

極域における Ca⁺層と臨界周波数 (foEs) の比較

江尻 省¹, 西山 尚典¹, 津田 卓雄², 津野 克彦³, 古城 侑季⁴, 齊藤 昭則⁴, 西岡 未知⁵, 中村 卓司¹, 阿保 真⁶, 川原 琢也⁷, 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 京都大学 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

⁵ 情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

⁶ 東京都立大学 (〒190-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

⁷ 信州大学 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

Comparison between Ca⁺ layer and sporadic E layer at Syowa Station

Mitsumu K. 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

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

⁵NICT, 4-2-1, Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

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

⁷Shinshu 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 calcium ion (Ca⁺) in the mesosphere and lower-thermosphere region were successfully observed in September and October in 2017 and 2018. An ionosonde was also operated at Syowa Station and sometimes detected a sporadic E layer even if geomagnetic conditions were quiet. We will discuss a relationship between Ca⁺ layer and Es layer under quiet geomagnetic conditions.

Key Words: Resonance scattering lidar, Antarctic, Es layer, Mesosphere and Lower-Thermosphere

1. はじめに

カルシウムイオン (Ca⁺) は、中間圏・下部熱圏 (MLT: Mesosphere and Lower Thermosphere) 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が、その観測地域は北半球の中低緯度に限られていた。中緯度帯においては、MLT 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、スプラディック E (Es) 層の形成に大きく寄与することが知られている。共鳴散乱ライダーによる Ca⁺密度観測は、非干渉散乱レーダーに匹敵する解像度で Es 層の微細構造を捉えることができるため^{1,2)}、中性大気-プラズマ結合過程の観測的解明に資することが期待されている。一方、極域の Es 層は宇宙からの高エネルギー粒子降込みの影響が大きく、特にオーロラサブストーム発生時に、それに伴う降下電子によってオーロラ Es 層が生じることが知られている。オーロラ Es 層は昭和基地のイオノゾンデ観測でもしばしば観測されており、統計的な解析によりオーロラサブストームの成長相から爆発層にかけて Es 層の平均電子密度は増加し、高度は下降する傾向が示され、数 keV-100 keV 程度のエネルギーを持つ電子の降下量の増大を反映した層である可能性が高いと考えられている³⁾。しかし、最近の地球全大気モデルによる Es 層の全球分布予測によると、頻度は低いものの、中緯度と同様のメカニズムで Es 層が形成される可能性があることが示され⁴⁾、地磁気静穏時には極域における中性大気-プラズマ結合現象が観測される可能性が示唆されている。今回、我々は、世界で初めて極域での Ca⁺ライダー観測に成功し、Ca⁺層の時間変化とイオノゾンデ観測による地磁気静穏時の Es 層の関係を調べた。

2. 観測

2.1 波長可変共鳴散乱ライダーによるカルシウムイオン観測

国立極地研究所で開発した波長可変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可能であるため、K、Fe、Ca⁺それぞれの共鳴散乱線 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し、光電子増倍管で受信した。2017年3月から2018年10月にかけて南極昭和基地で波長可変共鳴散乱ライダーによる、Fe、K、Ca⁺の密度および MLT 温度の観測を行った。Ca⁺層については、2017年9月13日、10月2、3、19日と2018年9月15日、10月6日の合計6晩で観測に成功した。

2.2 イオノゾンデ観測

電離層観測の定常的安定運用を目的として情報通信研究機構 (NICT) が開発したイオノゾンデ (FMCW 方式) は、2009年に第51次南極地域観測隊によって昭和基地に導入され、テスト観測を経て、2016年1月より低電力型の新システムで運用されている。2018年10月に一部欠測があったものの、2017年9月、10月および2018年9月においては継続的に観測が行われており、15分ごとに取得されたイオノグラムが利用可能なデータとして、電離圏・宇宙天気に関する世界資料センター (WDC for Ionosphere and Space Weather) を通して一般に公開されている。

