

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25340020

研究課題名(和文)北極成層圏エアロゾルの揮発特性と輸送過程に関する研究

研究課題名(英文) Study of the relationship between aerosol volatility in north polar region and the transport process

研究代表者

白石 浩一 (Shiraishi, Koichi)

福岡大学・理学部・助教

研究者番号：80299536

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：ノルウェイニールスンにおいてエアロゾルゾンデを用いた粒子中不揮発性成分の観測を2015年1月に実施した。その結果、成層圏下層部で、微小粒子と粗大粒子で特徴の違いが見られた。微小粒子では揮発性の高いエアロゾル(おそらく硫酸エアロゾル)が支配的に存在し、粗大粒子では鉱物や海塩などの不揮発性の粒子が含まれていることが分かった。

エアロゾルゾンデ長期観測データ解析から、成層圏エアロゾル最下層部での数濃度・粒径分布は、各年の極渦の発達に伴う大気沈降の影響だけでなく、より低緯度の対流圏上部や成層圏下部の空気塊の流入の影響を強く受けていることが分かった。

研究成果の概要(英文)：The balloon-borne measurement of aerosol volatility above Ny-Aalesund, Norway was carried out in the winter of 2015. As a Result, the number ratio of non-volatile particles to ambient aerosol particles in lower stratosphere (11-15km) showed different feature in particle size range of fine mode and coarse mode. The values of number ratio of non-volatile particles to ambient aerosol particles were 1-3% in fine mode range and 7-20% in coarse mode range. They suggested that fine particles are composed dominantly of volatile species (probably sulfuric acid), and coarse particles are composed of non-volatile species such as minerals, sea-salts. Analysis of long-term aerosol sonde observations showed that the concentration and size distribution of aerosol in the polar stratosphere were strongly influenced by not only sedimentation of air from stratosphere to troposphere but the horizontal transportation from mid-latitude to polar region.

研究分野：大気科学

キーワード：成層圏エアロゾル 極成層圏 エアロゾルゾンデ 不揮発性成分 エアロゾル組成 極渦

1. 研究開始当初の背景

極域の成層圏はブリューワ・ドブソン循環のシンク域である。そこに存在する成層圏エアロゾルは、低緯度からの輸送過程や西欧圏-対流圏の交換過程などに強く影響を受けると考えられる。それらの輸送過程とエアロゾルの組成や粒径分布の変動、鉛直構造との因果関係について明らかにするためには、成層圏エアロゾルの組成、粒径分布の空間分布に関する詳細な情報が必要であると考えられる。

我々は、これまで1994年1月以降ノルウェイ、ニーオルスンにおいて、冬季ライダーやエアロゾルゾンデを用いた極域成層圏エアロゾルの観測的研究を散発的に行ってきた。また、インドネシアにおいて2010年にエアロゾルゾンデを用いた不揮発性粒子の観測を行い、赤道対流圏界面付近での不揮発性粒子の粒径分布を明らかにした。このような研究背景をふまえ、我々は、北極域でのエアロゾルゾンデを用いた不揮発性粒子の観測が比較的容易にできること、さらにこれまで実施してきたエアロゾルゾンデ観測の長期データを用いた、粒径分布の時空間変動について検討することができる。それらをもとに、北極成層圏下層部でのエアロゾルの組成と輸送過程との関係について検討することが可能であると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の2つからなる。

(1) 微小粒子・粗大粒子モードで計測可能なエアロゾルゾンデを用いて、冬季、北極極渦内の成層圏において成層圏エアロゾルの揮発特性を計測し、エアロゾル中不揮発性成分の粒径分布・空間分布を明らかにし、北成層圏エアロゾルの組成、北極成層圏に対する低揮発成分、不揮発性成分の対流圏・成層圏交換過程を明らかにする。

(2) 過去16年のエアロゾルゾンデ観測データの解析により、長期的な冬季極渦内の成層圏エアロゾルの粒径分布の変動と鉛直構造の特徴を明らかにし、不揮発性粒子の粒径分布の情報も加えて、中緯度対流圏と極対流圏への輸送フラックスを見積もる。

(1)と(2)を踏まえて、極成層圏下層部でのエアロゾルの組成と輸送過程との関係について検討した。

3. 研究の方法

(1)エアロゾルゾンデと加熱ヒーターの作成

計画の初年度、エアロゾルゾンデを用いた不揮発性粒子の計測を行うため、加熱装置の制作、エアロゾルゾンデの調整等を行った。揮発成分を蒸発させる加熱ヒーターは、2010年にインドネシアで使用した加熱ヒーターを参考に作成し、加熱温度は300度に設定した。この温度では、エアロゾルゾンデの最小可測粒径(直径)0.3 μm の硫酸粒子、硫酸塩、硫酸アンモニウム等の揮発性成分は、ほぼ蒸

