

ブリュワー分光光度計で観測した天頂光 O3 観測値の 再計算プログラムの開発

上里 至*

Development of the Recalculation Program for O3 Values by the Zenith Sky Observation Using Brewer Spectrophotometer

Itaru UESATO

要旨

ブリュワー分光光度計 MK II の O3・SO2 観測値には、測器内部のカットオフフィルターの劣化に伴う観測誤差が含まれており(伊藤・宮川：2001)、前報告(上里：2012)では、ブリュワー分光光度計 MK II の標準ランプ点検値を使用して直射光 O3・SO2 観測値の補正を行うプログラムを開発した。しかし、実際には天頂光 O3・SO2 の観測も行われているため、本稿では、その観測値について再計算を行える処理を追加させた。この天頂光 O3 観測値の再計算処理では、内部標準ランプ点検値を用いた補正の他に天頂光係数の算出を行う処理も加えた。その結果、天頂光 O3 観測値を即時的に再計算できるようになり、これまでの作業量を省力化できるようになった。

1. はじめに

ブリュワー分光光度計(Kipp&Zonen：2008a)の O3(オゾン)観測には、太陽直射光 O3 観測(以下 DS 観測(Direct Sun Ozone Observation)という)と天頂光 O3 観測(以下 ZS 観測(Zenith Sky Observation)という)があり、ZS 観測は太陽面が雲に覆われてしまうような気象状況のときに DS 観測値に代って利用される。ZS 観測値は、DS 観測値との比較をもとに決定する天頂光係数を使用して算出されるが、その天頂光係数は測器毎の特性および観測地点の気候などに左右されるため、測器のメンテナンスを行った後などは係数の見直しを検討する必要がある。

ZS 観測値の再計算は、ブリュワー分光光度計を O3 観測測器として運用している南鳥島気象観測所のデータについて行われてきた。しかし、天頂光係数の見直しとさらにそれを使用した ZS 観測値の再計算は、従来の方法だと膨大な作業になる。そこで、天頂光係数の算出から ZS 観測値の補正まで簡単に行えるプログラムを開発した。

今回の ZS 再計算プログラムは、「ブリュワー分光光度計 MK II の標準ランプ点検値を考慮した O3 観測値の補正を行うプログラムの開発」(上里：2012)において開発し

たプログラムに追加するように開発した。なお天頂光 SO2(二酸化硫黄) 観測値は補正しないこととした。

2. 天頂光係数と ZS 観測値の算出

2.1 天頂光係数の算出方法

天頂光係数については、ZS 観測で取得する O3 二重比、観測時の相対大気路程、標準ランプ点検値を考慮して補正を行った O3 大気外常数(Extra-Terrestrial Coefficient for O3 Wavelength Combination)および DS 観測値を使用して算出するため、それらのデータセットを作成する必要がある。従来のデータセット作成には、ブリュワー分光光度計のソフトにユーティリティツールとして付属している OZREC.EXE プログラム(Kipp&Zonen：2008a)を使用していたが、使用するデータ期間の日数分のパラメータファイルを事前に作成する必要があり、その作業に時間と手間がかかっていた。また、初めてその作業を行う場合、習熟するのに時間を要していた。そこで、簡単にデータセットを作成する処理を開発した。

データセット作成処理は、使用するデータの期間を入力しボタンを押下する(図 1 の②を参照)ことで、天頂光係数算出処理の一部として行うようにした。使用するデータの期間を簡単に変更出来るようにしたことで、観測測

* 高層気象台 観測第三課

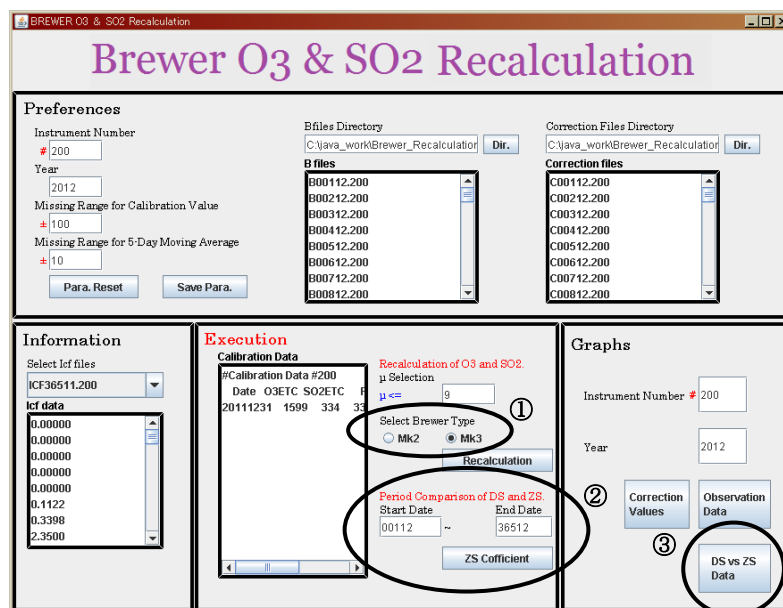


図 1 メイン画面(黒丸内は新しく追加した処理)

