

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

上里 至*・清水 悟*・居島 修*・伊藤 真人*

Inter-comparison of Brewer Spectrophotometer between EC and JMA at Toronto, Canada on March 2014

Itaru UESATO, Satoru SHIMIZU, Osamu IJIMA and Mahito ITO

要旨

カナダ国トロントのEC(Environment Canada: カナダ国環境省)において、2014年3月5日～20日の日程で、ブリューワー分光光度計の国際相互比較観測を実施した。当比較では、JMAの国内準器Brewer MKIII #174(BR#174)と国内移動準器Brewer MKII #113(BR#113)をECに持ち込み、ECが所有する世界準器Brewer MKIII #191(BR#191)との波長別紫外線量とオゾン全量・二酸化硫黄全量の比較観測、及びNISTランプ検定や外部標準ランプ点検等を実施した。これらの結果は以下のとおりである。

(a) NISTランプ検定と外部標準ランプ点検によるBR#174とBR#113の測器感度

比較の期間中、NISTランプ検定で得られた測器感度の変化は、外部標準ランプ点検で得られたその変化に対し、BR#174の場合0.0～-0.4%、BR#113の場合0.0～+0.6%となり、両測器とも測器感度を良好に追尾することができた。

(b) 波長別紫外線量の比較観測

標記の比較観測を実施した9日間の中で快晴となった3日間のデータを選び、CIE(Erythema UV: 紅斑紫外線量)、TUV(波長290.0～325.0nmの積算紫外線量)、UVAB(波長290.0～363.0nmの積算紫外線量: BR#113の場合を除く)の日積算照度比、及びW[300-](波長300.0～325.0nmの波長別照度比)の日平均値を算出した。その結果、「BR#174/BR#191」の照度比は、CIEで0.998～1.002、TUVで1.001～1.007、UVABで1.001～1.011、W[300-]で0.999～1.006、また「BR#113/BR#191」の照度比は、CIEで0.997～1.014、TUVで0.983～0.999、W[300-]で1.012～1.021となり、BR#174は概ね1%以内、BR#113は概ね2%以内でECのBR#191による紫外線量と一致した。

(c) オゾン(O₃)全量・二酸化硫黄全量(SO₂)の比較観測

標記の比較観測を9日間実施した。その結果、ECのBR#191に対するJMAのBR#174とBR#113によるO₃全量は、両測器とも約1%多い値となった。一方、SO₂全量については両測器ともほぼ一致した。

従来の波長別紫外線量の比較では、過去5回ともJMAの基準器はECの基準器と比較し、約3%の差が常に認められていた。しかし、今回は上記のとおりほぼ一致した。そのため、次回の国際比較や各種検定等により、今後検証する必要がある。一方、O₃全量の比較では、ECのBR#191と約1%の誤差が生じた。しかし、ECのBR#145(前比較観測で使用した)とBR#191の間に同様の差が確認されていること等から、JMA両測器の常数を変更することなく、今後の推移を見て再度検討する。

1. はじめに

気象庁(JMA: Japan Meteorological Agency)では1993年以降、世界準器を維持するカナダ国環境省(EC: Environment Canada)との日加二国間技術協力を推進させ、ブリューワー分光光度計の国際相互比較観測(以下、国際比較という)をほぼ3年毎に実施させる計画とし(注: 実際にはほぼ4年毎に実施)、1994年に米国ボルダーで、1997

年、2002年、2006年、2010年にカナダ国トロントで実施した(下道・伊藤: 1995, 伊藤ほか: 1998, 伊藤・宮川: 2003, 伊藤ほか: 2007, Ito and *et al.*: 2010)。この計画に基づき、2014年3月5日～20日の日程で、両国の国際比較を上記トロントのECで実施した。

当比較では、従来と同様、EC側の国際準器との(a)波長別紫外線量観測(Spectral UV radiation)、(b)オゾン・二酸化硫黄全量(Total column ozone, Total column sulfur dioxide)の比較観測、(c)NISTランプ検定(NIST Lamp Calibration:)