発する(数濃度で90%以上揮発)ことが可能である(林等,2010)。エアロゾルゾンデは、山梨技術工房が開発したエアロゾルゾンデを使用した。粒子半径0.15~5 μm のエアロゾル数濃度を10ch計測チャンネルで分級し計測することが可能である。

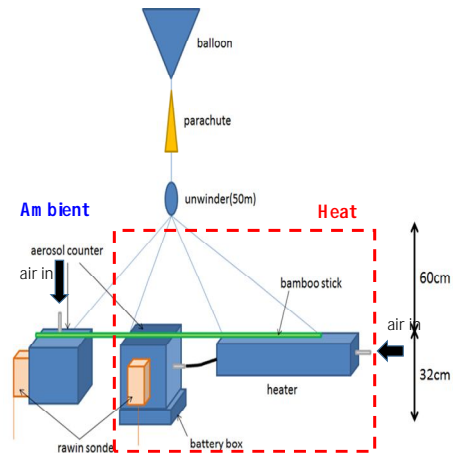


図1 不揮発性粒子観測装置のブロック図

(2)ニーオルスンでのエアロゾルゾンデを用いた不揮発性粒子の観測

エアロゾルゾンデを用いた不揮発性粒子の観測は、2年目の2015年1月15日にニーオルスンで、ドイツのアルフレッドウェゲナー研究所の協力のもと実施された。図1に観測装置のブロック図を示す。1つのゴム気球(3kg)で2つのエアロゾルゾンデを牽引した。その内一つのエアロゾルゾンデのサンプルエア取り込み口に、加熱ヒーターを取り付け、そこを通過させることで、揮発性成分を蒸発させて、不揮発性成分の粒径分布を計測した。もう一台のエアロゾルゾンデでは、通常の大気でのエアロゾル粒径分布の計測を同時に行った。測定の間、2台のエアロゾルゾンデにより計測された粒径分布情報は、電波で地上に送信され、地上のアルフレッドウェゲナー研究所のAWIPEV Arctic Research Baseで測定データの受信を行った。気球は高度26kmまで到達し、上部対流圏・対流圏界面・成層圏下層部での不揮発性粒子の粒径分布に関する詳細な情報が得られた。

(3)ニーオルスンで過去17年間に実施されたエアロゾルゾンデ計測による粒径分布解析

粒径分布の長期観測データの再整理を行い、特徴を整理し、客観解析データや衛星データ等を用いて、対流圏上部及び成層圏エアロゾル粒径分布の長期的な変動、および、気象場(極渦内での位置や輸送過程、対流圏大気運動など)との関係について調べる。

4. 研究成果

(1)対流圏界面近傍で観測された不揮発性成分の粒径分布観測

2014年冬季の北極域の極渦は、12月初旬から下旬にかけて発達し、ニーオルスン上空

でも下部成層圏で 190K くらいの低温領域が観測された。1月初めにやや不安定になり、ニーオルス上空の気温も少し上昇したが、その後再び発達した。1月15日には、極渦の中心はグリーンランド上空に位置し、ニーオルスは極渦のエッジ付近のやや内側に位置していた。成層圏気温も少し上昇しているような状況下で、観測は実施された。

不揮発性成分の粒径分布

図2には、2015年1月15日エアロゾルゾンデを用いた不揮発性成分の観測で得られた、通常の大気と不揮発性成分の粒径分布を対流圏上部(8-10.5km)、対流圏界面付近(10.5-11.5km)、成層圏下層部(12-15km)に分けて示した。通常の大気での粒径分布は、対流圏界面付近から成層圏下層部にかけて、微小粒子が著しく増加し、成層圏下層部では明瞭な一山分布を示した。対流圏上部での各チャンネルのエアロゾル数濃度は、対流圏界面や成層圏下層部よりも低い数濃度を示した。不揮発性粒子の数濃度も、対流圏上部で最も低い値を示した。揮発性粒子の粒径分布は、粗大粒子域で $1\mu\text{m}$ 付近にピークを持つ2山分布をいくつかの高度で示した。対流圏界面高度から成層圏下層部(11-にかけて、不揮発性粒子の粒径分布に明瞭な違いは見られなかった。

不揮発性成分の2山分布は、微小粒子と粗大粒子で観測された不揮発性成分が異なるソースによるものである可能性を示唆している。さらに、通常の大気と揮発成分の粒径分布の違いから、微小粒子と粗大粒子の粒径域で、粒子の揮発率が異なることが示された。

