

ライダーにより得られた東京における中間圏 Na 層の

季節変動に関する考察

長澤親生、阿保 真、柴田泰邦

東京都立大学システムデザイン学部 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Study on Seasonal Variations of the Mesospheric Na layer over Tokyo Observed by Lidar

Chikao NAGASAWA, Makoto ABO, and Yasukuni SHIBATA

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

Abstract: We have performed mesospheric Na lidar observations for 11 years at Tokyo Metropolitan University (TMU) in Hachioji, Tokyo (35.6N, 139.4E) since November 1991. We have recognized more than 200 events of sporadic Na layers above our lidar site in mid-latitude. The seasonal variation of sodium column abundance, which reveals a maximum sodium abundance in the autumn-winter and a minimum in the spring, has clearly observed every year. The max. / min. abundance ratio is about 3 or 4. The centroid height and width of the averaged sodium layer shows semiannual variation. Since then, many observations of mesospheric Na layers have been conducted worldwide, and we review our longtime data from a new perspective, referring to those results.

Key Words: resonance scattering lidar, mesopause, seasonal variation

1. はじめに

高度 90km 付近の中間圏界面の大気観測手段はロケットや大型レーダに限られており、共鳴散乱ライダーによる観測は、それらの観測では困難な極めて希薄な中性金属原子密度の観測や定常的な気温の観測などを可能にするものであり、超高層大気研究には不可欠な手段となっている。我々は八王子市の東京都立大学南大沢キャンパス(35.6N, 139.4E)において 1991 年 7 月から 2003 年 4 月までの約 11 年半にわたって共鳴散乱ライダーによる中間圏 Na 層の長期定常観測を行った。その後、共鳴散乱ライダーを利用した中間圏界面の観測は、世界的に多くの観測結果が発表されてきたが、今回それらの結果を踏まえ、新しい視点から我々の長期観測結果の解析を試みた。

2. ライダーシステム

我々の用いている共鳴散乱 Na ライダーの諸元表を Table 1 に示す。Na 原子の共鳴波長である NaD₂ 線の波長である波長 589nm のレーザーは Nd:YAG レーザ励起色素レーザーである。NaD₂ 線への同調は直接中間圏 Na 原子からの散乱信号を用いて行われる。

Table 1. Specifications of TMU sodium lidar

Location		Receiver	
Tokyo Metropolitan Univ.		Diameter	28, 35, 60cm
35° N, 139° E (Geographic)		Field of View	0.7mrad
25° N, 205° (Geomagnetic)		Optical Bandwidth	3.5nm FWHM
Transmitter		Data Acquisition	
Laser	Nd:YAG SHG pumped Dye	Type	Photon Counting
Wavelength	589nm	Range Resolution	100m
Pulse Energy	65mJ/pulse		
Pulse Rate	10pps		
Linewidth	2.5pm FWHM		
Pulse Length	6ns		
Beam Divergence	0.2mrad		

3. 観測結果

観測時間は Fig.1 に示す様に晴天時の夜間（2001 年以降は Faraday Filter を用いた昼間観測も実施）に限られるが 1991 年 7 月から 11 年半にわたって実施されたが、特に 1991 年 11 月から 1997 年 12 月までの 6 年間は、402 日延べ 2700 時間の密な観測になっている。この解析に用いたデータは、連続観測時間が 2 時間以上で S/N の良好なものだけに限っている。

