

再使用観測ロケット搭載共鳴散乱ライダー

Resonance scattering lidar on the reusable sounding rocket

阿保 真、長澤 親生、柴田 泰邦、中村 卓司*

Makoto Abo, Chikao Nagasawa, Yasukuni Shibata and Takuji Nakamura*

首都大学東京システムデザイン研究科, *京都大学生存圏研究所

Graduate School of System Design, Tokyo metropolitan University, *RISH, Kyoto University

Abstract

Ground observation is difficult such as metallic ions, smoke particles and trace elements over the mesosphere. If we can use a reusable sounding rocket for lidar observation of such targets, we could get knowledge of new aeronomy. We discuss about the possibility of the lidar observation for the above using a reusable sounding rocket by simulation. And to realize this lidar system, we are developing a portable tunable laser using solid dye.

1. はじめに

我々は、日本及びインドネシアにおいて、共鳴散乱ライダーを用いた高度 80-120km 付近の温度、金属原子・イオン密度の観測を行ってきた。中間圏界面高度の大気状態は、中性の原子、分子を主成分とする下層大気の性質とイオンの性質が主要な性質を決定している電離圏との境界領域にあり、両方の成分が干渉した性質を示す。この高度領域に発生する主に金属イオンからなる sporadic E 層と中性原子からなる sporadic Na 層の関係は、この典型的な例である。

sporadic Na 層の成因は sporadic E 層の金属イオンが中性原子へと変化するものと考えられているが、地上からの観測では必ずしもその対応が良いわけではない。特に sporadic E 層を測定する電波は空間的に広がることも一因と考えられる。そこで、金属イオンと金属原子の同時観測が重要であるが、従来のロケット観測ではイオンの観測しかできていない。

金属元素を対象とする効率的なライダーとして共鳴散乱ライダーがある。中性の Na 層は、比較的精度よく地上からも測定可能であるが、広い高度範囲に分布していることが予想される Mg イオンは、共鳴線の 280nm がオゾン層の強い吸収領域にあるため、地上からの測定は極めて困難である。それだけに飛翔体からの測定は有意義である。

本研究では、現在開発がすすめられている再使用型観測ロケットへ小型の共鳴散乱ライダーを搭載し、金属原子とイオンの同時観測の実現に向けた可能性の検討とレーザーの開発を行う。

2. 再使用型観測ロケット

再使用ロケットは、従来と異なる繰り返し飛行の可能なロケットで、飛行自由度の向上により水平飛行、ホバリング、大気サンプリング等を可能にし、中・上層大気、超高層大気、電離圏観測等にブレークスルーをもたらす手段として期待されている。現在 JAXA により RVT(Reusable Vehicle Testing)として実験飛行が行われ、高度約 40 m まで上昇後、下降して着陸する実験に成功している。目標仕様としては、到達高度 120km 以上、ペイロード 100kg 以上が掲げられている。

衛星搭載ライダーと比べた再使用ロケット搭載ライダー観測のメリットは、(1)動作が短時間であるので、レーザーの放熱や電源をあまり考慮しなくて良い、(2)回収可能で複数回使用できるので、ランニングコストが安く、データ転送が不要、メンテナンスが容易、(3)打ち上げ場所が制限されないため、異なる緯度域での観測が可能、等の点が上げられる。

3. シミュレーション

再使用型観測ロケットに共鳴散乱ライダーを搭載し、水平方向に観測した場合の、金属原子(ナトリウム:共鳴波長 589nm)と金属イオン(マグネシウムイオン:共鳴波長 280nm)の観測可能性についてシミュレーションを行った。今、ロケットは高度 120km まで達した後、姿勢を水平に保ちながらゆっくりと降下すると仮定す

Table 1. Simulation parameters for resonance scattering lidar on the rocket

Laser Average Power	1mW
Telescope Aperture	30cm
System Optical Transmittance	40%
Quantum Efficiency of Detector	25%
Range Resolution	1km

る。Table 1 に示した仕様で、Na と Mg イオンについてのレーザ出力 1 mW 当たりの受信フォトン数を Fig.1 及び Fig.2 に示す。背景光を無視すると受信フォトン数 N に対して誤差は $1/\sqrt{N}$ となるので、誤差 10%以下を目標とすると、受信フォトン数は 100 個以上あれば良いことになる。Na 原子の場合は、1mW で高度 82~110km の範囲でこの条件を満たす。Mg イオンの場合は出力を 10 倍の 10mW とすれば、受信フォトン数も 10 倍となるため、同じ高度範囲でこの条件を満たすことが分かる。このシミュレーション結果から、波長 589nm で 1mW 以上、波長 280nm で 10mW 以上の回収型ロケット搭載可能な小型レーザがあれば再使用ロケット搭載の共鳴散乱ライダー観測が実現可能となることがわかった。

