

F. 1 高分解能レーザーレーダーの最適設計法

The optimized design of the high spectral resolution lidar

野口和夫* 清水 浩
K. NOGUCHI H. SHIMIZU

千葉工業大学* 国立公害研究所

CHIBA INSTITUTE OF TECHNOLOGY THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

I. はじめに 大気からの散乱光を、気体状の原子フィルターにより、ミー散乱とレーリー散乱とに分離する高分解能レーザーレーダー方式について前回提案してある¹⁾。

この方式は、ミー散乱強度比、視程、気温を遠隔的に測定をすることが可能で、従来の測定法に比べて、装置も比較的簡単で、感度も良好であるという特徴をもっている。

今回は、フィルターとして使用可能な原子の内より最適な原子の選択方法およびそのフィルターの設定温度の最適値の決定方法についてをべる。また、現在制作中の装置により、気温測定した場合の測定精度と感度について、定量的検討を行った結果についてをべる。

II. 最適設計法 原子フィルターとして使用可能な原子はRb, Ba, Cs, Pbである。これらの原子のうち、最も測定感度が良好な原子の選択とその設定温度の決定は次の手順で行う。

(1) 各原子の遷移波長におけるレーリー散乱スペクトルとその温度変化率を計算する。すなわち、レーリー散乱の後方散乱断面積 $R_\lambda(\nu)$ と温度変化率 $\Delta R_\lambda(\nu) = (dR_\lambda(\nu)/dT)/R_\lambda(\nu)$ を計算する。ここで、 λ は原子の遷移の中心波長、 ν は中心波長からのズレである。Csの計算結果を図1に示す。なおレーリー散乱スペクトルの計算モデルには、SMモデルとS6モデルがある。今回はS6モデルを使用した。

(2) 各原子の温度変化に対する吸収スペクトルを計算する。

(3) 原子フィルターの最適温度を決定する。すなわち、次式の計算を行い、Dが最大値となる T_F の値を各原子について求める。

$$D(T_F) = \int R_\lambda(\nu) F(\nu, T_F) (\Delta R(\nu))^2 d\nu$$

この結果を図2に示す。

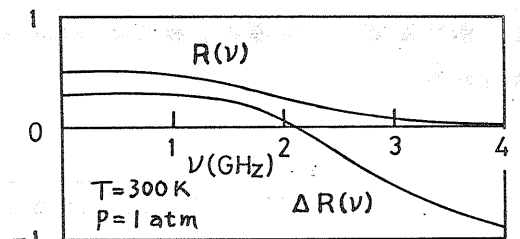


図1 Csの $R(\nu), \Delta R(\nu)$

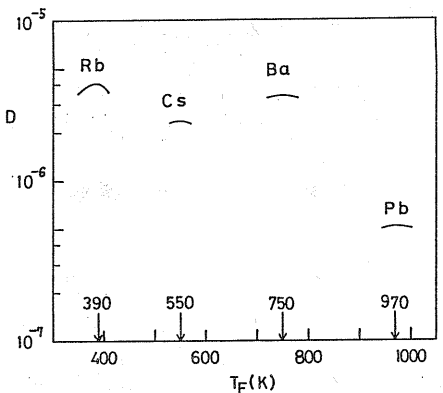


図2 各原子のD- T_F

	Rb	Ba	Cs	Pb
E	7.0	27.0	20.0	3.0
η	1.5	9.0	30.0	25.0
D	4.03×10^{-6}	3.39×10^{-6}	2.36×10^{-6}	5.16×10^{-7}
λ (nm)	780.0	553.7	388.8	283.3
$1/\lambda^4$ *	1.0	3.9	16.2	57.5
F M	4.23×10^{-5}	3.21×10^{-3}	2.27×10^{-2}	2.21×10^{-2}

