

称号及び氏名	博士（工学） 木田 智史
学位授与の日付	平成 22 年 6 月 30 日
論文名	「Development of a Rain/no-rain Classification Method for Precipitation Algorithms of Microwave Radiometers over Ocean (衛星搭載マイクロ波放射計を用いた海上における降水判定手法の開発)」
論文審査委員	主査 真鍋 武嗣 副査 新井 隆景 副査 大久保 博志

論文要旨

降水は、生活を支える飲み水や、農業・工業に必要な水を私たちにもたらしてくれる。一方で、降水量の増減によって、生活を脅かす洪水や干ばつを引き起こす。また、降水は大気の地球規模の循環にも影響を及ぼす。地上から蒸発した水蒸気が上空で凝結し降水となることで大気中に潜熱を放出し、大気循環を駆動するエネルギーとなっている。そのため、私達が地球規模での降水活動を監視・観測を行うことは、科学的側面および実利用的側面の両方において重要なことである。

降水を観測する最も基本的な手段は、地上に設置された雨量計やレーダを用いることである。しかしながら、降水は時間空間的に変動が激しい現象であり、現在存在する地上観測点で得られるデータだけでは全球の降水分布の状況が十分把握できない。そこで、最も有望な観測手段として、人工衛星に搭載された赤外放射計やマイクロ波放射計による観測が上げられる。赤外放射計は、主に静止軌道衛星に搭載されており、雲頂の輝度温度を観測している。地上の降水量を推定するためには、地上の雨量計と雲頂の輝度温度の経験的關係を用いる。一方、マイクロ波放射計は、雨粒によるマイクロ波の放射や氷晶によるマイクロ波の散乱を、雲を通して観測することができる。それゆえ、マイクロ波放射計は、赤外放射計に比べて降水をより直接的に観測できる装置と言える。マイクロ波放射計は、イメージャとサウンダの2種類に大別できる。マイクロ波イメージャは、降水観測に適した観測チャンネルを持ち、降水推定アルゴリズムが長年にわたり開発がなされている。一方、マイクロ波サウンダは、本来、気温や水蒸気量の鉛直分布を観測するセンサであるが、観測頻度の向上が期待されることから、降水推定アルゴリズムの開発が行われつつある。

こうした、マイクロ波放射計降水推定アルゴリズムにおいてより適切な降水推定を行うには、降水域と無降水域を判別することは重要である。降水域と無降水域を適切に判別できなければ、降水推定アルゴリズムの精度は低くなる。しかし、降水域と無降水域の判別に関係

する雲水量が十分に分かっていないため、一般的な降水判定手法を開発することが難しく、降水推定アルゴリズムを比較した過去の研究では、それぞれ異なる雲水量の閾値を用いているため弱い降水域で判定に違いがあることが分かっている。

マイクロ波降水推定アルゴリズムが降水域を適切に判別することは、全球降水マップの作成においても重要である。低軌道衛星に搭載されたマイクロ波放射計は時間空間的に観測範囲がまばらであるため、全球降水マップの作成において、赤外放射計がマイクロ波放射計を補間するように利用されている。赤外放射計を補間する手法は大きく分けて2種類ある。一つは、マイクロ波放射計の降水推定結果に基づいて赤外放射計の観測データから降水データを作成する手法と、もう一つは赤外放射計から推定した雲の移動を利用してマイクロ波放射計の降水域を移動させる手法である。どちらの手法も、全球降水マップの降水頻度は、マイクロ波放射計から推定された降水頻度に依存しているため、マイクロ波降水推定アルゴリズムによる適切な降水域の判別が重要となる。

本論文は、マイクロ波放射計が観測した輝度温度から降水域を推定する手法を開発・改良し、マイクロ波放射計降水推定アルゴリズム、およびマイクロ波から推定されたデータに基づいて作成される全球降水マップの精度を向上させることを目的とする。

第1章では、本論文の背景、目的および概要を述べる。

第2章では、熱帯観測衛星 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)が搭載している降雨レーダ(Precipitation Radar, PR)とマイクロ波イメージャ(TRMM Microwave Imager, TMI)によって得られる降水を同時観測したデータの解析を行い、その違いからマイクロ波放射計降水推定アルゴリズムである Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)アルゴリズムにおける降水判定手法の改良を行った。PR と TMI の事例解析により、マイクロ波放射計降水推定アルゴリズムでは、背の低い分散した降水を見逃す傾向にあることが分かった。背の低い降水では、雪や氷晶を含まないため散乱シグナルが現れず、水平分解能の悪い低周波数帯の観測チャンネルでは放射シグナルが捉えられないため、見逃していることが分かった。そのため、本研究では、水平分解能の良い高周波数帯観測チャンネルによる放射シグナルを降水判定に用いることを提案した。ここでは、提案した降水判定手法を、従来の GSMaP アルゴリズムおよび TRMM TMI の標準アルゴリズムである Goddard PROFiling (GPROF)アルゴリズムとの比較を、事例解析およびグローバル解析にて行った。その結果、中緯度帯の寒冷前線の後方に広がる背の低い降水が広がる領域や台風における強風域の降水判定精度が向上し、中緯度帯や熱帯集束帯における降水判定精度が向上したことを示した。一方で、グローバル解析において孤立した背の低い降水が広がる亜熱帯海上のような領域では、降水を見逃す傾向が多くなるため降水判定精度が低下した。この原因として、降水推定アルゴリズムでは降水域と無降水域を区別するための雲水量の閾値が降水の高さに関係なく 0.5 kg m^{-2} の一定値であることが適切でないと考えた。そこで、背の低い降水が卓越する領域において、降雨の高さに従う雲水量の閾値のパラメタ化を行い、降水推定アルゴリズムへ導入した。その結果、亜熱帯海上での背の低い降水の判定を行うことができ、全球における降水判定精度の向上を行うことができた。従来の GSMaP アルゴリズムや GPROF アルゴリズムと比較しても、中緯度帯の降水判定精度の向上を確認することができ、提案した降水判定手法の有効性を示すことができた。

