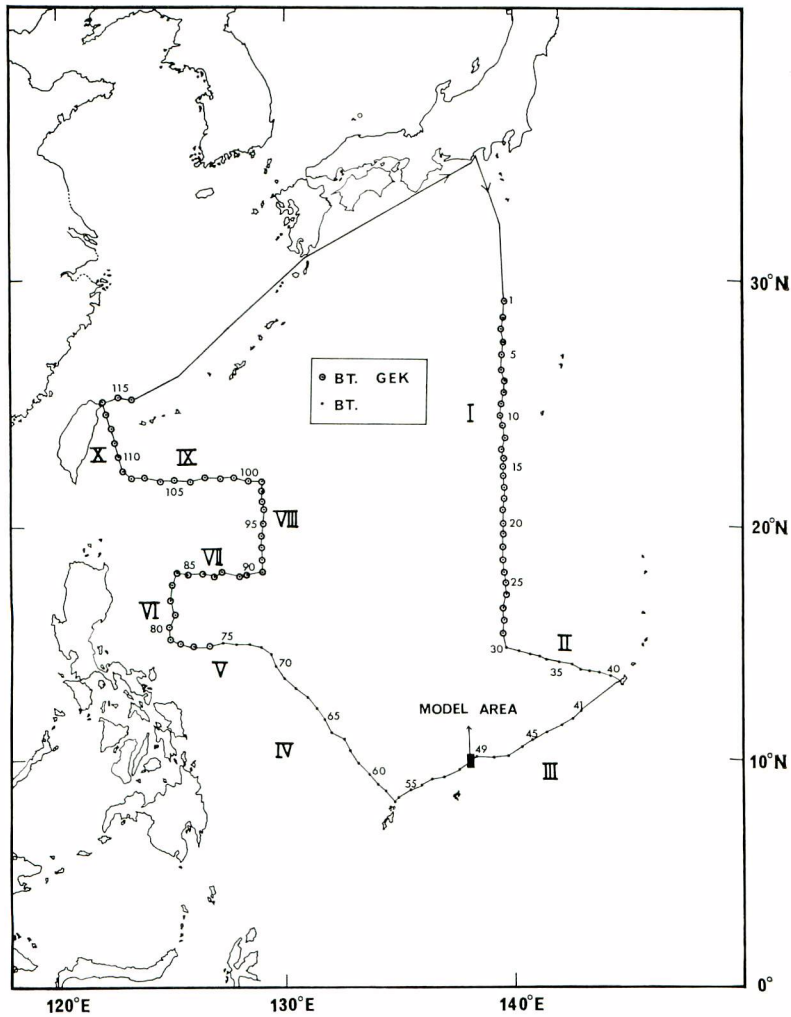


Fig. 1. Track chart and oceanographic stations in the western Pacific Ocean by the SHUNYO MARU, 6, October 1971 to 14, November 1971.

測点を定めて、BT, Norpac Net, TS-V<sub>2</sub> 流速計, 超音波魚量計数機による調査を実施した。調査期間が限られていたために、Norpac Net, TS-V<sub>2</sub> 流速計による調査は、バンクの近くでは密に、バンクから離れた海域では粗く実施した。実際の観測点の分布状態は図2に示すようである。

BT 観測\*は、水深 250 m までの測温を目的として、113 の全測点で実施した。Norpac Net の採集は、水深 150 m (深度は傾角によって補正した) から海表面にかけて、0.8 m/sec の速度で巻き上げ、採集された動物プランクトンの湿重量を測定し、ろ水計によつて水率を測定した。

TS-V<sub>2</sub> 流速計の調査は、相対的な海流の流向、流速を調べるために、1 m, 25 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m, 200 m の各層 (深度は傾角によって補正した) の漂流中の測流を行った。

超音波魚量計数機による調査は、この海域における魚群量の分布状態を推定するために、全調査期間中、水深 300 m までを 50 m 層ごとに分割して、各層における魚群量を計測した。全調査終了後、海底地形の概要を

\* BT 観測資料は、水産庁 1975: 昭和 46 年 (後期), 水産試験研究機関, 海洋観測資料を参照。

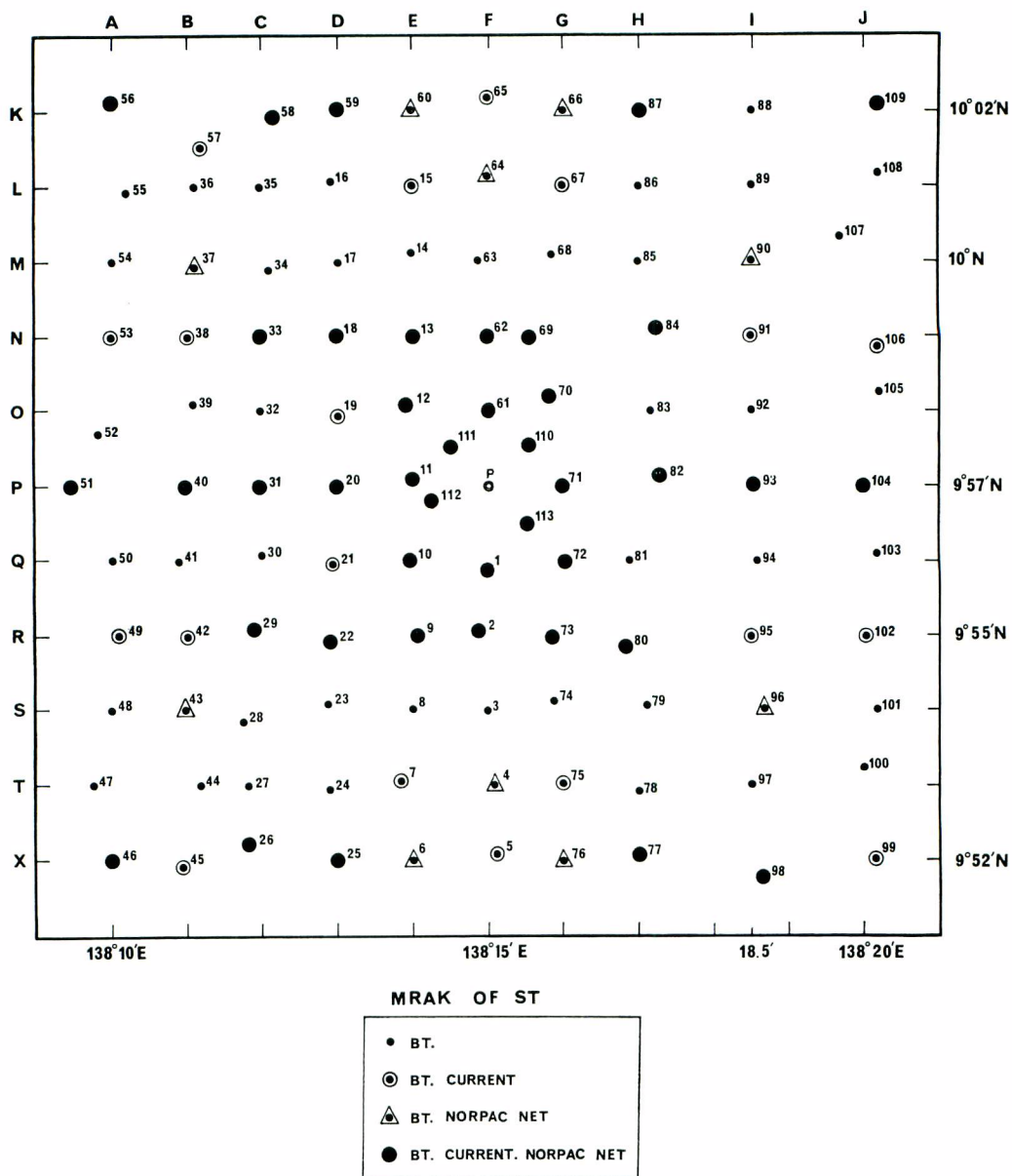


Fig. 2. Stations for oceanographic observation in the vicinity of the Hunter Bank (Model area, refer to Fig. 1) by the SHUNYO MARU, 20 to 23, October 1971.

調べるために、P点を基点として魚群探知機による測深調査を実施した。

なお、1海里ごとの観測点の位置を確認するために、レーダーリフレクターを使用した。図2に示すP点(9°57'N, 138°15'E)では、24時間の潮流観測を実施したが、その際に使用した日本錨とロープを利用して、図3に示す方法でレーダーリフレクターとラジオブイを繫留した。船に装備されたレーダーにより、このリフレクターとヤップ島の岬との双方からの方向と距離を基にして、各観測点の位置を確かめた。

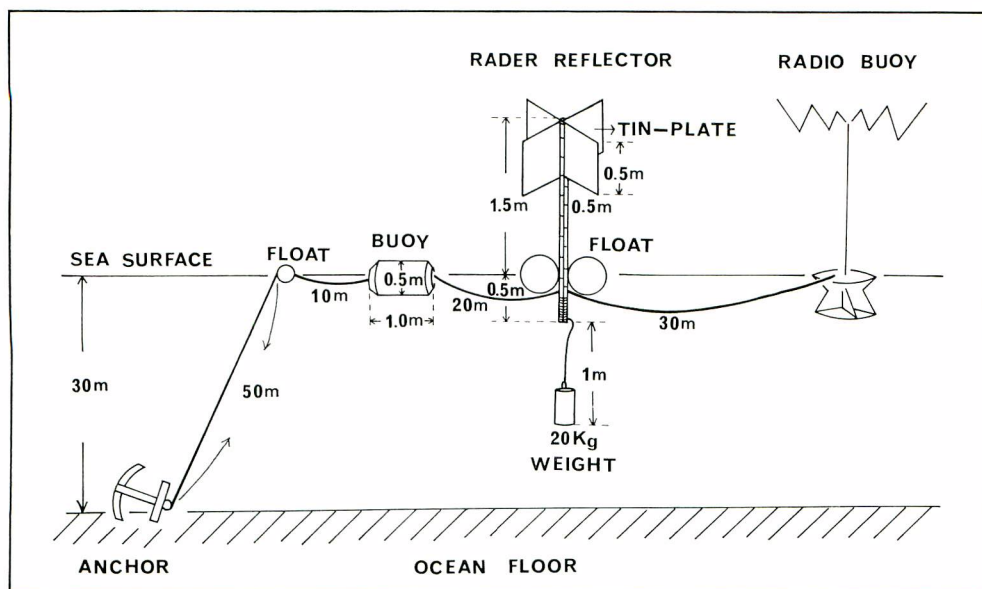


Fig. 3. Schematic representation of structure of radar reflector, radio buoy and anchor system used by the SHUNYO MARU at the point P (refer to Fig. 2) on the Hunter Bank.

## 調査の結果

### 1. 海底地形

Hunter Bank は、ヤップ海嶺の北部に位置している。日本水路部発行の太平洋水深図 (1948, No. 6083) には、このバンク付近では数点の測深値が記入されているにすぎない。また、CHASE *et al.* (1970) による Bathymetry of the North Pacific (No. 6) には、このバンクはヤップ海嶺の一部としてその概要が記入されているが、詳細な様相については明らかではない。

既述したように、この調査の期間中、超音波魚量計数機による魚群量の計測を行った。この魚量計数機には、魚群探知機 FHG-3000 S が組み込まれている。そこで、魚群量の計測と並行して、吃水調整を行った前記の魚群探知機により、300 m レンジの測深調査も実施した。

停船中の各観測点、さらに、観測点間を航走中の魚群探知機による海底の記録や、全観測終了後、P 点を基点として種々の方向に航走した時の海底の記録等をもとにして、300 m 以浅のバンクの海底地形の概貌を示すと図 4 のようである。同図からわかるように、30 m 以浅の比較的平坦な頂部は、P 点 ( $9^{\circ}57'N$ ,  $138^{\circ}15'E$ ) を中心にして逆“コ”の字型に広がっている。また、南南西の方向に、水深 70 m のやや深い、狭い頂部が存在している。日本水路部発行の太平洋水深図には、最浅部の深度 12 m の値が記入されているが、本調査における魚群探知機の記録からすると、最浅部は 23 m であった。

### 2. 潮流の調和分析

既述したように、Hunter Bank における潮流の時間的変化を検討するために、10月20日\* 14時 (LMT) から1昼夜にわたって30分ごとの潮流観測を実施した。

潮流の調和分析を行うためには、最低 25 時間の連続測流値を必要とするが、流速計の故障のために、10月21日\*\* 13時30分で観測を中止せざるを得なかった。このために、紀元時を観測開始時刻とした場合、大陰

\* 月令…… 0.8      \*\* 月令…… 1.8

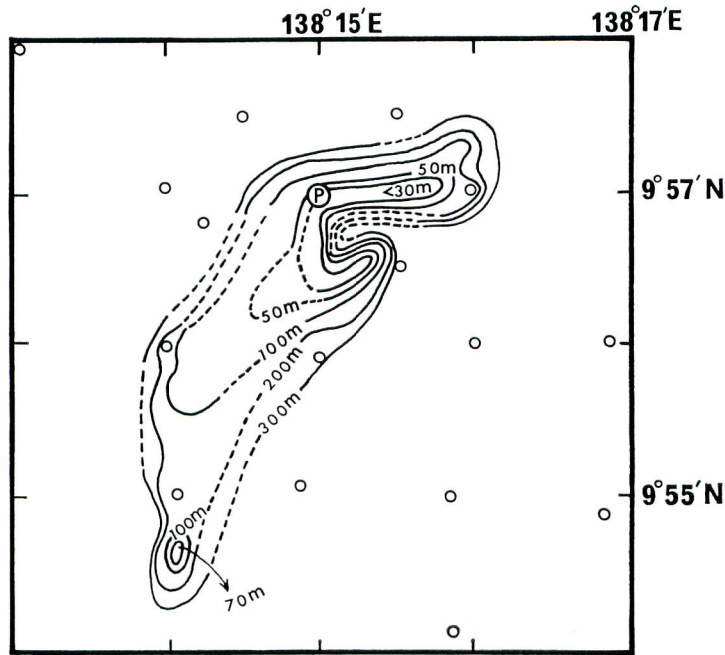


Fig. 4. Outline of bathymetry above 300 m near the Hunter Bank sounded by the fish finder (28 KHz).

時の 23 時における観測値として、観測開始時である 20 日の 14 時の観測値を代用した。また、流速計のサーボニアスローターの故障のために、一部欠測した時もあったが、後述する流速曲線を描く上に大きな支障とはならなかった。なお、俊鷹丸の吃水は 3 m であり、1 m 層における観測値は、船体による影響を大きく受けているものと考えられる。

上述した連続測流値を用いて、1 m, 5 m, 10 m の各層における潮流の調和分析 (中野, 1940, 須田, 1948, 中村, 1971) を行ったが、その結果は以下のである。

#### 1). 潮流図表 (実測) および流速曲線

図 5, 1-3 は実測値による潮流図表である。1 m, 5 m, 10 m の各層ともに流向の回転方向は明瞭ではないが、 $40^{\circ}\sim 290^{\circ}$  の範囲でほぼ北向きの流れとして実測されている。図 6, 1-3 は実測値から求めた流速曲線である。図に示されるように、流速曲線は平滑ではないが、北分よりも東分の場合に時間的変化は激しく、かつ、両者の場合ともに半日周潮流の存在することが示唆されている。

#### 2). 調和分析

図 6, 1-3 から、各大陰時における値を読みとり、それらに基づいて調和分析した結果を示すと以下のである。なお、下式において、右辺の第 1 項は恒流を、同じく第 2 項は日周潮流、第 3 項は半日周潮流をそれぞれ示している。

##### (1). 1 m 層

$$\text{東分 } U \text{ (cm/sec)} = -1.167 + 4.738 \cos(\sigma t - 257.96^{\circ}) + 9.119 \cos(2\sigma t - 271.15^{\circ})$$

$$\text{北分 } V \text{ (cm/sec)} = 21.667 + 4.500 \cos(\sigma t - 251.14^{\circ}) + 1.634 \cos(2\sigma t - 272.24^{\circ})$$

##### (2). 5 m 層

$$\text{東分 } U \text{ (cm/sec)} = -1.250 + 3.194 \cos(\sigma t - 276.68^{\circ}) + 10.159 \cos(2\sigma t - 280.07^{\circ})$$

$$\text{北分 } V \text{ (cm/sec)} = 25.792 + 1.889 \cos(\sigma t - 196.58^{\circ}) + 2.577 \cos(2\sigma t - 244.75^{\circ})$$

##### (3). 10 m 層

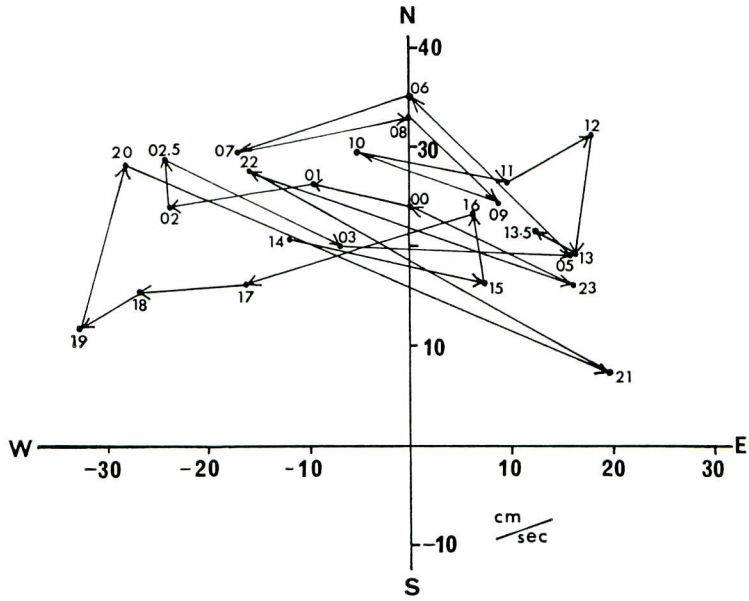


Fig. 5-1. Hodograph by actual measurement at 1 m layer.

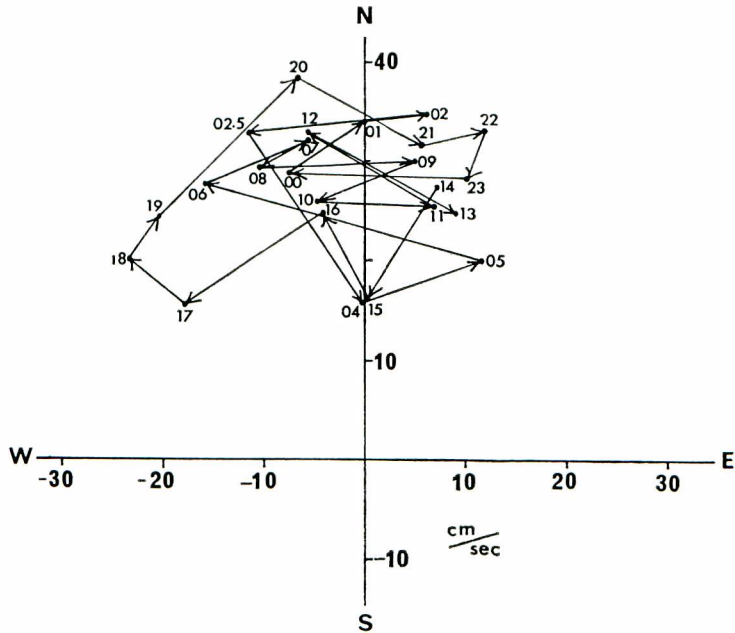


Fig. 5-2. Hodograph by actual measurement at 5 m layer.

