

飛翔体搭載用Naライダー及び水蒸気ライダーの検討

Studies of Airborne Lidar for Measurements of Na and Water Vapor

長澤 親生*、阿保 真*、内野 修**

Chikao Nagasawa*, Makoto Abo* and Osamu Uchino**

東京都立大学 工学部*

気象研究所**

Tokyo Metropolitan Univ.*

Meteorological Research Institute**

Abstract: We propose to develop airborne lidar systems for measurements of mesospheric sodium and other metallic species and lower atmospheric water vapor. It is discussed about the water vapor lidar system consisting of a double pulsed Ti:sapphire laser with a diode laser injection seeder and wavelength monitoring system.

1. はじめに

1994年にはL I T E計画 (McCormick et al., 1993) としてライダーがスペースシャトルに搭載されることが現実化しつつある。L I T Eでは、その標的は成層圏エアロゾルや対流圏の巻雲などであるが、次世代のスペースライダーはより高度な技術を必要とするものになると予想される。我々は、航空機、スペースシャトル等に搭載するライダーとして中間圏Na層の測定とD I A L法による下層大気中の水蒸気の測定を兼用するライダーについて2、3の検討を行っており、その結果について述べる。

2. Naライダー用レーザの検討

Naの共鳴線である波長589nmのレーザ発振は地上観測の場合、この波長域に高い利得を持つ色素レーザが有力である。しかし、メンテナンスフリーが必要な宇宙空間からの観測の様な場合、レーザは全固体化されることが望ましい。Gardner et al. (1988) は、L I S A (Lidar Investigation of the Structured Atmosphere) 計画として中間圏の大気構造を探索するためにグローバルな中間圏Na層の観測を提案している。この送信部分はNd:YAGレーザの基本波 $1.06\mu\text{m}$ と $1.32\mu\text{m}$ を混合することによって589nmのNaD₂線の発振を得る方法を取っている。589nmの出力は100mJ (20 Hz) で電気エネルギーからの変換効率は1.75%と見積もっている。

波長589nmを全固体化したレーザで得るもう一つの有力な方法は、光パラメトリック発振 (O P O) を用いる方法である。最近市販されているO P Oは、スペクトル幅 0.02cm^{-1} で波長400nmから $2\mu\text{m}$ までカバーしている。これを参考に、半導体レーザ励起Nd:YAGレーザを基本に全固体化した場合の変換効率を見積もると、Fig. 1 のようになる。この場合の全エネルギー変換効率は0.3%であり、L I S Aの見積もりの約1/6である。

我々は次章で述べる水蒸気ライダーにおいて検討しているTi:サファイアレーザの893.5nmと、Nd:YAGレーザのT H Gの355nmの差周波を取ることによって、全固体化で589nmを得ることを考えた。Nd:YAGまでは上記O P Oの見積もりと同じもの考えるとFig. 2 の様な結果になる。589nmまでの全エネルギー変換効率は約1.2%になる。更にこのTi:サファイアレーザの基本波 (766nm) によって同じく中間圏に成層しているK (カリウム) 原子、Ti:サファイアレーザのS H G (372nm) によってFe (鉄) 原子、Ti:サファイアレーザのT H G (280nm) によってMg (マグネシウム) イオンの観測が可能である。

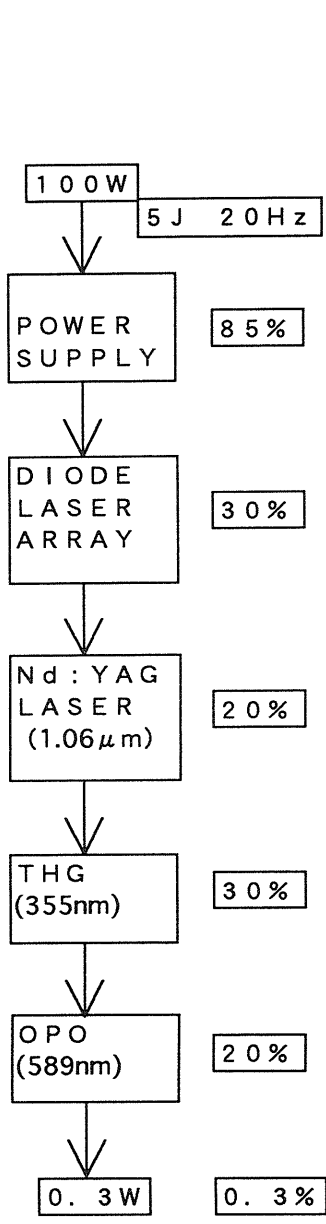


Fig.1 Conversion efficiency of OPO laser system.

