

スペースライダー特性のシミュレーション評価*

— 雲, エアロゾル, Na 原子層観測を例として —

齊藤保典*¹・野村彰夫*²・鹿野哲生*³

要旨

人工衛星 (高度 800 km), 宇宙ステーション (460 km), スペースシャトル (300 km) 搭載スペースライダーに要求されるレーザー光源の特性について検討した。巻雲, 成層圏エアロゾル, 中間圏 Na 原子層を観測対象とし, 観測の信号対雑音比を10以上とするのに必要なレーザーエネルギー及び積算回数的高度依存性を, 受信望遠鏡の口径を1mとして計算した。日中における人工衛星からの雲観測では, スケールパラメータ (レーザーエネルギーと積算回数の積 [mJ×回]) として 10^4 程度, 成層圏エアロゾル観測では 10^5 程度, 中間圏 Na 原子層観測では 10^6 程度の値が要求された。夜間観測, 宇宙ステーションやスペースシャトルからの観測では, より小さな値で観測が可能であった。シミュレーション結果と現在あるいは将来において可能なレーザー技術とを比較することにより, スペースライダー実現の可能性を論じた。

1. はじめに

地球大気環境を広域に観測しようとする場合, 飛翔体を有効に利用することが重要で, これまでも様々な飛翔体を用いて地球大気観測が行われてきたが, これらの観測機器の多くは, 太陽や地球からの放射を検出するパッシブセンサーが主体であった。その有効性はこれまでに行われた多くの観測データにより実証されているが, 本報告では地球大気観測体制のさらなる発展という観点から, 次世代アクティブ衛星センサーとしてのライダー (レーザーライダー) システムを取り上げる。

ライダー観測の最大の特徴は, 鉛直方向の距離分解能に優れることであり, ライダーシステムを人工衛星, 宇宙ステーション, スペースシャトルなどに搭載することで, 全地球規模のエアロゾル, 大気密度, 雲などの鉛直分布情報の取得が可能になるものと考えられ

る。また, 夜間観測あるいはエアロゾルや雲観測においてバックグラウンドとの輝度温度差が小さい場合での観測などに特に有用である。将来の大気観測においては, このようなパッシブセンサーが不得意な部分をライダー観測で補いながら, 両者の情報を有機的に結合させて利用していくことが望ましい方向と思われる。

各国でスペースライダーの実現に向けた種々の計画が進行中であるが (例えば, 笹野・小林編, 1993), レーザー照射に対応した観測対象物からの後方散乱光を受信するミー (またはレーリー) 散乱方式が現時点では最も現実性がある。この方式は, 主に体積後方散乱係数などの計測を通して, 雲, エアロゾル, 大気密度などの観測に利用されている。ミー散乱方式スペースライダー計画の代表として, NASA の LITE (Lidar In-space Technology Experiment) (McCormic, 1993), ESA の ATLID (Atmospheric Lidar) (EOS BIP, 1988), 西ドイツの ALEXIS (Atmospheric Lidar EXperiment In Space) (ALEXIS, 1987) などがある。その他にも, 風速ベクトル測定用 LAWS (Laser Atmospheric Wind Sounder) (LAWS/LITE, 1992), オゾン (Uchino *et al.*, 1986) や水蒸気 (中島, 1992) 観測用 DIAL (Differential Absorption Lidar), 金属原子層観測用ライダー (宇宙科学研究所, 1991) の提案などがあるが, 実際にはミー散乱方式スペースライ

* Simulation of a space-borne lidar performance for cloud, aerosol and sodium layer observations.

¹ Yasunori Saito, 信州大学工学部.

² Akio Nomura, 信州大学工学部.

³ Tetsuo Kano, 信州大学工学部.

—1993年5月21日受領—

—1994年2月14日受理—

ダーの宇宙空間での基本的な動作実験終了後の次段階での計画となるであろう。

本報告では、現在最も完成度が高く実績のあるミー散乱方式を念頭において、上層雲、エアロゾルを観測対象としたシミュレーション結果に基づき、スペースライダーに要求される（特にライダー送信系）特性について検討した。さらに次段階での計画として、共鳴散乱方式の中間圏 Na 原子層観測用スペースライダーを取り上げ同様の検討を行った。

2. スペースライダー特性評価のためのシミュレーションモデル

2.1 エアロゾル及び（上層）雲モデル

エアロゾルは大気運動と物質循環を調査し理解する上でのトレーサーとしての役割、雲凝結核や大気化学反応媒体としての役割等、地球大気観測においては見逃すことの出来ない基本パラメーターの一つである。