①ブリューワータイプ(MK II, MK III)の選択, ②天頂光係数の算出処理, ③DS・ZS 観測値比較グラフの表示

器の経時変化等により天頂光係数が変化した可能性がある場合、その係数の妥当性を容易に検討できるようになった。なお、使用するデータの選別は、ブリューワープログラムにおける観測成立の条件を準用し①DSおよびZS観測値の標準偏差が2.5以下であること、②一つの観測で行われるO3二重比の測定回数がDS観測で5回、ZS観測で7回を満たすことを条件とし、また、組となるDS観測とZS観測が同じオゾン全量の下で観測しているようにするため③両者の観測時刻が5分以内であることを条件とした。

上記のデータセットから天頂光係数を算出する処理は、前述と同様にユーティリティソフトLSQR4ZS.EXEプログラム(Kipp&Zonen: 2008a)を使用しており、またその処理作業は簡易で処理時間も早い。そのため、LSQR4ZS.EXEをそのまま外部プログラムとして呼び出して使用することとした。

2.2 ZS観測値の算出方法

ZS観測値は、次式で算出される(Kipp&Zonen: 2008a)。なお、ZS観測値の再計算は、補正したO3大気外常数と新しい天頂光係数を使用して行われる。

$$O_3 = \frac{-1 \times B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2 \times C} * 1000$$

$$A = k_1 + k_2 \times \mu + k_2 \times \mu^2 - \frac{O_{3double} - O_{3ETC}}{10000}$$

$$B = k_4 + k_5 \times \mu + k_6 \times \mu^2$$

$$C = k_7 + k_8 \times \mu + k_9 \times \mu^2$$

ただし、 $B^2 - 4AC < 0$ の場合、 $B^2 - 4AC = 0$ で計算する。

O_3 : 天頂光 O3 全量

$O_{3double}$: 観測で取得する O3 二重比

O_{3ETC} : O3 大気外常数

μ : 相対大気路程

$k_1 \sim k_9$: 天頂光係数

3. プログラムの概要

3.1 メイン画面の改良

図1は上里(2012)で開発したプログラムを改良したメイン画面である。図中の Execution, Graphs の項目に新しく天頂光係数算出処理および DS・ZS 観測値の比較グラフを表示するための入力窓とボタンを配置した。

・ Execution

①「Select Brewer Type」ラジオボタン

: ブリューワー分光光度計のタイプを選択。MK III なら O3 大気外常数の補正を行わない(上里: 2012)

