

# 論文審査の結果の要旨

氏名 及川栄治

本論文は人工衛星からのライダー観測に基づき、雲が存在する場合を含めた全天大気でのエアロゾルの直接放射強制力(SWDARF)を世界で初めて推定し、その観測との比較からグローバル数値モデルの不確定性の原因を明らかとした研究である。

大気中に浮遊するエアロゾルは太陽放射を散乱・吸収することにより地球の放射収支に影響を与えている。2006年に打ち上げられた衛星ライダーCALIPSOにより、初めて全球でのエアロゾルと雲の鉛直分布が観測され、それまでの受動型衛星センサーでは不可能であった、雲が存在する状態でのSWDARFの推定が可能となった。先行研究ではアフリカ南西沖で、下層雲上の吸収性エアロゾルが正の放射強制力を示すことが報告されているが、全天大気でのSWDARFを全球規模で見積もった研究は前例がなかった。

本論文ではCALIPSO衛星とAqua衛星に搭載されているMODISセンサの観測データを用いて、全天大気におけるSWDARFの見積もりを行った。SWDARFの計算では、晴天大気、エアロゾルが雲の上に存在する場合(Above-cloudの場合)、エアロゾルが巻雲のような光学的に薄い雲の下に存在する場合(Below-cloudの場合)、さらに、曇天大気でエアロゾルが観測されない場合(Cloudy-undetectedの場合)の4つの場合に分けて見積もりを行った。この結果、観測頻度は晴天大気が38%、Above-cloudの場合が4%、Below-cloudの場合が16%、Cloudy-undetectedの場合が42%であった。

このような場合分けにもとづいてSWDARFを計算した結果、晴天大気とBelow-cloudの場合は、砂漠域などの地表面アルベドが高い領域以外では、エアロゾルによる散乱の効果が支配的であるため負値となった。一方、Above-cloudの場合では、SWDARFが全球的に正值となった。これは、エアロゾルの単一散乱アルベド(SSA)が0.89であり、エアロゾルの光吸収特性が強いため、下層に存在する雲から反射される光をエアロゾルが効率よく吸収して、エアロゾルの光吸収が強められることによるものである。上記の方法によるSWDARFの計算をCALIPSOの異なる2つのバージョンのデータに適用することにより、SWDARFの南緯60度から北緯60度における領域平均値は、晴天大気において $-3.7 \pm 0.8 \text{ Wm}^{-2}$ 、曇天大気において $-1.0 \pm 0.8 \text{ Wm}^{-2}$ 、全天大気において $-2.0 \pm 1.2 \text{ Wm}^{-2}$ と見積もれた。この結果から、CALIPSOのリトリバルアルゴリズムの違いによって、全天大気のSWDARFは50%程度の誤差を生じることが確認された。

本論文ではまた、衛星観測データとの比較により全球エアロゾルモデルであるMIROC-SPRINTERSの不確定性の評価をおこなった。本研究ではまず、エアロゾルモジュールと放射モジュールでのエアロゾルの光学計算が整合的に行えるようにモデルの改良をおこなった。その上でCALIPSO衛星観測との比較を行った結果、MIROC-SPRINTERSモデルではエアロゾ

ルが鉛直方向には現実よりも拡散しやすいが、水平方向には広がりにくいことがわかった。SWDARF の見積においてエアロゾルの高度分布の不確定性とそれ以外の効果に分けて評価するために、エアロゾル濃度を高度 4km 以上と以下とで、それぞれ CALIPSO の光学的厚みに一致するように全球的にスケーリングした。この結果、南緯 60° から北緯 60° までの SWDARF の領域平均値は、晴天大気において  $-3.2 \text{ Wm}^{-2}$ 、曇天大気において  $-0.3 \text{ Wm}^{-2}$ 、全天大気において  $-1.7 \text{ Wm}^{-2}$  となった。さらにこのような高度分布のスケーリングをほどこしても残る全球モデル計算と衛星観測と差異について考察を行い、人工衛星観測と数値モデル計算両方の SEDARF 推定の見積の不確定性を見積もった。

以上のように本論文では、衛星ライダー観測の特性を活かして世界で初めて全天での SWDARF を全球で見積もることに成功した点において評価できる。またその見積の不確定性をさまざまな角度から検討したことも学術的な価値がある。さらにこの衛星観測との比較から現在の数値モデルの不確定性についてエアロゾル高度分布に着目した評価を行ったことは、新しいアプローチとしての意義がある。

なお、本論文の内容に関連した内容の一部は、学術論文誌 Journal of Geophysical Research: Atmospheres の論文として発表済みであるが、この論文は論文提出者が第一著者であり、主体となつて解析・解釈を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。