

静止衛星・国際宇宙ステーション搭載紫外可視センサによる対流圏二酸化窒素の日内変動導出の検討

野口克行(奈良女子大学)、入江仁士(千葉大)

概要

二酸化窒素(NO₂)は、対流圏内で汚染物質として振る舞うだけでなく、光化学スモッグの主な原因である対流圏オゾンの前駆体としても重要である。

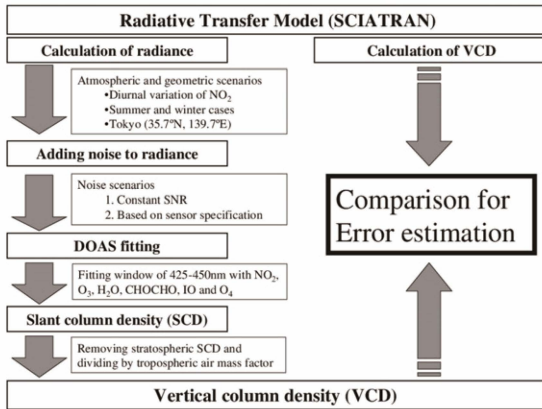
NO₂の動態を広域的にとらえるためには、人工衛星による観測が有効である。NO₂は寿命が短いため、大きな日内変化を示す。

我々は、次世代観測計画である静止衛星及び国際宇宙ステーション(ISS)による大気汚染観測を想定し、対流圏NO₂の日内変化観測が可能かどうか計算機シミュレーションを行い、必要なセンサSN比などを検討している。

本研究では、従来の静止衛星での結果を参考に、新たにISSを想定したジオメトリ(3パターン)に対するシミュレーションを行った。天底観測、並びに衛星視野角が45度傾く場合を想定した。

シミュレーションの結果、ISS観測においては、冬には天底観測が一番測定精度が良かったが、夏の場合は必ずしも天底観測が良いとは限らなかった。これは、太陽天頂角の違いが関係していると思われる。

シミュレーション手順

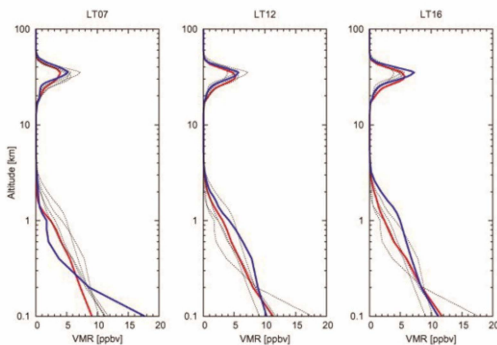


放射輝度のシミュレーション

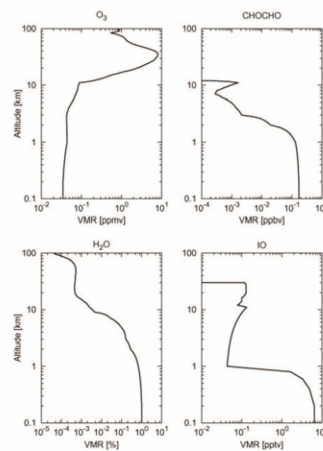
基本的なシミュレーション条件設定は、Noguchi et al. [2011]に従った。

仮定したNO₂高度分布

- 成層圏及び対流圏内で日内変化すると仮定
- 夏至と冬至を仮定



NO₂以外の気体種



- オゾン、CHOCHO、H₂O、IOを仮定
- これらは日内変化・季節変化はしないものとする

エアロゾルの仮定

- 都市汚染観測を想定し、都市部で標準的な混合状態条件を設定した
- 光学的厚さ:0.2

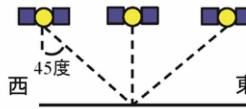
Table 1: Aerosol scenario

Layer Num.	Altitude range	Aerosol types	Components and number mixing ratios	Relative humidity
#1	0-2km	Urban	water soluble: 0.177 insoluble: 0.949E-5 soot: 0.823	80%
#2	2-10km	Continental average	water soluble: 0.458 insoluble: 0.261E-4 soot: 0.542	70%
#3	10-30km	Sulfate	sulfate: 1	0%
#4	30-100km	Meteoric	meteoric dust: 1	0%

