

氏名・(本籍)	せき 関	ね 根	よし 義	ひこ 彦
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理博第	761	号	
学位授与年月日	昭和57年3月25日			
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当			
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 地球物理学専攻			
学位論文題目	A Study on the Generation of the Small Meander of the Kuroshio off Kyushu and the Process of its Evolution to the Large Meander (九州沖の黒潮小蛇行の発生とその大蛇行への移行過程の研究)			
論文審査委員	(主査) 教授 鳥羽良明			
			教授 近藤純正	
			教授 田中正之	
			教授 上山弘	

論 文 目 次

Abstract

1. Introduction

1-1. Bimodal path of the Kuroshio

1-2. Observational features of the formation process of the Kuroshio large meander

1-3. Scope of the present thesis

2. Evidence from analyses of the observational data for the formation periods of small meander

2-1. Introductory remarks

- 2 – 2. Variation in current velocity during the formation process of small meanders
- 2 – 3. Summary
- 3. A numerical experiment on the generation of small meanders
 - 3 – 1. Introductory remarks
 - 3 – 2. Dynamical model
 - 3 – 3. Topographic effect and planetary β effect
 - 3 – 4. Effect of density stratification
 - 3 – 5. Summary
- 4. Evolution process of small meanders into large meander south of Kii Channel
 - 4 – 1. Introductory remarks
 - 4 – 2. A linearized stability analysis of the small meander path off Shikoku
 - 4 – 3. A numerical experiment for the evolution process into the large meander
 - 4 – 4. Verification by observational evidence
 - 4 – 5. Summary
- 5. Conclusion
- Acknowledgements
- Appendices 1 – 2
- References

論文内容要旨

本論文は、九州沖の黒潮小蛇行の発生とその大蛇行への移行の力学過程を、流速、水温データの解析と数値モデル実験によって考察したものである。

第1章では序論として、まず前半で日本南岸の黒潮流路の力学的研究の経過を主として大蛇行に注目してレビューし、後半では、大蛇行の形成過程に重点を置き本研究がなされた背景を述べた。その中で特に、黒潮流路を支配する重要なパラメータである流量の変動では季節変動の成分が経年変動成分よりも著しく、従来の定常蛇行論 (Robinson and Taft 1972, White and McCreary, 1976 など) では黒潮流路の変動を記述できない可能性を指摘した。黒潮大蛇行は毎年冬から春にかけて九州沖で発生する小蛇行が東進し、そのうちの少数が紀伊水道沖で蛇行振幅が大きくなって形成される。したがって、九州沖の小蛇行の発生から大蛇行する一連の非定常過程を調べることが黒潮流路の力学を理解する上で必要になる。しかし、今までに提出された Fukuoka (1960), Moriyasu (1961) の小蛇行発生論では、前者は順圧モデルを仮定している点、後者は風の応力による流路の離岸距離の定量性に問題があり、いずれも十分なものは考えられない。小蛇行から大蛇行への移行の過程の研究では、Nitani (1977) が資料解析から調べているのみで力学的考察はほとんどなされていない。

本研究はこのような研究の経過を踏まえ、かつ直進流路から大蛇行流路への移行の過程を詳細に調べることにより定常蛇行論の枠を越えた新しい黒潮流路の力学へのアプローチを提起したものである。そして主たる結論として、九州沖の小蛇行の発生は流速の急速な増加による非線形効果によること、大蛇行への移行は流路が傾圧不安定が関係しているとみられることを明らかにした。

第2章では、九州沖小蛇行の発生時期の流速変動に関する資料解析について述べた。用いた資料は日本海洋資料センターより提供された過去15年間の GEK 流速である。流速の変動に注目した理由は、予備的に行なった小蛇行発生域での黒潮流路の力学的考察 (Sekine and Toba, 1980) により、流路は陸岸境界に沿う陸棚斜面上を流れるのが安定で、小蛇行は非定常状態のみ存在しうることが示されたためである。資料解析から次の三点が結論づけられた。