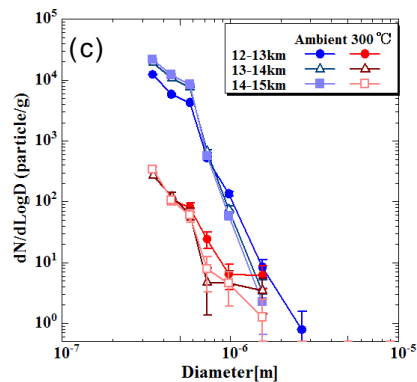
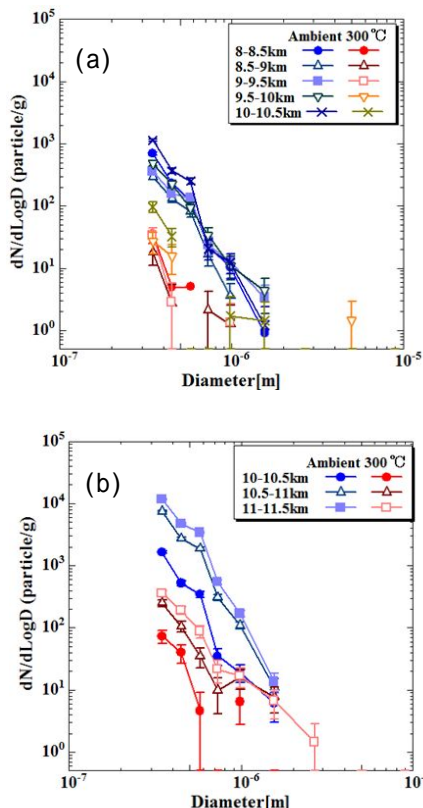


図2 (a) 対流圏上部(8-10.5km)、(b) 対流圏界面付近(10.5-11.5km)、(c) 成層圏下部(12-15km)で観測された大気エアロゾルと不揮発性成分の粒径分布

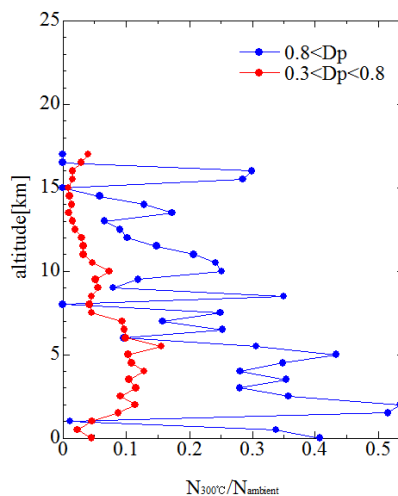


図3 微小粒子と粗大粒子の粒径域での粒子残存率

粒子残存率の鉛直分布

図3に、微小粒子($0.3\mu\text{m} < D_p < 0.8\mu\text{m}$)と粗大粒子($0.8\mu\text{m} < D_p$)の、揮発性成分と大気エアロゾルの粒子数濃度の比で導出した粒子残存率の鉛直分布を示す。微小粒子の粒子残存率は、上部対流圏で5-7%、対流圏界面高度付近で4%、成層圏下部では1-3%を示した。一方、粗大粒子の粒子残存率は、微小粒子に比べると値そのものが高く、高度に対する変動も大きかった(9-14kmで7-25%)。成層圏下層部では、微小粒子の数濃度が著しく増加していたが、それらのほとんどが硫酸エアロゾルと思われる揮発性の高いエアロゾルからなると思われた。一方で粗大粒子は、鉍物粒子や海塩粒子のような不揮発性の粒子を多く含んでいる可能性がある事を示唆していた。

(2) 対流圏界面近傍で観測された不揮発性成分の輸送過程と起源について

観測したエアロゾルを含んだ空気塊の輸送過程とエアロゾルの組成について検討するために、HYSPLITモデルを用いた14日間の

バックトラジェクトリー解析を行った。図4に空気塊の時間履歴に対する高度変化と輸送経路マップを観測時の3つの高度域8-9.5km、10-12.5km、13-14kmに対して描画した。高度8-10.5kmで観測した空気塊は、観測の160-250時間前(1月5-9日)にかけて対流圏下層から上層に輸送された空気塊であることが推測された。スカンジナビア上空に位置した高気圧が1月9日にかけて北極域上空まで広がり、高気圧下で輸送された空気塊が、その後低気圧活動による擾乱により対流圏上部、圏界面付近まで上昇して観測されたのではないかと考えられた。雲過程などのエアロゾル除去過程を経験したため、対流圏上部で非常に低いエアロゾル数濃度(対流圏界面高度での数濃度より低い)を観測したのではないかと思われた。11kmよりも低い高度域で観測された不揮発性粒子は、そのようなプロセスで比較的短い時間で対流圏下層部から輸送された、不揮発性成分である可能性が考えられた。

