

日仏海洋学会賞受賞記念講演

直接測流による黒潮および亜熱帯環流系の研究*

平 啓 介**

Studies on the Kuroshio and the North Pacific Subtropical Gyre
by Direct Current Measurement

Keisuke TAIRA**

1. はじめに

このたびは、荣誉ある日仏海洋学会賞をいただき、身にあまる光栄なことに感謝いたします。1975年からの東京大学海洋研究所海洋物理部門（現在は海洋物理学部門海洋大循環分野）は大型共同研究に継続して参加した。始まりは堀部純男教授を研究代表者とする特定研究「海洋保全」で、物理グループは寺本俊彦教授を中心に深海測流の確立を担当した。低レベル放射性廃棄物の海洋投棄の候補として、鳥島東方の6000m海域がB点と提案されたが、当時は直接測定ができず深底層の流動は知られていなかった。1960年代に米国ではウッズホール海洋研究所を中心に深海係留による測流の手法を確立していた。これに呼応して日本でもいくつかの研究グループが取り組んだが、成功しなかった。数年がかりの苦勞の末に揃えた流速計ははじめ高価な測器が十分なデータ取得ができず流失してしまう事故が取り組む研究者を少なくした。

寺本班は経験者を交えて失敗の原因を洗い出すことから始めた。1975年12月に今脇資郎博士がチェーン号の航海に参加してウッズホール海洋研究所の方式を習得してきた。大きく異なった点は設置方式で、航走中にブイを先に下ろし張力をかけながら巻き込んであるローブを繰り出す。これに対してわが国では停船中に錘を下ろし、ブライドル（枝縄）付のローブに流速計を取り付ける。「設置と回収」班の議論でブイ先方式では落下中の測器損傷の危険が問題になった。1976年5月に淡青丸で音響

発信機を取り付けた係留系をブイ先で設置して、船腹からハイドロホンで受信しドップラー効果を利用して落下速度を測定し、 1.5ms^{-1} 以下で流速計を損傷する心配はないこと、系の要素の抵抗係数をもとに計算した落下速度と近いことを示した。また、準備作業に数日を要した係留ローブは50, 100, 200, 400mと規格化し、ブライドルはウッズホールのリングを採用することで不要になった。音響切離装置の特殊電池は国産の電池を工場直送で入手することで装置の信頼性が向上した。ガラス浮力球や測定器の耐圧容器の破壊などの原因究明に努めた。

このような取り組みによって、1977年12月には鳥島東方の6000m海域で3ヶ月の係留観測に成功した。

2. 大島西水道と八丈島西方の黒潮の測流

1977年3月に係留実験として大島西水道に流入する黒潮を6台の流速計を4点に係留して測定した。当時の本グループの手持ち資材の全てであった。18日設置、19日回収・帰港の予定が春の嵐で淡青丸が伊東港に閉じ込められ、24日まで観測できる幸運に恵まれた。流速プロファイルを仮定して流入量は $1.8 \times 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ と評価した。また、同年2月に水路部の拓洋で大島寄りに流速計を設置したが、断面観測により黒潮の強流帯にあることが確認され黒潮変動の長期モニタリングを開始した。水深500m地点の250m層で1979年5月までに10回の設置回収を繰り返した。利用させていただいた船舶は水路部「拓洋」、神奈川県水産試験場「うしお」、鹿児島大学「敬天丸」、東大海洋研「淡青丸」「白鳳丸」で、航海の間隔は約80日であった。沖合の黒潮は、1978年5月から八丈島の西方の水深1800m地点の1670m層で計測した。

大島西水道の286日と八丈島西の271日の連続データから、約33日周期と約100日の2つの卓越変動を見いだした。33日周期は 20cms^{-1} の振幅で両者に見られた。約100日周期は大島西水道で優勢で、観測期間中は黒潮大

* 2002年6月1日 日仏会館（東京）で講演

** 東京大学海洋研究所 現在の所属：日本学術振興会 〒102-8471 東京都千代田区一番町6
Ocean Research Institute, the University of Tokyo.
(present Address) : Japan Society for the Promotion of Science, 1-6, Ichiban-cho, Chiyodaku, Tokyo 102-8471, Japan

