
 報 告

WMO ブリュウワー分光光度計の国際相互比較 2018 への参加

上里 至¹・中野 辰美²・高野 松美³・藤原 宏章⁴・滝沢 厚詩⁵

要 旨

気象庁は、トロントのカナダ環境・気候変動省 (Environment and Climate Change Canada : ECCC) において 2018 年 3 月 6 日から 23 日の日程で開催された、世界気象機関 (World Meteorological Organization : WMO) ブリュウワー分光光度計の国際相互比較観測へ参加した。本国際比較では、ECCC が所有する世界準器群との波長別紫外域日射とオゾン全量の比較観測を実施した。

比較観測の結果、気象庁の測器 2 台の積算紫外線量及びオゾン全量は共に、世界準器との偏差が $\pm 1\%$ 以内であることを確認した。

国際比較に参加した測器 2 台を基準として、国内及び南極昭和基地の観測値の確認及び校正を行うことで、観測精度が維持される。

1. はじめに

ブリュウワー分光光度計 (以下、ブリュウワー計と表記) は、回折格子を使用して太陽紫外線を分光することで、波長別の紫外域日射照度を高精度に測定する測器である。気象庁では、ブリュウワー計を使用した波長別紫外域日射観測 (波長 290.0 nm-325.0 nm を 0.5 nm ごとに測定) を 1990 年につくばで、1991 年に札幌と那覇 (ともに 2018 年 1 月をもって観測終了)、鹿児島 (2005 年 3 月をもって観測終了) で、1993 年に南極昭和基地で開始した。2017 年までの統計では、札幌、つくばでは、紅斑紫外線量 (人体への影響度を考慮して

算出した紫外線量で UV インデックスの元となる量) に有意な増加傾向があることが確認されている。

ブリュウワー計は、測定した紫外域日射照度の複数の波長から、オゾン全量 (地表面から大気上端までの大気柱に含まれるオゾンの総量) や二酸化硫黄全量、オゾン鉛直分布の観測も可能である。気象庁では、2018 年 2 月から札幌、つくば、那覇でのオゾン観測測器をこれまでのドブソン分光光度計からブリュウワー計へ変更した。

気象庁で使用しているブリュウワー計は、高層気象台観測第二課 (平成 28 年度まで観測第三課)

¹ 地球環境・海洋部環境気象管理官付オゾン層情報センター (現 高層気象台観測第二課)

² 高層気象台観測第二課 (現 佐賀地方気象台防災管理官付)

³ 高層気象台観測第二課 (現 大阪管区気象台気象防災部観測課)

⁴ 高層気象台観測第二課 (現 東京管区気象台気象防災部地球環境・海洋課)

⁵ 大気海洋部環境・海洋気象課
(令和 3 年 3 月 5 日発行)

によって校正・維持されてきている。同課では、測器感度を高精度に校正・監視するため、新型 NIST ランプ検定装置の開発（伊藤，2002）や外部標準ランプ点検装置の開発を行い、今日の測器感度の校正・監視においてもこれらの装置を使用している。また、回折格子により分光される光の測定波長を校正するため、分光常数校正装置を開発（伊藤ほか，2003）し、これにより測定波長の校正が高精度に実施可能となるだけでなく、オゾン全量観測におけるオゾン吸収係数の校正が可能となった。

高層気象台観測第二課では、ブリューワー計を使用した波長別紫外域日射についての調査も多数行っている。その一部を簡単に紹介する。

伊藤（2004）は、地面反射の波長別紫外域日射を観測する装置を開発し、地面反射率（反射光/全天光）が、コンクリートで 7 % 程度、芝で 2 % 程度、また積雪時は最大 94 % になると報告している。

伊藤（2005）は、散乱成分の波長別紫外域日射を観測する装置を開発し、晴天時の散乱率（散乱光/全天光）が、紫外域から近赤外域までの日射全体では 20 % であるのに対し、紫外域日射のみの場合 77 % で、紫外域日射の波長が短いほど散乱率が高くなると報告している。

Ito *et al.*（2015）は、東京大学宇宙線研究所が管理する乗鞍観測所（標高 2,772 m）において、波長別紫外域日射観測を 7 年間（夏季のみ）にわたって行い、晴天時の乗鞍観測所では、紅斑紫外線量が地上に比べ約 40 % 大きい（1,000 m ごとに約 15 %

増加）と報告している。

2. WMO ブリューワー分光光度計の国際相互比較について

WMO ブリューワー分光光度計の国際相互比較（以下、国際比較という）では、カナダ環境・気候変動省（Environment and Climate Change Canada: ECCC）が保有するブリューワー分光光度計世界準器群との比較観測による波長別紫外域日射の観測精度の確認、また世界準器群を頂点としたブリューワー計によるオゾン全量観測の校正体系においてオゾン全量の観測精度の確認と校正を行う。WMO（2001）では、オゾン全量観測について ±1 % の観測精度を要求しており、1 年から 2 年の周期で測器校正をする必要があるとしている。波長別紫外域日射観測については、観測精度の要求が明示されていないが、良い測器でも少なくとも 5 % 程度の不確かさがあると評価されている。気象庁では、1994 年に日本・カナダ二国間科学技術協力の一環として「オゾン層に関わる有害紫外線監視網確立に伴う技術的詳細情報の交換」のため、ボールダー（米国）で実施された国際比較に参加して以降、これまでに 1997 年、2002 年、2006 年、2010 年、2014 年にトロント（カナダ）で実施された国際比較に参加している（「下道ほか，1995」，「伊藤ほか，1998」，「伊藤ほか，2003」，「伊藤ほか，2007」，「Ito *et al.*，2011」，「上里ほか，2014」）。これまでの国際比較の参加者は、第 1 表のとおり。

第 1 表 ブリューワー分光光度計国際相互比較の参加者履歴

参加者	所属（当時）	年月	場所
下道 正則	高層気象台 観測第三課	1994 年 9 月	米国，ボールダー
伊藤 真人	高層気象台 観測第三課	1997 年 2 月から 3 月	カナダ，トロント
伊藤 真人	高層気象台 観測第三課	2002 年 4 月	カナダ，トロント
伊藤 真人	高層気象台 観測第三課	2006 年 3 月	カナダ，トロント
伊藤 真人	高層気象台 観測第三課	2010 年 3 月	カナダ，トロント
上里 至	高層気象台 観測第三課	2014 年 3 月	カナダ，トロント
上里 至	地球環境・海洋部 環境気象管理官 付 オゾン層情報センター	2018 年 3 月	カナダ，トロント

3. 国際比較の日程と実施内容

今回の国際比較は、カナダのトロントにおいて2018年3月6日から23日の日程で実施され、地球環境・海洋部環境気象管理官付オゾン層情報センターから上里が参加した。国際比較ではこれまで波長別紫外域日射の比較観測を主に実施してきたが、今回からオゾン全量の比較観測も追加されたため、国際比較期間をこれまでより数日長いものとした。

本国際比較の作業スケジュールと比較観測中の天気を付録第1表(巻末)に示す。本国際比較では、前回と同様に気象庁から2台(型番:BR#174(MKIII型), BR#113(MKII型))の測器をトロントに輸送し、世界準器群(型番:BR#145, BR#187, BR#191(全てMKIII型))との屋外での比較観測並びに室内での測器調整及び測器定数の確認と校正を実施した。詳細を(a)～(e)に記す。

- (a) ECCCの世界準器群との波長別紫外域日射、オゾン全量の比較観測
- (b) NISTランプ検定(米国標準技術研究所(National Institute of Standard and Technology: NIST)が維持する基準照度によって値付けられた1,000 Wハロゲンランプによる測器感度の検定)
- (c) 外部標準ランプ点検(50 Wハロゲンランプによる測器感度の点検)
- (d) 分光常数点検(スペクトルランプによる測定波長の分光点検)
- (e) 測器内部のパーツ交換

比較観測では、測器をECCC庁舎の屋上に設置し、波長別紫外域日射観測とオゾン全量観測を太陽高度角で制御する自動観測により行った(写真1)。国際比較期間中の天気は、前半は雲が多かったが、後半は連続した快晴日となり、良質なデータを取得することができた。

NISTランプ検定や外部標準ランプ点検、分光常数点検は、ECCCの暗室を使用して外部からの光を遮断した環境で実施した(写真2)。なお、日本国内で実施している点検と整合させるため、これらの点検装置は、通常使用している装置をECCCに持ち込んだものである。

その他、期間の中頃にECCCのグループミーティングに参加する機会があり、気象庁におけるブリュワー計を使用した観測と最近の活動について報告した。



写真1 ECCCにおけるWMOブリュワー分光光度計の国際比較2018の様子(庁舎屋上)。設定した比較観測のスケジュールが自動で実施される。右手前が気象庁の測器BR#113, その奥隣りが同じくBR#174である。

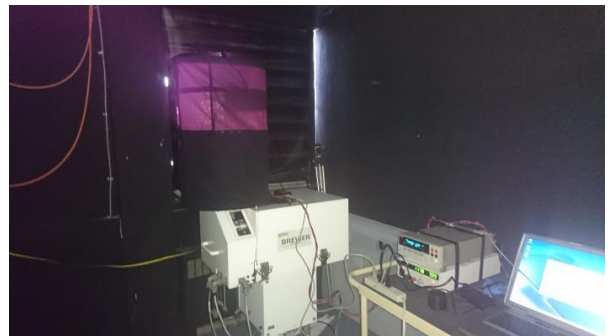


写真2 壁や天井が反射の少ない素材で塗装された暗室内でのNISTランプ検定の様子。ブリュワー計の上面に乗せた黒い筒が検定装置のランプハウスであり、外部の光を入射させないように実施する。

4. NISTランプ検定, 外部標準ランプ点検による測器感度の監視

NISTランプ検定は、International Ozone Service社がEarly *et al.* (1998)の検定装置を基に開発した可搬型NISTランプ検定装置(IOS型検定装置)を使用して実施した。この検定は、測器の輸送等による測器感度の変化を監視するために実施するもので、国際比較期間中、及びその前後で日本

