

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

清水 悟*・上野 圭介**

WMO/GAW Intercomparison of Dobson Ozone Spectrophotometers in Melbourne, Australia

Satoru SHIMIZU and Keisuke UENO

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・メルボルンのオーストラリア気象局において2017年2月13日から24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。太陽直射光によるアジア地区準器のオゾン全量は世界第一準器より0.76%だけ大きく、3年前に決定された測器常数の変化は求められる精度範囲内であり、アジア地区準器は良好な精度で維持されていたことが示された。

1. はじめに

世界気象機関(WMO : World Meteorological Organization)は、全球大気監視(GAW : Global Atmosphere Watch)計画の中で、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。米国海洋大気庁地球システム調査研究所地球監視部(NOAA/ESRL/GMD : National Oceanic and Atmospheric Administration / Earth System Research Laboratory / Global Monitoring Division)は、世界第一準器を維持管理しており、世界校正センター(WDCC : World Dobson Calibration Centre)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。2016 年は国際相互比較の実施年にあたり、世界第一準器 No.083 が保管されている世界校正センター(米国コロラド州ボルダー)での実施を検討していたが、世界第一準器を各国に持ち出すイベントが NOAA により数多く計画されていたため、当初年内に実施する調整がつかなかった。その後 NOAA より、2017 年

2 月の WMO 第 V (南西太平洋)地区相互比較に世界第一準器を持ち込むとの情報があり、NOAA 及び第 V 地区校正センターであるオーストラリア気象局(BoM : Bureau of Meteorology)と調整した結果、アジア地区準器も持ち込むこととした。これらの経緯から、NOAA から要請を受けオーストラリア・メルボルンで開催される国際相互比較に高層気象台より参加することとなった。

本稿では、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太陽直射光によるオゾン全量観測結果及び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 及び数値(測器番号)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)及び WMO(2009)を参照されたい。

2. 参加機関と測器

本国際相互比較は、NOAA の Glen McConville 氏及び開催地区校正センターである BoM の Steve Rhodes 氏らを中心に、2017 年 2 月 13 日から 2 月 24 日にかけて行われた。参加した機関及び測器を表 1 に示す。

3. 国際相互比較のスケジュール

国際相互比較における最大の目的は、基準器と比較器を隣同士に並べ、タイミングを合わせて太陽直射光によ

*気象庁予報部 情報通信課 **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	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
D052	フィリピン・フィリピン気象局 (PAGASA : Philippine Atmospheric Geophysical and Astronomical Services Administration)	フィリピン観測用測器 手動観測

るオゾン全量の連続観測を実施することである。しかし、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、温度変化による分光特性の変化、また長期間通電しないことによる電気的特性の変化等が生じる。そこで、測器の状態を確認するために、測器を組み立ててからしばらくは、各種点検を実施する必要がある。

D116 は、2 月 13 日に組み立て、次項で示す各種点検結果から 2 月 16 日に安定を確認した。しかし、D083 の米国からの到着が予定より遅れ 2 月 17 日になったため、比較観測の実施期間は 2 月 21～23 日となった。

比較観測の結果、D116 の精度に問題が無いことが確認できたため、2 月 23 日に D116 を梱包し 2 月 24 日に現地より搬出した。

4. 国際相互比較期間中の測器状態

4.1 水銀ランプによる測器状態の確認

水銀ランプ点検は測定時に正しい波長の光が導入されるか(波長選択)を確認するための点検である。2 月 13 日に D116 を組み立て通電した直後より水銀ランプ点検を実施して、測器の状態を確認した。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。組立て直後の 13 日は基準内であったが、14、15 日は輸送によるゆがみ、温度変化による分光特性、及び感部の電気的特性の影響と思われる基準外の点検値となった。

また、水銀ランプを利用して、1 次分光・2 次分光の対称性をチェックする波長点検(シンメトリー点検)について測器の状態が安定するまで実施し、輸送による光学系への影響がないことを確認した。

なお、ドブソンオゾン分光光度計はすり水晶板で導入した光を屈折させるプリズムにより波長選択する。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

は波長選択の補正を行う必要がある。補正は気圧換算で 100hPa の高度差につき 0.5 を減じるが、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)が小さいため補正する必要はない。

以上の点検結果から、2 月 16 日には D116 の状態が安定したと判断した。今回の国際相互比較実施期間中は継続して水銀ランプ点検を実施し、D116 の波長選択が正常であることを確認した。

4.2 標準ランプによる測器状態の確認

D116 の感度を確認するため、標準ランプ 6 個による点検を実施した。国際相互比較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、2017 年 1 月 2 日に実施した高層気象台における輸送直前の点検結果とほぼ一致した。なお気象庁の基準では、点検結果の過去 1 か月の平均値 ± 0.5 以内で良好としている(GAW では ± 1.0)。

