

波長可変共鳴散乱ライダーによる南極昭和基地での金属原子層観測

江尻 省¹, 西山 尚典¹, 津田 卓雄², 津野 克彦³, 中村 卓司¹, 阿保 真⁴, 川原 琢也⁵,
小川 貴代³, 和田 智之³

¹国立極地研究所 (〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3)

²電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1)

³理化学研究所 (〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1)

⁴首都大学東京 (〒190-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

⁵信州大学 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

Observation of metal layers by a Resonance Scattering Lidar at Syowa in Antarctic

Mitsumu EJIRI¹, Takanori NISHIYAMA¹, Takuo TSUDA², Katsuhiko TSUNO³, Takuji NAKAMURA¹,
Makoto ABO⁴, Takuya KAWAHARA⁵, Takayo OGAWA³, and Satoshi WADA³

¹NIPR, 10-3, Midoricho, Tachikawa, Tokyo 190-8518

²UEC Tokyo, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585

³RIKEN, RAP, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198

⁴Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo, 191-0065

⁵Shinshu Univ., 4-17-1 Wakasato, Nagano, Nagano 380-8553

Abstract: As a part of a prioritized project of the Antarctic research observations, a new resonance scattering lidar system with frequency-tunable alexandrite laser was developed and installed at Syowa Station (69°S, 40°E) by the 58th Japan Antarctic Research Expedition (JARE 58). Density profiles of minor constituents such as iron (Fe), potassium (K), and calcium ion (Ca⁺) in the mesosphere and lower-thermosphere region were successfully observed in 2017 and 2018. This was the first time detection of K and Ca⁺ layers in Antarctic. We will show preliminary results of the metal layer observations at Syowa Station.

Key Words: Resonance scattering lidar, Antarctic, Metal layers, Mesosphere and Lower-Thermosphere

1. はじめに

高度 90-100 km の中間圏界面の上下に広がる中間圏・下部熱圏 (MLT: Mesosphere and Lower Thermosphere) 領域は、流体として振る舞いが支配的な中層大気 (中性大気) と電磁気学的振る舞いが顕著な超高層大気 (電離大気) の間で、力学的エネルギーや物質の交換が活発に行われている地球大気と宇宙空間の境界領域である。特に極域では、太陽からの高エネルギー粒子が地球大気に降込むことにより、オーロラに代表されるような激しい大気現象を伴ったエネルギーの流入や大気組成の変化が引き起こされている。このような電離大気と中性大気の相互作用を定量的に理解するためには、基礎的なデータとして密度や温度の鉛直分布やその時間変化を知る必要があるが、特に極域では観測が決定的に不足している。我々は、MLT の金属原子 (カリウム: K、鉄: Fe) やイオン (カルシウムイオン: Ca⁺) の共鳴散乱を利用し、これらの密度や温度の鉛直分布を観測する波長可変型共鳴散乱ライダーを開発し、2017 年 1 月に南極昭和基地に設置、2018 年 10 月末まで観測を行った。

2. 波長可変型共鳴散乱ライダー観測

2.1 波長可変型共鳴散乱ライダー

国立極地研究所で開発した共鳴散乱ライダーのブロック図を図 1 に示す。送信系に波長可変のアレキサンドライト・リングレーザーと第 2 高調波発生器を用いている。インジェクション・シーダーの波長を波長計で制御することで、基本波 (768-788 nm)、第 2 高調波 (384-394 nm) のうち任意の波長のレーザーパルスを得ることが可能であるため、K、Fe、Ca⁺それぞれの共鳴散乱線

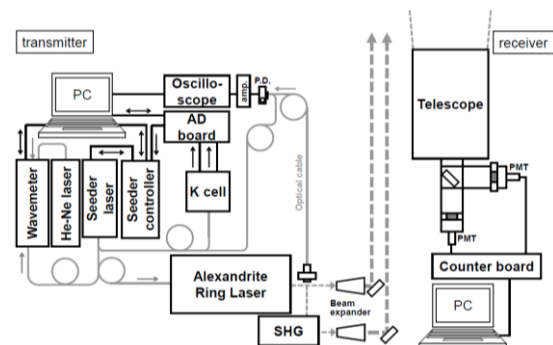


Figure 1. Block diagram of the frequency-tunable resonance scattering lidar system.

Table 1. The total number of nights and hours in each month of the lidar measurements at Syowa.

		Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Total
2017	Night	0	1	0	0	0	9	14	12	16	52
	(Hour)	(0)	(5)	(0)	(0)	(0)	(114)	(128)	(92)	(99)	(439)
2018	Night	3	2	0	9	4	12	12	14	11	67
	(Hour)	(11)	(12)	(0)	(152)	(70)	(193)	(174)	(131)	(60)	(803)

770.11 nm、386.10 nm、393.48 nm に同調させた観測を行った。繰り返し約 25 Hz で、出力は 0.05–3.0 W。共鳴散乱光は、有効口径 82 cm のナスミス式望遠鏡で集光、光電子増倍管で受信した。

2.2 昭和基地での観測

2017年3月から2018年10月にかけて南極昭和基地 (69.0S, 39.6E) で共鳴散乱ライダー観測を行った。月毎の観測晩数と観測時間数を表1に示した。日によって異なる金属原子層の観測を行ったため、観測時間数には偏りがあるが、KとFeの密度及びMLT温度については、5–10月に各月数晩の観測データを得ており、冬から春にかけての季節変化を追うことも可能である。Ca⁺密度については、2年とも9–10月に観測を行い、有効なデータを得た。南極圏でK層およびCa⁺層の観測に成功したのは本観測が初めてである。

観測結果の一例として、2018年10月6日に観測されたCa⁺層の時間変化を図2に示す。高度分解能は0.5km、時間分解能は600秒で、Ca⁺密度は色で表示されている。コンターは信号雑音比(SNR)を示しており、コンター内のデータはSNRが2以上である。Ca⁺層については、2年間で合計6晩の観測データを得たが、この日観測されたCa⁺層は、6晩の中で最も密度が高かった。図2を見ると、高度90–100kmに層厚数kmの比較的薄い層が3層あったことが分かる。1つは観測開始時(18 UT)から22 UTまで高度92 km付

近に留まっていたが、他の2つは下降しており、19–22 UTに~3.6 km/hourで、22–0 UTに~2.5 km/hourでそれぞれ下降していた。Ca⁺密度の最大値は18–19 UTに92 km付近で観測された約100 cm⁻³だった。高度80–120 kmのCa⁺カラム量は0.5 × 10⁷–2.5 × 10⁷ cm⁻²で、時間と共に減少していた。

イオンであるCa⁺は磁気嵐に伴って発生する電場の影響を強く受けるが、この日の観測時間中、地磁気活動の指標であるKpインデックスは0で、非常に静穏であったため、観測されたCa⁺層の薄層形成や高度変化に対して電場の影響は無視できるほど小さかったと考えられた。一方、高度100 km以下は、中性大気との衝突周波数がCa⁺のサイクロトロン周波数に対して非常に大きいため、今回観測されたCa⁺の挙動は中性風の影響を強く受けた結果であった可能性がある。昭和基地ではMFレーダーがこの高度領域の中性風速を測定しているため、今後、MFレーダーによる観測データを背景風として利用することで、薄層の成因と高度変化の原因を調査する予定である。

本講演では、昭和基地での波長可変型共鳴散乱ライダーによる観測の概要を紹介すると共に、Ca⁺層を始め、Fe層、K層観測の初期結果についても紹介する。

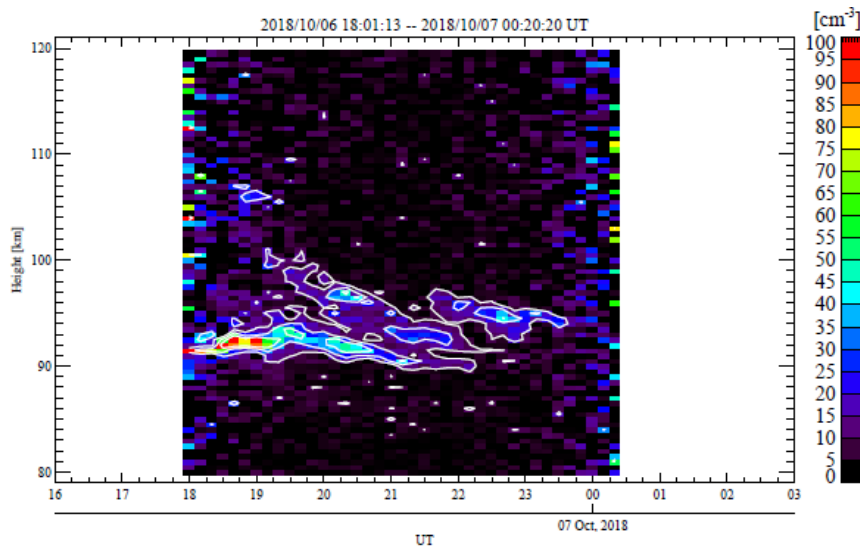


Figure 2. Height-time plot of Ca⁺ density observed at Syowa Station in Antarctica on October 6, 2018. Height and time resolutions are 0.5 km and 600 sec, respectively. Color shows Ca⁺ density in a unit of cm⁻³. Contour line means signal-to-noise ratio (SNR = 2.0, 4.0, and 6.0). A staying layer around 92 km from 18 UT to 22 UT and two descending layers from 19 UT to 22 UT and from 22 UT to 0 UT can be seen.