

WMO/GAW ドブソンオゾン分光光度計国際相互比較(2022 年)

津田 元気*・上野 圭介**

WMO/GAW Inter-comparison of Dobson Ozone Spectrophotometers, 2022

TSUDA Genki and UENO Keisuke

要旨

高層気象台が維持管理するドブソン分光光度計アジア地区準器の校正のため、オーストラリア国メルボルンのオーストラリア気象局において2022年12月5日から16日の日程で開催された WMO ドブソンオゾン分光光度計国際相互比較に参加し、ドブソン分光光度計世界第一準器との比較観測を実施した。比較観測の結果、前回(2017年2月)の国際相互比較から今回の国際相互比較までの5年間、アジア地区準器は良好に維持されていること、この間の観測値について修正は不要であることが確認された。

1. はじめに

世界気象機関(World Meteorological Organization : WMO)は全球大気監視(Global Atmosphere Watch : GAW)計画において、オゾン観測網で使用するドブソンオゾン分光光度計の観測精度を維持するため、世界第一準器、地区準器、地区内加盟国の測器で構成する校正体系を定めている。世界第一準器は、米国海洋大気庁地球システム調査研究所地球監視部(National Oceanic and Atmospheric Administration / Earth System Research Laboratory / Global Monitoring Division : NOAA/ESRL/GMD)が維持管理しており、同研究所地球監視部は世界校正センター(World Dobson Calibration Centre : WDCC)に任命されている。WDCC は WMO の勧告(第 40 回 WMO 執行理事会)に基づき、少なくとも 3 年に 1 度、世界第一準器と地区準器とのドブソンオゾン分光光度計国際相互比較(以下、「国際相互比較」という)を開催している。

気象庁は WMO 第 II (アジア)地区校正センターに任命されており、高層気象台はアジア地区準器 No.116 の維持管理を担っている。前回の国際相互比較は 2017 年 2 月に実施されたが(清水・上野, 2019), それ以降は新型コロナウイルス感染症の影響で延期されていた。2022 年に入り、国際的な人の往来が再開される中、WMO 第 V (南西太平洋)地区校正センターを担うオーストラリア気象局(Bureau of Meteorology : BoM)及び NOAA が、オーストラリア国メルボルンで国際相互比較を開催することとなり、当庁もこの

国際相互比較に参加することとした。

国際相互比較では、基準器と比較器を隣同士に並べ、タイミングを合わせ、太陽直射光によるオゾン全量観測を連続で実施する(以下、「比較観測」という)。本稿では、本国際相互比較において実施した世界第一準器とアジア地区準器との比較観測の測定・解析結果を報告する。

なお、以下の節においては、特定のドブソンオゾン分光光度計を、Dobson Ozone Spectrophotometer の頭文字 D 及び 3 桁のシリアルナンバーで示す。例えばアジア地区準器 No.116 は「D116」と記述する。また、本稿で使用するドブソンオゾン分光光度計の各種定数、点検の詳細については、気象庁(1970, 1991, 2018)及び WMO (2009)を参照されたい。

2. 参加機関と測器、スケジュール

本国際相互比較は 2022 年 12 月 5 日から 16 日の日程で開催され、4 機関から 5 台のドブソンオゾン分光光度計が参加した(表 1)。今回は天候不良により、比較観測は 9 日と 15 日の 2 日のみとなった。12 月 9 日の比較観測の様子を写真 1 に示す。

3. 期間中の測器状態

ドブソンオゾン分光光度計は精密光学電子機器であることから、輸送によるゆがみ、分光特性の変化、また長時間通電しないことによる電気的特性の変化等が一時的に生じる。そこで、測器の状態を確認するため、期間中各種点検を高頻度を実施した。

*気象庁 大気海洋部 予報課 航空予報室

**高層気象台 観測第二課

表 1 国際相互比較に参加した機関及び測器

測 器	参加国・機関	備 考
D083(基準測器)	米国・海洋大気庁 (NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration)	世界第一準器 手動観測
D116	日本・気象庁	第 II (アジア)地区準器 自動観測
D105	オーストラリア・オーストラリア気象局 (BOM : Bureau of Meteorology)	第 V (南西太平洋)地区準器 手動観測
D072	ニュージーランド・国立水圏大気研究所 (NIWA : National Institute of Water and Atmosphere Research)	ニュージーランド観測用測器 自動観測, 国内用 (Lauder) 用
D017	ニュージーランド・国立水圏大気研究所 (NIWA : National Institute of Water and Atmosphere Research)	ニュージーランド観測用測器 自動観測, 南極 (Arrival Heights) 用