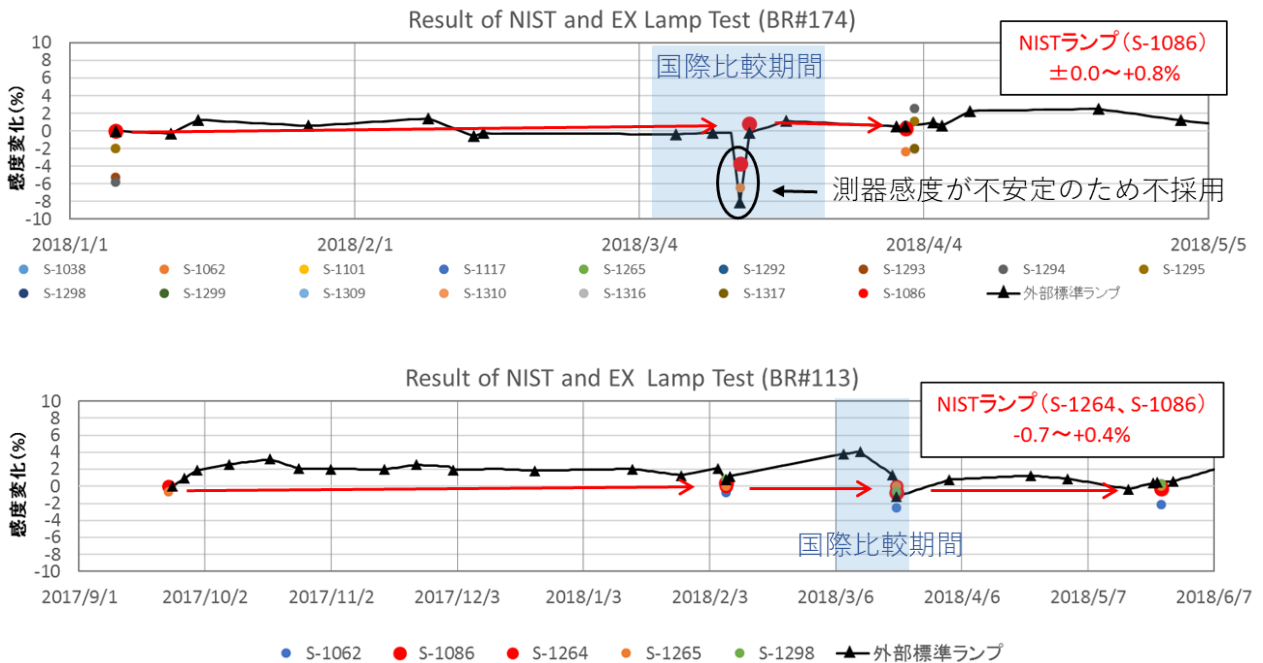
(つくば)においても実施した。外部標準ランプ点検についても NIST ランプ検定と同様に実施したが、加えて屋外での点検による比較期間をとおした感度変化の監視も行っている。BR#174 と

BR#113 の NIST ランプ検定と外部標準ランプ点検による測器感度の監視結果を第 2 表と第 1 図に示す。

第 2 表 BR#174 と BR#113 の NIST ランプ (S-1264, S-1086) の検定結果と同時に実施した外部標準ランプ点検の結果。数値は、測器感度定数を校正した日の NIST ランプと外部標準ランプの測定照度をそれぞれの基準照射照度値 ($\pm 0\%$) としたときの測定照度の変化量を示す。灰色の網掛けは不採用とした点検。

BR#174	2018/1/6	2018/3/15	2018/3/16	2018/4/2
場所	つくば	トロント	トロント	つくば
NIST (S-1086)	$\pm 0.0\%$	-3.7%	+0.8%	+0.3%
外部標準ランプ	$\pm 0.0\%$	-8.1%	-0.2%	+0.5%

BR#113	2017/9/23	2018/2/7	2018/3/21	2018/5/25
場所	つくば	つくば	トロント	つくば
NIST (S-1264, S-1086)	$\pm 0.0\%$	+0.4%	-0.7%	-0.3%
外部標準ランプ	$\pm 0.0\%$	+0.8%	-1.2%	+0.5%



第 1 図 BR#174 と BR#113 の NIST ランプ検定結果 (丸プロット) と外部標準ランプ点検結果 (黒線) による感度変化グラフ。基準となる NIST ランプ (S-1264, S-1086) の点検値は大きな赤丸プロット, 変化傾向は赤矢印で表示。

○BR#174 の測器感度の監視結果

本国際比較前の 2018 年 1 月 6 日、高層気象台において NIST ランプ (ランプ番号 S-1086) による測器感度定数の校正を実施した。以降の S-1086 による測器感度は、国際比較での点検 (3 月 15 日の点検を除く)、及び国際比較後の日本国内での点検において、 $\pm 1\%$ 未満で非常に安定している (第 1 図 赤丸プロット)。この結果は、同時に実施した外部標準ランプ点検の結果 (第 2 表 NIST 行) でも確認でき、測器感度は輸送による影響を受けず安定していることを示している。なお、3 月 15 日は大掛かりな測器のパーツ交換を実施した直後で測器感度が安定していなかった⁶可能性があるため、その日の点検データは採用しないこととした。国際比較期間中の屋外での外部標準ランプ点検結果による測器感度は $\pm 0\% - +1.1\%$ となり、屋外での比較観測時も測器感度が安定していることを確認した。

○BR#113 の測器感度の監視結果

2017 年 9 月に高層気象台で NIST ランプ (S-1264) による測器感度定数の校正を実施した。以降の新しい NIST ランプ S-1086 による測器感度は、本国際比較での点検、本国際比較後の日本国内での点検において、 $\pm 1\%$ 未満で、同時に実施した外部標準ランプ点検も概ね同様の結果となったことから、BR#174 と同様に測器感度が安定していることを確認できた。国際比較期間中の屋外での外部標準ランプ点検結果による測器感度は $+1.3\% - +4.0\%$ で、期間前半は感度変化が大きかったが、期間後半は安定していた。

5. 波長別紫外域日射観測の比較結果

波長別紫外域日射の比較観測では、気象庁の測器 BR#174, BR#113 と世界準器 BR#145 を使用し、290 nm-325 nm の積算紫外線量 (TUV)、紅斑紫外線量 (CIE)、及び波長別紫外域日射照度の比較を行った。比較する世界準器は測器感度定数が良く

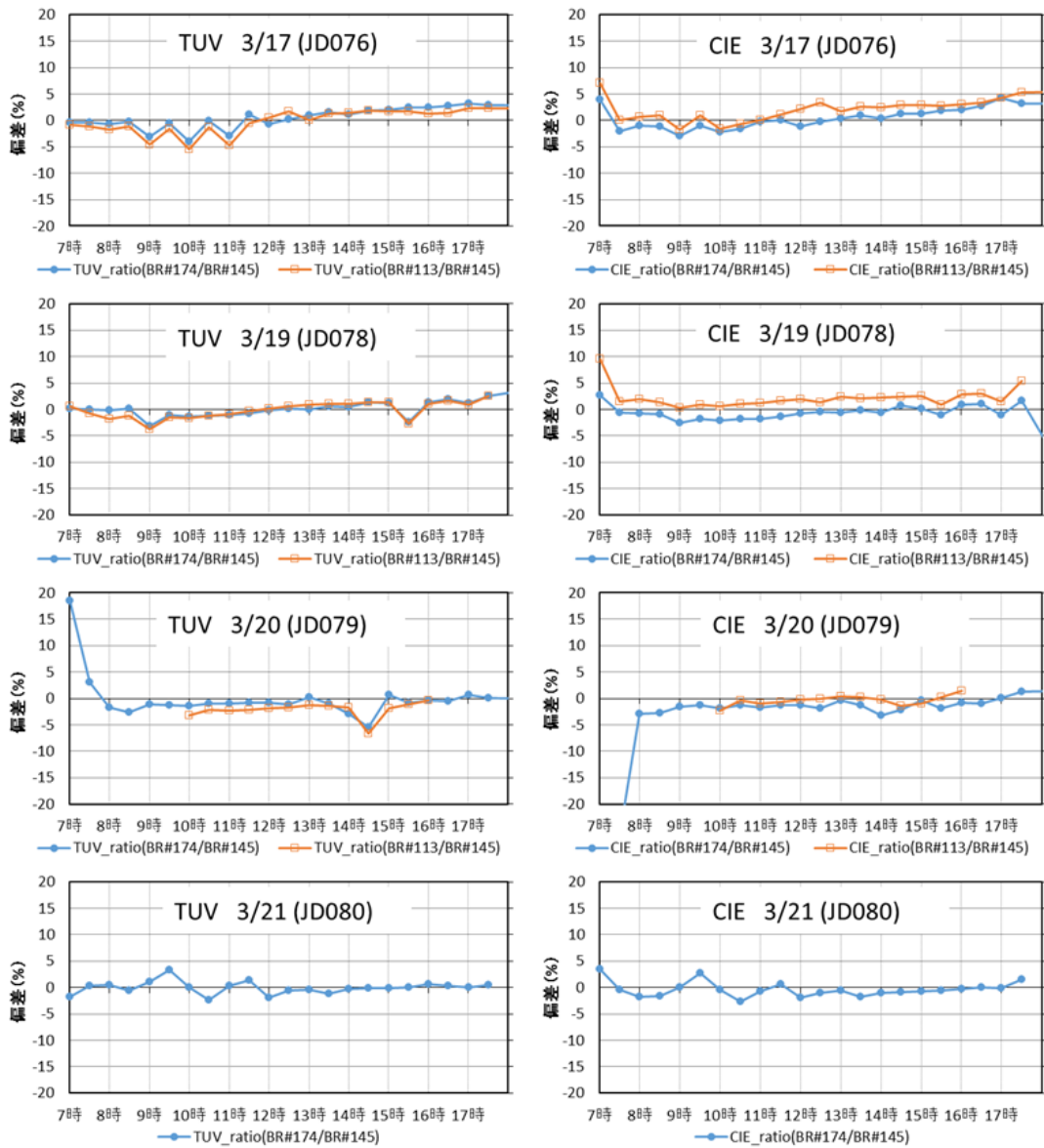
校正されている BR#145 を使用した。気象庁の 2 台と世界準器は、観測時刻にずれがあるため、スプライン補間で算出した毎正時と毎 30 分の観測値を比較することとし、比較には概ね快晴、薄曇りとなった 4 日間のデータを使用した。比較観測の 4 日間は、国際比較後半の 3 月 17 日、19 日、20 日、21 日である。BR#113 は暗室での NIST ランプ検定と屋外での外部標準ランプ点検及び測器の調整により比較は 17 日、19 日、20 日の 3 日間で、その内 20 日は観測時間が短いため参考値とした。

