

氏 名	Chun-Sang Hong
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工乙第197号
学位授与年月日	平成23年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Remote Sensing of Atmospheric Aerosol using LIDAR System at Gosan, Jeju (済州 GOSAN におけるライダーによる大気エアロゾルの遠隔測定に関する研究)
論文審査委員	委員長 教授 坂本 和彦 委員 教授 吉門 洋 委員 准教授 王 青躍 委員 連携准教授 三輪 誠

論文の内容の要旨

北東アジアでは、自然起源及び人為起源のガスや粒子状物質を含む気塊が偏西風によって、アジア大陸から太平洋へ頻繁に輸送されている事が知られている。また、野外観測とモデル・シミュレーションに基づいた多くの研究によって、西方へ長距離輸送された黄砂粒子が地球規模、あるいは地域規模の環境に重要な役割を果たしている事が明らかになっている。

しかし、いくつかのフィールド観測ではダストに関して包括的な理解は十分ではない。そのため、衛星を用いて黄砂の発生源からの移動経路の動きを求めるなどの黄砂研究の進歩を促進する必要がある。そのような研究がなされた結果、モンゴルやタクラマカン砂漠の周縁部のゴビ砂漠が強く黄砂の発生源として示唆された。衛星からの観測は、強風と寒冷前線の通過にアジア大陸の乾燥、または、半乾燥地域が関連しており、黄砂の発生においてもそれが最も重要な要因であることを明らかにした。しかし、衛星観測のみによる一般的なダストの検出は、雲などの天気の状態に影響されるため、黄砂の構造を識別することは困難である。よって、それを可能にするためには、地上からの観測データと衛星データを比較することが不可欠である。その問題を解決する1つの方法は、ライダーによる観測である。1980年代の研究では、黄砂の長距離輸送を理解するためにライダーの技術を利用した有効性が示されている。たとえば、1979年に中国で二層の高い高度での黄砂の発生が観測されたが、それぞれ異なる起源層が認められた。具体的には、岩坂らが、タクラマカン砂漠付近から発生したものと、もう一つは黄河流域における発生に由来していたことを報告している。その後、甲斐らは、コンピュータシミュレーションとライダーの観測の結果を使用して1986年に発生した黄砂には、2つの黄砂層があり、つくばでは高度2 kmと4 kmで観測されており、黄土高原とその周辺の砂漠地帯は、黄砂の重要な発生源であることを報告している。

本研究は、アジア太平洋地域の放射強制力と気候変動で重要な役割を果たす、春季に北東アジア地域で発生した黄砂粒子の光学的特性を調べるために、光州科学技術院（GIST:Gwangju Institute of Science and Technology）環境モニタリング新技術研究センター（ADEMRC:Advanced Environmental Monitoring Research Center）の多波長ライダー（Multi-wavelength LIDAR）を用いて韓国済州島のGosan（33°17'N, 126°10'E）で大気エアロゾルの垂直分布の測定とその解析を行い、春季に北東アジア地域で発生した黄砂

