

# 共鳴散乱ライダーで観測されたスポラディック Na 層と太陽活動との関係に関する統計的解析

酒井 大士, 阿保 真

首都大学東京システムデザイン研究科 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

## Statistical analysis on the relationship between solar activity and the sporadic Na layer observed by the resonance scattering lidar

Daishi SAKAI and Makoto ABO,

Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Many observations of metallic atom layers in the mesopause region have been conducted by the resonance scattering lidar. In this region, sporadic metal layers which have narrow width and high peak density are often observed. Some mechanisms for the production of sporadic metal layers are proposed such as the neutralization of metal ions in sporadic E layers produced by the wind-shear mechanism. On the other hand, the influence of solar cycle on the critical frequency of the sporadic E layer (foEs) are reported. Therefore, we investigated the relationship between solar cycle and foEs using the ionosphere data at Kokubunji, and analyzed relationship between the parameters of the sporadic Na layer and solar cycle using data of sporadic Na observed at Hachioji.

**Key Words:** resonance scattering lidar, sporadic Na layer, sporadic E layer, solar cycle

### 1. はじめに

高度 90~110km の中間圏界面付近に成層する中性金属原子や金属イオンは、この領域の温度構造、風速場、大気波動、イオン、電子密度分布などに密接に関係しているため、この高度領域の貴重なトレーサとして共鳴ライダーによる観測が行われている。またこの領域の特徴的な現象として sporadic 金属層と呼ばれる、層幅が狭くピーク密度の高い金属層が観測される。

中緯度に位置する日本の八王子(35.6N)や中国の北京(40.2N)では、夏季に sporadic Na 層の発生頻度が高いと共に sporadic E 層の発生頻度が高いという観測結果がある<sup>1,2)</sup>。中緯度においてはウィンドシアに伴い発生した電離層の sporadic E 層の構成要素である金属イオンが、中性 sporadic 金属原子層のソースとなるとの説が提唱されている。しかし、中国の合肥(31.8N)、武漢(30.5N)、海口(19.5N)などでは sporadic E 層の発生頻度が低い冬季でも夏季と同じくらい sporadic Na 層の発生頻度が高いという観測結果が報告されている<sup>2,3)</sup>。このように sporadic E 層の中性化だけでは説明できない点があり、sporadic 金属原子層の発生機構は未だ未解明と言える。そこで本研究では sporadic Na 層の発生機構の手がかりを得るために、sporadic Na 層と太陽活動の関係について統計的解析を行った。

### 2. 太陽活動と sporadic E 層の関係

Sporadic E 層の臨界周波数(foEs)と太陽活動の関係については複数の研究が報告されている。Zuo et al. はアマルティ(43.2N)、マウイ(20.8N)、ボルダー(40.0N)の昼と夜の foEs と太陽活動の関係を調べ、昼間の foEs は太陽活動度と正の相関が、夜間の foEs と太陽活動度と負の相関があることを示した<sup>4)</sup>。Pezzopane et al. はイタリアのローマ(41.8N)の昼間の foEs と太陽活動度は強い正の相関があることを示した<sup>5)</sup>。そこで我々は国分寺の電離層データを用い

て同様の解析を行った。

Fig. 1 に 1980~2016 年に国分寺で観測された夜の foEs (22:00~02:00 の平均値)と太陽活動度との関係を示す。太陽活動度を表す値として太陽黒点相対数のデータ<sup>6)</sup>を用いた。夜の foEs の平均値と黒点数は 365 日の移動平均をしている。Fig. 1 より国分寺の夜間の foEs は太陽活動と明瞭な負の相関があることが分かる。

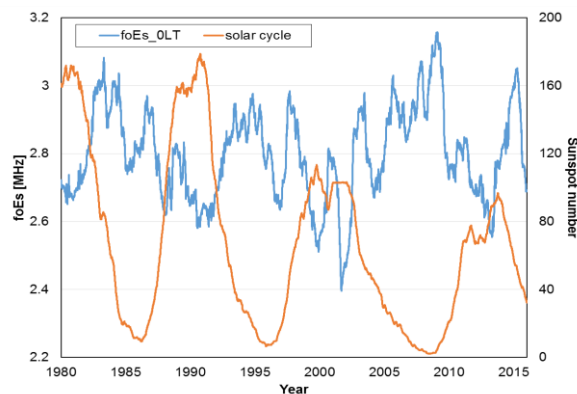


Fig.1 Comparison of yearly averaged values of sunspot number and foEs of Kokubunji station at nighttime.

Table.1 に各地の昼(10:00~14:00の平均)と夜それぞれの foEs と太陽黒点数の相関係数を示す。全ての地点で昼は正の相関、夜は負の相関であるが、国分寺の昼はアマルティ、マウイと比べると相関が低く、夜はマウイやボルダーに比べて相関が強いことが分かる。太陽活動と昼の foEs が正の相関であるのは通常の E 層の電子密度が太陽活動と強い正の相関を持っておりこれが foEs の変動に寄与していると説明されている。一方夜間は通常の E 層は存在しないため、昼と夜で foEs と太陽活動の相関関係が反転するのは、昼から夜にかけて中性風の風速場が変化し sporadic E 層を発生に寄与する東西風成分が変動するのが原因であると指摘されている<sup>4)</sup>。

Table. 1 Correlation coefficient of yearly averaged values of foEs at four locations with the yearly averaged values of sunspot number.