第 2 図は、4 日間における BR#145 を基準とした BR#174 と BR#113 の TUV, CIE の偏差グラフであり、第 3 表は、その TUV, CIE の偏差の日平均値 (波長別紫外域日射が強い 8 時から 16 時の偏差の平均値: 以下、日平均偏差という) を示す。途中、雲の影響で差が大きくなった時間は除いた。また、第 3 図は、世界準器 BR#145 を基準とした BR#174 と BR#113 の TUV と CIE の各時刻の波長別偏差を示している。なお、気象庁では外部標準ランプ点検による感度変化を元に観測値の補正を行っているため、BR#174 と BR#113 は比較期間中の点検結果を基に約 -1% の補正を観測値に対して行っているが、BR#145 は観測値をそのまま使用した。

○BR#174 の波長別紫外域日射の比較結果

第 2 図の TUV の偏差グラフでは、世界準器との偏差は概ね $\pm 5\%$ の範囲内となっているが、3 月 17 日と 19 日は TUV と CIE とともに午前から午後にかけて偏差が高くなっていく傾向がある。この傾向は、BR#113 でも同様にみられ、明確な要因は不明である。第 3 表に記した日平均偏差は、TUV が $-0.8\% - +0.8\%$ (平均 $\pm 0.0\%$)、CIE が $-1.4\% - +0.3\%$ (平均 -0.7%) であった。第 3 図の波長別紫外域日射照度の偏差グラフにおいても、BR#145 との偏差は概ね $\pm 5\%$ の範囲内であるが、短波長の 300.5 nm, 302.5 nm で BR#174 の日射照度が弱く

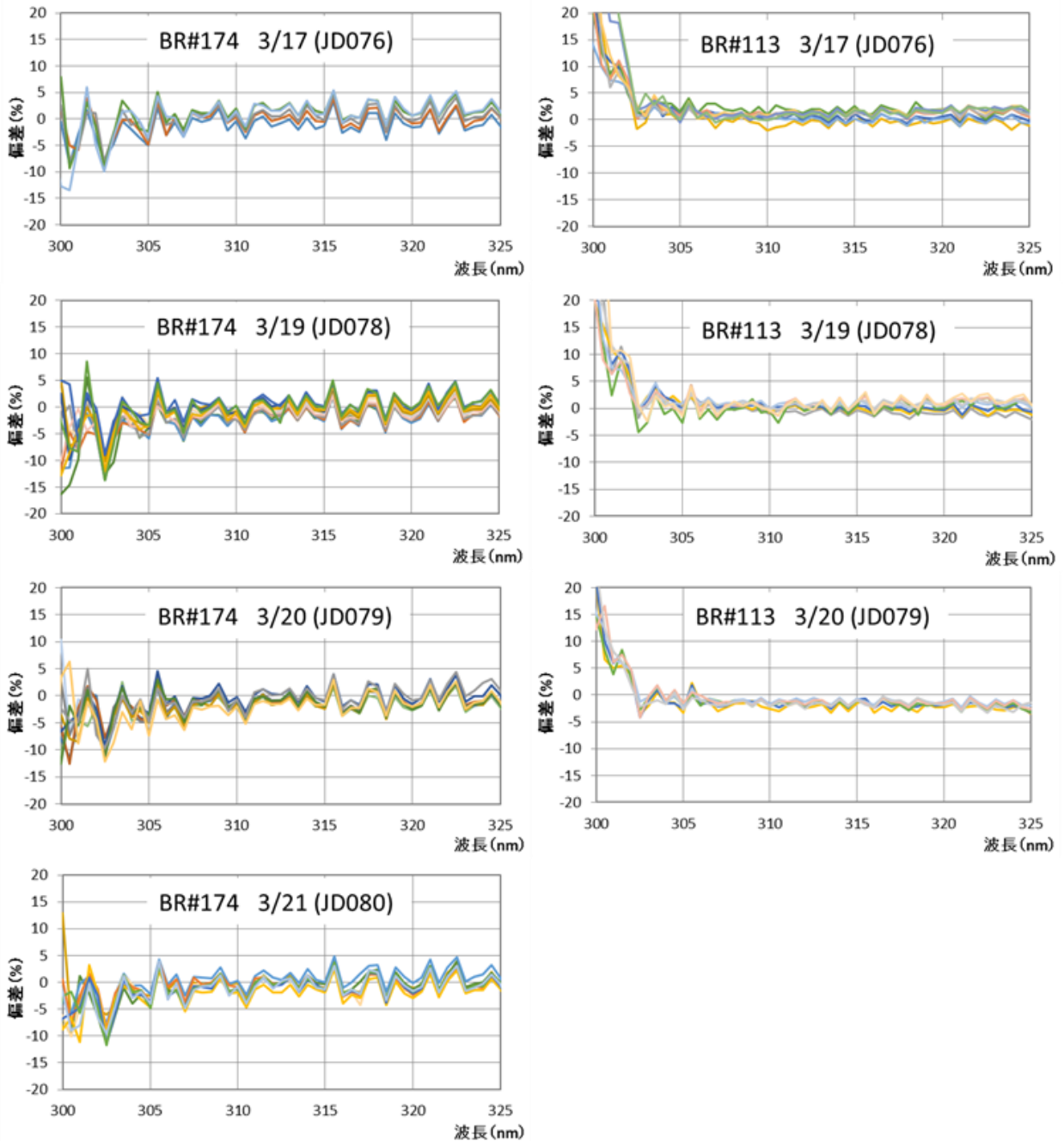
⁶ 大掛かりな測器パーツ交換 (内部ケーブル類を全て外すなど) を行った場合、測器感度が安定するまでに 1 日から数日程度の慣らしが必要である。



第2図 晴天、薄曇りの日における BR#145 を基準とした BR#174 (青) と BR#113 (橙) の積算紫外線量 TUV (左)、红斑紫外線量 CIE (右) の偏差グラフ。正偏差の場合は基準よりも紫外線量が多く、また負偏差の場合は基準よりも紫外線量が少なく観測されていることを表す。

第3表 BR#145 を基準とした BR#174 と BR#113 の各観測値の日平均偏差(%)。BR#113 の3月20日の値は、観測値がない時間帯があるため日平均偏差は参考値とする。また同測器の3月21日は、NIST ランプ検定等を行ったため比較観測を実施していない。

	TUV		CIE	
	BR#174	BR#113	BR#174	BR#113
3月17日	+0.8%	+0.4%	+0.3%	+2.0%
3月19日	±0.0%	-0.1%	-0.8%	+1.7%
3月20日	-0.8%	-1.6% (参考)	-1.4%	-0.1% (参考)
3月21日	-0.1%	—	-0.8%	—



第3図 BR#145を基準としたBR#174とBR#113の波長別紫外域日射照度の偏差グラフ。8時から16時の各観測の線グラフを重ねて表示。なお、雲の影響のあるデータは除いている。正偏差の場合は基準よりも波長別紫外域日射照度が強く、また負偏差の場合は基準よりも波長別紫外域日射照度が弱く観測されていることを表す。

なっている。これらの波長の日射照度は、紫外域全体の日射照度からみれば小さいが、短波長ほど重みを持たせて積算するCIEにおいて影響が大きいため、日平均偏差のCIEがTUVより低くなった要因と考える。

○BR#113の波長別紫外域日射の比較結果

第2図のTUVとCIEの偏差グラフでは、世界標準器との偏差は概ね±5%の範囲内となっている。第3表の日平均偏差では、参考値の3月20日を除き、TUVが-0.1%~+0.4%（平均+0.2%）であったが、CIEは+1.7%~+2.0%（平均+1.9%）でTUV

に比べ高い値となっている。第 3 図の波長別紫外域日射照度の偏差グラフでは、BR#113 の短波長側が強くなっている。これは BR#113 が MKII 型測器特有の迷光による測定誤差（計測の対象ではない光が測器内部で乱反射し、感部まで到達することで、実際より光の照度が強くなる）を持つことによるものであり、これにより日平均偏差の CIE が TUV より高くなっている。なお、BR#113 についても 300.5 nm, 302.5 nm の日射照度が弱くなっている。

6. オゾン全量観測の比較結果

オゾン全量の比較観測では、気象庁の測器 BR#174, BR#113 と世界準器群 BR#145, BR#187, BR#191 との比較を行い、現在のオゾン吸収係数及びオゾン大気外定数（以下、これらをオゾン観測用定数という）による観測精度の確認、及び必要に応じて、オゾン観測用定数の校正を行う。オゾン全量は、第 1 式に示すようにオゾン 2 重比（レイリー散乱の減衰の影響を補正した複数波長の日射照度の重み付きの比）、相対大気路程 μ （太陽光が通過する大気距離で、天頂方向を 1 としたときの相対的な距離。以下 μ という）、各ブリューワー計固有のオゾン吸収係数及びオゾン大気外定数を使用して算出する。比較観測における定数の校正は、基本的にオゾン大気外定数の校正であり、オゾン吸収係数は分光常数校正装置を使用して校正する。

$$Total\ Column\ O_3 = \frac{O_3\ double - O_3\ ETC}{\mu \times O_3\ Absn} \quad (1)$$

