

LD

(1967)

No. 337

483

No. 337

深海海洋学研究の進歩発展とその動向

宇 田 道 隆

うみ：日仏海洋学会誌 第5巻 第1号 別刷  
1967年2月

## 4. 深海海洋学研究の進歩発展とその動向

宇田道隆\*

## Situation et problèmes actuels de l'océanographie de grand fond

Michitaka UDA

**Résumé:** L'auteur présente un aspect de la situation actuelle<sup>1</sup> et quelques-uns des problèmes à résoudre de l'océanographie de grand fond, en passant en revue de nombreux résultats ou découvertes que l'on vient de parvenir par de nouveaux moyens de recherche dans le domaine des courants, tourbillons, masses d'eaux abyssales. Il espère notamment que l'on élabore des théories des courants et contrecourants subsuperficiels, que l'on mesure directement les tourbillons et courants abyssaux beaucoup plus fréquemment et à des points beaucoup plus nombreux par de divers nouveaux appareils ou des appareils plus perfectionnés et que l'on met en lumière le mécanisme de la descente des eaux arctiques et antarctiques et le mécanisme de la formation des eaux profondes.

## 1. 緒言

前に「うみ」2(2), pp. 125-127 に報告(宇田: 深層流成層圏大循環の問題)以来 1966年5/6月モスクーの第2回国際海洋学会議, 同年8/9月, 第11回太平洋学術会議(東京)や Deep-Sea Research 等諸雑誌で発表された論文, 1966年9月13~16日サンチャゴでの「南極海洋学シンポジウム」(SCAR/SCOR/IAPO/IUBS)\*\*などの資料に基づいて, 最近の世界的な深海海洋学的研究(主に物理的)について総述する。

日本では太平洋深層海流の実測(スワロー・フロートによる)に基づく研究総括が南日俊夫, 赤松英雄(1966), によりなされ, 日本海溝付近 1,000~3,000 m 深の南向流 1~15 cm/s が検出された。又, 理論的研究は須藤英雄(1965), 高野健三(1964), 吉田耕造(1965, 1967)などにより出されているが, ここには主に記述的海洋学のものをもとめた。

## 2. 新しい海洋構造の発見

(1) 西インド洋の層重, “幾重潮”。西独の新観測船 Meteor 号は 1965年1月北東季節風期の西インド洋アラビア海を観測して, 2,000 m 深までの水温, 塩分の成層状態を Bathysonde という新測器で測得し, 紅海から流出する “Red Sea Water” が厚さ 50 m ぐらいで水温逆転 1°C に達し薄いレンズ状の数層に及ぶ “幾重

\* 東京水産大学 Tokyo University of Fisheries

\*\* 資料を同会議出席の根本敬久博士の御好意で利用させて頂いたことを感謝する。

潮”をなして水平に広がった高温高塩水層をあらわしていることを始めて明らかにした。G. DIETRICH, DÜRING, W. KRAUSE ら(キール大学海洋研究所)が研究し, A. DEFANT の舌状拡張水(地中海高塩水の大西洋流出)のモデルを使って論じている。米国にも S.T.D. があり, 今後このような測器の進歩によって新現象が徐々に解明せられるであろう。

(2) 南太平洋に南赤道逆流が 7°S~10°S に 6,000 km 以上も東行流をなして存在することが J. REID, Jr. (1959) によって報告されたが, 1963年南大西洋(5°~12.5°S)にも存在することが判った REID, 1964)。これの構造と成因が問題であり, 風だけでなく深層水の循環とも関連のあるものであろう。

(3) 北大西洋サルガツソー海で A.D. VOORIS (ウヅホール海洋研究所)らが 1963年1月 26°N~29°N に東西に蛇行して 2,000 m 深まで明白なシオザカイ(水平的に 10 km に 1°C, 鉛直的に 100 m につき 1°C 差)が見出され(飛行機観測, 赤外線放射温度計による), 東行流 70 cm/sec. とされた。これは太平洋の亜熱帯収束(STC)研究に新しい示唆を与え中央水(高塩)形成機構などからみて重要な事実である。

(4) 赤道潜流 3大洋に流速の強弱の差, 風系に関連した変化, 高塩(S<sub>max</sub>)コアの存在など多少差はあるにせよ, 赤道潜流が発見され, それぞれの特色が明らかにされた。特にソ連ロモノゾフ号は大西洋赤道潜流を詳査して LOMONOSOV CURRENT と命名した。A. G.

