

静止衛星からのUV-Vis-IR観測による対流圏オゾンリターン手法の研究

北和之¹、大竹翔¹、仲地正樹¹、入江仁士²、
中里真久³、永井智広³、笠井康子⁴、齋藤尚子⁵

1:茨城大・理 2:海洋研究開発機構 3:気象研究所
4:情報通信研究機構 5:千葉大学CEReS

日本における地表オゾン増加と越境汚染

光化学スモッグ注意報発令 県数

National Institute for Environmental Studies (2007)

SCIAMACHY tropospheric NO₂ JAN 2003 VC NO₂ (index corr)
SCIAMACHY tropospheric NO₂ JAN 2008 VC NO₂ (molec cm⁻²)

アジア域・日本における大気環境(オゾン・エアロゾル)状況の把握・プロセスの理解

アジア広域スケールの汚染物質輸送

東アジア域での越境大気汚染

都市スケールの汚染物質動態

アジアでのオゾン・エアロゾル前駆気体放出源強度分布の把握

前駆気体の化学変質とオゾン・エアロゾルの生成・消失過程の理解

気象プロセスとオゾン・エアロゾルの輸送、生成、消失への影響の理解

衛星データの同化による大気汚染モデル計算の精度向上

静止衛星による大気観測データ

火山ガス・バイオマス燃焼など突発現象の監視

気象データ(エアロゾル・水蒸気・気温)としての利用

紫外線(UV-B)強度情報など

○実態に基づく大気汚染対策への指針

○より精密なプロセス理解と直前データに基づく、信頼性の高い大気汚染予測・近時間予報

静止衛星からの対流圏オゾン観測

■アジア域における対流圏オゾンなどによる越境汚染、PM2.5などエアロゾルによる汚染と気候影響の動態を理解するため、静止衛星観測が計画されつつある。

■太陽紫外散乱光によるオゾン観測を静止衛星から実施すると、下部対流圏(LT)のオゾンに対し感度が低下することが分かった。可視分光観測であれば感度は低下しない。

■静止衛星から可視-紫外分光観測を行うと、両者で得られる傾斜オゾンカラム量(SCD_{O3})の差が生じる。その差からLTオゾン量を検出できるか検討する。赤外観測を組み合わせ、さらに精度向上が可能な手法を検討する。

散乱が強い紫外域では、下部対流圏での散乱光は静止衛星までほとんど到達しない

LTオゾン量導出原理(可視-紫外のみ)

$$SCD_{O_3} = \sum_{z=1}^l ([O_3]_z \cdot AMF_z \cdot H_z) + \sum_{z=1}^m ([O_3]_z \cdot AMF_z \cdot H_z)$$

下層SCD 上層SCD

$SCD_{O_3}^{UV} = a \cdot [O_3]^L + b \cdot [O_3]^U$

$SCD_{O_3}^{Vis} = c \cdot [O_3]^L + d \cdot [O_3]^U$

a < c b > d より LT[O₃] 推定可能

シミュレーションで計算された静止衛星観測におけるAMF

AMFが下部対流圏で大きく異なる。従って、可視・紫外でLTでのみSCDに差が生じる。⇒この差からLTオゾンが導出可能。

LTオゾン量推定誤差要因

- ① 観測スペクトルから導出するSCD_{O3}の誤差
- ② 仮定したオゾンプロファイルと実際のオゾンプロファイルの違いによる誤差
- ③ エアロゾルによる誤差
- ④ 雲による誤差
- ⑤ 地表アルベド(地表吸収・散乱スペクトル)による誤差

静止衛星観測、筑波山山頂からの検証観測それぞれについて、上記の誤差要因がLTオゾン量推定に与える影響についてシミュレーションを行う。

シミュレーション条件

<静止衛星観測ジオメトリ>

衛星：東経120度の赤道上空 高度36000km
 観測地点：東京（北緯35.7度、東経139.7度）
 観測日時：2009年11月16日12:00
 観測点での太陽位置：太陽天頂角35.0度 方位角189.9度

