

学位論文題名

Studies on Generation of Deep Convection  
over Eastern China during the Summer Monsoon

(中国東部における夏季モンスーン時の深い対流の発生機構に関する研究)

学位論文内容の要旨

近年、気候変動が大きな問題となっている。気候変動を予測するための一つの要素として、降水システム中のエネルギー・水循環に関する理解を行うことが重要である。東アジア地域においては、夏季モンスーン期間中に梅雨前線という特徴的な降水現象が現れる。これまでの研究から、梅雨前線帯には前線の南側の領域からの水平移流によって水蒸気が供給されていることが指摘されている。しかしながら、梅雨前線の南側の領域における水蒸気の起源や、対流スケールでの水蒸気の鉛直輸送、そして大気成層の生成過程に関する研究は、これまでほとんど行われていなかった。

そこで本研究では、梅雨前線帯におけるエネルギー・水循環を明らかにするために 1998 年に中国大陸上行われた観測プロジェクト GAME/HUBEX において観測された深い対流(積乱雲)の発生、発達過程に注目して数値実験を行った。本研究で対象としているのは観測領域が梅雨前線帯の南側に位置していた期間に発生した深い対流雲であり、地表面からの顕熱と潜熱の供給により発達する対流混合層の上端付近で形成される積乱雲である。

実験に用いた数値モデルは水平格子間隔が 1km であり、冷たい雨、地表面からの顕熱、潜熱の寄与などの効果を組み込んだ二次元圧縮モデルである。数値実験で再現された現象のうち、深い対流雲の発生時刻、最盛期の対流雲の構造(バックビルディング型)、対流雲が衰えて層状化する過程など、多くの点でレーダー観測の結果と良く一致した。唯一、対流混合層上部で形成される浅い対流雲(積雲)の発生時刻については、観測された時刻よりも 3 時間程度遅れたが、この点についてはより細かい水平格子間隔(100m)で数値実験を行うことにより、浅い対流の発生時刻を再現することができた。これは細かい格子スケールを採用することにより、対流混合層内のプルームによる鉛直熱輸送を再現できたためであると考えられる。このことから対流混合層の発達過程、及び浅い対流雲に関する数値実験を行う場合には、水平解像度に注意を払う必要があることを示した。しかしながら、深い対流雲中における現象を再現しよ

うとする場合には、水平格子間隔は **1km** でも良いことも示すことができた。

そこで水平格子間隔 **1km** の数値モデルを用いて、梅雨前線の南側領域において対流が発生する環境場の条件と対流活動による環境場への影響を検討するための感度実験を行った。この感度実験により、中国大陸上においては水田から供給される多量の水蒸気フラックスが深い対流の発達に大きな役割を果たしていることを明らかにした。また、対流圏中層が湿っているという条件も同様に、深い対流が発達するために必要な要素であることを示した。対流圏中層の湿った条件は、深い対流に発達することのできなかつた浅い対流雲が崩壊する際に、蒸発により周辺を湿らせることによって形成されることも明らかにした。この下層境界（水田）からの水蒸気フラックスと中層の湿った環境場は、これまでの対流の発生条件としてはほとんど省みられることのなかつた条件であり、アメリカ合衆国大平原（**Great Plains**）において発達する深い対流とはその発生条件が異なることを示した。

これらの結果から、中国大陸上において梅雨前線帯へ水蒸気が供給される過程についての概念図を提唱した。水田は中国大陸上の華中から華南、特に長江や淮河流域には広く分布しており、水田からの多量の水蒸気フラックスにより、対流圏下層に湿った混合層が形成される。混合層の上端付近で、午後から夕方に発生する浅い対流雲により、水蒸気は鉛直上方に輸送され、湿った領域が対流圏の中層にまで広がる。この時、中層が十分に湿っていれば、浅い対流雲は深い対流雲に成長することができる。このようにして、対流圏の中層まで湿った気塊は、大規模場の下層風（モンスーン）により北へ移動し、最終的には梅雨前線に合流して、前線帯に水蒸気を供給する。このように、梅雨前線帯への水蒸気の供給における、その南側の領域における対流活動の役割を明らかにすることができた。

