

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2013～2016

課題番号：25257201

研究課題名(和文)北極ヘイズが氷雲粒子濃度に与える影響に関するライダーとレーダによる観測研究

研究課題名(英文)Studies on the effects of Arctic haze for the concentration of ice cloud particles using lidar and radar

研究代表者

柴田 隆 (Shibata, Takashi)

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：70167443

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 23,500,000円

研究成果の概要(和文)：準備期間を経て、平成26年3月にスバースバル、ニーオルスン、国立環境研究所北極基地にライダー観測を設置し、エアロゾルと雲の高度分布の連続観測を開始した。ライダー装置は、観測開始後研究期間の終了まで、ほとんど問題なく測定を継続しており、エアロゾルと雲の高度分布の連続的な観測結果を三年を越す期間与えている。北極ヘイズは冬季に高濃度で存在する北極のエアロゾルであるが、我々の観測では、北極エアロゾルがもっとも高濃度になるのは春から夏にかけてであることが明らかになった。この傾向は氷雲が生成する高度5km以上の上部対流圏と特に顕著で、8-10kmの高度区間では八月に極大が現れる。

研究成果の概要(英文)：The lidar system was installed at Arctic station of National Institute of Polar Research at Ny Aalesund, Svalbard in March 2014 after preparation period. The lidar non-stop observes vertical distribution of aerosols and clouds. There has been no problem in the operation of the lidar system during the study period. The observations provide the data of aerosols and clouds for more than three years. Arctic Haze is known as high concentration Arctic aerosol particles found in winter and spring. However, our observations show that the highest concentration appears in spring to summer. The summer maximum is more clear at the altitudes higher than 5km where mainly the ice clouds are formed, and the maximum concentration appears in August at the altitude range between 8 and 10 km.

研究分野：大気科学

キーワード：北極ヘイズ 氷雲 氷晶核 ライダー 雲レーダー

1. 研究開始当初の背景

北極海水の著しい後退は温暖化に伴う気候変動の顕著な例として注目されている。海水後退の原因はいまだ不明であるが、北極の気候を決定する重要な要因として、雲が放射や降水過程により、海氷・雲・エアロゾル・大気間の複雑なフィードバックを通して、気候に決定的な影響を与えていることが知られている。しかし、特にエアロゾル・雲の間の相互作用の理解が不十分であることが指摘されており (IPCC, 2007)、エアロゾルによる雲粒子の変化(間接効果)が上記フィードバックに大きく影響する可能性が指摘されている (Jackson et al., 2012)。

北極域内にはローカルな大気汚染源はほとんど無いが、北極域を取り囲む汚染物質の主要排出地域であるヨーロッパ、北米、および東アジアなどからの長距離輸送が盛んとなる冬春季に、北極域独特の大気汚染として「北極ヘイズ」が発生する (Quinn et al., 2007)。北極ヘイズは北極域の大気環境にさまざまな影響を与えるが、北極ヘイズが存在する環境では、氷晶核の個数濃度が数桁減少することが報告されている (Borys, 1989)。北極ヘイズ粒子の代表的な成分は硫酸アンモニウムなどの硫酸塩であるため、この効果は硫酸塩誘起凍結抑制 (SIFI) 効果と呼ばれる。氷晶核が減少することにより、氷晶核から生じる氷雲粒子の個数濃度が減少することが予想される。従って、北極ヘイズが存在する環境では、大気中の水蒸気は個数の少ない氷粒子に昇華し、氷雲粒子はより大きな粒径に成長する。大粒径の氷雲粒子は落下速度が大きく、氷粒子に昇華した水蒸気を降水としてより効率的に大気から取り去る(効率的に脱水する)。脱水され水蒸気の少ない大気は水蒸気による温室効果が小さく、放射冷却が進行する(温暖化を抑える効果)。

このような北極ヘイズの間接効果に関して、種々の先行研究があるが、実際に測定されたのは北極ヘイズが存在した環境で氷晶核の個数濃度が数桁減少したという Borys (1989) のサンプリングによる結果のみである。ところで、サンプリング測定による氷晶核の数濃度と実際に大気中で生成した氷雲粒子数濃度はしばしば大きく食い違う。従って、実際の大気について、前段落後半の北極ヘイズの気候影響に関する観測的な裏付けは極めて弱い (例えば、Grenier et al., 2009)。旧ソ連崩壊以降、北極ヘイズは長期的には漸減の傾向にある (Quinn et al., 2007) が、前段落後半の説明では、これは温暖化を抑える効果を減じる(すなわち温暖化を進める)。以上のような状況で、北極気候変動に関連し、北極ヘイズと氷雲の関係についての観測的な実証は速やかに解決すべき課題と考えられる。