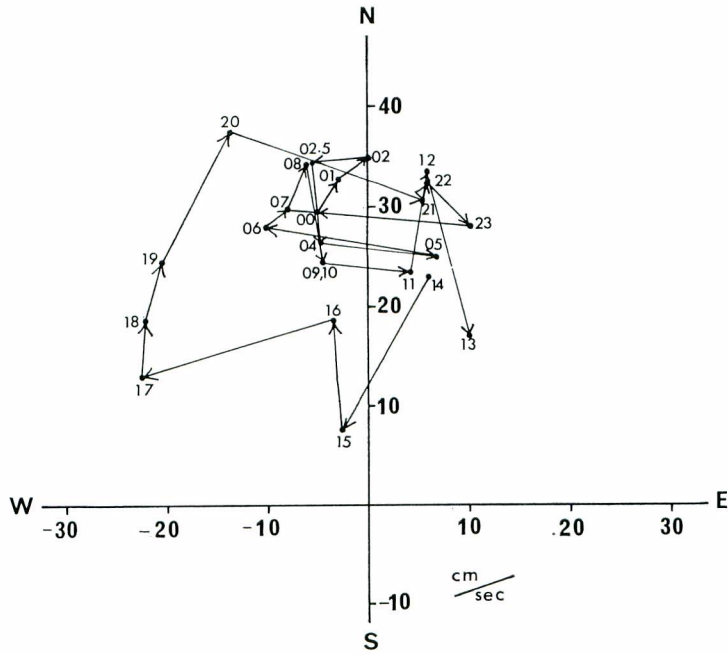


Fig. 5-3. Hodograph by actual measurement at 10 m layer.

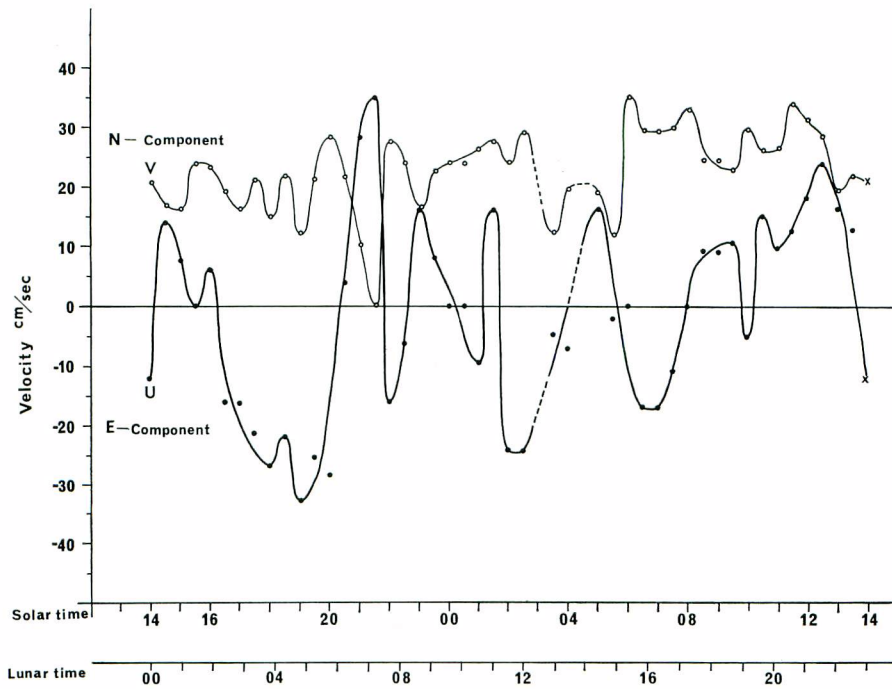


Fig. 6-1. Velocity curve at 1 m layer.



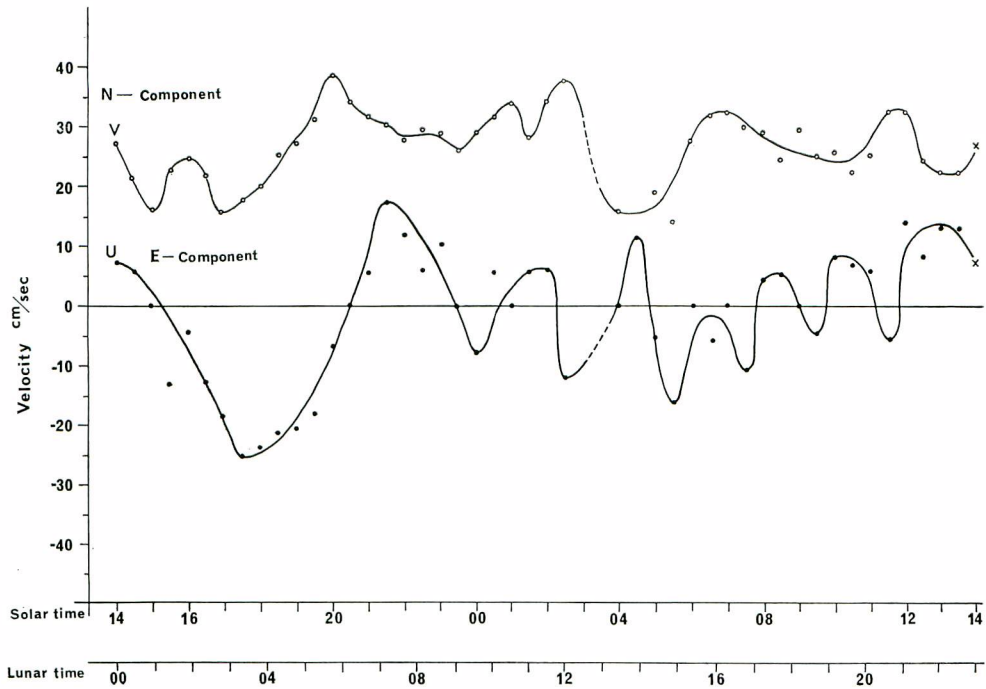


Fig. 6-2. Velocity curve at 5 m layer.

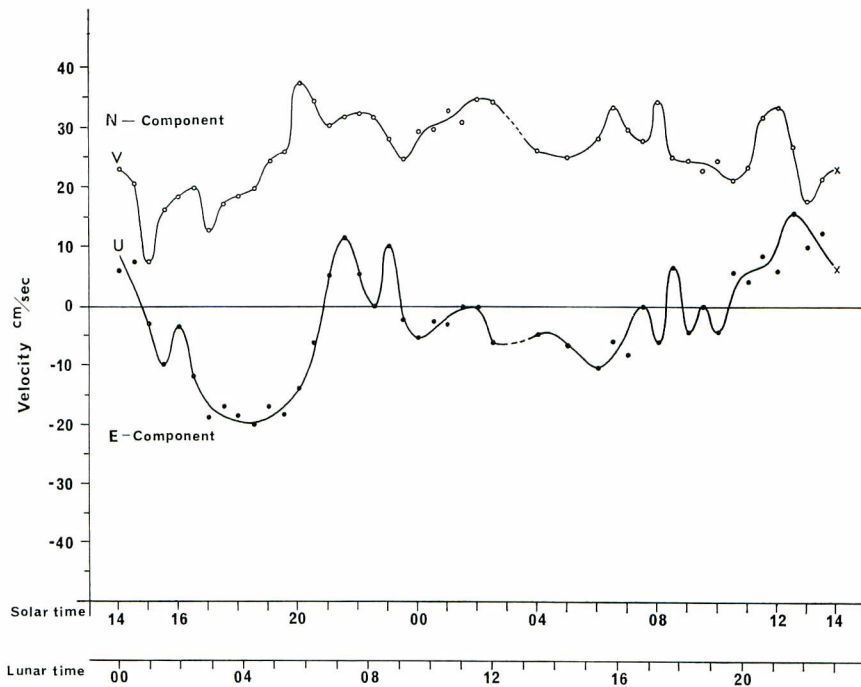


Fig. 6-3. Velocity curve at 10 m layer.

東分  $V$  (cm/sec) =  $-3.042 + 4.903 \cos(\sigma t - 287.83^\circ) + 9.806 \cos(2\sigma t - 285.59^\circ)$

北分  $V$  (cm/sec) =  $25.833 + 6.260 \cos(\sigma t - 185.47^\circ) + 3.708 \cos(2\sigma t - 230.69^\circ)$

**Table 1.** Results of the component currents by the harmonic analysis.

Depth	Diurnal current				Semidiurnal current				Residual current	
	Max.		Min.		Max.		Min.		Dir. °	Speed cm/sec
	Dir. °	Speed cm/sec	Dir. °	Speed cm/sec	Dir. °	Speed cm/sec	Dir. °	Speed cm/sec		
1 m	46 226	6.5	136 316	0.2	80 260	9.2	170 350	0.1	357	21.7
5 m	80 260	10.0	170 350	1.9	77 257	3.2	167 349	1.5	357	25.8
10 m	342 162	6.5	72 252	4.7	77 257	10.4	167 347	2.9	353	26.0

### 3). 潮流楕円

図 7, 1-3 で, 2) 求めた調和常数に基づいた潮流楕円を示す。また, 恒流の流向, 流速や, 日周, 半日周潮流の最大, 最小流速の概要は表 1 に示すとおりである。

#### (1). 1 m 層 (図 7-1)

日周, 半日周潮流ともに, 反時計まわりに回転しており, 直線的に転流している。最大流速は, 日周潮流よりも半日周潮流の方が大きく, 両者の合成されたものは, 3 時および 20 時頃に最大となる。しかしながら, 恒流の流速は, 前記の合成最大流速よりもはるかに大きい。

#### (2). 5 m 層 (図 7-2)

日周, 半日周潮流ともに時計まわりに回転している。両者ともに 1 m 層の場合と違って長楕円形であり, 日周潮流よりも半日周潮流の方が長軸は長い。両者の合成流は 4 時および 21 時頃に最大となる。この層においても, 恒流は前記の 2 者よりもはるかに強勢である。

#### (3). 10 m 層 (図 7-3)

日周, 半日周潮流ともに時計まわりに回転している。両楕円の長軸の長さをみると, 半日周潮流のそれの方が大きい, 5 m 層の場合と比較すると両者の長さの差は小さい。日周, 半日周潮流の合成流は, 4 時と 22 時頃に最大となり, その流向からすると, 恒流に対して相殺的に作用することになるが, 強勢な恒流を損う程度のものではない。

#### 4). 実測値と計算値

各大陰時における  $U$  (東分) および  $V$  (北分) を計算し, 潮流図表を示すと図 8, 1-3 に示すようである。この潮流図表と, 既述した図 5 の実測値のそれとを比較すると, 両者はほぼ一致しており, 各層とも北向きの流れだけが示されている。このことは, 流れに対する影響としては, 強勢な北向きの恒流によるものが支配的であり, 日周, 半日周潮流によるものが副次的であることを示唆している。即ち, 流向は北向きを中心として, 時間によって, 東西方向に変移することを意味している。

潮流図に示されている流向の回転の様相は, 各層でそれぞれ異なっている。特に, 1 m 層の場合におけるその様相は, この層以外の 2 層の場合のそれと比較すると特異であるが, これは既述した船底の影響によるものと思われる。5 m 層および 10 m 層では, 流向はそれぞれ 2 回転しており, 前者については半日周潮流の, 後者については日周潮流による影響が大きいものと思われる。

### 3. 各層における海流分布の概況

既述したように, 主要な観測点において TS-V<sub>2</sub> 流速計により, 1 m, 25 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m, 200 m の各層における測流を実施した。この測流観測は, 船を碇置せずには漂流中に実施したものであるから, 測定値は相対的なものである。また, 測流深度は傾角補正によっているために, 深層における所定層の深度には

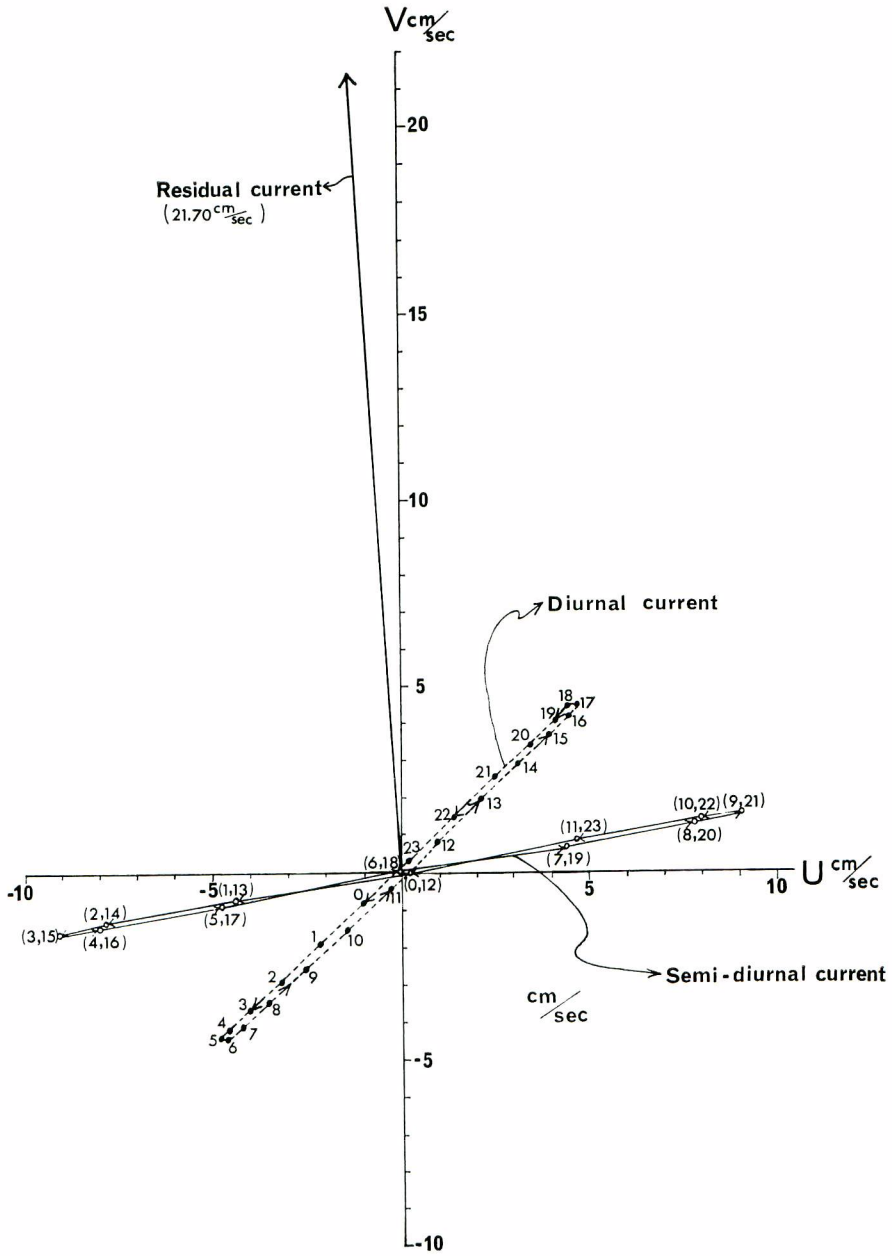


Fig. 7-1. Current ellipse at 1 m layer.

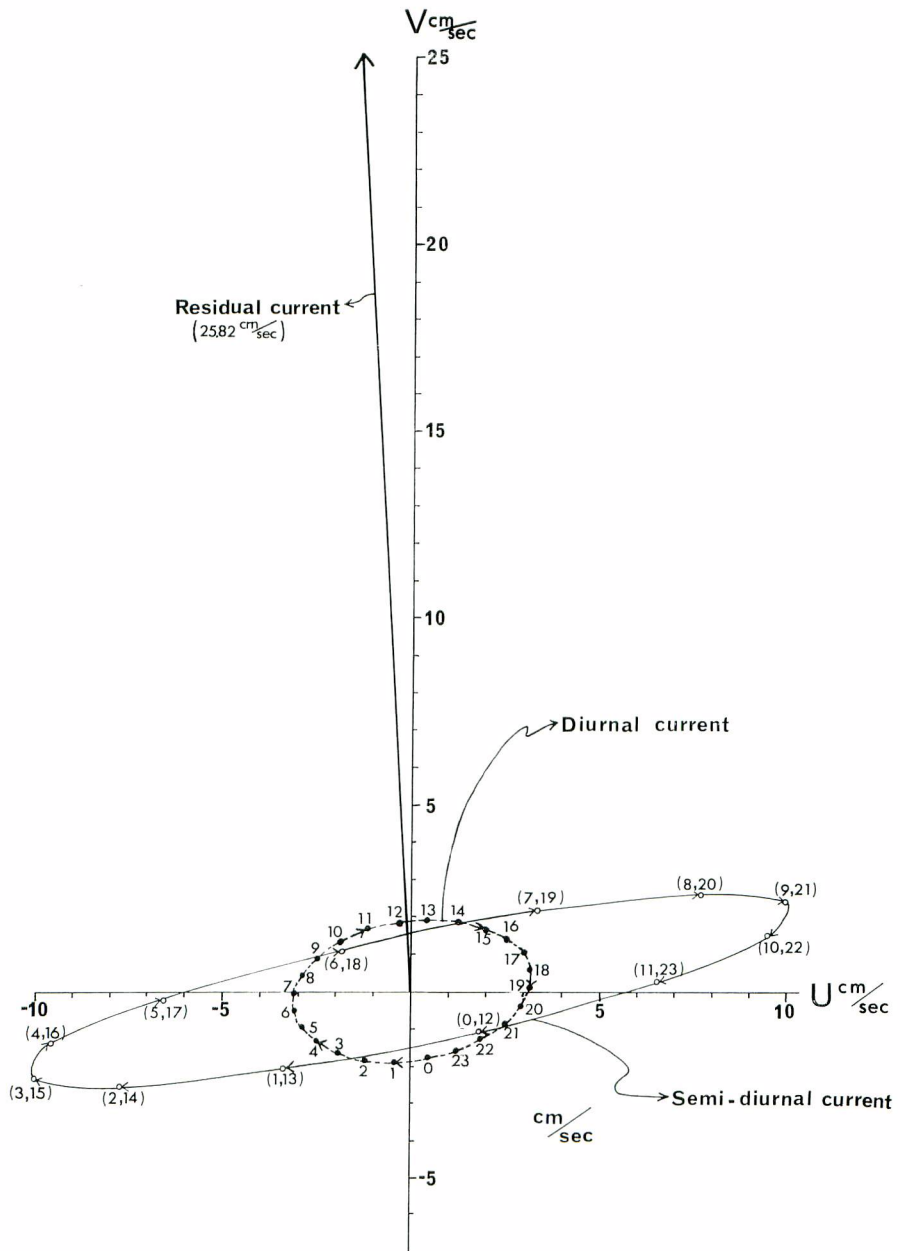


Fig. 7-2. Current ellipse at 5 m layer.

