

波長可変共鳴散乱ライダーで観測された Ca イオン層の季節依存性

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)

Seasonal Dependence of Calcium Ion Layer Observed with a Resonance Scattering Lidar

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: Calcium ion is only metallic ion in the ionospheric E region that can be measured by resonance scattering lidar. Metallic ions, including Ca^+ , originating from meteors are gathered in a narrow layer by vertical shear of horizontal neutral wind in the ionospheric E region, forming sporadic E (E_s) layers. However, the mechanism is not well validated quantitatively yet because the neutral wind and fine structure of the E_s layer can measure with only limited technique. We observed fine structures of Ca^+ layers associated with the E_s layers from August 2014 to September 2016 with a resonance scattering lidar at the NIPR, Tachikwa. In this study, we will show differences in the Ca^+ layer structure between summer/winter and spring/fall.

Key Words: Resonance scattering lidar, Calcium ion, Ionospheric E region, Mid-latitude

1. はじめに

高度 90-150 km の電離圏 E 領域には、主に流星体を起源とする様々な種類の金属イオンが存在している。この領域の金属イオンは、中性大気の水平風、特に東西風の鉛直シアにより薄層に集められ、スポラディック E (E_s) 層の形成に大きく寄与していると考えられている。ところが、電離圏 E 領域の中性風は観測手段が限られているため情報が不足しており、 E_s 層の形成メカニズムの検証は必ずしも十分では無い。近年、電離圏プラズマと熱圏中性大気との相互作用を考慮し、地上から超高層大気領域までをカバーするシミュレーションモデル (地球全大気モデル) の著しい発展により、モデル大気の中で金属イオンと中性風の相互作用を考慮し、 E_s 層の形成を再現する試みが始まっている [Shinagawa et al., 2017]¹⁾。モデルの中で再現された E_s 層と実際に観測された E_s 層の比較・検証は、モデル大気中の中性風を評価することにもつながるため、内部の微細構造やその時間的发展、空間的な広がりなど E_s 層の詳細な観測が求められている。

カルシウムイオン (Ca^+) は、電離圏 E 領域に存在する金属イオンの中で、唯一地上からライダー観測が可能な金属イオンである。国立極地研究所では、南極地域観測における重点研究観測の中で波長可変共鳴散乱ライダーを開発。南極昭和基地での Fe 、 K 、 Ca^+ 、 N_2^+ の密度観測および中間圏・下部熱圏領域の温度観測を目指して、国内で試験観測を行った。本講演では、2014-2016 年に行った Ca^+ の試験観測結果を用いて、 E_s 層の季節による差異について議論する。

2. 共鳴散乱ライダーによる Ca^+ 観測

2.1 波長可変共鳴散乱ライダー

国立極地研究所で開発した共鳴散乱ライダーは、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出来る。繰り返し約 25 Hz で、出力は 0.05-0.3 W。共鳴散乱光は、有効口径 82 cm のナスミス・カセグレン式望遠鏡で集光、光電子

増倍管で受信した。

2.2 Ca⁺密度観測

2014年8月から2016年9月にかけて東京都立川市の国立極地研究所(地理座標 35.7N, 139.4E/地磁気座標 27.1N, 151.1E)にて、Ca⁺ (393 nm) の共鳴散乱ライダー観測を行い、8晩の有効な観測データを得た。各観測の時刻と高度時間分解能、受信フィルターの透過幅を表1にまとめた。

Table 1. List of Ca⁺ observation at Tachikawa.

Year	Month	Day	Time (UT)	Range of bin (m)	Integ. time (s)	FWHM (nm)
2014	Aug.	21	14:13–19:28	15	50	11
	Dec.	24	11:09–21:26	15	5	11
2015	Dec.	8	10:52–21:04	15	5	1
	Dec.	18	09:11–21:09	15	5	1
2016	Mar.	3	10:54–20:38	30	5	1
	May.	12	10:34–19:10	15	5	1
	Aug.	31	11:24–19:43	15	5	1
	Sep.	1	14:03–19:41	15	5	1

3. 観測結果

E_s 層の形成と高度変化には大気潮汐波が大きく寄与していることが指摘されており [e.g., Haldoupis, 2012]、 E_s 層の発生頻度は南北半球それぞれの夏季に高くなる傾向がある。そこで、観測された Ca⁺ 層の時間高度変化を夏/冬 (5–8 月/11–2 月) と春/秋 (3–4 月/9–10 月) に分けて、特徴を調べた。