Total Column O_3 : オゾン全量

$O_3\ double$: オゾン 2 重比

μ : 相対大気路程

$O_3\ ETC$: オゾン大気外定数

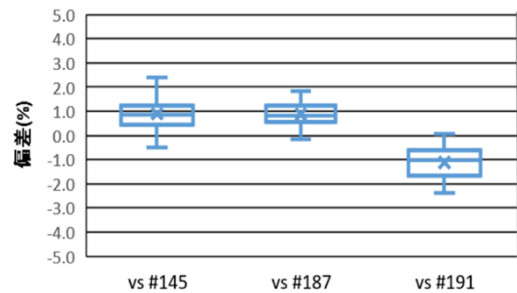
$O_3\ Absn$: オゾン吸収係数

本国際比較では比較観測期間を前半（3 月 7 日から 18 日）と後半（3 月 19 日から 21 日）に分け、前半は現在のオゾン観測用定数によるオゾン全量の観測精度の確認を行い、後半は必要に応じてオゾン大気外定数の校正を行うこととした。な

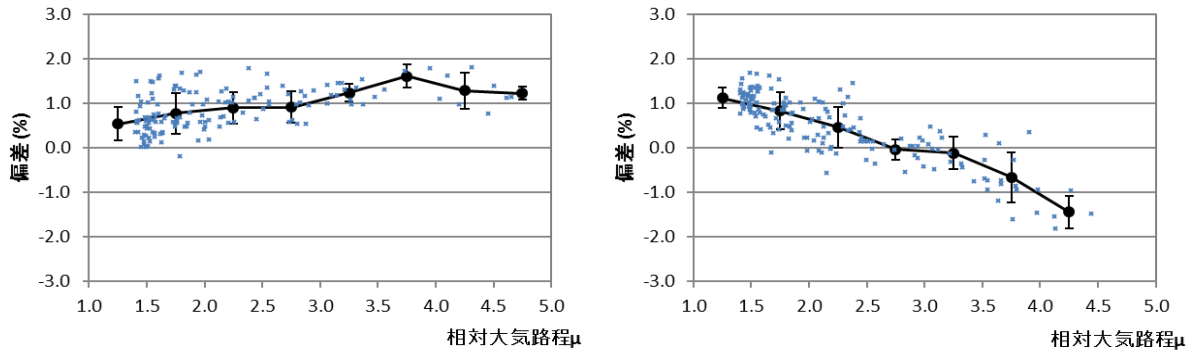
お、オゾン吸収係数については、比較期間の中頃と後半に分光常数点検を実施し、輸送等の影響による変化がないことを確認した。

6.1 現在のオゾン観測用定数によるオゾン全量の観測精度の確認

第 4 図に比較期間前半に実施した BR#174 と世界準器群 3 台のオゾン全量の比較観測の結果を示す。結果は、世界準器群 3 台中 2 台（BR#145, BR#187）との偏差平均が約+1%, もう 1 台（BR#191）との偏差平均が約-1%となった。3 台とも WMO の求める精度 $\pm 1\%$ (WMO, 2001) を概ね満たしているが、オゾン全量の確認と校正は、平均偏差がほぼ一致している 2 台の中から、国際比較期間中、最も測器が安定的であった BR#187 に対して実施することとした。第 5 図に BR#187 を基準とした BR#174 と BR#113 の μ に対するオゾン全量の偏差を示す。第 5 図では、個々の観測値の偏差とともに μ の 0.5 ごとの区間平均と標準偏差のエラーバーを図示している。結果はそれぞれ下記のとおり。



第 4 図 世界準器群 3 台と国内準器#174 の比較観測によるオゾン全量の比較。箱の上端と下端は全データの 25 %-75 % の範囲のデータを含むことを示し、箱の中の横線は中央値、×印は平均値、棒の上端と下端はそれぞれ最大値と最小値を示している。正偏差の場合は基準よりもオゾン全量が多く、また負偏差の場合は基準よりもオゾン全量が少なく観測されていることを表す。



第 5 図 BR#187 を基準とした BR#174 (左図) と BR#113 (右図) の相対大気路程 (μ) に対するオゾン全量偏差グラフ。プロットは個々の観測値の偏差を示しており、黒線は μ を 0.5 ごとに区分した区間の平均値とその標準偏差を示す。正偏差の場合は基準よりもオゾン全量が多く、また負偏差の場合は基準よりもオゾン全量が少なく観測されていることを表す。

○BR#174 のオゾン全量の比較結果

偏差平均は+0.9%で WMO の求める精度 $\pm 1\%$ 以内で一致しているが、 μ の区間平均偏差については μ の増加とともに偏差が僅かに増加しており、区間平均偏差は+0.5%~+1.6%となった。

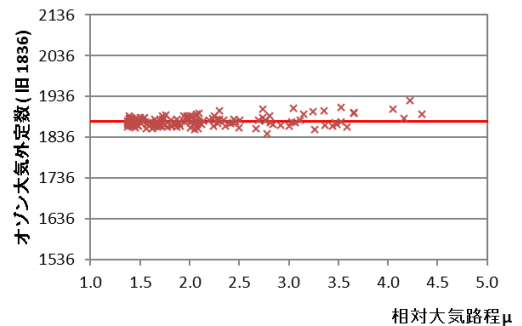
○BR#113 のオゾン全量の比較結果

偏差平均は+0.4%で良く一致しているが、 μ の増加とともに偏差が減少しており、区間平均偏差は-1.4%~+1.1%となった。この偏差は、波長別紫外域日射観測でも述べた MKII 型測器特有の迷光が影響しており、程度の違いはあるが全ての MKII 型測器は μ が大きくなるとオゾン全量を少なく観測する傾向がある。このため、本比較観測の結果をもとにこの影響を第 6.3 節で述べる方法により補正した。

6.2 BR#174 のオゾン観測用定数の校正

BR#174 は、 μ の増加とともに偏差が増加する傾向を持っていたため、この要因について国際比較期間中に調査を行った。この結果、オゾン観測に最適な波長の紫外域日射照度を測定するための SC 点検で、最適な測定位置が僅かに変化していることを確認した(付録第 4 図(巻末)を参照)。そのため、最適なオゾン測定位置への変更を行い、オゾン吸収係数を決定したのちオゾン大気外定数の校正を実施することとした。

オゾン吸収係数は、国際比較期間中に実施した分光常数点検の結果から校正した。分光常数点検は、回折格子を回転させるモーターのステップ数と測定波長の関係式を算出する点検で、その関係式を基にオゾン吸収係数を算出する。これまで上記の関係式にブリューワー計の標準的な手法である 2 次式を採用していたが、本国際比較からより高い精度で近似が可能な 3 次式を採用することとした (Redondas *et al.*, 2018a)。オゾン大気外定数の校正は、国際比較後半 3 月 19 日から 21 日の比較観測によって実施した。第 6 図は、世界準器 BR#187 のオゾン全量を真値として、第 1 式から逆算して求めたオゾン大気外定数を μ に対してプロットした散布図であり、この平均値が新しいオゾン大気外定数となる。

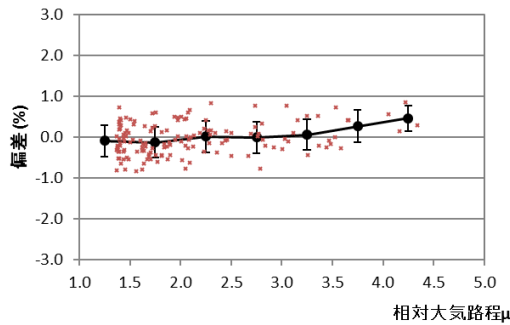


第 6 図 BR#187 のオゾン全量を真値として算出した BR#174 のオゾン大気外定数。直線で示した全比較観測データの平均値が新しく校正されたオゾン大気外定数となる。

BR#174 の新しいオゾン観測用定数を第 4 表に示し、またそれらを使用した BR#174 と世界準器 BR#187 のオゾン全量の比較結果を第 7 図に示す。第 7 図から校正後の BR#174 のオゾン全量は μ の増加による偏差の増加傾向は概ね改善し、全偏差平均が $\pm 0.0\%$ 、 μ の区間偏差平均が $-0.1\% \sim +0.5\%$ となった。

第 4 表 BR#174 の新旧オゾン測定位置と観測用定数

	オゾン 測定位置	オゾン 吸収係数	オゾン 大気外定数
新定数	289	0.3388	1,873
旧定数	286	0.3403	1,836

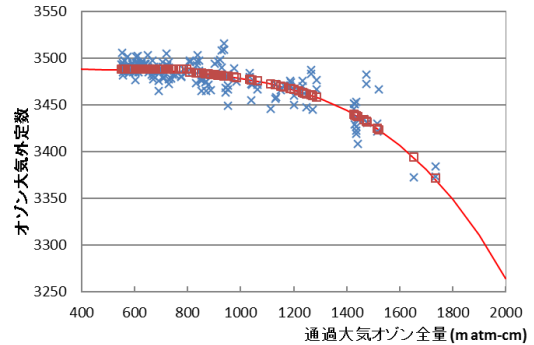


第 7 図 BR#187 を基準とした新しいオゾン観測用定数を使用した BR#174 のオゾン全量偏差グラフ。グラフの説明は第 5 図を参照。

6.3 BR#113 のオゾン大気外定数の迷光補正

第 8 図に通過大気オゾン全量（オゾン全量と相対大気路程の積で表される太陽直射光が地上に到達するまでに通過した大気中のオゾンの総量（単位は $m\ atm\text{-}cm$ ））に対するオゾン大気外定数を示す。青色のプロットは BR#187 のオゾン全量を真値としたオゾン大気外定数であり、迷光の影響により通過大気オゾン全量に対して曲線的に減少している。赤色のプロット及び曲線は、欧州地区ブリューワー分光光度計相互比較 (Redondas *et al.*, 2018b) で実施された経験的手法による迷光補正を適用した BR#113 のオゾン大気外定数である。この手法では、通過大気オゾン全量の変化に対してオゾン大気外定数の補正を行う。以下に、迷光補正によるオゾン大気外定数及びオゾン全

