

エキシマ・ラマン・混成レーザーによる対流圏オゾン測定

DIAL measurement of tropospheric ozone with excimer-Raman hybrid laser

内野 修 徳永正憲 前田三男 宮副泰

O. Uchino, M. Tokunaga, M. Maeda, and Y. Miyazoe

九州大学工学部

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,

Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka 812, Japan

1. 予えがき 我々はXeClエキシマレーザー(波長 $\lambda_2=308\text{nm}$)を用いて差分吸収法の原理(DIAL)で、これまで下部成層圏のオゾン観測を行ってきた。火山爆発により多量のエアロソルが成層圏に注入されに直後を除いて高度15~25kmで信頼のできるオゾンデータを得て来た。今回はこれにKrFレーザー-励起ラマンレーザー($\lambda_1=290\text{nm}$)を追加して対流圏のオゾン測定に成功したので報告する³⁾。

2. ライターシステム Fig. 1に今回用いたライターシステムのブロック図を示す。送信系は3階の実験室にあり、レーザー光は送信望遠鏡を通した後に平面鏡で上空に打ち上げる。UV予備電離装置励起エキシマレーザーは、3~4段のマルクス回路でTE放電管(全管極長92cm, 放電ギャップ長4cm)の両側に配列したDamping capacitorを充電するタイプのもので、XeClレーザー、KrFレーザーともパルス当り~600mJの出力が得られる³⁾。パルスのくり返しはXeClレーザーで5Hz, KrFレーザーで2Hzであり、一回のカス封じ込め(6L)で寿命は^約5000, 500ショットである。KrFの場合は外部に不純物トラップを有するガス循環系をつけることで寿命が伸びるであろう。

2.1 ラマンレーザー 有効誘導ラマン散乱(SRS)を得るためにはビーム強度Iを大きくする必要性から、図に示す様にKrFレーザーを不安定型の共振器に換えると安定型に比べ、出力は約半分に減少した。Iは5倍の800MW/cm²が得られた。ラマンセルには長さ40cmのステンレス管を用い、窓材として厚さ2cmの石英板を用いた。ビームに対する有効径は2cmである。SRSの予備実験として35気圧のCH₄とH₂ガスを用いたときのKrFレーザーに対するSRSのエネルギー変換効率をTable 2に示した。H₂の場合、全ストークス線への η は約39%でCH₄の場合に比べ2倍大きい。これはTable 3に示した様に、 $\rho=35$ 気圧ではH₂の小信号利得がCH₄に比べ約2倍と

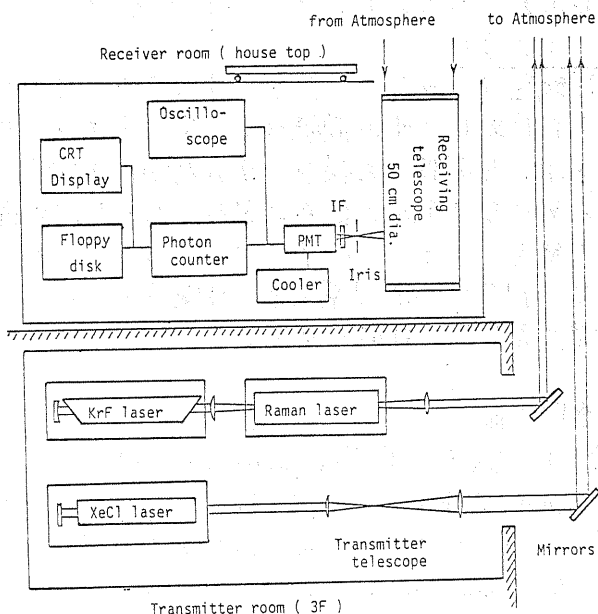


Table 1. Characteristics of lidar system

Transmitter		
	Raman laser	XeCl laser
Wavelength	290.4 nm	308 nm
Absorption cross section	$\sigma_1=1.27 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$\sigma_2=1.28 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$
Output energy per pulse	2-4 mJ	50-100 mJ
Pulse width	2-5 ns	34 ns
Beam divergence	1 mrad	2.1 mrad
Pulse rep. rate	2 Hz	5 Hz
Receiver		
Telescope diameter	50 cm (f=5255 mm)	
Field of view	4.8 mrad	
Filter bandwidth (Transmission)	2.9 nm (12%)	
Photomultiplier	EMI9558QB (-20°C)	
Separation from laser system	3 m	
Photon counter	Vertical resolution	1 μs ($\sigma_z=150 \text{ m}$)
	channel number	1000
	memory	floppy disk

いことによる。圧力を増すとCH₄の η も改善されるが、その場合 δ_1 の η がよくなることが知られている。

受信システムはMAPの援助のもとに昨年10月に建設された。送受信系の特性をTable 1に示している。

ENERGY CONVERSION EFFICIENCY OF SRS

Molecule	S ₁		S ₂		S ₃	
	Wavelength (nm)	Efficiency (%)	Wavelength (nm)	Efficiency (%)	Wavelength (nm)	Efficiency (%)
CH ₄	267.8	6.6-12.4	290.5	2.3-3.4	317.4	-0.3
	277.0	20.2	313.0	10.7	359.8	5.4
	313.0	10.7	359.8	5.4	423.1	2.2

Table 2. SRSのエネルギー変換効率

Molecule	CH ₄	H ₂
Transition	Q branch	Q(1) line
$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	2917	4155
$\Delta\bar{\nu}$ (cm ⁻¹ FWHM)	0.3	1.5x10 ⁻³ ρ
λ_s (nm)	268	277
$\frac{d\bar{\nu}}{d\rho}$ (10 ⁻²⁹ cm ³ /SF)	6.7	1.7
g_s (10 ⁻¹¹ cm ³ /W)	12 ρ	700

ρ =density in Amagat units

Table 3.