夏/冬に観測された Ca⁺ 層は、高度 80–120 km に複数層現れ、時間と共に下降。その下降速度は半日潮汐波及び一日潮汐波の位相速度と同程度の時速約 1–2 km で、中緯度 E_s 層の特徴と一致していた。ただし、層の厚さは 1 km 未満の薄層から 10 km 以上の非常に厚い層まで様々で、時間変動も大きかった。例として 2016 年 5 月 12 日の観測結果を図 1a に示す。密度、層厚共に激しく変動

しながら下降する様子が分かる。

一方、春/秋の Ca⁺ 層は、層厚は数 km でほぼ一定、密度の時間変動も緩やかだった。下降速度は時速 1 km かそれ以下で、特に夜半から明け方にかけては高度 100 km 付近に留まる傾向が見られた。図 1b に 2016 年 9 月 1 日の観測結果を示す。この日は、100 km 付近に停滞した Ca⁺ の薄層に加えて、15:15–16:30 UT に 130 km 以上の高高度から時速約 20 km で急降下する Ca⁺ 層が観測された。下降速度から大気波動による風速シアが形成した層とは考え難く、成因は調査中である。

4. まとめ

共鳴散乱ライダー観測によって得られた、中緯度 Ca⁺ 層の高度時間変化は、夏/冬と春/秋で大きく傾向が異なった。夏/冬の Ca⁺ 層は、密度、層厚共に時間変化が激しく、時速 1–2 km で下降していたのに対して、春/秋の Ca⁺ 層は、高度 100 km 付近に停滞し、層厚、密度共に時間変化が緩やかだった。今後、これらの観測結果のうち、特に春/秋に観測された E_s 層について、地球全大気モデルで再現される E_s 層と比較・検証することで、 E_s 層形成メカニズムと電離圏 E 領域の中性風の理解が進むことが期待される。

参考文献

- 1) Shinagawa, H., Y. Miyoshi, H. Jin, and H. Fujiwara (2017), Global distribution of neutral wind shear associated with sporadic E layers derived from GAIA, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 4450–4465, doi:10.1002/2016JA023778.
- 2) Haldoupis, C. (2012), Midlatitude sporadic E. A typical paradigm of atmosphere-ionosphere coupling, *Space Sci. Rev.*, 168, 441–461, doi:10.1007/s11214-011-9786-8.

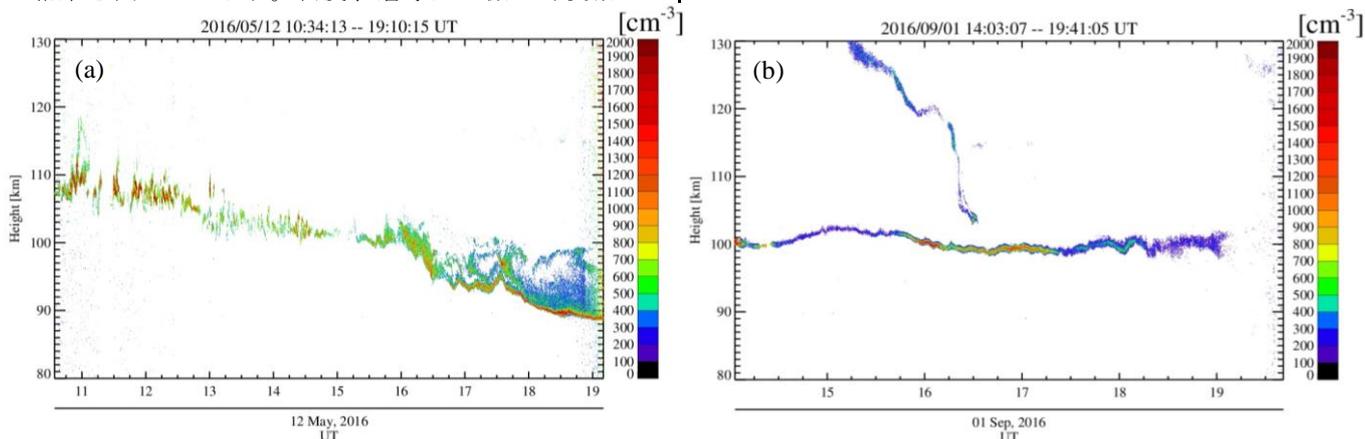


Figure 1. Height-time plot of Ca⁺ density observed at the NIPR, Tachikawa on (a) May 12, 2016 and (b) September 1, 2016. (a) shows descending Ca⁺ layers with speed of 1–2 km/hour, which are typical downward phase speeds of diurnal and semi-diurnal tide. (b) shows a relatively stable Ca⁺ layer around 100 km altitude.