1. 小蛇行の発生期には屋久島の南で黒潮流速が急激に増加する。ちなみに、小蛇行発生期の平均流速 70.1 cm s^{-1} に対して、小蛇行が存在しない時のそれは 41.0 cm s^{-1} である。
2. 流速の増加は小蛇行発生域の上流(屋久島南方)と下流(四国沖)で同時に生じるのではなく、上流の流速増加が下流に対して約1ヶ月近く先行している。
3. 屋久島南方での鉛直温度断面を小蛇行期とそれ以外の期間とで平均して比較すると、前者の方が等温線が深い所にあり、流軸域での傾きも大きい。GEK 流速の増加と合わせて、小蛇

行発生期には、黒潮流量も増加している。

以上の結論と、Sekine and Toba (1980) の指摘により、九州沖の黒潮小蛇行が流速増加による非線形効果に起因していることが示唆された。

第3章では、流速の増加が準定常流路に及ぼす影響を数値実験によって議論した。使用した数値モデルは、四国海盆の西半分を簡単な形に模式化した2層モデルである。基本方程式は静水圧、 β 平面、Rigid lid、ブシネ近似を仮定したナビエストークスの式、および連続の式である。一定流出入20Sv ($1 \text{ Sv} = 10^{12} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$) を与えた場合の準定常解を初期条件とし、流量を30Svまで一定の割合で増加させた。同様な実験をパラメータの異なる次の四つのケースについて行なった。Case I (順圧モデル)、Case II (順圧モデルで海底を平坦としたもの)、Case III (成層の弱い2層モデル、 $\Delta\rho = 2.0 \times 10^{-13} \text{ g cm}^{-3}$)、および Case IV (成層の強い2層モデル、 $\Delta\rho = 3.0 \times 10^{-13} \text{ g cm}^{-3}$) である。各々の結果を以下に示す。

Case I では f/D (f はコリオリのパラメータ、 D は水深) の等値線に沿う準定常流路はきわめて安定で、流量を増加させても流れのパターンに大きな変化は生じない。反対に、Case II では準定常流路は沖側に著しくシフトする。これは流量増加により非線形項が惑星 β 項に対して卓越するためである。Case III では流路が沖側にややシフトするもののその度合いは Case IV と比較して小さい。Case IV では、観測される黒潮小蛇行をよく表現した数値解が得られた。すなわち、流路が陸棚斜面を離岸するに伴い、流路の陸側に冷水渦の構造を持つ環流が形成される。これは上層の流れが離岸した時に、陸棚斜面と境界面とのカップリングにより下層に正の渦度が生じるためである。この冷水渦は小蛇行発生期に観測される種子島冷水に相当するものと考えられる。以上に述べた四つの Case の数値実験結果を総合して、流量の増加による非線形効果は九州沖の黒潮小蛇行の原因となりうるということが結論づけられた。

第4章では小蛇行から紀伊半島沖の大蛇行への移行の過程に関する研究を述べた。前にも述べた通り、九州沖の小蛇行はほぼ毎年発生するがその多くは消滅し、大蛇行に移行するものは比較的少ない。本研究では大蛇行に移行する場合と消滅する場合の小蛇行流路の時間変動の差異に注目した。九州東岸の陸棚上では両者の間に大きな違いはないが、四国東部から紀伊水道沖の平坦な海域で蛇行の振幅に大きな違いが生じることが過去の資料解析から示される (Nitani, 1977)。蛇行の増幅は流路が不安定を起こすためであり、陸棚斜面の有無が流路の安定性に及ぼす効果がまず問題になる。そこで、この効果を準地衡流近似下の一様流に関して調べた。その結果、平坦な海底の場合ほぼ数十km以上の波長を持つ擾乱に対して流路が不安定になるのに対し、陸棚斜面上では一部の単波長域を除いて不安定領域がなくなり、全体として流路が大きく安定化されることが示された。

次に、同じ問題をより現実に近い状態で考察するため、数値モデル実験を行なった。数値モ

デルは日本南岸の海底地形を模式化して与えた2層モデルである。初期値として発達および消滅する二つの小蛇行流路の特徴、すなわち、四国東部沖で離岸している流路 (Case I) と九州沖でのみ離岸している流路 (Case II) の二つの場合について、その後の時間変化を調べた。その結果、Case I では初期流路は安定に存在することができず、その不安定波が大蛇行を形成した。反対に Case II では、初期流路は目立った不安定波を生じることなく15日前後で陸棚に沿って準定常解に移行した。Case I の大蛇行のパターンはその後ゆっくりと西進し、約120日位で準定常解に落ち着いた。この時間スケールは1950年、1969年に観測された大蛇行の継続時間とほぼ一致している。1959年、1975年に発生し数年の継続時間を持つ定常大蛇行には形成されるメカニズムとは別の維持機構が必要であることが Case I の結果より推論される。維持機構の有無によって、今まで全く理解されていなかった2種類の大蛇行の継続時間の存在に対するひとつの解釈が与えられたことになるが、維持機構の詳細については今後の課題として残したい。

