

共鳴散乱ライダーによるスポラディック金属原子層観測手法の検討

Study on the observation of the sporadic metallic atom layer by a resonance scattering lidar

花澤 佑季, 阿保 真
Yuki Hanazawa, and Makoto Abo,

首都大学東京システムデザイン研究科
Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

Many observations of metallic atom layers such as Na, Fe, K, Ca and Ca ion in the mesopause region have been conducted in many parts of the world 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 sodium ions in sporadic E layers produced by the wind-shear mechanism. To get a hint of true mechanisms for the production of sporadic metal layers, we are planning atomic Ca observation in Tokyo. But in case of Ca, signal to noise ratio of observed data will be worse because density of Ca is lower than Na. So a method to determinate sporadic metal layer automatically is important. As a purpose of searching sporadic Ca layer, we make a model of sporadic Ca layer and simulate the optimal time and height resolution.

1. はじめに

高度 90~100km の中間圏界面付近に成層する Na, Ca, K, Fe といった中性金属原子や金属イオン (Ca⁺) の観測が共鳴散乱ライダーにより世界各地で行われ, この領域の気体・イオン化学反応過程や力学的構造に関する貴重な情報が得られるようになった. 金属原子層密度の変動は中間圏界面近傍の温度構造, 風速場, 大気波動, イオン, 電子密度分布などに密接に関係するが, この領域ではしばしば層幅が狭くピーク密度の高い sporadic 層が観測される. この sporadic 金属原子層の発生機構は未解明な点もあるが, 中低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になるとの説が提唱されている.

2. 従来の sporadic 層の観測

Table. 1はこれまで報告されたsporadic 金属原子・イオン層の観測地と緯度及び観測対象の原子を表にしたものである. Caイオン (Ca⁺) は地上から共鳴散乱ライダーで測定できる唯一の金属イオンであるため, 多くの観測例があるが中性のCa層については必ずしも観測例は多くない. 中緯度 (54° N) のKühlungsbornにおけるCa層及びsporadic Ca層の観測は, Gerding et al. [1]で報告されており, 季節特性についてNagasawa et al. [2]の日本 (35° N) で観測されたsporadic Na層と比較しその違いが議論されている. Fig. 1は日本におけるsporadic Na層とsporadic E層発生頻度の季節特性である. 夏季にsporadic Na層が多く発生していることがわかる. また, sporadic Na層の Local Time特性や季節特性には, 地域ごとに違いがあることがわかっており, 緯度・経度並びに磁場の傾角・偏角と発生頻度の関連についても阿保他 [3]で議論している. そのため, Kühlungsbornとは, 観測地点の緯度が約20° 異なる点や, 日本がsporadic Na層が多く観測されている特異点であることから, 日本でsporadic Ca層の観測を行うことにより, sporadic金属原子層発生機構の解明の手がかりが得られることが期待できる.

Table 1. Observation list of sporadic metal layer^[4-14]

Location	Latitude	Observed sporadic layer [species (year)]
Arecibo	18° N	[K (1999~2005)] [Na, E (1989)] [Fe, K (2001~2005)] [K, Ca, E (2003)] [Ca ⁺ , K]
Wuhang	35° N	[Fe, Na (2007)] [Na, Fe, Ca (2007)] [Ca ⁺ , Fe, Na (2009)]
Hachioji	35° N	[Na (1992~)] [Fe (1990~)] [Na]
Urbana	40° N	[Ca, Na (1992~1993)] [E, Na, Fe, Ca ⁺ (1993)]
Kühlungsborn	54° N	[K (1996~)] [K, Ca (1997~)] [Ca, Ca ⁺ (1997~)]
Kangerlussuaq	67° N	[Na (1997)]
Andoya	69° N	[Na (2005~)]

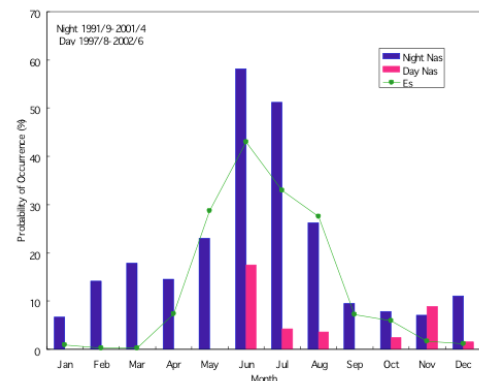


Fig.1 Seasonal variations of occurrence probability of sporadic Na and sporadic E layers.