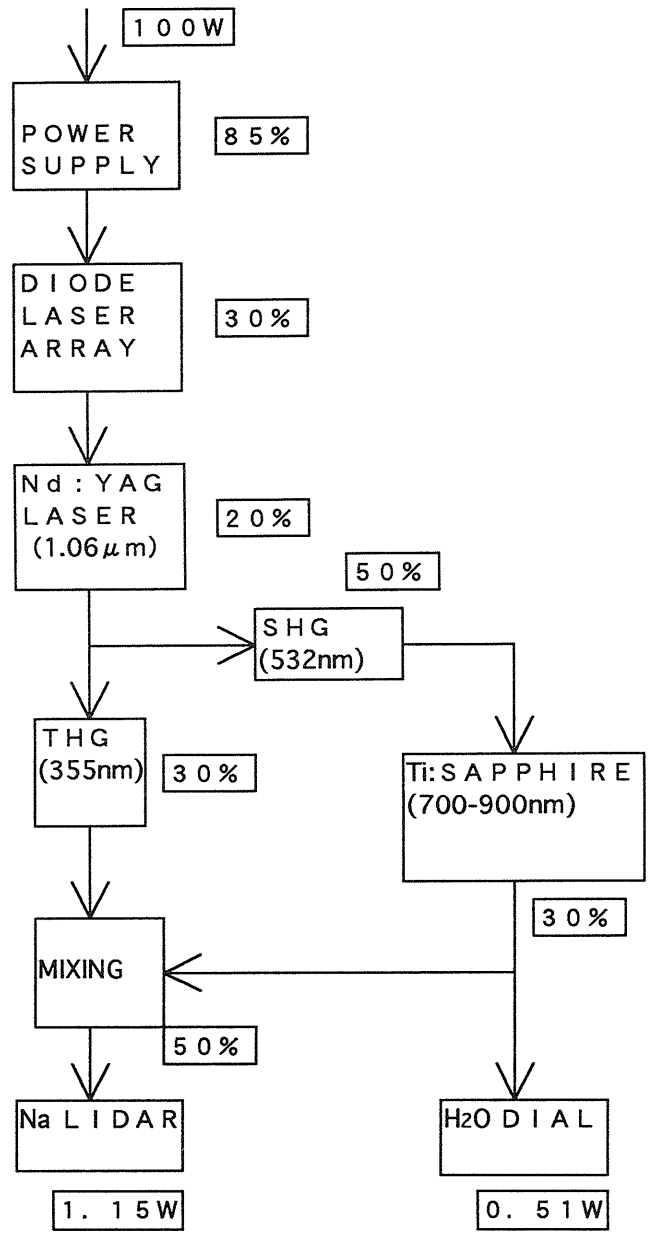


Fig.2 Conversion efficiency of Ti:sapphire laser system.

3. 水蒸気ライダー用レーザーの検討

水蒸気測定のためのライダーとして研究されているものには、ラマンライダーとDIALがある。飛翔体搭載ライダーとしてはDIALの方がより軽量化できる可能性があり、欧米を中心に精力的に研究されている。我々は第2章で述べたNd:YAGレーザーのSHGによって励起されるTi:サファイアレーザーを飛翔体搭載ライダー用レーザーの最有力候補と考えており、これを中心に検討を行っている（長澤他,1992）。飛翔体搭載水蒸気DIALの主要な課題は次の3点である。

