

京都大学	博士 (理学)	氏名	秋山 静佳
論文題目	衛星搭載降水レーダによる二周波観測を活用した降雪微物理特性の推定に関する研究		
(論文内容の要旨) <p data-bbox="212 521 1380 936">氷晶を含まない雲からの降雨を除けば、降水過程には降雪などの固体降水粒子が上空で関与しており、地上に落下する途中で融解すると降雨、融解しない場合は降雪などとなる。従って、全球水循環の理解には、固体降水の全球的動態を衛星観測によって明らかにすることが必須である。降雨だけでなく降雪の観測を目的とした全球降水観測計画 (GPM) 主衛星に搭載された二周波降水レーダ (DPR) は、前身の熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 降雨レーダ (PR) と同じ周波数帯のKu帯 (13.65GHz) レーダに加え、Ka帯 (35.5GHz) レーダで構成されている。しかしながら、Ku帯レーダの感度が初期設計値を上回ったためにKu帯レーダ単体での利用が盛んとなり、Ku帯・Ka帯の二周波観測は既往研究で十分利用されなかった。そこで、本研究は、二周波観測を活用した降雪微物理特性の高精度推定を目的とした。</p> <p data-bbox="212 947 1380 1451">まず、DPRの二周波レーダ反射強度比 (DFR) によって検出された大きな粒径の固体降水 (HIP) フラグデータを用いて、温帯低気圧に伴うHIPの分布を調べた。その結果、125km以上にも及ぶ長さで帯状に連なるHIPバンドを初めて検出することに成功した。このHIPバンドはアメリカ北東部で低気圧に伴って豪雪をもたらす降雪バンドと類似した構造を持ち、HIPバンドの降水頂付近では、DFRは下層に向かって増加しないため比較的小さな降水粒子が多数存在することが明らかとなった。また、大気再解析データで与えられる上昇流の解析から、降水頂付近では上昇流に伴う氷粒子の生成・昇華成長が卓越していることが示唆された。一方、その下層ではDFRが下層に向かって急激に増加するため、多数の氷粒子同士が衝突して大きな雪片となる凝集成長が卓越していると推定された。さらに、このHIPバンドにおけるKu帯レーダ反射強度とDFRの鉛直分布の特徴は他の降雪事例とは大きく異なるため、DFRを利用することで初めて、大きな雪片を含むHIPバンドが検出できたことを明らかにした。</p> <p data-bbox="212 1462 1380 1966">次に、DPRが観測するDFRを活用して降雪粒径分布および降雪量を定量的に推定する手法 (二周波法) を新たに開発した。開発した二周波法は、DFRの活用だけではなく、様々な複雑形状を持つ雪粒子モデルの電波散乱特性データベースも活用する。そして、開発した二周波法を、航空機による降雪粒径分布観測がDPR観測と同期して実施された事例に適用した。その結果、従来手法では全く検出できなかった降雪平均粒径の高度依存性を、二周波法によって、航空機観測結果と同様に、明確に検出できることが明らかになった。また、降雪粒子の平均粒径推定値は二周波法で用いる雪粒子モデルに依存しないが、降雪粒子の数濃度や降雪量の推定値は大きく依存することを明らかにし、対象事例では雲粒捕捉成長の度合いが小さい雪粒子モデルが最も適切であることを示した。さらに、雪粒子モデルとして、従来手法で使用されていた単純な回転楕円体を適用した場合、二周波法で推定される降雪量は過大となるため、降雪量推定には複雑形状を持つ雪粒子モデルの採用が重要であることも示した。</p> <p data-bbox="212 1977 1380 2040">このように本研究によって、GPM主衛星に搭載された二周波降水レーダ観測を活用することで、降雪微物理特性を高精度で推定できることが初めて明らかとなった。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

全球降水観測計画 (GPM) 主衛星二周波降水レーダ (DPR) は、前身の熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 降雨レーダ (PR) と同じ周波数帯のKu帯 (13.65GHz) レーダに加え、Ka帯 (35.5GHz) レーダから構成され、二周波観測が可能となった。しかし、Ku帯 (13.65GHz) レーダの送信電力が増加してPRに比べて感度が向上したことに加え、新たに加わったKa帯 (35.5GHz) レーダとの二周波観測は降雨微物理特性の推定にあまり貢献しなかったため、従来の降水量推定手法ではKu帯レーダのみを利用することがほとんどで、二周波観測は十分利用されていない。また、中高緯度にまで観測範囲が拡大したDPRでは、降雨だけでなく降雪の推定も重要となるが、検出感度が不足する弱い降雪だけでなく検出可能な比較的強い降雪でも、従来手法には降雪量を過小推定するバイアスが存在する。そこで、本研究は、二周波観測を活用して降雪微物理特性を高精度に推定することを目的とした。

まず、DPRの二周波レーダ反射強度比 (DFR) によって検出された大きな粒径の固体降水 (HIP) フラグデータを解析し、温帯低気圧に伴って帯状に連なったHIPバンドを検出した。HIPフラグ自体は先行研究で開発されてはいるが、組織化したHIPバンドを初めて検出した意義は大きいと評価できる。さらに、このHIPバンドがアメリカ北東部で低気圧に伴って豪雪をもたらす降雪バンドと類似した構造を持つことや、DFRの三次元観測を駆使してHIPバンドにおける降雪微物理特性を解明したことは特筆に値する。

次に、新たに開発に成功した二周波法は、DFRを活用して降雪粒径分布および降雪量を高精度に推定し、DPRと航空機との同期観測事例において、従来手法では検出できなかった降雪平均粒径の高度依存性を、航空機観測結果と同様に明確に検出できることを示した。さらに、降雪の平均粒径推定の頑健性も明らかにし、降雪平均粒径推定におけるDFR観測の有効性を示した意義は大きいと評価できる。また、降雪粒子の数濃度や降雪量の推定では、複雑形状の雪粒子モデルの電波散乱特性を考慮する必要があることも明らかにした。このように、本研究によって、降雪粒径分布および降雪量を定量的に推定する二周波法開発の端緒が開かれたことは高く評価できる。

TRMM衛星の検討初期より二周波降水レーダの構想はあったが、予算の都合でPRはKu帯の一周波レーダとなった経緯があり、DPRによって二周波降水レーダがようやく実現した。しかし、二周波観測があまり利用されなかったこともあり、DPRの後継センサとして、降雪の検出感度を向上させたドップラー計測機能付きKu帯の一周波降水レーダが計画されている。ドップラー計測機能によって新たな降水パラメータの観測が可能となるが、本研究は、一周波観測に比べて情報量が二倍となる二周波観測による降雪を含む降水量推定の重要性を定量的解析によって示し、将来の衛星降水レーダ開発計画に大きな影響を与えることが期待できる。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和6年11月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降