第3章では、CloudSat 衛星搭載の雲レーダ(Cloud Profiling Radar, CPR)からの降水観測と CloudSat 衛星とほぼ同時に飛行している Aqua 衛星搭載のマイクロ波放射計 AMSR-E の観測から推定された雲水量を用いて降水域と無降水域を判別するための雲水量の閾値を決定した。

その結果、雲水量の閾値は、熱帯で $0.3\sim 0.4\text{ kg m}^{-2}$ 程度を示し、そこから高緯度になるにつれて 0.2 kg m^{-2} と減少していくことが分かった。これは、従来の GSMaP アルゴリズムや GPROF アルゴリズムで用いられてきた閾値よりも低いことが分かった。この解析で得られた雲水量の閾値をマイクロ波放射計降水推定アルゴリズムに導入することで、CPR によって捉えられた弱い降水域をマイクロ波放射計降水推定アルゴリズムによって捉えることができる可能性を示した。

第 4 章は、衛星搭載マイクロ波サウンダ用 GSMaP アルゴリズム(GSMaP_AMSU)と米国海洋大気庁(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)によって作成されたサウンダ用アルゴリズム(NOAA_AMSU)から推定される降水の割合(降水頻度)の比較を、Kwajalein 環礁における地上レーダから得られたデータおよび、衛星搭載マイクロ波イメージャと降雨レーダの推定値を用いて行った。Kwajalein 環礁における地上レーダに比べて、衛星搭載センサによる降水頻度が非常に低いことがわかった。一方で、マイクロ波イメージャから推定された降水頻度との比較では、NOAA_AMSU が全球に渡って低く、GSMaP_AMSU はほとんど違いが見られないことが分かった。降雨レーダとの比較では、GSMaP_AMSU は違いがほとんど見られない一方で、NOAA_AMSU には亜熱帯海上で低い領域が見られた。そこで、亜熱帯海上における事例解析を行った。その結果、NOAA_AMSU は背の低い降水を見逃していたが、GSMaP_AMSU は、第 2 章で高周波数帯観測チャンネルによる放射アルゴリズムと、降雨の高さに従う雲水量の閾値のパラメータ化によって捉えることが出来ていることがわかり、マイクロ波イメージャにおいて開発した手法がマイクロ波サウンダによっても有効であることを示すことができた。

第 5 章では、本論文で得られた結果を総括し、今後の展開を述べた。

審査結果の要旨

本論文は、全地球規模の降水現象の観測のためのセンサである衛星搭載マイクロ波放射計の降水推定アルゴリズムにおいて、降水推定精度向上の鍵を握る降水域と無降水域の判定に関して、新しい手法を提案し、各種の衛星観測データに適用しその有効性を明らかにしている。得られた主な成果は以下のように要約できる。

(1) 従来の衛星搭載マイクロ波放射計で降水観測には役に立っていなかった、水平分解能の高い高周波帯観測チャンネルの放射シグナルを降水判定に使用する手法を提案した。

(2) 従来の衛星搭載マイクロ波放射計の降水判定アルゴリズムでは一定値を仮定していた降水判定のための雲水量の閾値を降水頂の高さでパラメータ化することにより判定精度を向上する手法を提案した。

(3) 上記の(1)(2)で提案した手法を、熱帯降雨観測衛星(TRMM)搭載マイクロ波イメージャ(TMI)のデータに適用し、同衛星搭載降雨レーダのデータとの比較の結果、従来の方法で捉えることが出来なかった亜熱帯海上等の背の低い降水域等を捉えることが出来、全球の降水推定精度を向上出来ることを確認した。

(4) Aqua 衛星搭載のマイクロ波放射計データと CloudSat 衛星搭載雲レーダの比較により雲水量の閾値の地域依存性を明らかにし、これにより、降雨レーダでは捉える事ができないよ

うな極弱い降水域をマイクロ波放射計降水アルゴリズムで捉える事が出来る可能性を示した.

(5) 本論文で提案した手法を我が国で開発したマイクロ波サウンダのアルゴリズム GSMAP_AMUS に適用した結果を, 米国海洋大気庁 (NOAA) の開発したアルゴリズム NOAA_AMUS と, 各種観測のデータを用いて比較した結果, NOAA のアルゴリズムでは見逃されていた背の低い降水を, 本論文の提案手法では的確に捉える事が出来ていることを確認し, 本手法がマイクロ波サウンダにおいても有効であることを示した.

以上の研究成果は, 衛星搭載マイクロ波放射計の降水推定アルゴリズムの精度向上に関して新しい手法を提案するとともに重要な知見と与えるものであり, 現在, 日本とアメリカが中心となって 2013 年打ち上げを目標に開発が進められている全球地球観測計画 (GPM) の降水推定アルゴリズムへの利用が期待されるなど, この分野の技術の発展に貢献すること大である. また申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識を有することを証したものである.