4章の最後では、大蛇行に移行する小蛇行と移行しない小蛇行について、本研究での力学的考察と観測データとの対応について簡単に触れた。結論を要約するならば、黒潮小蛇行の発達の度合いを決めるものは流量増加の大小と密度成層の強弱であり、結果的に流路が四国海盆の平坦な所まで東進できるならば不安定を生じて大蛇行に移行することが可能になる。そこで、流量と密度成層の二つに関して、その大小を小蛇行の発達と消滅に照らして調べた。データが少なく詳細な比較は無理であるが、大蛇行が形成された年には流量がきわめて大きいことが水平温度分布、地衡流計算 (Fukuoka, 1960)、九州以南の潮位差 (Kawabe, 1980) によって示されている。密度成層については、鉛直方向の温度勾配を指標にしたが、大蛇行が形成された年は表面水温が高く、そのため他の年と比較して鉛直温度勾配にも有意な差が認められた。以上二つの指摘は本論の力学的考察の結論を観測データから裏づけるものである。

本研究では黒潮の直進流路から大蛇行流路への移行過程を詳しく考察したが、そこで得られた結論は流路の力学における非定常過程の重要性を強く示すものである。今後、黒潮流路の力学において、経年変動のみならず、季節変動を含むより短周期の現象を考慮する必要があることを主張する。

論文審査の結果の要旨

黒潮は本州の南を流れているが、その流路に2つの型がある。ひとつは本州南岸にそってまっすぐ東進する型で、いまひとつは、遠州灘沖に大きな冷水塊を生じてその囲りを蛇行して流れる型である。この後者の現象を黒潮大蛇行と呼び、数年の時間スケールで、2つの型が交替するが、その周期に規則性がない。この黒潮大蛇行の発生・維持の力学機構は、いまだ明らかでない。

この論文は既存の観測資料の解析と、主として数値モデル実験とによって、黒潮大蛇行の発生に至る過程を論じ、いくつかの新知見を見いだしたものである。そのさい、現象としては大蛇行生成に先だつて九州沖に小蛇行が生ずること、それが東進して大蛇行に発展する場合と発展しない場合とがあることに着目し、小蛇行発生の機構と、小蛇行から大蛇行への発展の機構とに分けてこれを追求した。

小蛇行の発生については、先に参考論文による数値的研究によって得た、九州沖の黒潮流路は非定常過程でのみ小蛇行が存在するという結果をふまえ、まず、過去15年間の電磁流速計(GEK)資料を解析して、小蛇行の発生は、屋久島の上流から流速(流量)が増加してくるときに生ずることを確かめ、次に数値実験によってこのことを検証した。特にこの数値実験では、rigid lidの2層流入モデルではあるが、上流からの非定常の流量増加の効果を現出することにはじめて成功しており、成層の強いときに蛇行形成が著しく、上層の流れの離岸に伴って陸側に冷水渦が生ずることをも示し、流量の増加による非線形効果が黒潮小蛇行の原因となることを結論づけた。

ついで小蛇行から大蛇行への発展について、流量増加による非線形性が強くてこの小蛇行が東進して四国海盆の海底の平坦な海域まで移動した場合に、傾圧不安定によって大蛇行に似た蛇行に発展しうることを数値実験によって示した。しかしこの数値実験では、この大蛇行の構造が安定した黒潮大蛇行の鉛直構造と必ずしも一致せず、蛇行は約120日の時間スケールで消滅した。このことは、安定な大蛇行にはそれを維持する機構が別に存在しなければならないことを示唆している。

これを要するに、本論文は、本州南方の黒潮大蛇行の生成の力学に関して、一段階の着実なアプローチを果たしたもので、申請者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。

よって関根義彦提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。