

## スペクトル取得型光学オゾンゾンデ観測からの 成層圏オゾン、二酸化窒素高度分布導出

村田 功<sup>1</sup>、野口 克行<sup>2</sup>、Andreas Richter<sup>3</sup>、Alexei Rozanov<sup>3</sup>, and John P. Burrows<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東北大学大学院環境科学研究科、<sup>2</sup>奈良女子大学大学院自然科学系

<sup>3</sup>Institute of Environmental Physics, University of Bremen

### 1. はじめに

東北大学では、上部成層圏のオゾンを直接観測する光学オゾンゾンデを開発し、宇宙科学研究所によって開発された高高度気球と組み合わせて三陸におけるオゾン高度分布観測を1994年から2007年まで14年連続して8月下旬～9月上旬の期間に行ってきた[1, 2, 4, 5]。また、2010年には大樹町で9月に観測を行っている。この装置は上部成層圏オゾン直接観測できる数少ない観測器であり、2010年には、オゾン以外に二酸化窒素なども同時観測できるよう小型分光計を用いたスペクトル取得型の観測器を開発したが、機器トラブルなどもあり2013年5月によりやく初観測を行った。しかし、解析を試みると改良すべき点が多くあることが分かり、二酸化窒素を精度よく観測するための改良を行い、2016年9月にこの装置を用いて観測を行った。今回は、解析がある程度進んだので、コラムではあるが観測結果について報告する。

### 2. 観測装置

光学オゾンゾンデは、オゾンハートレー帯吸収によって太陽光の 300 nm 付近の紫外線の強度が高度に対して変化することを利用してオゾン濃度の鉛直分布を得る[3]。ECC オゾンゾンデのように外気を取り込む必要がないため、大気の薄くなる30 km以上での観測精度がよいことが特徴である。受光面にはテフロン製の拡散板を用いており、これにより太陽追尾をしなくても光を観測器内部に取り込むことができる。現在のスペクトル取得型では入射光を小型分光器を用いて約280–500 nmの範囲で分光し、これを2400チャンネルに分けて測定している（波長分解能は0.7 nm）。これによりオゾン以外に二酸化窒素やOClO, BrOなどの吸収帯のスペクトルも取得できる。また、風速を求めるためにGPSを搭載し、緯度、経度、高度データを取得している。スペクトル取得型光学オゾンゾンデのサイズは340 x 170 x 250mm、重量は2.2kgである。

### 3. 2013年の観測における問題点とそれに対応した改良

2013年5月のスペクトル取得型光学オゾンゾンデによる初観測の解析を行ったところ、オゾンに関しては同時搭載した従来のフィルター型や札幌のオゾンゾンデと比較してまずまずの結果が得られたが、NO<sub>2</sub>に関しては1–40kmのスラントコラムでさえかなり大きな誤差(377%)でしか求まらなかった。なお、このNO<sub>2</sub>の解析では460–490nmのスペクトルから差分吸光法(DOAS)用の解析プログラムNLIN\_D[6]を応用してコラムを求めている。

解析過程でのデータのチェックや予備機を用いた実験室でのテストなどから、以下のことが原因であることがわかった。

1. 分光器アレイセンサーのピクセル毎のゼロレベルの差および感度ムラによるランダムでないノイズ成分がかなり大きい。
2. 分光器の温度変化による波長シフトや分解能変化があり、補正が難しい。
3. そもそもNO<sub>2</sub>の吸収量が不足している。

そこで、これに対し以下のような改良を行った。

1. 事前にピクセル毎のゼロレベルの差および感度ムラの較正用データを取得する。
2. 分光器の温度変化を抑えるため、保冷剤を用いた温度安定機構を構成する。
3. NO<sub>2</sub>の吸収量を増やすため、光路長の長くなる日出直後の観測を行う。

これらの改良の詳細については今年のシンポジウムで報告している[7]が、2016年の観測では、1によってスペクトルのS/Nはかなり向上し、2によって観測を開始した高度16km付近から最高高度の45kmに到達するまでの分光器温度の変化を0.8℃程度に収めることができた。また、3については、観測を開始する下部成層圏で日出を迎えるように放球することで、太陽光が観測器に到達するまでの光路長を長くとり2013年の観測時の10倍程度の吸収を狙った。それに伴いアルミ製の球面鏡を入射口の直上に設置して、日出直後のほぼ水平方向からの太陽光を観測器内に導くように改良した。

#### 4. 2016年の観測結果

これまでのところ、観測スペクトルの較正等に手間取っており、まだ高度分布を導出するところまでには至っていないが、NO<sub>2</sub>の成層圏カラムは導出することが出来た。

まず、高度1km毎に平均したスペクトルを図1に、その1916ピクセル付近および2136ピクセル付近の拡大図をそれぞれ図2、3に示す。これはまだ感度等の補正をする前のスペ

