

B 1

エキシマーレーザーによるオゾン観測

Atmospheric Ozone Measurement by an Excimer Lidar

前田三男 柴田 隆 福田光伸

Mitsuo MAEDA Takashi SHIBATA Mitsunobu FUKUDA

九州大学 工学部

Kyushu University, Faculty of Engineering

§ 1. はじめに

我々はエキシマーレーザーやエキシマーレーザー励起ラマンレーザーを光源とする差分吸収 (DIAL) 型オゾンライダーの研究に長年取り組んできている。最近ではエキシマーレーザーの性能が向上し、速い繰り返しで安定した性能のものが入手できるようになってきた。そこで市販のエキシマーレーザーをベースにシステムを構成する場合につき、(1)測定高度域の拡大、(2)測定時間の短縮、(3)昼間の観測、(4)システム構成の簡略化などに重点をおき、どのような方式が最適かを検討した。ライダー方程式を使った誤差のシミュレーション計算と、若干の実験を行なった結果、KrFレーザー励起ラマンレーザーの低次ストークス線を使い、(1)夜間の観測では 290, 313, 360 nm 三波長で、高度 30 km まで、(2)昼間には 277, 313 nm の二波長で高度 5 km までの観測を行なうのが、最も実用性の高い方式であることを示した。

§ 2. 測定誤差の解析

これまで紫外域でのライダー計測について十分な解析がなされていなかったもので、まず最初に、表 1 の式を使ってレイリー・ミー散乱による受信光子の SN 比を評価した。計算の結果、単一ショット当りの SN 比を波長の関数として図 1 に示す。夜間の SN 比は長波長の方が良いが、昼間にはいわゆるソーブラインド効果のために 300~320 nm で SN 比は極大となる。270 nm 以下はオゾン吸収のために到達距離が非常に制限される。

しかしながら、DIAL の測定誤差は送信する二波長の組合せに大きく依存する。我々は光子統計誤差、背景光ノイズ、および大気散乱の波長依存性を無視することからくるシステム誤差を考慮して DIAL の誤差を評価した。送信波長としては、システムの簡略化をはかるため KrFレーザー励起ラマンレーザーによって得られる実用的なラインである H₂ の第 1・第 2・第 3 ストークス線 (277, 313, 360 nm) と CH₄ の第 2 ストークス線 (290 nm) に限定し、その中の二波長の組合せについて計算した。図 2 は広い測定高度域を得ることを目的に、夜間における 290-313 nm と 313-360 nm の組合せの結果をまとめたものである。ここに使用した 3 本の波長で、高度 30 km 程度までをカバーできることがわかる。一方昼間の観測については、277, 290, 313 nm の組合せについて検討したが、H₂ ガスを使って効率の良い同時発振が得られる 277, 313 nm の組合せが、最も実用性がある。図 3 はそのときの測定誤差の計算値を示したもので、送信光は 30 mJ/10⁴ ショットとした。この図から分解能 300 m で約 5 km まで計測できることがわかる。H₂ の第 1・第 2 ストークス線については、20% 以上の変換効率が得られることから、KrFレーザーはかなり小型でよく、繰り返しが 100 Hz 程度であれば、同時二波長送信で 1 分以内の測定時間が期待できる。

§ 3. オゾンライダー観測

まず夜間の広域観測であるが、市販の KrFレーザー (ラムダ社 EMG201MSC, 80 Hz, 0.4 J) を使い上述の 290-313, 313-360 nm の組合せでの観測データを図 4 に示す。13~16 km 近くで二つのデータをつなぎ合せてあり、図 2 の計算をほぼ裏書きする結果が得られた。技術的な問題点として、290 nm 光を出す CH₄ が KrFレーザーによって分解されやすく、出力が不安定な点があるが、これはほぼ同程度のラマンシフトを持つ D₂ を使えばよいことがわかった。現在のところ受信系統が二波長でなく、また 290-313 nm では二つのラマンセルを並列にしないと二波長同時観測ができないため、現在のところ 30 分程度の測定時間を要するが、これは数分に短縮が可能である。

次に 277-313 nm での昼間のオゾン計測結果を図 5 に示す。到達高度が約 2.5 km に限られているのは、ソーラブラインドフィルターの不完全さと、視野角が 3 mrad としたことが主な原因と考えられる。低い高度のデータがないのは送受信の軸ずれが大きいためである。現在、これらの結果をもとに、新しいシステムを設計しており、車載が可能な程度のサイズのシステムとしてまとめる計画である。

