

論文の内容の要旨

論文題目 Studies on Tropical Cyclone Influences on Climate and Environment
 (熱帯低気圧が気候および環境場に与える影響に関する研究)

氏名 荒金 匠

気候場や環境場が熱帯低気圧（以下、台風と表記）の発生、発達、経路等に与える影響はよく知られている。一方、台風が気候場や環境場に与える寄与や影響に関する報告は多くない。台風が気候場や環境場に与える影響としては、台風の遠隔影響による大規模場の変調や、台風渦自身がその場に与える台風の痕跡が考えられる。

台風が環境場に与える遠隔影響として、近年Downstream Impactと呼ばれる、台風の下流における新たな低気圧や極端気象の発生が報告されている。この現象は台風が中緯度傾圧帯に進入し上層の流れを変調することにより発生する。北西太平洋（以下、WNPと表記）の傾圧帯に進入した台風が北米大陸における極端気象を引き起こす等、WNP、北大西洋、南インド洋海上でのDownstream Impactの報告がされている。しかしながら、陸上において台風による上層の流れの変調が生じた報告は少ない。異なる海盆間において台風による遠隔影響による新たな低気圧や極端気象の発生の可能性を調査することは、遠隔影響における地形の効果等の評価のために重要である。

一方、長期時間平均やローパスフィルタリングにより定義される気候場への台風の寄与に関し、Hsu et al. (2008, 以下H08) は、再解析データと再解析データから台風を除去したデータを比較することにより、WNPの気候システムにおける台風の痕跡を推定した。H08は季節内変動 (ISV) から長期時間平均で現れる気候場までマルチスケールの気候特性に台風が大きく寄与していること、さらに台風の摂動は非常に極端なため、単純な時間平均やローパスフィルタリングでは元のデータから完全に除去できないことを示した。したがって分散や

時間平均等で示される気候場の推定値にはかなりの台風の痕跡が含まれるが、気候研究では大規模な力学のみが考慮され、これら台風の痕跡の寄与は言及されることが少ない。しかし台風による気候場への寄与の理解は、気候場の変動の理解のために重要である。この台風の痕跡の推定の際、H08は空間フィルタリングにより台風に伴う風を除去した。このため彼らの解析の対象は主に下層の風速場と渦度場に関するものに限定された。また空間フィルタリングの適用により、台風が除去された風速場での力学的なバランスは保証されていない。したがって、台風の痕跡の3次元的な構造や、風速場と渦度場以外の場において台風の痕跡がどのように表現されるかについては調査されていない。

このような動機から、本研究では、台風が気候場や環境場に与える影響を評価することを目的とし、陸地における台風による遠隔影響を事例解析により調査し、さらに新たな手法を用いて3次元的に力学的バランスした台風渦を除去したデータを解析することにより気候場に現れる台風の痕跡を調査した。

第2章では2017年に生じた台湾北部での豪雨事例を解析した。台湾北部に生じる豪雨事例は台風に関連するものがほとんどであるが、この豪雨事例は前線性の降水によって引き起こされた。この現象を理解するため、標準実験及びベンガル湾に存在する台風を除去した感度実験の2つのハインドキャスト実験を行い、このベンガル湾台風によって引き起こされた集中豪雨の発生メカニズムを特定した。対照実験の解析の結果、このベンガル湾台風は台湾へ向かう南シナ海の下層境界層ジェットを強化し、水蒸気を多く含む気塊を台湾北部へ流入させる。また上層トラフの変調によって、台湾へ向かう上層起源の下降する北風も強化する。これらの暖湿な南風と冷乾な北風が合流し、変形・発散過程を経て強い傾圧帯（前線）が形成された。さらに前線の位置は結果として台湾北部に向かってさらに南下した。この結果、台湾北部で過去数十年に経験したことのない前線性の豪雨が引き起こされた。このようにこのベンガル湾台風は、下層と上層の流れを変調することによって台湾北部の前線を強化するだけでなく、その位置を台湾上空に南下させたが、上層の流れの変調だけではなく下層の境界層ジェットの強化も重要であった点は、上層の流れの変調のみで説明される従来のDownstream Impactとは異なる。さらに先行研究で報告されている下流域の発達には海洋上で発生したのに対し、本件の上層の流れの変調は陸上で発生したものである。ベンガル湾の台風が東アジアの降水に及ぼす遠隔効果が共通のプロセスであ

るかどうかは、さらなる調査が必要である。もし共通しているのであれば、数値モデルを用いた台風と東アジアの降水との関係、特に上層の流れの変調に対する地形の影響を調べることは、海上で生じるDownstream Impactの調査と同様に重要であると考えられる。

