

衛星からのUV・Vis同時分光観測による下部対流圏オゾン量導出 シミュレーション ～エアロゾル推定誤差が与えるAMF計算への影響～

板橋良平[2]、北 和之 [1]、野口克行[3]、入江仁士[4]、福寿旅人[2]

1:茨城大学理学部 2:茨城大理工学研究科 3:奈良女子大理学部 4:千葉大CERes

下部対流圏オゾンは、光化学スモッグを引き起こす光化学オキシダントの主成分であり高濃度になると人体や農作物に被害を及ぼす。近年、日本ではオゾン前駆気体の減少に反してオゾン量は増加傾向にあるため、急速な経済発展に伴いオゾン前駆気体となる大気汚染物質の排出量が増加しているアジア大陸からの広域汚染の影響が示唆されている。このような広域汚染を観測する有効な手法として人工衛星によるリモートセンシングが挙げられる。しかし、従来の衛星リモートセンシングでは未だ下部対流圏オゾン量の観測事例はない。そこで、下部対流圏オゾンの観測手法として紫外(UV)・可視(Vis)同時分光観測が提案されている。下部対流圏オゾン量をUV・Vis同時分光観測により精度よく導出するには、正確な光路長の推定が不可欠となる。光路長の導出は放射伝達計算により行うが、その際の種々の不確定要素が誤差の要因となる。

今回、放射伝達計算の不確定要素のうちエアロゾルに焦点を当て、エアロゾル推定誤差が与えるAMF計算値の変動および下部対流圏オゾン量導出への影響の数値実験を実施した。

UV・Vis同時分光観測

UV・Vis同時分光観測では紫外域・可視域、2つの波長域で太陽からの後方散乱光スペクトルを観測する。下部対流圏では、主にレイリー散乱断面積の違いにより紫外域と可視域での光路長に有意な差を生じる(図1)。この光路差を利用して下部対流圏オゾン量の導出を試みる。

観測から得られるオゾンの傾斜カラム量 SCD_{O_3} は、大気層厚(Hz)あたりの光路長(Lz)を示すair mass factor (AMF)を用いて以下の式で表すことができる。

$$SCD_{O_3} = \sum_{z=1}^n [(O_3)_z \cdot Lz]$$

$$= \sum_{z=1}^n [(O_3)_z \cdot Hz \cdot AMFz]$$

$$AMFz = \frac{Lz}{Hz}$$

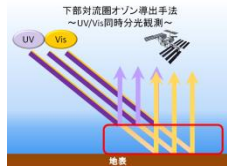


図1: UV-Vis同時分光観測模式図

大気を下部対流圏とそれ以上の二層に分けて考える。各層の平均光路長と各高度でのオゾンの高度分布関数の積を、下部対流圏とそれ以上の層でそれぞれ積算した値を係数a,b,c,dとするとUV・VisそれぞれのSCDは以下のようになる。

$$\begin{cases} SCD_{uv} = a \cdot [O_3]_L + b \cdot [O_3]_U \\ SCD_{vis} = c \cdot [O_3]_L + d \cdot [O_3]_U \end{cases}$$

[O₃]_L: 下部対流圏平均オゾン量
[O₃]_U: [O₃]_Lより上層の平均オゾン量
a, c: [O₃]_L・Σ_{n=1}ⁿ(f(z)・AMF_f・z)
b, d: [O₃]_U・Σ_{n=1}ⁿ(g(z)・AMF_g・z)

※今回のシミュレーションでは下部対流圏を3km以下と仮定している。

シミュレーション I

UV・Vis同時分光観測ではO₃の吸収帯を利用することでAOTを導出することが可能であるが、観測値には系統・ランダム誤差が含まれている。AOTの誤差に起因する、下部対流圏オゾン量導出誤差影響を推定することを目的とする。

このシミュレーションにおいて仮定したエアロゾル消散係数の高度分布は、国立環境研究所によるつづばでのLIDAR観測から導出されたエアロゾル消散係数の高度分布データより求めた。2012年3月、4月に観測された消散係数の、高度ごとの中央値を春季における平均的なエアロゾル消散係数の高度分布として使用した(図1右)。なお、高度3.5km以上では、高度11kmでほぼ0となるようにスケールハイトを仮定して高度とともに指数関数的に減少させている。このエアロゾル消散係数の高度分布を積算することでAMFを導出した。

