

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12314

研究課題名(和文)雲粒子ゾンデCPSによる混合相雲の消散過程の解明

研究課題名(英文) Study of dissipation process of mixed phase clouds by using cloud particle sondes CPS

研究代表者

岩崎 杉紀 (Iwasaki, Suginori)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・応用科学群・教授

研究者番号：30535274

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、目に見えない薄い雲(LSC)の存在を地上観測で確認すること、その雲の微物理構造を測定することである。LSCは申請者らが衛星観測データから発見したものであるが、衛星観測だけでは詳しいことがわからないためである。例えば、衛星観測から「目に見えない雲」と思われても、本当に見えないのか、といったことさえ分からない。そこでライダーと雲粒子センサ搭載ゾンデを持ちた同時観測を行ない、CPSでは検定をしなければノイズと思われるくらい個数密度が低い雲であった。同高度にはライダーで信号があるので薄い雲と確認できた。LSCほど粒径は大きくなかったものの肉眼では認知できない雲を測定することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一面青空が広がっているように見えても雲が広がっていた。衛星データでもその存在が示唆されていたが、見える雲が点在しているも視野が広い衛星データでは薄い雲が広がっていると誤認識する。実際にライダーや雲粒子センサ搭載ゾンデの同時観測で測定できたことは、その存在を信じて観測を行ったとはいえ、驚きであった。ただし、その雲は粒子の大きさが小さかったので研究対象の雲とは異なっていたが、その雲の下には混合相雲が広がっていた可能性があった。目に見えない雲が過冷却の水雲を消している過程が観測できていたかもしれない、そうならば見えない雲が地表を暖める効果があることになる。

研究成果の概要(英文)：The main aim of this study is to measure subvisible clouds, LSC, and to retrieve their micro-physics. This is because LSC, which was found using satellites data by our group, is quite difficult to investigate its characteristics only by satellites data, and nobody has seen it. We carried out ground-based LSC measurements using lidar, cloud-particle-sensor sonde (CPS), a camera, and a weather radar in Yubetsu-town, Hokkaido, in early spring. CPS measured a cloud whose particle number concentration is almost the same as its noise level, and the lidar measured signals at the same height; though we could not find any cloud at the time. We detected subvisible clouds whose particle size was not as large as LSC's. It was surprising for us that subvisible clouds exist at a height of a few kilometers.

研究分野：気象

キーワード：雲 リモートセンシング 北極圏

### 1. 研究開始当初の背景

申請者らは、衛星観測で肉眼では見えない・見えにくい雲の存在を示し、これを Large-and-Sparse particle Cloud (LSC) と名付けた。雲粒の半径は  $50\mu\text{m}$  以上で、個数密度が 10 個/L 以下と推測され、薄い巻雲に区分された。北極で高頻度で広がり、LSC 単体では地球を暖めも冷やしもしないと思われるが、氷と過冷却の水滴が混在する混合相雲に上から降ることで混合相雲を消滅させ、地表を暖める可能性があることが分かった。しかし、衛星観測ではその特性から大雑把なことしか言えず、上記のことが本当かもわからない。例えば、衛星では 1km 四方程度を一括して測定するため、1km 四方の中に厚い雲が点在していてもデータとしては平均されて薄い雲が広がっていると誤認識されてしまう。LSC の地上観測はないので、そもそも本当に LSC は見えないのか、といった基本的なことさえ分かっていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、LSC が目視できるのか否か、雲粒の粒径と個数密度、LCS が混合相雲に対して及ぼす役割、これらを地上観測によって解明することである。

### 3. 研究の方法

地上に設置したライダとカメラ、雲粒子センサ搭載ゾンデ (CPS)、気象レーダ、を用いた同時観測で雲観測を行った。LSC が出現する条件さえ分からないので、とりあえず太陽光が観測に支障をきたさない夜間に測定することにした。初年度はテスト観測として、ライダではなく設置が簡単な低出力のライダ (シーロメータ) を用いた。しかし出力がやはり不足をしており、2-3 年度の観測はライダを用いた。

ライダ観測は光学部品を使うため、通常はコンテナ内といった気密性の高い環境で観測を行う。しかしこれでは設置場所の手配が手間となり、経費も掛かり、手軽には観測が行えない。そこでライダを簡易的な囲いを用いて保護しながら観測を行った。最初は降雪時には観測を止めてライダを大きなビニール袋で覆うと考えていたが、北海道の降雪は天気予報が晴れと言ってもレーダで降雪が全く映っていないくてもライダ観測に支障がある程度の降雪がある。また、レーザの冷却水が凍結しないような対策を施してたのだが、逆にレーザがオーバーヒートを起こしそうになった。そこで次の年にはいつ降雪があっても良いような防雪対策を二重に施し、ライダの簡易囲いの中の気温を適温に保つためサーモスタット付きコンセントを導入した。観測期間中に風雪・強風・大雪警報が各 4・2・1 回発令されたが、ガラス面に雪が固着した以外の問題は起きなかった。

