



Analysis of the Cloud Observations by Radar and Lidar

岩崎, 杉紀

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2001-03-31

(Date of Publication)

2009-07-14

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲2264

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1002264>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【232】

氏 名・(本 籍) 岩崎 杉紀 (埼玉県)

博士の専攻分野の名称 博 士 (理 学)

学 位 記 番 号 博い第159号

学位授与の 要 件 学位規則第4条第1項該当

学位授与の 日 付 平成13年3月31日

【学位論文題目】

Analysis of the Cloud Observations by Rader and LIDER

レーダー、ライダーによる雲の観測・解析

審 査 委 員

主査 教授 向井 正

教授 山中 大学 教授 松田 卓也

助教授 中村 (前川) 昭子

「Analysis of the Cloud Observation by Radar and Lidar.
レーダ・ライダによる雲の観測・解析」

- 1 General Introduction
- 2 Anomalous backscattering enhancement by non-spherical ice crystals for lidar observation: Lidar equation in Geometrical optics Approximation.
 - 2.1 Introduction
 - 2.2 Mechanism of backscattering enhancement
 - 2.3 Analysis of the lidar backscattering by pristine hexagonal crystals
 - 2.4 Summary
- 3 Analysis of lidar returns from rectangles and hexagonal ice crystals: Lidar equation in Kirchhoff's diffraction theory.
 - 3.1 Introduction
 - 3.2 Scattering model
 - 3.3 Summary
- 4 Analysis of lidar backscattering enhancement for pristine hexagonal ice crystals: Lidar equation in Kirchhoff's diffraction theory.
 - 4.1 Introduction
 - 4.2 Scattering by rectangular particles
 - 4.3 Scattering by hexagonal crystals
 - 4.4 Summary
- 5 Cloud observation by lidar, 95GHz cloud profiling radar and 13.8GHz precipitation radar.
 - 5.1 Introduction
 - 5.2 Description of our lidar, 95GHz cloud radar and 13.8GHz precipitation radar system
 - 5.3 Cirrus clouds observed by lidar and 95GHz cloud radar
 - 5.4 Clouds and precipitation observed by 95GHz and 13.8GHz radars
 - 5.5 Summary
- 6 Air-borne observation by 95GHz cloud radar.
 - 6.1 Introduction
 - 6.2 Theory for clouds observed by 95GHz cloud radar onboard air craft
 - 6.3 Results
 - 6.4 Summary
- 7 List of Publications

=== === === === === === === === === === === ===

本論文は、アクティブセンサ（ライダ、95GHz雲レーダ、13.8GHz降雨レーダ）による様々な雲の観測、解析を行ったものである。

地球の温暖化予測をするため、その最大の不確定性要因である雲の鉛直分布や雲粒子の微物理量、雲の生成、消滅という雲のフィードバックプロセスの全容を解明する必要がある。現在、衛星搭載されているパッシブセンサーでは、視線方向の積分量や観測者に近い領域を観測する傾向にあるため、これらの量を観測することができない。このため、レーダやライダといったアクティブセンサで観測する必要がある。

このようなアクティブセンサの一つとして、雲やエアロゾルの測定に使われているライダがある。ライダとは、

レーザー受信の偏巻を子定め、散乱した。それらを用いた観測結果を導出した。

また、ミリ波を用いた観測も近年行われるようになってきた。従来は雲粒子の大きさは100 μ m以下と見られていたが、これは雲観測用のレーダ（雲レーダ）の周波数は95GHz（波長3.2mm）と非常に高いため、その開発は技術的に極めて難しいからである。今現在、雲レーダはアメリカ、ドイツ、イギリスと日本にあるのみで、世界で数台しかない。国内では通信総合研究所（CRL）で1998年開発されたSPIDERのみである。このSPIDERは偏波観測とドップラ速度観測可能なマルチパラメータレーダで、飛行観測も行える。このため、メソスケール（数百km程度）をカバーする広範囲にわたる雲の観測をほぼ同一時刻で観測することが可能である。

レーダやレーダの信号は、雲粒子のサイズ、個数、形、配向が反映されている。これらの微物理量を求めるためには2つ以上のセンサを用いた同時観測手法の開発が必要になってくる。特に、雲粒子の場合には凝結核（エアロゾル）が観測できると蒸気により生成されるため、エアロゾルが観測できると必要となる。しかし、雲レーダ、レーダ、降雨レーダ、マイクロ波放射計の多観測同時地上観測は世界的に見てもほとんど例がなく、また、これらの機器を同一の研究室で保有している機関も世界的に見てもCRL以外ほとんどない。したがって、これら観測の同時地上観測は世界的に見てもまだほとんど例が無い。本論文では、これら観測の同時地上観測の結果を示した。