また、UV域のエアロゾル消散係数の高度分布は532nmの後方散乱係数データよりロングストローム指数を求め、このオンストローム指数と532nmのエアロゾル消散係数より、UV域のエアロゾル消散係数の高度分布を求めた(図1左)。

このエアロゾル消散係数の平均高度分布を仮定して計算したAMFから導出される下部対流圏オゾン量と、UV,Visについてそれぞれ誤差範囲内でAerosol Optical Thickness(AOT)を変えて計算したAMFから導出された下部対流圏オゾン量を比較し、AOTの観測誤差による下部対流圏オゾン量導出への影響を推定した。AOTの誤差範囲は、MAXDOAS観測によるAOTの観測値とskyradiometer観測によるAOTの観測値との比較値(Irie et al., 2008)から20%と仮定した。

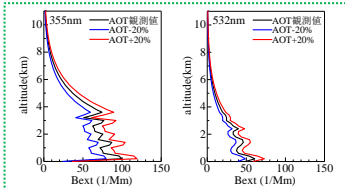


図1: 国立環境研究所のLIDAR観測によるエアロゾル消散係数の高度分布より求めたつづばでの2012年春季における平均的なエアロゾル消散係数の高度分布

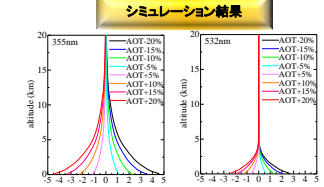


図2: 仮定したエアロゾル消散係数の高度分布で計算したAMFに対するAOTを誤差範囲で変えて計算したAMFの変化割合

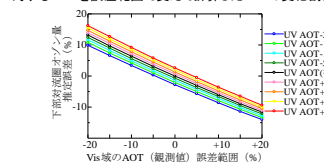
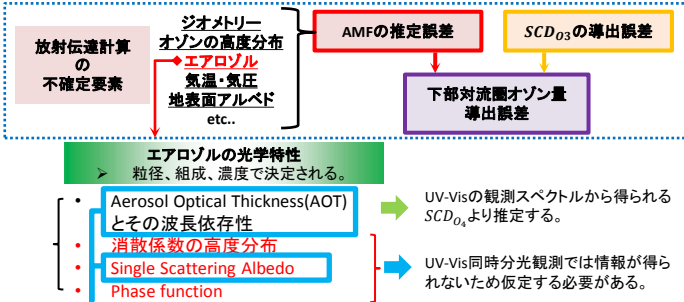


図3: 仮定したエアロゾル消散係数の高度分布で計算したAMFから導出された下部対流圏オゾン量に対するAOTを誤差範囲で変えて計算したAMFから導出された下部対流圏オゾン量の変化割合

まとめ

- > UV・Vis同時分光観測による下部対流圏オゾン推定に関し、光路長を放射伝達計算で求める際に仮定するAOT, SSAの誤差・変動に起因する誤差は、それぞれ最大で15%、12%程度となることが分かった。これらの値は、分光観測によるオンカラム量推定誤差に起因する誤差に比べて小さいが、誤差要因としてAOTとSSAは無視することのできないパラメータであると言える。
- > 衛星観測データによるAOT推定精度は、オンゾノ推定精度向上のため重要である。エアロゾル消散係数の高度分布の不確定性についても重要であると考えられ、誤差推定を行う予定である。
- > 地上観測データを活用することによって、放射伝達計算する際のSSAの仮定を適切に与える必要がある。他の地点、例えば高汚染地域でのSSA変動範囲についての知識が必要である。衛星観測スペクトルからの推定も有効である可能性がある。



つづばにおける国立環境研究所によるライダー観測データによるAOTと消散係数の高度分布、気象研究所のSky radiometerによるSSA観測値を参照して、エアロゾル光学パラメータの平均的な値と変動範囲を求めた。各パラメータをこの変動範囲内で変化させた様々な条件下での光路長を計算し、比較することで、光路長の各パラメータに対する依存性および、それらの推定誤差が与える光路長導出誤差の見積もりを実施した。

- ✓ 観測つづば 東京上空 400km 直下視観測 Solar Zenith Angle 30°
- ✓ 気温気圧 (U.S. standard atmosphere 1966) mid latitude spring/fall
- ✓ オゾン TRACE-P観測で得られた春期東アジアでの平均オゾン高度分布(Kita, private communication)
- ✓ 地表面アルベド 0.1