<山頂観測ジオメトリ>

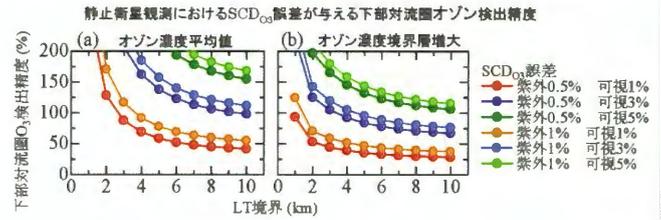
観測場所：筑波山山頂（北緯36.1度、東経140.1度）標高810m
 観測日時：2009年11月16日および2010年6月2日、9月1日の12:00
 観測場所での太陽位置、観測方位角：観測時の条件と一致させる
 観測仰角：-2度（下方斜め2度）

<AMF>

AMFの計算には、ドイツ・プレーメン大学が開発した放射伝達モデル SCIATRAN(Rozanov et al.,2005)を使用した。

7

1. 観測されるSCD_{O3}の誤差による影響 結果



1回の観測でのSCD誤差

UVで0.5%、Visで1%ならオゾン増大時に3km以下の下部対流圏カラムを50%精度で検出可能

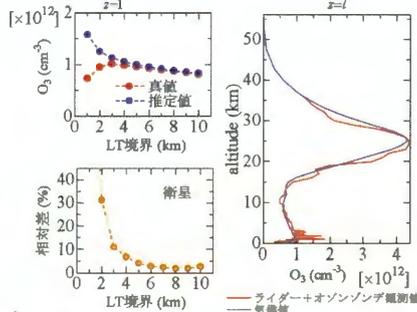
UVで1%、Visで1%ならオゾン増大時に6km以下の下部対流圏カラムを50%精度で検出可能

8

2. 仮定するオゾン高度分布の誤差

気候値などで仮定するオゾン分布関数(f,g)は、実際の観測時におけるオゾン高度分布とは異なる。

$$a = \sum_{z=1}^l (AMF_z^{UV} \cdot H_z \cdot f(z)), \quad b = \sum_{z=1}^m (AMF_z^{UV} \cdot H_z \cdot g(z))$$

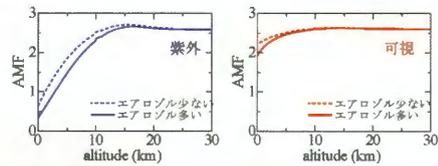


9

3. エアロゾル推定による誤差

$$SCD = \sum_{\text{物質}} (\text{物質質量} \times AMF \times \text{層厚})$$

AMFはエアロゾル量の関数 → エアロゾル量の推定が必要



エアロゾル推定

- ✓量既知の物質(O₂二量体)のSCDを測定
- ✓エアロゾルの種類と高度分布を仮定

エアロゾル量の推定が可能

誤差要因

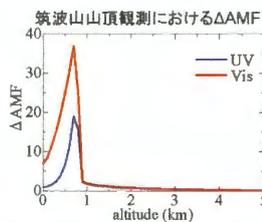
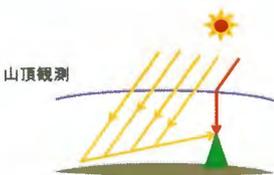
- SCD測定誤差
- 仮定が実際のものとは異なる