粒子の光学的特性と北東アジア地域に達する気塊の起源別の寄与の割合を明らかにしたものである。

2001年 ACE-Asia 集中観測期間中 Gosan で観測されたライダー観測により、黄砂現象は3月22日、4月13日と4月26日の3回観測された。北東アジア地域上空の大気エアロゾルの物理・化学的特性への長距離輸送された大気エアロゾルの影響を調査するために、黄砂が観測された日の結果と比較的清浄な大気が観測された4月9日の観測結果、また、霧で大気がかすんだような現象が観測された4月15日の観測結果を比較分析した。この研究ではエアロゾル消散係数について、2回の黄砂のイベント日のプロフィール（3月22日と4月13日）を比較し、いくつかのエアロゾル層を明瞭に検出した。また、Gosan を通過している気団の移動経路を把握するために米国海洋大気局の HYSPLIT-4 のモデルを使用して、いくつかのケースに対して後方流跡線の解析を行った。また、ライダーで得られたエアロゾルの光学厚さと AERONET (Aerosol Robotic Network) の sunphotometer によって測定された値、さらに、Gosan 観測所地上での大気粒状物質の化学分析結果との比較から、長距離輸送された黄砂粒子がエアロゾルの光学厚さに大きな影響を与えたものと推定された。北東アジアにおいて春に偏西風の特徴を明らかにする目的で、2001年 ACE-Asia 集中観測期間中の3月と4月に Gosan に達する気塊の起源および経路を調べるために米国海洋大気局の HYSPLIT-4 を用いて、流跡線解析を行った。その結果、3月より4月になって海起源大気の寄与度が増加したことを示唆していた。Gosan 観測所地上で採取した粒子中物質中の水溶性イオン類の分析結果、イオン成分のうち SO_4^{2-} が最高濃度を示した。また、総 SO_4^{2-} の83%が nss- SO_4^{2-} となり、Gosan 観測所は海岸に位置しているが、TSP 硫酸塩に対する海洋起源は小さく、人為起源の強い影響を示していた。水溶性イオン成分の高濃度は、寒冷前線の通路に伴う強い大陸からの気団の流出と関連していることが考えられた。黄砂発生時は Ca^{2+} と SO_4^{2-} 、 NO_3^- が高濃度になっており、中国都市部の高濃度の SO_4^{2-} 、 NO_3^- が黄砂とともに輸送されたことが示唆される。一方で、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、および Cl^- はそれらの共通起源（海塩）のため互いの相関性が非常に高かった。

この研究では、2001年春に済州 Gosan 観測所で実施したライダー観測による、エアロゾルの垂直分布の結果と流跡線解析の結果を比較して、春季に北東アジア地域で発生した黄砂粒子の光学的特性と北東アジア地域に達する気塊の起源別の寄与の割合を明らかにした。

論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、当該論文の発表会を平成 23 年 2 月 8 日に公開で開催し、約 40 分の発表の後、本論文に関する詳細な質疑を行い、論文内容を審査した。

本論文では、韓国済州島の西端に位置し、済州市から南西へ 45 km の丘陸地にあり、大陸内部から長距離輸送された気塊と海洋の大気が遭遇する位置にある Gosan 観測サイトで、春季に北東アジア地域で発生し、輸送されてくる気塊を観測し、黄砂粒子の光学的特性と北東アジア地域に達する気塊の起源別の寄与の割合を明らかにしている。

以下に論文内容を示し、学位論文審査の結果を要約する。

第 1 章 序論

北東アジアでは、自然起源及び人為起源のガスや粒子状物質を含む気塊が偏西風によって、アジア大陸から太平洋へ頻繁に輸送されることが知られている。また、野外観測とモデルシミュレーションに基づいた多くの研究によって、東方へ長距離輸送される黄砂粒子が地域規模、あるいは地球規模の環境に重要な役割を果たしていることが明らかにされている。しかし、いくつかのフィールド観測ではダストに関して包括的な理解は十分ではない。そのため、衛星を用いて黄砂の発生源からの移動経路の動きを求めるなどの黄砂研究の進歩を促進する必要がある。衛星観測のみによる一般的なダストの検出は、雲などの天気の状態に影響されるため、黄砂の構造を識別することは困難である。よって、それを可能にするためには、地上からの観測データと衛星データを比較することが不可欠である。

本研究は、アジア太平洋地域の放射強制力と気候変動で重要な役割を果たす、春季に北東アジア地域で発生した黄砂粒子の光学的特性を調べるために、ライダーを用いて韓国済州島の Gosan (33° 17'N, 126° 10'E) で大気エアロゾルの垂直分布の測定とその解析を行い、春季に北東アジア地域で発生した黄砂粒子の光学的特性と北東アジア地域に達する気塊の起源別の寄与の割合を明らかにしたものである。