ジオメトリの設定

- 静止衛星の場合
東経120度の赤道上、高度36000kmに位置し、東京を観測すると仮定

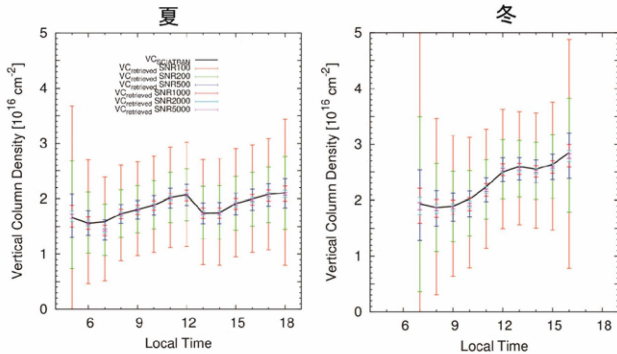
- ISSの場合
東京上空300km、視野角を0度(天底観測)、東西方向それぞれに45度の3ケースを想定



LT	GEO (120°E on the equator)				Tokyo (35.7°N, 139.7°E)			
	Summer solstice		Winter solstice		Summer solstice		Winter solstice	
	SZA	RAZ	SZA	RAZ	SZA	RAZ	SZA	RAZ
05	117.6	38.2	116.8	91.4	84.5	146.6	111.0	107.1
06	104.1	40.6	103.2	89.0	73.2	138.7	99.4	99.3
07	90.4	41.4	89.2	88.2	61.4	131.1	88.2	90.9
08	76.6	40.8	75.7	89.0	49.3	123.1	78.5	81.4
09	63.0	38.3	62.1	91.6	37.1	113.7	70.0	70.1
10	49.9	33.6	49.0	96.5	25.4	99.7	63.5	56.9
11	37.7	24.2	36.9	106.2	15.3	71.6	59.8	41.9
12	27.8	6.3	27.3	124.9	12.8	13.4	59.3	25.9
13	23.5	24.2	23.4	156.1	20.7	27.6	62.1	10.5
14	27.5	55.2	27.8	173.4	32.0	45.6	67.8	3.3
15	37.1	73.8	37.6	155.6	44.1	56.4	75.7	15.1
16	49.2	83.3	49.8	146.3	56.2	64.8	85.2	25.2
17	62.3	88.4	63.1	141.5	68.2	72.4	96.0	33.9
18	75.9	90.9	76.7	139.2	79.8	80.1	107.4	41.8
19	89.2	91.3	90.5	138.5	90.2	88.5	119.3	49.4

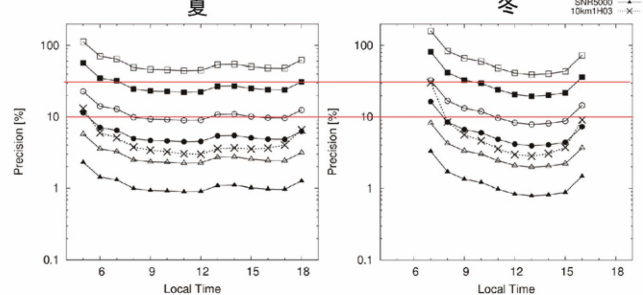
LT: local time at Tokyo, SZA: solar zenith angle, RAZ: relative azimuth angle. Satellite's zenith angle and azimuth angle at Tokyo are 46.4° and 211.5°, respectively.

静止衛星観測シミュレーション(従来の結果)



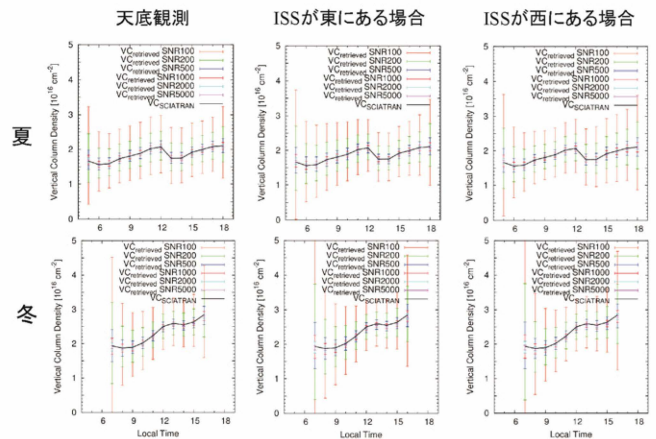
- NO₂の日内変化の大きさ: $0.5 \sim 1.0 \times 10^{16} [\text{cm}^{-2}]$ 程度
 - SN比は、少なくとも500は必要、極小値などを見るなら1000以上
- Noguchi et al. [2011]

静止衛星観測精度(従来の結果)