AMFの計算には放射伝達モデルSCIATRANver.3.1.24(Rozanov et al., 2010)を用いた。

シミュレーション II

AOTが同じであっても、エアロゾルによる吸収の有無によって光路長は有意に変化する。エアロゾル吸収を表すパラメータとしてSSAを用いる。気象研究所によりつづばで行われている2012年の年間Skyradiometer観測データから、SSAの年間の変動範囲を求めた。図3に示すようにSSAの変動範囲は、AOTより異なっていたので、観測されたAOT値はほとんどが0.05~0.15の範囲であったことから、AOTが0.05-0.1, 0.1-0.15, 0.15-0.2の3つの条件に分け、それぞれにおけるSSAの日平均データ中央66パーセンタイルの範囲をSSA変動範囲とした(表1,II)。各AOT観測値について、SSA中央値を仮定して計算したAMFおよび下部対流圏オゾン推定値と、上記範囲でSSAを変化させたときの推定値を比較した。

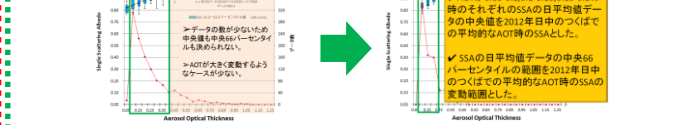


図3: 気象研究所のskyradiometer観測より求めたSSAとAOTの時間平均値

表 I : AOT別のSSAの中央値と中央66パーセンタイルの範囲(UV域)

中央値	AOT=0.05-0.1	AOT=0.1-0.15	AOT=0.15-0.2
84パーセンタイル	0.054	0.067	0.088
18パーセンタイル	0.029	0.039	0.060

つづばのskyradiometerで観測されたAOTが0.05-0.1, 0.1-0.15, 0.15-0.2それぞれの時のSSAデータの中央値で計算したAMFから導出される下部対流圏オゾン量とSSAデータの中央66パーセンタイルの範囲でSingle Scattering Albedo(SSA)を変えて計算し、導出された下部対流圏オゾン量を比較してSSAの条件を変えた際の下部対流圏導出への影響の見積もりを実施した。

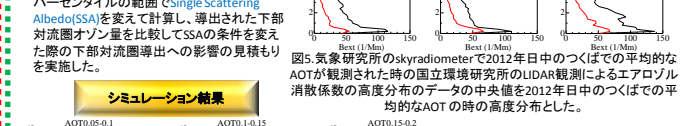


図4: 気象研究所のskyradiometer観測より求めた日平均SSAの変動範囲とAOTによる変化

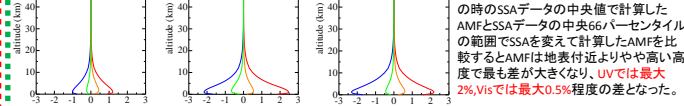


図5: 気象研究所のskyradiometer観測より求めた日平均SSAの変動範囲とAOTによる変化

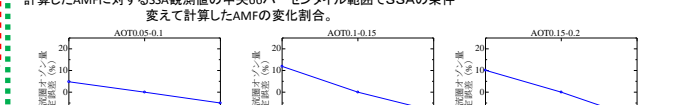


図6: AOTが0.05-0.1, 0.1-0.15, 0.15-0.2それぞれにおけるSSA観測値の中央値で計算したAMFに対するSSA観測値の中央66パーセンタイル範囲でSSAの条件を変えて計算したAMFの変化割合

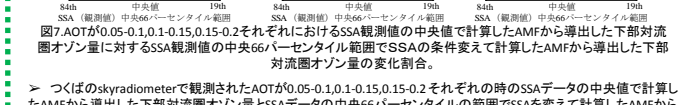


図7: AOTが0.05-0.1, 0.1-0.15, 0.15-0.2それぞれにおけるSSA観測値の中央値で計算したAMFから導出した下部対流圏オゾン量と、下部対流圏オゾン量推定値を比較して、下部対流圏オゾン量推定値は最大で12%程度となる。シミュレーション Iの結果と同様にVis域のSSAが中央値に対して正の方向に変動すると下部対流圏オゾン量は負の方向に変動し、一方でVis域のSSAが中央値に対して負の方向に変動すると下部対流圏オゾン量は正の方向に変動する結果となった。

本研究は、科学研究費補助金「可視域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」により実施されたものである。LIDAR観測データをご提供いただいた国立環境研究所、清水康夫氏、観測データを提供した気象研究所 内山明博氏、山崎明宏氏に感謝します。AMFの計算には放射伝達モデルRozanov Alexei氏他プレーメン大学によって開発されたSCIATRAN ver.3.1.24を使用しました。