10

筑波山山頂での検証観測

山頂観測では、下方斜め方向と天頂方向との差を用いて傾斜カラム量を求める。

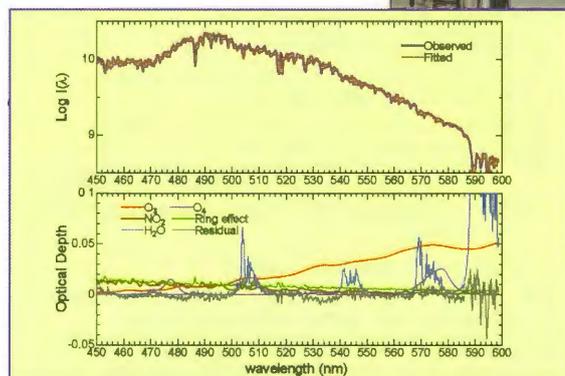
$$\begin{aligned} \Delta SCD &= SCD_{slant} - SCD_{zenith} \\ &= \sum (O_3)_{(z)} \times (AMF_{slant} - AMF_{zenith})_{(z)} \times \text{層厚}_{(z)} \\ &= \sum (O_3)_{(z)} \times \Delta AMF_{(z)} \times \text{層厚}_{(z)} \end{aligned}$$



11

□観測日と観測装置

○ 2009.11.16, 2010.6.2, および6.10



高度化

12

エアロゾル消散係数の計算

エアロゾル高度分布

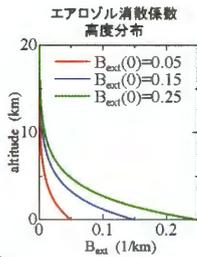
高度分布は下式を仮定し、スケールハイトHは1.5km、3kmの2ケース、地表でのエアロゾルの消散係数 $B_{ext}(0)$ は0.05ステップで計算した。

$$B_{ext}(z) = B_{ext}(0) \cdot \exp\left(-\frac{z}{H}\right)$$

エアロゾルタイプ(化学組成、粒径分布)

Hess et al. (1998)に従い、Urban, Continental, Maritimeの3ケースを仮定

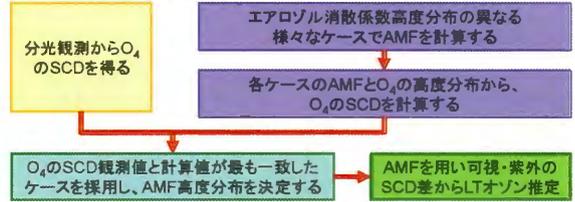
O_4 の ΔSCD を470nm(Vis)の吸収帯で測定し、それに一致するエアロゾル消散係数より ΔAMF を決定する。それを用いてオゾン ΔSCD を計算し、観測値と比較した。



13

エアロゾル量の推定手法

AMFはエアロゾル量により大きく変化するので、LTオゾン量を導出するためにエアロゾル量の推定は重要である。可視・紫外分光観測では、オゾンと同時に、酸素二重体 O_4 のSCDも測定される。 O_4 濃度の高度分布は既知のため、それを利用して観測時のエアロゾル消散係数の高度分布を推定することができる。

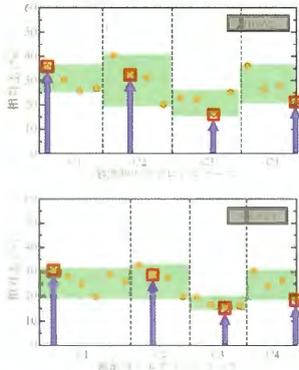


今回、2010年6月2日及び9月1日に筑波山山頂で行った検証観測によって、まずこの手法の妥当性を検討した。

14

3. エアロゾルによる誤差 結果(1)