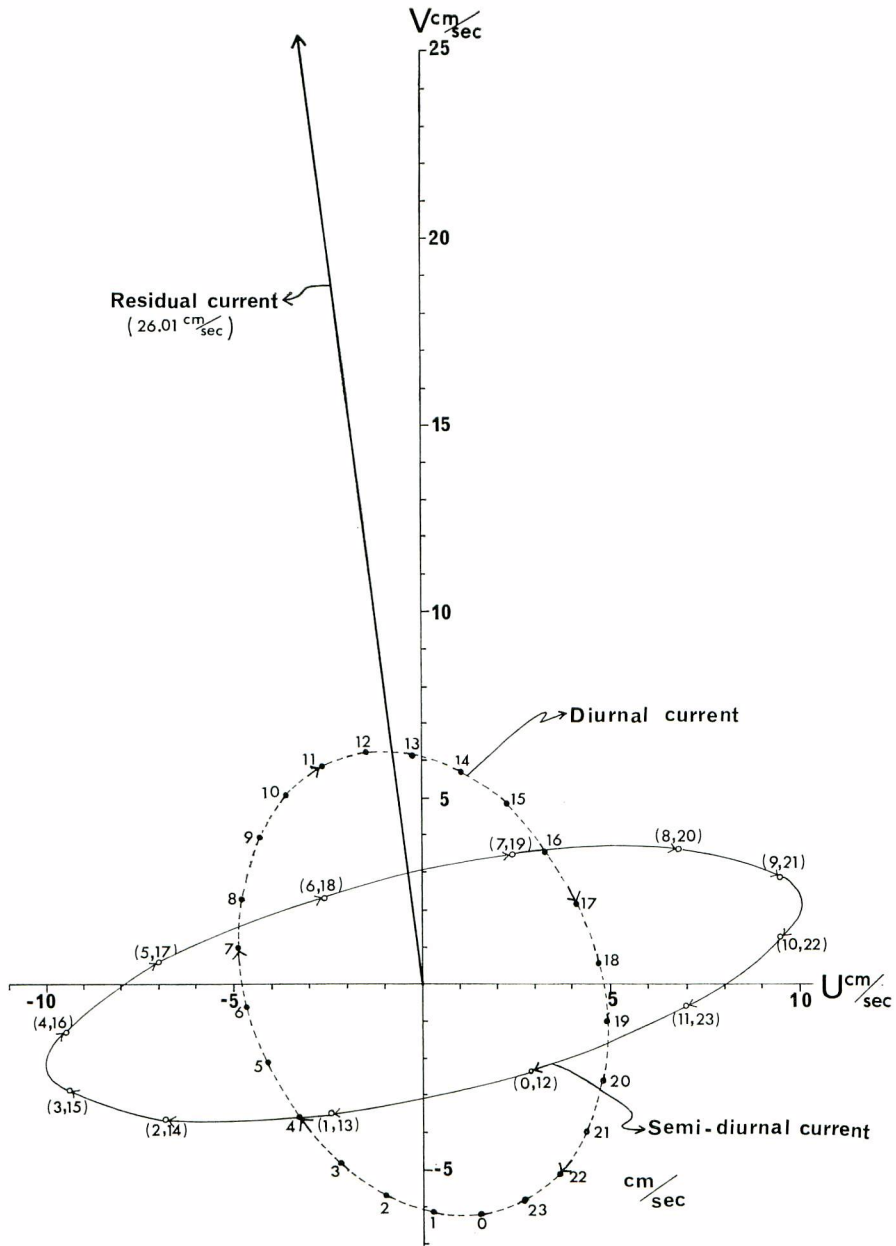


Fig. 7-3. Current ellipse at 10 m layer.

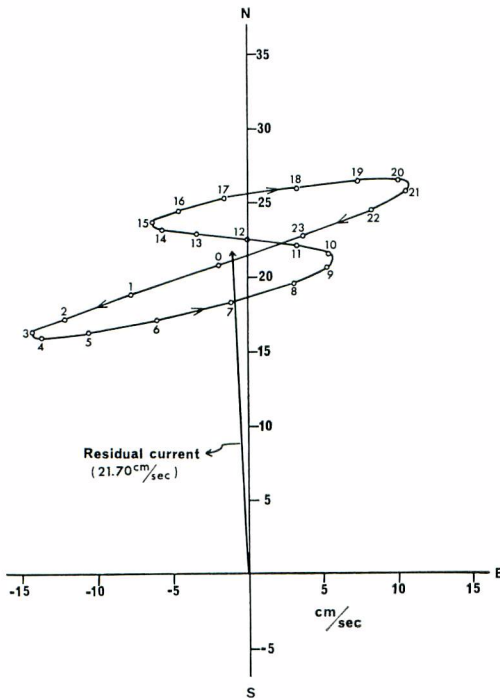


Fig. 8-1. Hodograph by calculation at 1 m layer.

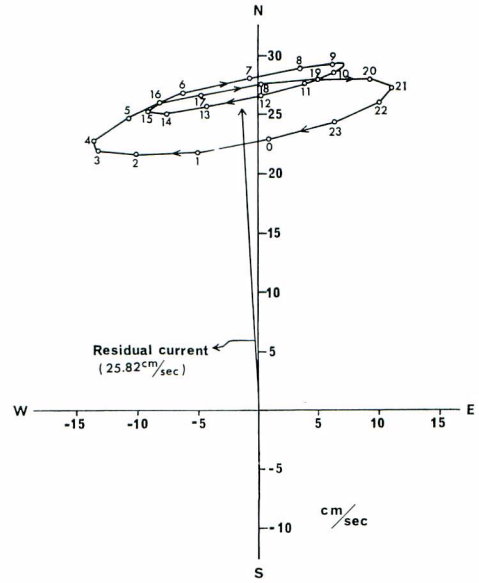


Fig. 8-2. Hodograph by calculation at 5 m layer.

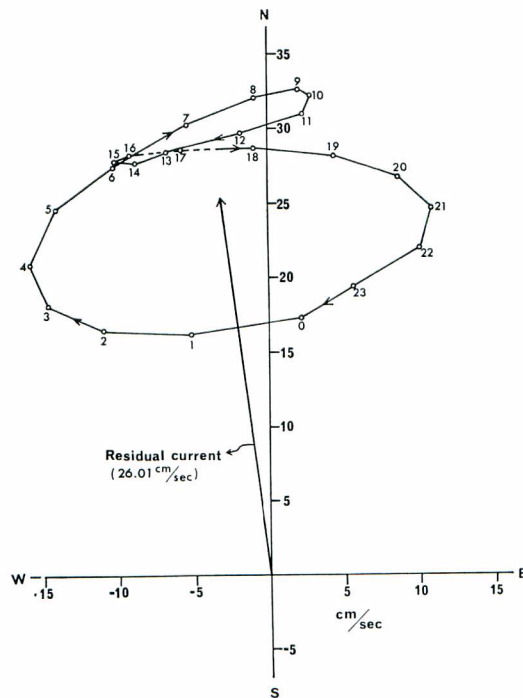


Fig. 8-3. Hodograph by calculation at 10 m layer.

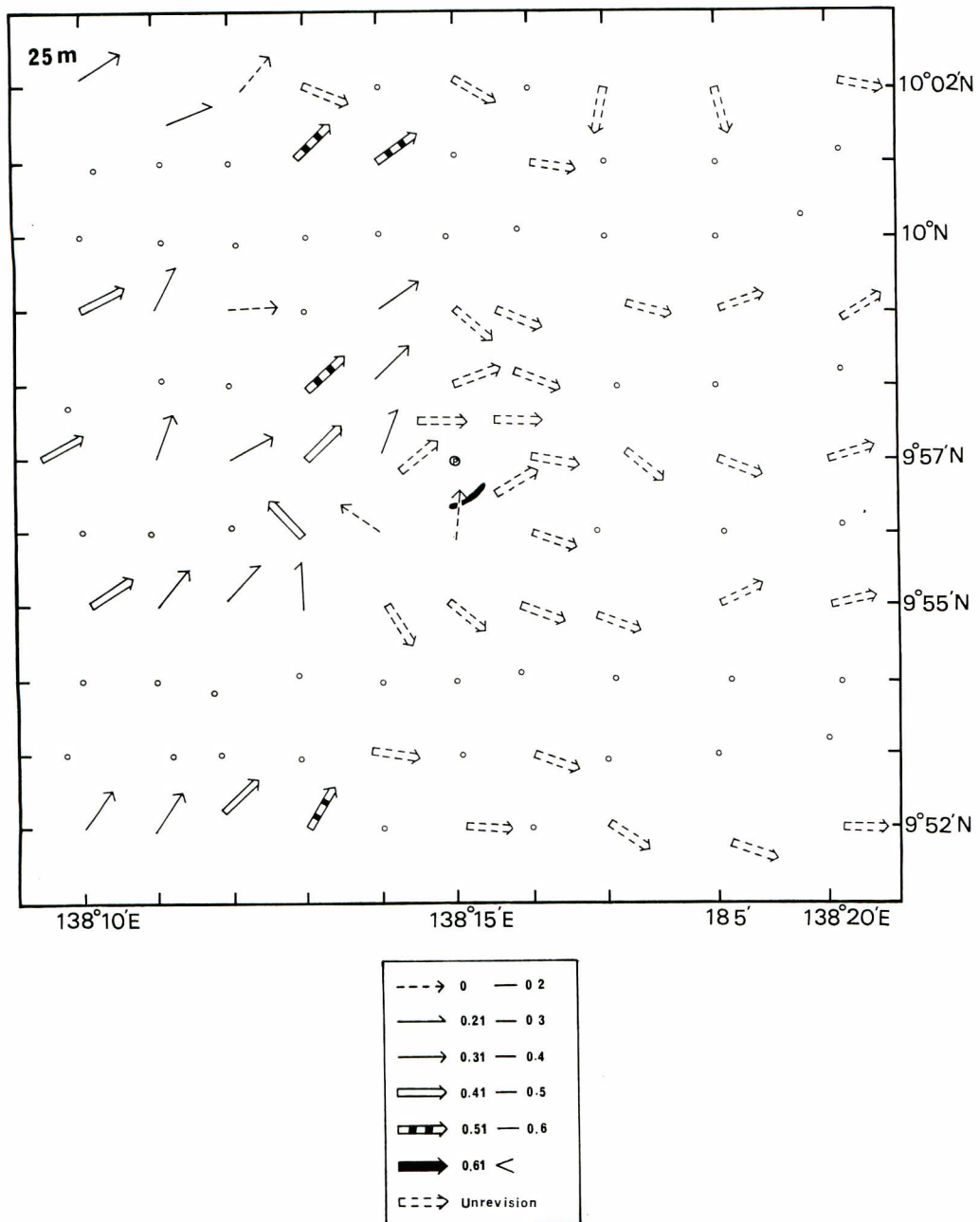


Fig. 9-1. Outline of distribution of current at 25 m layer measured by TS-V<sub>2</sub> current meter. Observed values are relative ones, because current observation was made without anchoring.

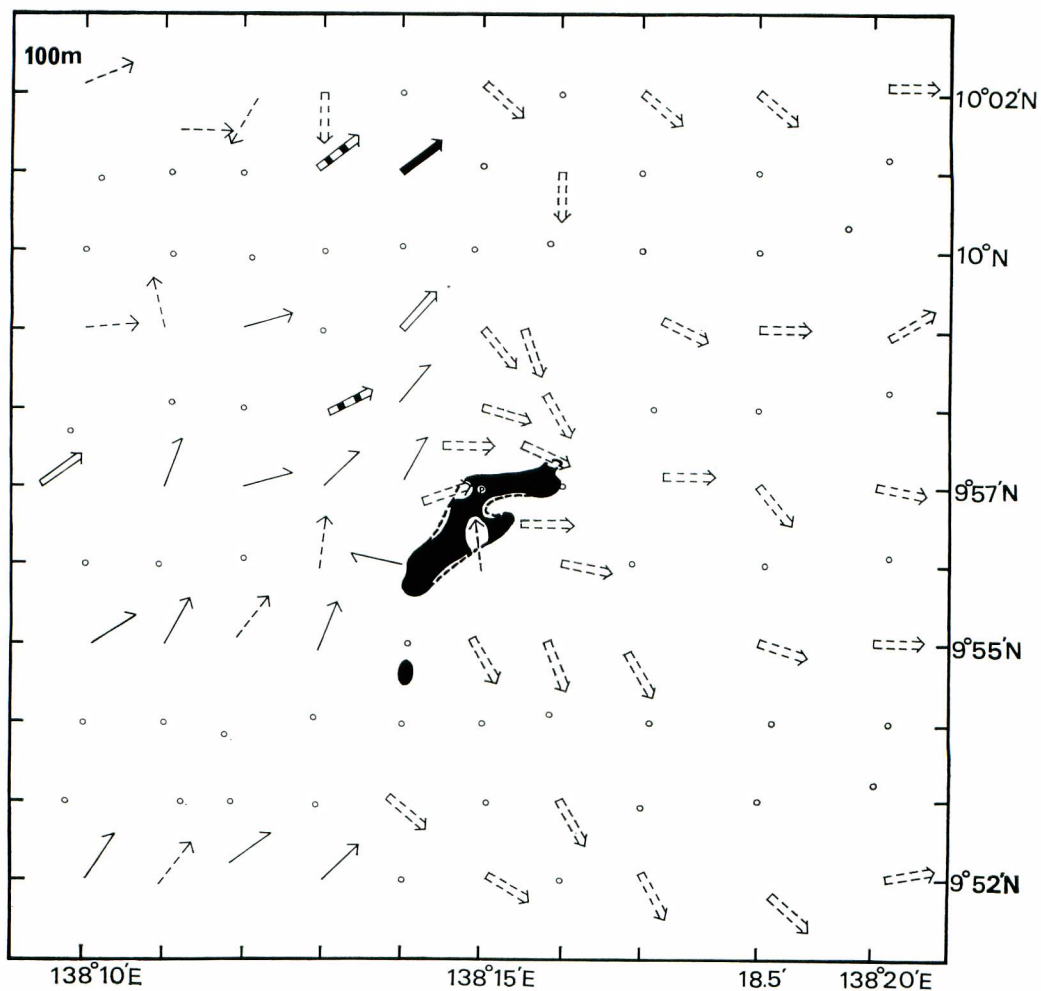


Fig. 9-2. Outline of distribution of current at 100 m layer measured by TS-V<sub>2</sub> current meter. Observed values are relative ones, because current observation was made without anchoring. The symbols are the same as shown in Fig. 9-1.

かなりの誤差があるものと考えられる。さらに、後半の観測点（P点を中心にして、東側の測点）において、流速計のサーボアスローターが破損したために、流向だけしか測定できなかった。

以上のことから、これらの測流値から実際の海流分布を明らかにすることはできなかったが、これらの測流値の分布状況は、海流分布のパターンに関して有力な情報を提供しているように思われる。各層における海流



分布の概要を示す1例として、図9, 1, 2に 25 m 層, 100 m 層の場合をあげた。2で既述したように、P点では北向きの恒流が卓越していたが、25 m, 100 m のいずれの層でも、バンクの西側の海域においては北向きの流れが、バンクの東側の海域においては東向きの流れが優勢なようである。

4. 水温の鉛直分布

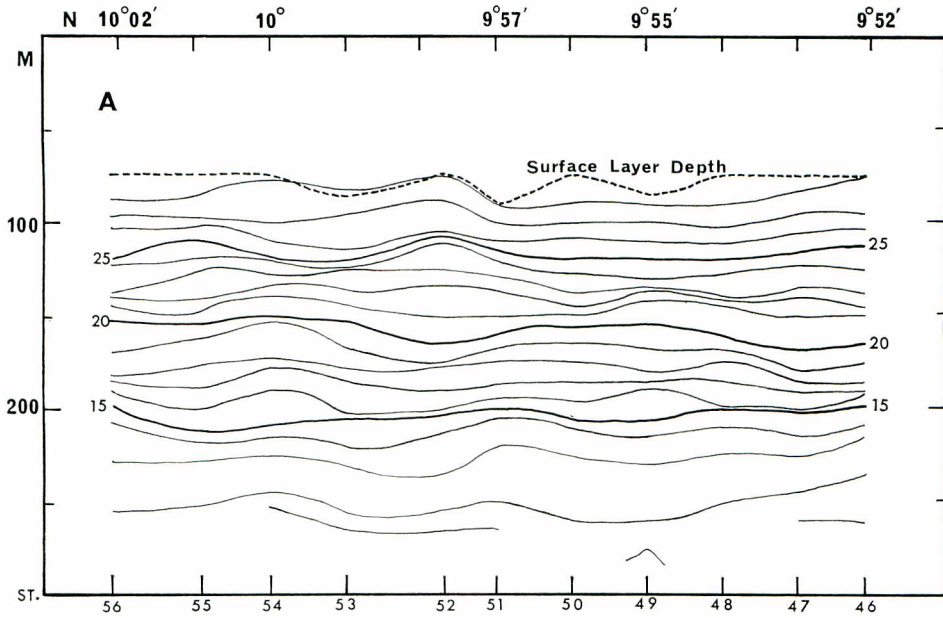


Fig. 10-1. Vertical profile of temperature along A line.

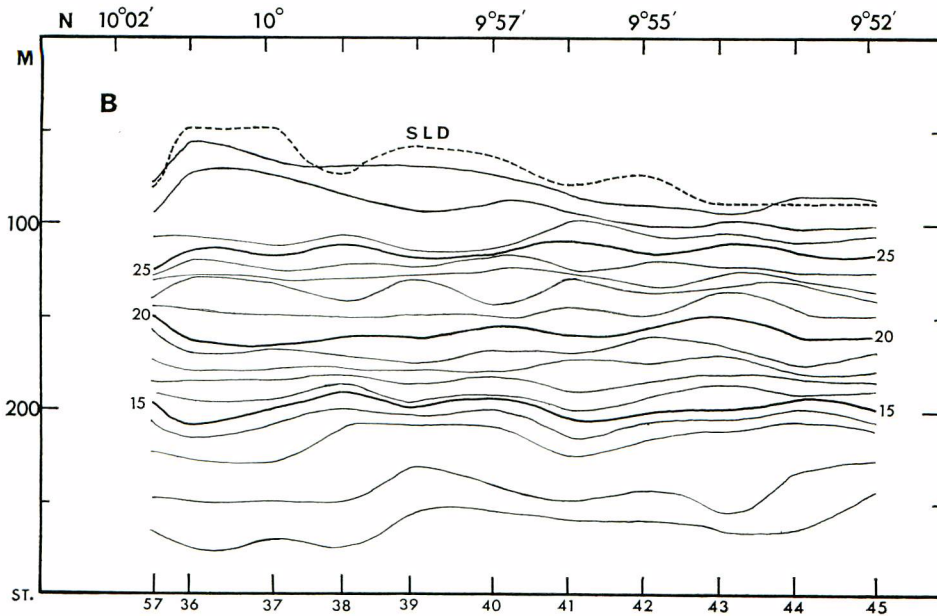


Fig. 10-2. Vertical profile of temperature along B line.