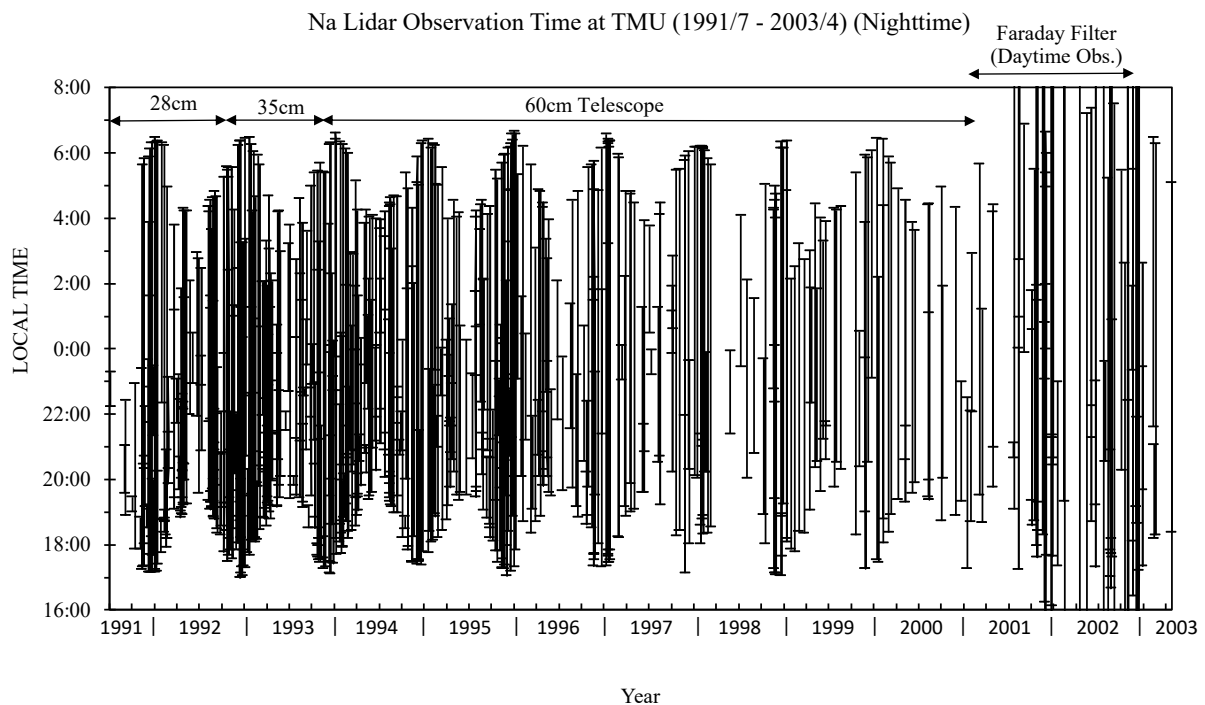


Fig.1 Distribution of observation time by date and local time.

通常の Na 層は高度 80km から 100km 付近に定常的に存在するが、スプラディック Na 層 (Nas 層) は 5 月から 8 月を中心にして突発的に発生する¹⁾。発生高度は 90km 以上である。つまり定常的な Na 層の上半分 (topside) に明らかに限定されている。平均継続時間は 2.7 時間であるが、特に高度 97km 以上に発生したものは継続時間の長いものが多い。電離層に強い Es 層の発生後、しばしば大きい Nas 層の発生がみられ、この平均遅延時間は 28 分であった。電離層の Es 層と Nas 層の平均的な発生高度は、約 10km 程度異なるが、電離層の Es 層は主に金属イオンで形成されていると考えられており、一方 Nas 層は中性原子層であり、これらの化学・力学的動態は徐々に解明されてきているが、まだ十分とは言えない。

Na 密度の高度積分量 (Na 全量) の季節変化は、Fig.2 に示すように、秋冬に最大となり春夏に最小となる。Na 全量の季節変化の解析には、特異的な現象である Nas 層の発生した日の観測結果は含めていない。最大、最小の比は 3 程度であり、緯度の若干高い Urbana や Fort Collins の比が 4 程度²⁾であるのに比べ小さくなっている。Na 層全量が最大になる秋冬の状況を詳細にみると、10-11 月に第一のピークが現れ、1 月に第二のピークが現れる傾向にある。中間圏界面において 12 月に一時的に、気温が低下する現象が知られており、これは Na 密度と気温との相関を示唆するものである。一方平均的な Na 層の重心高度と層幅は Fig.3 に示すように semiannual な年変化をしている。

Fig.4 に 1992 年から 1997 年の Na 全量と重心高度の長期トレンドを示す。Na 全量には増加傾向、重心高度には低下傾向をみることができる。

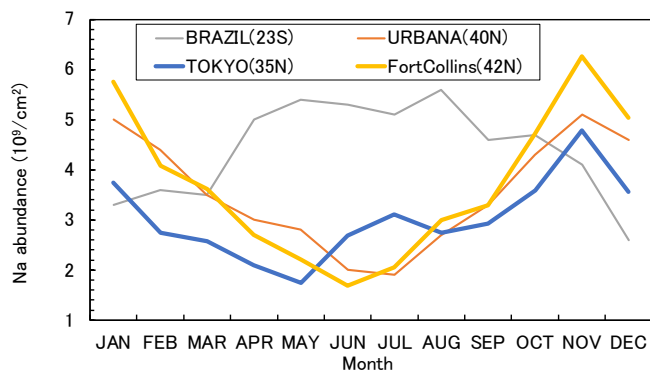
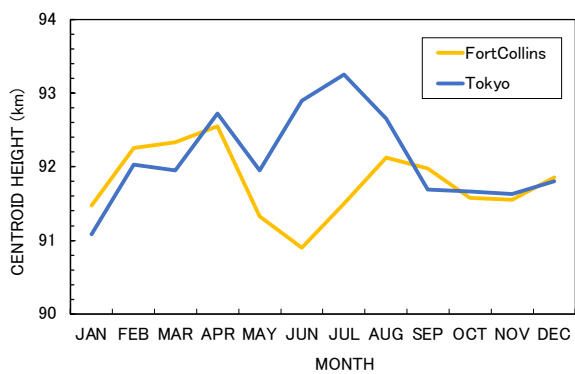
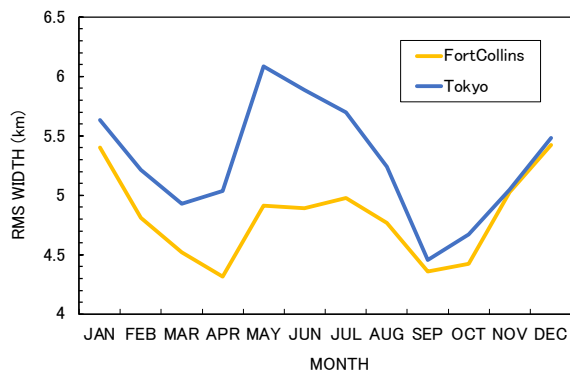


