学 位 論 文 題 名

STUDIES ON AUTOMATED ANALYSES OF THREE-DIMENSIONAL
STRUCTURE OF RADAR REFLECTIVITY FIELDS OF SNOWCLOUDS

(降雪雲のレーダー反射強度の三次元構造についての自動解析方法に関する研究)

学位論文内容の要旨

大気中の水循環過程を解明するためには雨や雪などの降水強度の三次元構造の時間変化を明らかにする必要がある。また、降水強度の三次元構造の研究は豪雨や豪雪の発生・発達機構を明らかにする上で重要である。特に、活発な対流活動を持つ雪雲は時間変化が大きいため、その三次元構造の変化の過程を明らかにするためには新たな観測及び解析方法の開発が必要である。

現在、降水強度の三次元構造を観測するためには気象レーダーが最も有効な測器として使用されている。レーダー反射強度の三次元分布を5～10分間隔で観測し、降水雲の構造の変化を追跡することにより降水雲の発生・発達過程を明らかにすることができる。さらに、多くの例について同様の解析を行うことにより降水雲の構造の統計的特性を明らかにし、水循環過程の解明に資することができる。

このような気象レーダーを用いた降水雲の三次元構造の観測では膨大な量のレーダー反射強度のデータが取得される。この膨大な量のデータを解析するためには計算機に基づくデータ取得及び解析処理方法の開発が求められている。しかし、現在では計算機の利用はまだ、データ保存、一次解析及び表示の補助的な手段として使われているだけで、データの解析や現象の解釈の多くは手動でなされている。このことはデータ解析や現象の理解は研究者の経験や技術に依存する要素が多いことを意味する。このような状況のもとに、膨大な量のレーダー反射強度の三次元データの解析により降水雲の構造を客観的に明らかにするとともにその統計的な特性を明らかにするためには、現象の識別や分類等を計算機が自動的かつ客観的に行う技術を開発する必要がある。この技術の開発を行う場合の対象とする現象としては、複雑な構造をもち力学的に急変する対流雲が最も難しいものであるが多くの新しい研究内容を含むものである。さらに、自動的なデータ解析方法の開発は、実時間での現象の識別と短時間予測を可能にするものである。

計算機を用いた、レーダー反射強度の三次元データの自動解析方法の開発を行う上で、異なるレーダー反射強度のレベル毎のレーダー反射強度領域の階層構造を示す「トリー（樹木状）」表示を行った。「トリー」を用いたレーダー反射強度の三次元構造の解析は、従来のレーダー反射強度の閾値の境界構造という概念にとどまらず、「トリー」構造の存在形態としてレーダー反射強度の構造を示すものである。本論文で用いた方法は、三次元的な等値線を描くということを行わ

ずに、現場の観測者が行うと同じ様な方法で、計算機を用いた効果的で融通のきく解析アルゴリズムを開発することを可能にするものである。開発した、一時刻のレーダー反射強度分布の自動解析方法は、レーダー反射強度の三次元時系列データの複雑な解析方法実行の基礎として用いた。

新たに開発したレーダー反射強度の三次元データの自動解析方法を石狩湾と若狭湾における降雪雲のレーダー観測データに適用し、降雪雲の構造の識別、発達過程の解析及び降雪雲の移動の追跡を行った。急速に発達する対流の活発な降雪雲においても開発した自動解析方法が三次元構造の解析及び追跡に有効であることが確かめられた。

本論文では観測データを用いた事後解析として開発した方法の有効性を検証したが、時系列データの解析のために用いたデータ処理方法、データ抽出方法及びデータ表示方法は実時間データ処理及び実時間自動識別方法を前提にしたものであり、急速に変化するレーダー反射強度の三次元構造の実時間解析に使用できる可能性があることを確かめることができた。

また、開発したレーダー反射強度の三次元解析方法は降水雲の構造を自動的に解析する方法であるが、三次元データの一般的解析に利用でき、降水を伴う雲の構造の解析に非常に有効であるだけでなく、人工知能を用いた三次元データ解析及び追跡方法の開発にも応用可能なものであると考えられる。

