

学位論文題名

Studies on Three-Dimensional Retrieval
of Microphysical and Thermodynamic
Variables in Snow Clouds

(雪雲の微物理量と熱力学変数の三次元リトリーブに関する研究)

学位論文内容の要旨

近年降水雲の内部構造に関する研究は、気象ドップラーレーダー等の発達により急速に
進歩した。しかし、降水雲の発達機構については、測定困難な量が多いために、十分な理
解が得られていない。降水雲の発達機構を解明し、全球の水循環過程の研究に結び付ける
ためには、三次元分布を測定することが困難な雲の中の微物理量と熱力学変数を観測可能
な量をもとにリトリーブすることが必要である。これまで、上昇流が強く持続時間の長い
雷雲についてのリトリーブの研究は多いが、上昇流の弱い雪雲についてのリトリーブ
法の研究は非常に少なかった。そのため、降水粒子として複雑な形状をもつ雪粒子や霰粒
子を含む雪雲のリトリーブ法の研究が求められている。

本研究は、複数台のドップラーレーダー観測から得られる雪雲内の3次元気流場と降雪
強度及びレーウィンゾンデの観測データをもとに、運動方程式、熱力学方程式等の変分法
解析を行うことにより、雪雲内の水蒸気量、雲水量、雲氷量、温位、気圧の3次元分布及
び微物理過程をリトリーブする方法を開発した。最初に2次元のリトリーブを行い、最
下層の2次元リトリーブの結果を3次元リトリーブの底面の境界条件とした。全水物
質及び雲氷の式を場が安定するまで積分する方法により、上昇流が比較的弱い雪雲につ
いてもリトリーブ法の適用を可能にした。

雪雲の3次元リトリーブ法の性能を検証するために、雲解像数値モデルの一つである
ARPS モデルを雪雲に適用し、水蒸気量、雲水量、雲氷量、温位、気圧の3次元分布につ
いて、数値実験結果と数値実験から得られる気流場と降水強度をもとにリトリーブした結
果を比較した。両者のパターンが一致することから、開発した雪雲の3次元リトリーブ
法の有効性を確かめた。また、下部境界の水蒸気量の感度実験及び気圧と温位の調和性
の検討を行い、3次元リトリーブ法の必要性を示した。

雪雲の3次元リトリーブ法を、1992年1月23日に石狩湾周辺で行われた雪雲の特別
観測で得られたドップラーレーダー及びレーウィンゾンデ観測結果に適用した。レーウ
ィンゾンデ観測時刻に近い時刻の10分間隔のドップラーレーダー観測データを2ケ
ース選んで詳細に解析した。その結果、雪雲の発達過程として重要なプロセスである、
雲水の凝

結成長、雪粒子の昇華凝結成長及び雪粒子への雲水の付着成長等について時間変化と空間分布を明らかにした。特に、雪粒子による雲粒捕捉過程が海上の雪雲の急速な発達には最も重要であることを示した。これらの解析により、これまでドップラーレーダー観測による気流系の解析だけでは得られなかった、雪雲のセル内における降水強度の強いコアの発達過程を詳細に説明した。

このように、本研究は、これまで行われてきた雷雲のリトリーバル法に下層境界の取り扱い方法等の新たな工夫を加え、多数の感度実験を行い、雷雲より上昇流の小さな雪雲についても、観測では測定困難な雪雲内の水蒸気量、雲水量、雲氷量、温位、気圧の分布のリトリーバルを行なえるようにした。また、雪雲のリトリーバル法を適用したケーススタディにおいて、従来地上観測から知られていた、雪片による雲粒捕捉過程が雪雲の発達に重要であることを、雪雲の発達過程の各ステージに位置づけて三次元空間分布として明らかにするなど、雪雲の詳細な構造を明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 播磨屋 敏 生

副 査 教 授 林 祥 介

副 査 助 教 授 上 田 博

副 査 助 教 授 坪 木 和 久 (名古屋大学大学院理学研究科
(大気水圏科学研究所))