*高層気象台 観測第三課

表 1 ブリュウワー国際相互比較 2014 のスケジュール

		BR#191 (EC)	BR#174 (JMA)	BR#113 (JMA)	天気概況	補足
3/5(JD064) 水曜日	午前 午後	定常観測 波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	屋外設置 波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	屋外設置 波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	曇り 曇り	BR#174とBR#113を EC建物の屋上へ設置
3/6(JD065) 木曜日	午前 午後	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	曇 晴れ	
3/7(JD066) 金曜日	午前 午後	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	快晴 快晴	
3/8(JD067) 土曜日	午前 午後	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	曇り 曇り	
3/9(JD068) 日曜日	午前 午後	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	晴れ 晴れ	
3/10(JD069) 月曜日	午前 午後	定常観測	Ex 点検(屋外) 室内設置	Ex 点検(屋外) 室内設置	薄雲 曇り	BR#174とBR#113を 室内に設置
3/11(JD070) 火曜日	午前 午後	定常観測	NIST検定(IOS) Ex 点検(室内)	分光常数試験	薄雲 薄雲	
3/12(JD071) 水曜日	午前 午後	定常観測	Ex 点検(室内) 分光常数試験	NIST検定(IOS) Ex 点検(室内)	曇 曇	
3/13(JD072) 木曜日	午前 午後	定常観測	NIST検定(EC) 屋外設置	Ex 点検(室内) 屋外設置	晴れ 薄雲	BR#174とBR#113を EC建物の屋上へ設置
3/14(JD073) 金曜日	午前 午後	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	薄雲 薄雲	
3/15(JD074) 土曜日	午前 午後	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	曇り 曇り	
3/16(JD075) 日曜日	午前 午後	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	晴れ 快晴	
3/17(JD076) 月曜日	午前 午後	定常観測	Ex 点検(屋外) 波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	Ex 点検(屋外) 波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	曇り 曇り	
3/18(JD077) 火曜日	午前 午後	定常観測	Ex 点検(屋外) 波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	Ex 点検(屋外) 波長別紫外線及びオゾン・二酸化硫黄の比較観測	曇り 快晴	
3/19(JD078) 水曜日	午前 午後	定常観測	室内設置 NIST 検定(EC)	荷物梱包	雨 雨	
3/20(JD079) 木曜日	午前 午後	定常観測	荷物梱包 荷物搬出	荷物搬出	薄雲 薄雲	

米国標準技術研究所 (National Institute of Standard and Technology)で維持する基準照度が付けられた 1,000W ハロゲンランプによる検定), (d)外部標準ランプ点検 (External lamp test : 50W ハロゲンランプによる点検), (e)分光常数試験(Dispersion Test : スペクトルランプによる常数校正試験)等々を実施した. JMA からは, 国内準器 Brewer MKIII #174 (MKIII : Double Spectrophotometer, 以下 BR#174)と国内移動準器 Brewer MKII #113 (MKII : Single Spectrophotometer, 以下 BR#113)を, また NIST ランプ検定用の IOS (International Ozone Services)改良型検定装置(Early *et al.* : 1998, IOS : 2000, 2006, Ito *et al.* : 2010, 以下, IOS 型検定装置), 分光常数校正装置, 外部標準ランプ点検装置等を EC に持ち込んだ.

EC における比較観測スケジュールは, 表 1 のとおり, (1)比較観測による過去の観測用常数の確認, (2)各種作動用常数の校正, (3)比較観測による新観測用常数の校正の順に実施した. なお, 本稿で使用する測器に関する装置や専門用語については, McElroy *et al.*(2008)や Kipp & Zonen(1996, 2008a, b)等を参照して頂きたい.

3. NIST ランプ検定, 外部標準ランプ点検の結果

EC における NIST ランプ検定は, 国際比較期間の中頃に IOS 型の検定装置を使用して実施し, 日本(つくば)における検定は, 国際比較の前後で JMA 型の検定装置を使用して実施した. なお, IOS 型と JMA 型の検定装置は検定結果に差があるため, IOS 型の検定値を JMA 型の検定値に合わせるように補正している(Ito and *et al.* : 2010).

