

日仏海洋学会賞受賞記念講演

黒潮大蛇行および黒潮域を中心とした海洋過程に
関する一連の研究*

関根 義彦**

A series of study on large meander of the Kuroshio and oceanic processes
around the Kuroshio region*

Yoshihiko SEKINE**

この度は思いがけなく名誉ある日仏海洋学会賞をいただくことになり、大変光栄に思っております。これを励みとして、海洋学のさらなる発展のために、今後より一層の努力をしたいと考えております。これからも皆様のご支援ご鞭撻を賜りますようよろしくお願いいたします。

私が海洋学の研究を本格的に始めたのは1976年であり、日本南岸に黒潮大蛇行が1970年以来久しぶりに形成され、潮位の変化や大冷水塊の発生などの、多くの面から黒潮大蛇行が注目された時でした。さらに、1976年には、WHITE and McCREARY (1976) により、黒潮大蛇行を九州の陸岸地形を発生源とする定常惑星ロスビー波と考える説が提示されました。この説は、海流の蛇行の波長は流れの大きさの1/2乗に比例し、大きい流速の場合に直進流路、小さい流速の場合に大蛇行流路が生じるというものです。この指摘は、無流面の設定に問題を残しますが、従来の地衡流推算による黒潮流速の変動特性と合うことから、直進流路と大蛇行流路の選択に関する黒潮流路の本質が理解されたように思われました。

定常惑星ロスビー波論の背景には、ROBINSON and TAFT (1972) の流路方程式による黒潮流路の考察があり、黒潮に伴う流れが陸棚斜面を感じると、斜面の等深線に沿う傾向が強く直進流路となり、陸棚斜面の影響が小さい場合には、惑星ベータ効果が卓越して大蛇行流路になることが示されました。よって、一般的に流速が大きい場合には流れも深く、陸棚斜面の海底地形を感じて直進流路となり、流速が小さいと流れが浅く、陸棚斜面

の地形効果が小さく大蛇行となることが推測されます。この問題に興味を持った私は、日本南岸の海底地形を簡単に模式化した数値モデルで流路の特性を調べてみました。私のモデルは、準地衡流近似を仮定しない2層プリミティブモデルであり、結果として流れが上層に集中し、海底地形を感じない場合でも流路は陸棚斜面の等深線に沿う傾向が強く、簡単に流路の離岸が生じないことがわかりました (SEKINE and TOBA, 1980)。つまり、上層の流れが離岸すると、内部境界面と海底地形勾配の間に相対渦度が生じ、結果的に海底地形効果が生じるためです。

WHITE and McCREARY (1976) のモデルでは、北側に東西方向に走る陸岸地形を仮定しておりましたが、日本南岸の海岸線の東西方向からの傾きをモデル化すると、流れの岸に沿う傾向が強くなり、そのため相対的に流速が大きい時に大蛇行流路、小さい時に直進流路となる結果が二三のモデルで共通して得られました (YOON and YASUDA, 1987; SEKINE, 1989; AKITOMO, *et al.*, 1991など)。この結果は、WHITE and McCREARY (1976) の結果と正反対であり、黒潮のモデル化の際に重要な要因を無視すると、異なる結果が得られることが判明しました。また、日本南岸の海底地形効果を現実に近い形でモデル化すると、陸棚斜面の地形効果で流れの岸に沿う傾向がさらに強まり、大蛇行流路の形成には岸に沿う特性を振り切って離岸する、大きな流速 (慣性効果) が必要であり、黒潮の流れが大きい時大蛇行流路、小さい時に直進流路となる結果が得られました (SEKINE, 1990)。しかし、非線形効果による多重平衡問題などを含む黒潮流路選択の流量依存性については、直接測流による明確な実証がなされておらず、はっきりした問題の決着は今後の観測