雲は降雨・降雪などの直接的な水循環への関わりの他に、エネルギー放射・伝達に対しても重要な役割を果たしている。特に巻雲に代表される上層雲は、太陽からの短波放射を透過させ、地表面からの長波放射を吸収するという特異的な光学特性を有するため (Stephens, 1978)、地球温暖化に対し直接的な影響を及ぼすことが知られている。また二酸化炭素量増減による地表平均気温増減のシミュレーション結果は、大循環モデルの違いによって大きな地域差が生じることを報告しているが、その原因の一つとして、雲に関連したフィードバック効果のモデルによる違いが指摘されており (U. S. Department of Energy Report, 1985)、このような点からも（上層）雲観測の重要性が理解される。スペースライダー観測では、パッシブ観測では困難な雲の立体構造やオーバーラップ構造の観測等を通じて、これらの現象理解に対して有用な情報を提供するものと考えられる。

大気中へのパルスレーザ照射に対応して得られる高度 Z からの受信光電子数 n は (1) 式のライダー方程式によって与えられる。

$$n = N n_0 \frac{\eta K A Y T(H, Z) \{ \beta_a(Z) + \beta_m(Z) \} \Delta Z}{(Z-H)^2} \quad (1)$$

- n : 受信光電子数
- N : 積算回数
- n_0 : 送信光子数
- η : 光電子増倍管の量子効率
- K : 送受信系の光学効率

- A : 受信望遠鏡の開口面積
- Y : 視野重なり (= 1)
- $T(H, Z)$: 大気透過率
- $\beta_m(Z)$: 大気分子の体積後方散乱係数
- $\beta_a(Z)$: エアロゾルの体積後方散乱係数
- ΔZ : 高度分解能
- H : ライダーシステムの高度

この他に背景光雑音と同時に受信されるが、その大きさは、太陽からの放射エネルギー (Thekaekara, 1974)、雲や地表のアルベド、受信システムの仕様を用いて (2) 式で評価した。

$$n_b = N P_b \frac{F_v^2 \pi \nabla F \eta K A^2 \Delta Z \lambda}{4 c h c} \quad (2)$$

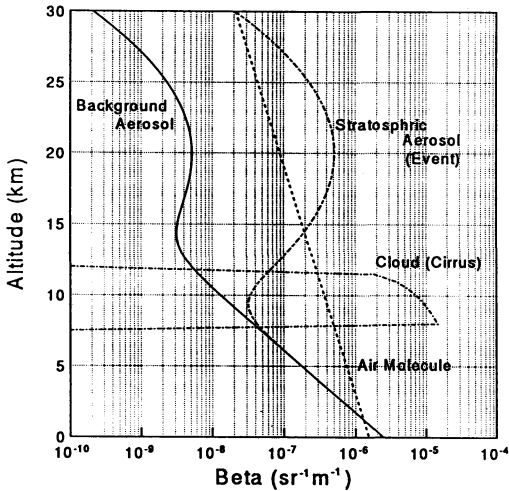
- n_b : 背景光雑音光電子数
- P_b : 雲または地表からの反射光
 $= A \frac{I^0}{\pi}$
- A : 雲または地表のアルベド
- I^0 : 太陽からの放射エネルギー
- F_v : 受信望遠鏡の視野角 (radian)
- ∇F : 干渉フィルターのスペクトル幅
- c : 光速
- h : プランク定数

ここで $F_v^2 \pi / 4$ は望遠鏡視野に入る地表面の面積、 $2 \Delta z / c$ は観測時間ゲート幅、 hc / λ は光子 1 個のエネルギーに対応するものである。

観測の精度を表す信号対雑音比は、信号強度に対する信号及び雑音の重畳した検出系における標準偏差値の比とすることで (3) 式で与えた。

$$S/N = \frac{n_a}{\{n_a + 2(n_m + n_b)\}^{1/2}} \quad (3)$$

n_a, n_m, n_b はそれぞれ雲またはエアロゾルからの受信光電子数、大気分子からの受信光電子数、背景光雑音による受信光電子数であり、具体的には、雲やエアロゾル、大気分子の体積後方散乱係数の大きさに依存する量である。本シミュレーションでは（上層）雲とエアロゾル観測を想定したため、雲やエアロゾルからの散乱光のみを信号成分、大気分子からの散乱光は雑音として取り扱った。従って (3) 式は、エアロゾルや雲の体積後方散乱係数を求める際の信号対雑音比を表している。これに対して、散乱比を求めようとするような場合には、大気分子からの受信信号が意味を持つため、その場合には異なった定義式で信号対雑音比が与えられる。なお分母の係数 2 は、全散乱受信信号か



第1図 スペースライダーシミュレーションに用いた大気モデル.