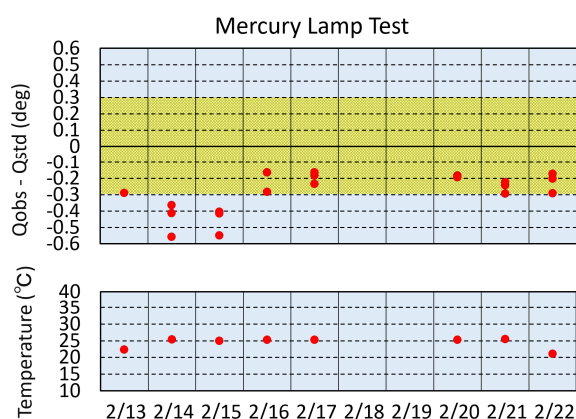


図 1 D116 の水銀ランプ点検結果

上図は点検値と測器常数から計算した基準値との差を、下図は点検時の測器温度を示す。なお、上図の黄色帯は点検値の正常範囲を示す。

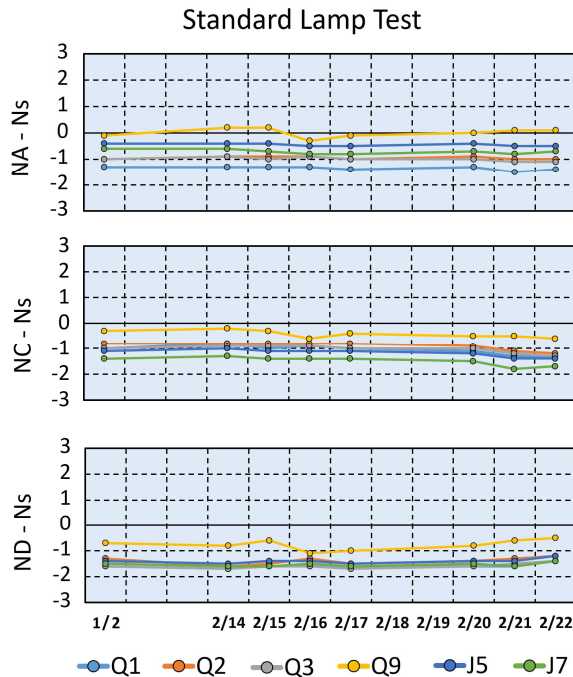


図2 D116の標準ランプ点検結果

各波長組(A, C, D)における点検値と測器常数である基準値との差を示す。

水銀ランプ点検同様、国際相互比較期間中は継続して標準ランプ点検を実施し、D116の感度が安定していることを確認した。

5. 太陽直射光による比較観測の結果及び評価

5.1 比較観測の方法

比較観測は太陽直射光により実施した。ドブソンオゾン分光光度計による観測で用いられるC波長組、D波長組、A波長組の観測を各1分行い、手動で行うドブソンオゾン分光光度計の方位角・仰角の調整及び波長選択の操作のための準備時間を1分確保し、合計4分を周期として観測を繰り返した。観測作業は、D105及びD052はすべての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及びD072は自動制御システム(宮川：2002, 2007)を使用した。

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。比較観測の解析は μ を元にして行うことから、 μ 1.5未満の時間帯は、適宜間隔をとって観測を行った。

5.2 太陽直射光による比較観測の結果

比較観測は期間中2回実施したが、大気の状態がより良いことから以下の比較観測を採用した。

観測日時：2017年2月21日

7時21分から11時56分(μ 3.533から1.136)

基準測器：D083

比較測器：D116

2月21日の太陽直射光による比較観測における、A波長組、C波長組及びD波長組のそれぞれについて、D116の強度比(N値)からD083のN値を引いた差(以下、それぞれdNA, dNC, dNDとする)を図3に示す。N値の差は μ 1.2~2.5の観測値を平均することで計算され、結果は以下のとおりである。

