

氏名	くろぎまさお 黒木 聖 夫
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2956号
学位授与の日付	平成18年1月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	日本南岸における黒潮流路の多重性に関する研究

論文調査委員 (主査) 助教授 秋友和典 教授 淡路敏之 助教授 林 泰一

論文内容の要旨

日本南岸を流れる黒潮は、貿易風と偏西風によって駆動される北太平洋亜熱帯循環の西岸境界流である。この海流は、日本南岸に沿った流路（以後、直進路と呼ぶ）と紀伊半島から遠州灘の沖合で大きく南に離岸する流路（以後、蛇行路と呼ぶ）を持ち、これらの流路が数年から十年の時間スケールで変動を繰り返すという、世界に類を見ない特徴を示す。従来、黒潮の流速（あるいはそれをもたらす風応力強度）がこの流路の多重性と変動に支配的な要因であると考えられてきたが、本論文は、新たに北太平洋亜熱帯循環域の風応力分布と成層構造が果たす役割に注目し、2層プリミティブモデルによる数値実験を行なうことで、それらの重要性を示した。

実験では、まず、14種類の風応力分布それぞれに対して、安定流路の風応力強度に対する依存性を調べ、最大で4種類の安定流路（2種類の直進路と2種類の蛇行路）を多重解として確認した。また、それらの現れ方には、風応力分布の違いによって、①直進路と蛇行路がともに存在する場合、②主に蛇行路が存在する場合、そして③直進路だけが存在する場合の3つがあることを明らかにした。実験結果の詳細な解析から、日本南岸の東西端（房総半島沖と九州南方）での圧力差 Δp は北太平洋上の風応力分布によって決定され、上の③、①、②の順に Δp が大きいこと、および日本南岸に沿う圧力の降下は直進路の場合に大きく蛇行路の場合に小さいことを発見し、それに基づいて、先の3つの場合が現れる理由を以下のように説明した。まず、風応力分布によって決定される Δp がある閾値より小さいと、日本南岸で小さな圧力降下しか生まない蛇行路は存在できるが、大きな圧力降下を伴う直進路は存在できない（②の場合）。 Δp が別のより大きい閾値を超えると、逆に、直進路は存在できるが、蛇行路が存在できなくなる（③の場合）。そして、 Δp が2つの閾値の間にあるときには、両者がともに存在できる（①の場合）。また、得られた結果を現実の風応力分布に適用し、蛇行路と接岸路の両方が可能な①の場合にあたることを示した。

次に、成層構造（上層の厚さと上下層の密度差）の異なる4種類の実験を現実的な風応力分布のもとで行ない、蛇行路の安定性（蛇行路の存在する風応力強度の上限）が成層構造によって大きく変化することを見出した。この変化の主な原因は上層の厚さが流れに沿って変化することに起因する地形性 β 効果 (β^*) にあり、上層の厚さ変化は上層の流れ（黒潮）の局所的な加・減速と上層の流れに平行でない下層の流れによって引き起こされることを、実験結果の詳細な解析から明らかにした。定在ロスビー波としての蛇行路は、その波長 λ が日本南岸の東西幅より小さい（大きい）ときに存在できる（できない）と考えられ、従来、 λ は黒潮の流速 U と惑星渦度の緯度変化率 β （惑星 β 効果）を用いて $\lambda \sim 2\pi (U/\beta)^{1/2}$ と評価されてきた。しかし、この評価式は、地形性 β 効果を考慮することで $\lambda \sim 2\pi (U/(\beta + \beta^*))^{1/2}$ と修正されることを指摘し、これを用いれば、成層が弱いほどより大きな流速（風応力強度）で蛇行路が存在するという実験結果を無理なく説明できることを示した。

最後に、成層の強化が関係したと見られる事例を上で得られた結果をもとに議論した。黒潮の流路は1990年頃を境にして蛇行路が頻繁に現れる期間から直進路だけが現れる期間に移行したが、この間、平均的流量には顕著な変化が見られなかつ

た。1980年代なかばに起こった表層の水温上昇による成層の強化が、蛇行路の存在できる流速（風応力強度）の上限を下げることでこの変化を生んだ可能性を指摘した。

論文審査の結果の要旨

日本南岸を流れる黒潮がいわゆる直進路と蛇行路の二様性を示すことは1930年代にはじめて報告され、以後、両流路間の遷移が数年から十年の時間スケールで繰り返し生じていることが知られている。その実態の把握とメカニズムに関する本格的な研究は1970年前後から始まり現在に至っている。この間、蛇行路を西向きと東向きの流れがバランスする定在ロスビー波とみなせることが観測から指摘され、直進路と蛇行路の両方が日本南岸において安定であること（流路の多重性）が理論・実験的に予測された。また、各流路の安定性が黒潮流速の大きさに対して異なる依存性をもつため、流速の大小が流路を決定する重要な要因であるとされた。このため、これまででは、おもに流速（あるいはそれをもたらす風応力強度）との関係に注目して、流路の変動メカニズムが議論されてきた。しかし、過去の流路変動は必ずしも流速の大小だけで説明できないことから、申請者は、新たに北太平洋亜熱帯海域での風応力分布と成層構造とに注目し、海洋を2層で近似した数値モデル実験を行うことで、それらが黒潮流路の多重性と変動に与える影響を検討した。その結果、本論文は風応力分布や成層構造が日本南岸における黒潮流路の多重性や変動を支配する主要な要因であり得ることを示す新たな重要な成果を得た。

風応力分布に注目した実験では、多様な分布に対する実験結果を詳細に解析することで、風応力分布の違いが日本南岸の東西端での圧力差を変化させ、それに適した流路だけが安定に存在できることを示すと同時に、現実の風応力分布では、蛇行路と直進路の両方が安定な流路として日本南岸に存在できることを指摘した。黒潮流路の多重性についての従来の議論は、そのほとんどが日本南岸に領域を限定した流入流出モデルに基づくものであったのに対して、本論文は、流れを駆動する亜熱帯領域全体の風応力分布に注目し、それがどのようにして流路の安定性を決定し、また流路の多重性を生むのかという根源的な問題に対して初めての解答を与えたと言え、高く評価できる。

また、海洋の密度成層構造が蛇行路の存在に強く影響することも明らかにした。特に、密度成層の強度（上下層の密度差 $\Delta\rho$ ）が弱まると、蛇行路がより大きな流速（風応力強度）で存在するという結果は注目される。流れに沿った上層の厚さが $\Delta\rho$ の減少に伴って大きく変化するようになるため、惑星渦度の緯度変化率 β （惑星 β 効果）と同じ働きをする地形性 β 効果（ β^* ）が生じる。このことが原因で蛇行路の安定性が成層強度に依存して変化することを示し、定在ロスビー波としての蛇行路の波長 λ に対する従来の評価式 $\lambda \sim 2\pi (U/\beta)^{1/2}$ は $\lambda \sim 2\pi (U/(\beta+\beta^*))^{1/2}$ と修正されなければならないという重要な結論を導いた。さらに、現実の海洋においても、1990年頃を境とした卓越流路の変化が1980年代後半からの成層強化によって生じた可能性を指摘した。その正否を判断するには更なる検討が必要であるが、これは現実の流路変動に対する成層構造の重要性を強く示唆する指摘であり、このような観点からの研究の必要性を初めて提起したものとして、その意義は大きい。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。