ら雲またはエアロゾルによるもののみを求める際に、大気分子および背景光雑音によるものを減算する過程で生じるものである。

大気分子とエアロゾルの体積後分散乱係数は、米国標準大気 (U. S. Standard of the Atmosphere, 1976) と NASA の EOS Report (LASA, 1987) に示されたバックグラウンドエアロゾルにより近似式を導出して用いた。火山噴火等の成層圏イベント時における観測の重要性も考慮し、成層圏エアロゾルエンハンスメント時の体積後分散乱係数として、バックグラウンドエアロゾルの100倍の値を与えて使用した。

上層雲の代表として 8~12 km の高度に厚さ 4 km のアルベド40% (Campbell, 1980) の巻雲を想定した。その体積後分散乱係数は次のようにして求めた。まず、雲最上部から下層部 500 m (スペースライダーの鉛直方向距離分解能を 500 m と想定) までの消散係数を基準値として未知数と与え、この値が雲下層部にかけて単純増加すると仮定して、500 m 毎の各層での透過率を (4) 式のように表す。雲下層部になるほど消散係数の値を大きくしたのは、下層部ほど水滴や氷晶の粒子が大きくまた密度も濃く (Heymsfield *et al.*, 1990; Smith *et al.*, 1990), 上層部と比較して減衰が大きくなると予想されたためである。次に雲全体 (この場合 4 km, n=8) の透過率を (5) 式のように各層の透過率の積として与え、この値が0.6 (=1-アルベド) となるように消散係数 α および α_n を求めた。雲の体積後分散乱係数は、消散係数と体積後分散乱係数

の比を20と仮定して求めた。

$$T_n = \exp(-500 \alpha_n) = \exp \{-500(n\alpha)\} \quad (4)$$

T_n : 距離 500 m 毎の n 番目の層の透過率
 α_n : n 番目の層の消散係数
 α : 雲最上部から距離 500 m までの消散係数

$$T_c = T_1 \times T_2 \times \dots \times T_8 \quad (5)$$

T_c : 雲全体の透過率

このようにして得られた値は、Imasu and Iwasaka (1991) により報告されたものと良い一致をみたが、実際の雲の種類は千差万別であり、本モデルは一つのケーススタディとして捕えられるべきものであろう。

シミュレーションに使用した大気モデルと巻雲モデルによる体積後分散乱係数の高度依存性を第1図に示す。

2.2 中間圏 Na 原子層モデル

中間圏と熱圏の境界付近の高度約 70-100 km 付近の領域には、Na, K や Fe 等の金属元素が約 20 km の厚さで原子状で比較的安定な層を形成している。これらの金属原子層の観測により、金属元素をトレーサーとしてその変動を把握することにより、観測手段の乏しい超高層領域の大気物理学に対して、極めて有効な情報 (熱圏と中間圏相互作用、重力波等による下層大気との相互作用、中間圏界面温度および風プロファイル等) を得ることが出来る。特にスペースライダーでは、固定局では不可能な緯度方向に関する密度分布に関する情報が得られる。また地上からのライダー観測では対流圏の気象条件に大きく左右されるため、天候に左右されないスペースライダーによる金属原子層観測に対する要請は非常に大きいものがある。

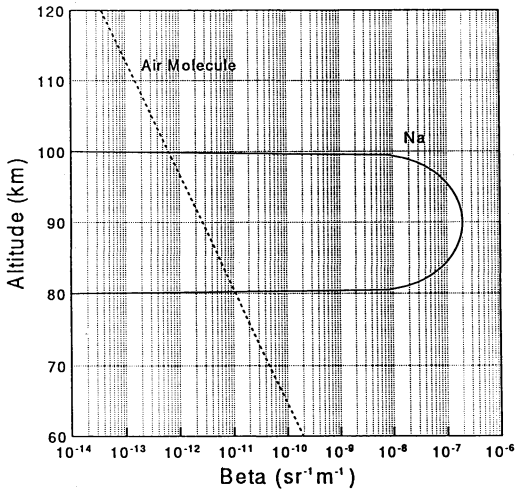
Na 原子層観測では Na 原子からの共鳴散乱光を受光することにより、その密度を求める。ライダー方程式は (1) 式に Na 原子の体積後方 (共鳴) 散乱係数 $\beta_n(Z)$ を加えたものとなる。 $\beta_n(Z)$ は Na 原子数密度 $N_n [m^{-3}]$ と共鳴微分散乱断面積 $d\sigma/d\Omega (=2.0 \times 10^{-17} m^2/sr, \text{波長 } 589.0 \text{ nm})$ の積で、また Na 原子数密度は藤森の観測結果 (1992) に基づいて (6) 式で与えた。

$$N_n(Z) = 1.2 \times 10^{10} \times \exp \{-(Z-90 \times 10^3)^2 / (2 \times (30^{1/2} \times 10^3)^2)\} - 0.2 \times 10^{10} \quad (6)$$