エアロゾル仮定による、高度6km以下の対流圏オゾン濃度推定値誤差の違い

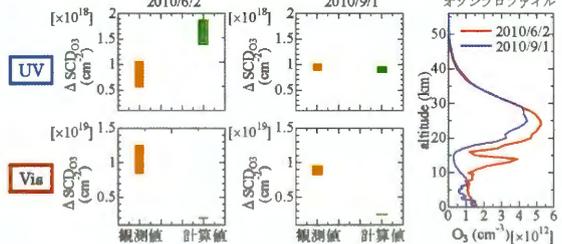


↑ O_2 二量体のSCD観測誤差のみの影響

推定に用いるエアロゾルタイプの違いによる誤差の範囲

15

オゾンのdSCD観測値と計算値の比較



- UVにおいて、9/1では観測とシミュレーション結果が一致した。
- 6/2では一致しなかった。UT-LS領域でのオゾンが多く、 ΔAMF の誤差による ΔSCD の誤差が大きくなったため。今回可視域の O_4 の観測結果から紫外域の ΔAMF を推定しているが、エアロゾル消散係数波長依存性の不確定のため紫外域の ΔAMF 推定に紫外域の O_4 の観測値を用いる必要がある。
- Visにおいては、観測値の導出に問題がある可能性が高い。水蒸気、地表アルベド波長依存性を考慮した解析を行う。

16

① 観測されるSCD O_3 の誤差が与える影響

この手法では、LTオゾン量をSCDの差から推定するため、SCDの観測誤差は、結果に直接大きく影響する。

静止衛星において1回の観測でのSCD誤差が

- ・UVで0.5%、Visで1%ならオゾン増大時に3km以下のLTオゾンカラムを50%精度で検出可能
- ・UVで1%、Visで1%ならオゾン増大時に6km以下のLTオゾンカラムを50%精度で検出可能

より短波長域の紫外による成層圏オゾンカラム推定や、赤外域の追加による多波長可で、精度を改善する必要がある。

② オゾンプロファイルの仮定による誤差

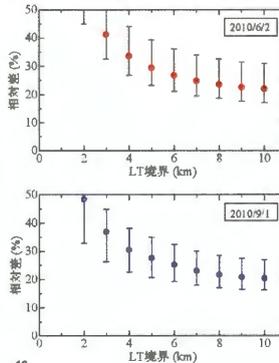
LTオゾン量を推定する際に、相対的なオゾン分布を与える必要がある。気候値を使った場合、実際との差が誤差要因となる。

静止衛星において、オゾンの濃度変動が激しい境界層より上(3km以上)までをLTと範囲設定すれば、影響は±5%程度。

17

③ エアロゾル推定による誤差

全シミュレーションにおける、各高度で推定した下部対流圏オゾン濃度の誤差



オゾン高度分布の違いによる有意な差は見られなかった。

観測される O_2 二量体のSCD誤差が5%であるならば、高度3km以下のオゾン濃度を40%程度の精度で、6km以下であれば30%程度の精度で検出可能であることが分かった。

↓
O2-Aバンド分光計や可視イメージャー追加によるエアロゾル推定精度の向上が必要

18

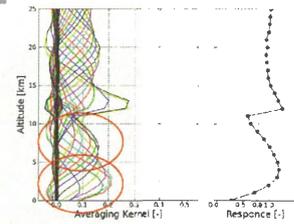
- 検証観測における観測仰角の推定、下部対流圏オゾン導出のシミュレーション誤差解析、筑波山山頂での観測値とシミュレーションによる計算値の比較を行った。
- 静止衛星でのSCDの観測誤差は、対流圏オゾン量を検出する上で大きな影響を与えるので、十分な観測精度が必要である。
 - ➡ 紫外・可視に加え、同時に中赤外域でもオゾンの分光観測を行い、同時リトリバルを行う事で、精度を大きく向上できると考えられる。今後その検討を進めて行く予定である。
- 静止衛星において、オゾン濃度の変動が激しい高度3kmより上までを下部対流圏と範囲設定すれば、下部対流圏オゾン検出精度に大きな影響は出ない。
- エアロゾル推定に用いるO₂二量体のSCD誤差が5%であれば、高度3km以下のオゾン濃度を40%程度の精度で、6km以下であれば30%程度の精度で検出可能であることが分かった。

19

中赤外Ozone観測 averaging kernels

Freq. res.: 0.1cm⁻¹
SNR: 300

Can separate into two
- Upper trop.
- Lower-Middle trop



Freq. res.: 0.6cm⁻¹
SNR: 300

?

