

Abstract : We are planning to develop the spaceborne lidar for measuring global temperature distributions. There are many methods to measure atmospheric temperature by ground-based lidars. We chose the ultraviolet high spectral resolution lidar using atomic vapor filter for temperature measurement from space. Simulation shows 1K accuracy from 1km to 30km altitude, and 2K accuracy to 40km for ultraviolet space-based temperature profile with a 1 km vertical resolution and a 300km horizontal resolution. For this purpose, we will develop atomic vapor blocking filters and a compact tunable solid state ultraviolet laser.

## 1. はじめに

大気気温分布は、気象学的、気候学的に重要なファクターである。特に成層圏の研究は、温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化や気候変動などの人類が取り組まなければならない地球大気環境問題において、世界的な研究プロジェクトであるSPARC ( Stratospheric Processes And their Role in Climate : 成層圏過程とその気候に及ぼす役割) プログラムが推進されているように重要となっている。対流圏の観測手段は気球や航空機観測によって、また中間圏の観測はUARSなどの観測によりデータの蓄積が行われてきたが、成層圏温度分布の系統的な地球観測は、現在は主に陸地上空の高層ゾンデ観測に頼るのみである。地球温暖化やオゾン層破壊などの地球環境問題を理解するためには、一つのシステムとしての地球を考えていく必要がある。成層圏の温度の高度分布の変化や時間的な変化の地球観測を精密に測定する事が可能となれば、気候変動問題やオゾン層破壊などの地球環境問題に対し非常に有効な手段となる。一方、対流圏の温度分布測定も、気象予報などへ直接有効な情報となる。

人工衛星や宇宙ステーションなどを用いた宇宙からの地球大気観測は、一つのセンサーで地球観測を行うことができ、地球観測に均質なデータを取得する事が出来る特徴がある。成層圏は基本的に雲の影響が少なく、ライダーによる観測では定常的観測が期待できる。ライダーでは、能動的な観測を行うことで極めて高い高度分解能と水平分解能を得ることができるため、従来に無い精度の高い観測データの取得が期待でき、大気循環モデルや気候モデルなどの検証にも役に立ち、将来の気候変化予測に対しても有用であると考えられる。

従来、地上からのライダーを用いた対流圏や成層圏の気温分布測定の試みは国内外で行われてきたが、いずれも高出力なレーザーや大型の望遠鏡が必要であり、そのままではレーザー光の安全性も含めて、宇宙からの測定には応用できない。本研究では、人工衛星や宇宙ステーションに搭載し、地球観測から対流圏にかけての温度分布観測が可能になるライダーの開発に向け、送信部の波長可変固体紫外線レーザー及び受信フィルタ等の要素技術の基礎研究を行う。ここでは、その研究計画の概要と簡単なシミュレーション結果について報告する。

## 2. 地上からのライダーによる温度測定法

地上からのライダーによる対流圏から成層圏の大気温度の測定で、最も実用化されているのはレイリーラ

ライダーである<sup>1)</sup>。地上30km以上において大気分子のレイリー散乱強度から大気密度を求め、静力学平衡を仮定することにより大気温度プロファイルを得ている。高度30km以下においては、エアロゾルによるミー散乱の影響が無視できなくなり、レイリーライダーを用いた大気温度の導出は困難となる。そこで窒素の振動ラマン散乱を利用して窒素分子密度を求め、レイリーライダーと同様の原理により大気温度分布が測られている<sup>2)</sup>。

一方直接大気温度を測定する方法として、大気分子の回転ラマン成分の温度依存性から大気温度分布を測定する回転ラマンライダーがある<sup>3)</sup>。また、波長760nm付近の酸素Aバンド吸収帯の酸素吸収線を利用した対流圏の温度分布の測定が狭帯域アレキサンドライトレーザにより試みられている<sup>4)</sup>。これは酸素吸収線の high J lineの吸収係数が温度に敏感であることを利用した方法で、温度の測定精度はレーザのスペクトル幅と安定度に大きく依存するためレーザダイオードによるインジェクションシーディングが行われている。また、大気分子のレイリー散乱スペクトルのドップラー拡がりを2つの異なるスペクトル幅を持った金属蒸気ブロッキングフィルタを用いて測定する狭帯域ライダーが開発されている<sup>5)</sup>。

### 3. 宇宙からのライダーによる温度測定法

地上からのライダーを用いた対流圏や成層圏の温度分布測定法は、高出力なレーザや大型の望遠鏡が必要であり、そのままではレーザ光の安全性も含めて、宇宙からの測定には応用できない。まず、眼への安全性を考慮すると紫外線領域の波長が有効であるが、オゾン層による吸収も考慮すると、使用可能な波長は概ね350~400nmの範囲に限定される。

次にライダーの種類として、レイリーライダーは昼間の測定を考えた場合の背景光の影響、オゾンの吸収の影響等があり、精度良く大気密度を求めるのはかなり困難である。振動ラマンや回転ラマンを利用したライダーはその散乱断面積が小さいため、宇宙からの測定の場合受信信号が弱く、同様に精度が期待できない。酸素吸収線を利用した温度測定は波長が近赤外であることからアイセーフで問題がある。