4. 搭載レーザの検討

従来の衛星搭載ライダーでは、寿命の点から波長変換素子として固体結晶が考えられていた。例えばチタンサファイア結晶を用いると 840nm の波長が得られ、この第 3 高調波より 280nm が得られる。しかし、第 3 高調波はその発生効率が低く、この結晶を用いて 589nm の波長を得ることはできない。再使用ロケットは観測時間が短く回収可能であるという特長があるため、必ずしも全て固体結晶を用いる必要はなく、効率が良く可視域で発振可能な色素レーザを用いることが可能である。最近は従来のように色素を液体に溶かすのではなく、樹脂で固体化された固体色素レーザが開発されている。これを用いることにより、589nm 及び 560nm の第 2 高調波を用いることにより、Na と Mg イオンが同時に観測可能な再使用型ロケット搭載の共鳴散乱ライダーが実現可能である。

5. おわりに

固体色素レーザはまだ安定性の検証、狭帯域化の実験等が行われていないため、固体色素を用いた超小型波長可変レーザを構築し、その性能を評価するとともに、共鳴散乱ライダーに用いるために共鳴線への波長安定化システムを新たに作る必要がある。現在これらの基礎実験を行っている。

また、中間圏の流星起源ダストはその存在が指摘されていないながら、その粒子径の小ささと密度の低さから、これまで地上設置ライダーやロケットでもうまく観測されていない。再使用観測ロケット搭載ライダーではこのダスト観測も期待できる。

さらに実現に向けては、電源、窓、姿勢制御の精度、打ち上げ時の衝撃等を検討する必要があるが、低コストでユニークなライダーとして今後の実現に向けて研究を進める予定である。

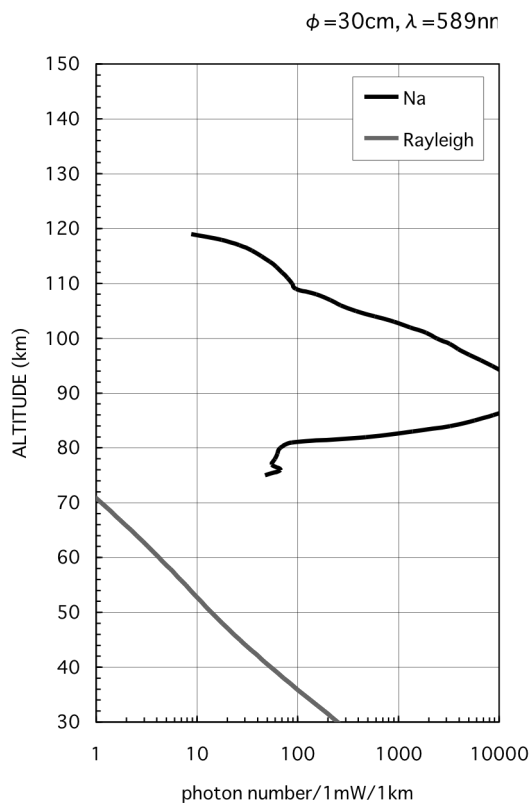


Fig. 1 Simulated receiving photoncount numbers per 1mW of the side view Na resonance scattering lidar on the rocket.

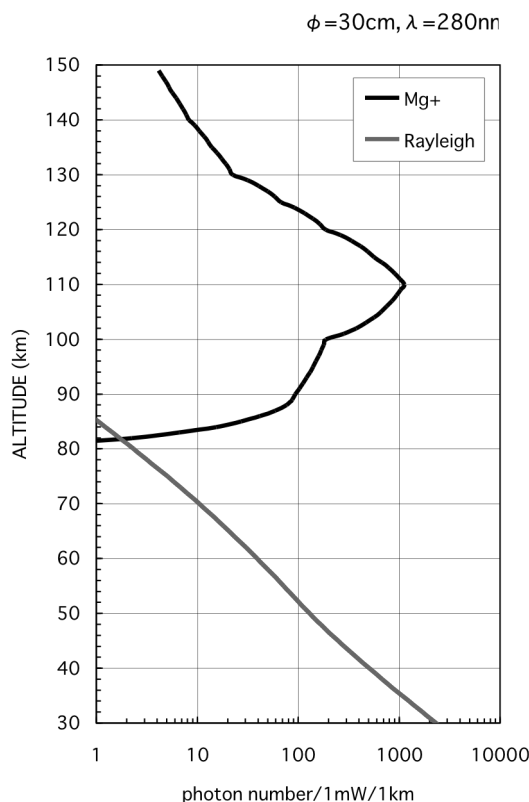


Fig. 2 Simulated receiving photoncount numbers per 1mW of the side view Mg ion resonance scattering lidar on the rocket.