一方、高度12-14kmにかけて観測された空気塊のトラジェクトリー解析は、14日間のトラジェクトリー解析では、空気塊が低緯度からの輸送を示しているが、高度10-14kmの高度域を輸送されてきたことが示された。低緯度から等温位面を伝ったゆっくりとした混合過程を経験している可能性が考えられるが、今後輸送プロセスについてさらに検討を進めていく予定である。

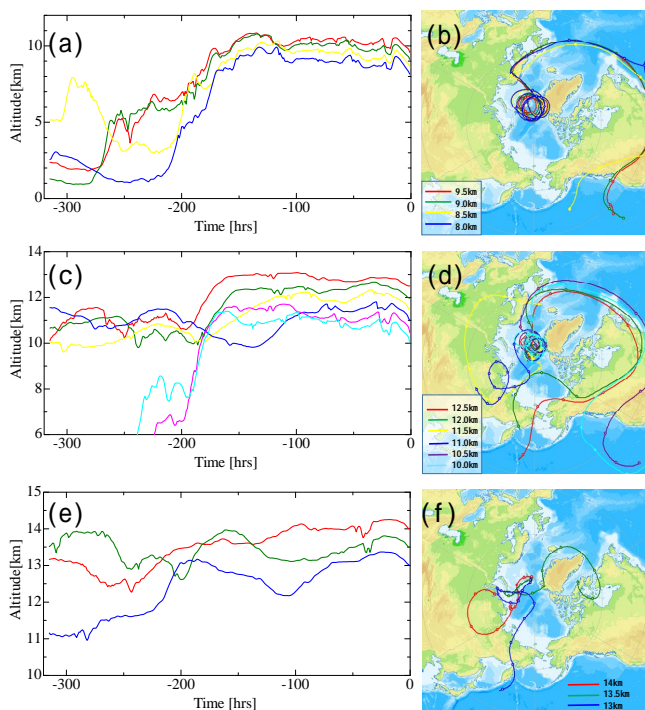


図4 HYSPLITモデルを使った14日間のバックトラジェクトリー解析。空気塊の高度の時間変化(a, c, e)と空気塊の流跡線図(b, d, e)。3つの高度域8-9.5km(a, b)、10-12.5km(c, d)、13-14km(e, f)に対して描画。

(3) 過去16年のエアロゾルゾンデ観測データの解析

成層圏エアロゾルの粒径分布は、対流圏界面高度から対流圏界面高度+3km、対流圏界面高度+3kmから高度20km、高度20kmより高い高度において明確な違いがあることが示された。また、対流圏界面高度から対流圏界面高度+3kmにかけての高度域でのエアロゾルの数濃度・粒径分布は、各年の極渦の発達に伴う大気沈降の影響だけでなく、大気の運動に伴った、より低緯度の対流圏上部の空気塊や成層圏下層部の空気塊の流入の影響を強く受けることが分かった。また、気象場との関係(極渦内での位置や輸送過程、対流圏大気運動など)については十分な見解が得られていない。今後も継続して解析を進めていく。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 3件)

Koichi Shiraishi, Masahiko Hayashi, Takashi Shibata, Roland Neuber, Vertical distribution of non-volatile species of upper tropospheric and lower stratospheric aerosol observed by balloon-borne optical particle counter above Ny-Aalesund, Norway in the winter of 2015, 2015 AGU Fall Science Meeting, Dec. 14-18, 2015, Sanfrancisco.

白石浩一、林政彦、柴田隆、Roland Neuber、2014年冬季北極成層圏でのエアロゾル中不揮発性分の観測～対流圏上部と成層圏下部のエアロゾル組成と輸送プロセスの関係、第6回極域科学シンポジウム、2015年11月16-19日、国立極地研究所(東京都立川市)

白石浩一、林政彦、柴田隆、Roland Neuber、2014年冬季北極成層圏でのエアロゾル中不揮発性分の観測、日本気象学会2015年度春季大会、2015年5月21-24日、つくば国際会議場(茨城県つくば市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白石 浩一 (SHIRAISHI, Koichi)
福岡大学・理学部・助教
研究者番号: 80299536

(2) 研究分担者

林 政彦 (HAYASHI, Masahiko)
福岡大学・理学部・教授
研究者番号: 50228590

(3) 連携研究者

柴田 隆 (SHIBATA, Takashi)
名古屋大学・環境学研究科・教授
研究者番号: 70167443