BT の観測期間は、1971 年 10 月 21 日 14 時～10 月 23 日 15 時にわたる約 2 日間である。したがって、この期間内における海況の短期変動はないものと仮定して、図 2 に示す各 BT 観測点を基にし、南北方向および東西方向における各観測線の水温鉛直断面図(図 10, 11)を作成した。これらの図には、魚群探知機の記録からみた海底地形の断面と、表層混合層の深度 (Surface Layer Depth…… $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{ cm}$  以上で規定した。本文中

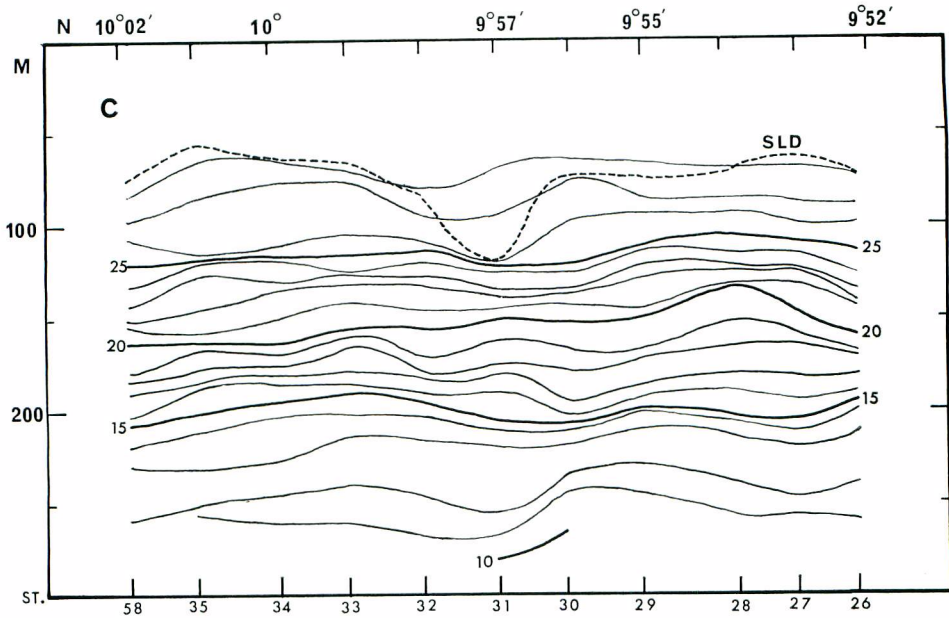


Fig. 10-3. Vertical profile of temperature along C line.

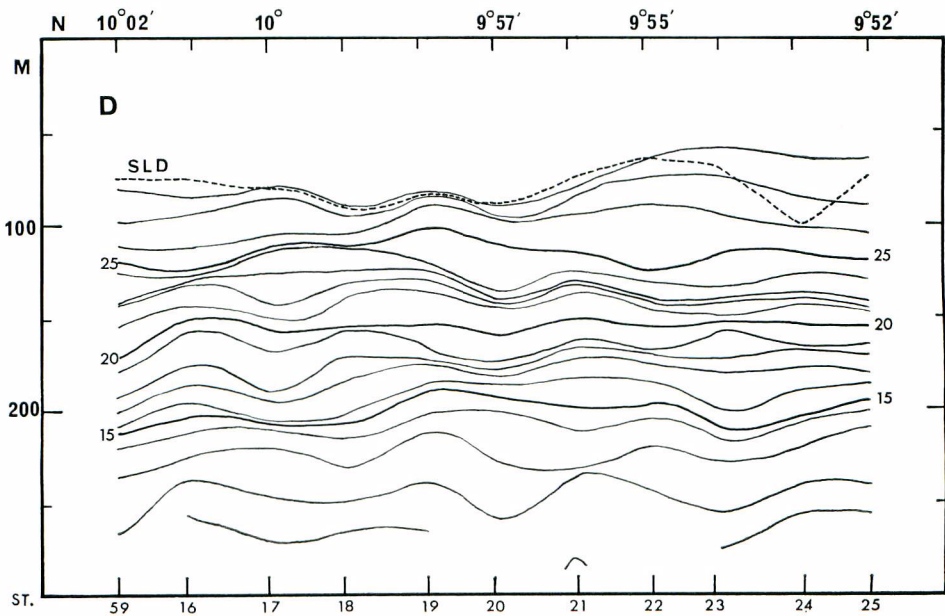


Fig. 10-4. Vertical profile of temperature along D line.

では、以後 SLD と略称する。)をも記入してある。水温の鉛直分布の状態について、南北方向 (A~J) および東西方向 (K~X) の観測線について述べると、以下のようなものである。

1). 南北方向 (図 10, 1-10)

東西の両端における観測線 A, J では、各等温線は表面にほぼ平行している。これらのことは、バンクから

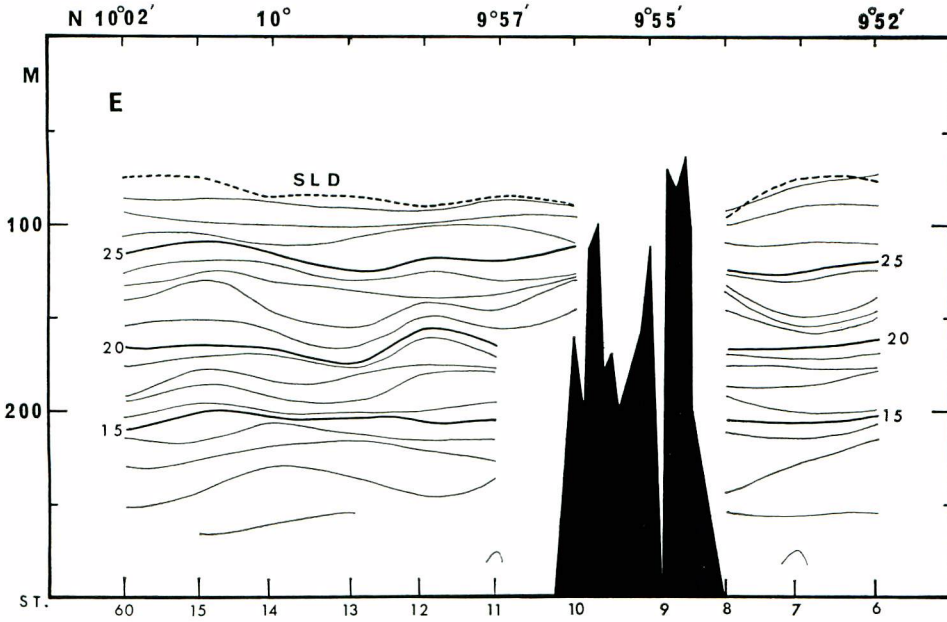


Fig. 10-5. Vertical profile of temperature along E line.

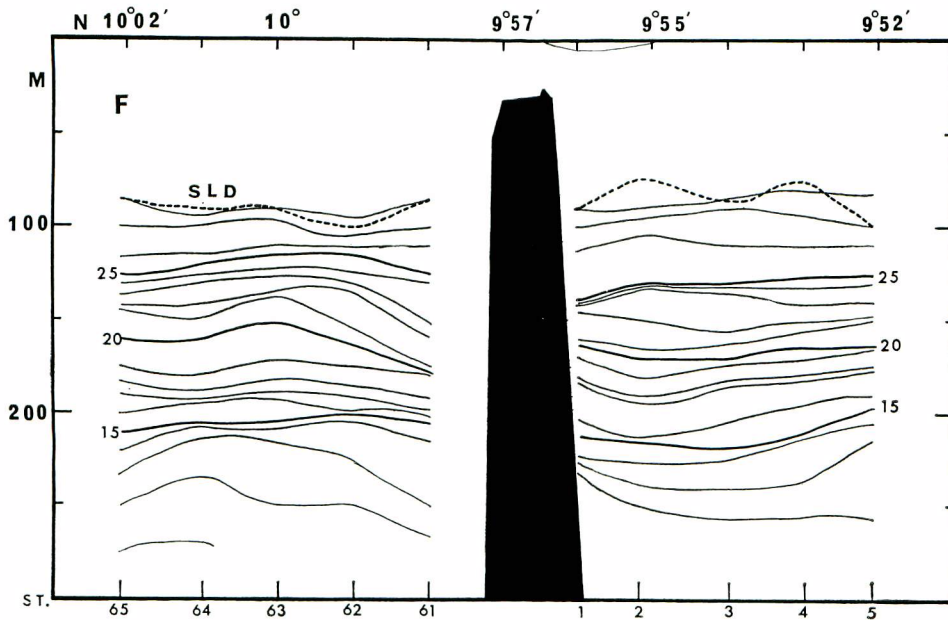


Fig. 10-6. Vertical profile of temperature along F line.

5海里離れた付近では、バンクによる流動への影響が小さいことを示唆しているものと考えられる。

P 点の西側の海域についてみると、観測線 B では、100 m 以浅の等温線および SLD は北から南に向かってゆるやかに下降しており、表層に東向き弱い流れの存在することを示唆している。これに対し、P 点に近い観測線 C, D では、100 m 以浅の等温線および SLD は P 点付近で凹状（観測線 C で著しい）を示しており、

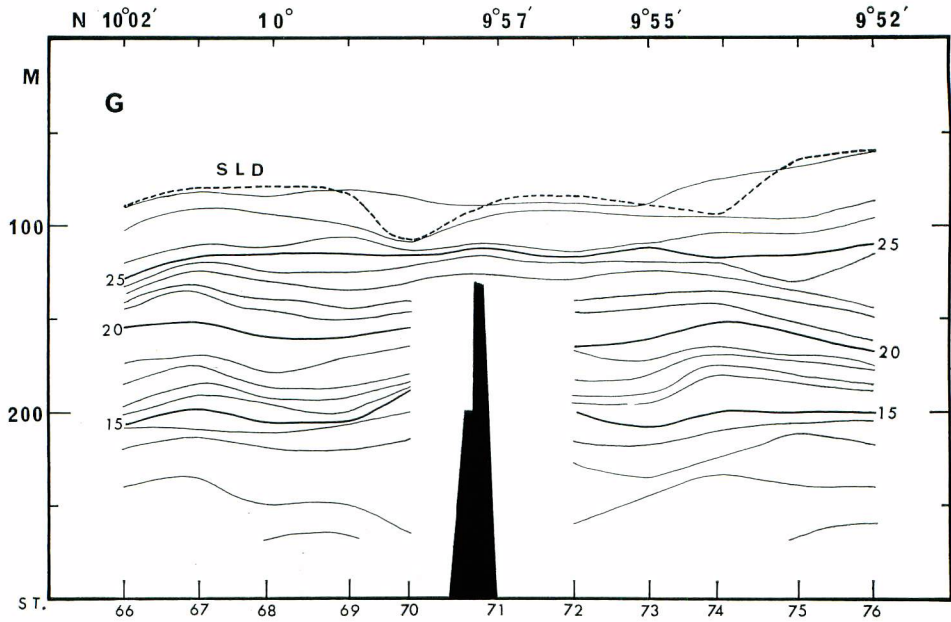


Fig. 10-7. Vertical profile of temperature along G line.

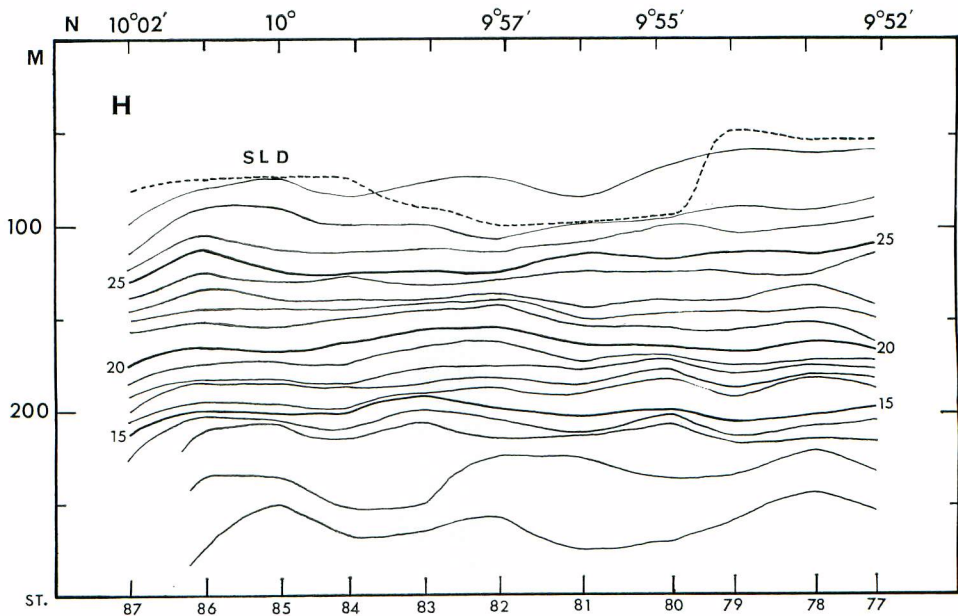


Fig. 10-8. Vertical profile of temperature along H line.

P 点の北側に東流が、P 点の南側に西流の存在することを示唆している。

P 点に接近した観測線 E, F, G では、バンク上における観測資料は少ない。観測線 E では、100~150 m 層の等温線はバンクの崖に沿って上昇する傾向を示すが、観測線 F では、北側の崖に沿って各等温線は下降する傾向を示している。観測線 G では、バンク上における各等温線の乱れはほとんど認められないが、バンク

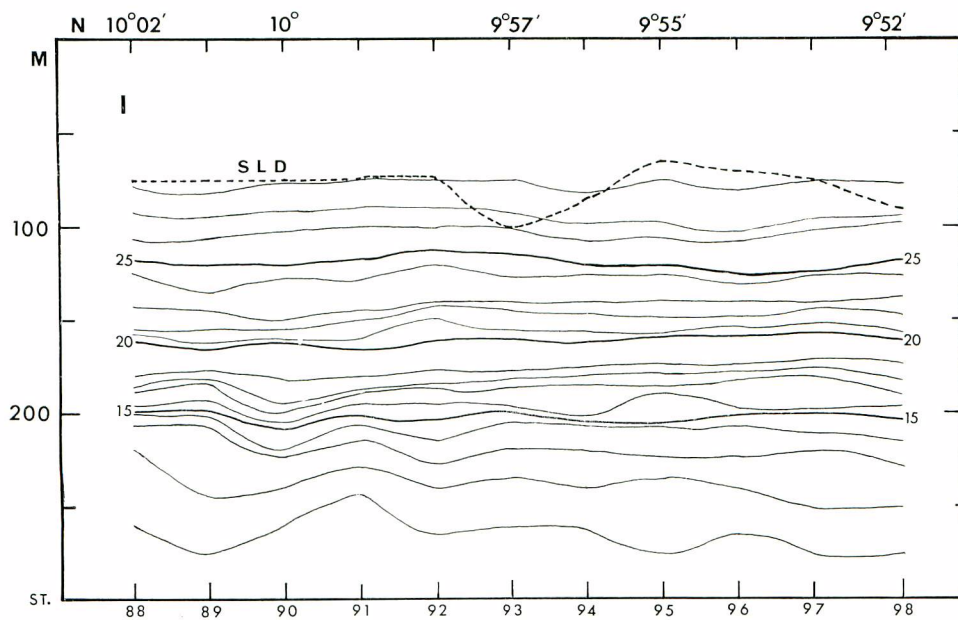


Fig. 10-9. Vertical profile of temperature along I line.

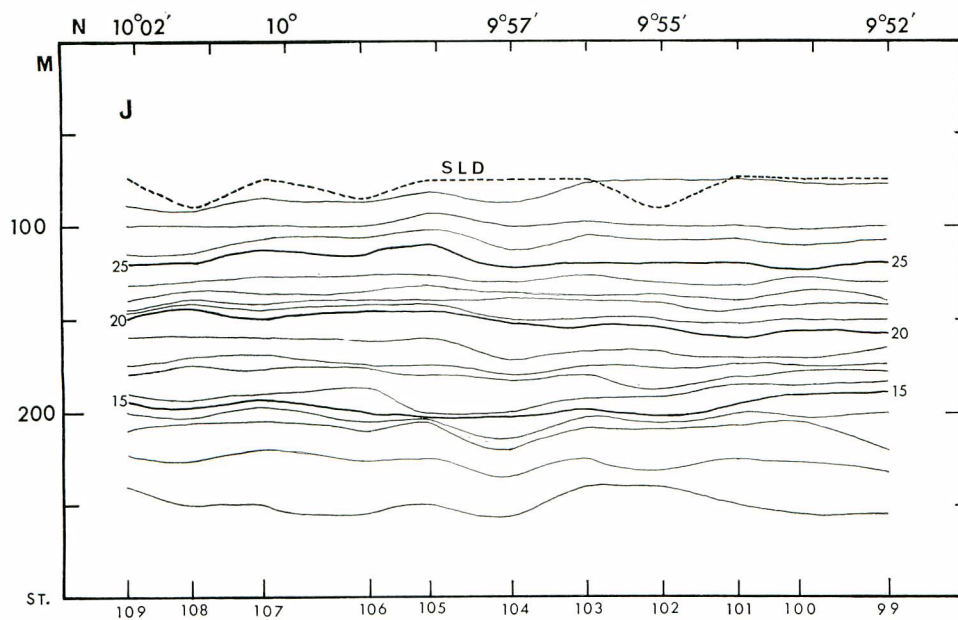


Fig. 10-10. Vertical profile of temperature along J line.

を中心として SLD はゆるやかな凹状を示している。

P 点の東側の海域についてみると、観測線 H, I では上述した G 線の場合と同様な傾向が認められるが、I 線の場合にはその傾向は顕著ではない。

以上に述べた南北方向の水温鉛直分布の状態について、とりまとめてみると以下のようなものである。バンクの中

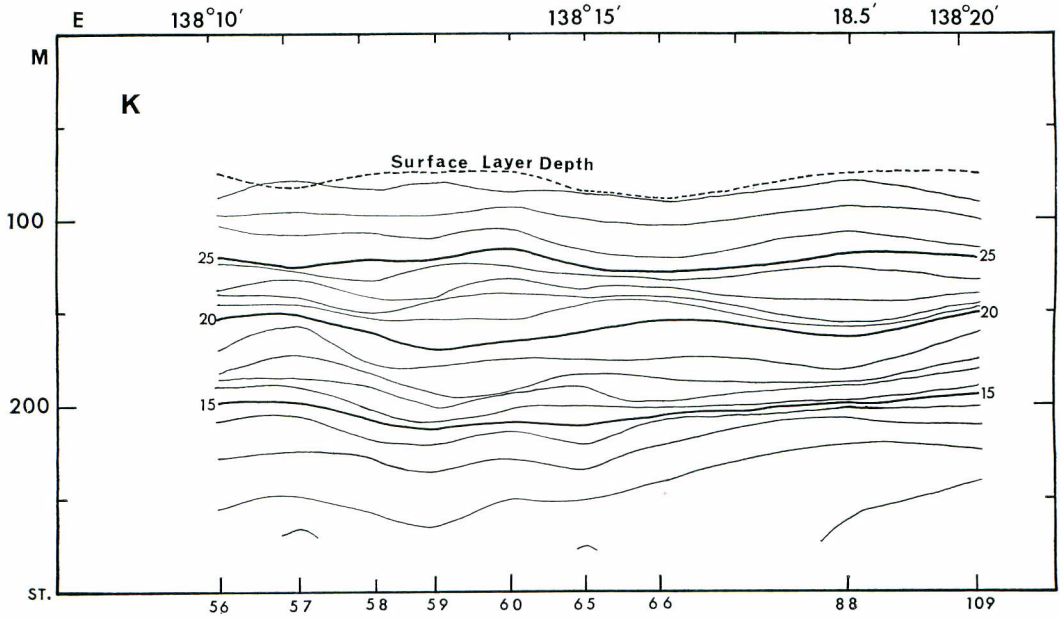


Fig. 11-1 Vertical profile of temperature along K line.

