

H 4

スペースライダーによる 中間圏金属原子層観測について

A Space Lidar Measurement of the Mesospheric Metallic Layer

A. Nomura (野村彰夫) (*) and C. S. Gardner (**)

(*) Faculty of Engineering, Shinshu University (信州大学工学部)

(**) Department of Electrical & Computer Engineering,

University of Illinois at Urbana-Champaign

Abstract

A space lidar program for measuring the mesospheric sodium layer is described on the basis of the proposal for NASA by Gardner at University of Illinois at Urbana-Champaign.

1. はじめに

中間圏界面付近に存在する金属原子層は、流星によりまき散らされた各種金属原子 (Na, K, Ca, Fe 等) により形成され、ピーク高度 90 km 付近、層幅約 20 km となっている。1970年代に入り共鳴散乱を利用したライダーにより主に Na 原子について詳しく観測されてきた。さらにレーザ技術の発展に伴い Na 以外に K, Ca, Fe 等の原子あるいはイオンの観測も行われるようになってきた。当初は金属原子層そのものの特性—気柱密度や高度プロファイルの季節変化や夜間変化等—を明らかにすることが主目的となっていた。その後、下部大気から伝搬してくる内部重力波や大気潮汐等の活動のトレーサーとして金属原子層の観測は重要な役割を担ってきた。また最近では送信レーザ光の狭帯域化 (0.01 pm のオーダー) 技術が進歩して、共鳴散乱光のドップラー幅やシフトを観測することにより中間圏界面付近の温度プロファイルと鉛直および水平方向の風の観測が可能となっている¹⁾。これらの観測は、大気力学的過程やエネルギー循環に関して重要な情報を提供するものである。

また最近では金属原子層は下部大気からだけでなく上部大気からの影響—Sporadic Sodium Layer (SSLs)²⁻⁴⁾ やオーロラ活動による擾乱⁵⁾—等が観測され、熱圏と中間圏との相互作用を解明する上でも重要なトレーサーの役割を担っているとも言える。

一方、化学的な観点からみると、ピーク高度の下部では光化学反応が活発で、そこでどのよ

うな反応プロセスが行われているのか、さらにそこで生成された金属化合物がどのようなストリーで地上まで達するののかということに興味を持たれている⁶⁾。特に成層圏オゾン層付近での化学プロセスにはオゾンホールとのからみから非常に興味のもたれるところでもある。

従来ライダー観測は主に地上からの観測 (飛行機による観測例もあるが) が主流となっていた。しかしグローバルな観点から見ると十分な観測拠点があるとはいえない。各ライダーサイトにおいては鉛直方向に関して時間的空間的分解能に優れた観測データが得られている反面、水平方向に関してはほとんど未知に近い状態と言える。そこでスペースライダーによるグローバルスケールでの三次元的な観測が待ち望まれてる。しかし液体色素を用いた現在のライダーシステムの延長線上でスペースライダーを考えにくい。送信レーザの固体化、高効率化、低電力化、軽量化等の解決されなければならない技術的な問題が多数あると言える。国内のライダーグループでは1989年から約2年間にわたって宇宙科学研究所の W. G. の中で衛星搭載型ライダーについて検討を行ってきた。その後、科学研究費総合 A で現在まで検討を継続中である。これらについてはそれぞれ報告書が出されているのでそちらを参照していただきたい^{7,8)}。

今回は、1992年3月から12月にかけて University of Illinois at Urbana-Champaign の Gardner の研究室に客員として滞在している期間にスペースライダーによる Na 原子層観測について議論したことについて報告を行う。こ

での議論は Gardner らが1988年に提案を行った LISA(Lidar Investigation of the Structured Atmosphere)計画がベースとなっている。

2、観測計画の概要

LISA計画は、軌道高度200 kmの Scout-Class Explore Mission にライダーを搭載して Na 原子層を三次元的にとらえ、その緯度依存性を明らかにするとともに、大気波動の水平方向の構造も明らかにしようとするを目的としている。送信系には2台の Nd:YAG レーザを用い、1064 nm と 1319 nm でそれぞれ発振させ、非線形結晶を使って Mixing して 589 nm (50 mJ, 5 pps) の D₂ 共鳴線を得るものである。受信系にはアルミ製の直径50 cmの望遠鏡を用いる。総重量75 kg、電力70W、費用\$7.7 M としている。これらのシステムは、夜間側のみでの観測を想定したものである。

3、システム構成

スペースライダーのシステム構成とそのパラメータを Fig. 1 および Table 1 に、さらに電力、サイズおよび重量についての仕様を Table 2 に示す。システム構成としては従来の地上ライダーと同じ構成となっている。観測を夜間側に限

