

CPS 雲粒子ゾンデと衛星観測を用いた中高緯度の雲の時空間分布

岩崎 杉紀¹、藤原 正智²、柴田 隆³、坪木 和久³、小野貴司²、杉立 卓治⁴
岡本 創⁵、佐藤 可織⁵、片桐 秀一郎⁵

¹ 防衛大学校 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

² 北海道大学 (〒060-0810 北海道札幌市北区北 10 条西 5 丁目)

³ 名古屋大学 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

⁴ 明星電気株式会社 (〒372-8585 群馬県伊勢崎市長沼町 2223)

⁵ 九州大学 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

Temporal and spatial distribution of mid- and high latitudes clouds by use of balloon- and space-borne sensors

Suginori Iwasaki¹, Masatomo Fujiwara², Takashi Shibata³, Kazuhisa Tsuboki³, Takashi Ono², and Takuji Sugidachi⁴
Hajime Okamoto⁵, Kaori Sato⁵, and Shuichiro Katagiri⁵

¹ National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa 239-8686

² Hokkaido University, Kita-10 Nishi-5, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0810

³ Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601

⁴ Meisei Electric Co., LTD., 2223 Naganuma, Isesaki, Gunma 372-8585

⁵ Kyushu University, Kasuga Park 6-1, Kasuga, Fukuoka 816-8580

Abstract

Mixed-phase clouds, supercooled water clouds, and clouds with large particles and sparse number concentrations (LSC) are common clouds in the middle and high latitudes. The relationship among these clouds is, however, not well known. We carried out CPS cloud sonde observation at the Rikubetsu observatory of Nagoya university in Hokkaido on December 26 in 2016 to retrieve LSC microphysics. Large ice particles were measured throughout a mixed-phase cloud including supercooled layer. Its number concentration is about 30 times greater than LSC. Cloud phases and particle size distributions retrieved by the data of the space-borne lidar CALIOP and the cloud radar CloudSat showed LSC is frequently measurable between 40 and 50 °N in the Pacific, especially during summer.

Key Words: sonde, lidar, radar, ice cloud, mixed-phase cloud

1 はじめに

雲は放射収支に重要な役割を果たすことが知られている。特に極域では他の地域より温暖化による気温の上昇が大きいことが知られているため、多くの雲観測が行われてきた。例えば、Shupe et al.¹⁾は、1年に及ぶ北極海の海水の上の観測キャンペーンの SHEBA²⁾で水雲や mixed-phase cloud (水と氷の両方含む雲) のように水を含む雲の長波放射は氷だけの雲のものより 3 倍程度大きいことを示した。また、Shupe et al.³⁾は、同キャンペーン観測で mixed-phase cloud の特徴、例えばその高さ方向に積算した雲水量 (liquid water path) は単層の水雲に比べ大きいことを示した。

雲粒子の水・氷・それら両方の相の判別は、衛星搭載ライダー CALIOP によって鉛直・全球分布が分かるようになった。これにより、例えば、過冷却の水雲は主に南氷洋

上で発生する、大陸には暖かい雨がほとんど降らないこと⁴⁾や、整列した氷晶は-10 から-20 度の範囲にあり、中高緯度の-10 度以下に過冷却の水雲があること⁵⁾が示された。

極域の mixed-phase cloud には、過冷却水と同じまたは下の高度に数日にわたり氷と共存できることが観測事実として良く知られている。これ以外に興味深い特徴が Gayet et al.⁶⁾で示された。彼らは、北極で雲の粒径分布が測れるプローブを3台搭載した飛行機を用いて mixed-phase cloud の観測を行った。この雲全体にわたって個数は少ないが大きな氷粒子 (およそ直径が 100 μ m 以上で個数密度が 1 個/L) があることを示した (以下この雲を LSC と呼ぶ)。古くは Hughes⁷⁾に報告されている空港のレーダのみにしか映らない (目に見えない) 雲が報告されている。これも LSC のように個数密度が少ない大粒子でなければ説明が出来ない。

これらは関連した現象なのであろうか。例えば、Fig. 1 は CALIOP と衛星搭載雲レーダ CloudSat の雲の鉛直分布の一例である。雲の種類は、九州大学応用力学研究所の A-Train 解析プロダクト (以下、九大データ) を利用した。これは、ライダー信号を用いた雲の相 (水・氷・過冷却水・氷晶 (2D)・雪などの結晶) を推定している。また、CALIOP と CloudSat が同時に見えている信号をレイリー散乱と幾何光学近似の散乱の違いを利用して粒径分布も導出している。この図では、過冷却水・氷晶・mixed-phase cloud・LSC が隣接していることが分かる (九大データ自身は図示していない)。

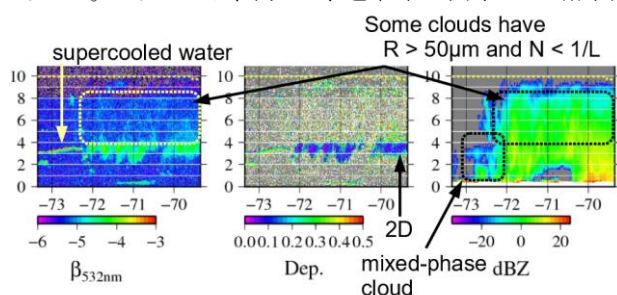


Fig. 1 The vertical profiles of lidar backscattering (left), depolarization (center), and radar reflectivity factor (right) measured by CALIOP and CloudSat.