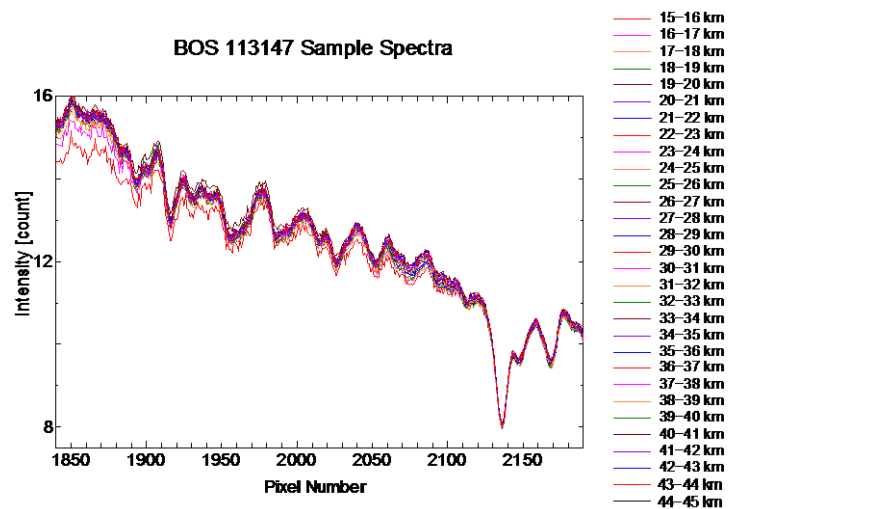


図1. 高度1km毎に平均したスペクトル

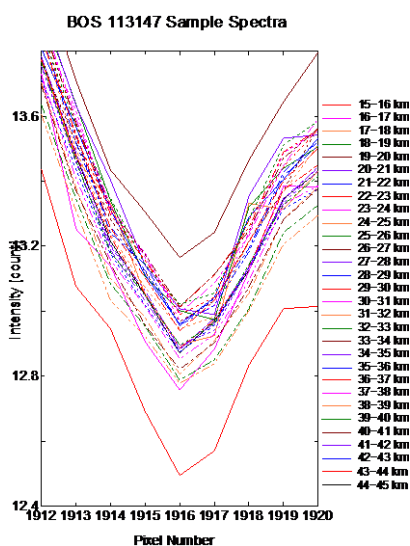


図2. 1916ピクセル付近の拡大図

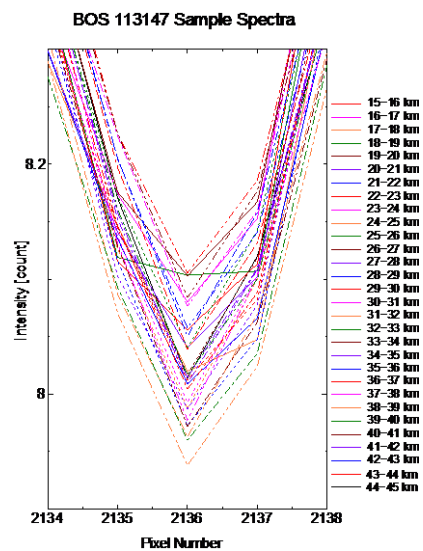


図3. 2136ピクセル付近の拡大図

クトルであるが、波長シフトがほとんど見られないことがわかる。このように、分光器の温度安定化によって、分光器の波長シフトをほぼゼロにすることができ、解析がかなりやりやすくなった。

次に、波長・感度等の較正を行ったあとのスペクトルの例を図4に示す。15-16kmのものはまだ日の出直後のため光量が小さくノージーだが、17-18kmや44-45kmのものは感度ムラなどもかなり補正されてS/Nがよくなっていることがわかる。

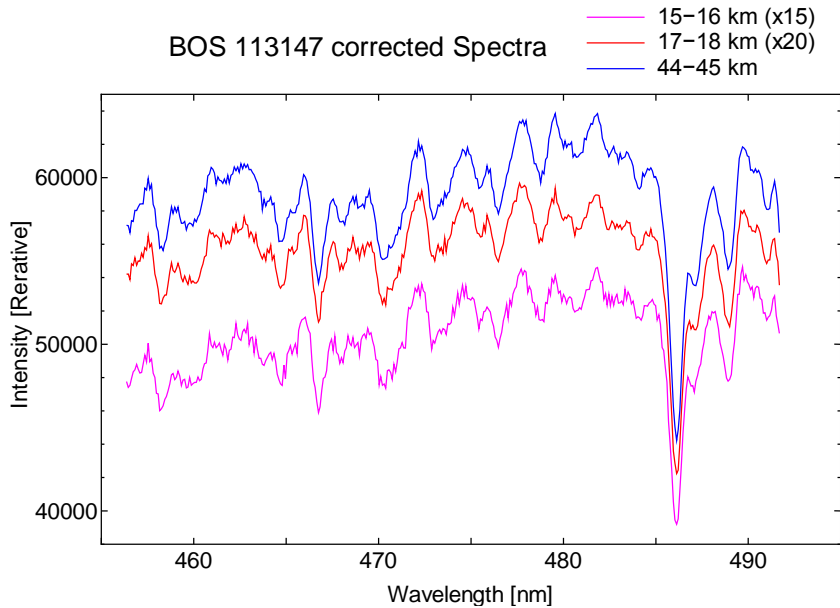


図4. 波長・感度等の較正を行ったあとのスペクトルの例

このように観測スペクトルは装置の改良によって2013年の観測時よりもかなり改善された。そこで図4の17-18 km, 44-45 kmのスペクトルの差からこの高度間のオゾンおよびNO<sub>2</sub>のスラントカラム量を[6]の手法でフィッティングにより求めた結果が図5である。オゾンについては吸収の特徴も明瞭で誤差3.6%と精度よく求まっており、NO<sub>2</sub>についても吸収の特徴はよく見えていて誤差も9.9%とかなり精度よく求めることが出来た。

