

審査の結果の要旨

氏名 北 祐樹

本論文は 5 章からなる。第 1 章は Introduction、第 2 章は Development of waves under explosive cyclones、第 3 章は Atmosphere-Ocean-Wave Coupled Model、第 4 章は Ocean Wave Effects on the Development of the Explosive Cyclone、第 5 章は Conclusions となる。

本研究の目的は、爆弾低気圧の発達に対する波浪の影響を明らかにすることである。台風とは異なる爆弾低気圧下の波浪の特徴を抽出し、そして、大気海洋波浪結合モデルにより、波浪が大気境界層及び海洋混合層の形成にどのように影響し、その結果として、爆弾低気圧の発達がどのように変わりうるかを明らかにする。

第 1 章では、本研究の意義と既存研究のレビュー、および課題の整理を行った。台風との対比により爆弾低気圧下の大気と波浪場の特徴を抽出している。また、着目する物理プロセスとして、波浪から大気へのフィードバックとしての摩擦係数や抵抗係数の変化、それから、海洋混合を促進する砕波によらない波浪混合について説明している。

第 2 章では、爆弾低気圧下の波浪について、日本近海の 21 年間の再解析波浪データの解析を行った。台風と異なり前線があるため、波浪の分布はより複雑になっていることがコンポジット解析から判った。コンポジット解析では、約 100 の爆弾低気圧をトラッキングすることにより進行方向で定まる座標系での平均場を求めた。その結果、寒冷前線の後方、それから、温暖前線の寒気側に波浪が高く、また、方向スペクトルが狭い波浪場があることが判った。これらの海域では外洋で突発的に発生するフリーク波の発生確率が高いことが想定される。また、波浪の発達は台風とは大きく異なり、低気圧が最も発達した時点から 12 時間ほど遅れて最大となることが判った。これは、爆弾低気圧の進行速度が台風よりも速いからである。

第 3 章では、構築した大気海洋波浪結合モデルの説明を行っている。領域は北大西洋（北緯 24 度から 50 度、西経 85 度から 45 度）、解像度は大気モデルが 0.08 度、海洋が 1/18 度、波浪が 0.075 度の結合モデルを構築した。本研究で開発した結合モデルの特徴としては、大気境界層の摩擦速度の計算にうねりの影響を考慮する項を追加したこと、波浪による砕波によらない海洋混合過程を導入したことがあげられる。そして、多数の感度実験を設計した。大気波浪結合モデル、波浪海洋結合モデル、大気海洋結合モデル、そして、波浪から大気への影響を無くした大気海洋波浪結合モデルなどを比較する感度実験を行うこととした。

第4章では、大気海洋波浪結合モデルを用いて、2018年1月に大西洋で発生した爆弾低気圧のシミュレーションを行った。中心最低気圧が950hPaまで発達し、アメリカ東部の広範囲に暴風雪を引き起こしている。はじめに、波浪場と大気場について米国国立データバイセンターによる観測値と比較した。風速、海面気圧、有義波高ともにおおむね一致していることから、本モデルの妥当性が検証された。次に、水温・塩分の鉛直分布を全世界中層フロート観測網であるArgoフロートの観測データと比較した。モデルからは波浪による混合過程を入れることで、混合層が深化することが判った。そして、メキシコ湾流北側の水温逆転層が再現されていることを確認した。次に、波浪が大気に及ぼす影響を大気単体モデルと大気波浪結合モデルの比較で検討した。その結果、波浪が海表面の摩擦速度と粗度を増加させることを明らかにした。それにより、海面熱フラックスが上昇し、低気圧の発達が強化され、海面気圧が低下することが判った。次に、海洋単体モデルと波浪海洋結合モデルの比較を行った。波浪により海洋混合層は深化し、海面水温（SST）が変化することが判った。そして大気海洋波浪結合モデルの海洋を介した大気への影響を検討から、海洋混合の影響は、メキシコ湾流北側では逆転層の暖水の湧昇によりSSTを増加させ、爆弾低気圧の発達をさらに促進させることを明らかにした。

第5章では、全体の結論を述べている。爆弾低気圧の発達の予測精度を上げるためには波浪の結合が重要である。爆弾低気圧への波浪影響は、海洋大気間の熱フラックスの変化を介してメソスケールの大気循環を変えうる。そして、メキシコ湾流を離れ北側に伝搬した爆弾低気圧が、温度逆転層の暖水が湧昇することと、低気圧の発達から遅れて増大する波浪の影響との相乗効果により発達し続けるという現象は、これまで示されたことの無い北西大西洋の爆弾低気圧特有の現象である可能性が考えられる。以上、爆弾低気圧の発達への波浪影響を明らかにしたことで、本研究の目的は達成されたと言える。

本研究で得られた知見は、台風とは異なる爆弾低気圧下の波浪場の特徴を明らかにするだけでなく、大気海洋波浪結合過程の中での波浪の役割を明確に示した点が画期的である。

第2章の内容は、Ocean Dynamicsにて早稲田とWebbとの共著論文として発表されている。いずれも、北祐樹が主体的に行った研究である。

よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1986 字