さらに、氷雲生成に関する氷晶核の働きという、より一般的な問題に関して、SIFI 効果が有効か否かは、熱帯圏界面付近の巻雲(氷雲)

生成に伴う脱水過程の研究で焦点になっている、水溶液エアロゾルが氷晶核として不活性ではないか、という疑問 (Shibata et al., 2012) について、解答のヒントを与えることが期待される。これは、両領域のエアロゾルの主組成は水溶液エアロゾルであることから(熱帯圏界面付近では硫酸水溶液エアロゾル、北極ヘイズの場合は潮解した硫酸塩エアロゾルであり、いずれも水溶液エアロゾルである)、氷雲粒子の生成については均一核生成理論によりほぼ同様の説明がされることによる (Koop et al., 2000)。

2. 研究の目的

北極域における気候変動要因の一つとして、北極を取り囲む中緯度地域から流入する大気汚染性エアロゾル(通称、北極ヘイズ)が、氷晶核(氷雲粒子を生成する核)の個数濃度を著しく減少させ、その結果として予想される氷雲粒子の個数濃度減少、に伴う気候影響が様々に研究されている。しかし北極ヘイズの氷雲への影響は、「氷晶核の減少」がサンプリングによって測定されたのみで、実際に氷雲粒子の個数濃度の減少が観測で確認されたことはない。本研究の目的は、北極観測拠点のニーオルスンにおいて、ミー散乱ライダーとミリ波雲レーダの同時観測により北極ヘイズ濃度と氷雲の粒子個数濃度・粒子径との関係を求め、北極ヘイズが氷雲粒子の個数濃度を減少させる効果についての仮説を実証することである。

3. 研究の方法

本研究では、ミー散乱ライダー観測により、北極ヘイズを含む様々な種類のエアロゾルの濃度、相状態(液体か固体か)、粒径、および雲の濃度分布と相状態の各高度分布を求める。北極ヘイズや氷雲が分布する高度はミー散乱ライダーの散乱特性から知ることができる (Ishii, Shibata et al., 1999; Shibata et al., 2012)。また、ミリ波雲レーダ観測によっても、雲の高度分布を求める。氷雲粒子の粒径、個数濃度はミー散乱ライダーとミリ波雲レーダの同時観測結果を連立して解析することにより得ることができる (Okamoto et al., 2002, “レーダ・ライダー法”と呼ばれる)。

このようなレーダとライダーの同時観測と結果の連立解析により、北極ヘイズの濃度と氷雲粒子の個数濃度・有効径の間の関係を明らかにする。特に、北極ヘイズが存在する空間で生成した氷雲粒子の個数濃度が、北極ヘイズが存在しない空間で生成された氷雲粒子の個数濃度と比べて小さいか否か、および氷雲粒子の粒径が大きいかな否かを、得られた関係から明らかにする。さらに、この結果をもとに、実大気中の種々の条件下で SIFI 効果が有効に働いているかどうかを判定する。

参考文献 (1.-3.)

- IPCC, (2007), *Climate Change 2007: Synthesis report*, Geneva, Switzerland.
- Quinn et al., (2009), *Tellus*, 59B, 99-114
- Borys, (1989), *J. Atmos. Chem.*, 9, 169-185.
- Grenier et al., (2009), *J. Geophys. Res.*, 114, D09201, doi:10.1029/2008JD010927.
- Shibata et al. (2012), *J. Geophys. Res.*, 117, D11209, doi:10.1029/2011JD017029.
- Koop et al., (2000), *Nature*, 406, 611-614.
- Ishii, Shibata et al., (1999), *Atmospheric Environment*, 33, 2459-2470.
- Jackson et al. (2012), *J. Geophys. Res.*, 117, D15207, doi:10.1029/2012JD017668.
- Okamoto et al., (2003), *J. Geophys. Res.*, 108(D7), 4226, doi:10.1029/2001JD001225.