3.1 水銀ランプ点検・シンメトリー点検

ドブソンオゾン分光光度計では、プリズムで測器内部に導入した光を測器前面にあるQレバーと連動して動く測器内部の水晶板で屈折させ、波長選択する。

水銀ランプ点検は、この波長選択が正しく行われているかを確認する点検である。12月5日にD116を組み立て、直後より水銀ランプ点検を実施した。本国際相互比較期間中の水銀ランプ点検結果を図1に示す。GAWでは測定したQ値と基準Q値の差0.3度未満を許容範囲としている。組み立て直後から12月8日までは負偏差がやや大きい。12月9日以降安定していることが分かる。

なお、屈折率は気圧により変化するので、観測点の高度差によっては補正が必要となる。補正は気圧100hPaにつきQ値を約0.5減じる必要がある。今回は高層気象台(茨城県つくば市)とBoM(メルボルン)の高度差(77m)が小さいため補正の必要がない。

水銀ランプを利用すると、1次分光・2次分光の対称性の確認(シンメトリー点検)も行うことができる。組み立て翌日の12月6日から8日にかけてこの点検を実施し、輸送に伴う光学系への影響が無いことを確認した。

3.2 標準ランプ点検

標準ランプ点検とは、ハロゲンランプを光源として疑似的にオゾン観測を行う点検である。点検結果は測器定数の監視及び観測値の補正に用いられる。輸出直前と期間中の標準ランプ点検結果を図2に示す。点検結果は期間中安定しており、輸送直前の2022年10月20日に実施した高層気象台における点検結果とほぼ一致した。

4. 比較観測

4.1 比較観測の方法

比較観測は、オゾン全量・反転観測で用いるC波長組、D波長組、A波長組での各1分の測定と、測器の方位角・太陽直射光導入用プリズムの仰角・波長選択の調整時間1分、合計4分を1周期として繰り返す。D105はすべての



写真1 12月9日に実施した比較観測

左奥が世界第一準器(D083)、右奥がアジア地区準器(D116)。手前右が南西太平洋地区準器(D105)、中央がニュージーランド測器(D072)、手前左がニュージーランド南極基地用測器(D017)。写真はBoMのSteve Rhodes氏より提供いただいた。