Fig. 2 Seasonal variation of the Na layer column abundance at Tokyo, Brazil, Urbana and Fort Collins.

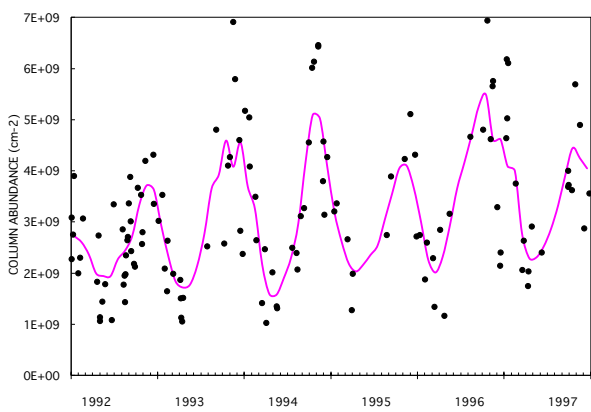


(a)

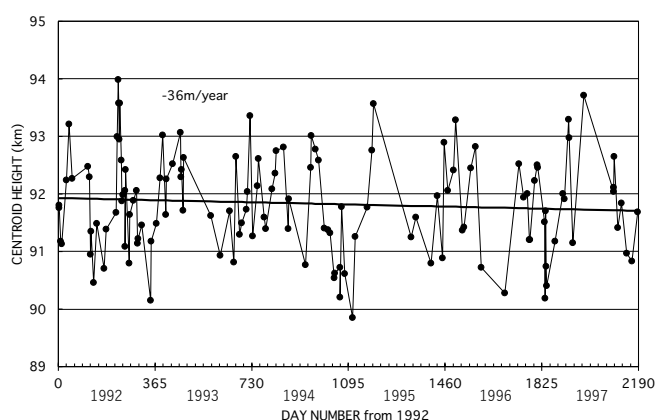


(b)

Fig. 3 Seasonal variation of the Na layer (a)centroid height and (b)rms width at Tokyo and Fort Collins.



(a)



(b)

Fig. 4 Trend in the Na layer (a) column abundance and (b) centroid height at Tokyo.

4. まとめ

この数十年の間に、中間圏の大気観測には共鳴散乱ライダーの能力を十分に活用して、高精度な Na 層観測や気温や風との同時観測、K, Fe など種々の金属原子・イオンとの同時観測など、多岐にわたる観測が行えるようになり新しい知見が得られてきた³⁻⁶⁾。最近では高度 110~150km に TINA (Thermosphere-Ionosphere Na) 層と言われる層が存在するなどの知見も得られている⁷⁾。それらの最近の観測結果を踏まえ、我々の 11 年にわたる長期観測の結果を眺めることにより、視点を変えて中間圏 Na 層の数年の平均化された季節変動だけではなく、東京上空の中間圏 Na 層の経年変化にも着目して、その長期変動の特徴を解析した。

参考文献

- 1) C. Nagasawa and M. Abo: *Geophys. Res. Lett.*, **22** (1995) 263.
- 2) J. M. C. Plane et al.: *J. Geophys. Res.*, **104** (1999) 3773.
- 3) Tao Li et al.: *Atmos. Chem. and Phys.*, **18** (2018) 11683.
- 4) V. F. Andrioli et al.: *J. Geophys. Res.*, **125** (2020) e2019JA027164.
- 5) M. K. Ejiri, et al.: *J. Geophys. Res.*, **115** (2010) 2009JD013799.
- 6) M. K. Ejiri, et al.: *Earth Planets Space*, **71** (2019) 3.
- 7) X. Chu et al.: *Geophys. Res. Lett.*, **48** (2021) e2021GL093729.