

# 多成分観測用スペクトル取得型光学オゾンゾンデの開発

村田 功<sup>1</sup>、野口 克行<sup>2</sup>

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

## 1. はじめに

東北大学では、上部成層圏のオゾンに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薄型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]。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に直接観測できる数少ない観測器であり、またオゾンや気温・風速の高度分布にみられる波状構造をもちいて大気重力波のパラメータも導出可能なように、2002年には観測器を改良しGPSを搭載し、ECCオゾンゾンデとの同時観測を始めた[5]。2004年からは超薄型気球を用いて高度 50km 前後までの観測を行っている。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、解析をしてみると改良すべき点が多くあることが分かった。ここでは、オゾンと二酸化窒素を導出する初期解析の結果と改良点について報告する。

## 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。従来の装置では内部に取り込まれた光を石英製のビームスプリッターによって分け、オゾンによる吸収を受ける波長 (300 nm) とオゾンの吸収を受けない波長 (420 nm) の2波長の強度をフィルターによる分光で測定し、観測器の揺れによる入射光量の変化を補正していたが、新しく開発したスペクトル取得型では小型分光器を用いて約280–500 nmの範囲を2400チャンネルに分けて測定している。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300 x 170 x 250mmで、重量は2.5kgである。

## 3. 観測

スペクトル取得型光学オゾンゾンデによる初観測は、JAXA大樹航空宇宙実験場(42.5° N, 143.44° E)において2013年 5月15日に行い、高度43.0 kmまでの観測に成功した。

## 4. 初期解析結果

スペクトルデータのうち従来型のフィルター式と同じ波長域(300 nmと420 nm)のデータのみを用いて同様の解析手法でオゾン高度分布を求めた結果を図1に示す。比較のために気象庁の札幌でのECCオゾンゾンデ観測結果から観測日の近いものふたつを同時に示している(ECCオゾンゾンデの観測をほぼ同時に行ったが、今回は装置の内部温度が0°Cを下回ったためか途中から異常に低い値を示しているため比較に使用できない)。

光学オゾンゾンデは高度20km以下では紫外線強度が小さくS/Nが悪くなるため20km以上で比較すると、ピークの25km前後では若干光学オゾンゾンデの値が低くなっているものの、それ以外の高度では両者はよく一致している。昨年の初期解析の時点では光学オゾンゾンデの値は小さめであったが、その後分光器の感度較正を行い解析し直したところ改善した。また、30km以上ではECCオゾンゾンデでは高度方向の細かい構造が捉えられていないが、光学オゾンゾンデでは波状構造が40km以上まで捉えられている。これらより、スペクトルデータからのオゾン高度分布導出はますます問題なく出来ていると考えられる。

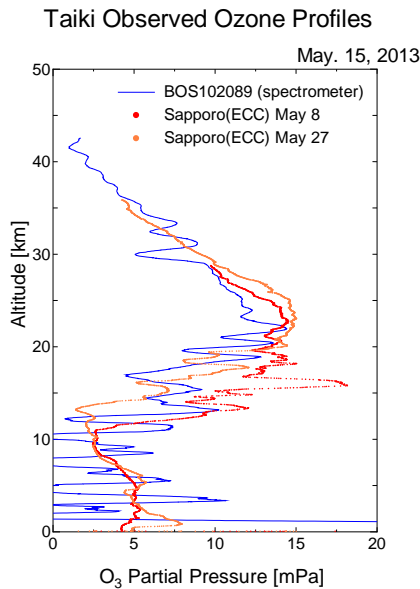


図1. スペクトルデータから求めたオゾン高度分布

次に、図2に460–490nmのスペクトルから1–40kmのオゾンおよびNO<sub>2</sub>のスラントコラムをフィッティングした結果を示す。この観測は差分吸光法 (DOAS) の手法に近いことから、DOAS用の解析プログラムを応用し解析を行った。解析プログラムは、ドイツ・ブレーメン大学で開発されたNLIN\_D[6]である。これを見るとオゾンは吸収も見られスラントコラムも $2.785 \times 10^{19}$  個/cm<sup>2</sup>、誤差13%とそれなりの値が得られているが、NO<sub>2</sub>は吸収がほとんど見られずスラントコラムも $1.137 \times 10^{15}$ 個/cm<sup>2</sup>、誤差377%とかなり小さくなっている。この原因としては、装置の温度変化による波長ずれや分解能変化、ピクセル間の感度ムラ、およびそもそもNO<sub>2</sub>に関しては吸収量の不足が考えられる。