表 2 (a) BR#174 の NIST ランプ検定結果

	S-0967	S-1062	S-1086	S-1117	S-1265	検定装置	測定地
(A)2014/1/11 (JD011)	0.986					JMA	つくば
(A)2014/1/14 (JD014)		0.987	0.997	0.968	1.000 (基準)	JMA	つくば
(B)2014/3/11 (JD070)	0.970	0.975	0.984	0.956	0.984	IOS(JMA)	トロント
(C)2014/4/6 (JD096)		0.974		0.956	0.986	JMA	つくば

表 2 (b) BR#174 の外部標準ランプ点検結果

	L801	L802	L803	L804	L805	平均値	測定場所
(A) 2014/1/15 (JD015)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	室内(つくば)
2014/3/10 (JD069)	1.008	1.001	1.012	1.015	1.007	1.008	屋外
(B) 2014/3/11 (JD070)	0.989	0.985	0.990	0.992	0.983	0.988	室内
2014/3/12 (JD071)	0.999	0.993	0.995	1.000	0.989	0.995	室内
2014/3/17 (JD076)	1.022	1.014	1.016	1.017	屋外
2014/3/18 (JD077)	1.010	1.004	1.009	1.008	1.000	1.006	屋外
(C) 2014/4/6 (JD096)	0.994	0.991	0.991	0.996	0.986	0.991	室内(つくば)

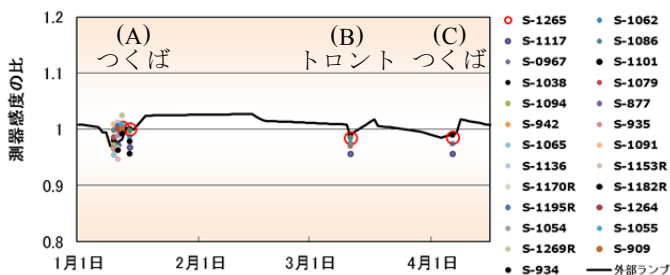


図 1 BR#174 の NIST ランプ検定及び外部標準ランプ点検による測器感度の変化(基準日 014 JD 2014 からの波長別測器感度比の平均値)

外部標準ランプ点検については, 国際比較期間, 室内における NIST ランプ検定の前後と, 屋外における比較中に複数回実施し, 測器感度を常に追尾した. また, 国際比較の前後のつくばでは定期的に同点検を実施している.

BR#174 の NIST ランプ検定及び外部標準ランプ点検の実施日と波長別測器感度比(注: 基準の波長別感度に対する波長毎の比)の平均値を表 2 (a)と(b)に, その変化を図 1 に, また BR#113 の同様の結果を表 3(a)と(b), 及び図 2 に示す. 両測器の波長別測器感度比は, 国際比較前につくばで実施した NIST ランプ検定値及び外部標準ランプ点検値を基準としている. また, 両測器の現用の波長別測器感度常数は, 上記のつくばにおける NIST ランプ検定値で校正したものである.

図 1 及び図 2 のとおり, 両測器の比較期間(図中(B))における測器感度の変化は, 以下のようにまとめられる.

(1) BR#174 の感度比の変化

NIST ランプ検定による感度比の変化は-1.2%~-1.6%で, 外部標準ランプ点検による変化-1.2%に対し, 0.0~-0.4%で一致した.

表 3(a) BR#113 の NIST ランプ検定結果

	S-0967	S-1062	S-1086	S-1265	検定装置	測定地
(A)2014/2/11 (JD042)		0.982		1.000 (基準)	JMA	つくば
(B)2014/3/12 (JD071)	0.975	0.981	0.992	0.993	IOS(JMA)	トロント
(C)2014/4/11 (JD101)		0.981		0.994	JMA	つくば

表 3(b) BR#113 の外部標準ランプ点検結果

	L801	L802	L803	L804	L805	平均値	測定場所
(A) 2014/2/11 (JD042)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	室内(つくば)
2014/3/10 (JD069)	1.036	1.040	1.031	1.040	1.032	1.036	屋外
(B) 2014/3/12 (JD071)	0.992	0.997	0.991	0.996	0.991	0.993	室内
2014/3/13 (JD072)	0.995	0.999	0.995	1.000	0.994	0.996	室内
2014/3/17 (JD076)	1.001	1.019	1.028	---	---	1.016	屋外
2014/3/18 (JD077)	1.007	1.018	1.016	1.015	1.009	1.013	屋外
(C) 2014/4/10 (JD100)	0.982	0.993	0.990	0.996	0.987	0.990	室内(つくば)

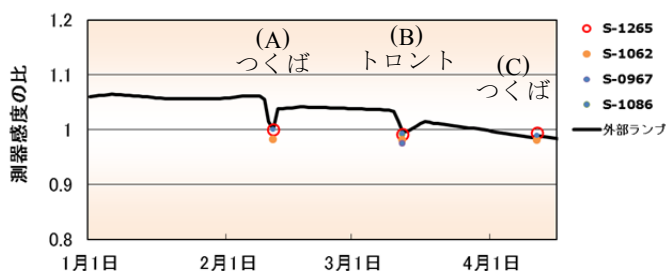


図 2 BR#113 の NIST ランプ検定及び外部標準ランプ点検による測器感度比の変化(基準日 042 JD 2014 からの波長別測器感度比の平均値)