量の算出方法を記す。



第 8 図 BR#187 のオゾン全量を真値として算出した BR#113 のオゾン大気外定数（青×プロット）とそれを元に迷光補正を行ったオゾン大気外定数（赤四角プロット及び曲線）

○迷光補正によるオゾン大気外定数及びオゾン全量の算出

- ① 初めに BR#174 と同様に基準測器 BR#187 との比較観測からオゾン大気外定数を決定するが、BR#113 が迷光の影響を受けにくいデータのみ限定して実施する。迷光の影響を受けにくいデータは、通過大気オゾン全量が $300\text{--}900\ m\ atm\text{-}cm$ の範囲とされており、この範囲のデータで算出した定数がオゾン大気外定数のオフセット値 (O_3ETC_0) となる。ここでは、通過大気オゾン全量の変化に対して概ね直線的な $600\text{--}800\ m\ atm\text{-}cm$ の範囲（第 8 図の青色のプロットの変化を考慮）で O_3ETC_0 を算出した。
- ② BR#187 のオゾン全量を真値として算出した BR#113 のオゾン大気外定数 (O_3ETC_i) と通過大気オゾン全量 (OSP_i) の非線形近似式（第 2 式）から非線形回帰分析により、迷光補正係数 k 及び s を算出する。
- ③ ①で算出した O_3ETC_0 と②で算出した迷光補正係数 k 、 s から第 2 式により観測値ごとのオゾン大気外定数を算出する。その定数を使用して第 1 式からオゾン全量を算出する。

$$O_3ETC_i = O_3ETC_0 + k(OSP_i)^s \quad (2)$$

O_3ETC_i : BR#187 のオゾン全量を真値として算出した BR#113 のオゾン大気外定数

O_3ETC_0 : ①で算出したオゾン大気外定数のオフセット値

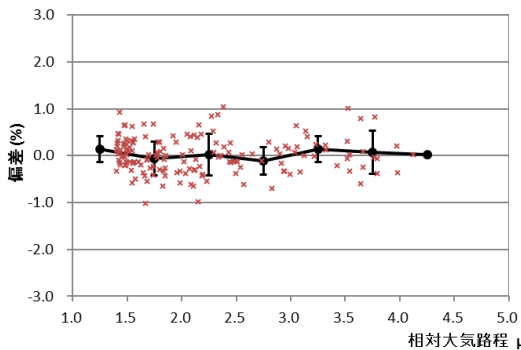
OSP_i : 通過大気オゾン全量

k, s : 迷光補正係数

①で算出した O_3ETC_0 と ②で算出した迷光補正係数 k, s を第 5 表に示す. また, 迷光補正を適用した BR#113 と世界準器 BR#187 のオゾン全量の比較を第 9 図に示す. 迷光補正後は μ の増加とともに減少していた偏差が改善し, 全偏差平均が $\pm 0.0\%$ で μ の区間偏差平均は $-0.1\% \sim +0.1\%$ となった.

第 5 表 BR#113 のオゾン大気外定数のオフセット値 (O_3ETC_0) と迷光補正係数

	O_3ETC_0	k	s
BR#113	3,488	-9.623	4.5382



第 9 図 BR#187 を基準とした迷光補正を実施後の BR#113 のオゾン全量偏差グラフ. グラフの説明は第 5 図を参照.

7. まとめ

ECCC において開催されたブリューワー分光光度計国際相互比較に参加し, 気象庁の測器 BR#174, BR#113 と世界準器群 BR#145, BR#187, BR#191 との比較観測を実施した. 主な結果を以下に示す.

(1) NIST ランプ検定及び外部標準ランプ点検による測器感度の変化

ECCC 及び国際比較前後の国内において実施した NIST ランプ検定の結果, 各測器感度は BR#174

が $\pm 0.0\% \sim +0.8\%$, BR#113 が $-0.7\% \sim +0.4\%$ となり, 同時に実施した外部標準ランプでも同様の結果となった. この結果から, 気象庁の測器は, 国際比較において, 測器感度が安定していることを確認した.

(2) 波長別紫外域日射の比較結果

3 月 7 日から 21 日の比較観測期間のうち快晴又は薄曇りとなった 4 日間について, 世界準器 BR#145 と観測データの比較を行った. BR#113 は, そのうち 2 日間は欠測又は参考値である. 比較の結果, BR#174 は TUV (290.0 nm-325.0 nm の積算値) と CIE (紅斑紫外線量) の全日平均値が共に $\pm 1\%$ 以内となった. BR#113 は TUV の全日平均値が $+0.2\%$ であるのに対し, CIE は迷光の影響のため $+1.9\%$ と高い値となった.

<BR#174 の波長別紫外域日射量の偏差>

TUV : $-0.8\% \sim +0.8\%$ (平均 $\pm 0.0\%$)

CIE : $-1.4\% \sim +0.3\%$ (平均 -0.7%)

<BR#113 の波長別紫外域日射量の偏差>

TUV : $-0.1\% \sim +0.4\%$ (平均 $+0.2\%$)

CIE : $+1.7\% \sim +2.0\%$ (平均 $+1.9\%$)

(3) オゾン全量の比較結果

本国際比較では, 世界準器 BR#187 を基準としてオゾン観測用定数の確認及び校正を行った. 比較期間の前半 (3 月 7 日から 18 日) は現在のオゾン観測用定数による観測精度の確認, 後半 (3 月 19 日から 21 日) はその定数の校正を実施した.

(3-1) 現在のオゾン観測用定数による観測精度の確認

期間前半の比較観測の結果から, BR#174 と BR#113 は共に, 世界準器 BR#187 と $\pm 1\%$ 以内で一貫していることを確認したが, μ の増加とともに BR#174 は偏差が増加, BR#113 は偏差が減少する傾向を持っていた.

< μ 区間平均オゾン全量偏差 (校正前) >

BR#174 : $+0.5\% \sim +1.6\%$ (平均 $+0.9\%$)

BR#113 : $-1.4\% \sim +1.1\%$ (平均 $+0.4\%$)

(3-2) BR#174 のオゾン観測用定数の校正

BR#174 において、国際比較期間中頃にオゾン測定位置の変更を行い、オゾン吸収係数を校正したのち、オゾン大気外定数の校正を実施した。その結果、校正前の比較観測に現れていた μ の増加による偏差の増加傾向は概ね改善した。

< μ 区間平均オゾン全量偏差 (校正後) >

BR#174 : $-0.1\% \sim +0.5\%$ (平均 $\pm 0.0\%$)

(3-3) BR#113 のオゾン大気外定数の迷光補正

BR#113 は、通過大気オゾン全量の変化に対してオゾン大気外定数を補正する迷光補正手法を適用した。迷光補正手法を適用した BR#113 と世界準器 BR#187 のオゾン全量を比較した結果、校正前の比較観測に現れていた μ の増加による偏差の減少傾向は改善した。

< μ 区間平均オゾン全量偏差 (校正後) >

BR#113 : $-0.1\% \sim +0.1\%$ (平均 $\pm 0.0\%$)

本国際比較では、紫外域日射観測について世界準器と概ねと一致していることが確認でき、気象庁で維持している測器感度の校正が正常であることが確認できた。またオゾン全量観測について、世界準器と WMO の求める精度 $\pm 1\%$ の範囲内で一致していることが確認でき、また観測用定数の校正や迷光補正により、 μ に依存した偏差の変化が改善し、世界準器の観測値とほぼ一致したことを確認した。

今後は、本国際比較で校正した 2 台を使用して、国内の定常観測用測器との相互比較観測を行い、札幌、つくば、那覇、南極昭和基地のオゾン観測用定数の精度確認及び校正、また、つくば、南極昭和基地の紫外域日射の観測精度の確認などを実施する。

8. おわりに

これまでブリューワー計の国際比較では、主に波長別紫外域日射について世界準器との比較を実施してきたが、気象庁では 2018 年 2 月からブリューワー計を使用したオゾン全量・鉛直分布観測をこれまでのドブソン分光光度計に代わって開始したため、オゾン全量の比較観測についても重要となった。オゾン観測用定数の校正では、分光常数の校正方法に新しい手法を導入した。校正手法の詳細は、今後高層気象台彙報に投稿する予定である。

オゾン観測及び波長別紫外域日射観測は、地球環境の変化を監視するモニタリングとしての役割を担うほか、気候変動との相互の影響評価のために重要な観測である。成層圏オゾンは、人為起源のオゾン層破壊物質の排出により全球的に減少し、また大規模な南極オゾンホール⁷の発生等をもたらしているが、モントリオール議定書による世界的な排出規制の効果により、現在、全球の成層圏オゾンは増加傾向にあり、南極オゾンホールは縮小傾向にある。しかし、依然として全球の成層圏オゾンはオゾン層破壊が顕著に現れる前の 1970 年代よりも少ない状態が続いており、南極オゾンホールは今後も毎春発生すると予測されている。全球の成層圏オゾンは、今世紀半ばまでに 1980 年の水準に達する見込みだが、南極オゾンホールが閉じるのはさらに十数年程度のちとなる見込みである。温室効果ガスの増加による気候変動との関連では、成層圏の大気循環が強化される影響で、熱帯の成層圏オゾンは減少する予測となっており、熱帯及び南極では今世紀末まで B 領域紫外線強度⁷が強い状態が続く見込みである。また、成層圏の大気循環の強化とオゾン層の回復により中緯度では成層圏オゾンが 1970 年代の水準を超えて増加すること、成層圏と対流圏間の空気交換が増え、対流圏オゾン⁸が増加することが予測されている。これらの詳細は、「オゾン層破壊の科学