4. 研究成果

本研究を開始した平成 25 年度、準備期間の後、年度末の平成 26 年 3 月にスバールバル、ニーオルスン、国立環境研究所北極基地にライダー観測を設置し、エアロゾルと雲の高度分布の連続観測を開始した。ライダー装置は、観測開始後本研究の研究期間の終了まで（さらに引き続き平成 29 年 6 月現在まで）、ほとんど問題なく測定を継続しており、エアロゾルと雲の高度分布の連続的な観測結果を、三年を越す期間与え続けている。北極へイズは冬春季に高濃度で存在する北極のエアロゾルであるが、我々の観測では、雲が発生する高度で北極エアロゾルがもっとも高濃度になるのは春から夏にかけてであることが明らかになった。この傾向は主として氷雲が生成する高高度の上部対流圏になるほど顕著で、8-10km の高度区間では 8 月に極大が現れることが明らかとなった。本研究は平成 28 年度で終了する予定であったが、上記の予想外の結果が得られたため、観測期間を延長すべく、研究終了前年度申請で新たな課題、基盤研究(A)海外学術調査「北極域の雲生成高度におけるライダーとレーダー観測によるエアロゾルと雲の特性解明」を申請し、採択されたため、本研究もこの新たな研究課題に引き継がれている。この間、雲レーダーも、ライダーに比べるとデータ欠損が多くはあるが、観測を継続しており、レーダーとライダーによる雲粒子の同時解析を実施する準備も整いつつある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

1. Shibata, T. and T. Kinoshita, Volcanic aerosol layer formed in the tropical upper troposphere by the eruption of Mt. Merapi, Java, in November 2010 observed by the spaceborne lidar CALIOP, *Atmospheric Research*, 168, 49-56, 2016. (査読有)
2. Iwasaki, S., Z. J. Luo, H. Kubota, T.

Shibata, H. Okamoto and H. Ishimoto, Characteristics of cirrus clouds in the lower stratosphere, *Atmospheric Research*, 164-165, 358-368, 2015. (査読有)

3. Yabuki, M., M. Shiobara, K. Nishinaka and M. Kuji, Development of a cloud detection method from whole sky color images, *Polar Science*, 8, 315-326, 2014. (査読有)
4. Uchiyama, A., A. Yamazaki, M. Shiobara and H. Kobayashi, Case study on microphysical properties of boundary layer mixed-phase cloud observed at Ny-Alesund, Svalbard: Observed cloud microphysics and calculated optical properties on 9 June 2011, *Polar Science*, 8, 57-72, 2014. (査読有)

[学会発表] (計 7 件)

1. Shibata, T., K. Shiraiishi, S. Iwasaki, M. Shiobara and T. Takano, Lidar observations of Arctic aerosols and clouds in the free troposphere for more than fifteen months over Svalbard, American Geophysical Union Fall meeting, 2015 年 12 月 12~16 日, サンフランシスコ
2. 柴田隆、白石浩一、岩崎杉紀、塩原匡貴、鷹野敏明、北極対流圏エアロゾルのライダー連続観測、日本気象学会秋季大会、2015 年 10 月 28 日~30 日、京都
3. Shibata, T., K. Shiraiishi, S. Iwasaki, M. Shiobara and T. Takano, Lidar observations of Arctic aerosols and clouds in the free troposphere over Svalbard, Asian Aerosol Conference, 2015 年 6 月 24~26 日
4. 柴田隆、白石浩一、岩崎杉紀、塩原匡貴、鷹野敏明、スバールバル上空の自由対流圏エアロゾルと雲のライダー連続観測、日本気象学会秋季大会、2014 年 10 月 21 日~10 月 23 日、福岡
5. 岩崎杉紀、柴田隆、久保田尚之、岡本創、石元裕史、株成層圏のかなとこ雲、日本気象学会秋季大会、2014 年 10 月 21 日~10 月 23 日、福岡
6. Iwasaki, S., T. Shibata, H. Kubota, H. Okamoto and H. Ishimoto, Characteristics of anvil cloud in the lower stratosphere, EarthCARE Workshop, 2014 年 9 月 17 日~19 日、東京。
7. 柴田隆、白石浩一、岩崎杉紀、塩原匡貴、鷹野敏明、スバールバル上空のエアロゾルと雲のミー偏光ライダーによる連続観測、第 32 回レーザーセンシングシンポジウム、2014 年 9 月 4 日~9 月 5 日、高山

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

岩崎杉紀 (IWASAKI, Suginori)
防衛大学校・応用科学群・講師
研究者番号：30535274

(3) 研究分担者

鷹野敏明 (TAKANO, Toshiaki)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40183058

(4) 研究分担者

塩原匡貴 (SHIOBARA, Masataka)
国立極地研究所・研究教育系・准教授
研究者番号：60291887

(5) 研究分担者

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