KOLENSNIKOV  
断面は平たいレ  
東へ大西洋を極  
上にあり, 最大  
による)東方は  
流向は安定して  
半分ぐらい, 塩  
し, 高塩分水を  
る。インド洋で  
アの流速は太平  
トでこれに次ぎ  
米国マイアミ

GERONIMO  
赤道塩分極大コ  
にし, 西阿距岸  
塩分コアでの流  
示し, コア塩分  
低下に過ぎぬ一  
分線厚さで囲ま  
観測ではギニア  
大により二つに  
記計を用い, 塩  
とした。

(5) 東西境  
current, Peru  
は向極性(Pole  
ルフストリーム  
TON, SWALLOW  
達するガルフス  
道性 Equatorwa  
度の流速で, 流

日本近海で前  
1,000~3,000 m  
る。佐々木忠義  
cm/sec の底層が  
る 300~1,000 m  
が許されるなら  
West Australian  
される可能性が

(6) 亜寒帯  
Jr. (1965) がそ  
太平洋高緯度で  
でなしに, 高緯  
成され, さらに

KOLENSNIKOV らによれば、同海流は幅 200~250 哩、断面は平たいレンズ状で最大厚さ赤道で 250m、西から東へ大西洋を横断 2,500~2,600 哩で、流軸はほぼ赤道上にあり、最大流速のコアは 100~150 m 深 (VAPNYAR による) 東方ほど浅くなり、厚さも減る。周年存在し、流向は安定している。流量は黒潮、ガルフストリームの半分ぐらい、塩分極大のコアは流速最大コアとほぼ一致し、高塩分水を西から東へ運んであり、ギニア湾に達する。インド洋でも赤道潜流は 1962 年発見せられた。コアの流速は太平洋 3 ノット余で最強、大西洋 2.4 ノットでこれに次ぎ、インド洋は冬季にみられ 1.2 ノット。

米国マイアミ大学 M. RINKEL も又 PILLSBURY 号、GERONIMO 号で 1963, 1964 年精測した結果を報告、赤道塩分極大コアがこの海流の指標であることを明らかにし、西阿距岸 60 マイル以内までその存在を追跡した。塩分コアでの流速は 10~15% の変動しかない一様性を示し、コア塩分は 1,800 マイル流路にわたり 0.03% 低下に過ぎぬ一定値を示した。コアは塩分 35.8% 等塩分線厚さで囲まれている。又、東独の A. Penck 号の観測ではギニア湾に入った同潜流が 15°30'W で塩分極大により二つに分れているとみられた。同号は STD 自記計を用い、塩分極大コアが流速極大コアの上方にあるとした。

(5) 東西境界流下の潜流 すでに California Undercurrent, Peru Undercurrent など東部境界流下の潜流は向極性 (Poleward) を示し、西部境界流下の潜流はガルフストリームの下方で J.A. KNAUSS, L. WORTHINGTON, SWALLOW らによりひょろひょろと底近くまで達するガルフストリームの西方の大陸斜面に南向 (向赤道性 Equatorward) 潜流が見出され、5~15 cm/sec 程度の流速で、流量は  $55 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$  程度とされている。

日本近海で前記南日、赤松 (1966) は日本海溝付近 1,000~3,000 m 深南向流 1~15 cm/sec を検知している。佐々木忠義 (1965) は 4,000~4,300 m 深で 2~3 cm/sec の底層流を測っている。亜寒帯中層水の存在する 300~1,000 m 深の流れをもっとよく知りたい。類推が許されるなら、Canary Current, Benguela Current, West Australian Current の下方の潜流に向極性が見出される可能性がある。

(6) 亜寒帯中層水 ( $S_{\text{min.}}$ ) について、最近 J. REID, Jr. (1965) がその水塊形成と運動を詳論し、盛冬の北西太平洋高緯度での 200 m 以深の対流的転倒 (Overturn) でなしに、高緯度の密度躍層をぬける鉛直混合により形成され、さらに南下拡延については横混合作用を重視し

た。すなわち高緯度表層水が直接に低緯度中層水の形成に貢献するものでないとした。REID は 1966 年 1 月 20 日~4 月 1 日米国スクリップス海洋研究所の Argo 号で 40°N 以北 180°以西の水域、千島列島、カムチャッカ南東水域を観測し、冬季の親潮域の強い季節風による地衡的輸送量を推算して議論を進めた。

