

学 位 論 文 題 名

Studies on nocturnal development of cloud clusters  
during the Meiyu period in Eastern China

(梅雨期間中に中国東部で夜間に発達した  
クラウドクラスターに関する研究)

学位論文内容の要旨

衛星の赤外画像上で、雲頂温度 $-50^{\circ}\text{C}$ 以下の雲域の水平スケールが数 100km で、かつ明瞭な楕円形をしているものをクラウドクラスターと呼んでいる。これは発達した複数の積乱雲が組織化したもので、個々の積乱雲の寿命をはるかにしのぐ寿命を持ち、激しい風雨と洪水をもたらすため、その発生原因・維持機構の解明と発生予測は重要な研究課題となっている。このクラウドクラスターは、熱帯から中緯度にかけての海洋上や陸上で広く発生し、対流活動や降水に明瞭な日変化が見られることが、アメリカや熱帯での研究から明らかになった。これまでの研究から、クラウドクラスターの発生・発達の日変化パターンは、地域や季節によって異なることが知られているが、その違いをもたらす原因については未だ統一的理解には至っていない。日本、中国、台湾、韓国などの東アジア地域でも、クラウドクラスターが梅雨期、特に梅雨前線上あるいはその周辺に発生し、多大な被害をもたらすことが知られているが、クラウドクラスターがどのような日変化パターンを示すのかについては、未だその実態も原因も明らかではなかった。そこで、1991 年に中国の淮河流域で発生した大規模な洪水をきっかけとして、GAME (GEWEX Asia Monsoon Experiment) / HUBEX (Huai-he river Basin Experiment) (淮河流域観測) が立案された。本研究では、その集中観測期間である 1998 年と 1999 年の梅雨期に、中国東部で発生したクラウドクラスターの日変化を、主に静止気象衛星「ひまわり」(GMS) の赤外画像を用いて調べた。

まず、東アジアでこれまで行われてきた研究を基に、(1)  $-50^{\circ}\text{C}$  以下の雲域の形が明瞭な楕円形であり、(2) その水平スケールがメソ  $\beta$  スケール (約 200 km) 以上で、かつ (3) 12 時間以上の寿命を持つという条件を全て満たした雲群を、クラウドクラスターと定義とした。1 時間ごとの赤外画像の中の解析領域内 (北緯  $25^{\circ}$  ~  $40^{\circ}$  度、東経  $110^{\circ}$  度から  $120^{\circ}$  度の中国東部) に存在する全ての雲群の中から、上記の条件に合致する雲群を選び出し、クラウドクラスターの発生と消滅地点と時間、移動経路、雲域面積の変化を調べた。このようにして選んだクラウドクラスター 61 事例について、雲頂温度別の面積の時間変化から活動度の日変化を調べた。

その結果、全体の約3分の1弱にあたる18ケースは、午後遅くから夕方にかけて最も発達する夕方タイプであった。夕方タイプは、日射による地面加熱によって大気の成層が不安定となることによって発生する積乱雲が、複数同時に発生することによって生ずる。従って、このタイプは山岳地帯や陸上の広い範囲で出現し、発生場所と梅雨前線との位置関係は見出されなかった。残りの3分の2以上にあたる43のクラウドクラスターが、真夜中から朝方に $-70^{\circ}\text{C}$ 以下の雲域面積が最大となる夜間タイプであった。特に、43ケースのうち23ケースが、夜間の02LST頃に最も発達した。夜間タイプの $-50^{\circ}\text{C}$ 以下の雲域面積は、夕方タイプとほぼ同程度であったが、 $-70^{\circ}\text{C}$ 以下の雲域が広がった。このことは、夕方タイプに比べて夜間タイプのほうが、対流活動がはるかに活発であることを意味している。また、夕方タイプと異なり、夜間タイプのほとんどは、梅雨前線帯上かそのすぐ南側に発達した。

夜半から夕方にかけてクラウドクラスターが活発となる理由を、GAME再解析データ Ver. 1.5を用いて調べた。解析は、夜間タイプのクラウドクラスターが頻発し、かつ梅雨前線がほぼ停滞した、1998年8月1日から15日を対象とした。まず、風場を調べたところ、梅雨前線の南側領域（北緯25度～32度）の、925hPa高度の水平風が、夜間（02LST）に他の時間帯（特に14LST）に比べて、南風成分が強まっていたことが分かった。地衡風と非地衡風成分の日変化を調べたところ、南風成分の増加は非地衡風成分の日変化によって生じていた。非地衡風成分の日変化の原因は、日中は乱流混合が活発となることによって大気境界層が厚くなり、逆に夜間は大気境界層が薄くなり、その結果として地面摩擦の効果が弱くなり風向が時計周りに偏向するという慣性振動によって説明される。

更に、梅雨前線の南側からの風は、梅雨前線の南端付近で急速に弱まり、南端付近で南風成分の風による収束が他の時間帯に比べて夜間に大きいことが示された。同様に、水蒸気収束も梅雨前線の南端で夜間に大きいことが示された。その夜間の大きな水蒸気収束は、大気下層で増加した南風が原因であった（下層ジェット）。また、この水蒸気収束の日変化の振幅は下層ほど大きく、高度700hPa付近ではほとんど振幅が見られない。このように、日変化する総観規模の下層ジェットが、大量の水蒸気を夜間に梅雨前線帯に輸送し、梅雨前線帯及びその直ぐ南側で水蒸気の大きな収束をもたらした。このことから、夜間に発達する下層ジェットとそれに伴う下層での水蒸気収束が、夜間タイプのクラウドクラスターを発生させる要因と考えられた。