このように、レーダー反射強度の三次元構造及びその時間変化について計算機を用いて自動解析する方法を新たに開発し、対流活動の活発な降雪雲の構造解析に適用し、開発した自動解析方法が降水雲の三次元構造の客観的解析に有効であることを明らかにした。

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
副 査 教 授 藤 吉 康 志

(大学院地球環境科学研究科)

学 位 論 文 題 名

STUDIES ON AUTOMATED ANALYSES OF THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE OF RADAR REFLECTIVITY FIELDS OF SNOWCLOUDS

(降雪雲のレーダー反射強度の三次元構造についての自動解析方法に関する研究)

大気中の水循環過程を解明するためには雨や雪などの降水域や降水強度の三次元構造の時間変化を明らかにする必要がある。また、降水域や降水強度の三次元構造の研究は豪雨や豪雪の発生・発達機構を明らかにする上で重要である。特に、活発な対流活動をする降雪雲は時間変化が大きいため、その三次元構造の変化の過程を明らかにするためには新たな観測及び解析方法の開発が必要である。

本研究は、レーダー反射強度の三次元構造を計算機を用いて自動的に解析する方法を開発し、降雪雲等の変化の速い対流現象の研究の発展を目指したものである。

本論文は5章から構成されている。第1章は序文であり、現在使用されているデータ処理方法のレビューを行い、新たな多次元データ解析技術を確立する必要があることを述べている。つまり三次元的現象の時間変化を自動的に解析する方法の一つは、三次元的な階層構造を「データトリー（樹木状）」の形で表現することが有効であることを示唆した。

第2章は、研究に使用したデータセットと予備的解析について述べている。三次元レーダー反射強度の時系列データを自動的に解析するために次のような処理方法を行っている。

(1) 地形エコーの除去、(2) シャドー領域の他のレーダーデータによる補完、(3) ドップラー速度データの折り返し処理および極座標からデカルト座標への変換である。得られた三次元グリッドデータの解析アルゴリズムは次のようなものである。(1) 「トリー」で表示される個々のエコー領域の識別、(2) 識別された領域の特性を計算機で表現するためのパラメーター化、(3) 「トリー」でエコー領域の特性を表現するためのパラメーターの再配列。「トリー」を構築する手順は閾値を増加させ、孤立したエコー領域を識別することであり、解析しやすい形で計算機に記憶されるように開発している。

第3章は三次元データの空間的構造と時間変化を計算機で自動的に解析するための方法を検討している。すなわち、レーダー反射強度の三次元構造の時間変化を解析する方法には、「データトリー」ごとの特性を、計算機のモニター上に画像表示し、その移動もまたモニター上に表示するようにしてある。孤立したレーダーエコー領域の変換を量的に記述するためにレーダー反射強度の閾値を固定する方法と、ピーク値を用いる方法を用いた。開発された方法は二つの時刻のレーダー反射強度の三次元構造を示す「トリー」内の対応する二つの要素の位置の組み合わせによってエコーの変化を客観的に記述することが可能である。

第4章では、ここで開発された自動解析方法を実際の降雪雲のレーダー観測データに適用し、アルゴリズムの妥当性と有効性を検証している。先ずレーダー反射強度の構造の時間変化の特徴と天気図及び気象衛星データとの比較解析を行い、次に個々のエコーセルの移動を新しく開発したエコーの自動追跡方法を用いて解析した。さらに、開発した方法により、従来困難であったエコーセルの発達と移動の統計解析を計算機を用いて自動的に行った。その結果、従来の低い高度のみの解析ではわからなかった、海上での高い高度でのエコーセルの発達が顕著であることを明らかにした。

第5章は結論であり、研究結果を要約し、開発した方法が三次元レーダー反射強度データの時間変化の解析に有効であり、降水雲全般の解析にも有力な手法になり得ることを結論づけた。

以上のように、レーダー反射強度の三次元構造及びその時間変化を、計算機を用いて自動解析する方法を新たに開発し、対流活動の活発な降雪雲の構造解析に適用し、開発した自動解析方法が降水雲の三次元構造の客観的解析に有効であることを明らかにした点は、レーダー気象学、降水物理学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。