

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	徐 盟庚
論文題目	Numerical Studies on the Effects of Atmospheric Radiation on the Evolution of Tropical Cyclones (大気放射が台風の発達に及ぼす影響に関する数値的研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>大気放射は、熱帯低気圧 (台風) の発達やその日変化に影響を及ぼす。最近の研究から、台風の構造や強度の時間推移に日変動する特徴が存在することが観測から示されており、大気放射が台風の発達に及ぼす影響を数値モデルにより調べた研究も進められている。しかし、短波放射や長波放射のそれぞれが台風の発達に及ぼす影響やその物理機構には、未解明な点がある。本研究では、非静力学数値気象モデルを用いて、現実が発生した台風を対象とした再現実験ならびに理想化した大気条件の下での数値実験を多数実施することにより、台風の発達に及ぼす大気放射の影響や短波放射・長波放射の日変化の効果を調べた。</p> <p>現実事例の解析では、2019 年台風 Hagibis および 2016 年台風 Lionrock を対象として、短波放射と長波放射の強さやそれら日変化を改変した感度実験を実施した。台風の眼の形成前までは、雲域と晴天域における長波放射による冷却効果の差に起因する地上付近での気圧の差により、雲域へ向かう下層風が強化され、海面からの水蒸気輸送を増加させることで下層大気を湿潤化するという過程が、台風強化に重要であることを示した。長波放射による冷却効果が弱いと、この過程が作用せず、雲域では降水蒸発により下層で冷氣プールが形成され、台風強度は弱くなる。降水蒸発の効果は周囲の相対湿度の高低に依存するため、Hagibis と Lionrock との初期段階での発達の違いにはそれぞれの周囲環境の湿度条件の違いが影響を及ぼしている。台風の眼が形成されると、雲域の上端での放射加熱・冷却による安定度の変化や眼内部での放射加熱による暖気核の強化が、台風の強度に影響を及ぼすようになる。眼の形成前後では台風に伴う雲分布が大きく異なるため、本研究で示した通りに、台風に及ぼす大気放射の影響の表れかたが発達期では大きく変化する。</p> <p>次に、現実の台風に見られる様々な大気変動の影響を除外するため、放射対流平衡の場を基本場とした理想化した条件設定で台風の数値実験を実施した。雲微物理過程のパラメタリゼーションおよび海面水温を変化させた複数の実験を行い、また短波放射を固定した実験を実施した。台風の時間発展を初期形成期・強化期・成熟期の 3 段階に分け、各段階での大気放射とその日変化が台風の発達に及ぼす影響を調べた。対流活動の日変化の影響は、雲微物理過程パラメタリゼーションや海面水温の選択と関係なく、初期形成期および成熟期に明確に表れることを示した。これら日変化の影響は、昼夜で異なる放射加熱・冷却により生じる安定度変化、および雲域と晴天域との間の放射加熱・冷却の違いにより生じる風速場変化が関与している。一方、強化期に日変化の影響が相対的に小さいのは、この段階では大気放射の加熱効果よりも潜熱の加熱効果のほうが顕著になるためであり、雲域での潜熱加熱により下層で気圧が降下し、低圧部中心への気圧傾度力の強まりが台風循環を強化する。さらに、雲域と晴天域との間の放射加熱・冷却の違いの効果は、日変化があることで強化されている。</p> <p>以上の通り、短波放射と長波放射の日変化が、雲域と晴天域との間の加熱差や雲域上端での放射冷却による安定度変化に影響を及ぼすことを介して、台風発達の時間推移に大気放射が影響を及ぼしており、さらに台風の発達段階に応じて大気放射の影響の表れかたが異なるということが明らかとなった。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

台風は最も激しい気象現象の一つであり、台風の発達機構を理解することは、台風の強度予測の精度向上に繋がり、気象学の中心課題の一つである。台風の発達には、大気海洋間の相互作用のみならず、雲頂高度付近での温度変化が影響を及ぼしていることが指摘されている。本研究では、雲頂高度付近での温度変化に係る大気放射に着目し、その台風発達に及ぼす影響について非静力学数値気象モデルを用いた多角的な数値実験により調べた。現実の台風を対象とした再現実験および放射対流平衡場で生起する台風の理想化実験を行い、短波放射や長波放射による加熱・冷却効果とその日変化の影響を解析した。

現実台風として、急速に発達した2019年台風Hagibis、および発達が比較的ゆっくり進行した2016年台風Lionrockというそれぞれ特徴的な発達過程を経た事例を選定し、短波放射や長波放射の強さと日変化を改変した多数の数値実験を行った。その結果、眼の形成前までの段階では、雲域と晴天域での放射冷却の差が重要であり、放射冷却の差が雲域と晴天域との間の気圧差を生じさせ、大気下層での風速や湿度が変化することで、台風の発達に影響を及ぼすことを示した。一方、眼の形成後には、雲頂高度での雲域と眼内部での放射加熱・冷却による安定度変化が台風の発達に影響する。このように、発達期では大気放射の影響の表れかたが大きく変化することを明らかにした。

さらに、現実大気で見られるような様々な変動の影響を除外するため、放射対流平衡場という理想化した大気条件を設定し、長期時間積分を行うことで台風の時間発展の統計的性状を調べた。現実台風の解析で示された大気放射の影響が発達期で大きく変化するという結果に基づき、理想実験において台風の初期形成期・強化期・成熟期という3段階に分けて解析した。日変化の影響は初期形成期と成熟期に明瞭に表れることを示し、昼夜で異なる放射加熱・冷却により生じる安定度変化、および雲域と晴天域との間の放射加熱・冷却の違いが台風の時間発展に影響を及ぼしていることをそのメカニズムとともに明らかにした。一方、強化期には、大気放射の加熱効果よりも潜熱の加熱効果のほうが顕著になるため、放射の日変化の影響は不明瞭である。すなわち、潜熱加熱による雲域下層での気圧降下が、低圧部中心への気圧傾度力を強化し、台風循環を強化させるというメカニズムを明らかにした。さらに、雲域と晴天域との間で生じる放射加熱・冷却効果の違いは、日変化の存在が本質的に重要であることを解明した。

このように本研究では、現実台風の再現実験と理想条件での数値実験を併用し、大気放射を様々に改変した実験を多数行うことで、短波放射と長波放射のそれぞれが台風の発達に及ぼす影響を多角的に調べた。これら一連の数値実験から、雲域と晴天域との間の加熱差や雲域上端での安定度変化が台風の発達に影響を及ぼすこと、その加熱差や安定度変化は短波放射や長波放射の日変化パターンが強く影響していること、さらに台風の発達段階に応じて放射の影響が異なることを明らかにしており、本研究の独創的な成果として高く評価できる。

以上の通り、本研究は、現実の台風の再現実験および放射対流平衡場での台風の理想実験を行うことにより、大気放射が台風の発達に及ぼす影響とそのメカニズムを明らかにし、台風の発達に係る基礎的な理解を深め、熱帯気象学・メソスケール気象学の発展に貢献したものとして評価できる。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、令和6年1月16日、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。

要旨公表可能日： 年 月 日以降