- 対流圏NO₂測定の実要求精度
→10-30% (GMAP-Asia, Akimoto et al., 2008).
 - 30%ならSN比200以上、10%ならSN比500以上が必要
 - 朝夕はさらに厳しく、10%を達成するには1000から2000程度必要
- Noguchi et al. [2011]

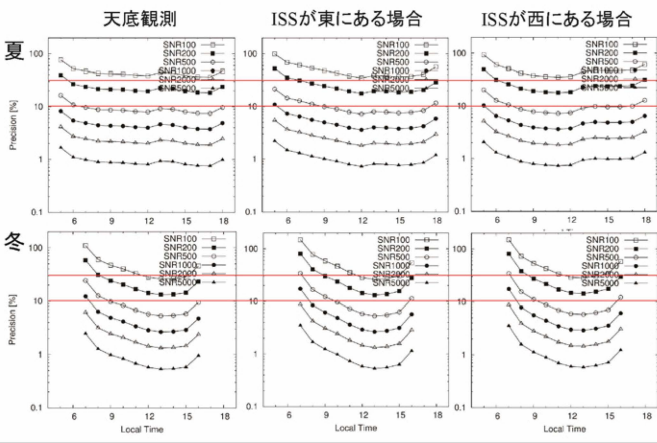
ISS観測のシミュレーション



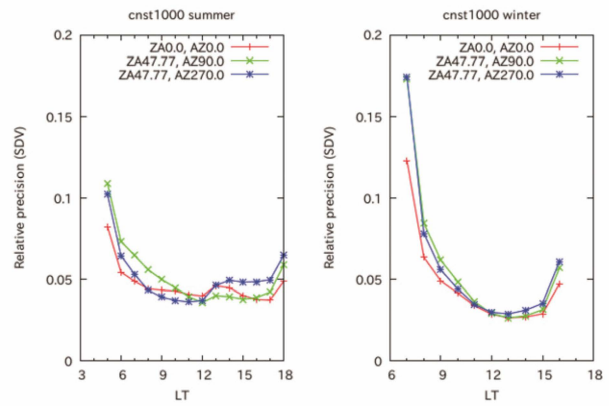
- 静止衛星観測の時と同様に、対流圏NO₂の日内変化を検出するには、SN比が500程度は必要
- ジオメトリによって結果は大きくは変わらないが、天底観測の時と比べて視野角が傾く場合は、若干測定誤差が大きくなる

ISS観測 精度

精度10%
→SN比が500(日中)、1000-2000(朝夕)が必要



ISS観測 ジオメトリ間の比較

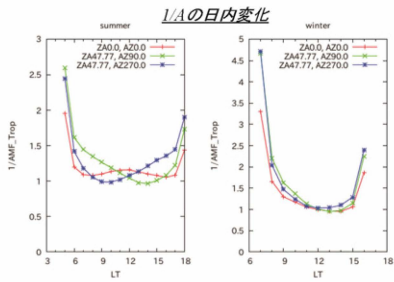


- SN比を固定し、ジオメトリによって精度がどのように変わるかを比較した
- 冬は、全ての時刻において天底観測が一番誤差が小さいが、夏は必ずしも天底観測が良いとは限らない
- 下記に示すように、精度の日内変化はエアマスファクターの逆数とよく似た変化を持つ
- 衛星視野角が同じの場合、エアマスファクターは太陽天頂角の依存性が大きい
- 冬は一日を通して太陽天頂角が大きいが、夏は天頂角の日内変化が大きく昼付近で太陽天頂角が小さくなるため、天底観測と衛星視野角が傾く場合とで差が出ていくと思われる。

精度の定義 $\frac{\sigma_V}{V} = \frac{\sigma_S}{VA}$

σ_V, σ_S : 鉛直コラム量、斜めコラム量の測定誤差
V: 対流圏鉛直コラム量
A: エアマスファクター

Vはジオメトリによって変化しないため、精度は σ_S と1/Aの双方で決まる



まとめ

- 従来の静止衛星による対流圏NO2日内変動シミュレーションに加えて、新たにISSによる観測シミュレーションを実施し、特にジオメトリの違いが観測精度に影響を与えないかを調べた。
- 考慮したジオメトリは、天底観測の他に、東西それぞれから視野角を45度傾けた場合の3通り
- 天底観測が一番誤差が小さくなると思いましたが、冬はその通りであったものの、夏は太陽天頂角が小さくなる日中は必ずしも天底観測の誤差が一番小さくなるとは限らなかった。
- 精度の日内変化には、エアマスファクターの逆数が大きく寄与している。