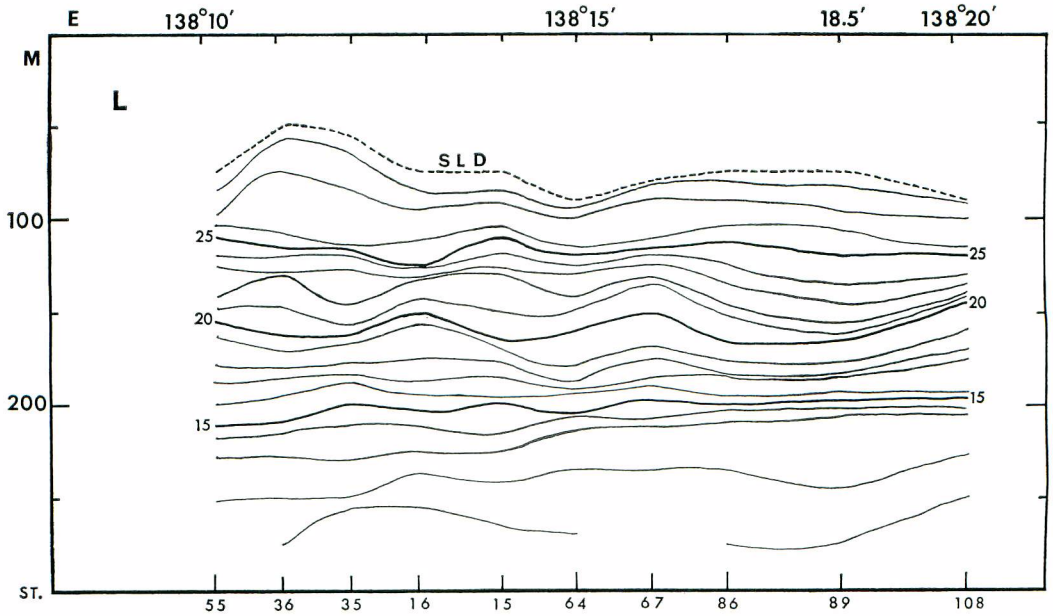


Fig. 11-2. Vertical profile of temperature along L line.

心である P 点に接近するにつれて、等温線の乱れは次第に大きくなり、バンクによる流動への影響は大きくなることを示唆しているが、この傾向は P 点の東側の海域よりも西側のそれが明瞭である。しかしながら、等温線分布の形状からおすと、バンク付近における発散、収束または湧昇等の現象の存在は明らかではなく、P 点を中心として、東、西の海域の表層に凹状の SLD がみられるにすぎない。

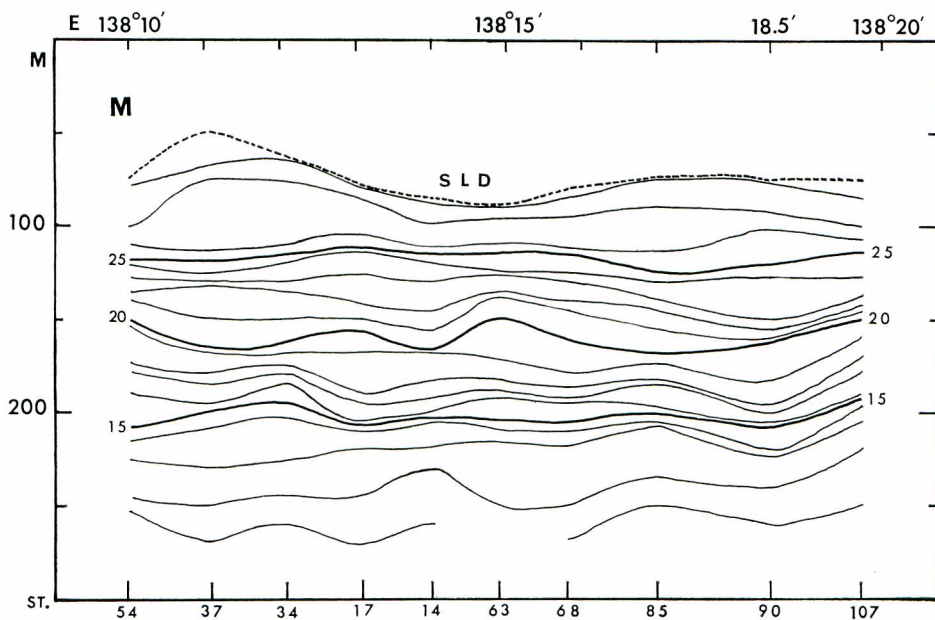


Fig. 11-3. Vertical profile of temperature along M line.

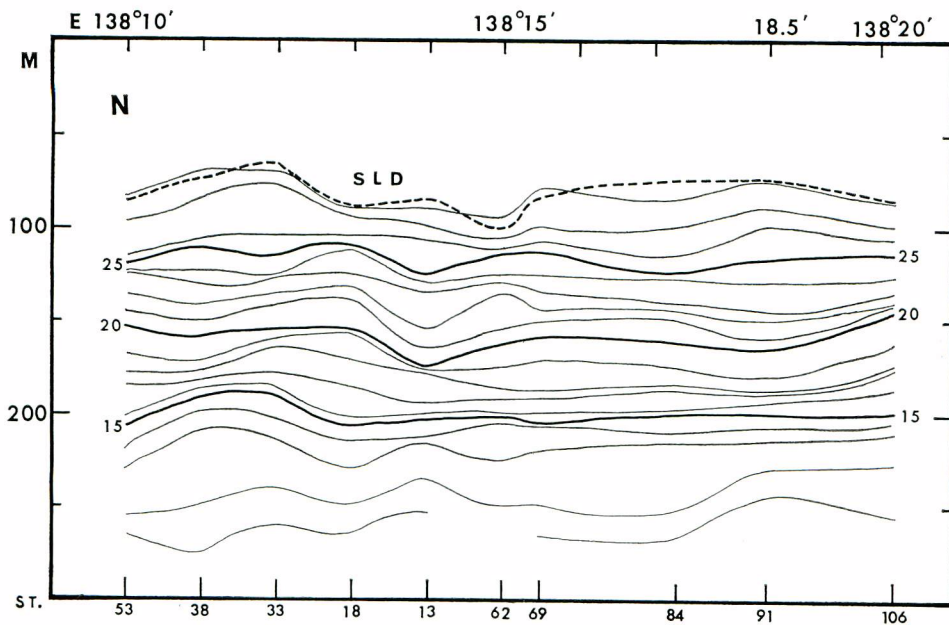


Fig. 11-4. Vertical profile of temperature along N line.

2). 東西方向 (図 11, 1-11)

最北端の観測線Kでは、各等温線は表面にほぼ平行しており、バンクによる流動の影響の少ないことを示唆している。

P 点の北側の海域についてみると、観測線 L, M, N, O では、P 点を中心にして SLD および等温線は凹状

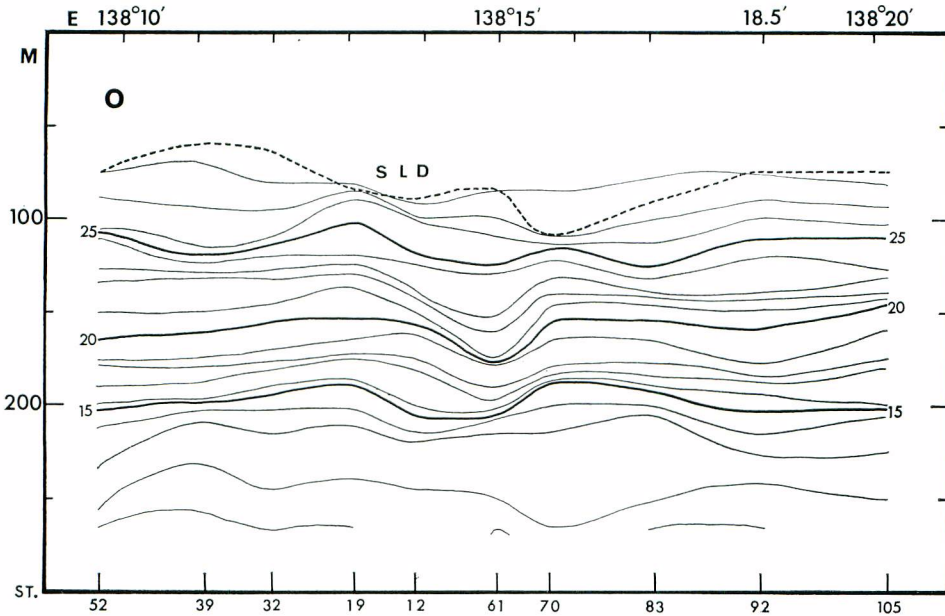


Fig. 11-5. Vertical profile of temperature along O line.

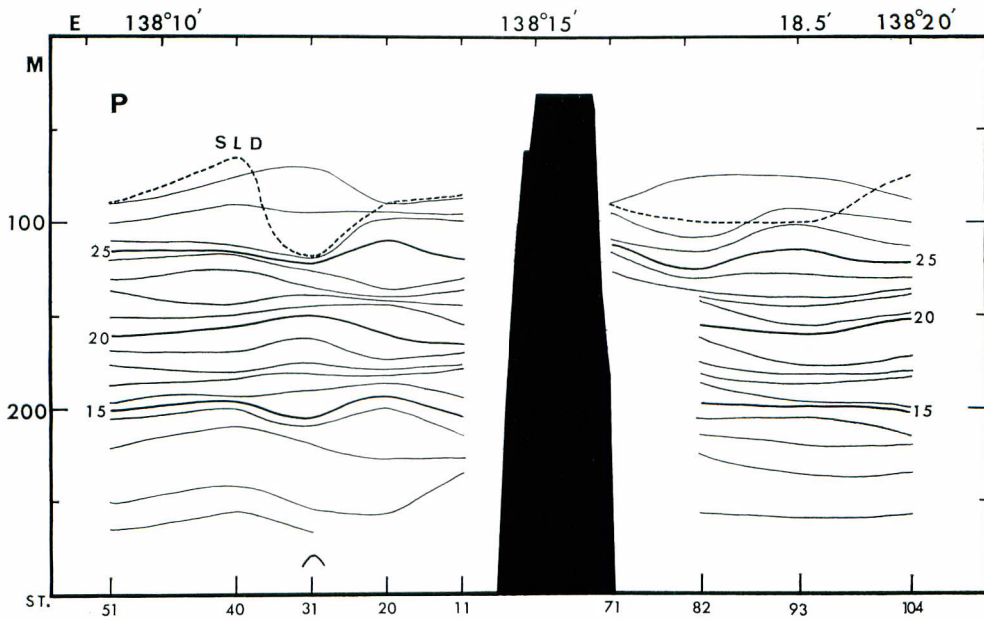


Fig. 11-6. Vertical profile of temperature along P line.



を示し、P点の西側では北向きの流れが、P点の東側では南向きの流れが存在することを示唆している。なお、等温線の乱れはP点に接近するにつれて大きくなっている。

P点に接近した観測線についてみると、P点では等温線分布に対するバンクの影響は明らかではなく、西側の海域で凹状のSLDがみられるにすぎない。Q線では、西側の崖にそって150~200m層の各等温線の上昇、

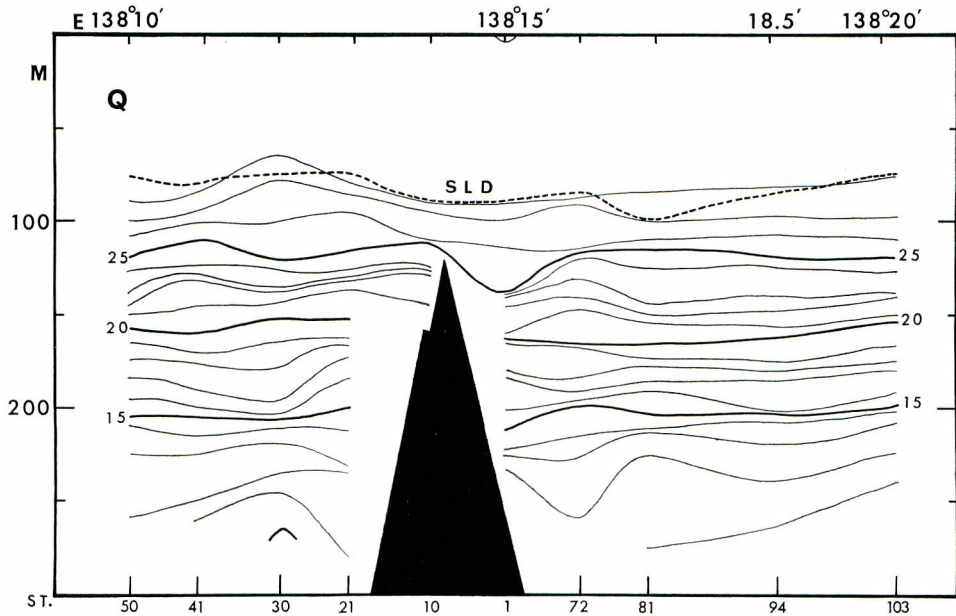


Fig. 11-7. Vertical profile of temperature along Q line.

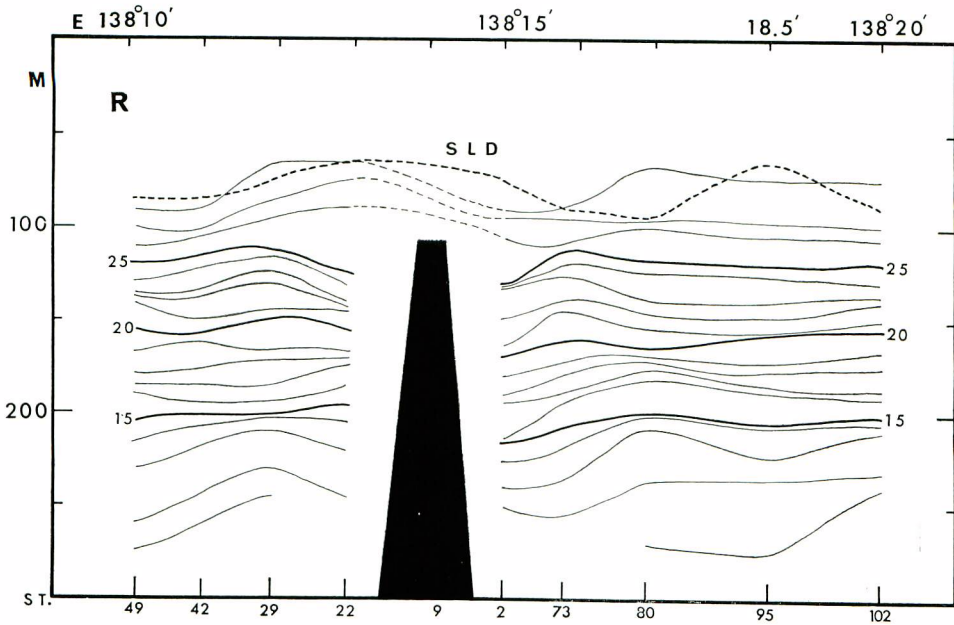


Fig. 11-8. Vertical profile of temperature along R line.

東側の崖にそって 100~150 m 層の各等温線の下降の傾向がみられるが、100~120 m 層の等温線は、礁上からすぐ東側にかけて凹状となっている。また、SLD も全般的には凹状を示している。R 線では、100 m 層以深の等温線は、礁に向かって下降の傾向がみられるが、100 m 層以浅の等温線は P 点の西側では凸状を、東側で凹状を示している。また、SLD も P 点の東側で凸状を示している。

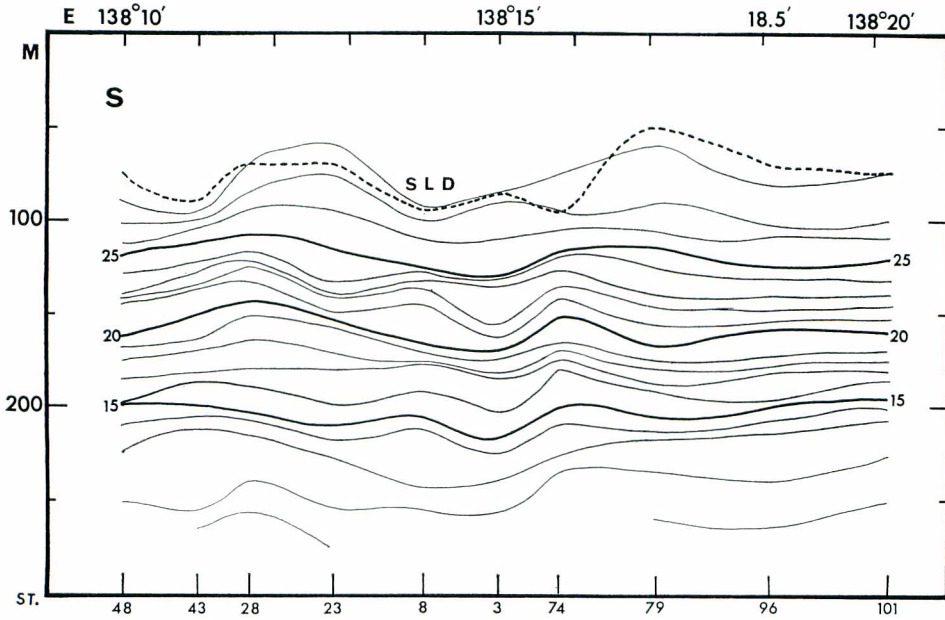


Fig. 11-9. Vertical profile of temperature along S line.

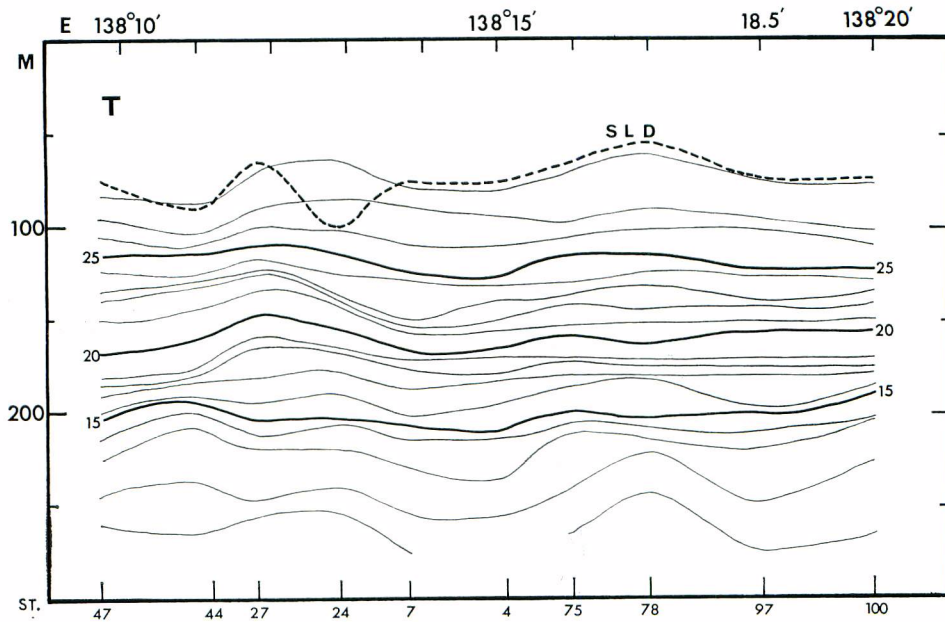


Fig. 11-10. Vertical profile of temperature along T line.