第 2 章 観測サイト

Gosan 観測サイトは、韓国済州島の西端に位置し、済州市から南西へ 45 km の丘陸地（海拔 78 m）に設置されている。Gosan 観測サイトは大陸内部から長距離輸送された気塊と海洋の大気が遭遇する位置にあり、それらの気塊との混合過程を理解するのに非常に優れた観測地である。

第 3 章 測定

ライダー装置と観測大気エアロゾルの垂直分布を観測するために使用したライダーは、Nd-YAG レーザーの基本、第 2、第 3 波長を使った 8 チャンネルのシステムであり、チャンネル 1 と 2 で大気中の H₂O と N₂、O₂ を計測し、他の 6 チャンネルは大気エアロゾルをターゲットにした。ライダー測定は、2001 年 3 月から 5 月までの ACE (Aerosol Characterization Experiments)-Asia 集中観測の期間中に行われた。

第 4 章 結果及び考察

2001 年 ACE-Asia 集中観測期間中に Gosan で実施したライダー観測結果において、黄砂現象は 3 月 22 日、4 月 13 日と 4 月 26 日の 3 回観測された。この研究ではエアロゾル減衰係数につて、2 回の黄砂のイベント日のプロファイル (3 月 22 日と 4 月 13 日) を比較し、いくつかのエアロゾル層を明瞭に検出した。ライダーで得られたエアロゾルの光学厚さと AERONET (Aerosol Robotic Network) の sunphotometer によって測定

された値、さらに、Gosan 観測所地上での大気粒子状物質の化学分析結果との比較から、長距離輸送された黄砂粒子がエアロゾルの光学厚さに大きな影響を与えたものと推定された。北東アジアにおいて春に偏西風の特性を明らかにする目的で、2001 年 ACE-Asia 集中観測期間中の 3 月と 4 月に Gosan に達する気塊の起源および経路を調べるために米国海洋大気局の HYSPLIT-4 を用いて、流跡線解析を行った。その結果、3 月より 4 月になって海起源大気の寄与度が増加したことを示唆していた。Gosan 観測所地上で採取した粒子中物質中の水溶性イオン類の分析結果、イオン成分のうち SO_4^{2-} が $8.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ で最高濃度を示した。また、総 SO_4^{2-} の 83% が nss- SO_4^{2-} となり、Gosan 観測所は海岸に位置しているが、TSP 硫酸塩に対する海洋起源は小さな寄与度を示していた。水溶性イオン成分の高濃度は、寒冷前線の通路に伴う強い大陸からの気団の流出と関連していることが考えられた。黄砂飛来時に高濃度の Ca^{2+} 際が観測されることが多く、本観測期間中に高濃度で存在した Ca^{2+} 成分の大部分は nss- Ca^{2+} であり、長距離輸送されたものと推定される。しかし、TSP 中のイオン成分の相関関係を解析した結果、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、および Cl^- はお互いに非常に関連性が高く、それらの共通起源である海洋由来の海塩の寄与もかなり含まれていることを示唆していた。

第 5 章 まとめ

この研究では、2001 年春に済州 Gosan 観測所で実施したライダー観測によるエアロゾルの垂直分布の結果と流跡線解析の結果を比較して、春季に北東アジア地域で発生した黄砂粒子の光学的特性と北東アジア地域に達する気塊の起源別の寄与の割合を明らかにした。

以上に要約したように、本論文では、2001 年春に済州 Gosan 観測所で実施したライダー観測によるエアロゾルの垂直分布の結果・流跡線解析の結果と地表で採取した粒子状物質の成分分析データを比較考察し、春季に北東アジア地域で発生した黄砂粒子の光学的特性と北東アジア地域に達する気塊の起源別の寄与の割合を明らかにしており、これに関わる内容を 3 編の論文として学術誌に公表している。これらの論文 3 編で学位論文の内容を網羅しており、研究内容はすべて公表される予定である。なお、学位論文については、ライダー観測結果等と、流跡線解析や地上観測による成分分析との関係を適切に加筆することとして、当学位論文審査委員会は、本論文は博士（工学）の学位を授与するに足る内容を備えていると判断し、合格と判定した。