Table 1, Major system Parameters for LISA

Parameter Configuration B	Scout Class Explorer
Laser Transmitter	
Pulse Energy	50 mj
Pulse Rate	5 pps
Pulse Length	50 ns FWHM
Average Power (P _L)	0.25 w
Wavelength	589 nm
Linewidth	0.5 pm FWHM
Divergence	1 mrad FWHM
Receiving Subsystem	
Telescope Diameter	0.5 m
Telescope Area (A _R)	0.2 m ²
Telescope Field-of-View	3 mrad
Optical Bandwidth	1 nm
Range Resolution	150 m
System Efficiency	6%
System Performance Factor (P _L A _R)	0.4 m ² w
Horizontal Resolution	
(Manned Space Station)	
Na Layer Parameters	3 km
Gravity Waves & Tides	30 km
Horizontal Resolution	
(NASA Platform)	
Na Layer Parameters	15 km
Gravity Waves & Tides	150 km

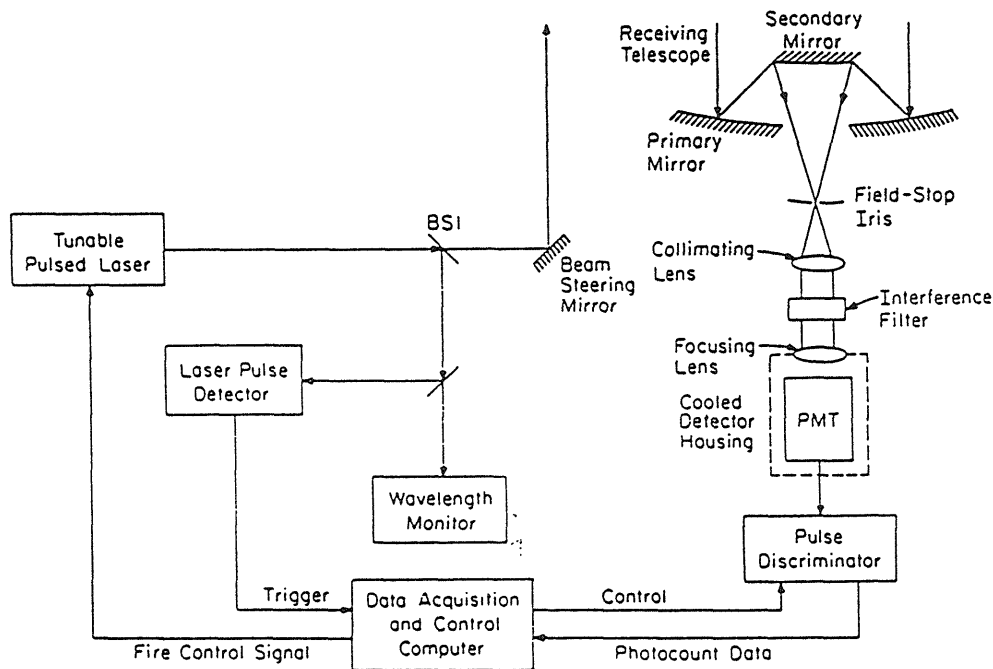


Fig. 1, Block diagram of LISA.

Table 2, Electric power, Size and Weight parameters for LISA

Total Power Required for Receiver & Data Acquisition Subsystems		40 w
Total Power Required for Complete Lidar System		65 w
Planned Operations		continuous during night
Laser Transmitter	Dimensions Weight	100 x 50 x 50 cm ³ 15 kg
Telescope	Dimensions Weight	0.5 m dia, 120 cm long (Configuration B) 30 kg
Electronics Subsystem	Dimensions Weight	50 x 50 x 50 cm ³ 20 kg
Total Lidar System Weight		65 kg

*Nighttime operation only

定しているのは、受光系システムをシンプルにすることと費用の問題からである。ここで提案されたシステムで、我々が最も関心を引くのは送信系システムにある。固体化した送信システムの構成図を Fig. 2 に、電源からレーザー出力までのエネルギー変換効率を Fig. 3 にブロック図として示す。国内で検討してきた段階では、送信系を固体化した場合、最も観測しやすい Na 原子（散乱断面積と密度の積が最大）の D₂ 線である 589 nm のレーザー光を得ることが最も難しいと言う結論であった。しかしここでは 2 台の Nd:YAG レーザを使ってこの問題を克服しているのである。1987 年に MIT の Jeys らにより開発された方式⁹⁾を使っている。Nd:YAG リングレーザーの共振器内に Birefringent filter と Etalon を入れて 1319 nm で発振させ、外側からもう一台の Nd:YAG レーザから 1064 nm のレーザー光を Inject して LiIO₃ 非線形結晶を用いて加算して 589 nm を得るものである。また 2 台の YAG レーザは、スラブ型の半導体レーザーを想定しており、1319 nm への変換効率は 10%、1064 nm へのそれは 20% としている。50 mJ、5 pps (0.25 W) の出力を得るためには、僅か 15 W の電源電力が要求されるのみである。観測は

