

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高度分布観測

村田 功¹、佐藤 薫²、富川 喜弘³、野口 克行⁴、野本 理裕²

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、気象条件により放球機会がなく、2013年5月によりやく初観測に成功した。ここでは、この観測からオゾンと二酸化窒素を導出する初期解析の結果を報告する。

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280-500 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OC10, 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

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。また、ECCオゾンゾンデもゴム気球を用いて光学オゾンゾンデの約50分前に放球し、ほぼ同時の観測をおこなった。

4. 初期解析結果

まず、オゾン高度分布の初期解析結果を図1に示す。青実線がこれまでのフィルター式光学系のデータから求めたオゾン高度分布、青点線が分光器データから同じ波長領域のデータを取り出して同様の手法で求めたもの、赤実線がECCオゾンゾンデによるもの

である。光学オゾンゾンデは紫外線強度からオゾンを求めるため高度20km程度以下では精度が良くないので20km以上だけ見ると、フィルター式光学系から求めた高度分布の25km付近のピークでの値が10mPa程度で、これは大樹に近い札幌の気候値(14mPa程度)に比べて低くなってしまっている。現段階でこの原因は不明であるが、ただ30km付近では札幌の気候値とほぼ同じになり、それ以上の高度では問題ないと思われる。次に分光器データから求めた高度分布を見ると、33km付近から上の高度ではフィルター式の結果とよく一致しているものの、それ以下の高度ではフィルター式よりもさらに小さな値となっている。この原因としては波長感度特性の補正の問題が考えられるので、今後検討する。最後にECCによる高度分布を見ると、高度15km以上で異常に小さいことが分かる(高度11-15km付近の極大は高緯度性の気塊の流入と思われるので異常ではない)。この原因もまだ不明であるが、今回19km前後からポンプ温度が0°Cを下回っており、装置が冷えすぎてしまったことと関係があるかもしれない。

また、今回の観測ではGPS高度が不連続な値を示したり、GPS緯度も工学ゴンドラのデータとずれていたりといった不具合もあった。今回はGPSデータについては工学ゴンドラのデータを提供していただいて使用したが、これについても今後原因を調べる必要がある。

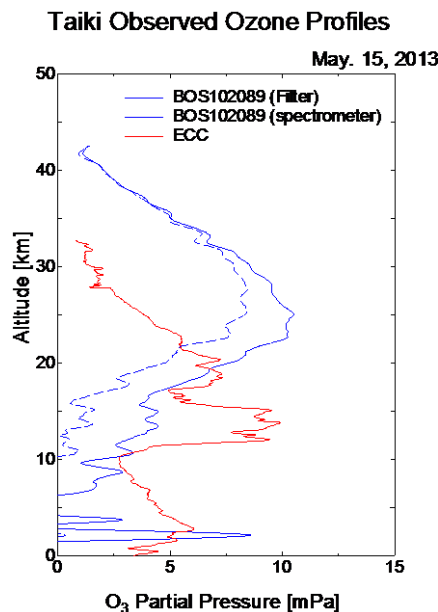


図1. オゾン高度分布の初期解析結果

次に、図2に460-490nmのスペクトルから1-40kmのオゾンおよびNO₂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 2.785×10^{19} 個/cm²、誤差13%とそれなりの値が得られているが、NO₂は吸収がほとんど見られずスラントコラムも 1.137×10^{15} 個/cm²、誤差377%とかなり小さくなっている。この原因としては、DOAS手法は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にかなりシビアであること、およびそもそもNO₂に関しては吸収量が足りないことが考えられる。分解能変化については今後補正する予定であるが、波長ずれはあとからでは補正しきれない可能性もある。観測時に温度安定化を図ることが一番ではあるが、その対策を行うと小型軽量のメリットが失われるため、現実的にはかなり厳しいのではないかとと思われる。感度ムラに関しては事前に補正用データを取っておけ

ば対処可能だが、今回に関してはあまりいいデータがなく十分な補正が出来ていない。NO₂の吸収量については、今後の観測で吸収量をかせぐには、日出直後に放球、あるいは日没時に水平浮遊しながら観測などの方法は考えられる。しかし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おり、これとの兼ね合いが難しい。ただし、オゾンの解析波長をもう少し長波長側（オゾン吸収の弱い波長）を利用することで対処出来る可能性もあるので、今後今回のデータで長波長側を使ったオゾンの解析も試してみる予定である。

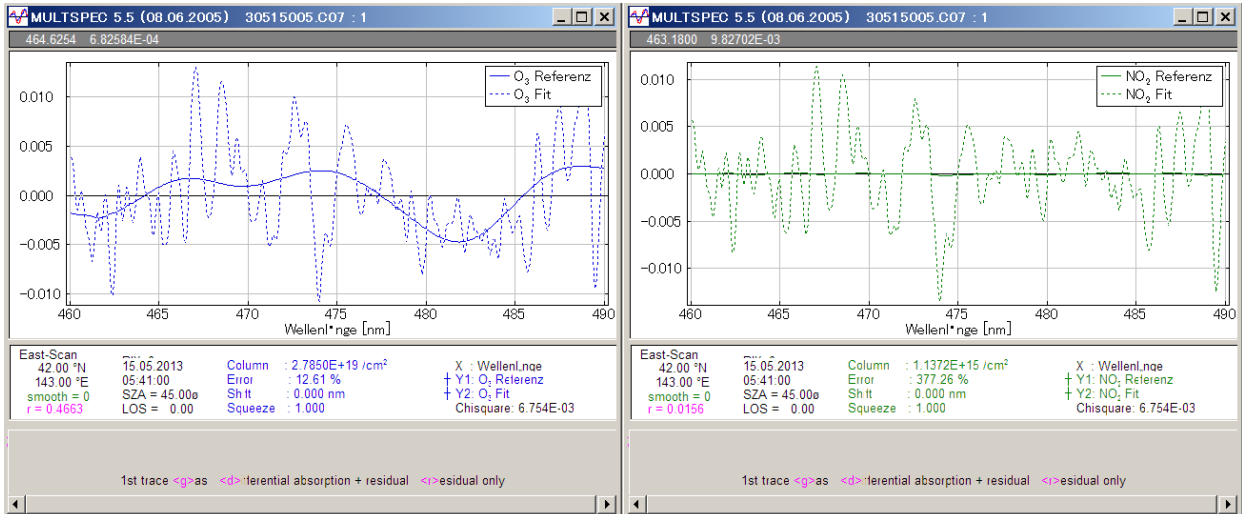


図2. 460–490nmのスペクトルから1–40kmのオゾンおよびNO₂のスラントコラムをフィッティングした結果

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