120 km より上空の大気分子数密度は 0 とした。さらに高度 50 km 以上を対象としたため、エアロゾルによる

ミー散乱は無視した。その他の大気モデル, 背景光雑音, 信号対雑音比は2.1と同様に考えた。

第2図にシミュレーションに用いた Na 原子の体積後方散乱係数の高度依存性を示す。



第2図 スペースライダーシミュレーションに用いた中間圏 Na 原子層モデル。

ラメータ (レーザー光源以外の) と観測条件を第1表に示す。人工衛星は高度 800 km, 宇宙ステーションは 460 km, スペースシャトルは 300 km から下方にレーザー光を照射し観測を行う。レーザー光源には現時点で最も信頼性が高い YAG レーザーを想定し, 光検出器である光電子増倍管の波長感度を考慮して, 第2高調波 (532 nm) を用いることとした。

スペースライダーの開発において, レーザー送信光源はライダーシステムの中で最も重要な部分であり, スペースライダー実現の鍵はレーザー光源の開発に負うところが非常に大きい。そのためシミュレーションにおいては, 体積後方散乱係数を求める際の信号対雑音比を10以上 (観測可能な条件と定義, 誤差10%) とするために必要なレーザーエネルギーと積算回数求めた。結果を第3図に示す。日中の雲観測の場合には, スケールパラメータ (レーザーパルスエネルギーと積算回数の積 [mJ]×回) と定義) の値が 10⁴ 以下程度でどの飛翔体からも観測が可能である。日中のエアロゾル観測 (成層圏イベント時) に関しては 10⁵ 程度で, 人工衛星からは 25 km から 16 km, 宇宙ステーションからは 28 km から 13 km 及び 4 km 以下, スペースシャトルからは 10 km から 30 km 及び 5 km 以下のそれぞれの領域で観測が可能である。

