

学位論文題名

Studies on the Structure of the Cloud Band off the  
West Coast of Hokkaido, Japan, as Determined from  
Microwave and Infrared Remote Sensing Data

(マイクロ波及び赤外リモートセンシングデータ  
を用いた北海道西岸帯状雲の構造に関する研究)

学位論文内容の要旨

近年、高精度の気象予測と気候変動メカニズムの解明のために、水平スケールが数百 km 以下の対流現象(メソ対流系)の把握が求められている。中でも、対流系における氷相の果たす役割の重要性が注目を集めつつある。本研究は、複数のリモートセンシング機器のデータを使用して、冬季、北海道西岸の日本海上にしばしば発生するメソ対流系の雪雲「帯状雲」の内部構造を明らかにすることによって、リモートセンシングデータによる氷を含むメソ対流系の解明を目指したものである。

研究対象である帯状雲は、南北に伸びる長さ数百 km、幅数十 km の雪雲である。その水平スケールは従来の観測手段によるデータ取得範囲を超えており、更にその大部分が海上に位置することから、人工衛星からの観測が最も適当な現象と考えられる。しかし従来の研究では、空間分解能が低く測定パラメータ数も少ない衛星データが主に用いられてきたため、帯状雲の大まかな構造の認識にとどまっていた。一方、上陸した帯状雲の詳細な構造については、主に陸上からの観測手段(レーダー、地上気象観測網)によって明らかにされてきたが、これらの手段では、海上を含めた帯状雲の全範囲を捉えることはできない。このため本研究では、高い空間分解能、広い観測範囲、多くの測定パラメータをもつ人工衛星搭載センサーである SSM/I 及び AVHRR/NOAA を主に使用した。

AVHRR は可視・赤外域に計 5 チャンネルを持つ、極めて空間分解能の高いセンサーである。本研究では、主にこのうちスプリット・ウィンドウと呼ばれる赤外窓領域の 2 つのチャンネル(チャンネル 4、チャンネル 5)を使用した。チャンネル 4 の輝度温度は雲頂の温度として、また、チャンネル 4 とチャンネル 5 の輝度温度の差は雲頂部の光学的厚さの指標として用いた。

一方、SSM/I は雲内部の情報を得ることができるマイクロ波帯に計 7 チャンネルを持つセンサーである。このうち、空間解像度が最も高く、また、冬季日本海の雲に多く含まれる氷晶、雪片による散乱が大きく影響する 85GHz 帯の垂直、水平両偏波チャンネルを雪雲の解析に用いた。

この 85GHz 帯を含むマイクロ波放射の雪雲における特性を明らかにするため、航空機搭載型マイクロ波放射計 AMR とドップラーレーダーによる同時観測を行なった。レーダーから得られた降水及び気流の分布と、対応するマイクロ波放射データを比較した結果、85GHz 帯の垂直偏波チャンネルの輝度温度(以後  $T_{B85V}$  とする)が主に降水強度に対応して低下すること、及び、垂直・水平偏波チャンネルの輝度温度比(以後  $P_{85}$  とする)が雲水が多く存在すると想定される部分で増加することが実証された。同じ条件を与えたマイクロ波

放射伝達シミュレーションによっても同様の結果が示された。また、シミュレーションの結果を観測データと組み合わせることによって、降水及び雲水の量的な把握が可能であることも示された。

以上の検証結果を元に、SSM/I、AVHRR/NOAA、レーダー、VISSR/GMS(静止衛星搭載可視赤外センサー)というリモートセンシングデータを組み合わせ、帯状雲の複数の事例、特にレーダーデータの豊富な、1992年1月23日の事例及び1991年1月27日の事例について詳細な解析を行なった。その結果、まず東西方向の構造において、雲水の多い部分が西側に偏在しており、その東隣りに降水粒子が多く存在し、更に東側が雲氷で構成される、という共通のパターンが明らかになった。これは、帯状雲の主上昇流が降水の多く観測される帯状雲中央部ではなく、西側に存在していることを示しており、過去のレーダー観測による限定された部分の構造が帯状雲全体に適用可能であることを示している。

しかし、観測された  $T_{B85V}$ 、 $P_{85}$  の値は、帯状雲の南側においてより顕著な変化を示していた。この観測データと放射伝達シミュレーションとの比較によって、帯状雲の南側において雲水量、降水量が多いことが明らかになった。また、帯状雲が低気圧性循環を伴って湾曲した形状を示した場合にも、雲水量、降水量を多く含む部分が存在した。これらの時間的・空間的な雲水量、降水量の違いは、東西方向の雲水量、降水量の分布パターンがほとんどの場合共通であったにもかかわらず変化する東西方向の雲頂の構造の違いに対応していた。このことは、雲水量、降水量が多くなると上昇流が東側に傾いてくることを示している。また、最も多量の雲水量、降水量が観測された部分では、帯状雲の西側のみならず東側にも雲水の多い部分が存在していた。