3. 測定結果 Fig. 2に

今年1月25日に測定されたオゾン密度の高度分布をFig. 2に示す。横軸は測定誤差を示す。距離分解能は $\Delta h=750m$ である。4~12kmの間に通常対流圏で見られる分布が得られた。Fig. 3には1月26日にさらに $\lambda_3=340nm$ のp-terphenyl色素レーザー(Xeレーザー励起, 10~20mJ)を追加して三波長により測定されたオゾン分布を示す。ここで示したものは λ_2, λ_3 で測定されたもので、 $\Delta h=1.5km$ である。以上の様に $\lambda_1=290nm, \lambda_2=308nm, \lambda_3=340nm$ の三波長を用いることにより高度4~25kmのオゾン測定が可能となった。

さらに対流圏下部4km以下の場合について、Table 2に示す各ラマン線を用いて誤差のモデル計算の結果をFig. 4に示す。この場合 $\Delta h=100m$ で、エアソールはEltermannのものを用いた。この測定誤差の計算には SO_2 と NO_2 は含まれていない。今 O_3, SO_2, NO_2 が同程度の濃度であったとするとFig. 5に示す各分子の吸収断面積を用いると、267.8と277.0nmの二波長に対して、 $\Delta\alpha(O_3) \approx 4 \times 10^{-18} cm^2$, $\Delta\alpha(SO_2) \approx 2 \times 10^{-19} cm^2$, $\Delta\alpha(NO_2) \approx 2 \times 10^{-20} cm^2$ となり、 SO_2 の存在が10%程度影響してくるが、十分boundary layerのオゾン測定も267.8と277.0nmで可能と思われる。

References.

- 1) O. Uchino, M. Maeda, T. Shibata, M. Hirono and M. Fujiwara, Appl. Opt. 19, 4175 (1980)
- 2) —, —, H. Yamamura and M. Hirono, J. Geophys. Res. 88, 5273 (1983)
- 3) —, M. Tokunaga, M. Maeda, and Y. Miyazoe, Opt. Letters, 8, 347 (1983)

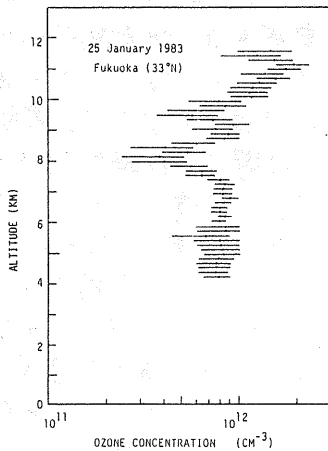


Fig. 2 $\lambda_1=290nm$ と $\lambda_2=308nm$ による O_3 のDIAL測定結果

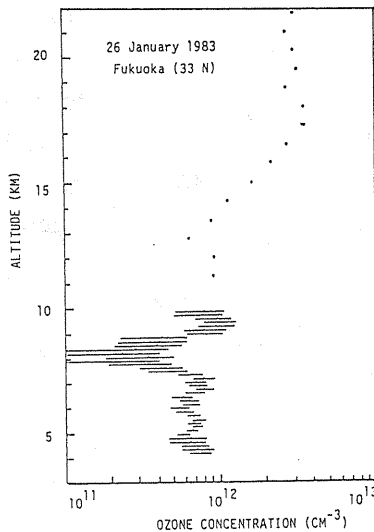


Fig. 3 Fig. 2と同V.値・ppm $\lambda_3=340nm$ と $\lambda_2=308nm$ によるDIAL測定

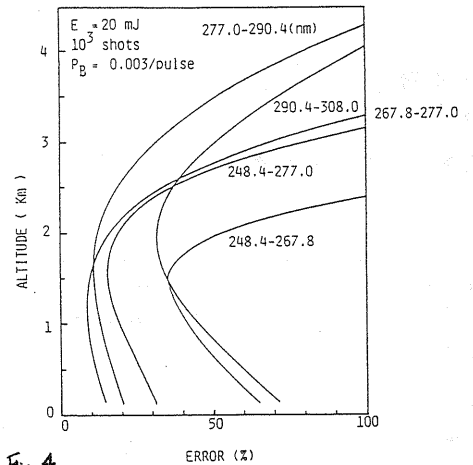


Fig. 4

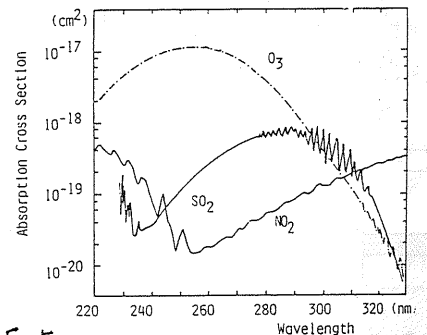


Fig. 5