夜間観測においては背景光が0であるため, 日中観測と比べて, スケールパラメータが低い値 (低エネルギーかつ少ない積算パルス数) でも広い領域を観測す

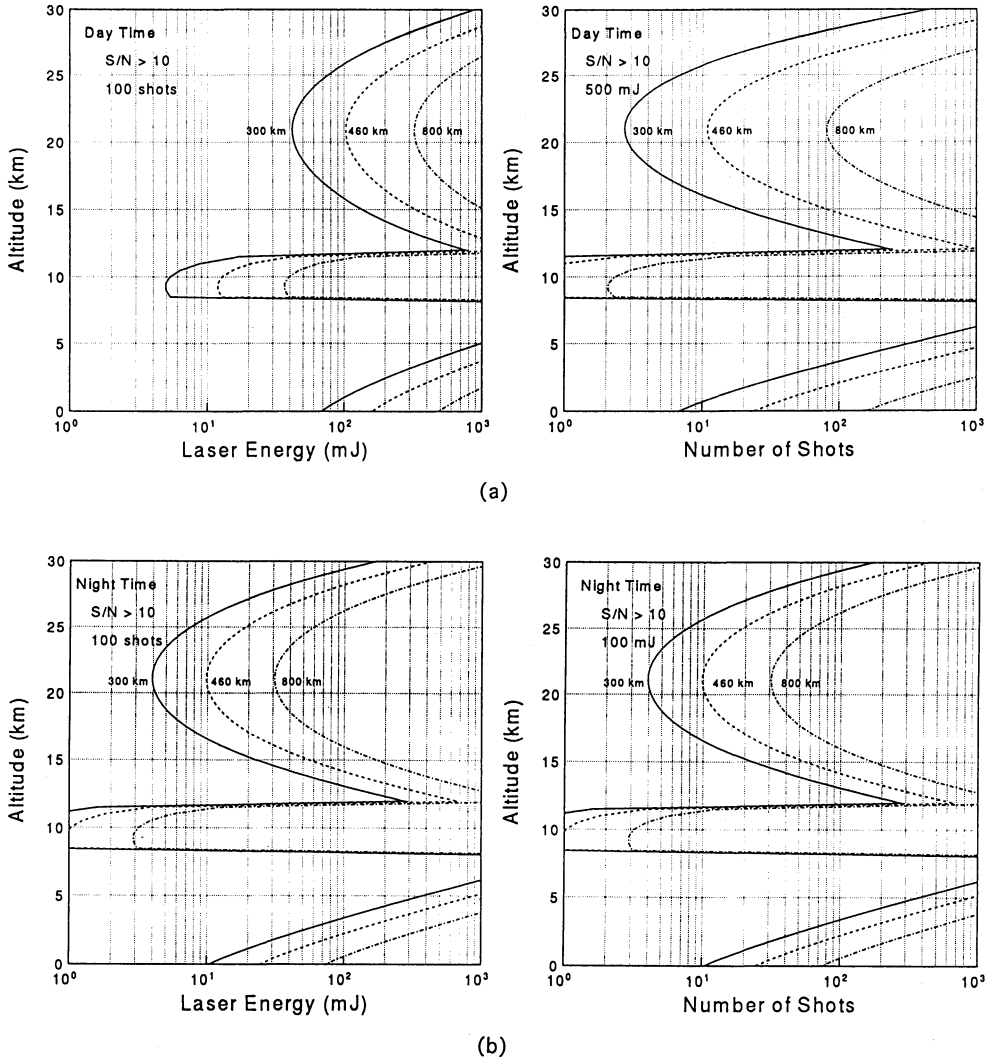
3. シミュレーション結果と検討

3.1 エアロゾル及び (上層) 雲観測

エアロゾル及び雲観測用スペースライダーの性能パ

第1表 エアロゾル (成層圏イベント時) 及び巻雲観測用スペースライダーの仕様と観測条件。

レーザー送信系			
波長	532 nm (Nd:YAG 第2高調波)		
パルスエネルギー	可変		
受信系			
受信望遠鏡口径	1.0 m		
受信視野角	0.1 mradian		
干渉フィルター幅	0.1 nm (日中観測) 1.0 nm (夜間観測)		
光学系効率	15% (日中観測) 30% (夜間観測)		
光電子増倍管量子効率	20%		
観測条件			
観測対象物	巻雲 (8~12 km, アルベド40%) 成層圏エアロゾル (イベント時)		
背景光雑音	1.842 W/m ² /nm		
積算回数	可変		
高度分解能	500 m		
飛翔体	人工衛星	宇宙ステーション	スペースシャトル
高度	800 km	460 km	300 km



第3図 スペースライダーによるエアロゾル（成層圏イベント時）及び巻雲観測のシミュレーション結果；(a) 日中観測結果, (b) 夜間観測結果。

ることが出来る。例えば雲に関しては、100 mJ のエネルギーであればどの飛翔体からも1-3パルスのみで観測が可能であり、これは衛星速度を 7 km/s、レーザー繰り返し周波数を 10 Hz としても 3 パルスで約 2 km の緯度方向距離分解能が得られることになる。数パルス毎にレーザーを掃引して雲の3次元構造情報を収集したり、鉛直方向距離分解能 10 m 程度の詳細な雲内部構造の観測なども可能になるとと思われる。夜間のエアロゾル観測については、飛翔体により観測可能領域は多少異なるが 10⁴ 程度であれば、25 km 以上から 15 km 前後及び数 km から地表までの領域での観測が可

能である。これらの観測により、雲頂高度や内部多層構造、光学的厚さ、後方散乱係数、消散係数等の情報が得られ、放射・熱収支等の気候システムにおけるエアロゾルや雲の役割などがより明確になるものと期待される。

シミュレーションで想定した Nd:YAG レーザーは、現在のところフラッシュランプ励起のものが主流であるが、半導体レーザー励起のもので 2.5×10⁴ [mJ・回/秒] 程度 (パルスエネルギー 500 mJ, 繰り返し 50 pps, 平均出力 25W) はすでに市販品として入手可能であり、1 から10秒の積算で雲やエア

第2表 中間圏 Na 層観測用スペースライダーの仕様と観測条件.

レーザー送信系			
波長	589 nm (Nd:YAG 和周波 (1.064 μ m+1.319 μ m), OPO 等)		
パルスエネルギー	可変		
受信系			
受信望遠鏡口径	1.0 m		
受信視野角	0.1 mradian		
干渉フィルター幅	0.1 nm (日中観測) 1.0 nm (夜間観測)		
光学系効率	15% (日中観測) 30% (夜間観測)		
光電子増倍管量子効率	20%		
観測条件			
観測対象物	Na 原子層 (80~100 km)		
背景光雑音	1.7 W/m ² /nm		
積算回数	可変		
高度分解能	500 m		
飛翔体	人工衛星	宇宙ステーション	スペースシャトル
高度	800 km	460 km	300 km

