

地上からの太陽直達光観測による紫外・可視域でのオゾン量導出精度の検証

* 谷中 郁哉¹, 北和之¹, 山口 裕樹², 板橋 良平², 福寿 旅人², 入江 仁士³, 齋藤 尚子³, 野口 克行⁴
 1: 茨城大学理学部, 2: 茨城大理工学研究所, 3: 千葉大CEReS, 4: 奈良女子大理学部

背景・研究目的

対流圏下部のオゾンは、大気汚染物質として人体の健康や農作物・生態系にとって重要である。近年、日本ではオゾン前駆気体の減少に反してオゾン量の増加傾向が認められており、アジア大陸からの越境汚染が原因の一つと考えられているが、その実態はまだ良くわかっていない。越境汚染など広域的な分布を観測するためには、衛星等からのリモートセンシングが有効であると考えられるが、下部対流圏オゾンについては従来困難であった。そのため、本研究では衛星リモートセンシングによる下部対流圏オゾン観測の実現に向けて、多波長同時分光観測を提案し、その検証のための観測を実施した。特に、紫外に比べ難しいため実施例が少ない可視域でのオゾン測定精度検証のため、太陽直達光観測によるオゾンカラム量導出を実施したので、その結果を紹介する。

リモートセンシングによるオゾン観測手法

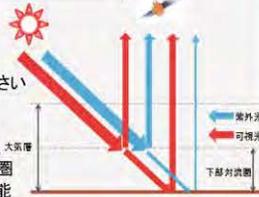
多波長同時分光観測(UV-Vis)

・紫外域

- レイリー散乱断面積が大きい
- 下部対流圏を透過し衛星まで届く光強度は小さい

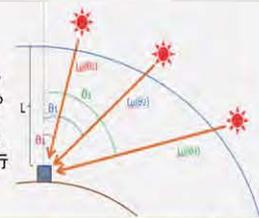
・可視域

- レイリー散乱断面積が小さい
- 紫外・可視域の両方で平均光路長に差が生じる。大気層
- この2波長域で同時に観測することで、下部対流圏での光路長差からそこでのオゾン濃度が導出可能である。



太陽直達分光観測

- 直達光の光路長は幾何学条件にのみ依存し、散乱光による影響が十分小さい。そのため紫外・可視域両波長の光路長は等しくなり、光路に沿った傾斜オゾンカラム量も等しくなると期待される。紫外・可視域それぞれで導出されるオゾンカラム量を比較し、両者でのオゾン量導出精度検証を行う。



オゾン量導出手法

後方散乱光によるオゾン導出手法

気体に特徴的な吸収スペクトル構造を利用して、観測スペクトルとフィッティング (Differential Optical Absorption Spectroscopy: DOAS) を行うことで対象気体濃度を推定する。

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp\left[-\sum_i \sigma_i(\lambda) SCD_i\right] \quad SCD_i = \sum_{j=1}^m n_j^i \cdot AMF_j^i \cdot H$$

・航空機観測

航空機観測では $I_0(\lambda)$ を測定できない。天頂方向との比をとることで $I_0(\lambda)$ を除去する。

$$-\ln\left(\frac{I_{\text{State}}(\lambda)}{I_{\text{Zenith}}(\lambda)}\right) = \sum_i \sigma_i(\lambda) DSCD_i \quad DSCD_i = \sum_j (AMF_{\text{State}}^j - AMF_{\text{Zenith}}^j) \cdot n_j^i \cdot H$$

$$DSCD_{\text{下部対流圏}} = DSCD_{\text{Vis}} - DSCD_{\text{UV}}$$

$I(\lambda)$: 大気で減光された太陽光スペクトル強度

$I_0(\lambda)$: 大気入射前の太陽光スペクトル強度

$\sigma(\lambda)$: 吸収断面積

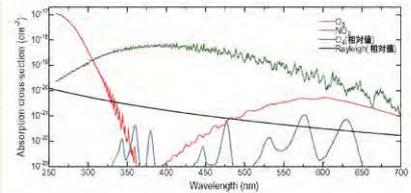
SCD: 傾斜オゾンカラム密度

n : 数密度

AMF: エアマスファクター

H: 大気層の厚さ

DSCD: 差分傾斜オゾンカラム密度



・直達光によるオゾン導出手法

正午前後の測定値との比をとることで大気入射前の太陽光スペクトル強度を除去する。地球を完全球体とし、大気中の微量物質濃度が一様と仮定する。

$$-\ln\left(\frac{I_0(\lambda)}{I_{\text{noon}}(\lambda)}\right) = \sum_i \sigma_i(\lambda) DSCD_i \quad DSCD_i = \sum_j (\mu(\theta_j) - \mu(\theta_{\text{noon}})) \cdot \bar{n}_j \cdot L$$