(2) BR#113 の感度比の変化

NIST ランプ検定による感度比の変化は-0.1%~-0.7%で、外部標準ランプ点検による変化-0.7%に対し、0.0~+0.6%で一致した。

以上の結果から、BR#174、BR#113とも良好に測器感度を追尾されていることを確認した。また、帰国後、つくばにおいて実施した NIST ランプ検定及び外部標準ランプ検定(図中(C))においても、両測器は良好に測器感度を追尾されている。

一方、EC の BR#191 については、外部標準ランプ点検による測器感度の追尾は実施されていない。したがって、NIST ランプ検定実施(323JD 2013)後の測器感度の変化量を把握することができないため、後述の比較観測結果には数%の誤差が生じる。

4. 波長別紫外線量の比較観測結果

4.1 観測方法と解析方法

波長別紫外線量の比較観測では、下記のとおり、MKIII 型測器の BR#174 と BR#191 では UX 観測を、MKII 型の BR#113 では UV 観測を使用した(注:MKII 型測器の場合、

測定波長範囲が狭く、UX 観測はできない)。また、これら 3 測器とも、上記観測が 10 分または 20 分間隔になるよう各観測スケジュールを設定した。

MKIII …… BR#174 と BR#191

UX 観測 (波長 286.5~363.0nm を 0.5nm 毎に片道走査)

MKII …… BR#113

UV 観測 (波長 290.0~325.0nm を 0.5nm 毎に往復走査)

一方、データの比較解析では、上記 3 測器の観測時刻に若干のずれが生じるため、各データについて回帰線を使用し、毎正時及び毎 30 分データに変換した上で行った。また、JMA の BR#174 と BR#113 については、前述の外部標準ランプ点検による測器感度の補正を施したが、BR #191 については同点検を実施していないので補正していない。

本稿では、比較観測を実施した 9 日の中でほぼ一日快晴であった 3 日間(3/7, 3/16, 3/18)のデータを選び、BR#191 に対する BR#174 と BR#113 の照度比、「BR#174/ BR#191」と「BR#113/ BR#191」を下記の種別毎に表した。

CIE …… Erythema UV : 紅斑紫外線量

TUV …… 波長 290.0~325.0nm の積算紫外線量

UVAB …… 波長 290.0~363.0nm の積算紫外線量

W[300-] …… 波長 300.0~363.0nm(BR#113 の場合は 325.0nm)の基準器に対する比較器の波長別照度比(平均値)

4.2 比較結果

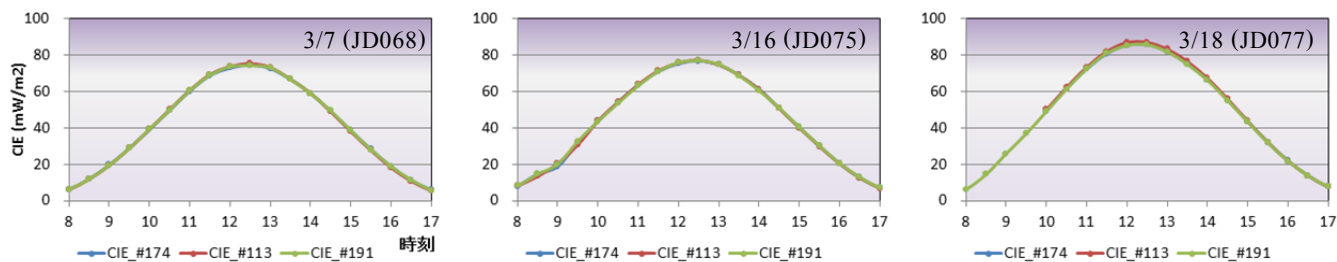
3 測器による比較結果について、図 3(a)に CIE の日変化を、図 3(b)に CIE の照度比「BR#174/ BR#191」と「BR#113/ BR#191」の日変化を、図 3(c)に W[300-]の波長別照度比「BR#174/BR#191」の重ね書きを、図 3(d)に同様の波長別照度比「BR#113/BR#191」の重ね書きをそれぞれ示す。また、上記 4 種の照度比を表 4 にまとめた。