* Relative Value

表1 各原子のFigure of Merit

(4) 次式で定義される Figure of Merit を各原子について計算し、最大となる原子が最適となる。

$$FM = E \cdot \eta \cdot D / \lambda^4$$

ここで、E はレーザーの単位時間当たりのエネルギー、 η は光検出器の量子効率である。FM の計算結果と計算に必要なパラメータの値を表 1 に示す。

Ⅲ. 気温測定の誤差と感度の検討 気温測定における誤差を決定する要因には、システムテックな誤差とランダムな誤差とがある。以下、それぞれについて検討する。

(1) フィルター温度の変動による測定誤差

測定精度に最も大きな影響を与えるシステムテックな誤差は、フィルター温度の変動によるものである。高温側、低温側がそれぞれ、 1°C 変化したときのスペクトル変化量を図 3 に示す。これより、 1°C の気温変化を検出するためには、フィルター温度の変動を 0.3°C 以内にすればよい。

(2) ランダムな誤差に基づく測定時間の評価

現在、準備中の高分解能レーザーレーダーの諸元を表 2 に示す。測定誤差に最も影響を与える要因が、ショットノイズに基づくランダムな誤差であるとすると、測定に要する時間は、次式で表される。

$$T_m = 2\mu / (m \cdot n(R) \cdot S^2)$$

ここで、 μ は検出器の雑音指数、 $S = \Delta(f_m / f_m) / (f_m / f_m)$ 、 m は単位時間当たりのレーザーパルス数、 $n(R)$ は信号の光子数である。結果を図 4 に示す。

Ⅳ. 結論 原子フィルターとして最適な原子は Cs であり、Ba も十分使用可能であることがわかった。高分解レーザーレーダーでの気温測定は、精度や、測定に要する時間について十分実用的範囲で可能である。

文献

- 1) 第 9 回レーザーレーダーシンポジウム
P. 50

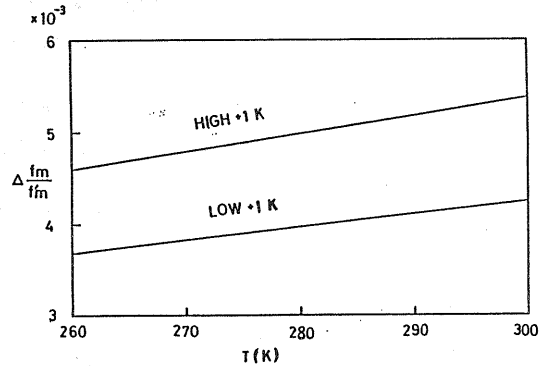


図 3 フィルター温度の変動によるスペクトル変化率

Definition	Symbol	Value
Energy/Pulse	E (mJ/Pulse)	20
Repetition rate	m (1/S)	25
Depth resolution	L (m)	30
Quantum efficiency	η (%)	30
PMT noise factor	μ	2
Collection area	A (m ²)	0.385
Efficiency of optics	K	0.1
Geometric form factor	Y (%)	100

表 2 レーザーレーダーの諸元

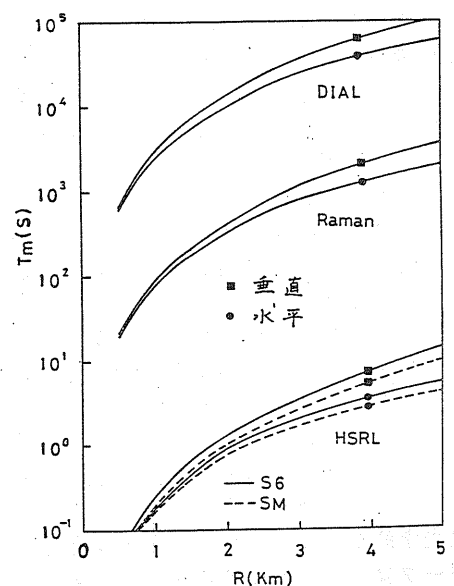


図 4 測定時間