3. Sporadic Ca 層抽出のシミュレーション

これまで sporadic 金属原子層を観測された共鳴散乱ライダーデータの中から判定し抽出するには、観測データを視覚化して人間の判断あるいは経験的に高度分解能や積算時間を決定していた。しかし、過去の観測結果を参照すると Ca の個数密度は Na に比べて 2 桁程度小さいことから、Ca 共鳴散乱ライダーの散乱信号の SN 比は低く、観測データの中で sporadic Ca 層がノイズに埋もれてしまい正確に抽出できないことが想定される。そのため、SN 比が低いデータから sporadic 金属原子層を検知するためには、高度分解能や積算時間を状況に応じて適切に決定する手法が重要となる。

そこで、sporadic Ca 層を Gerding et al. [1] の定義である高度 90km から 130km の間で発生した層幅 5km 以下の層と定義し、Gerding et al. [1] の観測結果を参考に密度モデルを作成し、ポアソンノイズをのせ、信号強度に合った高度分解能についてシミュレーションを行った。Fig. 2 は、sporadic Ca 層の中心高度を 95km、層幅を 1.8km に設定し、高度分解能を変えて作成したシミュレーションデータの例である。

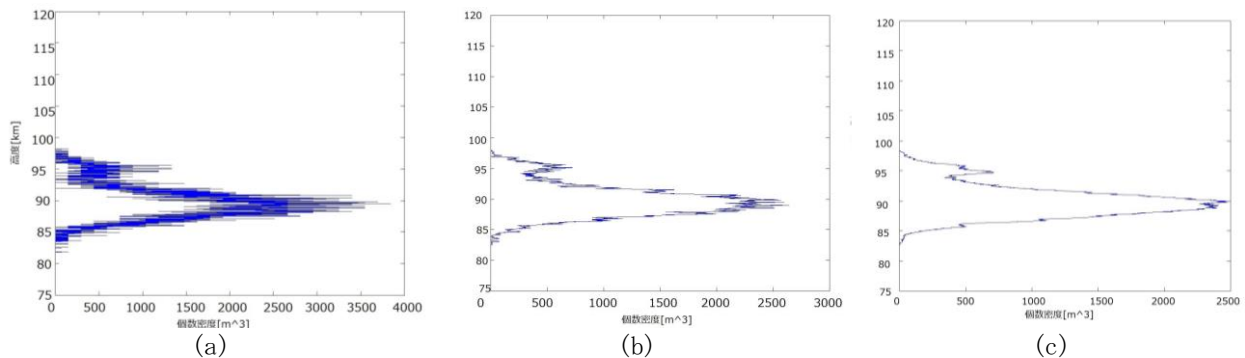


Fig.2 Examples of sporadic Ca layer density model with noise.
Range resolution is (a) 15m, (b) 150m, and (c) 300m.

このSN比の条件ではFig. 2(a)のような15mの高度分解能では、sporadic Ca層はノイズに埋もれてしまい、sporadic層であるかどうかの判断が難しく、層幅などのパラメータを求めるのも困難である。次に平滑化処理を行い高度分解能を150mとしたFig. 2(b)では、sporadic Ca層を判断することは可能であるが、ライダーでは高度が高いほど信号のノイズは増えるため、もしsporadic層の中心高度が高い場合にはノイズに埋もれてしまう可能性がある。高度分解能を300mとした場合のFig. 2(c)では、Fig. 2(b)よりはsporadic Ca層を明確に検出することができる。しかし分解能を下げた場合、層幅などのパラメータが正しく求まらない可能性があり、また平滑化により層幅が狭い場合やダブルピークを持つ場合には、ピーク密度が実際より小さくなるため検出できなくなる可能性もある。したがって、SN比を考慮した適切な平滑化処理を行う必要がある。

高度分解能を大きくできない場合には、積算時間を増やしてSN比を改善する方法もあるが、sporadic層は大気重力波や潮汐波の影響を受け時間的に中心高度が変化する場合が多いため、積算時間にも限界がある。従って、最終的には最適な高度分解能と積算時間の組み合わせが重要となる。

4. おわりに

日本におけるSporadic Ca層の観測を目的として、SN比の低い共鳴散乱データからのsporadic Ca層の判定手法について、密度モデルを作成し、信号強度に合った高度分解能についてシミュレーションを行って議論した。今後はsporadic Ca層の複数のモデルを作成し、シミュレーションを行い、最適な抽出法を検討する。

参考文献

- [1] M. Gerding et al., *Annales Geophysicae.*, 19, 47-58, 2001.
- [2] C. Nagasawa and M. Abo, *Geophys. Res. Lett.*, 22,263-266, 1995.
- [3] 阿保他, 第26回レーザーセンシングシンポジウム, No.E3, 2008.
- [4] T. J. Beatty et al., *Geophys. Res. Lett.*, 16, 1019-1022, 1989.
- [5] R. E. Bills and C. S. Gardner, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 143-146, 1990
- [6] C. S. Gardner et al., *J. Geophys. Res.*, 98, 16,865-16,873, 1993.
- [7] M. Alpers et al., *Geophys. Res.*, 99, 14,971-14,985, 1994.
- [8] C. J. Heinselman and J. P. Thayer, *Geophys. Res. Lett.*, 25,3059-3062, 1998.
- [9] M. Gerding et al., *J. Geophys. Res.*, 104, 24,689-24,698, 1999.
- [10] V. Eska et al., *J. Geophys. Res.*, 104, 17,173-17,186, 1999.
- [11] Y. Fan et al., *J. Geophys. Res.*, 112, D4, 2007.
- [12] H. Nesse et al., *Annales Geophysicae.*, 25, 1-11, 2007.
- [13] E. Dawkins et al., *Geophys. Res. Lett.*, 41,5653-5661, 2014.
- [14] Y. Fan et al., *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 102, 172-184, 2013.