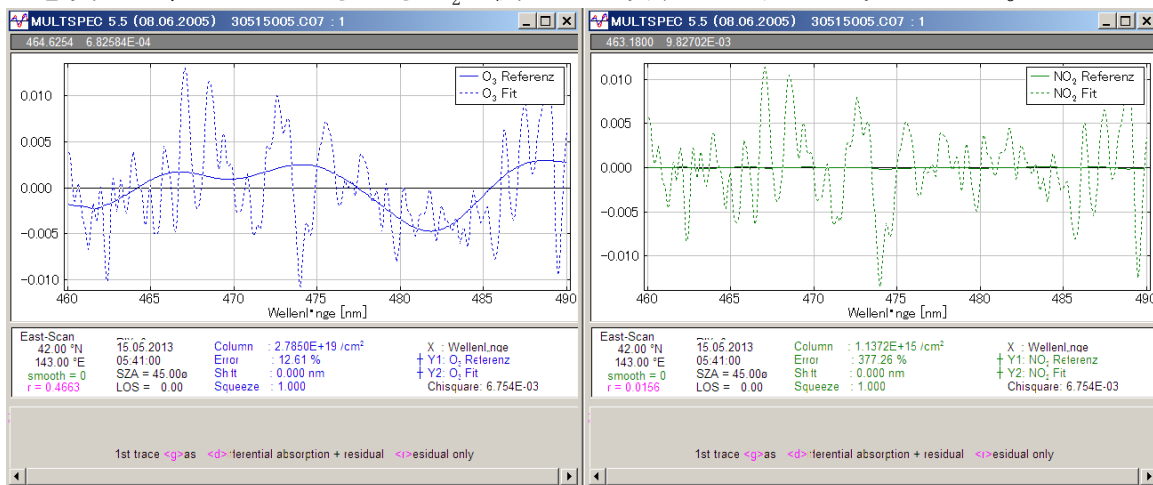


図2. 460–490nmのスペクトルから1–40kmのオゾンおよびNO<sub>2</sub>のスラントコラムをフィッティングした結果

## 5. 装置の改良案

波長ずれや分解能変化を抑えるためには分光器の温度変化を抑えることが重要である。しかし、この観測器は成層圏上部まで観測するために軽量にする必要があり、ヒーターや温度コントローラを搭載して能動的に温度安定化を図るのは重量的に難しい。そこで、現在考えているのは分光器を保冷剤とともに保温容器に入れることである。これにより放球前から分光器を0°C近辺に保つことができれば、波長ずれ等はかなり押さえられると考えられる。分光器の発熱量と放球後の観測時間との関係からどの程度の保冷剤を使えばよいかは検討中であるが、近いうちに実験しておく予定である。

NO<sub>2</sub>の吸収量については、日出直後に放球することで太陽光が大気中を通る経路を長く取り吸収量を増やす方法が考えられる。この場合、これまでの拡散板では太陽光を取り込みにくいので、図3に示すように半球状の鏡を使って反射光を光ファイバに取り込むように変更することを考えている。300nm付近を使ったオゾンの高度分布観測には逆に太陽高度が高い方が適しているが、オゾンの吸収帯はもう少し長波長側にも伸びているので、解析波長を変更することで対処出来る。2013年のデータでも長波長側を使ったオゾンの解析も試しておき、精度の検討をしておく予定である。

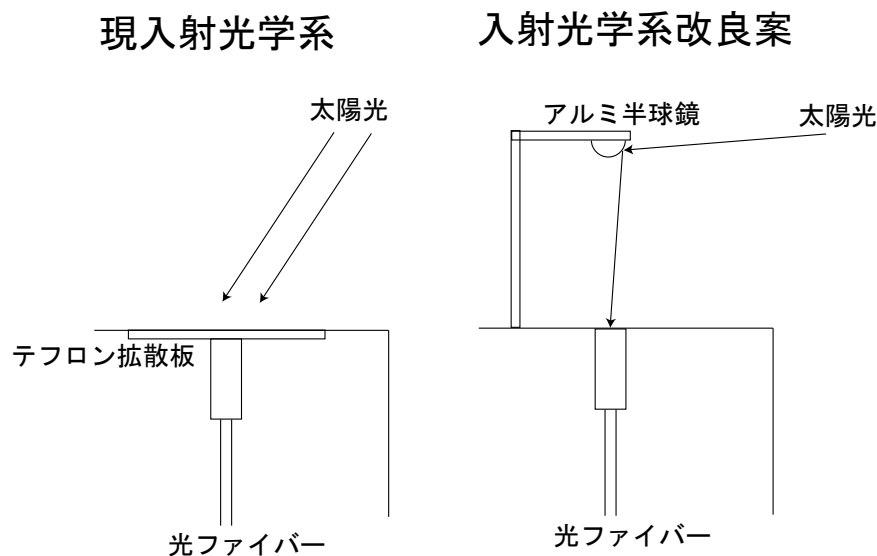


図3. 入射光学系の改良案

## 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 stratosphaerischer Spurengase u"ber Bremen, 53° N, PhD-Thesis, University of Bremen, June 1997 (in German)