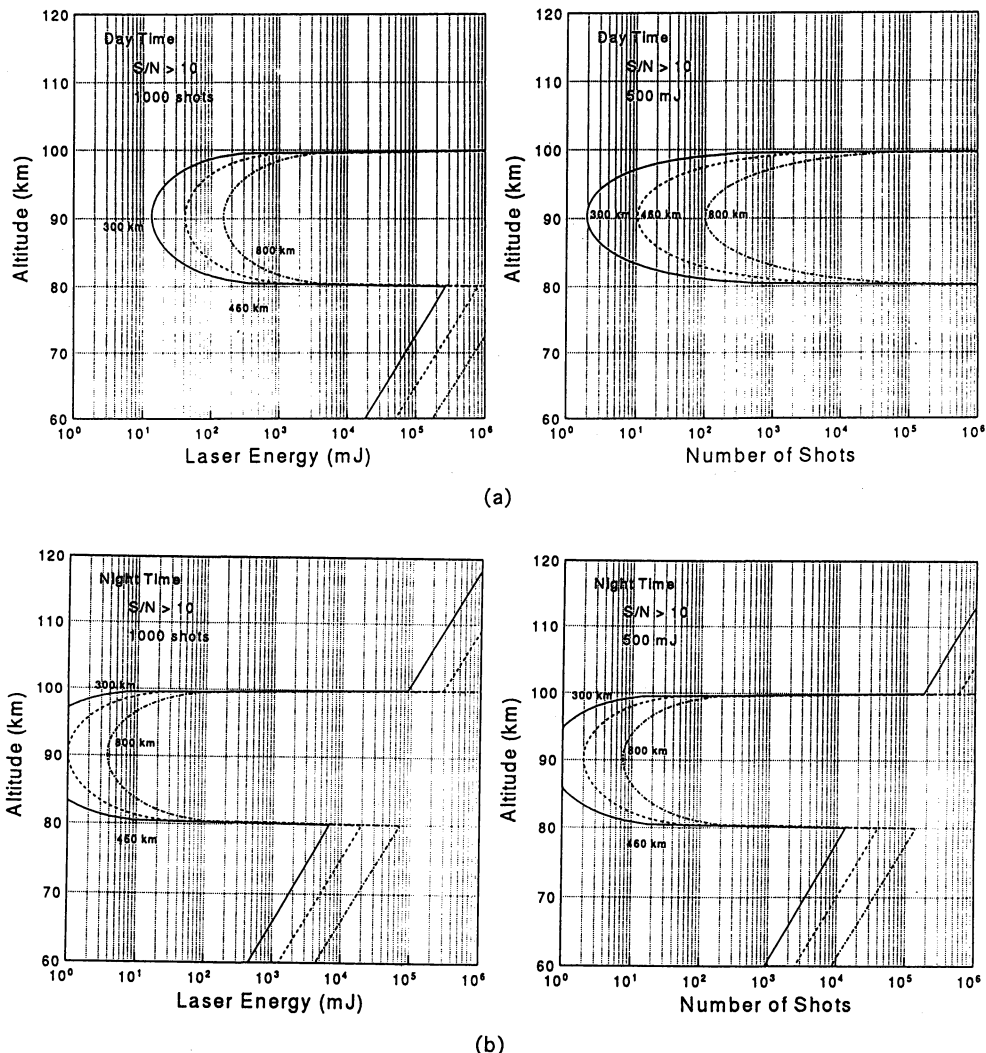
ロゾルの観測を行うことが出来、雲やエアロゾル観測用スペースライダー用レーザー光源としての基礎技術は確立していると考えて良いであろう。また半導体レーザー励起固体レーザーは近年顕に開発が著しく、今後さらに小型・高性能化が期待されるため、雲およびエアロゾル観測用スペースライダーの可能性は非常に高い。

3.2 中間圏 Na 原子層観測

Na 原子観測用スペースライダーの性能パラメータと観測条件を第2表に示す。レーザー光源として、Na 原子の共鳴散乱波長 (589.0 nm) に同調可能なレーザー光源を想定した。

エアロゾルや雲の場合と同様に、Na 原子密度を求める際の信号対雑音比が10以上となる高度領域を求めた。シミュレーション結果を第4図に示す。日中観測においては、衛星からの観測の場合、スケールパラメータとして 10^6 程度の値が必要である。より低高度のスペースシャトルからの観測では衛星の場合よりも1桁程度小さい値で観測を行うことができる。雲やエアロゾルと比較して条件が厳しくなっているが、これは Na 原子数密度 (体積後方散乱係数) が小さいためである。夜間観測においては、日中観測と比較して1桁以上小さな値で観測を行うことができる。また3.1の結果より Na 原子層観測が可能な条件ではエアロゾル観測も可能であるため、エアロゾルや雲と Na 原子層の同時観測を行うことも出来る。

Na 原子層観測用レーザー光源としては、通常色素レーザーが使用されてきたが、スペースライダーでは信頼性や保守の点から固体レーザーが必須の条件である。可能性としては、YAG レーザーの和周波 (1.06 μ m + 1.319 μ m) (Jeys *et al.*, 1989), Ti : Sapphire (893.5 nm) と YAG レーザー (第3高調波, 355 nm) の差周波 (長澤ら, 1993), Cr : Forsterite (Petricevic *et al.*, 1989) や LiF カラーセンターレーザーの第2高調波, OPO (Optical Parametric Oscillator) などが考えられる。この中でも特に YAG レーザーの和周波を用いる方法で、Jeys (1993) は 600 mJ \times 10pps と 24 mJ \times 840 Hz, Jelonek ら (1992) は 14 mJ \times 840 Hz の特性を有する 589 nm 用固体レーザーを開発し、Na 原子層共鳴散乱光発生による人工的な星 (Artificial Guidestar) の観測に成功している。これは、天体観測の際に問題となる大気揺動による画像歪を補償するために、Na 原子層のレーザー共鳴散乱光を人工光源 (星) として利用しようとするものである。これらはいずれも地上ベースでの観測用に開発されたものであるが、Na 原子層観測用スペースライダー用レーザー光源として今後の開発が期待される。Gardner ら (1988) もほぼ同様の構成で、50 mJ \times 5pps のシステムによる計画を報告している。また、非線形結晶 BBO (Beta Barium Borate) を用いた OPO でも 589 nm で 300 mJ 程度のエネルギーを得ることが出来るため、今後の開発が注目される所である。



第4図 スペースライダーによる中間圏 Na 層観測のシミュレーション結果；(a) 日中観測結果, (b) 夜間観測結果.