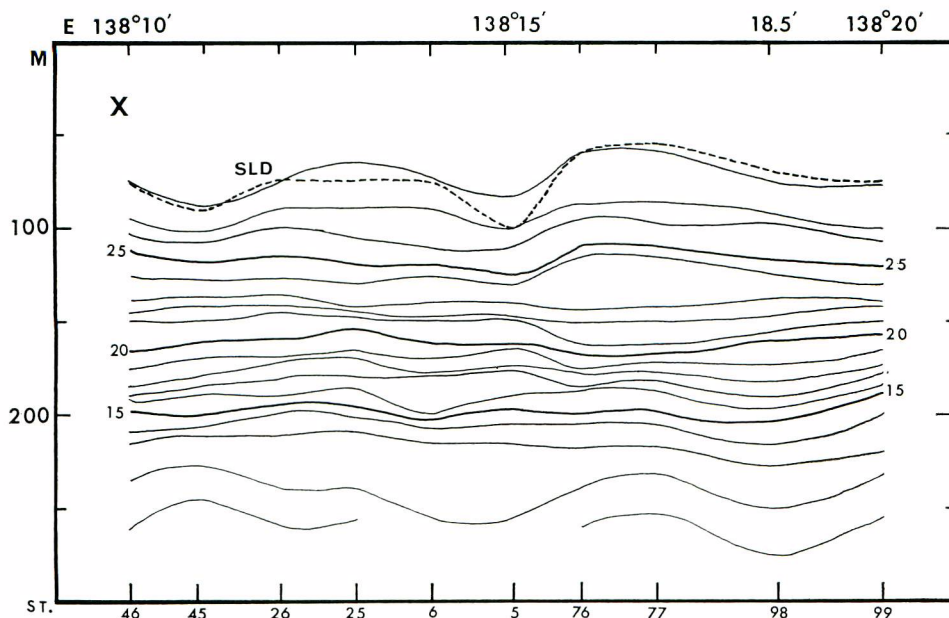


Fig. 11-11. Vertical profile of temperature along X line.

P 点の南側の海域についてみると、観測線 S では、P 点付近を中心にして、各等温線および SLD は凹状を示している。しかし、観測線 T では、前記の凹状部は西に偏移しているが、観測線 X では、それは再び P 点付近で凹状となっている。

以上、東西方向の温度断面についてとりまとめてみると、南北方向のその場合と同様に、バンクの中心である P 点を中心にして、北側、南側の海域の表層に凹状の SLD がみられ、さらに P 点に接近するにつれて、等温線の乱れは次第に大きくなっており、この傾向は北側の海域よりも、南側の海域で著しい。しかしながら、南北方向の場合と異なって、バンク上付近で等温線や SLD が凸状 (R 線) を示す場合や、礁の東側で凹状を示す場合 (Q, R 線) もあるが、等温線分布の形状からすると、P 点付近における発散、収束または湧昇現象の存在は明らかではない。

##### 5. 水温の水平分布

水温の水平分布の状態 (図 12) について、各層ごとに述べると以下のようなものである。

0 m 層の水温は、 $28.4^{\circ}\text{C}$ ~ $29.0^{\circ}\text{C}$  の範囲である。P 点の南、北側には、 $28.8^{\circ}\text{C}$ ~ $29.0^{\circ}\text{C}$  の比較的に高温の水帯が、また、バンクの南西側に  $28.4^{\circ}\text{C}$  の比較的に低温の水帯が存在している。50 m 層では、0 m 層の場合と同様にバンクを中心として  $28.6^{\circ}\text{C}$  の水帯が、バンクの西側に  $28.4^{\circ}\text{C}$  の水帯がみられる。しかし、バンクの東側にも  $28.4^{\circ}\text{C}$  の水帯が存在している。100 m 層では、 $27.0^{\circ}\text{C}$  以上の水帯がバンクを中心として東方から伸びている。バンクの西側には、 $25.5^{\circ}\text{C}$  の比較的に低温の水帯が存在している。125 m 層の場合には、バンクを中心にして、 $24.5^{\circ}\text{C}$  以上の比較的に高温の水帯が、バンクの西側には、 $22.5^{\circ}\text{C}$  の比較的に低温の水帯がみられる。150 m 層の場合もバンクの周辺には、 $22.0^{\circ}\text{C}$  以上の比較的高温の水帯が、バンクの西側には、 $20.0^{\circ}\text{C}$  の比較的に低温の水帯がみられる。

200 m 層では、上述した 0 m 層~150 m 層の場合と異なって、バンクを中心にした比較的に高温の水帯や、バンクの西側における比較的に低温の水帯の存在は、不明瞭である。

##### 6. 表層塩分の水平分布

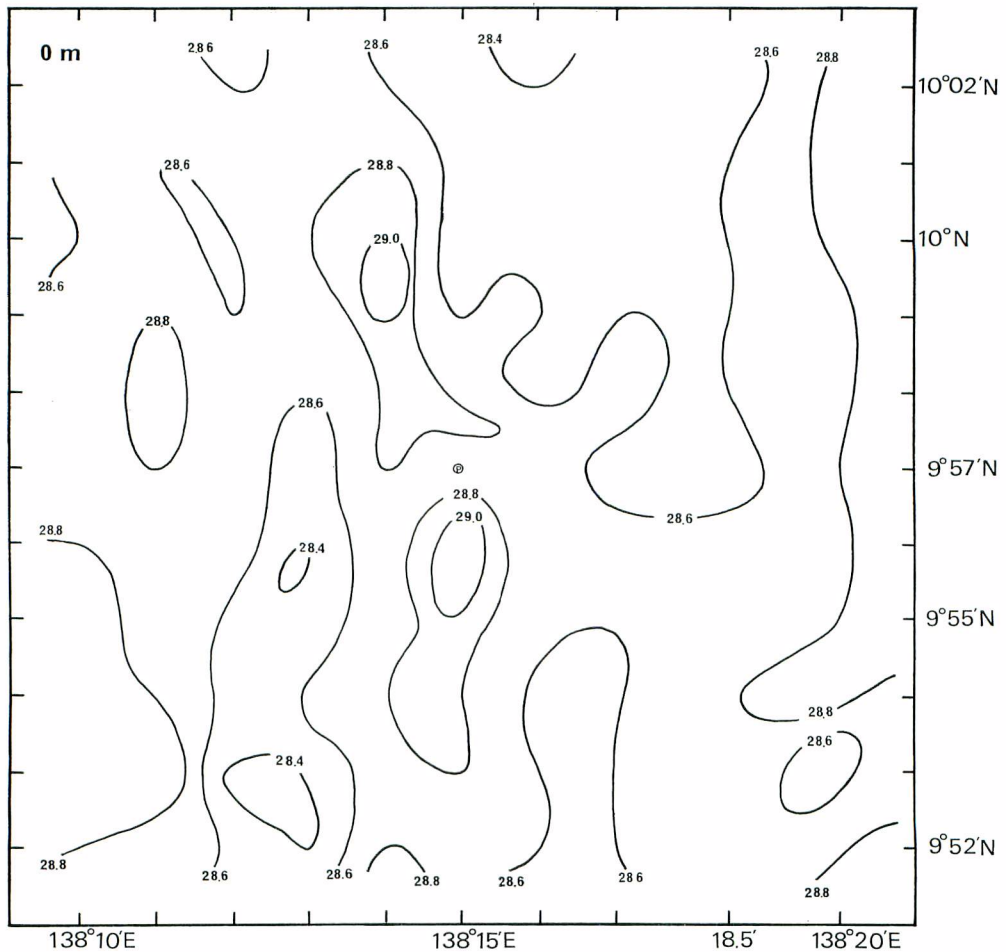


Fig. 12-1. Horizontal distribution of temperature at 0 m layer.

表層塩分の水平分布の状態は図 13 に示すようである。塩分値の範囲は 33.40~33.85‰ で、P 点の南西側には 33.50‰ 以下の比較的に低塩分の水帯がみられる。

#### 7. 表層混合層 (SLD) の深淺分布

SLD の深淺分布の状態は図 14 に示す。SLD の分布状態は、水温の鉛直分布の項で既述した SLD のそれをよく反映している。即ち、この海域の南東端側に、SLD の深度が 60 m 以浅の浅層帯がみられ、また、北西端側には、深度が 50 m 以浅のドーム状の SLD の存在がうかがわれる。なお、P 点の北西側に隣接して、浅層の SLD が存在している。前記の海域を除くと、全般的に SLD は凹状を示すが、P 点の西側および北側の海域に、深度 110 m 以深で凹状を示す SLD の存在することが注目される。

#### 8. 動物プランクトンの湿重量分布

Norpac Net による各観測点の採集物から、海洋観測指針 (1970) に示された方法——湿重量測定法によって動物プランクトンの湿重量を測定し、これを、ろ水率およびネットがろ過した全水量をもとにして、海水 1 m<sup>3</sup> 当りの値に換算し、その値を mg/m<sup>3</sup> を単位として表示する。——にしたがって、湿重量を求めると表 2

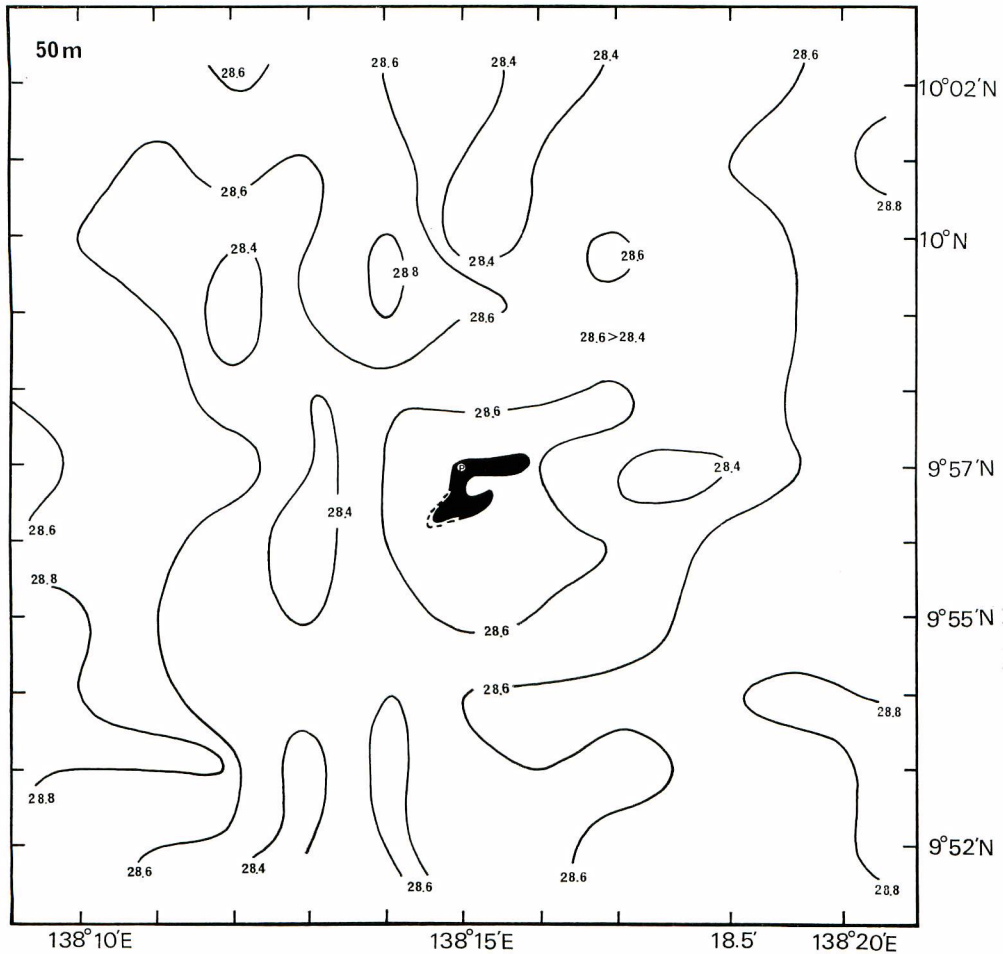


Fig. 12-2. Horizontal distribution of temperature at 50 m layer.

のようである。同表を基にして、湿重量の水平分布の状態を図 15 に示す。同図からわかるように、バンクの東側の海域では湿重量は低い値を示すが、西側の海域では湿重量の値は比較的に高く、バンクの南西側に、 $45 \text{ mg/m}^3$  のモデル海域内では最も高い分布域がみられる。

### 9. 魚群量の分布

超音波魚量計数機により、調査航跡上の魚群を計測した。魚群の計測値、1尾当りの平均カウント等（山中，1973，YAMANAKA *et al.*, 1976）を基にして、1海里ごとの魚群尾数の分布状態を模式的に示すと図 16 のようである。これらの魚群は、曳縄および竿釣によって漁獲されなかったために、魚種の確認はできなかった。しかしながら、魚群探知機の記録紙上における記録の形状や濃さ、さらに、スライスレベル（設定の波高値）が  $-27 \text{ dB}$  であったこと等を総合的に考慮すると、これらの魚群は、カツオ類または小型のキハダ程度の体長の魚であると推察される。図 16 からわかるように、魚群の分布はバンク付近では全くみられず、バンクから 3~4 海里離れた I 線および B 線上でわずかに認められるにすぎない。

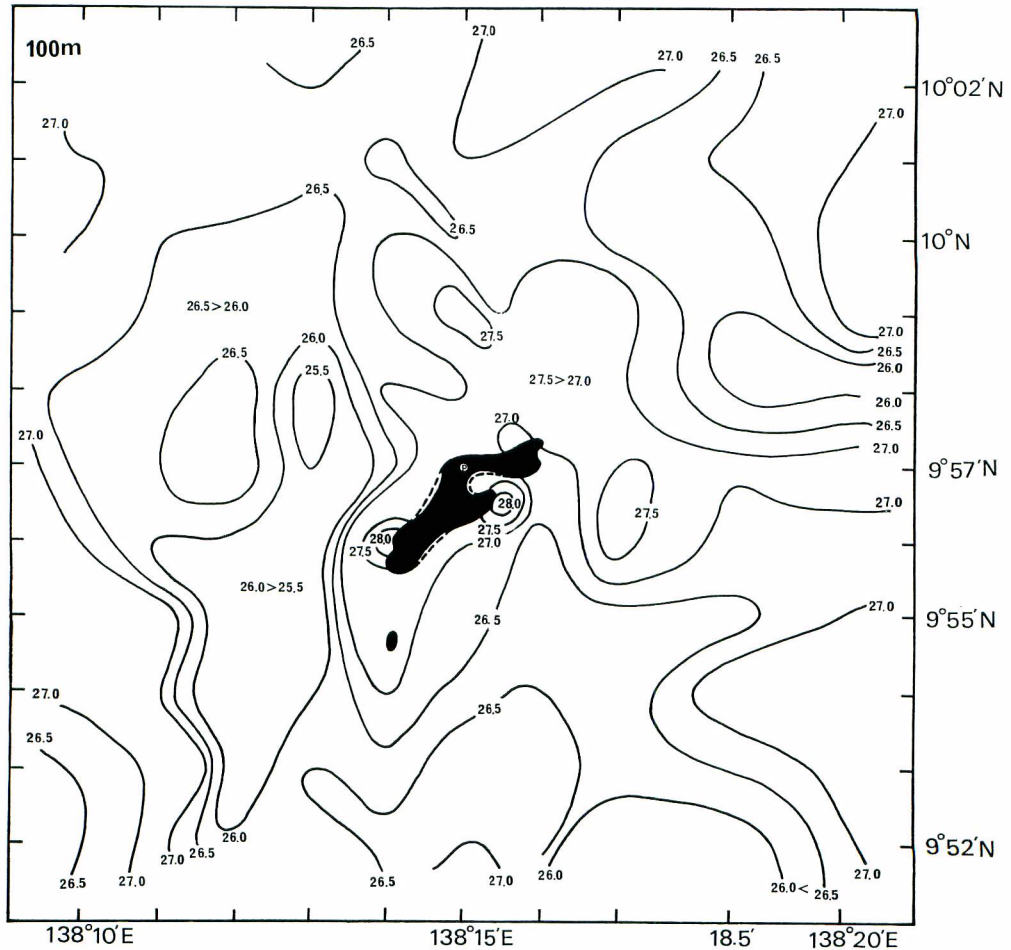


Fig. 12-3. Horizontal distribution of temperature at 100 m layer.

## 考 察

既述したように、バンクにおける海洋学的研究の一端として、Hunter Bank におけるミクロな海洋調査を実施した結果、個々の要因についてはいくつかの知見を得ることができた。次に、それらを総合した海洋構造と生物分布との関連について考察すると以下のようである。

### 1. バンク周辺の海洋構造

#### 1). 渦流について

水温躍層の深浅分布の状態から、地衡流の推定に基づいて海流分布のそれを検討する場合、かなりの深度までの水温観測が必要である。CROMWELL (1958) は、Two-layer system が発達し、しかも流速の大きい東部太平洋では、BT 観測資料で前記の検討を十分に行えると述べている。しかしながら、MAO and YOSHIDA (1955) によると、西部赤道太平洋では 400 m の深さが無流面として受け入れられると報告されている。南北、東西方向の水温の鉛直分布の状態 (図 10, 11) や、各層における水温の水平分布 (図 12) の結果等から判断すると、モデル海域では水深 200 m になると水温変化および等温線の乱れは少ない。これらのことから、モ

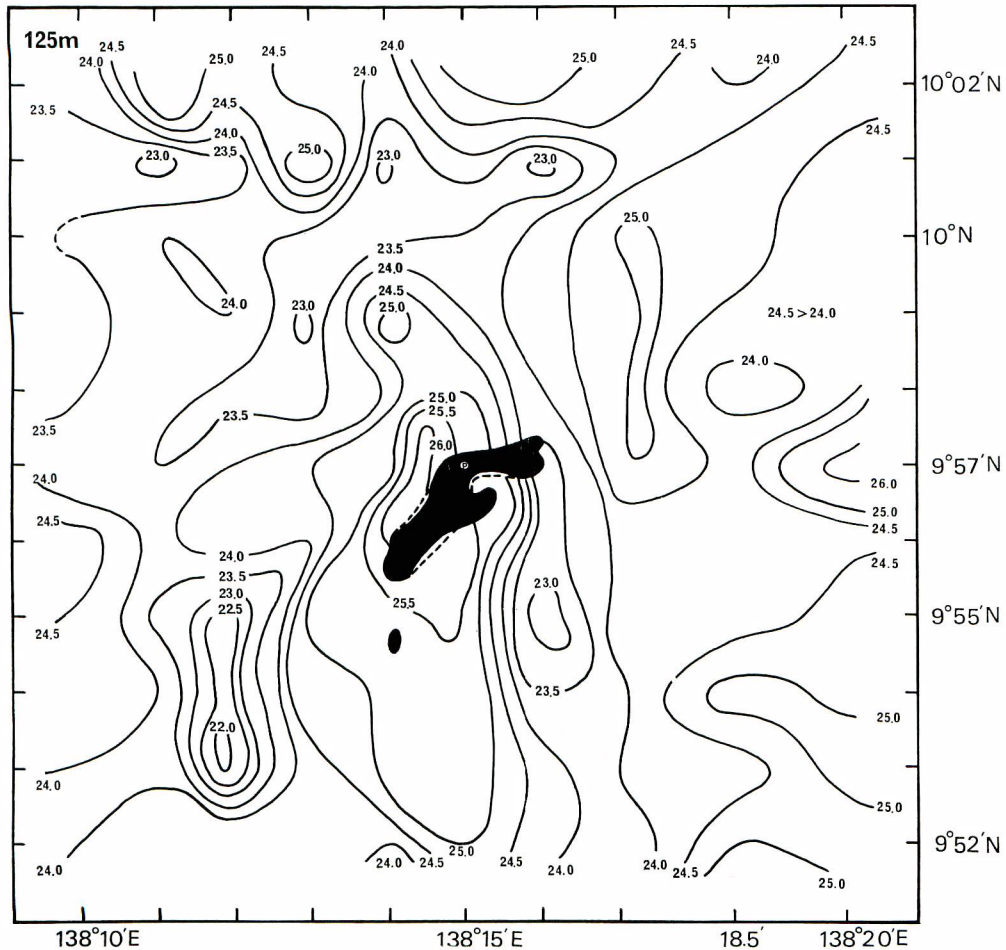


Fig. 12-4. Horizontal distribution of temperature at 125 m layer.

