

学位論文題名

Studies on long-term variations in aerosol optical properties
and direct effect by ground-based radiometers(地上日射観測によるエアロゾル光学特性と
直接効果の長期変動に関する研究)

学位論文内容の要旨

世界の地上日射は、1980年代半ばまで減少傾向(暗化)にあり、その後増加傾向(明化)に転じている。この変化の主要因には、雲だけでなくエアロゾルの変動が挙げられている。本研究では、エアロゾルのモニタリングを目的に、地上日射計による直達・散乱光の快晴下での観測から、エアロゾル光学特性(光学的厚さ、一次散乱アルベド、非対称因子)を推定する方法を開発した。そして、開発した方法をつくばにおける長期観測に適用し、エアロゾル光学特性の季節・数十年の変動と直接効果による地上日射への影響を調べた。

第1章では、直達・散乱光の狭波長帯域の分光観測から光学特性を推定する方法を開発した。この方法では、エアロゾルの複素屈折率と粒径分布を観測値に最適化することで光学特性を得る。開発した方法を使って、2004から2008年の観測値から、光学特性と地上放射強制力(地上日射のエアロゾルによる減衰量)の季節変動を調べた。光学的厚さは、春から夏にかけて大きく、冬に小さかった。春の大きな光学的厚さは、粒径の大きい粒子に起因していたのに対し、夏の大きな光学的厚さは、小さい粒子の寄与が大きかった。一次散乱アルベドは、夏に大きく、冬に小さい。非対称因子は、春に大きく、夏に小さい。地上放射強制力は、光学的厚さと一致した変動を示していたが、地上放射強制力の能率(単位光学的厚さあたりの地上放射強制力)は、一次散乱アルベドと非対称因子の変動と一致しなかった。そこで、地上放射強制力の大気上端での太陽入射光に対する比をとることで、太陽入射光の季節変動を除去したところ、地上放射強制力能率の一次散乱アルベド、非対称因子への依存性が見いだされた。つくばの光学特性と地上放射強制力の季節変動を東アジアの他の地点と比較した結果、東アジア全体で季節変動は、おおむね同じ変化をしていた。しかし、日本の光学特性と地上放射強制力の値自体は、大陸で得られた値よりも季節を通して小さかった。

第2章では、1998から2008年の地上日射、地上放射強制力、光学特性の長期変化傾向を調べた。光学特性の推定には、全短波長を可視と近赤外の広帯域に分光した直達・散乱光の観測を用いた。この方法では、光吸収特性と粒径半径の異なる4種類のエアロゾル(水溶性、黒色炭素、海塩、土壌粒子)を仮定し、これらの外部混合を観測値に最適化することで光学特性を推定した。解析の結果、地上日射は、増加傾向にあり、その要因は、光学的厚さの減少ではなく、一

次散乱アルベドの増加であることが分かった。また、一次散乱アルベドの増加には、黒色炭素の減少が関わっている可能性がある。

第3章では、全短波長域の直達・散乱光観測から、1970年代にさかのぼって光学特性の変動を調べた。ここでは、エアロゾルの複素屈折率と全濃度を観測値に最適化することで、光学的厚さと一次散乱アルベドを推定している。実際の観測を使って得られた光学的厚さと一次散乱アルベドを、より信頼性の高いスカイラジオメータの推定値と比較したところ、季節変動に多少の差はあったが、年平均では非常に良い一致が得られた。開発した方法を使って1975から2008年の観測を解析した。光学的厚さは、1980年代半ばに、増加傾向から減少傾向に転じており、2000年代には、ほぼ一定の値となっていた。一次散乱アルベドは、1980年代末まで0.8と低い値であったが、次第に増加し、1990年代半ばには、約0.9の値になっていた。これらの光学特性から計算される快晴下の地上日射は、1980年代半ばまで減少傾向、その後増加傾向に転じ、2000年代にはおおむね一定となっていた。明化の大きさは、 12.7 Wm^{-2} で、その内、 8.3 Wm^{-2} は光学的厚さの減少に、 4.4 Wm^{-2} は一次散乱アルベドの増加によってもたらされていた。この快晴下の暗化・明化の変動幅は、曇天下の観測値にも見られた暗化・明化よりも大きかった。このため、つくばの暗化・明化の主要因は、エアロゾル光学特性の変動にあると考えられる。

全体の解析を通して、エアロゾル光学特性は、大きな季節・数十年の変動をしており、地上日射の変動に大きく影響していることが分かった。特に、一次散乱アルベドの変動による寄与が大きいことは、これまで知られていなかったことである。本研究で開発した手法を世界の他地点の観測に応用していくことで、より長期・広範囲のエアロゾルの放射場への影響を解明できると期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 吉 康 志
副 査 教 授 河 村 公 隆
副 査 助 教 川 島 正 行
副 査 教 授 太 田 幸 雄 (大学院工学研究院)