高度 800 km の衛星からの日中観測においてはさらに 1 桁大きなスケールパラメータ値が要求されるため、現時点でのレーザー技術あるいは極く近い将来の技術を想定すれば、夜間観測が主体になるものと思われる。あるいはより低空 (200 km) を航行する Scout クラス衛星 (Gardner, 1988) を利用すれば、スケールパラメータ値は日中観測においても 5×10^3 以下となり、水平距離分解能も数 10 km 程度が得られることになる。

Na 原子層の定常的なライダー観測は、世界的にも数か所 (長野, 東京, アメリカ, フランスおよびブラ

ジル) の固定局でしか行われておらず、その水平方向の広がりに関する情報は皆無である。仮りに夜間観測に限定されたりあるいは水平距離分解能が 100 km 程度であっても、スペースライダーによる Na 原子層の三次元観測により重力波や潮汐波などを検出することで、他に観測手段の乏しい中間圏における大気力学的過程や惑星規模のエネルギー循環に関しての重要な情報が得られるものと期待される。

4. おわりに

スペースライダーに要求される(主として)レーザー

光源について, 人工衛星, 宇宙ステーション, スペースシャトルを対象としたシミュレーション結果に基づいて考察した. その結果, 飛翔体の高度や観測時間帯により観測可能領域に差が生じるものの, 巻雲および成層圏エアロゾル (イベント時) については, 現時点のレーザー技術においても, 十分な観測システムの構築が可能であることが示された. また, Na 原子層観測においては, レーザー光源に対してある程度の開発事項が必要と思われるが, 夜間観測や低高度飛翔体への搭載などにより観測可能であることが示された.

地上の実験で達成されているレーザー光源の性能よりスペースライダーの可能性を議論してきたが, 宇宙空間での使用のためには, 電源容量や重量, 打ち上げ時の耐振動性, 宇宙空間での耐環境性などの種々の開発要素が残されている. これら諸問題の解決のためには, 基本的には半導体レーザー励起全固体化レーザーの開発 (光産業技術振興協会, 1992) がぜひとも必要であるが, 最近のこの方面の研究開発には目ざましいものがあり, 上記開発要素は現在の技術レベルから推定すると非常に近い将来において解決されるものと思われる.

このような開発と並行して, 航空機搭載ライダーシステムなどで実験データを蓄積しながら, 具体的な開発および設計・製作を進めていくための体制作りが強く望まれる.

参考文献

- ALEXIS Phase A Study, 1987: Inst. Atmos. Phys. DFVLR.
- Campbell, I. M. (山元福山訳), 1980: エネルギーと大気 (物理学, 化学によるアプローチ), 共立出版, 29.
- Earth Observing System (EOS) Background Information Package (BIP) Announcement of Opportunity No. OSSA-1-88, Part Five, 1988: Research facility and operational facility instrument descriptions.
- Gardner, C. S., J. L. Bufton, D. K. Killinger, D. C. Fritts, and P. F. Moulton, 1988: LISA: A sodium lidar investigation of waves and dynamics of the upper atmosphere, Volume 1. investigation plan, technical plan & data plan.
- Heysfield, A. J., K. M. Miller and J. D. Spinhirne, 1990: The 27-28 October 1986 FIRE IFO cirrus case study: cloud microstructure, Mon. Wea. Rev., **118**, 2313-2328.
- 光産業技術振興協会, 1992: 衛星搭載ライダー用レーザー, 光技術応用プロジェクトの開発報告書.
- 藤森幸光, 1992: 中間圏ナトリウム原子層のライダー観測, 信州大学工学部修士論文.
- Ryoich, I. and Y. Iwasaka, 1991: Characteristics of cirrus clouds observed by laser radar (lidar) during the spring of 1987 and the winter of 1987/88, J. Meteor. Soc. of Japan, **69**, 401-411.
- Jelonek, M. P., R. Q. Fugate, W. J. Lange, A. C. Slavin, R. E. Ruane, R. A. Cleis, 1992: Characterization of artificial guidestars generated in the mesospheric sodium layer, 16th International Laser Radar Conference (Cambridge, MA), paper G2.
- Jeys, T. H., 1992: Development of mesospheric sodium laser beacon for atmospheric adaptive optics, 16th International Laser Radar Conference (Cambridge, MA), paper G1.
- Jeys, T. H., A. A. Brailove, and A. Mooradian, 1989: Sum frequency generation of sodium resonance radiation, Appl. Opt., **28**, 2588-2591.
- LASA, 1987: Lidar Atmospheric Sounder and Altimeter, Earth Observing System Vol. IId, Instrumental Panel Report, (NASA, Washington, D. C.).
- LAWS/LITE, 1992: 16th International Laser Radar Conference (Cambridge, MA), Session E.
- McCormic, M. P., D. M. Winker, E. V. Browell, J. A. Coakley, C. S. Gardner, R. M. Hoff, G. S. Kent, S. H. Melfi, R. T. Menzies, C. M. R. Platt, D. A. Randall, and J. A. Reagan, 1993: Scientific investigations planned for the lidar in-space technology experiment (LITE), Bulletin of the American Meteorological Society, **74**, 205-214.
- 長澤親生・阿保真・内野修, 1992: 飛翔体搭載用 Na ライダー及び水蒸気ライダーの検討, 第16回レーザーセンシングシンポジウム, P-7.
- 中島正勝, 1992: 衛星搭載用レーザー・レーダの設計検討について, 第16回レーザーセンシングシンポジウム, H-5.
- Petricevic, V., S. K. Gayen, and R. R. Alfano, 1989: Chromium-activated forsterite laser, OSA Proceedings on Tunable Solid State Lasers (North Falmouth, May), **5**, 77-84.
- 笹野泰弘・小林喬郎編, 1993: 衛星搭載レーザーライダーによる地球規模大気環境の評価に関する調査業務報告書, 環境庁国立環境研究所報告書(2)F-50-'93/NIES.
- Smith Jr., W. L., P. F. Hein and S. K. Cox, 1990: The 27-28 October 1986 FIRE IFO cirrus case study: in situ observations of radiation and dynamic properties of a cirrus cloud layer, Mon. Wea. Rev., **118**, 2389-2401.