CRLでは、2000年2月にSPIDERによる日本海上空の雲の航空機観測を行った。この観測は将来予想される衛星搭載レーダの設計に必要な雲からのレーダエコーの特性をより詳しく理解するために実施されたものである。本論文はこの飛行観測結果を示した。

今後は、今日までCRLにおいて約1ヵ月間行われたレーダ、SPIDER、降雨レーダ（CAMPR）、マイクロ波放射計の同時観測データをここで用いた手法で解析して行く予定である。また、2001年度には奄美大島のAPEX集中観測、海洋地球研究船『みらい』による3ヵ月程度の航海同時観測が行われる。これにはレーダ、SPIDERやさまざまなパッシブセンサが搭載されることになっている。このAPEX集中観測では航空機による雲粒子・エアロゾルのその場観測も行われる予定である。また、衛星計画として、さまざまな機関でレーダやレーダを搭載した衛星による全球の雲の観測が行われようとしている。レーダと雲レーダを搭載するNASDAのATMOS-B1、ESAとNASDAではEarth Care Mission（ECM）、NASAではレーダを搭載するPathfinder Instruments for Cloud and Aerosol Spaceborne Observations（PICASSO）と雲レーダを搭載するCloudSatが提案されている。本論文の観測、解析、計算はそれら観測解析において有用になるものである。

=== 第2章 ===

第2章では、レーダ観測結果と物理量である粒子の後方散乱係数（後方にどれだけ散乱されるかを示す量）を結びつける方程式であるレーダ方程式を幾何光学近似で導出した。幾何光学近似の成り立つ範囲は限られて

いるのだが、ここで導いた方程式は従来のライダ方程式とは距離の依存性が全く違うことを示した。すなわち、通常のライダ方程式は、受信電力は観測者と散乱体の距離の -2 乗に比例するが、新たに導出された方程式では、水平ランダムオリエンテーションをした板状六角柱に関しては 0 乗、水平ランダムオリエンテーションをした針状六角柱と3次元ランダムオリエンテーションをしている板状、針状六角柱に関しては -1 乗で比例することが分かった。

S. Iwasaki, and H. Okamoto, Anomalous backscattering enhancement by non-spherical ice crystals for lidar observation., Appl. Opt, 2000. submitted.

=== 第3章 ===

第3章は、ライダ方程式をキルヒホッフの積分公式から導出した。その結果、球形粒子の場合は受信信号が常に観測者と散乱体の距離の -2 乗になるが、そうにはならないことを示した。

S. Iwasaki, and H. Okamoto, Analysis of lidar backscattering enhancement for pristine hexagonal ice crystals., In Singh, Itabe, Sugimoto (Eds) SPIE2000: Remote Sensing of the Atmosphere, Environment, and Space., 2000., in press.

=== 4章 ===

第4章は、第3章を発展させたもので、いくつものサイズ分布で計算したものである。その結果、不規則形状粒子の後方散乱の受信電力のほうが球形粒子のそれより桁で大きくなることを示した。

S. Iwasaki, and H. Okamoto, Analysis of lidar returns from rectangles and hexagonal ice crystals., In Smith and Timofeyev (Eds.) IRS2000: Current Problems in Atmospheric Radiation, Deepak Publishing, 2000., in press.

=== 第5章 ===

第5章では、2000年秋に行われたライダ、95GHz雲レーダ (SPIDER)、13.8GHz降雨レーダ (CAMPR) の雲の同時地上観測の結果を示す。SPIDERとライダの同時観測においては、巻雲 (高度10km付近の氷雲) の観測解析結果を示す。SPIDERとCAMPRの降雨を伴う雲の同時観測においては、融解層の見え方が全く違うことを示した。

=== 第6章 ===

第6章では、2000年2月に行われた95GHz雲レーダ (SPIDER) による日本海上空の雲の航空機観測の結果のうち、海面の散乱断面積が一定であることと、雲粒子のドップラ速度の校正法を示した。これは将来予想される衛星搭載雲レーダの校正に必要なものである。