学位論文題名

Studies on long-term variations in aerosol optical properties and direct effect by ground-based radiometers

(地上日射観測によるエアロゾル光学特性と
直接効果の長期変動に関する研究)

世界の地上日射は、1980年代半ばまで減少傾向（暗化）にあり、その後増加傾向（明化）に転じている。この変化の主要因には、雲だけでなくエアロゾルの変動が挙げられている。本研究では、エアロゾルのモニタリングを目的に、地上日射計による直達・散乱光の快晴下での観測から、エアロゾル光学特性（光学的厚さ、一次散乱アルベド、非対称因子）を推定する方法を開発した。そして、開発した方法をつくばにおける長期観測に適用し、エアロゾル光学特性の季節・数十年の変動と直接効果による地上日射への影響を調べた。

まず、直達・散乱光の狭波長帯域の分光観測から光学特性を推定する方法を開発した。この方法では、エアロゾルの複素屈折率と粒径分布を観測値に最適化することで光学特性を得る。開発した方法を使って、2004から2008年の観測値から、光学特性と地上放射強制力（地上日射のエアロゾルによる減衰量）の季節変動を調べた。光学的厚さは、春から夏にかけて大きく、冬に小さかった。春の大きな光学的厚さは、粒径の大きい粒子に起因していたのに対し、夏の大きな光学的厚さは、小さい粒子の寄与が大きかった。一次散乱アルベドは、夏に大きく、冬に小さい。非対称因子は、春に大きく、夏に小さい。地上放射強制力は、光学的厚さと一致した変動を示していたが、地上放射強制力の能率（単位光学的厚さあたりの地上放射強制力）は、一次散乱アルベドと非対称因子の変動と一致しなかった。そこで、地上放射強制力の大気上端での太陽入射光に対する比をとることで、太陽入射光の季節変動を除去したところ、地上放射強制力能率の一次散乱アルベド、非対称因子への依存性が見いだされた。つくばの光学特性と地上放射強制力の季節変動を東アジアの他の地点と比較した結果、東アジア全体で季節変動は、おおむね同じ変化をしていた。しかし、日本の光学特性と地上放射強制力の値自体は、大陸で得られた値よりも季節を通して小さかった。

次に、1998から2008年の地上日射、地上放射強制力、光学特性の長期変化傾向を調べた。光学

特性の推定には、全短波長を可視と近赤外の広帯域に分光した直達・散乱光の観測を用いた。この方法では、光吸収特性と粒径半径の異なる4種類のエアロゾル（水溶性、黒色炭素、海塩、土壌粒子）を仮定し、これらの外部混合を観測値に最適化することで光学特性を推定した。解析の結果、地上日射は、増加傾向にあり、その要因は、光学的厚さの減少ではなく、一次散乱アルベドの増加であることが分かった。また、一次散乱アルベドの増加には、黒色炭素の減少が関わっている可能性がある。

最後に、全短波長域の直達・散乱光観測から、1970年代にさかのぼって光学特性の変動を調べた。ここでは、エアロゾルの複素屈折率と全濃度を観測値に最適化することで、光学的厚さと一次散乱アルベドを推定している。実際の観測を使って得られた光学的厚さと一次散乱アルベドを、より信頼性の高いスカイラジオメータの推定値と比較したところ、季節変動に多少の差はあったが、年平均では非常に良い一致が得られた。開発した方法を使って1975から2008年の観測を解析した。光学的厚さは、1980年代半ばに、増加傾向から減少傾向に転じており、2000年代には、ほぼ一定の値となっていた。一次散乱アルベドは、1980年代末まで0.8と低い値であったが、次第に増加し、1990年代半ばには、約0.9の値になっていた。これらの光学特性から計算される快晴下の地上日射は、1980年代半ばまで減少傾向、その後増加傾向に転じ、2000年代にはおおむね一定となっていた。明化の大きさは、 12.7 Wm^{-2} で、その内、 8.3 Wm^{-2} は光学的厚さの減少に、 4.4 Wm^{-2} は一次散乱アルベドの増加によってもたらされていた。この快晴下の暗化・明化の変動幅は、曇天下の観測値にも見られた暗化・明化よりも大きかった。このため、つくばの暗化・明化の主要因は、エアロゾル光学特性の変動にあると考えられる。

以上のとおり、申請者はエアロゾル光学特性が大きな季節・数十年の変動をしており、地上日射の変動に大きく影響していることを明らかにした。特に、一次散乱アルベドの変動による寄与が大きいことは、これまで知られていなかったことである。本研究で開発した手法を世界の他地点の観測に応用していくことで、より長期・広範囲のエアロゾルの放射場への影響を解明できると期待される。

よって、審査委員一同はこれらの成果を高く評価し、申請者は博士（環境科学）の学位を受け、のに十分な資格を有するものと判定した。