Stephens, G. L., 1978 : Radiation profiles in extended water clouds II : Parameterization, J. Atmos. Sci., 35, 2123-2132.

Thekaekara, M. P., 1974 : Extraterrestrial solar spectrum, 3000-5100 Å at 1 Å intervals, Appl. Opt., 13, 518-522.

Uchino, O., M. P. McCormik, T. J. Swisler, and L. R. McMaster, 1986 : Error analysis of DIAL measurement of ozone by a shuttle excimer lidar, Appl. Opt., 25, 3946-3951.

宇宙科学研究所・地球大気観測ワーキンググループ, 1991 : 地球大気観測計画, 文部省宇宙科学研究所.

U. S. Department of Energy Report DOE/ER 02037, 1985 : Projecting the climate effects of increasing carbon dioxide. Eds., M. C. Luther.

U. S. Standard of the Atmosphere, 1976 : U. S. Government Printing Office.

“ヤマセ” シンポジウムのお知らせ

シンポジウムの主旨 : 1993年に発生したヤマセは、北日本の米作に壊滅的な打撃を与えました。本シンポジウムの目的は、この歴史的なヤマセを対象とした様々な分野における研究成果を一同に集めて、ヤマセについての総合的な議論を行うことです。「'93年ヤマセ」を調べるにあたって、過去の事例との比較を行ったり、モデルによる研究を行うことは重要です。副題にある“その周辺”は、それらを意識したものです。シンポジウムでは、「'93年ヤマセ」の研究に加えて、ヤマセに関する様々な視点からの論文発表を歓迎します。従来の学会の枠に捕らわれず、ヤマセ現象の機構の解明と対策を目指す自然科学・工学、人間や社会との関連を追求する人文・社会科学分野などから、広く講演を募ります。

招待講演者として、新田 勅（東京大学気候システムセンター教授）、大川 隆（元旭川地方気象台長）、昆 幸男（元盛岡地方気象台長）、渋谷長生（弘前大学農学部助教授）の4氏を予定しています。

シンポジウム日時、**会場** : 平成6年8月21日(日)~23日(火)、岩手県久慈市 久慈グランドホテル

一般講演会 : また、合わせて一般市民を対象とした講演会「“ヤマセ”と東北」を、同じ会場で開催します。日時は、平成6年8月21日(日) 13:00-16:00です。講演者として、和田英夫(元函館海洋気象台長)、工藤敏雄(岩手大学農学部非常勤講師)、卜蔵建治(弘前大学農学部教授)、川村 宏(東北大学大気海洋センター教授)の4氏を予定しています。

参加・講演申し込みの締め切りは、6月24日です。参加を申し込まれた方には、7月はじめに、シンポジウムの詳細をご連絡いたします。講演を申し込まれた方には、7月はじめに様式をお送りしますので、それに従って1枚の講演要旨を提出していただきます。講演要旨の締め切りは、7月22日の予定です。

主催 : 久慈市 他

後援 : 日本気象学会 他

お問い合わせ先 :

〒032 久慈市川崎町1-1

久慈市企画部企画調整課

TEL : 0194-52-2111 (内線242)

FAX : 0196-52-3653

(東北大理 川村 宏)