*1995年6月5日日仏会館 (東京) で講演

**Conférence à la remise du Prix de la Société franco-japonaise d'océanographie

結果の蓄積を待たねばなりません。

別の面で私が注目したのは、黒潮の直進流路から大蛇行流路への移行が、共通して九州南東沖に発生した小蛇行が東進し、紀伊半島の南で蛇行が急に増幅されて生じることであり、反対に大蛇行流路から直進流路への移行は、大蛇行部分が伊豆海嶺の東側に移動した後、急速に蛇行の振幅が減少して消滅することです。この大蛇行流路の形成と消滅の過程は過去の数回の全観測でほぼ共通し、『何故共通したパターンで行われるのか?』という点に黒潮流路の変動特性の一つの鍵があるように思えます。

そこで、まず大蛇行流路の形成過程を調べました。特に九州沖は、海岸線が南北でまた陸棚斜面もあるため、流れの岸に沿う傾向が強いという数値モデルの結果から、九州沖小蛇行のような現象は定常状態ではありえず、小蛇行形成は流れによる慣性効果ではないかという視点から、流速の変化をG E Kデータを用いて解析しました。その結果、1965年～1977年間のG E K流速では、九州南東沖の小蛇行発生期に、トカラ海峡より流出する黒潮流速の急激な増加があることがわかりました (SEKINE and TOBA, 1981a)。この結果を簡単に模式化した数値モデル実験により、流速増加による慣性効果で通常九州東岸に沿って北上する黒潮が、そのまま東に流れて離岸し、流れがより水深の大きい沖側に移動することで、ポテンシャル渦度の保存から水柱のストレッチングが生じ、低気圧渦(種ヶ島冷水)を伴う小蛇行が生じることが示されました (SEKINE and TOBA, 1981b)。

九州沖の小蛇行は、冬から春にかけてほぼ毎年発生しますが、その大半は消滅し、大蛇行に発展するのはわずかです。そこで大蛇行流路に発展するものと、消滅するものの流路の時間変化の違いを調べたところ、大蛇行に発展するものは、紀伊半島沖の平坦な海域まで東進しますが、消滅する小蛇行は、九州沖の陸棚斜面上に停滞することがわかりました。九州東岸の陸棚斜面上では、流れが地形効果で安定化されるのに対し、紀伊半島南の平坦な海域では、陸棚斜面の安定化効果が働かず流れが不安定になる可能性が示されました (関根, 1992)。

大蛇行流路から直進流路への移行は、前にも述べたように、大蛇行が伊豆海嶺の東側に移動し、大蛇行が消滅して起こります。大冷水塊の深層に流れがあると、伊豆海嶺の海底地形の影響で伊豆海嶺を越えて東側に移動することはできません。1977年11月の黒潮大冷水塊の等密度線の観測値では、深層にも水平勾配(圧力傾度)があり、流れの存在が示され (ISHII *et al.*, 1983)、大蛇行の

伊豆海嶺東への移行には、伊豆海嶺の地形効果が顕著である可能性が示されました。これに関連して、大冷水塊内部の水溫構造の時間変化を調べ、大冷水塊は晩春から夏にかけて冷水域が水平方向に広がる強化過程、秋から次の春にかけて冷水域が小さくなる減衰過程を季節変動として繰り返すことが示されました (SEKINE *et al.*, 1985)。さらに、晩春から夏にかけて強化過程が生じない場合、大冷水塊は下層の流れが小さくなり、伊豆海嶺の東側に移動して消滅することが示されました。

伊豆海嶺の東側でのみ黒潮大蛇行が消滅する、という理由も黒潮流路の力学では重要です。これについて、大冷水塊に相当する低気圧渦の時間変化を、伊豆海嶺の東側と西側において比較しました。その結果、海嶺の西に置かれた低気圧渦は、東に置かれたものよりも短期間で消滅することがわかりました (SEKINE, 1989)。つまり、大冷水塊程度の空間スケールと流速を持つ低気圧渦では、惑星 β 効果が卓越して西に進み、海嶺の西側に置かれた渦は西進しても西に空間があり、低気圧渦に大きな変化は生じないのに対し、東側に置かれた渦は、西進すると海嶺の浅い方向に乗り上げて、低気圧渦が顕著に減衰することが示されました。さらに、大蛇行のような一般流を伴う低気圧渦では、海嶺の西側では一般流が南東に曲げられ、東側では北東方向に曲げられて南北に近い流れとなり、結果的に海嶺の東側で低気圧渦が速く消滅することが明らかになりました (SEKINE, 1993)。