論文審査の結果の要旨

氏名	構造科学専攻 岩崎 杉紀		
論文題目	Analysis of the Cloud Observations by Radar and Lidar (レーダ、ライダによる雲の観測・解析)		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	向井 正
	副査	教授	山中 大志
	副査	教授	松田 卓也
	副査	助教授	中村(前川) 昭子
要 旨			
<p>地球の温暖化予測をするためには、その最大の不確定性要因である雲の鉛直分布や、雲粒子の物理量、更に加えて、雲の生成、消滅という雲のフィードバックプロセスの全容を解明する必要がある。現在、衛星に搭載されているパッシブセンサーでは、視線方向の積分量や、観測者に近い領域を観測する傾向にあるため、雲の垂直分布や、局所的な雲の物理量を観測することができない。このため、レーダやライダといったアクティブセンサで観測する必要がある。本論文では、アクティブセンサ(ライダ、95GHz雲レーダ、13.8GHz降雨レーダ)による様々な雲の観測データと、その解析結果について詳細に検討している。</p>			

印

1章の概要では、従来の研究について問題点が整理されている。ここで扱うライダとは、レーザーパルスを使い、その送信した時間と後方散乱されて受信された時間との差から、距離と散乱強度を測る測器で、偏光測定も可能である。高い高度(10km程度)にある巻雲のような氷雲粒子は、一般に球形ではなく複雑な形状をしている。しかしながら、不規則形状粒子に対する光散乱の基礎過程は、これまで十分に考察されていないために、ライダ観測の結果の定量的な解釈は困難であるとされてきた。

2章では、ライダ方程式(ライダ観測結果と、物理量である粒子の後方散乱係数を結びつける方程式)の導出に際して、不規則形状体による光散乱過程を、幾何光学近似の元で考察した。ここでは、特に後方散乱強度の増加機構に着目している。幾何光学近似の成り立つ範囲は限られているが、ここで導いた方程式は、従来のライダ方程式とは距離の依存性が全く違うことが判った。すなわち、通常のライダ方程式では、受信電力は観測者と散乱体の距離の2乗に比例するが、新たに導出された方程式では、水平ランダムオリエンテーションをした板状六角柱に関しては0乗、水平ランダムオリエンテーションをした針状六角柱に関しては-1乗で比例することが分かった。

3章と4章では、ライダ方程式において、不規則形状体(立方結晶格子氷や六方結晶氷)の後方散乱強度を、キルヒホッフの積分公式から導出した。本章は、2章と違い、水平ランダムオリエンテーションしか取り扱えないが、回折まで考慮している。そのため、水平ランダムオリエンテーションの元では、ここで導出したライダ方程式は一般的に成立つ。球形粒子のライダ方程式(通常のリダ方程式)から導出される後方散乱係数(後方にどれだけ散乱されるかを示す量)と、ここで導いた不規則形状体による後方散乱係数とを比較した。その結果、不規則形状体による後方散乱の強度が、球体に比べて桁で小さくなることが判った。

5章では、地上におけるライダ、95GHz雲形状探査レーダ、及び13.8GHzレーダによる雲の同時観測結果についてまとめている。ライダやレーダの信号は、雲粒子のサイズ、個数、形状、配向が反映されている。これらの物理量を求めるためには、2つ以上のセンサを用いた同時観測手法の開発が重要になってくる。特に、雲粒子の場合は凝結核（エアロゾル）と水蒸気により生成されるため、エアロゾルが観測できるライダが必要となる。しかし、雲レーダ、ライダ、降雨レーダ、マイクロ波放射計の多測器同時地上観測は世界的に見てもほとんど例が無い。今現在、雲レーダはアメリカ、ドイツ、イギリスと日本にあるのみで、世界に数台しかない。国内では通信総合研究所（CRL）で1998年開発されたSPIDERのみである。このSPIDERは偏波観測とドップラ速度観測可能なマルチパラメータレーダで、飛行観測も行える。このため、メソスケール(数百km程度)をカバーする広範囲にわたる雲の観測を、ほぼ同一時刻で実施することが可能である。ここでは、SPIDER観測によって、雲粒子の平均サイズや、水の氷の存在量を推定することに成功した。特に、雲粒子の大きさの推定において、この装置の威力が発揮できることを示した。

6章では、2000年2月に行われたSPIDERによる日本海上空からの雲と、海面の航空機観測の結果を示す。この観測は、将来予想される衛星搭載雲レーダの設計に必要な雲からのレーダエコーの特性を、より詳しく理解するために実施されたものである。海面からの反射波の測定が、キャリブレーションとして有効であることが判った。また、雪粒子が雲粒子に比べて大きいことも実証した。

本研究は、不規則形状体の後方散乱を考慮したレーダ、ライダ方程式の理論的定式化を行うと共に、独自の観測を実施し、それらの結果についての優れた解析を行い、重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者・岩崎杉紀は、博士（理学）の学位を得る資格があると認める。