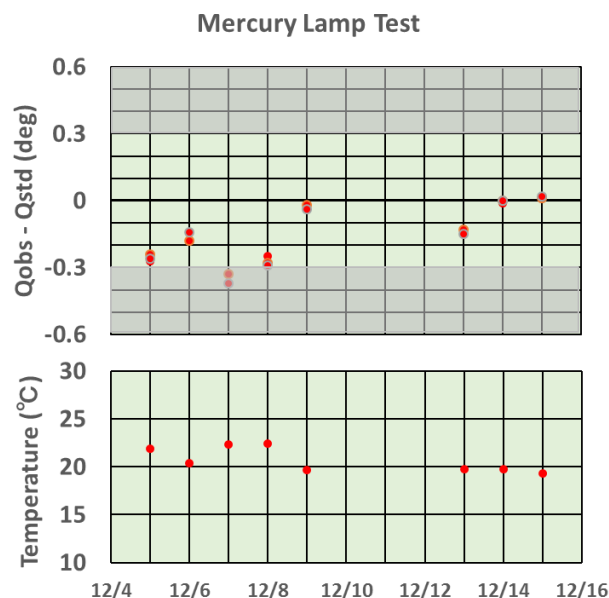


図1 D116の水銀ランプ点検結果の時系列

上図: 点検値と基準値との差。

下図: 点検時の測器温度。

なお、上図の灰色帯はGAW基準外の範囲。

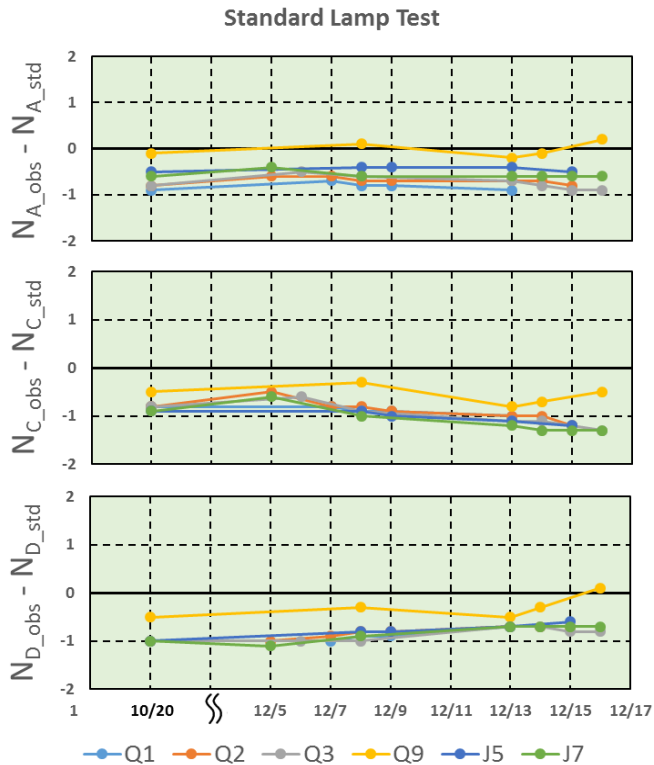


図2 D116の標準ランプ点検結果の時系列

縦軸は各波長組(A, C, D)における点検値(obs)と基準値(std)との強度比(N)の差を示す。凡例はランプ番号。

操作が手動で行われ、D083 は測定値の読み取り以外が手動で行われた。D116, D072 及び D017 は自動制御システム(宮川：2002, 2007)を使用し、方位角の調整のみが手動で行われた。

太陽の位置が南中に近い時間帯は太陽光がオゾン層を通過する大気路程(以下、「 μ 」という)の時間経過に対する変化が小さくなるので、 μ が 1.5 未満の時間帯では適宜測定を間引いた。また、測定値の品質管理のため、太陽面の雲の状態についても監視し記録した。

4.2. 比較観測の解析

D116 で現在使用している測器定数は、2010 年に実施した国際相互比較で決定されたものである。2013 年及び 2017 年の国際相互比較では、測器定数の変更は不要と判断された。

期間中 2 回実施した比較観測の日時と、直後の標準ランプ点検による補正値は以下の通り。

測定日時(LT : UTC+10) :

- ・ 2022 年 12 月 9 日 14 : 10~18 : 21 (μ 1.145~4.441)
- ・ 2022 年 12 月 15 日 14 : 38~17 : 53 (μ 1.201~3.105)

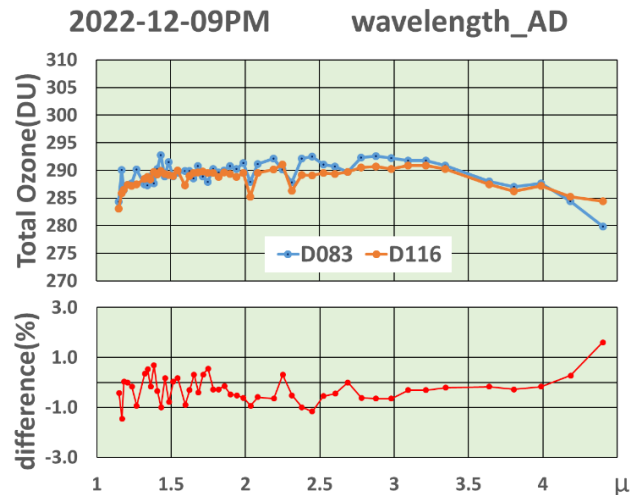


図3 12月9日午後の比較観測

D116 と D083 のオゾン全量(上)及びオゾン全量の偏差(D116/D083-1)(%) (下)。横軸は大気路程 μ 。

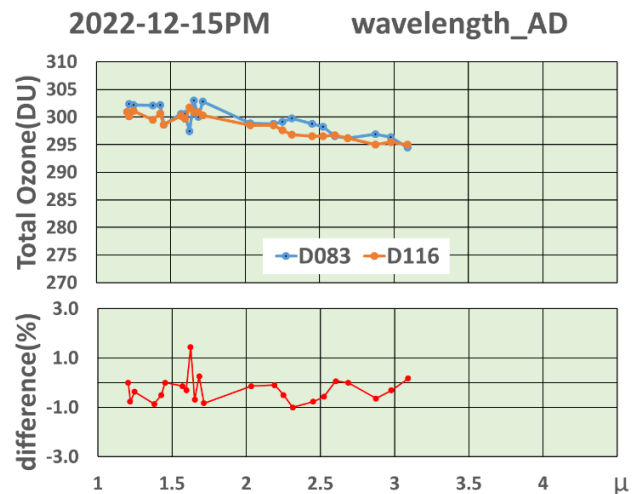


図4 12月15日午後の比較観測

D116 と D083 のオゾン全量(上)及びオゾン全量の偏差(D116/D083-1)(%) (下)。横軸は大気路程 μ 。

各波長組の標準ランプ点検による補正値(※) :

A 組 : -0.7, C 組 : -0.9, D 組 : -0.8 (9 日)

A 組 : -0.8, C 組 : -1.2, D 組 : -0.7 (15 日)