②-1「Start Date and End Date」入力窓

: 天頂光係数算出に使用するデータ期間の入力窓

②-2「ZS coefficient」ボタン

: 天頂光係数算出処理を実行するボタン

・ Graphs

③「DS vs ZS Data」ボタン

: DS 観測値と補正前後の ZS 観測値の比較グラフ

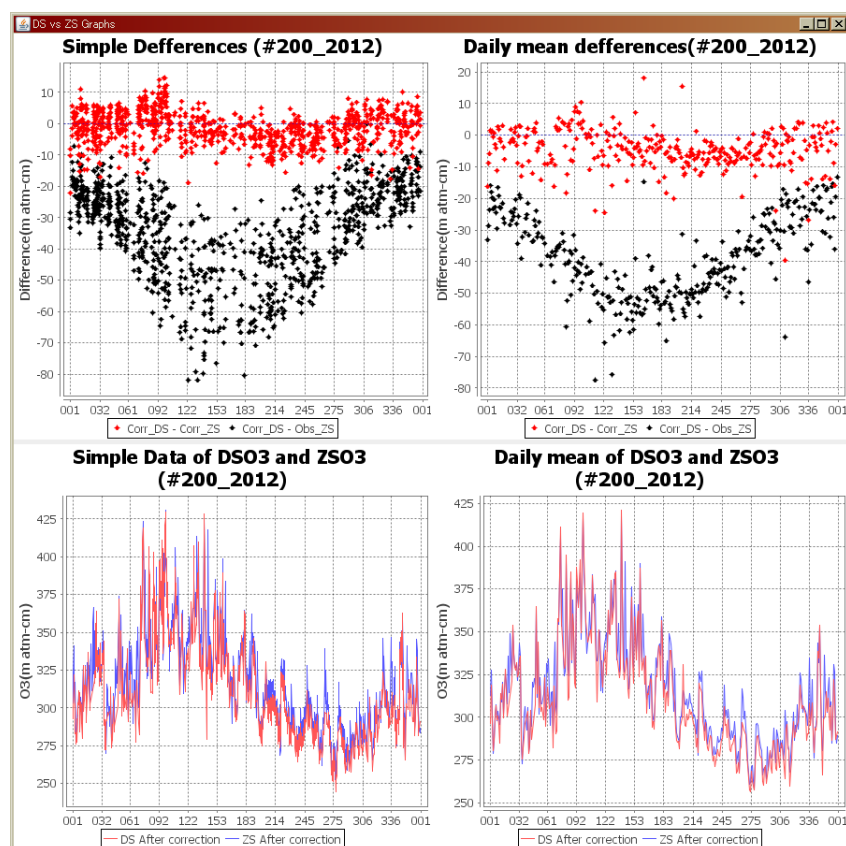


図 2 DS と ZS の比較グラフ(左列：個々の観測値(DS と ZS の観測時刻が 5 分以内の観測値のみ)，右列：日平均値)

(a)上段のグラフ：DS 観測値と補正前後の ZS 観測値の O3 の偏差グラフ

(黒点：DS 観測値－補正前の ZS 観測値，赤点：DS 観測値－補正後の ZS 観測値)

(b)下段のグラフ：DS 観測値と補正後の ZS 観測値の O3 の時系列グラフ

(赤線：DS 観測値，青線：補正後の ZS 観測値)

3.2 追加プログラムの使用方法と処理内容

プログラムの設定ファイルと観測データのディレクトリ構造は，(上里：2012)の通りである．今回の ZS 観測値の再計算に必要な LSQR4ZS.EXE を「Data_####」(####は測器番号)フォルダに保存した後，以下の手順で処理を行う．

- (1) 新しく追加した天頂光係数の決定処理を行う前に，Execution 項目の Recalculation ボタンを押下し，天頂光係数決定処理に必要な O3 大気外常数の補正值および DS 観測値の補正值を算出する．この処理は，標準ランプ点検値を使用した DS 観測値の補正処理と補正前後の観測値をまとめたファイルを出力する処理であったが，同時に ZS 観測についても同様の処理を行うようにした．なお，ブリュワー分光光度計 MK III については，O3 二重比の変動がほとんどないため DS 観測値の補正の必要はないが，天頂光係数算出用データセット作成には上記の処理で出力されるファ

イルを使用するため，最初にこの処理を行う必要がある．

- (2) Execution 項目の「ZS coefficient」ボタンを押下することで，天頂光係数算出に必要なデータセットをまとめた 4ZS.###ファイルが作成される．その後，ブリュワー分光光度計付属のユーティリティソフト LSQR4ZS.EXE プログラムを呼び出して，4ZS.###ファイルを元に新しい天頂光係数ファイル Zsf.###ファイルが作成される．
- (3) (2)で作成された天頂光係数ファイル Zsf.###を測器常数ディレクトリに保存したあと，再度 Execution 項目の Recalculation ボタンを押下すると新しく作成された天頂光係数を使用した ZS 観測値が算出される．

3.3 DS 観測値と ZS 観測値の比較グラフの表示

今回のプログラムでは，ZS 観測値の再計算後の変化がわかるように，Graphs 項目の「ZS vs DS Data」ボタンか

ら, DS 観測値と ZS 観測値の比較グラフを表示できるようにした. 例としてつくば(高層気象台, 測器番号: #200)で観測された DS 観測値と ZS 観測値の比較グラフを図 2 に示す. 横軸がユリウス日の日付, 縦軸がオゾン全量(m atm-cm)である.

- (a) 上段のグラフは, DS 観測値と補正前の ZS 観測値との偏差(黒点), DS 観測値と補正後の ZS 観測値との偏差(赤点)を示したグラフである. なお, 上段左は個々の観測値についての偏差で, 同じオゾン全量の下で観測しているデータを組みにするため, 両者の観測時刻が 5 分以内の観測値に限定している. 上段右は日平均値についての偏差である. 日平均値は, 全ての観測値を使用して算出しているため, 左のグラフで使用した観測値の平均値とは異なる.
- (b) 下段のグラフは, DS 観測値(赤線)と補正後の ZS 観測値(青線)を表示したグラフである. なお, 下段左は(a)で使用した個々の観測値, 下段右は日平均値を使用している.

