

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	呉 品穎
論文題目	The Impact of Mountain Topography and Environmental Flow on the Predictability of Localized Thunderstorms (地形と環境風が局地的な雷雨の予測可能性に及ぼす影響)		
(論文内容の要旨)			
<p>日射の影響を受けて局地的に発生する雷雨は、短時間で急速に発達し、空間規模が数km～数十km程度の小規模であることから、その発生の予測は一般に困難である。特に、一様かつ平坦な地形の場合には、雷雨はランダムに発生し、いつどこで発生するかを予測することは難しい。一方、山岳地形が存在する場合には、山岳に起因した局地循環の影響により、雷雨の発生には一定の規則性があるものと想定される。本研究では、日射の影響によって発生する局地的な雷雨の予測可能性に対して、地形や環境風の条件がどのように影響するのかについて、数値気象モデルにより調べた。夏季の日変化する雷雨活動を想定し、地表面加熱により励起される大気下層の不安定化および山岳地形により励起される熱的な局地循環の影響のもと、雷雨の発生を微小な初期摂動の違いによる双子実験でシミュレートし、両者の湿潤対流の発生状況の違いを誤差として、誤差の時間発展を解析した。一様平坦な地形や孤立峰の山岳地形ならびに孤立峰の形状を様々に変化させた数値実験、また環境風の鉛直シアを様々に変化させた数値実験を実施し、地形や環境風への感度を調べた。</p> <p>標高1000 mの山岳地形を基準として平坦地形の場合と比べると、山岳ありの場合において、誤差は早朝から急成長し、誤差の空間規模は数kmから数十kmへと大きくなる。一方、対流雲が発生し始める時間を基準として誤差成長を比較すると、山岳ありの実験のほうが平坦地形の実験よりも誤差成長は緩やかである。また、山岳ありの実験で、山岳近傍部と山岳から離れた平坦部とで領域別に評価すると、山岳近傍部での誤差成長の開始時刻が遅くなる。山岳の標高や水平サイズを変化させた感度実験から、山岳の標高が高くなるほど、また山岳の水平サイズが小さく急峻になるほど、誤差の大きさが小さくなる。さらに、山岳近傍部と平坦部とでの誤差成長の違いは、山岳がある標高以上になると顕著になるが、山岳が低くなる小さくなる。これら誤差の違いを水蒸気変動・風速変動・温度変動の各寄与で評価し、対流活動に関連した風速変動と温度変動が地形の違いに敏感であることを示した。これら誤差成長の原因として、山岳地形による強制上昇と熱的局地循環による下層風の収束および境界層の成層不安定化とが関係し合うことで、未飽和空気塊が上昇する範囲の局所性の違いにより対流雲の発生する時刻や面的な広がり異なることが重要であることを示した。加えて、風の鉛直シアを変化させた実験から、対流雲の最初の発生から後続の対流雲への発生に繋がる過程が風速条件に強く依存することを示した。これは、初期の対流雲の発生による非断熱加熱分布が後続の対流の発生に影響することに起因するためであり、この影響は無風条件や強い鉛直シアでは顕著でなくなる。こういった風速条件への依存性の違いから、山岳地形による誤差成長への影響の度合いも変化する。</p> <p>誤差成長の時間発展を対流雲が十分に発達する時刻まで評価し、誤差が飽和に達する対流活動の最大時には、山岳地形による影響はなくなるが、風速条件の違いによる影響が認められる。すなわち、誤差が飽和に達する時刻は、風速条件の違いの影響を受ける。しかし、時間積算雨量の空間分布の相関性で見ると、地形の影響は表れる。</p> <p>以上の通り、本研究は、局所的に発生・発達する雷雨の誤差成長の地形や環境風の鉛直シアへの依存性を数値的に調べることで、雷雨の予測可能性に関する重要な知見が得られた。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

大気現象の予測可能性の問題は、気象学の中心課題の一つである。特に、降水の予測は、対流雲の発生・発達過程の理解という基礎的な側面とともに、日常生活にも直結する応用面で、重要な課題である。時に、豪雨のような極端現象に至ることから、降水の予測可能性の理解を深め、降水の予測精度の向上を図ることが求められている。本研究では、予測可能性の問題を学術的に明らかにするため、短期的かつ局地的に発生する雷雨に着目した。日射による地表面加熱の影響を受けて発生する雷雨の予測可能性が、地形や環境場によりどのように影響を受けるかについて、数値気象モデルを用いた数値実験により調べた。日本の夏季に降水の日変化が卓越した時の気象条件に基づき、水平一様な大気場を与え、孤立峰という単純化した山岳地形を設定し、日変化する日射により励起される対流雲の発生・発達をシミュレートできるように数値実験をデザインした。微小な摂動を与えた双子実験の誤差成長を調べ、予測可能性の問題を取り扱った。

山岳の標高や水平幅を様々に変化させた感度実験や平坦地形のみの実験を行うことにより、山岳の有無や形状が誤差成長に及ぼす影響を定量的に評価した。また、環境風の鉛直シアは対流雲の発達過程に影響することから、鉛直シアを様々に変化させた実験も実施した。これら一連の数値実験により、地形や環境風の条件が対流雲の発生に伴う誤差成長に及ぼす影響を示した。特に、山岳地形の標高が高くなるほど、また山岳の水平幅が狭くなることで急峻地形になるほど、より地形への感度が高くなり、山岳近傍部と周囲の平坦部での誤差成長の違いが顕著になることを示した。一方、山岳が低高度になるほど、山岳への感度は低くなる。本研究では、この違いが生じる原因を対流雲の発生過程に基づき明らかにした。すなわち、対流雲の発生は境界層の空気塊が持ち上がり自由対流高度に達することが必要であることに着目し、山岳の標高が高くなるほど、山岳による強制上昇に加え、山岳による熱的局地循環が励起され、不安定化した境界層内の空気塊が容易に、かつ局在的に自由対流高度に達するようになるという過程が誤差の時間発展として表れることを明らかにした。また、環境風の鉛直シアの違いは、最初に発生する対流雲による後続の対流雲への発生に影響し、この過程が誤差成長として表れる。

このように、本研究では、境界層の成層不安定化と山岳による局地循環とが相互に関連し合い、対流雲の発生の時刻や面的な広がり地形の形状や鉛直シアの条件によって異なることで、地形や環境風の条件が対流雲の発生に伴う誤差成長に影響する過程を示したことが評価される。言い換えると、山岳の存在が大気の安定度変化や局地循環の形態を決め、対流雲の発生する時刻や位置の不確実性を下げることで、誤差成長として量的に表れるのである。さらに、誤差成長が飽和に達する状況を調べることで、鉛直シア条件のほうが時間雨量の違いに現れる一方で、地形の影響は時間積算雨量に現れることを示し、降水の予測可能性の理解を深めることに貢献した。

以上の通り、本研究は、簡略化した条件設定で数値実験をすることにより、地形や鉛直シアが及ぼす雷雨の発生へのプロセスの理解を通して、対流雲の発生に伴う誤差の時間発展の理解を深め、メソスケール気象現象ならびにその予報に係る基礎的な理解を深めることに貢献したものと評価できる。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4年6月2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。