残るのは、金属蒸気ブロッキングフィルタを用いた狭帯域ライダーとなる。この波長域で使用可能な金属原子として、Cs (388.865nm) がある<sup>6)</sup>。Fig.1にCs原子蒸気フィルタの透過スペクトルのシミュレーション結果を示す。

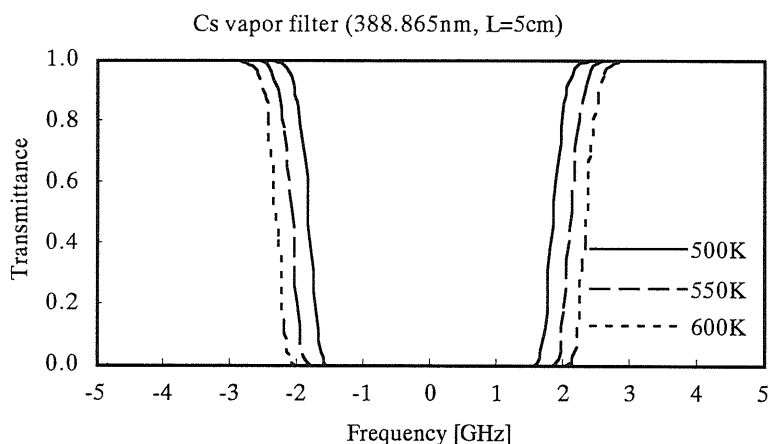


Fig.1 Temperature dependence of the absorption spectra of an Cs vapor filter.

Table 1のCs蒸気フィルタを用いた高分解能ライダーによる宇宙からの温度測定誤差のシミュレーションパラメータを、Fig.2に結果を示す。高度1kmから30kmまで、温度誤差1K以内、高度40kmまで温度誤差2K以内で、距離分解能300km、高度分解能1kmで、globalな温度分布が測定可能なことがわかる。

Table 1. Parameters of a spaceborne temperature lidar

Pulse energy	0.3J
Rep. rate	100Hz
Wavelength	388.865nm (Ti:sapphire Laser SHG)
Platform altitude	300km
Ground velocity	7km/s
Telescope aperture	1.5m
Optical transmittance	3% (including blocking filter)
Quantum efficiency	30%(PMT)
$\Delta z$ (vertical resolution)	1000m
$\Delta x$ (horizontal resolution)	300km

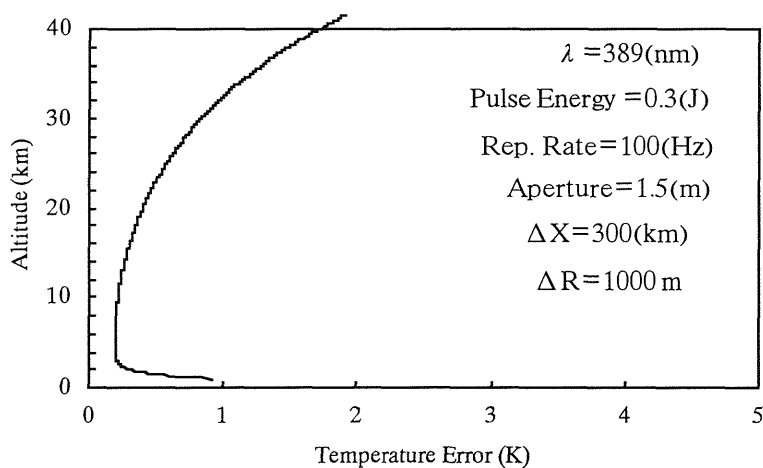


Fig.2 Simulated temperature error for a spaceborne lidar measurement.

#### 4. コンパクトな紫外固体レーザー

送信レーザーとしては、波長350~400nmで同調可能で狭帯域、軽量で消費電力の少ない波長可変固体レーザーが必要となるが、現在のところ最有力候補として Ti：サファイアレーザーの第2高調波を用いたレーザーが考えられる。送信レーザーの開発としてTi：サファイアレーザーの狭帯域化及び波長同調実験、非線形結晶による第2高調波の高効率発生実験を行っている。

#### 参考文献

- (1) A. Hauchecorne and M.L. Chanin, Geophys. Res. Lett., **7**, 565-568, 1980.
- (2) P. Keckhut, M.L. Chanin and A. Hauchecorne, Applied Optics, **29**, 5182-5186, 1990.
- (3) D. Nedeljkovic, A. Hauchecorne and M.L. Chanin, IEEE Trans. Geos. and Remote Sens., **31**, 90-101, 1993.
- (4) C.L. Korb et al. Appl. Opt., **28**, 3015-3020, 1989.
- (5) R.J. Alvarez II et al., J. of Atmos. and Oceanic Tech., **10**, 546-556, 1993.
- (6) H. Shimizu, K. Noguchi and C.Y. She, Appl. Opt., **25**, 1460-1466, 1986.