CPS といったゾンデ観測を研究用で行う場合、安全のため通常はヘリウムガスを使う。しかし

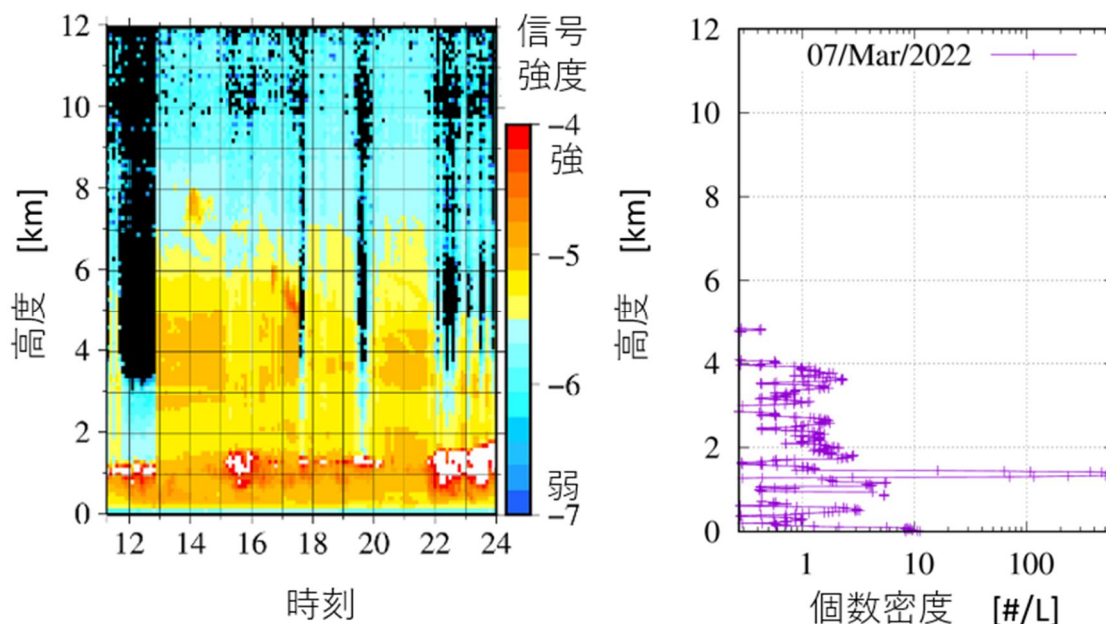


図 1 ライダ概要。(左) 側面を取りはずしたライダ全体。周囲のコンパネだけでも多くの風雪を防ぐことはできる。防寒対策とさらなる防水対策として断熱シートとビニールでパソコンを含めた測器・センサ全体を覆っている。(右) 断熱シートとの中。隙間を緩衝材で埋め、保温性を上げている。囲いは分解できるため、佐川急便であれば通常配送できる。