ソ連学士院 V. I. COOKSA (1966) も同じ問題を論じて 8 月、2 月現場密度  $\sigma_t$  26.75, 27.28 の等高線図からその面上の水塩温分を調べ、塩分極小のコアは一般に  $\sigma_t$  26.75 面と一致することを示し、 $\sigma_t$  27.28 面は南太平洋の  $S_{\text{min.}}$  層コアと一致するとした。彼はこの機構を i) 移流 ii) 大規模水平拡散プロセスによるが、ii) の効果が地衡流循環系で大きいとしている。筆者は移流効果が明らかに  $S_{\text{min.}}$  地形図に基づいて認められることを力説し、親潮潜流を説いてきた。最近、丸茂隆三、大森信、古橋など諸博士の深海曳網により亜寒帯系プランクトンの親潮潜流 (5 cm/sec ぐらいの流速と推定) 輸送によると思われる分布を日本南海 25°N 以北に発見されたのは一つの力強い傍証であり、また南日、赤松、増沢、二谷ら諸氏の深層流実測結果もこれを裏書するものとみられる。横混合だけではとうてい説明できず、強い横混合は流れなしにはあり得ない。又、形成起源については冬季 Argo 号観測がオホーツク海内でごく短期の静穏海況時に行なわれ、対流混合の実状を把握したものとは言い得ず、今後ブイ測点ロボット観測が決定のため必要である。

### 3. 深海底強流の証

(1) Bruce C. HEEZEN, B. GLASS, H. W. MENARD (1966), Deep-Sea Research, 13, pp. 445-458 によれば、西赤道太平洋のマニヒキ海台 60 km<sup>2</sup> の南部頂上域 2,400~3,000 m 深の周りは 5,500 m の深みであるが、その頂上海台に約 1 km 厚さの堆積物 (有孔虫軟泥) に澱痕があり、水中カメラでみると、頂上部東面の有孔虫砂とマンガン小塊、丸石が分布、有孔虫砂テストから多分底流は 15 cm/sec 以上 (MENARD 1952, HEEZEN ら 1964) なることが海底写真から推測された。特異海底地形の平頂海山、海底峡谷頭の測流が重要であり、Turbidity Current, Deep Sea Tides, 津浪等の Transient Current のためであるか問題である。

南氷洋のベリングハウゼン海盆、スコチア海での写真撮影 (澱痕等) もまた強い底層流の証拠をみせている。ポテンシャル温度 (海底) の分布もまたロス海起源の底冷水がベリングハウゼン海盆に流れこみ、南西太平洋に向う相当強い流れを示している。ウエツデル海からのよ

り強力より冷たい底層流は明らかにスコチア・アーク周辺を流って南大西洋に流入するとみられる (B. HEZEN, M. THARP, C.D. HOLLISTER, 1966)。

南極洋においても高緯度冬季底層水の表層で形成はまだ充分よく調べられていない。ロス海などでも  $70^{\circ}$  ~  $75^{\circ}$  S に起るとみられている。

### (2) 船循環流の実態

W.H. MUNK (Deep-Sea Research, 1966) に最近海洋物理学的見地から深海大循環に対する批判的研究を行ない、平均鉛直流 1.4 cm/日 を求めている。多くの化学者がアイソトープなどを利用して、混合、大循環、滞在時間などを盛んに論じている (例えば Sr 90 からサルガッソ海 100 m 深の水温躍層を通る水の動きが  $20^{\circ}$  N以南より数倍はやい)。鉛直混合だけ考えて移流項を省いた式での計算では実際と合わないものと考えられる。とにかく、地衡流計算や、コア水塊解析、水塊追跡などでやると  $2\sim 3$  cm/sec ぐらいの流れが多いのに、スワローのフロートで深層流を計ったり、水中カメラで海底の状況を見ると、どうも  $10\sim 20$  cm/sec の流れも深層に起ることは珍しくないし、今まで考えられていたより数倍強い流れとみられる。物理、化学、生物 (プランクトン輸送など)、地質を併せた総合的研究が要望される。

最近、寺本俊彦博士の開発した超音波流速計で三角点を次々鉛直観測 (できるだけ同時に) 行なって連続の式から鉛直流  $w$  を出す方法を提案したい。潮汐的内波影響などを避けるために 26 時間を 3 点 3 隻で連続測流と同時に T, S,  $O_2$ , P, N, プランクトン (底質)、サンプリング実測するとよい。黒潮異常冷水域や、親潮潜流想定の日南海溝斜面の島島南東方など key area で実施が望ましい。

### (3) 黒海の乱過流

アウスタウシ Au, Av,  $\frac{u}{\rho}$  も実測から確定できよう。逆に渦度,  $\frac{u}{\rho}$  Au, Av を実測できれば流れが出せる。米国では渦度 (Vorticity) の実測を、自由に浮いたスワロー型中立浮きの鉛直軸の周りの回転運動を記録して行なう方法が考案された。深海渦度計は新しい幾多の事実を教えるであろう。