黒潮の観測では、三重大学の練習船『勢水丸』を用いて、伊豆海嶺上や四国の室戸岬沖の海底地形『土佐礫』、第二紀南海山や駒橋第二海山の直上およびその周辺でCTDによる水溫塩分やADCPによる流速の観測を行い、黒潮に及ぼす海底地形効果などを調べております。とりわけ『土佐礫』の周辺では、海山上の速度分布や水溫塩分構造が、観測ごとに大きく異なる場合があることや、顕著な水溫の微細構造が存在することを観測しております (SEKINE *et al.*, 1994)。

最後になりましたが、大学院までの長期間海洋研究を自由に行う機会を与えてくれた両親、海洋物理の論文作成などをはじめとして、多くの面でご指導をいただいた鳥羽良明教授、研究開始の基本的な所でいろいろとお世話になった杉本隆成教授に深く感謝します。また、研究を進める上で、大変多くの皆様に激励や適切な助言をいただきました。特に東北大学理学部の海洋物理学講座の先輩、同輩、後輩の方々には、公私にわたりいろいろとお世話になりました。この場をお借りして御礼を申し上げます。御静聴どうもありがとうございます。

文 献

- AKITOMO, K., T. AWAJI and N. IMASATO (1991): Kuroshio path variation south of Japan. I Barotropic inflow-outflow model. *J. Geophys. Res.*, **96**, 2549-2560.
- ISHII, H., Y. SEKINE and Y. TOBA (1983): Hydrostatic structure of the Kuroshio large meander-cold water mass region down to the deeper layers of the ocean. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **39**, 240-250.
- ROBINSON, A. R. and B. TAFT (1972): A numerical experiment for the path of the Kuroshio. *J. Mar. Res.*, **30**, 65-101.
- SEKINE, Y. and Y. TOBA (1980): A numerical study on path of the Kuroshio with reference to generation of the small meanders southeast of Kyushu. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser.*, **5**, Geophys., **27**, 39-55.
- SEKINE, Y. and Y. TOBA (1981a): Velocity variation of the Kuroshio during formation of the small meander south of Kyushu. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **37**, 87-93.
- SEKINE, Y. and Y. TOBA (1981b): A numerical study on the generation of the small meander path of the Kuroshio off southern Kyushu. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **37**, 234-242.
- SEKINE, Y., H. ISHII and Y. TOBA (1985): Spin-up and spin-down processes of the large cold water mass of the Kuroshio south of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 207-212.
- SEKINE, Y. (1988): Coastal and bottom topographic effects on the path dynamics of the western boundary current with special reference to the Kuroshio south of Japan. *La mer*, **26**, 99-114.
- SEKINE, Y. (1989): Topographic effect of a marine ridge on the spin-down of a cyclonic eddy. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **45**, 190-203.
- SEKINE, Y. (1990): A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio with reference to the formation of the large meander path south of Japan. *Deep-Sea Res.*, **37**, 359-380.
- 関根義彦, (1992): 日本南岸の黒潮大蛇行の発生の兆候について. *水産海洋研究*, **56**, 13-22.
- SEKINE, Y. (1993): Topographic effect of a marine ridge on the spin-down of a cyclonic eddy with mean flow. *J. Oceanogr.*, **49**, 593-606.
- SEKINE, Y., H. OHWAKI and M. NAKAGAWA (1994): Observation of oceanic structure around Tosa-Bae southeast of Shikoku. *J. Oceanogr.*, **50**, 543-558.
- WHITE W.B. and J. P. MCCREARY (1976): The Kuroshio meander and its relationship to the large-scale ocean circulation. *Deep-Sea Res.*, **23**, 33-47.
- YOON J. H. and I. YASUDA (1987): Dynamics of the Kuroshio large meander. Two-layer model. *J. Phys. Oceanogr.*, **17**, 66-81.
- SEKINE, Y., and M. ZHANG (1995a): A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan. Part 1. Coastal topographic effect. *La mer*, **33**, 63-75.
- SEKINE, Y., and M. ZHANG (1995b): A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan. Part 2. Bottom topographic effect. *La mer*, **33**, 77-87.