(1) レーザ波長の狭帯域化とON、OFF 2波長の安定発振

波長700nmから800nmにかけて水蒸気は、くしの歯状の吸収線を持つ。この吸収線中の適当な1本の山と谷にレーザー波長を同調させてその吸収の程度を比較することによって水蒸気量が求まる（DIAL法）。この1本の吸収線の半値全幅は常温常圧で10pm程度であり、上空に行くにしたがって狭くなる。従って飛翔体から、成層圏、上部対流圏の水蒸気の測定を試みるためには、地上から地上付近の水蒸気分布を測定する場合に比べて、レーザー波長の狭帯域化と山（ON）、谷（OFF）2波長においてレーザーの安定発振が必要である。この波長領域において同調可能なTi:サファイアレーザーに単一モード半導体レーザーを injection seeding することによってレーザー波長の狭帯域化と安定発振を実現させることが可能である。

(2) 2波長の準同時送信ーダブルパルス化

DIAL測定の場合ON,OFF 2波長の送信レーザーが必要となる。しかしながら、全く別の2台のレーザーと2台の受信鏡を準備することは、飛翔体搭載ライダーの場合消費電力や荷重において大きな負担となる。衛星から送信した1パルスのライダーの受信信号は、大気密度分布によりせいぜい500 μ s程度応答するのみである。受信の信号処理システムもこの程度の時間には対応できるものと思われる。したがって、1msの時間間隔を置いた2つのパルスを送信・受信することは問題ない。最も高速に飛行する衛星の場合でも、速度は毎秒10km程度であり1msで10m程度の視野のずれが発生するが、通常受信鏡の視野は1mrad以上あり、地表付近で数100m以上になるため、10m程度のずれは無視できるものと考えられる。今後異なった2波長のレーザー光を、1msの時間ペアで交互に送信する技術の開発が必要である。

(3) レーザ波長のモニター技術

波長モニター技術としては、white cell や photo-acoustic spectroscopy (PAS) を用いる方法が提案されているが、装置が小型化できるという利点があるPASが飛翔体搭載ライダーの場合適当であると考えられる。PASについてはこのシンポジウムの君山他で詳報する。

4. 受信鏡

飛翔体搭載ライダーの場合、受信鏡の重量が問題である。地上で用いる通常の望遠鏡の主鏡の重量は、直径1mクラスで300kg以上である。最近我々が導入した受信鏡の主鏡は、ハニカム構造にすることにより重量が1/3に軽量化されている。我々の導入した直径60cmのHEXTEX鏡（清原光学製）の構造図をFig. 3に示す。

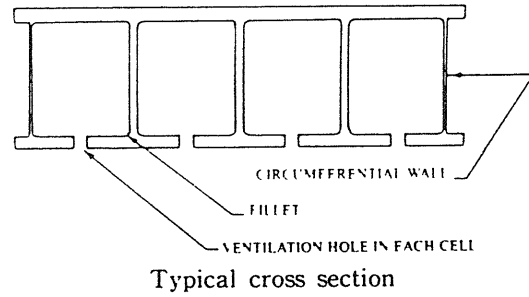
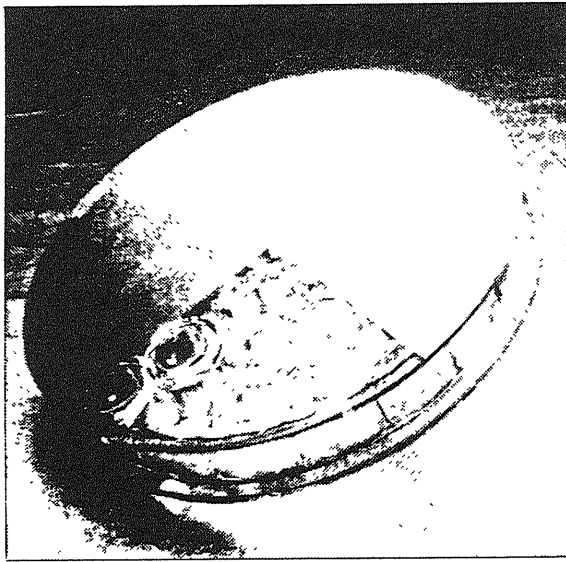


Fig.3 Lightweighted mirror.

参考文献

McCormick, M.P., et al., Bull. Amer. Meteor. Soc., 74, 205-214, 1993.

Gardner, C.S., et al., LISA : A SODIUM LIDAR INVESTIGATION OF WAVES AND DYNAMIC IN THE MIDDLE ATMOSPHERE., 1988.

長澤他、レーザー研究、20、488-494、1992.