(1) 積算紫外線量の比較結果

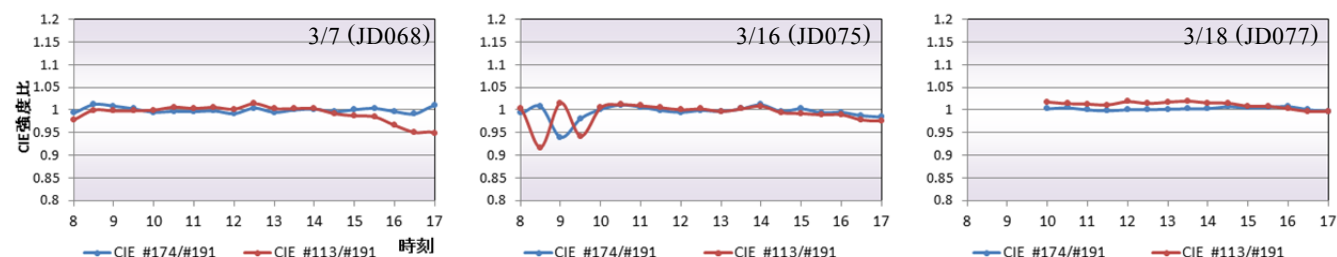
<BR#174 と BR#191>

図 3(b)に青線で示すとおり、CIE の時刻別照度比「BR#174/ BR#191」は、3 日間ともほぼ一致した。なお、3/16 の 8 時~10 時は、照度比が大きく変動しているが、これは太陽面の雲が影響しており、今回の方法では、正確な比較は困難である。一方、表 4 に示すように、前述した 4 種の日別の照度比は、CIE : 0.998~1.002, TUV : 1.001~1.007, UVAB : 1.001~1.011 となり、3 種ともほぼ 1%以内で一致した。

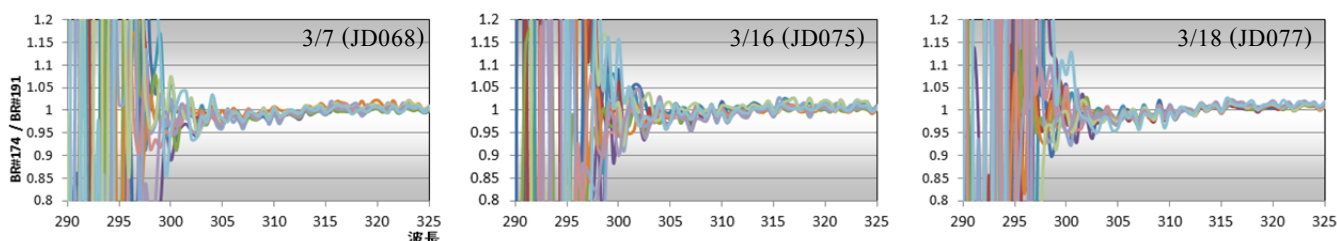
(a) BR#174, BR#113, 及び BR#191 による CIE の日変化



(b) BR#191 に対する BR#174 と BR#113 の CIE 強度比「BR#174/BR#191」と「BR#113/BR#191」



(c) 波長別紫外線量の照度比「BR#174/BR#191」



(d) 波長別紫外線量の照度比「BR#113/BR#191」

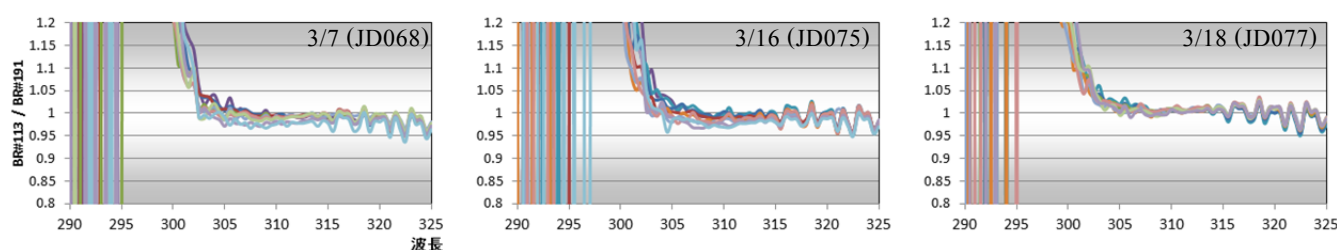


図3 快晴日における波長別紫外線量の比較観測結果

(a) BR#174, BR#113, 及び BR#191 の CIE の日変化, (b) BR#191 に対する BR#174 と BR#113 の CIE 照度比「BR#174/BR#191」と「BR#113/BR#191」の日変化, (c) BR#191 に対する BR#174 の波長別紫外線量の照度比「BR#174/BR#191」(重ね書き), (d) BR#191 に対する BR#113 の波長別紫外線量の照度比「BR#113/BR#191」(重ね書き)