これらの東西構造を出現時の位置、環境と比較した結果、東西方向の構造の差が、帯状雲を構成する基本場である下層での東西方向の収束の量的な差、及びそれによってもたらされる上昇流と東西風の鉛直シアで構成される東西断面での循環の強度の差を反映していることが明らかになった。これは、下層収束が強化されることによって、強い上昇流とそれに伴うより多くの雲水、降水が発生し、同時に、東西方向の鉛直シアが強化され、これが上昇流軸を東側に傾かせるようなメカニズムで説明される。また、下層の東西方向の収束が更に強化された場合に、帯状雲内部に存在する強い北風と東側からの東風が収束することによって帯状雲の東側にも二次的な上昇流域が形成され、より強い降水域が形成されるメカニズムも示された。これらの変化をもたらす下層収束の強化は、メソ低気圧の発生時に低気圧中心の北側で起こっており、低気圧中心に近い部分で更に強化されていることが示された。このメソ低気圧発生時の帯状雲の強化及び形状の変化から、帯状雲がメソ低気圧の前線の存在であることが示唆された。

また、シミュレーションとの比較によって推定される雲水量は、解析を行なった帯状雲の全ての部分において、断熱凝結でもたらされる量よりはるかに少ないことが明らかになった。これは、約15km四方であるSSM/Iの85GHzチャンネルの観測視野内部の限定された部分が上昇流域であることを示していると同時に、雲水が雪、雲氷へ高い割合で変換されていることも示している。このことは、帯状雲が降水の形成を効率よく行う構造を持っていることを示唆している。

以上のように、本研究によって、複数の種類の人工衛星データを用いることによって帯状雲全体の詳細な構造を明らかに出来ることが示された。今後、マイクロ波放射計を中心とした人工衛星データによって取得される雲水量、降水量等の気象パラメータの精度が本研究での手法を応用することによって向上すれば、メソ対流系のメカニズムをよりよく理解することが可能となると考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 菊 地 勝 弘  
副 査 教 授 金 成 誠 一  
副 査 助 教 授 上 田 博  
副 査 講 師 遊 馬 芳 雄

## 学 位 論 文 題 名

### Studies on the Structure of the Cloud Band off the West Coast of Hokkaido, Japan, as Determined from Microwave and Infrared Remote Sensing Data

(マイクロ波及び赤外リモートセンシングデータ  
を用いた北海道西岸帯状雲の構造に関する研究)

今日まで、北海道西岸の帯状雲の構造に関する研究は、主として、地上気象観測データ、およびレーダーによるものが多かった。これらの陸上からの手段では、海上を含む帯状雲の広い範囲や内部構造を捉えることはできない。この論文は、種々のリモートセンシングのデータを使用して、雲水、氷晶、雪結晶を含むメソ対流系の帯状雲の内部構造やその特徴を明らかにしたもので、6章から構成されている。

第1章は序文であり、リモートセンシングの研究のレビューを行っている。第2章はこの研究で使用したデータの取得機器の説明、すなわち4台のレーダー、2種類の気象衛星搭載型赤外放射計等についての原理、特徴、取得パラメーターを解説している。特に、この研究の主力データであるマイクロ波放射計のセンサーについては衛星搭載型である SSM/I と航空機搭載型である AMR について、その特徴を詳細に検討している。

第3章では、主力データであるにもかかわらず、氷晶、雪結晶を含む雲についての研究が少ないマイクロ波放射計データについて、雪雲を対象にして検証を行った。その内、時間的空間的に最も対応のよいデータの組み合わせから、85GHz 帯のデータが雪結晶や雲水量の存在に良く対応していることが明らかになった。すなわち、TB85V は雪結晶の空間密度の増加によって低下し、P85 は雲水量が多く存在すると思われる領域で上昇していた。さらに、シミュレーションの結果と観測データの組み合わせから雲水量の推定を行う手法を開発した。これらのマイクロ波放射計データの特徴を用いて、第4章では SSM/I のデータを主に用いて帯状雲の解析を行っている。その結果、東西断面からは主な上昇流域が西側にあつて、高度とともに東側に傾いていること、さらに、南側に雲水量や降雪量の多い部分のあることを明らかにした。ま

た、時間変化に伴って、帯状雲の東西構造が垂直な上昇流を持つ弱い対流から、傾いた強い対流へと変化しており、これが低気圧性循環の発生に伴ったものであることも明らかにした。

第5章では、ここで得られた観測結果について考慮している。まず、シミュレーションと観測データから得られた雲水量が断熱凝結量に対してかなり少なかったのは、上昇流域が SSM/I の 85GHz チャンネルの観測視野の半分以下であること、および雲水から降雪粒子への変換が効率よく行われていたことを示唆するものであることを明らかにした。さらに、帯状雲の構造の相違とその大気環境場との関連の考察から、東西断面の構造の変化は、上昇流および東西方向の鉛直循環の強度を反映しているものであり、また、メソ低気圧の発生、発達と密接に関係していることも明らかにした。第6章は結論である。

このように、著者は、異なる種類の複数の人工衛星データを組み合わせることによって、特に雲内の雲水、氷晶や雪結晶との対応が明らかになり、メソ対流系の理解が一層深まることが期待できるようになった点は、メソ気象学、雲物理学、衛星気象学の分野に貢献するところ大なるものがある。

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。