Locations	Day	Night
Alma ata(43.2N)	0.76	-0.71
Boulder(35.6N)	0.54	-0.27
Kokubunji(35.6N)	0.58	-0.54
Maui(20.8N)	0.80	-0.13

### 3. 太陽活動と Sporadic Na 層の関係

次に太陽活動と sporadic Na 層の関係について太陽活動1周期分のデータを用いて解析を行った. Fig. 2 に 1991~2001 年までに八王子で共鳴散乱ライダー観測を行った月ごとの日数を示す. Fig. 2 より季節並びに年により観測日数にばらつきがあり, 1997 年以降は観測データに空白月が多いことが分かる.

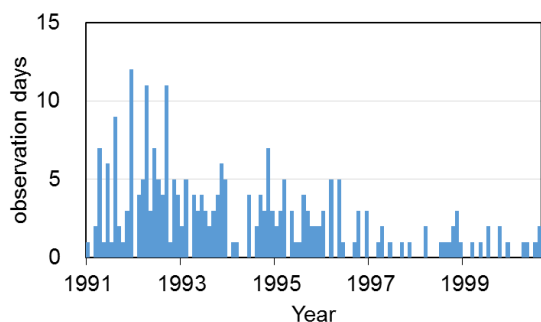


Fig. 2 Days per month of Na resonance lidar observation at Hachioji.

太陽活動と sporadic Na 層の関係についての解析を行う際に, sporadic Na 層の季節変化の影響並びに観測日数のばらつきの影響を低減するために, 太陽活動と sporadic Na 層の観測データより求めた各パラメータ (sporadic Na 層の最大密度, ピーク高度, 層幅, 継続時間) を 24 ヶ月の移動平均処理をし, 太陽活動と比較した.

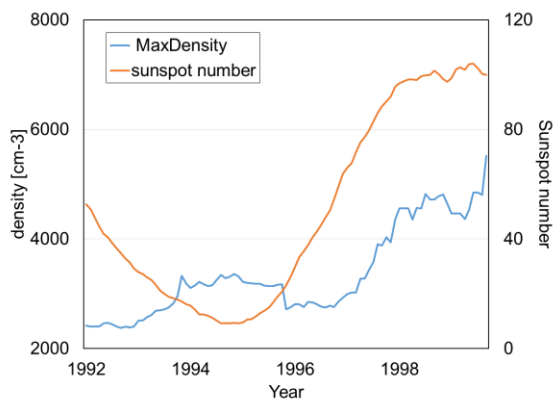


Fig. 3 Comparison of two-yearly averaged values of sunspot number and peak density of the sporadic Na at Hachioji.

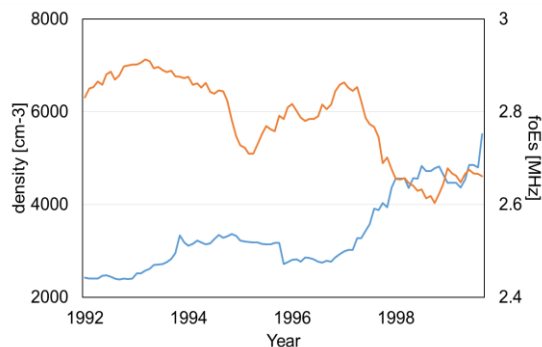


Fig. 4 Comparison of two-yearly averaged values of nighttime foEs at Kokubunji and peak density of the sporadic Na at Hachioji.

Table. 2 Correlation coefficient of sporadic Na parameters at Hachioji with suspot number and nighttime foEs at Kokubunji.

	MaxDensity	MaxHeight	Duration
Sunspot number	0.77	-0.62	-0.18
foEs	-0.89	0.64	-0.16

Fig. 3 に太陽活動度と sporadic Na 層の最大密度の推移を示す. これより sporadic Na 層の最大密度と太陽活動度には正の相関があることが分かる. 次に Fig. 4 に foEs と sporadic Na 層の最大密度の推移を示す. これより foEs と sporadic Na 層の最大密度には負の相関があることが分かる. Table.2 に sporadic Na 層の各パラメータと太陽活動度並びに foEs との相関係数を示す. ピーク高度は太陽活動とは負の相関, foEs とは正の相関であった. 継続時間については優れた相関は見られなかった. 最大密度とピーク高度はの相関係数の絶対値はどちらも太陽活動度より foEs との相関値の方が大きい.

### 4. おわりに

太陽活動と夜の foEs は負の相関を示しており, 太陽活動は sporadic Na 層の密度, 高度に対してそれぞれ相関があり, sporadic Na 層のパラメータに影響を与えることが分かった. 太陽活動と東西風成分の変動に相関があることが指摘されており, 緯度による sporadic Na 層の発生頻度の違いもこれから説明出来る可能性がある.

#### 参考文献

- 1) C. Nagasawa and M. Abo, Geophys. Res. Lett., **22**, 263-266, 1995.
- 2) X.K.Dou et al., J. Geophys.Res., **118**, 6627-6643, 2013.
- 3) X.K.Dou et al., Ann. Geophys., **27**, 2247-2257, 2009.
- 4) X.-M. Zuo et al., Chinese J. Geophys., **45**, 803-809, 2002.
- 5) M. Pezzopane et al., J. Space Weather Space Clim., **5**, A31, 2015
- 6) [http://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/db\\_sunspot.html](http://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/db_sunspot.html)