蛇行期であったが北緯32度を北上する流軸の経度変動にも約100日周期が見られた。1978年4月に黒潮流軸は東に移動し、大島西水道の流入流速は 20cms^{-1} 増大した。このことから、33日周期は黒潮の上下層で卓越し、100日周期は黒潮の上層に限られると結論した。潮流を含めて比較しても流速変動は2日より長い周期帯に50%以上のエネルギーがあった。大島西水道では1977年6月、1978年5月、1979年4月に南流になり、黒潮の流入がとまった。海洋速報により伊豆半島沖に冷水塊があって黒潮の北上を妨げていることがわかった。

3. ラグランジュ測流

流速計を係留する観測は時系列データを得る利点があるが通過流の行方を知ることは不得手であり、海水によって運ばれる標識の追跡が良い。標識の位置決めに電波を用いる際は海面に発信機を置くことになる。私たちは中層流を測定するために $3\text{m}\times 15\text{m}$ の抵抗布を用い、海面のレーダーブイと細いワイヤーで結んだ。航海士がレーダー画面上で1時間ごとに位置を決めた。大島西水道で300m層に抵抗布を取り付けた漂流系は約20時間で時計回りに流れ東水道に達した。大蛇行中の黒潮に投入した300m層漂流系は70時間で反時計まわりに $1/4$ 周した。800m層の漂流系も円軌道を示した。これらから最小二乗法で円軌道を決め、求心力とコリオリの転向力の比を評価し、大島西水道の2回の観測では -56% と -42% 、黒潮の蛇行では300m層で7%、800m層で6%であった。大島西水道では 74cms^{-1} の流れがあってもコリオリの転向力とつりあう水温構造が表れにくい原因であると考えた。

海面に標識を要しない方式は理想的なラグランジュ測流であり、1987年に780Hzの音波で追跡するソーファーフロートを導入し四国海盆で追跡した。東京大学海洋研究所構内で飼育用の海水を用いて四国海盆の1,500m層で中立になるように浮力調整した。四国沖の2点に1988年4月と11月に2台ずつを放流した。その中の2台は北緯31度、東経136度を中心とする直径約400kmの軌跡で四国沖暖水のまわりを時計回りに流れた。平均の漂流速度は約 4.5cms^{-1} で、1500m層でも暖水塊を回る循環が顕著であった。1台のフロートは伊豆海嶺の西方で周期8日、最大速度 80cms^{-1} の反時計回りの循環を10回転観測した。この循環の特性はまだわからない。1台のフロートは九州の東方で北向きの黒潮の下層を南向きに流れた。南向きの流速は 4cms^{-1} であり、四国海盆の縁に沿う反時計回りの深層循環の一環であると考えられる。西側の測

点に投入した1台のフロートは南北100km、東西150kmの範囲に234日間留まった。同一の点に投入しても海洋構造の異なった特徴を示したことは興味深かった。

大島の西で表層の漂流ブイは北上、300m層では東に転向する地点があり、設置した流速計で海流の鉛直構造をとらえることができた。ソーファーフロートが示した黒潮下層1500m層の南下流、八丈島西方、南海トラフ、潮岬沖などの係留観測、水路部や鹿児島大学茶園教授などのデータから四国海盆の深層の反時計回りの循環が示唆された。

1995年以来、日本海に6台のポップアップフロートを300m層に投入して追跡している。日本海固有水と黒潮の流動について、柳本大吾と解析を進め印刷中である。

4. おわりに

フィリピン海の深層循環の研究は1987年の白鳳丸による北緯12、13度のCTD観測で取り組んだ。グアム島からセブ島までジグザグの航路をとり、2つの緯度の断面構造を捉え、東側で北上、西側で南下する循環を上原克人、増田章とともに解析した。係留観測は深沢理郎、G. ジードラーが実施し、平も協力した。

世界海洋循環実験計画(WOCE)の測線として東経165度のCTD観測を実施したが、川辺正樹、藤尾伸三、柳本大吾らとの共同研究で、流速計も係留した。白鳳丸の代船建造に際して、水深11,000mまでのCTD観測と流速観測の実現を目指し、チタン合金ケーブルやチタン合金耐圧容器を用いた流速計、ナロービーム音響切離装置などを開発導入した。1992年にマリアナ海溝チャレンジャー海淵のCTD観測、1995年から1996年にかけて、そして2001年から2002年にかけてマリアナ海溝の直接測流に成功した。日本海溝の測流は藤尾伸三、柳本大吾とともに印刷公表した。