⁷ 波長 280 nm-315 nm の領域の光で、成層圏オゾンにより大部分が吸収されるが、一部は地表に到達し、生物に大きな影響を与える紫外線。

⁸ 地表付近においては、大気汚染物質の一つとして人体に健康被害を与える。また、地表からの赤外線を吸収し、温室効果ガスとして働く。

アセスメント 2018」(WMO, 2018), 「オゾン層に関する 21 の質問と回答」(Ross, 2019) を参照されたい。同アセスメントでは, オゾン層破壊が気候に与える影響なども評価されている。

気象庁のオゾン観測は約 70 年, 波長別紫外域日射観測は約 30 年の長期間にわたり実施されており, 世界的にも貴重な観測である。今日まで観測を継続できたのは, これまで観測に携わった職員及び観測精度の向上に尽力された職員の貢献によるものである。現在, ブリュウワー計のオゾン全量観測においては, 個々の測器の特性評価により μ に依存しない正確なオゾン全量観測を目指し, 波長別紫外域日射観測においては, 測器感度の校正手法の改善, 高度角特性及び温度特性の補正を行うことでより正確な観測を目指している。今後も高精度の観測の維持, 向上に努めていきたい。

9. 謝辞

本国際比較へ参加するにあたり, ECCC の Dr. Sum chi をはじめとする職員の方々には, 荷物の搬出入や測器の設置等, 現地での作業において大変ご協力を頂いた。また, 企画課国際室の皆様, 高層気象台においては山田眞吾台長(2018年3月当時)をはじめ, 観測第二課の職員の皆様に大変お世話になった。これらの方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- Early, A. E., E. A. Thompson, and P. Disterhoft (1998) : Field calibration unit for ultraviolet spectroradiometers, *Applied Optics*, **37**, No.28, 6664-6670, doi: 10.1364/AO.37.006664.
- Fioletov, V. E., J. B. Kerr, C. T. McElroy, D. I. Wardle, V. Savastiouk, and Grajnar, T. S. (2005) : The Brewer reference triad. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L20805, doi:10.1029/2005GL024244.
- Garane, K., M.-E. Koukouli, T. Verhoelst, C. Lerot, K.-P. Heue, V. Fioletov, D. Balis, A. Bais, A. Bazureau, A. Dehn, F. Goutail, J. Granville, D. Griffin, D. Hubert, A. Keppens, J.-C. Lambert, D. Loyola, C. McLinden, A. Pazmino, J.-P. Pommereau, A. Redondas, F. Romahn, P. Valks, M. V. Roozendael, J. Xu, C. Zehner, C. Zerefos, and W. Zimmer (2019) : TROPOMI/S5P total ozone column data: global ground-based validation and consistency with other satellite missions. *Atmos. Meas. Tech.*, **12**, 5263-5287, doi: 10.5194/amt-12-5263-2019.
- 伊藤真人, 下道正則, 能登美之 (1998) : カナダ大気環境庁 (AES) における波長別紫外域日射計の検定試験と測器相互比較. 高層気象台彙報, **58**, 1-10.
- 伊藤真人 (2002) : 新型 NIST ランプ検定装置の開発と紫外域日射観測装置 (ブリュウワー分光光度計) の高度角・方位角特性. 高層気象台彙報, **62**, 53-66.
- 伊藤真人, 宮川幸治 (2003) : カナダ MSC における波長別紫外域日射観測装置の国際測器相互比較 2002 年. 高層気象台彙報, **63**, 1-12.
- 伊藤真人, V. Savastiouk., M. Brohart (2003) : ブリュウワー分光光度計用分光常数校正装置の開発と手法. 高層気象台彙報, **63**, 31-40.
- 伊藤真人 (2004) : ブリュウワー分光光度計を利用した地面反射波長別紫外域日射観測装置の開発と観測. 高層気象台彙報, **64**, 19-34.
- 伊藤真人 (2005) : ブリュウワー分光光度計を利用した散乱波長別紫外域日射の精密観測. 高層気象台彙報, **65**, 23-36.
- 伊藤真人 (2007) : ブリュウワー分光光度計による地面反射・散乱波長別紫外域日射の年変化. 高層気象台彙報, **67**, 19-32.
- 伊藤真人, T. Grajnar, M. Brohart, V. Savastiouk, and K. Lamb (2007) : カナダ MSC におけるブリュウワー分光光度計の国際測器相互比較 2006 年と新型検定装置の精度. 高層気象台彙報, **67**, 39-52.
- 伊藤真人 (2008) : ブリュウワー分光光度計用レーザー光軸調整システム. 高層気象台彙報, **68**, 67-76.
- Ito, M. (2011) : The optical characteristics of the fore-

- optics and the calibration for direct-sun UV observation with Brewer spectrophotometers. *Jour. of Aerological Observatory*, **69**, 25-32.
- Ito, M., T. Grajnar, M. Brohart and V. Savastiouk (2011) : Intercomparison of Brewer spectrophotometers between the Meteorological Service of Canada and the Japan Meteorological Agency at Toronto, Canada in 2010. *Jour. of Aerological Observatory*, **69**, 33-40.
- Ito, M., O. Ijima, T. Shimamura, I. Uesato, Y. Noto, Y. Esaki, N. Oshiki (2013) : Seasonal variations of global, reflected, and diffuse spectral UV observations based on Brewer spectrophotometers at Tsukuba, 2004 to 2012. *Jour. Of Aerological Observatory*, **71**, 51-62.
- Ito, M., I. Uesato, Y. Noto, O. Ijima, S. Shimizu, M. Takita, H. Shimodaira, and H. Ishitsuka (2014) : Absolute calibration for Brewer spectrophotometers and total ozone/UV radiation at Norikura on the Northern Japanese Alps. *Jour. of Aerological Observatory*, **72**, 45-55.
- Ito, M, I. Uesato, Y. Noto, O. Ijima, M. Takita, H. Shimodaira, and H. Ishitsuka (2015) : Altitudinal increasing rate of UV radiation by the observations with Brewer spectrophotometers at Norikura, Suzuran and Tsukuba. *Jour. of Aerological Observatory*, **73**, 63-72.
- 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. 研究時報, **43**, 213-273.
- Kipp & Zonen (2008a) : Brewer MKIII spectrophotometer operators manual. Kipp & Zonen Inc., 132 pp.
- Kipp & Zonen (2008b) : Brewer MKIII spectrophotometer service manual. Kipp & Zonen Inc., 125 pp.
- León-Luis, S. F., A. Redondas, V. Carreño, J. López-Solano, A. Berjón, B. Hernández-Cruz, and D. Santana-Díaz (2018) : Internal consistency of the Regional Brewer Calibration Centre for Europe triad during the period 2005-2016. *Atmos. Meas. Tech.*, **11**, 4059-4072, doi: 10.5194/amt-11-4059-2018.
- McElroy, C.T., V. Savastiouk, and T. Grajnar (2008) : Standard operating procedures manual for the Brewer spectrophotometer, Ver. D.01. Environment Canada, 113 pp.
- Moeini, O., Z. V. Zanjani, C. T. McElroy, D. W. Tarasick, R. D. Evans, I. Petropavlovskikh, and K.-H. Feng (2019) : The effect of instrumental stray light on Brewer and Dobson total ozone measurements. *Atmos. Meas. Tech.*, **12**, 327-343, doi: 10.5194/amt-12-327-2019.
- Redondas, A, S. Nevas, A. Berjón, M.-M. Sildoja, S. F. León-Luis, V. Carreño, and D. Santana-Díaz (2018a) : Wavelength calibration of Brewer spectrophotometer using a tunable pulsed laser and implications to the Brewer ozone retrieval. *Atmos. Meas. Tech.*, **11**, 3759-3768, doi: 10.5194/amt-11-3759-2018.
- Redondas, A., V. Carreño, S. F. León-Luis, B. Hernández-Cruz, J. López-Solano, J. J. Rodríguez-Franco, J. M. Vilaplana, J. Gröbner, J. Rimmer, A. F. Bais, V. Savastiouk, J. R. Moreta, L. Boulkelia, N. Jepsen, K. M. Wilson, V. Shirovov, and T. Karppinen (2018b) : EUBREWNET RBCC-E Huelva 2015 Ozone Brewer Intercomparison. *Atmos. Chem. Phys.*, **18**, 9441-9455, doi: 10.5194/acp-18-9441-2018.
- Ross J. Salawitch (Lead Author), D. W. Fahey, M. I. Hegglin, L. A. McBride, W. R. Tribett, and S. J. Doherty (2019) : Twenty questions and answers about the ozone layer: 2018 update. Scientific assessment of ozone depletion: 2018, 84 pp., World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2019.
- Siani, A. M., F. Frasca, F. Scarlatti, A. Religi, H. Diémoz, G. R. Casale, M. Pedone, and V. Savastiouk (2018) : Examination on total ozone column retrievals by Brewer spectrophotometry using different processing software.