表4 BR#191 に対する BR#174 と BR#113 の CIE, TUV, UVAB, W[300-]の照度比

	BR#174 / BR#191				BR#113 / BR#191			
	日積算値		毎時		日積算値		毎時	
	CIE	TUV	UVAB	W(300-)	CIE	TUV	UVAB	W(300-)
3/7 (JD066)	0.999	1.002	1.001	0.999	0.999	0.983	---	1.012
3/16 (JD075)	0.998	1.001	1.003	1.003	0.997	0.983	---	1.018
3/18 (JD077)	1.002	1.007	1.011	1.006	1.014	0.999	---	1.021
平均値	1.000	1.003	1.005	1.003	1.003	0.988	-	1.017

<BR#113 と BR#191>

図3(b)に赤線で示すとおり, CIE の時刻別照度比「BR#113/ BR#191」についてもほぼ一致したが, 太陽高度角が低い時間帯で若干の差が認められた. なお, BR#174 の場合と同様の理由により, 3/16 の 8 時~10 時は, 照度比が大きく変動している. 一方, 表4に示す4種の日別の照度比は, CIE : 0.997~1.014, TUV : 0.983~0.999 となり, 3種ともほぼ2%以内で一致した.

(2) 波長別紫外線量の比較結果

<BR#174 と BR#191>

図 3(c)のとおり, BR#191 に対する BR#174 の波長別照度比「BR#174/BR#191」は, 300.0nm 未満の紫外線がほとんど到達しない波長領域を除き, どの波長域でもほぼ一致した. また, 表 4 のとおり, W[300-]については 0.999 ~ 1.006 となり, 3 日間ともほぼ一致した.

<BR#113 と BR#191>

図 3(d)に示すとおり, R#191 に対する BR#113 の波長別照度比「BR#113/BR#191」は, 320.0~325.0nm 付近において若干小さくなる傾向が認められるが, 概ね一致した. また, 波長 300~305nm の波長領域において BR#113 が大きくなっている. これは, BR#113 に迷光の影響が残っているためである(注: 迷光補正を施しているが充分ではない). 一方, 表 4 のとおり, W[300-]については 1.012~1.021 となり, 上記の迷光の影響により BR#113 がやや大きくなっている.

以上の結果のとおり, EC の BR#191 に対する JMA の BR #174 と BR#113 の紫外線照度比は, ほぼ一致することが明らかとなった. しかし, 1) 前回 2010 年までの国際比較では, JMA の基準器の波長別紫外線量は, EC の基準器と比較して-3%程度の差が認められていること(Ito and *et al.* : 2010), 2) BR#191 については, 外部標準ランプ点検による補正を施していないこと, 3) 今回は時間の関係で BR#191 に対する NIST ランプ検定を実施できなかったこと, 等々から, 上記の両国間における基準照度の差についての吟味ができなかった. 今後, 次回の国際比較において, 詳細な NIST ランプ検定や各種点検等により調査を行う必要がある.

5. オゾン(O₃)・二酸化硫黄(SO₂)の比較結果

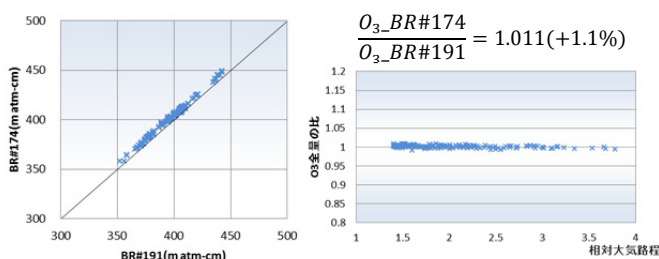
5.1 観測方法と解析方法

O₃ 全量及び SO₂ 全量の比較観測については, 4. の紫外線の比較観測の合間に, 1 日 60 程度程度の太陽直射光観測(DS 観測)を 9 日間実施した. それらの観測データの中から, EC の BR#191 に対する JMA の BR#174 と BR#113 の観測時刻の差が 5 分以内のデータセットを作成し, 比較解析を行った.