以上のように、本研究の結果、中国東部の梅雨前線内あるいはその南側周辺に発生するクラウドクラスターが、夜間に特に発達するという顕著な日変化を示すことが明らかとなった。また、湿った下層ジェットが慣性振動によって夜間に南寄りに風向が変化し、この風によってもたらされた大きな水蒸気収束がクラウドクラスターの夜間の発達原因であることが示唆された。このように、本研究で得られた知見は、中国における大雨や洪水予測の精度の向上に大いに貢献するものである。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 吉 康 治

副 査 教 授 山 崎 孝 治

副 査 教 授 長谷部 文 雄

副 査 助教授 渡 部 雅 浩

副 査 助教授 加 藤 内蔵進 (岡山大学教育学部)

## 学 位 論 文 題 名

### Studies on nocturnal development of cloud clusters during the Meiyu period in Eastern China

(梅雨期間中に中国東部で夜間に発達した  
クラウドクラスターに関する研究)

衛星の赤外面像上で、雲頂温度 $-50^{\circ}\text{C}$ 以下の雲域の水平スケールが数 100km で、かつ明瞭な楕円形をしているものをクラウドクラスターと呼んでいる。これは発達した複数の積乱雲が組織化したもので、激しい風雨と洪水をもたらすため、その発生原因・維持機構の解明と発生予測は重要な研究課題となっている。このクラウドクラスターは、熱帯から中緯度にかけて広く発生し、対流活動や降水に明瞭な日変化が見られることが知られている。しかし、その日変化パターンは地域や季節によって異なり、その違いをもたらす原因については未だ統一的理解には至っていない。東アジア地域でも、クラウドクラスターが梅雨期、特に梅雨前線上あるいはその周辺に発生し、多大な被害をもたらすことが知られているが、どのような日変化パターンを示すのかについては、その実態も原因も明らかではなかった。そこで、GAME (GEWEX Asia Monsoon Experiment)/HUBEX (Huai-he river Basin Experiment) (淮河流域観測)の集中観測期間である 1998 年と 1999 年の梅雨期に、中国東部で発生したクラウドクラスターの日変化を、主に静止気象衛星「ひまわり」の赤外面像を用いて調べた。

まず、東アジアでこれまで行われてきた研究を基に、 $-50^{\circ}\text{C}$ 以下の雲域の形が明瞭な楕円形であり、その水平スケールがメソ  $\beta$  スケール (約 200km) 以上で、かつ 12 時間以上の寿命を持つという条件を全て満たした雲群を、クラウドクラスターと定義とした。1 時間ごとの赤外面像の中の解析領域内 (中国東部) に存在する全ての

雲群の中から、上記の条件に合致する雲群を選び出し、発生と消滅地点と時間、移動経路、雲域面積の変化を調べた。このようにして選んだクラウドクラスター61事例について、雲頂温度別の面積の時間変化から活動度の日変化を調べた。その結果、全体の約3分の1は、午後遅くから夕方にかけて最も発達する夕方タイプであった。夕方タイプは、日射による地面加熱によって大気の成層が不安定となることによって発生する積乱雲が、複数同時に発生することによって生ずる。従って、このタイプは山岳地帯や陸上の広い範囲で出現し、発生場所と梅雨前線との位置関係は見出されなかった。残りの3分の2以上のクラウドクラスターは、真夜中から朝方に $-70^{\circ}\text{C}$ 以下の雲域面積が最大となる夜間タイプであった。夜間タイプの $-50^{\circ}\text{C}$ 以下の雲域面積は、夕方タイプとほぼ同程度であったが、 $-70^{\circ}\text{C}$ 以下の雲域が広く、対流活動がはるかに活発であった。また、夕方タイプと異なり、夜間タイプのほとんどは、梅雨前線帯上かそのすぐ南側で発達した。

夜半から朝方にかけてクラウドクラスターが活発となる理由を、GAME 再解析データを用いて調べた。解析は、夜間タイプのクラウドクラスターが頻発し、かつ梅雨前線がほぼ停滞した1998年8月1~15日を対象とした。まず、風場を調べたところ、梅雨前線の南側領域の925hPa高度の水平風が、夜間(02LST)に他の時間帯(特に14LST)に比べて、南風成分が強まっていたことが分かった。地衡風と非地衡風成分の日変化を調べたところ、南風成分の増加は非地衡風成分の日変化によって生じていた。非地衡風成分の日変化の原因は、日中は乱流混合が活発となることによって大気境界層が厚くなり、逆に夜間は大気境界層が薄くなり、その結果として地面摩擦の効果が弱くなり風向が時計回りに偏向するという慣性振動によって説明される。更に、梅雨前線の南側からの風は、梅雨前線の南端付近で急速に弱まり、南端付近で南風成分の風による収束が他の時間帯に比べて夜間に大きいことが示された(下層ジェット)。同様に、水蒸気収束も梅雨前線の南端で夜間に大きいことが示された。また、この水蒸気収束の日変化の振幅は下層ほど大きく、高度700hPa付近ではほとんど振幅が見られない。

以上のように、本研究の結果、中国東部の梅雨前線内あるいはその南側周辺に発生するクラウドクラスターが、夜間に特に発達するという顕著な日変化を示すことが明らかとなった。また、湿った下層ジェットが慣性振動によって夜間に南寄りに風向が変化し、この風によってもたらされた大きな水蒸気収束がクラウドクラスターの夜間の発達原因であることが示唆された。このように、本研究で得られた知見は、中国における大雨や洪水予測の研究の発展に大いに貢献するものである。

よって審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が博士(地球環境学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。