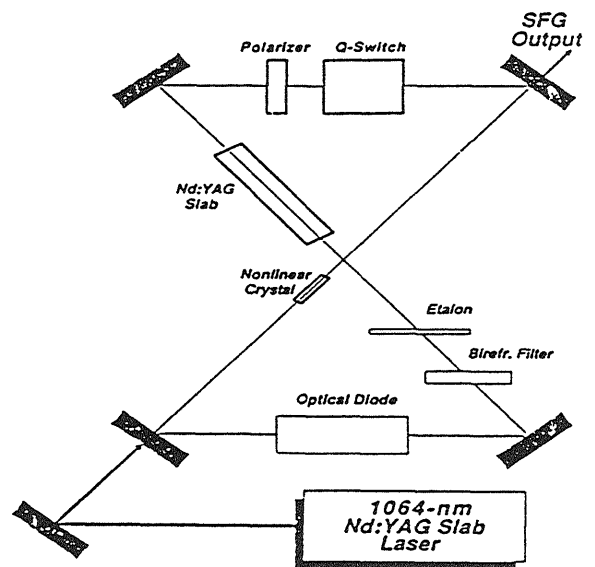


Fig. 2, Optical schematic of the LISA laser transmitter.

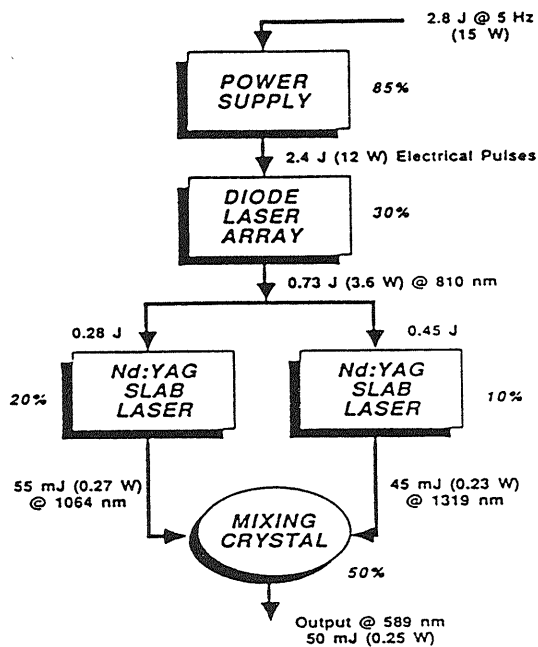


Fig. 3, Blockdiagram of the LISA laser transmitter.

少なくとも1年を考えているので、レーザ寿命として 10^8 pulses/year程度が要求されるが、半導体レーザの寿命が 10^9 pulses程度あるので十分と言える。

4. おわりに

ここでは Gardnerらが1988年に提案を行ったスペースライダーによる中間圏ナトリウム原子層観測についてのLASA計画について紹介を行った。特に我々にとって関心のある送信系について詳しく紹介した。

彼らの提案は残念ながら受理されなかったので、現在の段階では中間圏金属原子層のスペースからの観測については日本で実現の可能性があると見える。

参考文献

- 1) R. Bills et al. ; Narrowband lidar technique for sodium temperature and Doppler wind observations of the upper atmosphere, Opt. Eng., 30, 13-21 (1991)
- 2) B. R. Clemesha et al.; Evidence of an extraterrestrial source for the mesospheric sodium layer, Geophys. Res.

Lett., 5, 873-876 (1978)

- 3) U. von Zahn and R. Neuber ; Thermal structure of the high latitude meosopause region in winter, Beitr. Phys. atmos., 60, 294-304 (1987)
- 4) K. H. Hwon et al.; Lidar observations of sporadic sodium layers at Mauna Kea Observatory, Hawaii, J. Geophys. Res., 93, 14199-14208 (1988)
- 5) A. Nomura et al.; Lidar observations of the mesospheric sodium layer at Syowa Station, Antarctica, Geophys. Res. Lett., 14, 700-703 (1987)
- 6) J. M. C. Plane; The chemistry of meteoric metals in the Earth's upper atmosphere, Inter. Rev. Phys. chem., 10, 55-106 (1991)
- 7) 文部省宇宙科学研究所, 地球大気観測ワーキンググループ; 地球大気観測計画, (1991)
- 8) 福西 浩; 平成3年度文部省科学研究費, 総合研究(A)報告書 [地球大気環境高精度観測システムの研究], (1992)
- 9) T. H. Jeys et al.; Nd:YAG sum frequency generation of sodium resonance radiation, Proc. CLEO'87, p.130, Baltimore, MD, 29 April-1 May (1987)