EVALUATION OF SN RATIO	
received photo-electrons	$n(\lambda, z) = n_0 p b z K T^2 A \eta / z^2$
background photo-electrons	$n_b(\lambda) = N(\lambda) \Omega f k \Delta z / h \nu c$
SN ratio	$S/N = n(\lambda, z) / [n(\lambda, z) + 2n_b(\lambda)]^2$
n_0 : transmitted photons/pulse	30 mJ/pulse
p : number of pulses	
K : transmission of optical system	9% at 270nm, 17% at 500 nm (linear increase)
b : backward scattering coefficient ($=b_r + b_m$)	calculated by Elterman model
T : atmospheric transmission	
A : effective aperture	50 cm dia.
η : quantum efficiency of PMT	maximum efficiency in each wavelength
$N(\lambda)$: background intensity	Pratt: Laser Communication Systems (1969, Wiley)
Ω : receiving solid-angle	1 mrad
f : bandwidth of filter	1 nm (without stray light)

表 1 大気散乱による受信光子の SN 比の評価

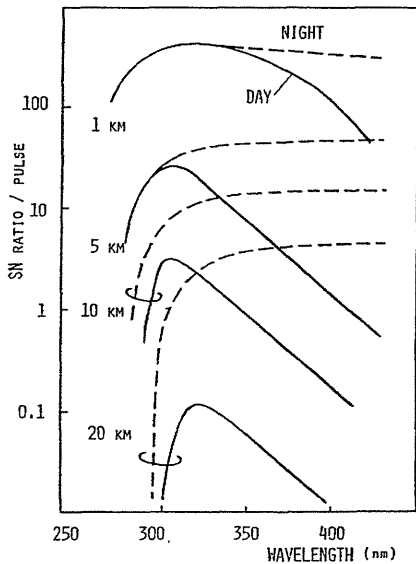


図 1 SN 比の波長依存性

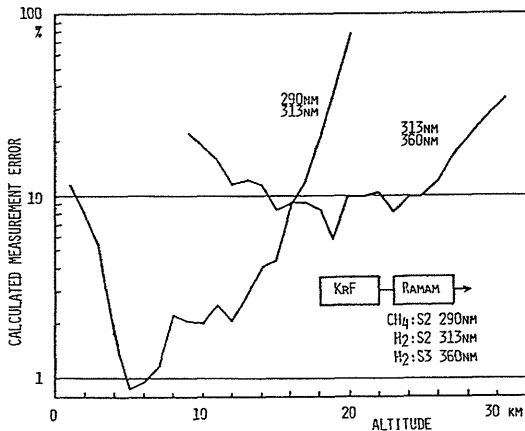


図 2 290-313, 313-360 nm の DIAL における夜間の測定誤差

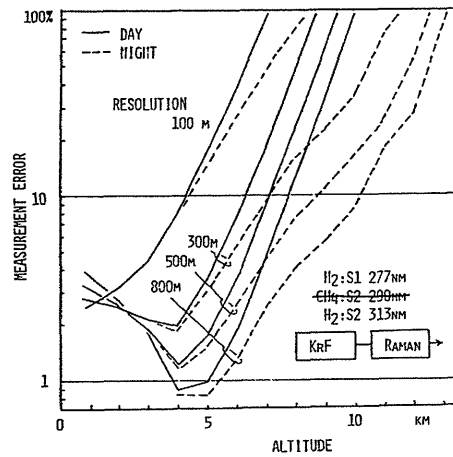


図 3 277-313 nm の DIAL における測定誤差

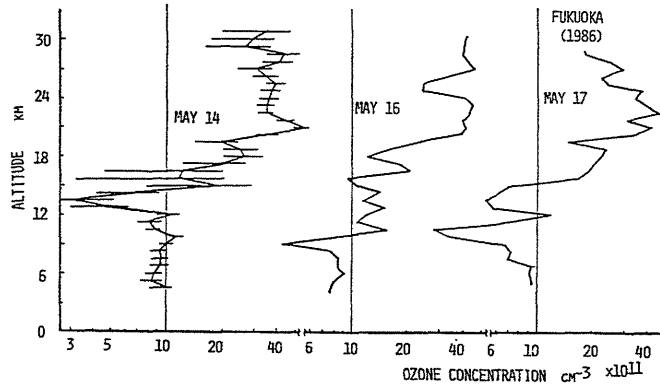


図 4 290, 313, 360 nm での夜間のオゾン観測 (約 10^4 ショット)

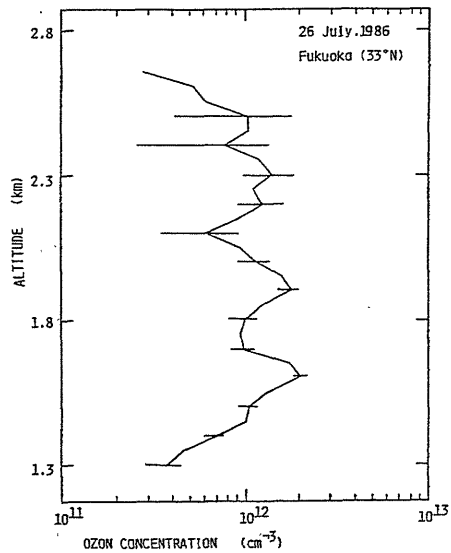


図 5 277-313 nm の DIAL による昼間のオゾン計測 (約 100 ショット)