学 位 論 文 題 名

Studies on Three-Dimensional Retrieval of Microphysical and Thermodynamic Variables in Snow Clouds

(雪雲の微物理量と熱力学変数の三次元リトリバルに関する研究)

気候変動や豪雪災害の問題を研究する上で雪雲の構造や発達過程に関する研究は重要である。近年降雪雲の内部構造に関する研究は、気象ドップラーレーダー等の発達により急速に進歩した。しかし、降雪雲の発達機構については、測定困難な量が多いために、十分な理解が得られていない。降雪雲の発達機構を解明し、全球の水循環過程の研究に結び付けるためには、三次元分布を測定することが困難な雲の中の微物理量と熱力学変数を観測可能な量をもとにリトリブすることが必要である。これまで、上昇流が強く持続時間の長い雷雲についてのリトリバルの研究は多いが、上昇流の弱い雪雲についてのリトリバル法の研究は非常に少なかった。そのため、降水粒子として複雑な形状をもつ雪粒子や霰粒子を含む雪雲のリトリバル法の研究が求められている。

著者は、複数台のドップラーレーダー観測から得られる雪雲内の3次元気流場と降雪強度及びレーウィンゾンデの観測データをもとに、運動方程式、熱力学方程式等の変分法解析を行うことにより、雪雲内の水蒸気量、雲水量、雲氷量、温位、気圧の3次元分布及び微物理過程をリトリブする方法を開発したものである。最初に2次元のリトリバルを行い、最下層の2次元リトリバルの結果を3次元リトリバルの底面の境界条件とし、全水物質の式を場が安定するまで積分する方法により、上昇流が比較的弱い雪雲についてもリトリバル法の適用を可能にしたことが本研究の新しい点である。

雪雲の3次元リトリバル法の妥当性を検証するために、雲解像数値モデルの

一つである ARPS モデルを雪雲に適用し、水蒸気量、雲水量、雲氷量、温位、気圧の3次元分布について、数値実験結果と数値実験から得られる気流場と降水強度をもとにリトリーブした結果を比較した。両者のパターンが一致することから、開発した雪雲の3次元リトリーブ法の有効性を確かめた。また、下部境界の水蒸気量の感度実験及び気圧と温位の調和性の検討を行い、3次元リトリーブ法の妥当性を示した。

雪雲の3次元リトリーブ法を、1992年1月23日に石狩湾周辺で行われた雪雲の特別観測で得られたドップラーレーダー及びレーウィンゾンデ観測結果に適用した。レーウィンゾンデ観測時刻に近い時刻の10分間隔のドップラーレーダー観測データを2ケース選んで詳細に解析した。その結果、雪雲の発達過程として重要なプロセスである、雲水の凝結成長、雪粒子の昇華凝結成長及び雪粒子への雲水の付着成長等について時間変化と空間分布を明らかにした。特に、雪粒子による雲粒捕捉過程が海上の雪雲の急速な発達には最も重要であることを示した。これらの解析により、これまでドップラーレーダー観測による気流系の解析だけでは得られなかった、雪雲のセル内における降水強度の強いコアの発達過程を詳細に説明した。

このように、著者は、これまで行われてきた雷雲のリトリーブ法に下層境界の取り扱い方法等の新たな工夫を加え、多数の感度実験を行い、雷雲より上昇流の小さな雪雲についても、観測では測定困難な雪雲内の水蒸気量、雲水量、雲氷量、温位、気圧の分布のリトリーブを行なえるようにした。また、雪雲のリトリーブ法を適用したケーススタディにおいて、従来地上観測から知られていた、雪片による雲粒捕捉過程が雪雲の発達に重要であることを、雪雲の発達過程の各ステージに位置づけて三次元空間分布として明らかにするなど、雪雲の詳細な構造を明らかにした。

この成果は、今後の雪雲の構造や発達過程の研究に極めて重要な研究手法を提供したもので、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。