本研究は、個数密度が少ない大粒子の時空間分布を導出し、それが mixed-phase cloud や過冷却の水雲とどのような関係があるか調べ、極域の気候に及ぼす影響を調べる事が目的である。

2 データ

2-1 CPS データ

CPS 雲粒子ゾンデ⁸⁾は、レーザー光を用いて粒子の個数・大きさ・球形か否かを測定するセンサを風船で飛ばし、電波でその情報とその場の気温・高度・相対湿度・風向風速を送信する装置である。ただし、データに補正が必要かもしれないので、この予稿のデータは暫定値である。

2016年12月26日の20時に北海道の陸別町にある名古屋大学の陸別観測所でCPSを用いた観測を1回行った。天候が合わなくA-Trainとは同期が出来なかったが、mixed-phase cloudが観測できた。放球時は寒冷前線通過中で、天気は小雪だった。その結果をFig. 2に示す。過冷却の水雲が高度2.5km付近に幾何学的厚さ0.5kmで存在した。風船の上昇速度がその層より下が3.9m/sで上で2.8m/sであった。層の通過により0.9m/s上昇速度が遅くなった。速度差から過冷却層でおよそ500gの着氷があったと思われる。過冷却の層でも直径60 μ m以上の粒子が2割ほど存在し、高度2.5km以下の降雪の中にも10 μ m以下の粒子が存在していた。大粒子と小粒子がどの高度にも存在していた。

Gayet et al.⁶⁾に比べると個数密度は多いものの、過冷却層の中にも直径60 μ m以上の粒子が存在していた。Mixed-phase cloudの上には直径50 μ m以上で個数密度が30個/LとLSCの閾値より個数密度は多かった。

2-2 衛星データ

Fig. 3は、2007年1月において、LSCがその緯度経度(1度ごと)の雲に占める出現頻度である。粒径分布のしきい値は、Gayet et al.⁶⁾の観測で示された事例に従った。雲はもっぱら海洋上や北西ユーラシア大陸に出現する(図示していない)。LSCは太平洋では40から50Nで発生しやすく、冬より夏の方が割合が高くなりそうである(図示していない)。

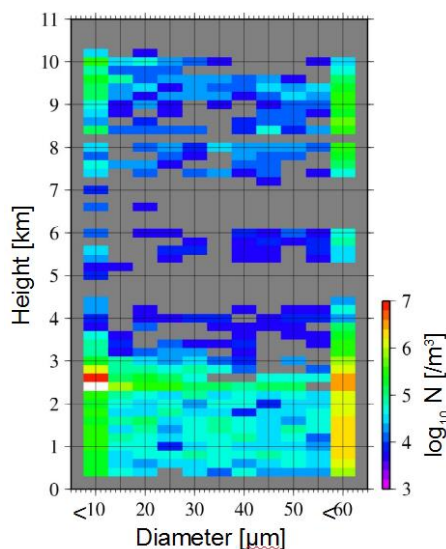


Fig. 2 A vertical profile of cloud particle size distributions measured by the CPS launched at the Rikubetsu observatory on December 26, 2016.

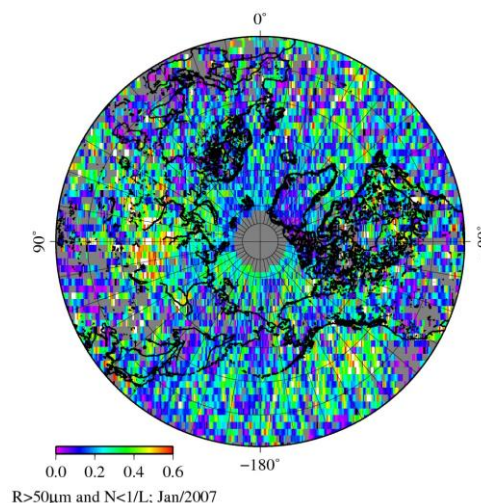


Fig. 3 An occurrence frequency of clouds whose particle radius is greater than 50 μ m and number concentration is less than 1/L. One-month average in January 2007.

3. まとめ

CPS 観測から、mixed-phase cloud のどの高度にも直径60 μ m以上の氷粒子があった。この結果は先行研究と整合的である。その上には個数密度がLSCより多いものの60 μ m以上の氷粒子があった。

CALIOP と CloudSat の解析より、LSCは北海道でも観測可能なことが分かった。ただ、昨年と今年と北海道の冬にLSC観測を行った(行う)が、夏の方がLSCの出現確率が高いことが示された。

謝辞

本研究の一部は、九州大学応用力学研究所の共同利用研究の助成、名古屋大学宇宙地球環境研究所の共同利用研究および陸別観測所、JSPS 科研費 16H02702 の助成や支援を受けたものです。神栄テクノロジー株式会社の林真由美氏と相良一生氏にはCPSのデータ解析に関してご助言を頂きました。

参考文献

- 1) Shupe, M. D., and J. M. Intrieri, *J. Climate.*, 17, 616–628, 2003.
- 2) Uttal, T., et al., *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 83, 255–275, 2002.
- 3) Shupe, M. D., S. Y. Matrosov, and T. Uttal, 63, 697–711, 2006.
- 4) Mülmenstädt, J., O. Sourdeval, J. Delanoë, and J. Quaas, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 6502–6509, 2015. doi:10.1002/2015GL064604.
- 5) Yoshida, R., H. Okamoto, Y. Hagihara, and H. Ishimoto, *J. Geophys. Res.*, 115, D00H32, 2010. doi:10.1029/2009JD012334.
- 6) Gayet, J.-F., G. Mioche1, A. Doernbrack, A. Ehrlich, A. Lampert, and M. Wendisch, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 6581–6595, 2009.
- 7) Hughes, P. E., 88, 349–352, 1960.
- 8) Fujiwara, M. et al., *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 5911–5931, 2016.