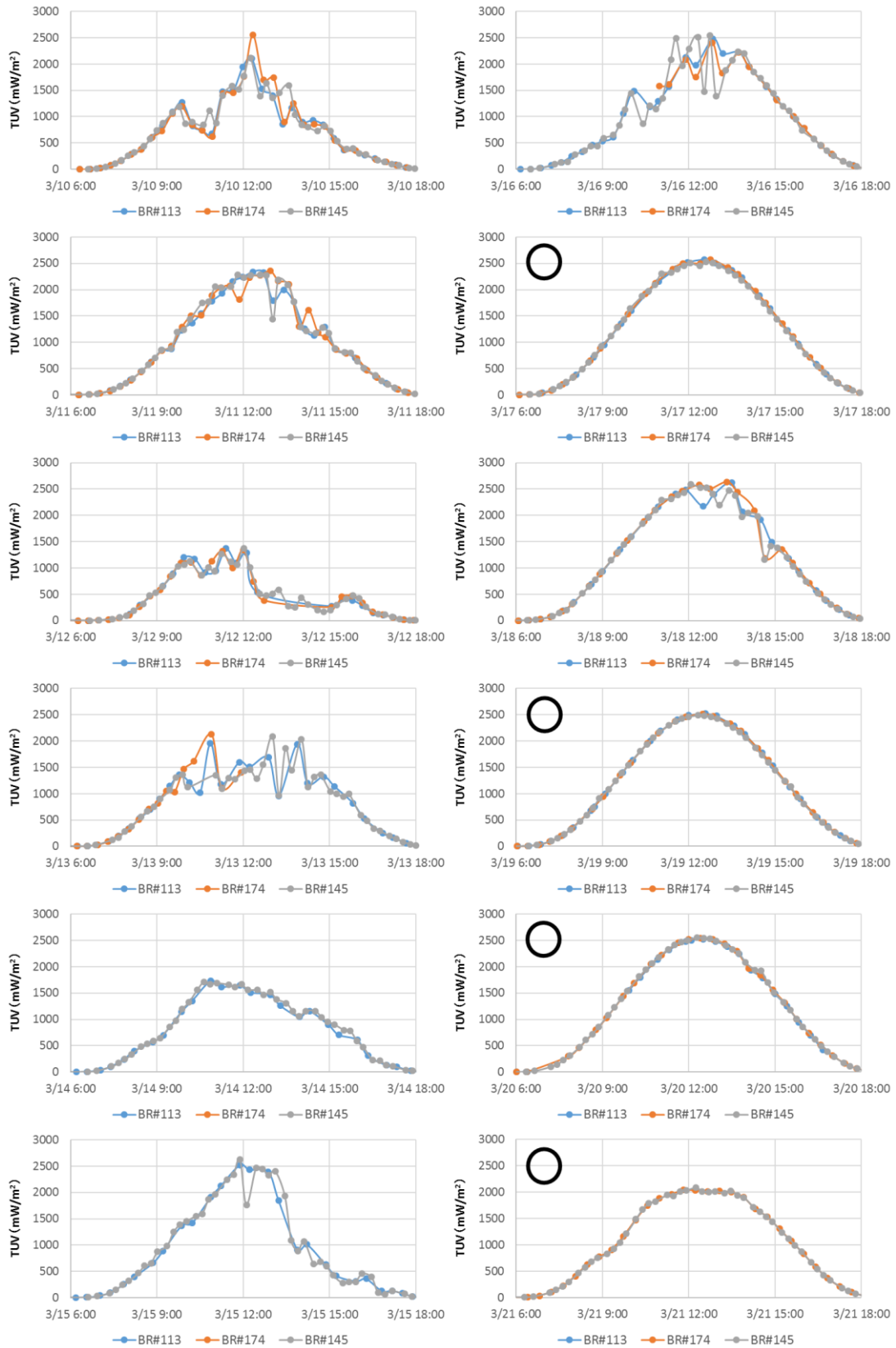
- Atmos. Meas. Tech.*, **11**, 5105–5123, doi: 10.5194/amt-11-5105-2018.
- 下道正則, 伊藤真人 (1995) : 波長別紫外域日射計のボールダー国際相互比較. 高層気象台彙報, **55**, 11-18.
- 上里至, 清水悟, 居島修, 伊藤真人 (2015) : カナダ国トロントにおけるブリューワー分光光度計の国際相互比較 2014. 高層気象台彙報, **73**, 55-62.
- Zanjani, Z. V., O. Moeini, T. McElroy, D. Barton, and V. Savastiouk (2019) : A calibration procedure which accounts for non-linearity in single-monochromator Brewer ozone spectrophotometer measurements. *Atmos. Meas. Tech.*, **12**, 271–279, doi: 10.5194/amt-12-271-2019.
- WMO (2001) : Global atmosphere watch measurements guide No.143. WMO TD No.1073.
- WMO (2018) : Scientific assessment of ozone depletion: 2018 : Global Ozone Research and Monitoring Project Report 58.
- Zhao, X., V. Fioletov, M. Brohart, V. Savastiouk, I. Abboud, A. Ogyu, J. Davies, R. Sit, S. C. Lee, A. Cede, M. Tiefengraber, M. Müller, D. Griffin, and C. McLinden (2020) : The world Brewer reference triad – updated performance assessment and new double triad. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, doi: 10.5194/amt-2020-324.

付録 1. ブリュウワー分光光度計国際相互比較 2018 のスケジュール

付録第 1 表 本国際比較における世界準器群 (BR#145, BR#187, BR#191) と気象庁の測器 (BR#174, BR#113) の作業スケジュールと比較観測中の天気概況.

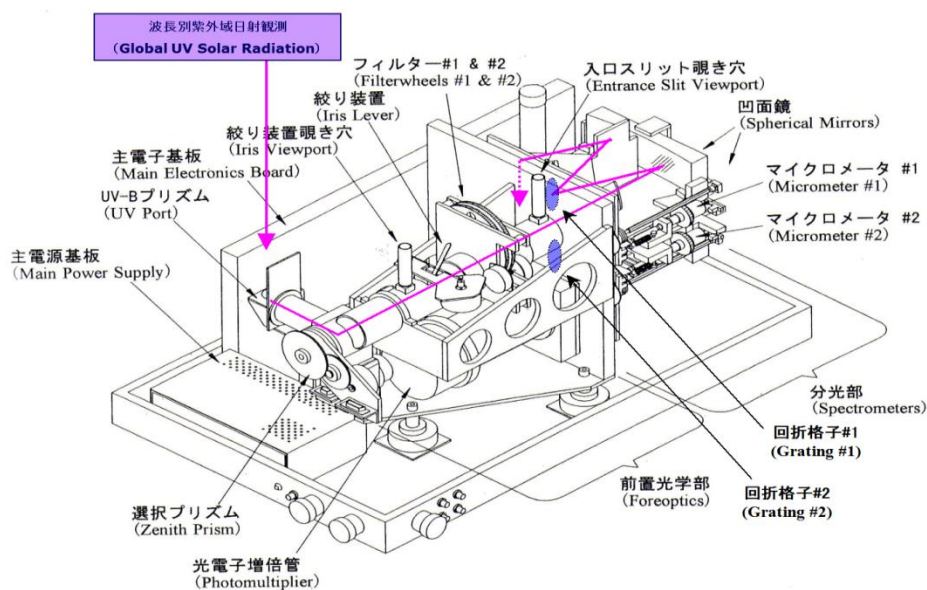
日付 (曜日)	時間帯	BR#145,187,191 (ECCC)	BR#174 (気象庁)	BR#113 (気象庁)	天気概況	備考
3月6日 (火曜日)	午前	定常観測	屋外設置	屋外設置	曇り	
	午後		動作確認	動作確認	曇り	
3月7日 (水曜日)	午前	比較観測			曇り	BR#174の方位角追尾装置の不具合のため、測器調整を実施
	午後	比較観測			曇り	
3月8日 (木曜日)	早朝	定常観測	外部ランプ点検(屋外)	外部ランプ点検(屋外)		
	午前	比較観測			曇り	
3月9日 (金曜日)	午前	比較観測			晴れ	
	午後	比較観測			曇り	
3月10日 (土曜日)	午前	比較観測			晴れ	
	午後	比較観測			晴れ	
3月11日 (日曜日)	午前	比較観測			晴れ	
	午後	比較観測			晴れ	
3月12日 (月曜日)	早朝	定常観測	外部ランプ点検(屋外)	外部ランプ点検(屋外)		
	午前	比較観測			曇り	
3月13日 (火曜日)	午前	比較観測	室内設置	比較観測	曇り	
	午後		分光常数点検		曇り	
3月14日 (水曜日)	午前	比較観測	測器パーツ交換	比較観測	雪	
	午後				曇り	
3月15日 (木曜日)	午前	比較観測	測器パーツ交換	比較観測	薄曇り	
	午後		分光定数点検 NIST検定 外部ランプ点検(屋内)		雪	
3月16日 (金曜日)	午前	比較観測	NIST検定 外部ランプ点検(屋内)	比較観測	薄曇り	BR#174の前日のNIST検定値とEx点検値は異常値となったため再度検定を実施
	午後		屋外設置 比較観測		快晴	
3月17日 (土曜日)	午前	比較観測			快晴	
	午後	比較観測			快晴	
3月18日 (日曜日)	午前	比較観測			快晴	
	午後	比較観測			晴れ	
3月19日 (月曜日)	午前	比較観測			快晴	ECCCの職員とのグループミーティングを実施
	午後	比較観測			快晴	
3月20日 (火曜日)	早朝	定常観測	外部ランプ点検(屋外)	外部ランプ点検(屋外)		
	午前	比較観測			快晴	
	午後	比較観測			快晴	
3月21日 (水曜日)	午前	比較観測		NIST検定 外部ランプ点検(屋内)	薄曇り	
	午後	比較観測		分光定数点検	薄曇り	
3月22日 (木曜日)	午前	比較観測		測器梱包	薄曇り	
	午後	定常観測	測器梱包		薄曇り	
3月23日 (金曜日)	午前	定常観測	測器梱包・搬出	測器梱包・搬出	—	
	午後				—	