dNA = -0.68, dNC = -0.58, dND = -1.13

この結果は、前回の国際相互比較以降のD116の測器定数の変化であり、次項の評価において測器定数の変更が必要と判断された場合に適用される値となる。

なお、比較観測結果には比較観測直後に実施する標準ランプ点検の結果のうち、測器状態を追従できているランプの点検結果を補正值として加える。本相互比較期間

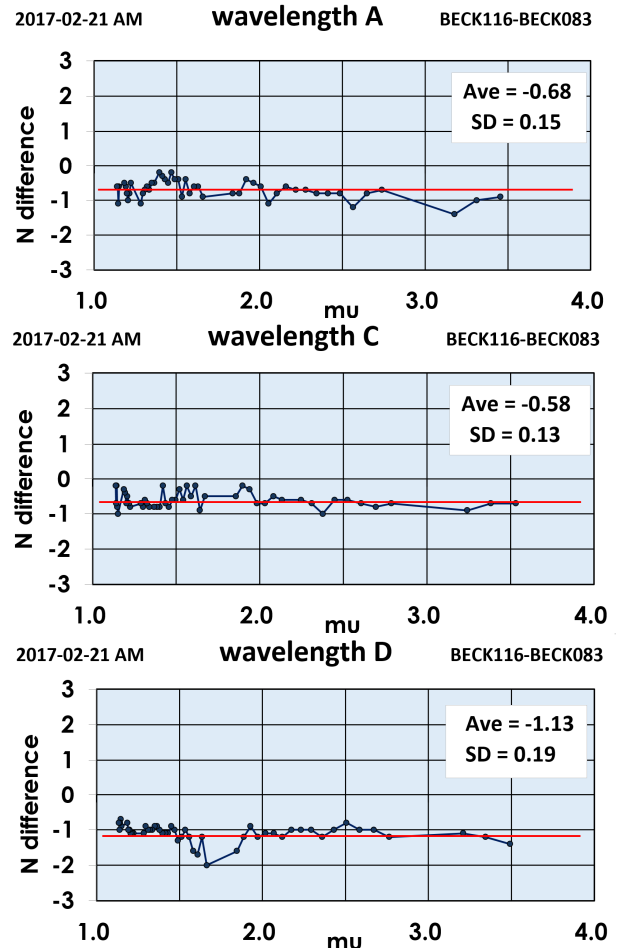


図3 比較観測結果

上：A波長組，中：C波長組，下：D波長組

それぞれ、縦軸はD083とD116の強度比Nの差を、横軸は大気路程 μ を、赤線は μ 1.2から2.5の平均値を示す。

及び前後の国内の点検結果から、D116 用の 6 本の標準ランプのうち Q2 ランプが安定しており D116 の測器状態を最も追従していると判断し補正值として加えた。各波長組の補正值は以下のとおりである。

A 波長組：-1.0, C 波長組：-1.1, D 波長組：-1.3

5.3 太陽直射光による比較観測の評価

オゾン全量観測においてドブソンオゾン分光光度計に求められる精度は 1%以内である。この精度を満たしているか確認するために、比較観測結果からオゾン全量を計算し評価した。D083 と D116 で観測したオゾン全量及びオゾン全量の差を図 4 に示す。比較を行った μ 1.2~2.5 の範囲において、D116 から D083 を差し引いたオゾン全量の差は、+0.76%であった(D116 が D083 より 0.76%大きい)。

以上のことから、前回の国際相互比較以降 D116 が良好な状態で維持されたことを確認できた。

6. まとめ

2017 年 2 月 13~24 日にオーストラリア・メルボルンにおいてドブソンオゾン分光光度計国際相互比較が開催され、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 を輸送し比較観測に参加した。

比較観測の結果、アジア地区準器 D116 のオゾン全量から世界準器 D083 の値を引いた差は+0.76%であり、前回(2013 年)の国際相互比較(押木ほか：2014)から今回の国際相互比較までの 3 年間、アジア地区準器は良好な精度で維持され、今回の国際相互比較において測器定数を変更する必要がないことが確認できた。



写真 1 2月21日に実施した比較観測

奥左から、世界第一準器(D083)、アジア地区準器(D116)。

手前左から、南西太平洋地区準器(D105)、ニュージーランド測器(D072)、フィリピン測器(D052)。

写真は BoM の Matt Tully 氏より提供いただいた。

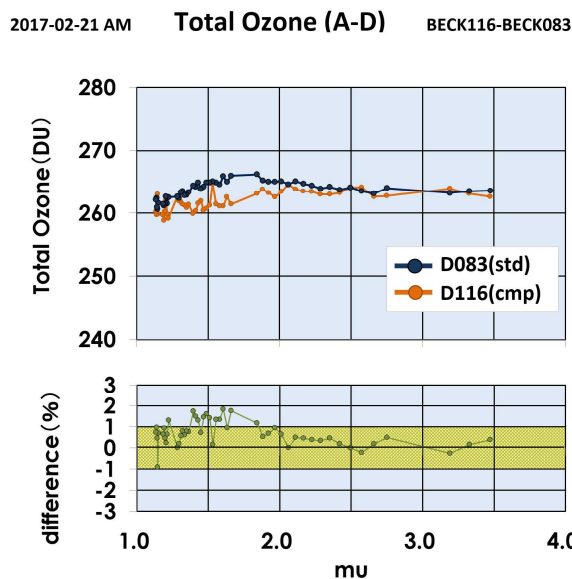


図 4 D116 と D083 のオゾン全量及びオゾン全量の差

上図：D116 と D083 のオゾン全量

下図：D116 と D083 の差(D116/D083-1)(%)

横軸は共に大気路程 μ である。また、下図の黄色帯は求められる精度(1%)を示す。

謝 辞

滞在中終始お世話頂いた BoM の Steve Rhodes 氏及び NOAA の Glen McConville 氏をはじめとする各国の国際相互比較参加者に、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.
- 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.
- 押木徳明・江崎雄治・居島修(2014)：ボールダーにおける 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, 72, 33-38.
- WMO(2009)：Operations Handbook – Ozone Observation with Dobson Spectrophotometer. WMO/GAW No.183, 74pp.