### 4. 南極洋底層水

(1) Hakon MOSBY (1934, 1966) は W. BRENECKE (1921) の考え (主因は陸棚海域表面の氷の形成にあるとする) に賛同し、バレンツ海でも F. NANSEN (1912) の指摘した通り、氷の形成で海水塩分が増加し 200 m 以深に均質水塊を生ずるもので、この底層水は結

氷点に対応する温度をもち、陸棚から斜面に沿って深海に沈降するに十分な重さ (密度) になるためには少くとも 34.62% の塩分に達しなければならないことを知り、深層水 ( $0.5^{\circ}$ C, 34.68%) と混合して底層水が形成されるとし、Weddel Sea が大部分の底層水形成の場所とされて来た。N.P. FOFONOF (1958) は結氷陸棚水塩分 34.63% の水は暖かい深層水 ( $0.6^{\circ}$ C, 34.7%) と混合してより重い水になるが、34.51% の水では軽い混合水を生ずるのみとした。そして陸棚水はそれ自身の混合水で沈下を阻止されることになる。すなわち、臨界塩分は 34.63% である。34.63% 以上の塩分で急に沈降して数千 m 深に達し底層水を作る。ソ連 Ob 号の観測によると、ロス海域でも陸棚上で均質水が底深 (200 m, 又は 300~400 m 深) に達する。ジブラルタル海峡を越える地中海水 (高塩高密度、大西洋水より  $\Delta\rho=0.001$  多い) は高速で強力な底層流をなして河川のように流出する。その傾斜面  $\alpha=0.01$  とし、流速 80 cm/sec と計算された。これがジブラルタル底層流に当たる。

(2) ソ連レニングラド海洋気象研究所の L. N. KUZNETSOVA (1966) は極海の秋冬冷却、対流混合、鉛直流、形成を日高の方法で IGY データを用いて計算し深層水の北極海対流、貫入最大深度 1,100 m, 南極海で 1,300 m と推算した。しかし、特別な寒冷気象年には大規模な対流、異常な熱移謔が起り、好適温塩構造に依じて盛んな対流が発達するものとした。すなわち、最大対流深度圏 (Zones with max. depth of convection) が G.L. DEACON, H.V. SVERDRUP, H. MOSBY の言ったように深層水形成域と一致し、底に達する対流も実現する。溶在  $O_2$  との関係や深層水年令の問題も調和的に解釈されるべきはずである。すなわち J. REID や COOKSA の研究はまだ楯の一面をみたものに過ぎない。

### 5. 上昇流と気象擾乱

風成湧昇については相当調べられているが、台風、ハリケーンの如き旋回性猛風海況に及ぼす影響については日高、彦坂など若干の理論的研究があるのみで、これまで観測は極めて乏しかったが、最近この問題を米、ソで意欲的に取り上げ、困難なしかも最も興味ある問題にチャレンジしている。

(1) 台風の湧昇効果 W. Redwood WRIGHT 台風シャレーの通過前後の黒潮水温構造を 1965 年 9 月 BT 観測し、前 1 週間、後 24 時間以内の値を比べると最大冷却  $2.5^{\circ}$ C は台風眼直下で起っていた。混合層の深度 5~10 m 増加にすぎず、台風眼沖合側は 20~25 m 湧昇を示し、台風湧昇冷却範囲は 20 哩以内で、大した

ことはなか

(2) と

(テキサス農

棚水を 196

月下旬) と

と水温に大

km 著低温、

(3) ソ

す気圧擾乱

m 深まで達

10日で振幅

を考え、 $5\times$

$cm^2/sec$  と

(4) W.

カ湾で 1,00

sec と求めた

とにかく、

く 1,000 m

る。ブイロ

えば、これ

### 6. 結

2, 3, 4,

によって、深

る。日本近海

っており、以

峻を与えてく

努力が要請さ

(1) 宇田

日仏

132.