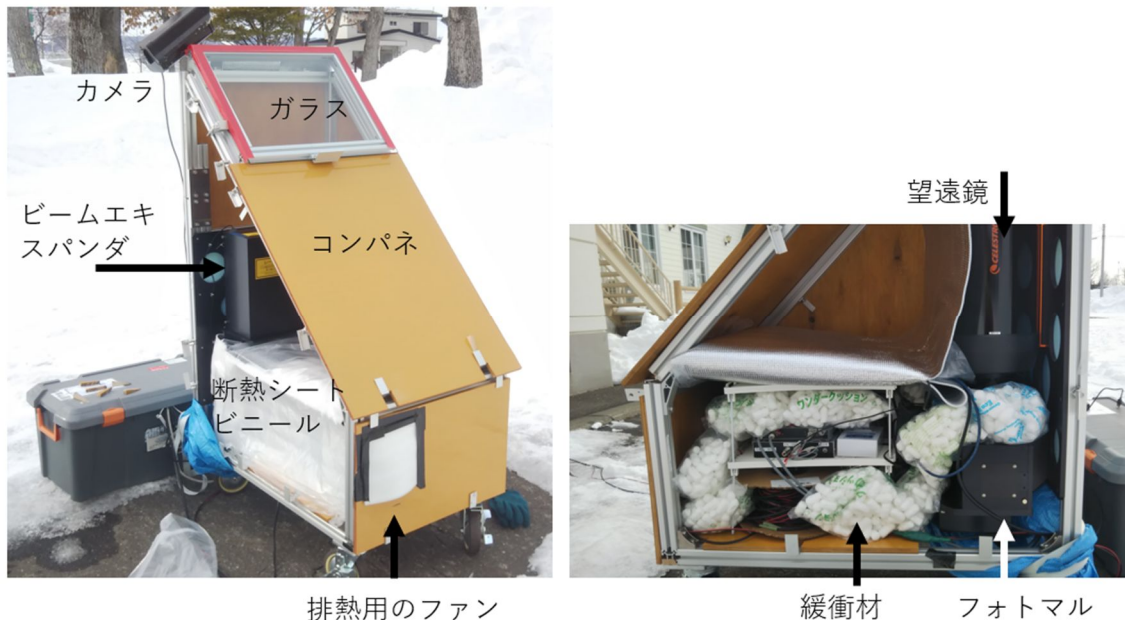


図2 2022年3月7日に行った(左)ライダ観測のデータ、(右)CPSのデータ。高度4kmより上に信号が受信できていない時刻は、下層の雲によってレーザ光線が減衰していることを示す。

ここ数年はヘリウムの入手が困難になってきているので、代わりに水素ガスを用いた。過去にゾンデの水素ガスによる事故が起きた南極観測の報告書などを参考に、換気対策と静電気対策を施し行った。水素ガス検出器を用いると、水素ガスをどんなに漏れないようにしても風船の口管から必ず漏れることが分かった。いろいろと試した静電気防止対策は、静電靴と着ている服すべてに万遍なく静電気防止スプレーを塗布することが最も効果的であった。ヘリウムガスの供給が増えることは期待できないことから、今後は水素ガスを用いたゾンデ観測が増えると予想される。本知見を他の研究者と共有したい。

#### 4. 研究成果

図2は2022年3月7日の夜間に行ったライダとCPSの雲観測データである。夜間の地表面はおおむね-1度であったので、雲はもれなく過冷却の水雲か氷雲である。ライダの信号より、高度1km付近に過冷却の水雲(17-20時)と混合相雲(22-24時)があったことが分かる。また、時間帯によって前後するものの、おおむね高度3-5kmに薄い雲があることが分かる。なお、高度1km付近の過冷却の水雲・氷雲がないときは星が見えていた。目視では雲の存在が確認できなかった。

CPSの結果から、高度1km付近の過冷却の水雲の粒子の個数密度が数百個/Lであることは普通の結果である。高度3-5kmにも薄い雲がある。CPSのデータは1秒ごとに計測した粒子数が記録されている。1個/Lだと何秒間かに1個だけ計測される。風船にはゴム同士が付着しないようにタルクの微粒子が塗布されている。何秒間かに1個だけ計測されるデータだと、風船などに付着していた微粒子が剥離し偶然CPSに落ちてきた可能性も否定できない。そこで、通常は雲が発生しない成層圏のCPSの計測データを使い、対流圏の粒子測定の前項検定を用いて行った。その結果、高度2-4kmに数個/L弱の粒子があることが分かった。ライダの結果と整合的であった。ただし、CPSのデータから雲粒子の半径が $5\mu\text{m}$ ほどであったので、LSCというほど大きくはなかった。

今後は22-24時の混合相雲がどのようにできたと考えられるのか考察を行う。衛星観測で示唆されたように、混合相雲が見えない雲によって作られたとすると、従来は全く気が付かなかった現象によって高緯度の地表面の気温が調整される可能性が出てくる。

高度1km付近の下層雲が多く、地上に設置したライダ観測ではそこでレーザ光線が減衰しきってその上の雲観測は難しくも分かった。北極ではほぼ常に下層雲に覆われているので、LSCの本格観測を北極で行うためにはライダ以外の観測方法を考える必要があると思われた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Iwasaki Suginori, Seguchi Takafumi, Okamoto Hajime, Sato Kaori, Katagiri Shuichiro, Fujiwara Masatomo, Shibata Takashi, Tsuboki Kazuhisa, Ono Takashi, Sugidachi Takuji	4. 巻 21
2. 論文標題 Large-and-Sparse-particle Clouds (LSC): Clouds which are subvisible for space-borne lidar and observable for space-borne cloud radar	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 117 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2019.05.003	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 2. 岩崎杉紀、藤原正智、杉立卓治、柴田隆、内野修、宇賀神惇、森野勇、岡本創、坪木和久、小野貴司
2. 発表標題 CPSゾンデ・ライダの同時観測による粒形大きく個数密度少ない氷晶雲の生成過程の研究
3. 学会等名 日本気象学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iwasaki, S., H. Okamoto, K. Sato
2. 発表標題 Thin cirrus clouds that extinct supercooled water clouds in the Arctics
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎杉紀
2. 発表標題 コンテナを用いないライダによる野外観測：冬季北海道の観測に向けて
3. 学会等名 第39回レーザセンシングシンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------