デル海域では、BTによる水深250mまでの水温観測資料で、上記の検討を行ってもさしつかえないと考えられる。

以上のことから、モデル海域の海流分布の状態について検討すると、表層混合層の深浅分布の状態(図14)には、バンクを中心とした時計まわりの大きな渦流や、その周辺のいくつかの時計まわりの渦流、さらに、バンクの北西、南東側に、それぞれ反時計まわりの渦流の存在することが示唆されている。既述したように、P点における潮流観測の結果から、1m、5m、10mの各層とも北向きの恒流が卓越している。一方、海流分布のパターンに関する1つの指標として、各観測点における測流の結果をみると、バンクの西側では北向きの流れが、バンクの東側では東向きの流れが優勢なようである。これらの事実は、前記のバンクを中心とした時計まわりの大きな渦流の存在を支持しているように思われる。

しかしながら、これらの渦流が実在するか否かについては、以下に述べるような疑問点がみられる。

BENNETT and SCHAEFER (1960) は、北半球の低緯度における反時計まわりの渦流域内では、周辺の海域と比較して、低温、高塩分、燐酸の集中が、時計まわりの渦流域内ではその反対の現象がみられるべきであると述べている。この観点から、モデル海域内における表面塩分、水温、さらに動物プランクトンの湿重量等と渦

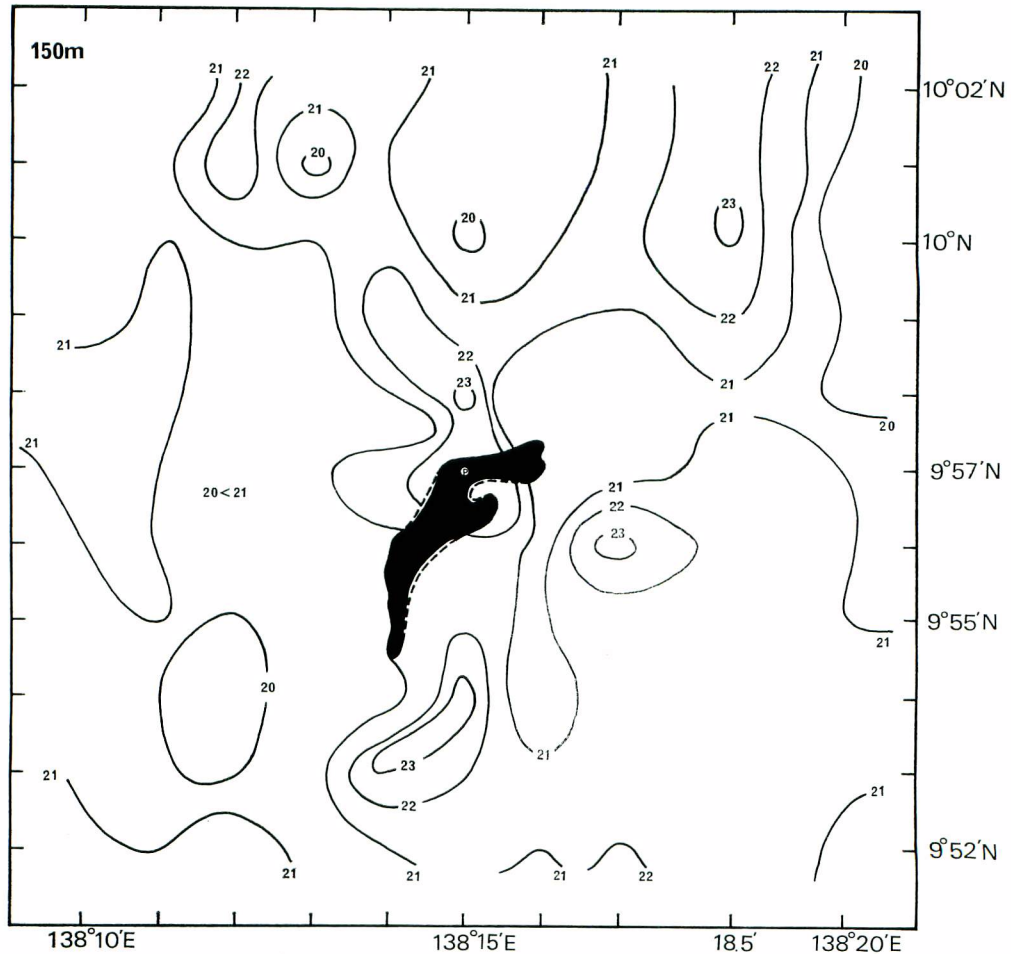


Fig. 12-5. Horizontal distribution of temperature at 150 m layer.

流域との関連について検討すると次のようである。即ち、バンクを中心にした時計まわりの渦流域では、表層水温は比較的に高温であるが、バンクの南西側にある同様な渦流域では表層は比較的に低温、低塩分である。また、後述するように、動物プランクトンの湿重量は前者では少なく、後者では多い。さらに、バンクの北西、南東端にみられる反時計まわりの渦流域では、表層における低温、高塩分の傾向は認められず、動物プランクトンの湿重量は両者ともに少ない。しかし、これらの渦流がかなり長期間にわたって存続していたものか、あるいは本観測の直前に形成されたものかは、現時点では判定することが困難である。換言すれば、今回のモデル海域内における個々の渦流について、その存続性を論ずるには、今まで述べた事実は十分な素材とはなり得ないのではないかということである。

## 2). 水温の鉛直分布にみられる乱れについて

既述したように、南北、東西方向の水温の鉛直分布の状態からすると、バンクに接近するにつれて等温線の乱れは次第に大きくなり、バンクによる流動への影響は大きくなることを示唆しているが、等温線分布の形状からおすと、バンクの斜面付近における収束、発散または湧昇等の現象の存在は明らかではない。BENNETT and SCHAEFER (1960) は、Clarion Island および Shimada Bank において、塩分、溶存酸素、硝酸、磷酸、



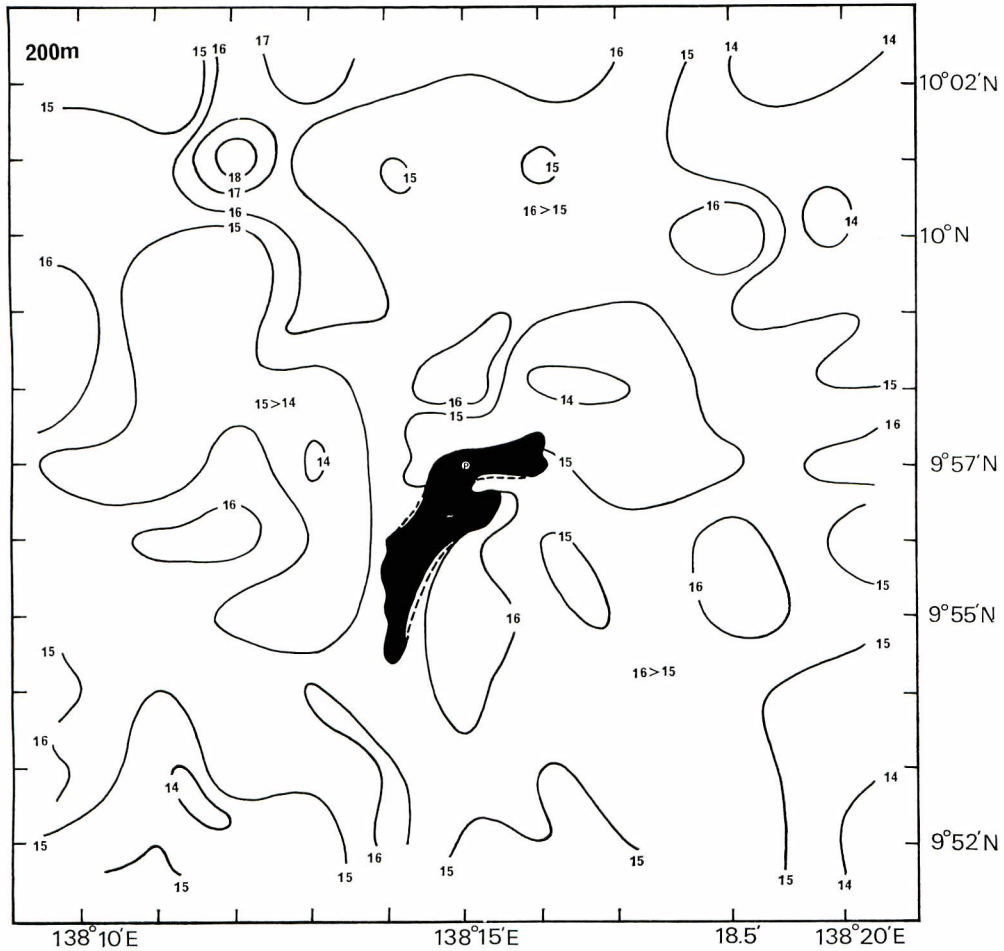


Fig. 12-6. Horizontal distribution of temperature at 200 m layer.

硅酸の鉛直分布について検討し、各要因の相対的な極大または極小層の転位、消失等は鉛直混合過程の生じていることを示唆していたが、水温の鉛直分布からはその過程はほとんど確かめられなかったことを指摘している。

以上のことから、バンクにおける詳細な流動状態を確かめるためには、水温以外の要因の観測が必要不可欠と考えられる。

### 3). 海流系からみた渦流の成因について

モデル海域における表層塩分は 33.85‰ 以下である。この低塩分水は、ほぼ 6°N~11°N の幅で、フィリッピンから中央アメリカまで、太平洋を横切って舌状に伸展するいわゆる “Equatorial Surface Water” に起因するもの (MASUZAWA, 1972) と考えられる。また、図示していないが、図 1 の観測線 III に沿った BT の水温鉛直断面から推察すると、モデル海域は、北赤道海流と北赤道反流との境界付近に位置しているように思われる。

北赤道反流の南、北縁の位置については、CROMWELL (1954), MAO and YOSHIDA (1955), WYRTKI (1961), TSUCHIYA (1961), 山中, 外, (1965), YAMANAKA and YAMANAKA (1972), 山中 (1973) 等の報告があるが、

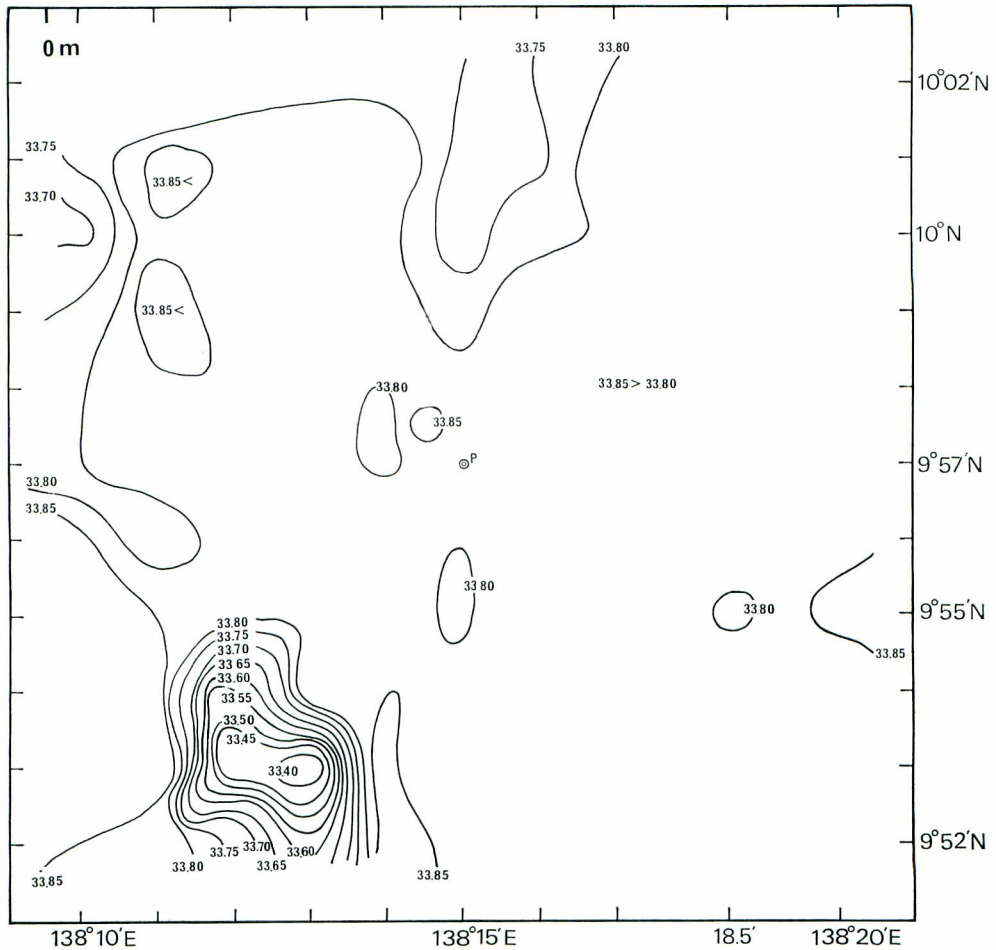


Fig. 13. Horizontal distribution of surface salinity.

北縁の最南位置は  $5^{\circ}\text{N}$ 、最北位置は  $10^{\circ}\text{N}$  で、緯度にして  $5^{\circ}$  の幅で南北方向に移動している。MAO and YOSHIDA (1955) は、北赤道反流の北縁に反時計まわりの渦流が連続して存在すると述べている。また、山中 (1971) は、これと反対に、北縁に多くの時計まわりの渦流の存在を指摘している。さらに、山中 (1973) は延縄の漂移から表面海流分布について検討し、北赤道反流の北縁には緯度にして  $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$  の幅で流向不定の海域がみられると述べている。これらのことから、モデル海域は複雑な海流の分布域に当るものと推察される。既述したように、バンク周辺の渦流が存在するか否かについては、現時点では明らかではないが、前者の場合の成因について、ひとつの推論を行うと以下のようなものである。

WYRTKI (1961) による西部太平洋の10月の表面海流図をみると、北赤道反流はパラオ諸島付近で、流向が東向きから北東方向に急激に転じている。また、UDA and ISHINO (1958) は、伊豆諸島付近で島礁および海嶺によって黒潮の流路が大きく影響され、流れの下方に当る島等の背後側に背後渦流の生ずることを報告している。さらに、今回調査した各観測点における測流値についてみると、バンクの周辺では西向きの海流はほとんど観測されていない。以上のことから、本調査のモデル海域は、北赤道反流の東向きの流れがパラオ諸島およびヤップ海嶺のために、北東方向に転じ Hunter Bank 付近で再び東向きに転流する部分に当たっているように

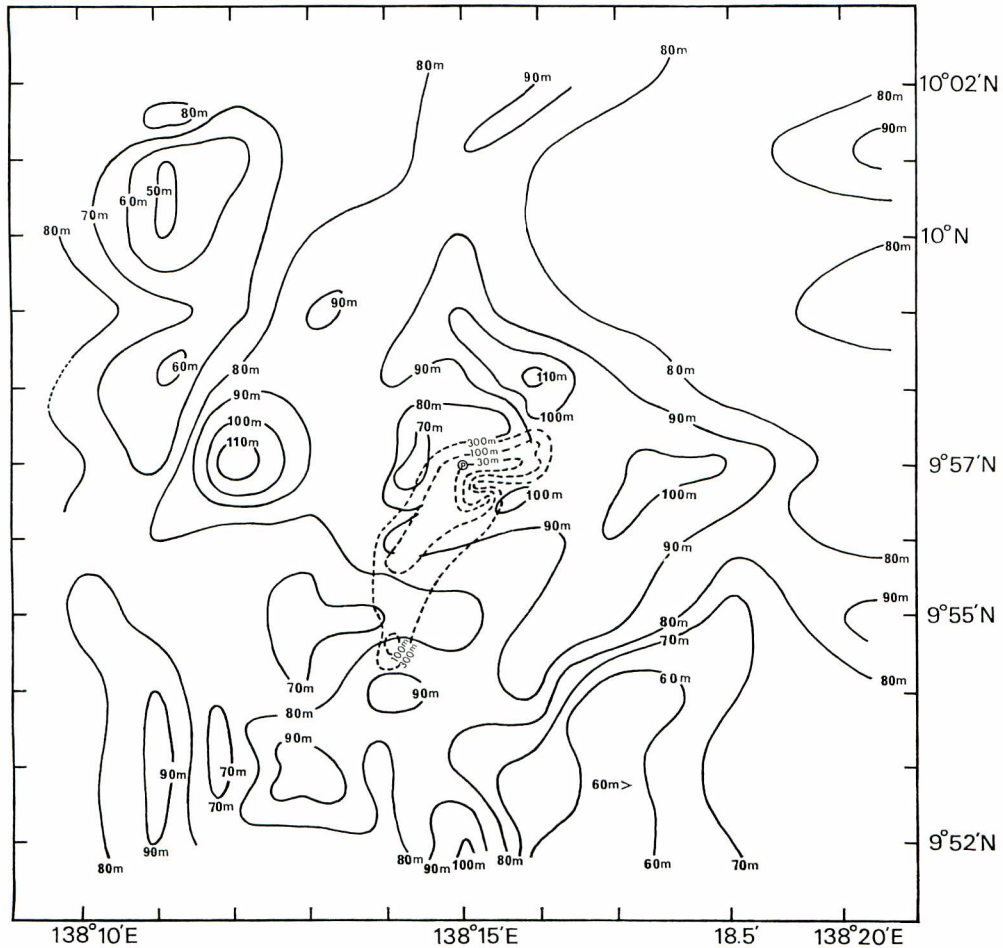


Fig. 14. Horizontal distribution of depth of the mixed layer.

思われる。しかし、既述したように、バンクによる流動への影響は、バンクの西側および南側の海域で大きく、また、時計まわり、反時計まわりの渦流はバンクの西側の海域に多い。さらに、動物プランクトンの湿重量の北較的に高い分布域は、バンクの西側の海域に限られている。したがって、これらの結果は、UDA and ISHINO (1958) による模型実験の結果と相反しており、むしろ、これらの渦流は西向きの北赤道海流に起因すると思われるが、前記の模型実験の結果と一致している。しかしながら、今回の調査ではモデル海域の沖合観測が不十分なことや、同海域の同時期における他船の海洋観測資料が全く無いこと等から、これらの渦流が、バンクの影響によるものなのか、あるいは、北赤道反流の北縁にみられる一連の渦流 (MAO and YOSHIDA, 1955, 山中, 1971, 1973) に属するものなのかは、現時点では立入って論ずることはできない。

## 2. バンク周辺の生物分布

### 1). 動物プランクトンについて

モデル海域における動物プランクトンの湿重量は、5~45 mg/m<sup>3</sup> の範囲である。REID (1962) によると、10°N, 140°E 付近の年平均の動物プランクトン量は約 100 mg/m<sup>3</sup> である。また、BENNETT and SCHAEFER

Table 2. Data of the Norpac Net sample.