5.2 比較結果

BR#191 に対する BR#174 と BR#113 の O₃ 全量の比較結果を図 4 に, 同様に SO₂ 全量の比較結果を図 5 に示す. 両図とも, 左図に両測器による全量値の散布図を, 右図に大気路程 μ に対する O₃ 全量比と SO₂ 全量の差をそれぞれ示す.

(a) BR#174 と BR#191 の O₃ 全量の比較



(b) BR#113 と BR#191 の O₃ 全量の比較

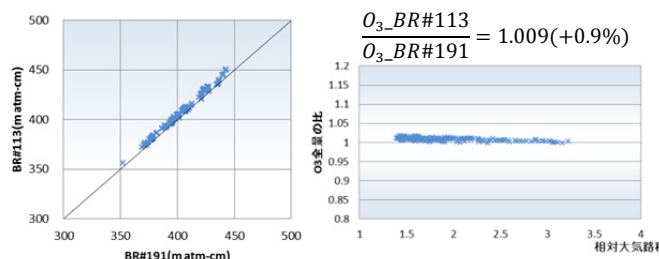
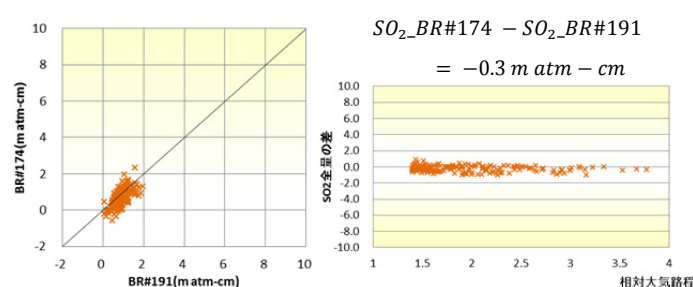


図 4 O₃ 全量の比較結果

(a) BR#174 と BR#191 の SO₂ 全量の比較



(b) BR#174 と BR#191 の SO₂ 全量の比較

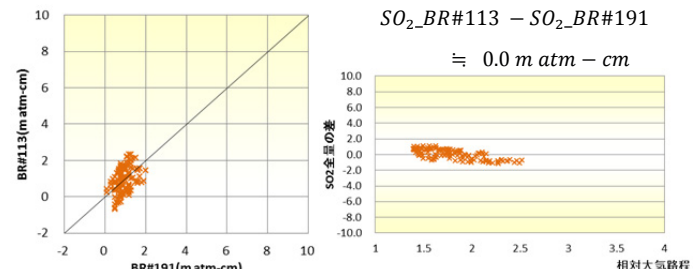


図 5 SO₂ 全量の比較結果

<O₃ 全量の比較結果>

図 4 の左図に示すとおり, BR#191 に対する BR#174 と BR#113 の O₃ 全量については, 若干 BR#174 と BR#113 が多い結果となった. また, 右図のとおり, 大気路程 μ に依存した誤差は, ほとんど認められなかった. BR#191 に対する BR#174 と BR#113 の O₃ 全量比の平均値を以下に示す.

$O_3_BR\#174 / O_3_BR\#191 = 1.011 (+1.1\%)$

$O_3_BR\#113 / O_3_BR\#191 = 1.009 (+0.9\%)$

<SO₂全量の比較結果>

SO₂全量については、図5の右図のとおり、BR#191に対するBR#174とBR#113のSO₂全量はほぼ一致し、また大気路程μに依存した誤差も認められなかった。BR#191に対するBR#174とBR#113のSO₂全量値の差の平均値を以下に示す。

$$\text{SO}_2\text{_{BR\#174}} - \text{SO}_2\text{_{BR\#191}} = -0.3 \text{ m atm-cm}$$

$$\text{SO}_2\text{_{BR\#113}} - \text{SO}_2\text{_{BR\#191}} \doteq 0.0 \text{ m atm-cm}$$

