

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観測の検証

村田 功¹、佐藤 薫²、富川 喜弘³、野口 克行⁴、橋本 優希¹

¹東北大学大学院環境科学研究科、²東京大学大学院理学系研究科、

³国立極地研究所、⁴奈良女子大学大学院自然研究系

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を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、放球直前に機器トラブルが発生し、観測を断念した。その後、対策を施し2012年9月に観測を計画したが、今期は気象条件が全く放球できる状況にならず観測には至らなかった。そのためこの新型による検証観測はまだ行えていない。ここでは、地上での試験観測から二酸化窒素の導出を試みた結果を報告する。

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200-700 nmの範囲を2400チャンネルに分けて測定する。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320 x 170 x 250mmで、重量は2.5kgである。

3. 観測器のトラブルと改修

2010年5月の放球直前にスペクトル取得型オゾンゾンデに発生したトラブルは、CPUのデータ書き出し命令が止まり、不定期に復活するというものであった。それ以前の試験では一度も起きなかったトラブルだが、この日は4回ほどストップした。その後の現象再現のため長期RUNによるテスト等を行ってもなかなか現象が再現しなかったが、高圧電源のような強烈なノイズ源を装置の近くで稼働させると再現することがようやく分かった。ただし、放球直前にこのような外来ノイズがあったとは考えにくく別の要因であった可能性も考えられること、また既にCPU基板は金属製のケースに収めるなどある程度のノイズ対策は施されているためこれ以上の対策により外来ノイズを完全に防ぐ

のは難しいことから、対策としてはCPUのデータ書き出し命令が止まった場合は20秒程度で自動復帰するプログラムを組み込むこととした。これにより、仮にノイズ以外の原因でCPUのデータ書き出し命令が止まったとしても、20秒(高度にして100 m 程度)のデータ欠損で復帰できる。装置は改修後にノイズ源を用いて試験をし、止まっても20秒以内に確実に復帰することを確認している。

4. 地上試験観測からの二酸化窒素の導出

二酸化窒素や OClO 、 BrO などの吸収量はオゾンに比べて非常に小さいため、実際の観測スペクトルからこれらの高度分布を導出する際には高度方向にある程度積分するなどの工夫が必要と考えられる。そこで、地上において日出時と南中時に測定した太陽スペクトルを用いて、これを気球観測の低高度および高高度での観測スペクトルと見なしてその差分から成層圏の二酸化窒素コラム量を求めてみた。この測定は差分吸光法(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。

図1に二酸化窒素のフィッティング結果を示す。測定は2012年2月6日日出直後(SZA=86.6-84.8°)と南中前後(SZA=54.11-54.08°)で、それぞれ10回の測定スペクトルを足し合わせてS/Nを向上させている。この解析では温度変化による波長ずれの較正、ピクセル毎の感度補正、拡散板の影響と思われるフラウンホーファー線のリングエフェクト補正などを行ったが、その結果 $9.8 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ と日出時のスラントコラムとしてはほぼ妥当な値が得られた。ただし、グラフから分かるようにまだS/Nは不足しているので実際の気球観測時にはもっと積分する必要はある。また、現在の波長分解能はFWHM=1.34nmでこれでも解析は可能だが、これはもう少し高い方がよいようなので、今後分光器の分解能を変更し、それに合わせて積分時間を増やしてS/Nを向上させる改良を行う予定である。

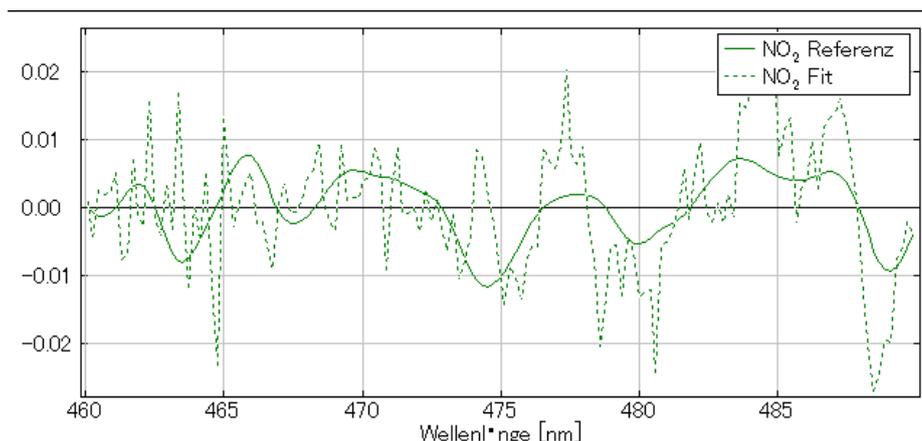


図1. 地上試験観測スペクトルからの二酸化窒素コラムフィッティング結果 (NLIN_DIによる)

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