(2) 南日

深層

154-

(3) Jose

ters

### 討論者

非常に深い

得られること

説明するのは

ことはなかった。

(2) ところが, R. E. STEVENSON, D. F. LEIPPER (テキサス農工大) の Alaminos 号でメキシコ湾北部陸棚水を 1965 年 9 月 8 日ハリケーン Betzy 通過前 (8 月下旬) と通過 (9 月 8 日) 直後 9 月中旬観測を比べると水温に大差があり,  $2^{\circ}\sim 3^{\circ}\text{C}$  低下し, 眼の東西 130 km 著低温, 水温躍層 40~90 m 降下をみた。

(3) ソ連モスコウ大学 S. S. LAPPO は海流に及ぼす気圧擾乱影響を調べ, 移動性低気圧で流速振動 1,500 m 深まで追跡できるほどだとし, 振動周期は 10 時間~10 日で振幅 50 cm/sec に上るとした。そして気圧海流を考え,  $5\times 10^7\text{ cm}$  のサイズの低気圧で水平乱流  $5\times 10^9\text{ cm}^2/\text{sec}$  とした。

(4) W. B. Mc ALLISTER (オレゴン大学) はアラスカ湾で 1,000 m 深より上方への湧昇輸送を  $10\times 10^9\text{ m}^3/\text{sec}$  と求めた。

とにかく, 台風や持続的な旋流による湧昇効果は著しく 1,000 m 以上の深海にも影響を及ぼすものとみられる。パイロバット観測を台風にも耐える施設により行なえば, これらの問題を明らかに解くことができよう。

## 6. 結 び

2, 3, 4, 5 とも新しい測器, 新しい方法と観測設計によって, 深海海洋学研究的の躍進をもたらしたものである。日本近海には幾多の解かるべき大きな問題がころがりており, 以上の諸研究はそれぞれわれわれに大きな示唆を与えてくれる。各専門分野の協力による総合的研究努力が要請される。

## 文 献

- (1) 宇田道隆 (1965): 深層流成層圏大循環の問題 日仏海洋学会誌, うみ, 第 2 巻, 第 2 号, 125-132.
- (2) 南日俊夫, 赤松英雄 (1966): 日本海溝付近の深層流測定 (英文). 日本海洋学会誌, 22 (4), 154-160.
- (3) Joseph. REID, Jr. (1965): Intermediate Waters of the Pacific Ocean. 後略.

## 討 論

討論者 高野健三 (東大・海洋研)

非常に深い海底での観測により, 時々, 大きな流速が得られることがある。そういう流れの存在を, 理論から説明するのは易しくない。もし, 混濁流が, 一部の人が

考えているように, 終始, いろいろな場所で起きているとすれば, 混濁流に伴う一時的な強い流れを, 偶々測定するということもあり得るだろう。しかし, 混濁流の存在に疑問を抱く人もあり, この点を明らかにするためには, まず, 堆積物の力学的性質の測定, それも実験室に資料を持ち帰ってではなく, 海底の現場での測定を行なう必要がある。

中層水, 深層水, 底層水の動きの経路については, 既に, 種々の図が描かれているが, 実測では全く確かめられていない。離れた 2 点で, T-S ダイアグラムが同じ形だからといって, その 2 点間に水の往来があるとは限らず, あるとしても, その経路は, 一般には分らない。

中層以下の水の大規模な運動は不明であるが, 表層での大循環の大体の様子は, かなり以前から知られている。しかし, 現在の理論は, いろいろな仮定を設けて単純にした大循環を, かるうじてとり扱えるようになったばかりの段階で, たとえば, 表層の大循環が, 主に風によって生じているのか, 又は, 赤道と極での海水の暖り方の違いによって生じているのかということも明らかではない。今後は, 大型計算機による数値解析に頼らなければ, 現実に即した大循環の理論, あるいは, 日本近海での海流理論の発展は望めない。海洋学における数値解析の水準は, 他の学問の分野に比べて低く, 又, 日本の海洋学での水準は, 他の国の海洋学での水準に比べて, 高くはない。計算機が高速大型になり, 計算の規模が大型になると, 一個人が単独で行なう仕事には, あまり大きな期待がかけられないと思われる。

## 一般討論 座長 岩下光男 (東海大・海洋)

宇田 (東水大): 一言補足する。亜寒帯中層水——親潮潜流と呼ばれるが, ——が日本近くで潜って行く速さは, これまでは, 中立ちきで 1,000~3,000 m の深さで測られている。塩分極小の深さの分布から考えて, 200~1,000 m の深さで測ってほしいと思う。

新野 (東水大): HEEZEN が, 海底堆積物から深層の流れを求めた方法は, 方法自体は完全であるが, 地質学的には問題があり, 堆積物の年代や, 堆積物がどこから運ばれて来たかという点を明らかにしないで, 深層流を正しく推定することはできない。今回の黒潮調査に底質を組み入れて頂いたことは, 黒潮本体の解明に役立つ。底質による流れの推定や, 底質内の化石, 石英, 長石の観察, 混濁流との関連の研究などは, 現在の海洋地質学の一つの傾向である。