3. Ca⁺層と Es 層の比較

地磁気静穏時に観測された Es 層の同時観測例を Fig. 1 に示す。2018年9月15日 20:02 UT のイオノグラム (Fig. 1c) で高度 90 km 付近に臨界周波数 (foEs) 5 MHz 程度の Es 層が確認できる。この日の 17-21 UT に、昭和基地のフラックスゲート磁力計で観測された磁場 H (水平) 成分データ (Fig. 1a) はほぼ 0 nT だった。つまり磁場は非常に静穏で、イオノグラムに現れた Es 層はオーロラ Es 層ではないと考えられた。この時 Ca⁺密度観測では、密度最大高度 92 km、半値全幅約 4 km の Ca⁺層が観測されていた。本発表では、このような地磁気静穏時の Es 層に注目して、Ca⁺層との関連を議論する。

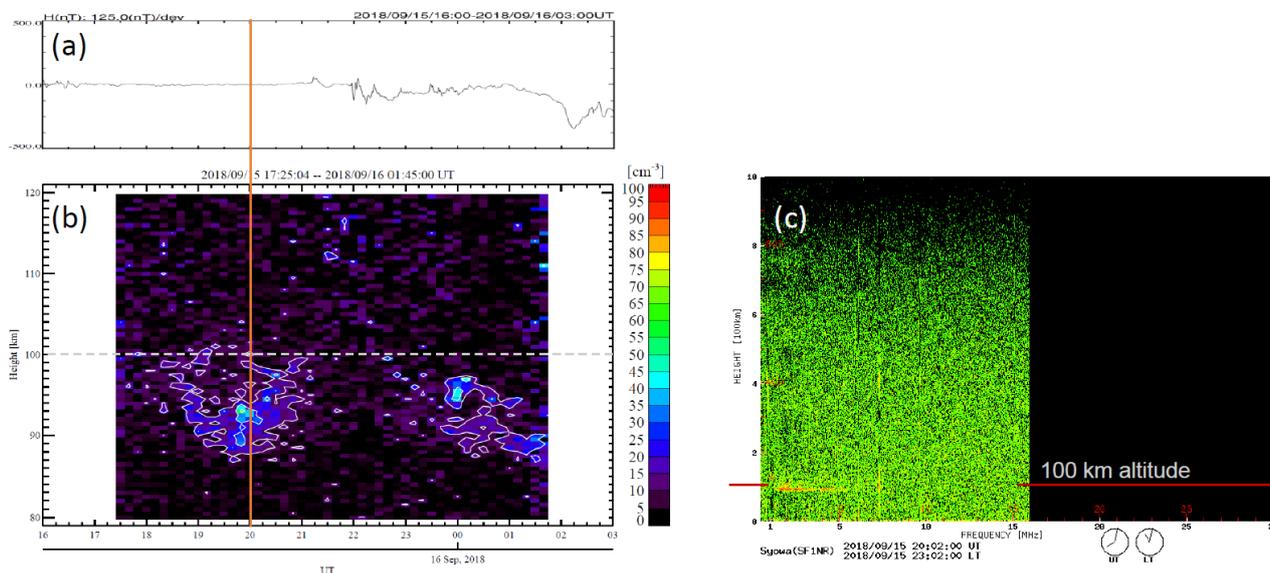


Fig. 1 An example of simultaneous observation at Syowa Station on September 15, 2018. (a) Geomagnetic variation, (b) Ca⁺ density variation, and (c) ionogram observed by a fluxgate magnetometer, a frequency-tunable resonance scattering lidar, and an ionosonde, respectively.

謝辞

本観測研究は、南極観測事業第IX期重点研究観測および JSPS 科研費 15K13575, 21K18315 の助成を受けたものです。

参考文献

1) Raizada, S., Tepley, C. A., Williams, B. P., & García, R. (2012). Summer to winter variability in mesospheric

calcium ion distribution and its dependence on Sporadic E at Arecibo. *Journal of Geophysical Research*, 117(A2), A02303. <https://doi.org/10.1029/2011JA016953>

- 2) Ejiri, M. K., Nakamura, T., Tsuda, T. T., Nishiyama, T., Abo, M., She, C.-Y., et al. (2019) Observation of synchronization between instabilities of the sporadic E layer and geomagnetic field line connected F region medium-scale traveling ionospheric disturbances. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 124, 4627–4638. <https://doi.org/10.1029/2018JA026242>
- 3) 渡邊穰次, 石井 守, 松田佳久 (2008), イオノズンデを用いたオーロラサブストーム時の電離圏変動, 南極資料, Vol. 52, No. 3, 409-420.
- 4) 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](https://doi.org/10.1002/2016JA023778).