第3章では、WNPにおける2004年夏季の台風渦を除去したデータセットを作成し、元のデータと台風を除去したデータの解析結果を比較することで、台風による気候場への効果を調査した。風速場を台風成分と非台風成分に分離する方法はいくつかの先行研究で示されているが、本研究では力学的バランスの観点からPotential Vorticity Inversion (PVI) を用いて、客観的に風速場だけでなく質量場や温度場についても台風成分を除去する方法を確立した。従来の手法では、台風を除去した渦度場は非現実的な分布を示したが、PVIによる台風を除去した渦度場は合理的であった。これは導入したPV偏差の台風成分と非台風成分への分解が適切であったためである。さらに、台風のPV構造に特徴的な対流圏上部と成層圏下部の高気圧性PV偏差の影響についても調べた。PVIを用いた台風研究の多くは台風に起因する高気圧性PV偏差の影響を考慮していないが、今回の結果は高気圧性PV偏差が上層の気温、すなわち暖気核の表現に大きな影響を与えていることを示した。したがって、台風研究においてPVIを適用する際、上層の高気圧性PV偏差の影響を考慮する必要がある。このデータを用いて熱帯WNP上の季節内変動と季節平均場における台風の痕跡を評価した。H08で示されたように、季節内変動と季節平均場における台風の痕跡は無視できないほど大きいことが確認された。PVIで得られた台風の寄与はH08の結果と定性的に一致したが、より大きな寄与を示した。これはH08で用いられた台風除去法が台風渦を過小評価していたのに対し、本研究で用いたPVIでは台風渦を適切に評価していたためであると考えられる。

第3章において2004年夏季に限定した台風除去データを作成したが、第4章では1958年から2019年までのWNPにおける台風除去データを作成し、WNP上の長期気候平均場とマルチスケール変動における台風の痕跡を推定した。その結果、台風は季節内、経年、10年規模の複数の時間スケール、さらに長期的なトレンドにも大きな痕跡を残していることがわかった。長期平均気候場における台風の痕跡が大きいため、台風を除去した際、WNP上の平均循環パターンは強い亜熱帯高気圧と弱いモンスーントラフを持つ状態から、弱い亜熱帯高気圧と強いモンスーントラフを持つ状態へと明確に変化した。この結果は、台風は単に大規模な環境の流れによ

って調整される極端な気象現象というだけでなく、WNPのモンスーンシステムの重要な要素とみなすべきであることを示している。また台風は季節内、経年変動に対して最大70%の寄与を示し、季節内変動の10年規模の変動と台風活動の10年規模の変動が密接に関連していることが示された。台風はPacific-Japanパターンの構造にその痕跡を残し、また10-20日周期で定義されるquasi-biweekly oscillation (QBWO) と20-80日周期で定義される boreal summer intraseasonal oscillation (BSISO) の伝播は、台風除去データを用いた解析では弱化した。BSISOはWNP上の台風発生の重要な要素と考えられているが (Yoshida et al. 2014; Kikuchi 2021)、今回の結果はBSISOの伝播への寄与という観点で、台風はBSISOの重要な構成要素となっている可能性を示唆している。さらに多くの台風が発生した年の気候学的下層渦度場を解析した。特定の地域 (10°N-22.5°N, 142.5°E-160°E) では、台風発生数が増加し、背景下層渦度が強化された。これは台風が多く発生した年には、台風活動がその後の台風発生を引き起こす可能性、もしくは他の地域の台風よりもこの地域の台風の成長率が高い可能性を示唆している。この領域は既に存在している台風によるロスビー波のエネルギー分散によって誘発される台風発生の領域とほぼ一致している (Fudeyasu et al. 2020)。したがってこのロスビー波によってこの領域の背景下層渦度を増強するメカニズムが働いている可能性がある。

本研究で作成された台風除去データでは台風の遠隔影響を解析することはできないため、本研究は台風による遠隔影響と、気候場における台風の痕跡を異なる手段を用いて調査した。遠隔影響を数値モデル実験で調べ、陸地における大規模な場の変調を明らかにした。これは、WNPでの台風の遠隔影響と同様に、ベンガル湾に存在した台風が下流の東アジアの環境場を変調させることを初めて報告したものである。一方、台風を除去したデータを用いて、気候場に存在する台風の痕跡を調査した結果、この台風の痕跡は無視できないほど大きいことが示された。この結果は気候の変動や変化は、低周波の大規模な循環だけでは十分に理解できないことを示唆しており、台風は気候システムの重要な構成要素と考えるべきであることを示唆している。