付録2. 国際比較における積算紫外線量の比較観測結果（補足資料）

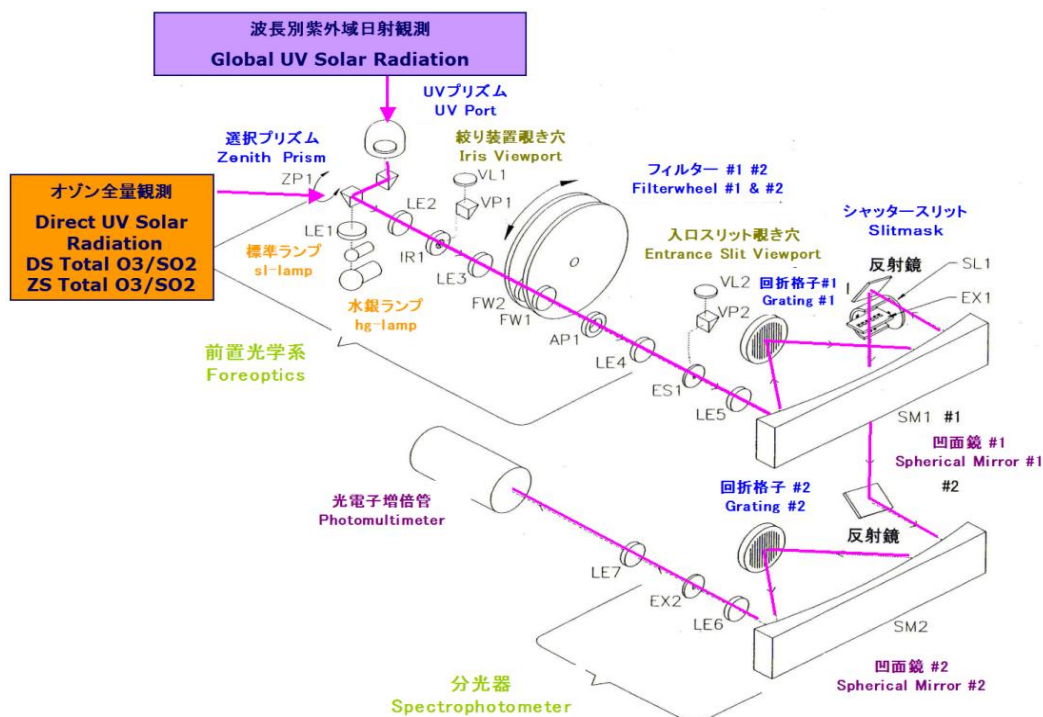


付録第1図 波長別紫外域日射の比較観測による気象庁の BR#174, BR#113 と世界準器 BR#145 の積算紫外線量 (TUV) の時系列グラフ (黒丸は, 比較解析に使用した日を表す).

付録3. ブリュウワー分光光度計の測器構造と光学系の校正



付録第2図 MKIII型ブリュウワー分光光度計の内部構造. Kipp & Zonen (2008a) の図を修正. 赤矢印は, 紫外域日射光の測器内経路を示す.



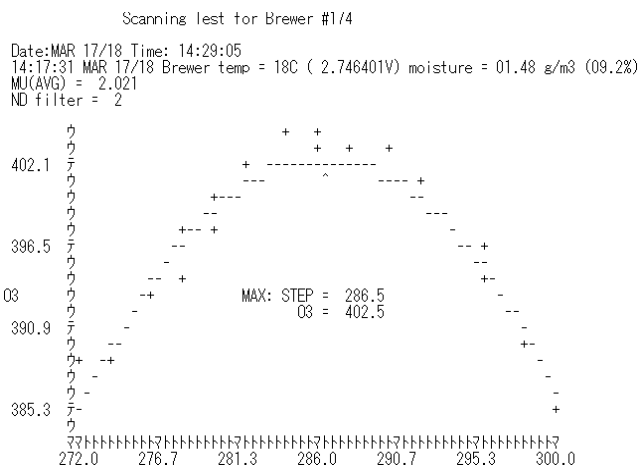
付録第3図 MKIII型ブリュウワー分光光度計の光学系の構成. Kipp & Zonen (2008a) の図を修正. 赤矢印は, 紫外域日射光の測器内経路を示す.

付録4. SC (Sun Scan) 点検によるオゾン測定位置の確認及び校正方法

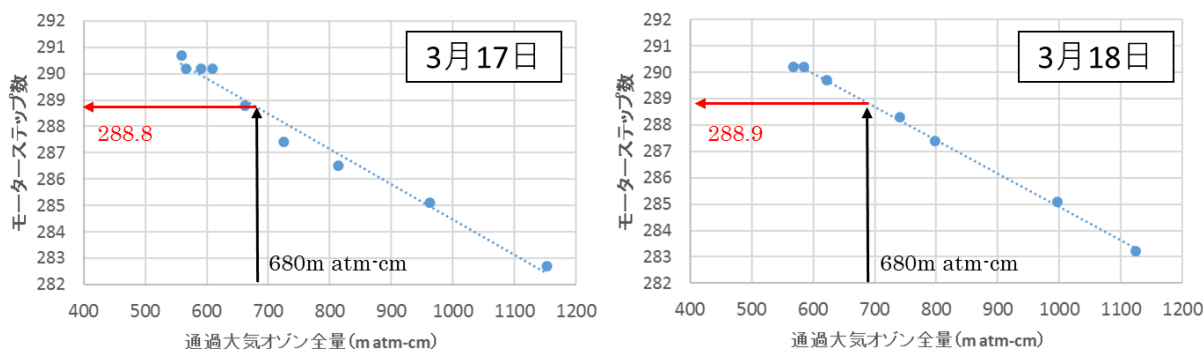
SC 点検では、オゾン全量観測時に回折格子を少しずつ回転させ、オゾン全量が最大となる回折格子の回転角を算出する。回折格子の回転は、ステッピングモーターによって制御されており、モーターのステップ数で表される。付録第4図は、本国際比較期間に実施した BR#174 の SC 点検の結果であり、縦軸をオゾン全量、横軸をモーターステップ数とした散布図である。モーターのステップ数に対してオゾン全量は山形となり、その山のピークとなるモーターステップ数が個々の SC 点検の点検値となる。付録第5図は、1日を通して実施した BR#174 の SC 点検値と点検時の通過大気オゾン全量 (m atm-cm) の散布図及びその近似直線であり、国際比較期間に実施した2日間を

図示した。SC 点検で構成する最適なオゾン測定位置は、付録第5図の近似直線上で通過大気オゾン全量が 680 m atm-cm となるモーターステップ数として算出される。なお、680 m atm-cm はトロントにおいて観測される通過大気オゾン全量の標準的な値とされている。結果は、オゾン測定位置が2日間共に 289 (整数に変換) となり、これまでの 286 から3ステップ変わっていた。

これまで、光学系の大掛かりなメンテナンスを行わない場合、オゾン測定位置は製造時の値から変わらないと考えられてきたが、BR#174 は大掛かりなメンテナンスを行っていないため、長期間の使用による経年変化であると考えられる。国内のその他の測器についても長期間使用しているため、同様の確認、また校正が必要と考える。



付録第4図 SC 点検によるモーターステップ数とオゾン全量の散布図 (ソフトウェア出力画面)



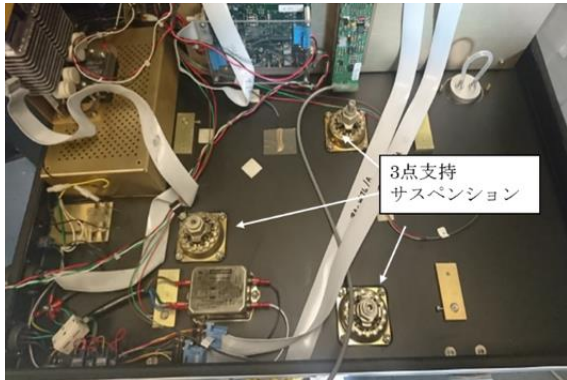
付録第5図 1日を通した SC 点検値と通過大気オゾン全量の散布図及び近似直線。国際比較期間中の2日間のデータを使用し、図中に通過大気オゾン全量が 680 m atm-cm のときのモーターステップ数を記す。

付録 5. 国際比較での BR#174 の測器パーツ交換 (3月14, 15日実施)

ブリューワー分光光度計は、測器の光学部を3点のサスペンションで支持し、水平を保っている(付録写真1)。BR#174は、その3点のサスペンションに付いているガスケットの劣化により、内部湿度の保持が十分でないことが懸念されていた。そのため、3点のサスペンションの交換を行う必要があるが、それにより測器の光軸がずれ、観測値が変わってしまう可能性があった。そこで、本国際比較において、3点のサスペンションを交換し、世界準器との比較観測により観測値に影響がないことを確認することとした。

BR#174の3点のサスペンションは、取り付けられているネジがかなり固い状態であったため、取り

外すのにかなりの時間を要した。取り外したサスペンションのガスケットは、経年劣化により破れて穴が開いていた(付録写真2)。新しいサスペンションへ交換後、圧力計を用いて測器内部の密閉が十分保たれていることを確認し(付録写真3)、その後測器の水平調整を行った。今回は、前置光学系(付録3参照)の選択プリズムの水平を調整する簡易的な調整を実施した(付録写真4)。なお、より正確な水平調整及び光軸の調整のためには、UVレーザーを使用した入射光から出口スリットまでの光路の確認を行う必要がある。その後、屋外での基準測器との比較観測により交換前後の観測値には変化がなく、測器パーツの交換は問題なく実施できたことを確認した。



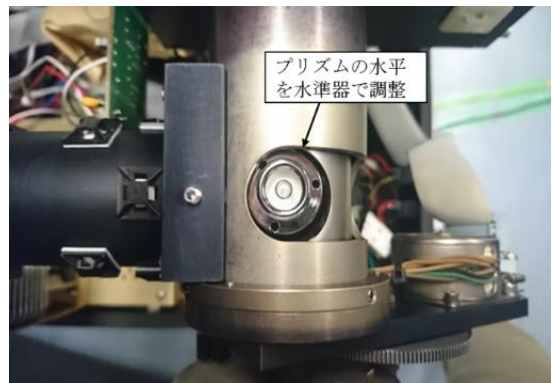
付録写真1 光学部取り外し後のブリューワー分光光度計内部の様子



付録写真3 測器内部の空気漏れチェック



付録写真2 サスペンション裏側のガスケット



付録写真4 選択プリズムの水平調整