\bar{n} : 大気中で一様な数密度 L: 大気全体の厚さ μ : 大気曲率

観測の目的

UV-Vis同時分光観測

- 可視域でのオゾン吸収は弱くその吸収構造が小さいため、観測実績は少ない。
- 地表面アルベドの影響が大きくその推定が難しい。

太陽直達分光観測

- 紫外・可視域両波長の光路長は等しい。
- 地表面アルベドの影響が非常に小さい。

可視域の差分吸光法で十分な導出精度を持つか確認する

太陽直達分光観測

Maya2000pro(Ocean Optics, USA)を使用し、太陽追尾装置TM-2SE (工務てんとう虫、日本)に減光フィルターを装着して紫外・可視域で太陽直達光の分光観測を行なった。

観測日: 2013年5月31日
 場所: 茨城大学構内
 時間: 12-18時

	UV	Vis
測器	Maya2000pro(Ocean Optics, USA)	Maya2000pro(Ocean Optics, USA)
波長分解能	約0.5nm	約0.5nm
観測波長範囲	249.74nm~477.01nm	374.52nm~816.24nm



使用した分光器 (Maya2000pro)



	UV	Vis
UV, Visそれぞれの観測太陽高度(度)	58.7	53.7
	43.3	51.5
	41.1	44.3
	38.5	42.3
	36.9	40.3
	34.9	37.9
	33.1	35.9
	31.3	34.1
	29.1	32.3
	26.9	30.7
	26.3	28.5
	24.5	25.3
	21.5	23.3
		20.8

結果・考察

オゾン全量の導出結果

DOASフィッティングの計算条件

UV: 400-655nm ($O_3, NO_2, O_4, SO_2, H_2CO, CHOCHO$)

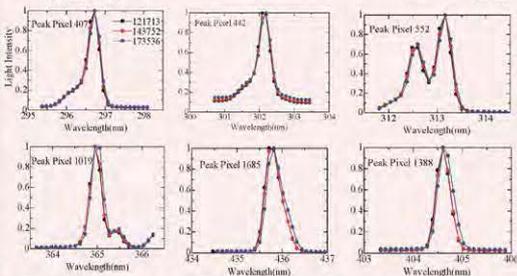
Vis: 320-370nm ($O_3, NO_2, O_4, O_2, H_2O, CHOCHO$)

$$-\ln\left(\frac{I_0(\lambda)}{I_{\text{Base}}(\lambda)}\right) = \sum_i \sigma_i(\lambda) DSCD_i + p(\lambda) + \frac{r}{\lambda^2} + \frac{m}{\lambda}$$

$P(\lambda)$: 5次関数

r: レイリー項係数

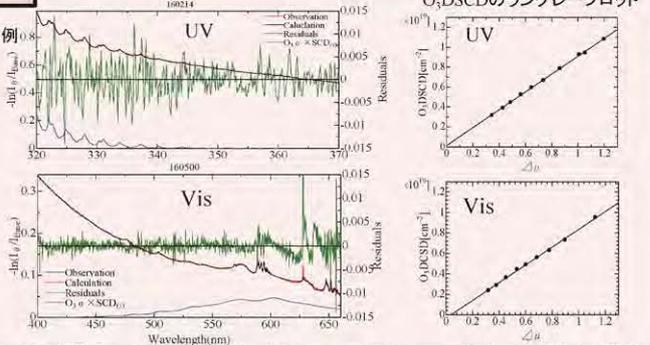
m: ミー項係数



各測定時間による、Hg輝線スペクトルの変動

測定時間の経過によって、輝線スペクトルの波長方向への変化が見られた。測定時間の違いによる温度の変化により、波長方向のシフトが起こったと考えられる。今後は分光器に温調を取り付けることにより、波長シフトの問題を緩和したい。

DOASフィッティングの例



求められたオゾン全量は、UV $\approx 8.97 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ 、Vis $\approx 8.69 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ であり、それぞれから導出されたオゾン全量に大きな違いはない。なお、観測当日のつくばのDobson観測におけるオゾン全量観測結果は $9.47 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ であった。

UV, Visそれぞれのオゾン全量観測の違いは約3.1%とほぼ一致しているが、UV-Vis同時分光観測で下部対流圏オゾン量を求めるには1%以下の精度が求められる。従って、今後さらに導出精度を高める必要がある。この差の原因としては、温度変化による波長シフト、装置関数推定の不十分さによる畳み込み積分のずれ、600nm以上での吸収構造に関する系統的誤差などによるフィッティングの不一致が挙げられる。

また上記では大気による屈折効果の影響を小さくするために、太陽天頂角 60° 以内の結果を示している。しかしそれでも大気による屈折の影響は存在するので、その影響も正しく考慮する必要がある。今後はこれらにより正確に考慮し、導出精度の向上に努めたい。

本研究は科学研究費補助金「可視紫外同時分光観測による地表境界層オゾンのリモートセンシング手法の開発」、及びCEReS共同研究によるものです。ここに記し、深く感謝いたします。