※清水・上野(2019)と同様に、標準ランプ 6 本のうち最も安定している Q2 ランプの補正値を採用。

解析にあたり、まず太陽面に雲がかかったデータを除去した。その後の解析は、WMO (2009)付録 D に従って行う。

基準器 D083 と比較器 D116 それぞれの測定値から算出したオゾン全量及びオゾン全量の差を図 3 及び図 4 に示す。評価は観測でよく利用する $\mu=1.15\sim2.5$ の範囲で行う。

D116 から D083 を差し引いた両日のオゾン全量は、
 9 日 -0.44% (D116 が D083 より 0.44% 小さい)
 15 日 -0.17% (D116 が D083 より 0.17% 小さい)
 であった。

GAW の求める精度は $\pm 1\%$ である。両日とも求められる精度内であることから、測器が良好な状態で維持されており、今回は測器定数補正値を算出して測器定数を変更する必要は無いと判断された。

5. まとめ

2022 年 12 月 5 日から 16 日にオーストラリア国メルボルンにおいて開催されたドブソンオゾン分光光度計国際相互比較に、高層気象台で維持管理しているドブソンオゾン分光光度計アジア地区準器 D116 で参加した。

比較観測の結果、前回(2017 年 2 月)の国際相互比較から今回までの 5 年間、アジア地区準器は良好に維持されており、5 年間の観測値について修正は不要であることが確認された。

謝 辞

滞在中終始お世話頂いた BoM の Lance Passamani 氏、Steve Rhodes 氏、NOAA の Glen McConville 氏及び NIWA の Penny Smale 氏に、心より感謝いたします。また、今回の国際相互比較に際して測器の輸送、出張に関する手続き等でご支援ご協力いただいた、気象庁本庁及び高層気象台の関係官に感謝いたします。

引用文献

- 気象庁 (1970): オゾン観測指針. 気象庁, 121pp.
 気象庁 (1991): オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編. 気象庁, 91pp.
 気象庁 (2018): オゾン観測指針 オゾン全量・反転観測編. 気象庁, 131pp.
 宮川幸治 (2002): ドブソン分光光度計の新自動制御方式. 高層気象台彙報, **62**, 27 - 44.
 宮川幸治 (2007): ドブソン分光光度計の自動化ウィンドウズシステムの高度化. 高層気象台彙報, **67**, 85 - 98.
 清水悟・上野圭介 (2019): メルボルンにおける WMO ドブソンオゾン分光光度計の国際相互比較. 高層気象台彙報, **76**, 17 - 20.
 WMO(2009): Operations Handbook - Ozone Observation with Dobson Spectrophotometer. *WMO/GAW Report*, **No.183**, 74pp.

<参考: 補正値の算出方法>

今回の国際相互比較では、世界準器 D083 とアジア地区準器 D116 との差は、GAW の要求精度 $\pm 1\%$ 以内であることから測器定数は補正しないこととなったが、参考として WMO (2009)付録 D に準拠した測器定数補正値の算出方法について、今回の比較観測を例に示す。

まず A 波長組, C 波長組及び D 波長組それぞれの N 値(強度比)について、D116 の N 値から D083 の N 値を引いた差(以下、それぞれ ΔN_A , ΔN_C , ΔN_D とする)を求める。

測器定数補正値を求めるには、測器間の平均的な差を把握する必要がある。4 分ごとの測定値は μ に対して等間隔ではないため、単純な平均は μ が小さいところに重みがある値になってしまう。そこで、まず 3 つの区間(μ の値 1.15~1.5, 1.5~2.0, 2.0~2.5)に分け平均し、そうして求めた 3 つの平均値を、さらに平均している。すると両日の補正値は以下のようになる。

$$\Delta N_A = -0.62, \Delta N_C = -0.25, \Delta N_D = -0.31 \quad (9 \text{ 日})$$

$$\Delta N_A = -0.01, \Delta N_C = 0.15, \Delta N_D = 0.11 \quad (15 \text{ 日})$$

この補正値を測器定数の一つである R-N 表に適用することで、両測器で算出されるオゾン全量をほぼ一致させることができる。

今回得られた補正値の $\Delta N_A - \Delta N_D$ は、9 日が -0.31, 15 日が -0.12 であり、これをオゾン全量の差に換算すると、4.2 で示した通り、それぞれ -0.44%, -0.17% となる。両日も要求精度内であることから、今回は補正値を適用しない(オゾン全量 300DU で $\Delta N_A - \Delta N_D$ の値が ± 0.70 のとき、オゾン全量の偏差が、おおよそ要求精度の $\pm 1\%$ となる)。

なお、要求精度を満たしていない場合は、測定条件が良い複数回の比較観測から補正値を決め、どの程度過去に遡って適用するか等も検討したうえで、測器定数(R-N 表、標準ランプの基準 N 値)に適用し、オゾン全量等を再計算する。