St. No.	Strained water estimated by flow-meter (m <sup>3</sup> )	Wet weight (mg) per haul	Wet weight (mg) per m <sup>3</sup> of sea water	St. No.	Strained water estimated by flow-meter (m <sup>3</sup> )	Wet weight (mg) per haul	Wet weight (mg) per m <sup>3</sup> of sea water
1	31.27	400	12.8	61	28.72	400	13.9
2	21.05	500	23.8	62	28.79	900	31.3
6	22.76	600	26.4	64	58.50	500	8.5
9	10.92	400	36.5	66	61.54	*	*
10	26.10	*	*	69	45.64	400	8.8
11	32.93	800	24.3	70	38.45	500	13.0
12	29.75	1000	33.6	71	34.39	500	14.5
13	27.16	600	22.1	72	39.09	500	12.8
18	30.48	1000	32.8	73	34.38	400	11.6
20	32.57	1000	30.7	76	27.93	400	14.3
22	23.24	1100	47.3	77	29.07	*	*
25	26.03	500	19.2	80	24.40	700	28.7
26	21.86	700	32.0	82	24.76	500	20.2
29	24.73	500	20.2	84	26.03	400	15.4
31	25.25	400	15.8	87	25.91	200	7.7
33	23.83	500	21.0	90	29.50	200	6.8
37	24.73	500	20.2	93	26.27	200	7.6
40	23.98	800	33.4	96	28.42	100	3.5
43	25.23	500	19.8	98	34.27	200	5.8
46	26.84	200	9.5	104	32.70	200	6.1
51	31.59	600	19.0	109	25.91	100	3.9
56	33.89	200	5.9	110	34.28	*	*
58	25.00	300	12.0	111	31.29	200	6.4
59	24.45	500	20.4	112	36.40	100	2.7
60	32.14	*	*	113	46.08	300	6.5

\* uncertained

(1960)によると、Clarion Island 周辺海域の動物プランクトン量は、沖合では 6~26 ml/1000 m<sup>3</sup>、沿岸では 1~21 ml/1000 m<sup>3</sup> であるのに対し、Shimada Bank のそれは 18~114 ml/1000 m<sup>3</sup> の値を示している。したがって、Hunter Bank の動物プランクトンの湿重量は、Clarion Island のそれの約 2 倍、REID (1962) によるプランクトン量や、Shimada Bank のそれの約 1/2 の値を示すことになる。動物プランクトンの湿重量の比較的に高い分布域は、バンクの西側海域に限られているが、モデル海域内での最高の分布域は、反時計まわりの渦流域と対応している。これに対し、北西、南東側の時計まわりの渦流域における動物プランクトン量は少ない。

## 2). 魚類について

井上 (1969)、田中 (1975) は、Hunter Bank の周辺海域には 9 月以降に、小型カツオの漁場が形成されると述べている。しかし、モデル海域では、表層のカツオ群は全く目視できなかったし、超音波魚量計数機で計測した魚群量も少なかった。また、図 15 と図 16 とを比較すると、動物プランクトンの湿重量の分布と魚群量のそれとは、ほとんど対応していない。

BENNETT and SCHAEFER (1960) は、クロロフィル “a” C<sub>14</sub> による基礎生産力、植物プランクトンの現存量等を測定して、Clarion Island, Shimada Bank でも、島およびバンクの影響によって、基礎生産力が増

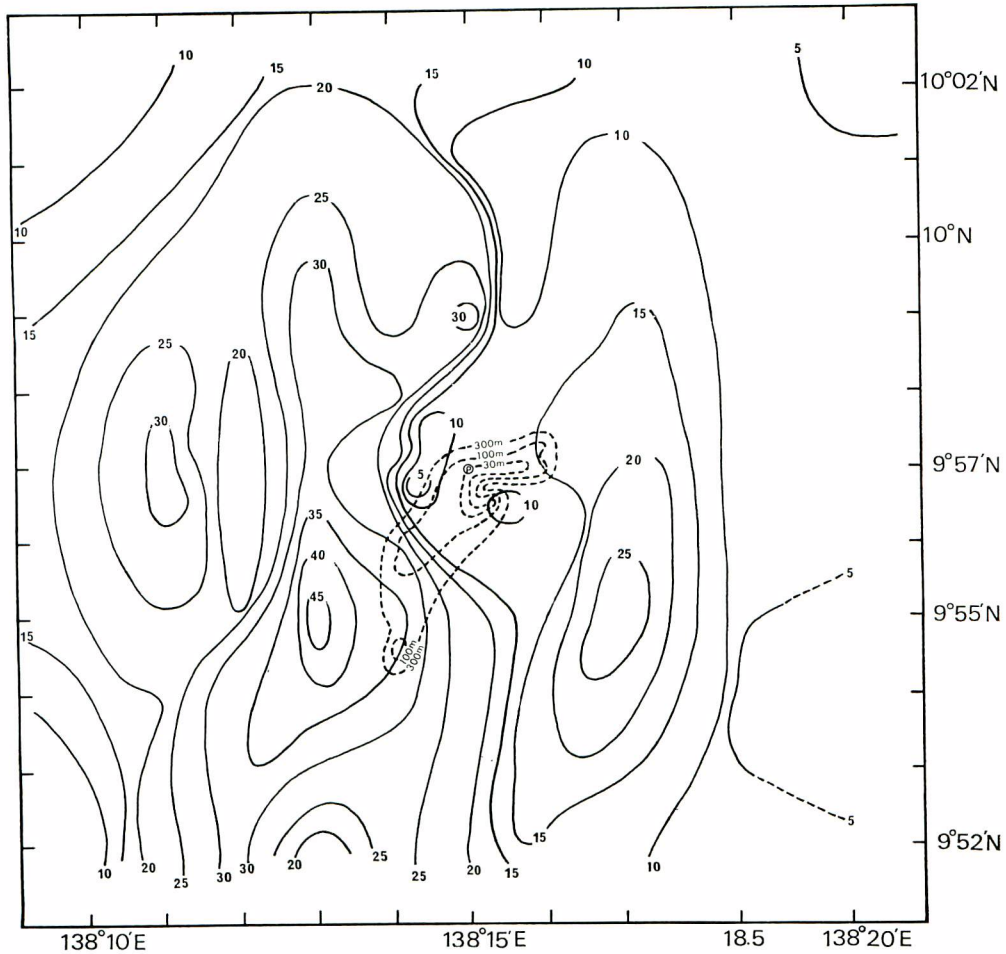


Fig. 15. Horizontal distribution of wet weight (mg) of zooplankton per  $m^3$  of sea water collected by the Norpac Net.

加し、これに引き続いて植物プランクトンの現存量が増加することを確かめたが、動物プランクトン量ではこのような対応関係はほとんど認められなかったと述べている。また、BENNETT and SCHAEFER (1960) は、動物プランクトンの量は Clarion Island よりも Shimada Bank の方が幾分高めではあるが、マグロ類の濃密な分布がみられる東部太平洋の海域の場合と比較すると、なおも少ないことを指摘している。したがって、この海域のマグロ資源は、動物プランクトンに依存している海洋生物よりも、大部分が草食性か碎屑性の食餌をとる底棲生物に依存しているかも知れないと推察している。BLACKBURN (1965) も、低次栄養段階生物とマグロ類の分布に関する推論——海洋構造と海洋の生産性——を確立するためには、より多くの厳しい研究が必要であると述べている。

以上のように、Hunter Bank でも、その周辺の海洋構造と生物分布の間に特別な対応関係は認められなかった。しかし、両者の関連を明らかにすることは、依然として今後の重要な研究課題として残されている。

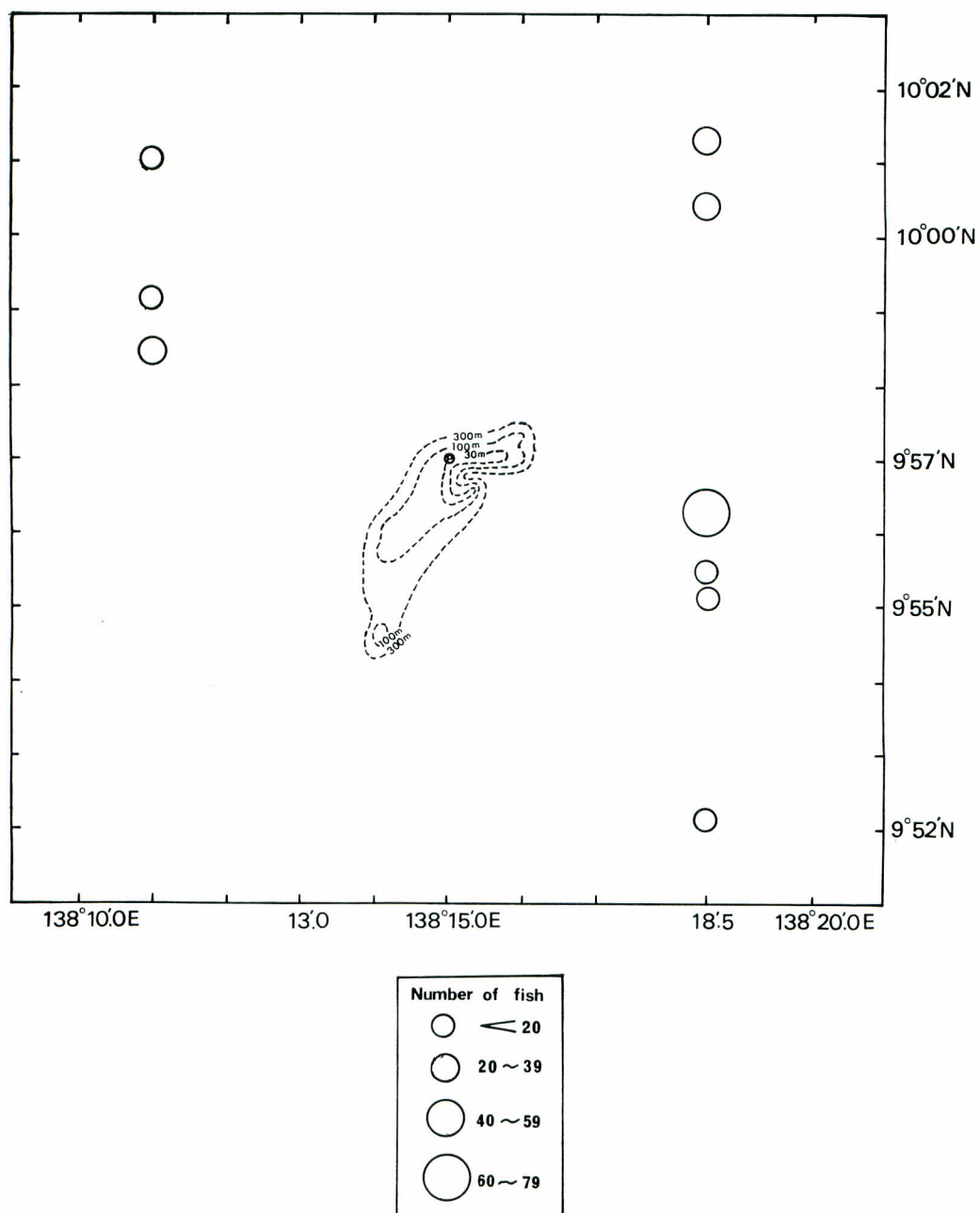


Fig. 16. Diagrammatic representation of the number of fish per one nautical mile detected by the Supersonic Fish Counter (28 KHz).

## 要 約

著者等は、海洋バンクにおける海洋学的特性の研究の一端として、遠洋水産研究所調査船、(旧)俊鷹丸により、1971年10月、Hunter Bank 周辺でマイクロな海洋調査(図2)を実施した。その結果、前記のバンクにおける海洋特性について、2, 3の知見を得たので報告する。

1. P点(9°57'N, 138°15'E, 水深30m)における潮流の調和分析の結果によると、1m, 5m, 10m各層とも、北向きの恒流が卓越している(図7, 8)。

2. 海流分布のパターンに関するある1つの指標として、各観測点における測流結果の概要(図9)をみると、バンクの西側では北向きの流れが、バンクの東側では東向きの流れが優勢なようである。

3. 南北、東西方向の観測線に沿った水温の鉛直分布の状態(図10, 11)から、バンクに接近するにつれて等温線の乱れは大きくなり、バンクによる流動への影響の大きくなることが示唆されている。しかし、等温線分布の形状からは、バンク付近における収束、発散または湧昇等の現象の存在は明らかではない。

4. 表層混合層(SLD)の深浅分布の状態(図14)から、バンクを中心とした時計まわりの大きな渦流およびその周辺の2~3の時計まわりの渦流や、バンクの北西、南東端に、それぞれ反時計まわりの渦流の存在することが示唆されている。

5. 動物プランクトンの湿重量は、5~45 mg/m<sup>3</sup>の範囲で、バンクの西側で比較的高く、バンクの南西側に45 mg/m<sup>3</sup>のモデル海域内では最も高い分布域がみられる(図15)。

6. 超音波魚量計数機による計測の結果(図16)、カツオ類または小型のキハダ程度の体長の魚と推察される魚群の分布は、バンクの付近では全くみられず、バンクから3~4海里離れた北西側および南北方向でわずかに認められるにすぎない。

7. 既述した時計まわり、反時計まわりの渦流域と、表面塩分、各層水温の分布、さらに、プランクトンの湿重量、魚群量の分布との対応は明らかではない。また、これら渦流の成因についても十分に検討できなかった。

以上のことから、バンクにおける流動状態を確かめるためには、水温以外の他の要因の観測が必要であり、マグロ類の分布と基礎生産力に関する推論を確かめるためには、BENNETT and SCHAEFER (1960)、BLACKBURN (1965)も述べているように、今後解決すべきいくつかの問題点が残されていると考えられる。

### 謝 辞

この報告をまとめるに当たり、海洋調査に協力を頂いた旧俊鷹丸、角田精一船長および乗組員各位に深謝する。また、調査補助員として協力頂いた、水産大学校研究生、大石裕、東海大学学生、堀内俊男、坂口康雄の各位に感謝する。

最後に潮流の調和分析の助言や種々の示唆を頂いた遠洋水研、山中一郎海洋部長および海洋部の各位に、さらに、英文を校閲して頂いた浮魚資源部、久米漸技官に謝意を表わす。

## 文 献

- BENNETT, E. and M. B. SCHAEFER 1960: Studies of physical, chemical and biological oceanography in the vicinity of the Revilla Gigedo Islands during the "Island current survey" of 1957. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, 4(5), 219—317.
- BLACKBURN, M. 1965: Oceanography and the ecology of tunas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 3, 299—322.
- CHASE, T. E., H. W. MENARD and J. MAMMERICKX 1970: Bathymetry of the North Pacific, Chart No. 6, IMR Tec. Rep. Ser., TR-11.

- CROMWELL, T. 1954: Mid-Pacific oceanography II, transequatorial waters June-August 1950, January-March 1951. U.S. Fish Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep., Fish. 131, 1-13.
- 1958: Thermocline topography, horizontal currents and "ridging" in the eastern tropical Pacific. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, 3(3), 135-164.
- 花本栄二, 上條清光, 中村幸雄 1964: インド洋マグロ漁場における瀬の1例. まぐろ漁場, (27), 54-58.
- 花本栄二 1971a: オーストラリア東沖とニュージーランド周辺のミナミマグロ漁場と海底地形の関係. 水海研報, (19), 117-121.
- 1971b: 北大西洋のメバチ漁場について. 三崎遠漁研会報, (25), 7-8.
- 井上元男 1969: 西部太平洋熱帯海域におけるカツオ, キメジ漁場の開発. 水海研会報, 特別号(宇田道隆教授退官記念論文集), 235-242.
- MAO, H.L. and K. YOSHIDA 1955: Physical oceanography in the Marshall Islands area, Bikini and nearby atolls, Marshall Islands. Prof. Pap. U.S. Geol. Serv., 260-R, 645-684.
- MASUZAWA, J. 1972: Water characteristics of the North Pacific Central Region. p. 95-127. In KUROSHIO-Its Physical Aspect (ed. H. STOMMEL and K. YOSHIDA), 517 pp., Univ. Tokyo Press, Tokyo.
- 中野猿人 1940: 第11章潮流の調和分解. p. 298-314. 潮汐学, 512 pp., 古今書院, 東京.
- 中尾 徹, 宇田道隆, 工藤盛徳 1973: 大和堆近傍の海況(1971年夏). 水海研報, (22), 135-138.
- 奈須敬二, 佐々木喬 1973: 開洋丸による中部太平洋海山調査. 水海研報, (23), 56-70.
- 日本海洋学会 1970: 海洋観測指針. 427 pp., 気象庁編集.
- 日本水路部 1948: 太平洋水深図第2, No. 6082.
- REID, J.L. Jr. 1962: On circulation, phosphate-phosphorus content, and zooplankton volumes in the upper part of the Pacific Ocean. *Lim. Oceanogr.*, 7(3), 287-306.
- 静岡県水産試験場 1971: 一表層における流動一. 駿河湾海洋調査報告-II, 取り纏め責任者, 中村保昭, 1-97.
- 須田皖次 1948: 海洋科学. 770 pp., 古今書院, 東京.
- 田中 有 1975: 南方カツオの体長別, 漁期漁場について. 水海研会報, (26), 7-21.
- 俵 悟, 古賀重行 1974: セイシエル群島周辺海域の海況と漁場について. 水大研報, 23(1), 1-24.
- 富永盛治朗 1957: 鯉一習性と漁法一. 156 pp., 石崎書店, 東京.
- TSUCHIYA, M. 1961: An oceanographic description of the equatorial current system of the western Pacific. *Oceanogr. Mag.*, 13(1), 1-30.
- UDA, M. and M. ISHINO 1958: Enrichment pattern resulting from eddy systems in relation to fishing grounds. *Jour. Tokyo Univ. Fish.*, 44(1~2), 105-118.
- 宇田道隆 1961: 漁礁論. p. 101-111. 海洋漁場学, 347 pp., 恒星社厚生閣, 東京.
- WYRTKI, K. 1961: Physical oceanography of the Southeast Asian Waters. Scientific result of marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand, 1959-1961. *Naga Report*, 2, 1-195.
- 山中 一, 安楽 昇, 森田二郎 1965: 西部太平洋における海況変動. 南水研報, (22), 35-70.
- 山中 一 1971: 1. 南方カツオ漁場海域の海洋構造, (1) マグロ延縄の漂移からみた表面海流, 透明度. 水海研会報, (18), 113-118.
- YAMANAKA, I. and H. YAMANAKA. 1972: On the variation of the current pattern in the equatorial western Pacific and its relationship with the yellowfin tuna stock. The KUROSHIO II, Saikon Pub. Con. Limit., 525-533.
- 山中 一 1973: マグロ延縄の漂移からみた西部太平洋の表面海流分布. 遠水研報, 9, 19-43.
- 山中 一, 行縄茂理, 森田二郎, 山中一郎, 西村 実 1973: 第3章魚群量調査, I 魚量計数装置による方式. p. 99-143, 漁業資源調査方法の開発に関する研究. 185 pp., 農林水産技術会議事務局, 研究成果 68.
- YAMANAKA, H., M. YUKINAWA, J. MORITA and M. NISHIMURA. 1976: Acoustic fish counting systems for tuna and related species. ICES, Rapp. P.-V. Réun. 170, 25, 1-10, (In printing).