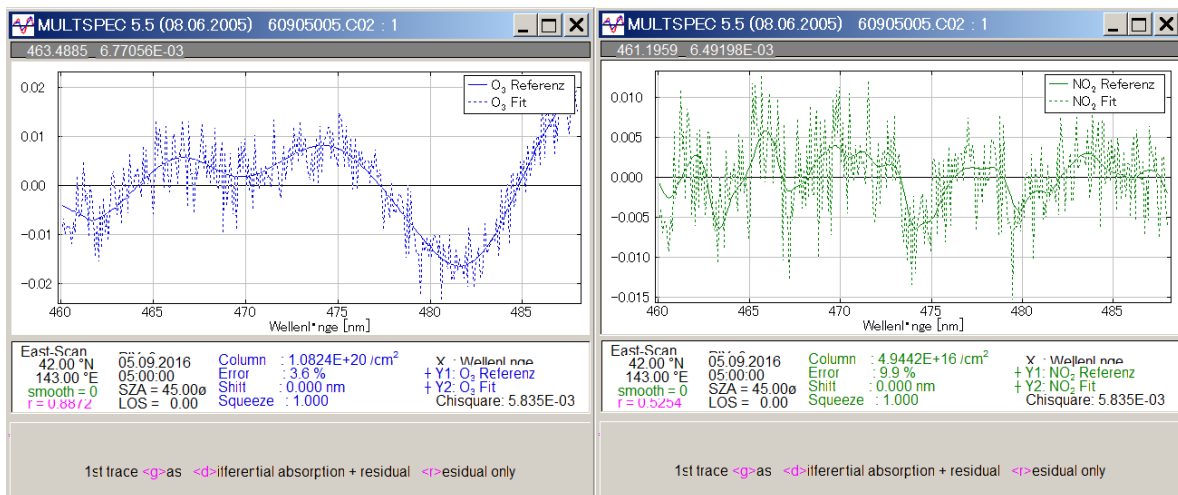


図5. 17-18 km, 44-45 kmのスペクトルから導出したオゾンおよびNO<sub>2</sub>のカラム量のフィッティング結果

今後は、高度分布を導出するため、今回は解析していない他の高度のスペクトルも使用して解析を進める。オゾンについては1 km毎、NO<sub>2</sub>についても数km毎の高度分布が導

出できるのではないかと考えている。

なお、今回のような日出直後の観測では300nm付近はオゾン吸収が強すぎるため、従来と同じ300 nmと420 nmの強度比からはオゾンの高度分布は求められないが、現在もう少し長波長側のオゾン吸収の弱い波長(310-350 nm付近)を使用したオゾン高度分布の解析も進めている。上記の460-490nmのスペクトルから求めるオゾン高度分布や札幌のオゾンゾンデとの比較も含め、今回の観測の精度検証を進めていく予定である。

## 参考文献

- [1] 岡林昌宏、田口真、岡野章一、福西浩、高高度気球搭載光学センサーによる成層圏オゾンの観測、*宇宙科学研究所報告特集*、**第32号**、105-111、1995.
- [2] 岡林昌宏、村田功、福西浩、高高度気球搭載光学オゾンゾンデを用いた成層圏オゾン高度分布の観測、*宇宙科学研究所報告特集*、**第40号**、45-54、2000.
- [3] Okano, S., M. Okabayashi, and H. Gernandt, Observations of ozone profiles in the upper stratosphere using a UV sensor on board a light-weight high-altitude balloon, *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **51**, 225-231, 1996.
- [4] Murata, I., K. Sato, S. Okano, and Y. Tomikawa, Measurements of stratospheric ozone with a balloon-borne optical ozone sensor, *International Journal of Remote Sensing*, **30**, 3961-3966, 2009.
- [5] 村田功、佐藤薫、山上隆正、岡野章一、富川喜弘、GPS搭載型光学オゾンゾンデの開発、*宇宙航空研究開発機構研究開発報告*、**JAXA-RR-08-001**、57-62、2009.
- [6] A. Richter, Absorptionsspektroskopische Messungen stratosphärischer Spurengase über Bremen, 53° N, PhD-Thesis, University of Bremen, June 1997 (in German)
- [7] 村田 功、野口 克行、改良されたスペクトル取得型光学オゾンゾンデによる成層圏オゾン、二酸化窒素の観測、平成28年度大気球シンポジウム集録, isas-16-sbs-009, 2016.