3.4 DS 観測値と ZS 観測値の比較結果

3.3 の(a)DS 観測値と ZS 観測値の偏差を示すグラフにおいて, 新しい天頂光係数を使用した ZS 観測値は DS 観測値との偏差が小さくなった. しかし, 1 つ 1 つの偏差をみると, 個々の観測値(左グラフ)および日平均値(右グラフ)の両方で偏差の大きいデータがあり, 特に日平均値においては, ± 10 m atm-cm 以上の偏差をもった日が 40 日あった. 日平均値で偏差が大きくなる要因として, オゾン全量の日変化が大きい場合の観測時刻の違いによる影響が考えられ, それは雲の影響により DS 観測と ZS 観測で採用した観測値の数に差があるときに顕著に現れると推測される. 実際, 偏差の大きかった日の半数以上が雲の多い日であった. また, 天頂に厚い雲があるときの ZS 観測によるオゾン全量は通常より大きくなることもあり, その影響も考えられる.

一方, 個々の観測値の偏差について, 5 月から 10 月にかけて ZS 観測値が DS 観測値より大きく, 期間平均で 3.7 m atm-cm の偏差があった. しかし, それ以外の期間では平均すると両者の値はほぼ同じで, 季節により偏差に違いがあることがわかった. 個々の観測値は, 前述の通り, 同じオゾン全量の下で観測されていることを考慮すると, 季節による偏差の違いは, オゾン全量以外の気象要素が影響している可能性がある.

このように, ZS 観測値は, 従来通りの再計算処理のみでは上記の傾向を除去できていない. ZS 観測値の品質を向上させるには, それぞれの観測地点における DS 観測値と ZS 観測値の特徴を把握し, 両者の偏差の要因と補正方法を調

査する必要がある.

4. まとめ

- (1) ブリュウワー分光光度計の ZS 観測値について, O3 大気外常数の補正と天頂光係数の決定から再計算までのプログラムを開発した. このプログラムにより, 従来の ZS 観測値の処理にかかる作業を軽減することができるようになった. また, 天頂光係数の決定に使用するデータを簡単に選択できること, ZS 観測の再計算の結果がグラフとしてすぐに確認できるようになったことから, ZS 観測値の妥当性の検討を容易に行う事ができるようになった.
- (2) ZS 観測値は, 再計算処理を行った後も DS 観測値との間に系統的な差があることがわかった. その要因として, オゾン全量以外の気象要素が影響している可能性がある. これを明らかにすることで観測値の品質を向上させることが期待できる.

以上のように, 本稿では ZS 観測値の再計算処理を即時的に行うことが出来たが, 更なる観測地点毎の ZS 観測値の補正が必要であり, 今後はその調査を行う予定である.

謝 辞

本稿を草するに際し, 伊藤課長をはじめ高層気象台観測第三課の皆様には多大なご協力を頂いた. これらの方々に厚くお礼申し上げます.

引用文献

- 伊藤真人・宮川幸治 (2001): 二重分光光度計ブリュウワー MKIII による紫外域日射観測. 高層気象台彙報, **58**, 5 - 28.
- 伊藤朋之・上野丈夫・梶原良一・下道正則・上窪哲郎・伊藤真人・小林正人 (1991): 地上到達紫外線量の監視技術の開発. 気象庁研究時報, **43** - 5, 213 - 273.
- Kipp & Zonen (1996): Brewer MK III Spectrophotometer Final Test Record, BR#174. Kipp & Zonen Inc., 75pp.
- Kipp & Zonen (2008a): Brewer MK III Spectrophotometer Operators Manual. Kipp & Zonen Inc., 132pp.
- Kipp & Zonen (2008b): Brewer MK III Spectrophotometer Service Manual. Kipp & Zonen Inc., 125pp.
- McElroy, C.T., V. Savastiouk and T. Grajnar (2008): Standard operating procedures manual for the Brewer Spectrophotometer, Ver. D.01. Environment Canada, 138p.
- 上里至 (2012): ブリュウワ分光光度計(MK II)で観測した O3 観測値および SO2 観測値の標準ランプ点検結果を考慮した補正プログラムの開発. 高層気象台彙報, **70**, 43 - 50.