今回の受賞は多くのデータがまだ論文になっていないことを再確認することになった。2002年9月に日本学術振興会に転じたが、これらのデータのとりまとめも同時に取り組む所存である。

ご指導いただいた多くの先輩、とりわけ寺本俊彦教授と堀部純男教授に感謝する。海洋観測は多くの研究者との共同研究であり、多くの船舶を利用させていただいた。船長、乗組員、乗船研究者に心から感謝する。技術的な課題に取り組むことが多かったが、終始協力していただいた北川庄司氏の貢献は大きい。

参考文献

- FUJIO, S., D. YANAGIMOTO and K. TAIRA (2000): Deep current structure above the Izu-Ogasawara Trench. *J. Geophys. Res.*, Vol. **105**, No. **C3**, 6377-6386.
- IMAWAKI, S., T. TERAMOTO and K. TAIRA (1984): Mesoscale current fluctuations observed in the deep western North Pacific. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **40**, 39-45.
- KAWABE M. and K. TAIRA (1995): Flow distribution at 165 E in the Pacific Ocean. *Biogeochemical Processes and Ocean Flux in the Western Pacific*, ed. by H. Sakai and Y. Nozaki, 629-649, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo.
- KAWABE M. and K. TAIRA (1998): Water masses and properties at 165E in the western Pacific. *Journal of Geophysical Research*, Vol. **103**, No. **C6**, 12,941-12,958.
- TAIRA, K., S. IMAWAKI and T. TERAMOTO (1976): Falling speed of an instrument array in launching process for mooring. *La mer*, **14**, 141-146.
- TAIRA, K., T. TERAMOTO, N. SHIKAMA and K. TAKEUCHI (1978): Current measurements with surface and subsurface drifters. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **34**, 73-77.
- TAIRA K., S. IMAWAKI and T. TERAMOTO (1979): Deep and bottom current measurements in an area adjacent to the proposed waste dump site. *Proc. Third NEA Seminar on Marine Radioecology*. Nuclear Energy Agency, 69-77.
- TAIRA, K. and T. TERAMOTO (1981): Velocity fluctuations of the Kuroshio near the Izu Ridge and their relationship to current path. *Deep-Sea Research*, **28**, 1187-1197.
- TAIRA, K., S. KITAGAWA and T. TERAMOTO (1983): The failure of instruments moored in the deep sea. *La mer*, **20**, 173-184.
- TAIRA, K. and T. TERAMOTO (1985): Bottom currents in Nankai Trough and Sagami Trough. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 388-398.
- TAIRA, K. and T. TERAMOTO (1986): Path and volume transport of the Kuroshio current in Sagami Bay and their relationship to cold water masses near Izu Peninsula. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **42**, 212-223.
- TAIRA, K., T. TERAMOTO and K. TAKEUCHI (1987): Centrifugal forces estimated from trajectories of drifting buoys in winding paths of the Kuroshio. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **43**, 104-110.
- TAIRA, K., S. KITAGAWA, K. UEHARA, H. ICHIKAWA, H. HACHIYA and T. TERAMOTO (1990): Direct measurements of mid-depth circulation in the Shikoku Basin by tracking SOFAR floats. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **46**, 296-306.
- TAIRA, K., S. KITAGAWA, H. OTOBE and T. ASAI (1993): Observation of temperature and velocity from a surface buoy moored in the Shikoku Basin (OMLET-89) - An oceanic response to a typhoon -. *Journal of Oceanography*, **49**, 397-406.
- TAIRA, K., M. N. SAABON, S. KITAGAWA and T. YANAGI (1996): Observation of temperature and velocity in the coastal water off Kuala Terengganu, Malaysia. *Journal of Oceanography*, **52**, 251-257.
- TAIRA K. (1997): Expectations for ocean engineering: A message from an oceanographic community. *Journal of Marine Science and Technology*, **2**, 213-218.
- UEHARA, K. and K. TAIRA (1990): Deep hydrographic structure along 12N and 13N in the Philippine Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **46**, 167-176.