

大型レーザレーダーの測定感度に関する考察
Sensitivity Evaluation for a Large scale Laser Radar

清水 浩 松井 一部 松本 伸夫 笹野 泰弘 竹内 述夫 奥田 典夫
Hiroshi Shimizu Ichiro Matsui Nobuo Sugimoto Yasuhiro Sasano
Nobuo Takeuchi and Michio Okuda

国立公害研究所
The National Institute for Environmental Studies

1. 目的は、国立公害研究所で完成した大型レーザレーダーは半径50~60kmからのミ-散乱と、半径2~3kmの領域の大気のマ-ラー-イン-メントによるラマン散乱を測定することを目的としている。ここでは、この装置を用いた測定における感度の理論的計算と、実験結果を比較することを目的とする。

2. 測定感度の理論的検討 本装置の基本的性能を表1に示す。レーザには3倍増幅したNd:YAGレーザとその才二高調波を使用している。測定感度の計算に大型レーザレーダーの基本的特性を算定式も良く用いられているので、レーザレーダー方程式から得られる信号強度をS/N式に代入して、S/Nの値を求めるとなる。レーザレーダー方程式の右辺のS/N式は次式で求められる。

$$N(R) = M_0 L P K (\beta T^2 A_r Y_r \eta) / R^2 \quad (1)$$

$$S/N = \frac{N(R)}{\sqrt{N \{ N(R) + 2 M_b \}}} \quad (2)$$

レーザ種類 出力 繰返し ビーム拡がり	Nd:YAG 才二高調波 1.2J/pulse 0.4J/pulse 25pps 0.3mrad
望遠鏡 型式 主鏡有効径	カセグレン型反射望遠鏡 1.5m

表2 係数マ-ラーの定義とその数値

ここで、N(R)は受信される信号量であり、他のマ-ラーの定義と、本レーザレーダーにおける値、さらに、典型的な測定条件における値を表2に示してある。また背景光量は次式で求められる。

$$M_b = \frac{N_\lambda \Omega f K A_r L P \eta}{h \nu c} \quad (3)$$

(3)式における各マ-ラーの定義とその値も表2に示してある。表2の値を(1)式および(3)式に代入すると、信号量と背景光量は次式となる。

記号	定義 (単位)	基本波	才二高調波
M ₀	レーザハビルの光子数 (光子数/ハビル)	4.3 × 10 ¹⁹	1.1 × 10 ¹⁸
K	光伝送効率 (%)	0.27	0.16
A _r	主鏡の有効面積 (m ²)	-	1.7
Y _r	幾何学的効率	-	1
η	検出器の量子効率 (%)	0.1	0.8
N _λ	背景光量 (W/nm sr m ²)	2.9 × 10 ⁻³	2 × 10 ⁻²
κ	ミ-散乱マ-ラー	-	90
Ω	受信立体角 (sr)	-	7.1 × 10 ⁻⁸
f	フィルタ幅 (nm)	0.5	0.1
R	測定距離 (km)	-	50
P	レーザの回折数 (回折数/1桁の測定)	-	286
L	距離分解能 (m)	-	750
V	視程 (km)	-	30
t _m	測定時間 (min)	-	20
S/N	S/N	-	10
S	測定領域	Rを半径とする 1/4 円	

$$M(R) = 2.2 \times 10^{13} \text{ LP} \sim T^2/R^2 \text{ (基本波)} \quad (4)$$

$$M(R) = 3.9 \times 10^{14} \text{ LP} \sim T^2/R^2 \text{ (第2高調波)} \quad (5)$$

$$M_b = 1.7 \times 10^{-3} \text{ LP} \quad \text{(基本波)} \quad (6)$$

$$M_b = 8.2 \times 10^{-2} \text{ LP} \quad \text{(第2高調波)} \quad (7)$$

ところが、広域の測定においてとくに測定感度に影響を与えるのは透過率 T である。 T 付きの減衰率 σ であり、次式で求められる。

$$T = \exp(-\sigma R) \quad (8)$$

σ と視程 V との関係は Woodman に依ると、

$$\sigma = \frac{3.91}{V} \left(\frac{0.55}{\lambda} \right)^{1.3} \quad (9)$$

ここに代入し波長である。(8) (9) 式を (4) (5) 式に代入し、さらに S/N 式に入れると、表3に示すような結果となる。本装置における S/N の測定条件として要求された値は10であるから、この条件を満たしているのは、基本波長における昼と夜の条件であり、第2高調波では測定が困難である。これは、可視光付近赤外線に比し、その減衰が著しく大きいことによる。

レーザレーザの測定では、条件が変われば感度も大きく変化す。図1は視程を100kmとした場合の測定距離にわたる S/N の計算値である。同図によれば、視程が50km程度まで良ければ、第2高調波でも50km遠方までの測定が十分可能である。

3. 測定結果との比較 S/N の測定値はレーザレーザエコーを繰返し測定し、測定距離ごとに平均値にわたる標準偏差を計算することにより求められる。この測定において、 S/N の値に影響するのは、上記の検出器による S/N の他に、レーザのぶらつき、および信号処理装置で発生する電子的雑音がある。これらの誤差を δ とすると、 S/N の測定値は次式であらわされる。

$$(S/N)_M = 1 / \sqrt{\delta^2/P + V(S/N)^2} \quad (10)$$

本レーザレーザ装置の場合、 δ の値に最も影響するのは、レーザパワーの変動である。一般にレーザパワーの変動の影響は、レーザパワーのモニターを行い、信号を規格化することによりキャンセルされるが、今回の測定においては、これを伴っていない。そのため、これによる誤差は30%程度である。大気状態の変化分も10%程度である。

図2に測定例を示す。この測定ではレーザの出力を100mW、距離分解能75mの条件を用いている。また、レーザ波長は532nm、測定時は夜間で視程は、おおむね120km程度であった。図2に破線を示したのが視程が120kmの場合にわたる計算値であり、実際示したのが実験値である。両者の間には良好な一致が見られる。

4. まとめ、本レーザレーザ装置は広域の測定において、総合的に見て、今後設計通り動作していることか S/N の測定より確認された。

表3 S/N の計算値

	夜	昼
基本波長	14	14
第2高調波長	1.7	0.03

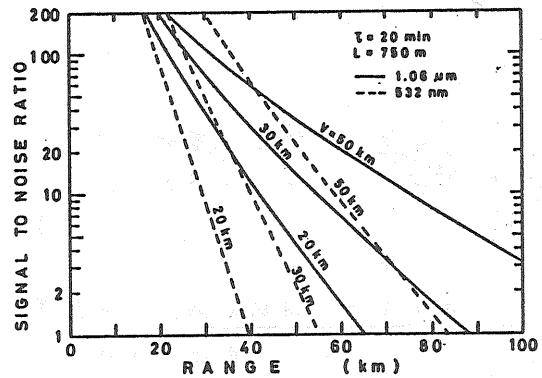


図1 S/N の計算値

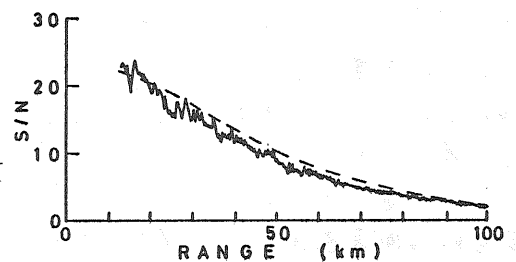


図2 S/N の測定例