## 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 林 祥 介

副 査 教 授 播磨屋 敏 生

副 査 教 授 上 田 博

(名古屋大学大学院理学研究科

(大気水圏科学研究所))

副 査 助 教 授 沼 口 敦

(北海道大学大学院地球環境科学研究科)

### 学 位 論 文 題 名

## Studies on Generation of Deep Convection over Eastern China during the Summer Monsoon

(中国東部における夏季モンスーン時の深い対流の発生機構に関する研究)

梅雨前線帯の南側は亜熱帯高気圧（太平洋高気圧）に覆われており、大規模場の収束が存在しないと考えられる領域であるにもかかわらず、GAME/HUBEX（1998年に中国大陸上において行われた観測プロジェクト）期間中に日変化する対流が観測された。著者は数値実験（雲解像モデル）を用いて、大規模場の収束が存在しない領域においても、地表面からの顕熱・潜熱の供給による対流混合層の発達により、午後から夕方にかけて対流雲（積乱雲）が発生することを示した。数値実験の結果示された対流雲の発達過程や内部構造は、ドップラーレーダーを用いた観測結果と良く一致していた。

対流の発生に必要な対流混合層の発達過程においては、プリュームによる鉛直熱輸送の効果が重要であることを示した。その結果、特に対流の発生過程を再現するためには、プリュームを解像するために必要な水平解像度（100m）に注意を払う必要があることを示した。実際には、この様に雲解像モデルに比べて小さな水平解像度による数値実験を行うことは、計算機資源の点からも困難であるために、プリュームの効果を何らかのパラメタリゼーションを用いることにより代替することが必要となると考えられる。

著者の研究の主題は、梅雨前線の南側領域において対流が発生する環境場の条件と対流活動による環境場への影響を明らかにすることであった。そのため、数多くの感度実験を行い、中国大陸上においては水田から供給される多量の水蒸気フラックスが深い対流の発達に大きな役割を果たしていることを明らかにした。また、対流圏中層が湿っているという条件も同様に、深い対流が発達するために必要な要素であることを示した。対流圏中層の湿った条件は、深い対流に発達することのできなかつた浅い対流雲が衰退する際に、蒸発により周

辺を湿らせることによって形成されることも明らかにした。この下層境界（水田）からの水蒸気フラックスと中層の湿った環境場は、これまでの対流の発生条件としてはほとんど省みられることのなかった条件であり、アメリカ合衆国大平原（Great Plains）において発達する深い対流とはその発生条件が異なることを示した。

これらの結果から、中国大陸上において梅雨前線帯へ水蒸気が供給される過程についての概念図を示した。水田は中国大陸上の華中から華南、特に長江や淮河流域には広く分布しており、水田からの多量の水蒸気フラックスにより、対流圏下層に湿った混合層が形成される。混合層の上端付近で、午後から夕方に発生する浅い対流雲により、水蒸気は鉛直上方に輸送され、湿った領域が対流圏の中層にまで広がる。この時、中層が十分に湿っていれば、浅い対流雲は深い対流雲に成長することができる。このようにして、対流圏の中層まで湿った気塊は、大規模場の下層風（モンスーン）により北へ移動し、最終的には梅雨前線に合流して、前線帯に水蒸気を供給する。このように、梅雨前線帯への水蒸気の供給における、その南側の領域における対流活動の役割を明らかにすることができた。

この成果は、梅雨前線帯に水蒸気を供給する素過程として、中国大陸上における梅雨前線帯の南側の領域（湿潤域）における対流雲の発生・発達過程、及び同領域における気団変質に対する対流活動の役割を明らかにしたもので、地球惑星科学分野に大きな貢献をしたものと高く評価できる。

よって、著者は北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。