以上のように、ECのBR#191に対するJMAのBR#174とBR#113のO₃全量は若干(約1%)多く、SO₂全量は一致という結果となった。

しかし、1) 前回の国際相互比較において、JMAのBR#174のO₃全量は、ECのBR#145(当時使用した基準器)と一致していたこと、2) ECのBR#145と今回使用したBR#191の測器間にも同様の差が確認されていること、3) BR#174のR6値(オゾン二重比)が測器製造直後から安定した値を示していること、4) 乗鞍におけるBR#174とBR#113の絶対検定(Ito and *et al.*:2013)の結果から、両測器のO₃観測用常数(大気外常数 ETC: Extra-terrestrial coefficient)に変化が認められないこと等から、今回の結果によるO₃観測常数の校正は実施せず、今後の国際比較や各種検定等の結果を踏まえ、当結果を再検討する。

6. まとめ

カナダ国トロントのECにおいて、ブリューワー分光光度計の国際相互比較2014をEC(BR#191)とJMA(BR#174, BR#113)との間で実施した。主な結果は以下のとおりである。

(1) NIST ランプ検定及び外部標準ランプ点検の結果

国際比較中に実施したNISTランプ検定による測器感度の変化は、外部標準ランプ点検によるそれに対し、BR#174の場合0.0~−0.4%、BR#113の場合0.0~+0.6%となり、両測器とも感度変化を良好に追尾することができた。

(2) 波長別紫外線量の比較観測結果

比較観測を9日間実施し、ほぼ一日快晴であった3日間のデータを比較した。その結果、ECのBR#191に対するJMAのBR#174とBR#113による照度比は、積算紫外線量(CIE, TUV, UVAB)の日積算値、及び波長別照度比(W[300-])とも、以下のとおり概ね一致した。

<BR#174/BR#191>

$$\text{CIE} \cdots \cdots \cdots 0.998 \sim 1.002 \text{ (平均 } 1.000)$$

$$\text{TUV} \cdots \cdots \cdots 1.001 \sim 1.007 \text{ (平均 } 1.003)$$

$$\text{UVAB} \cdots \cdots \cdots 1.001 \sim 1.011 \text{ (平均 } 1.005)$$

$$\text{W[300-]} \cdots \cdots \cdots 1.001 \sim 1.007 \text{ (平均 } 1.003)$$

<BR#113/BR#191>

$$\text{CIE} \cdots \cdots \cdots 0.997 \sim 1.014 \text{ (平均 } 1.003)$$

$$\text{TUV} \cdots \cdots \cdots 0.983 \sim 0.999 \text{ (平均 } 0.988)$$

$$\text{W[300-]} \cdots \cdots \cdots 0.983 \sim 0.999 \text{ (平均 } 0.988)$$

(3) O₃全量及びSO₂全量の比較観測結果

1日約60回のDS観測による比較観測を9日間実施した。これらの結果は、以下のとおりECのBR#191に対するJMAのBR#174とBR#113によるO₃全量は、両測器とも約1%程度多く、SO₂全量は両測器ともほぼ一致した。

<O₃全量比>

$$\text{O}_3\text{_{BR\#174}} / \text{O}_3\text{_{BR\#191}} = 1.011 (+1.1\%)$$

$$\text{O}_3\text{_{BR\#113}} / \text{O}_3\text{_{BR\#191}} = 1.009 (+0.9\%)$$

<SO₂全量差>

$$\text{SO}_2\text{_{BR\#174}} - \text{SO}_2\text{_{BR\#191}} = -0.3 \text{ m atm-cm}$$

$$\text{SO}_2\text{_{BR\#113}} - \text{SO}_2\text{_{BR\#191}} \doteq 0.0 \text{ m atm-cm}$$

従来の波長別紫外線量の国際比較では、過去5回(1994年、1997年、2002年、2006年、2010年)とも、JMAの基準器はECの基準器と比較し−2~−3%の差が常に認められていた。これは、両国の検定装置の照度差であるが、今回の比較では前述のとおり、その差がほとんど認められなかった。JMAで使用している基準ランプ群の照度については、常に監視・追尾しており、EC側の監視方法とは異なる。そのため、今後の国際比較や各種検定等により、検証を行う必要がある。

なお、Ito *et al.*(2010)のとおり、近い将来、国内の紫外線観測網における1990年からの全データについて、MSC_40(ECの検定装置)を基準とするならば約3.3%、IOS_50(JMAで使用している過般型検定装置)を基準とするならば約2.7%、波長に関係なく(全波長286.5~363.0nm)補正する必要がある。この補正について、1990年以降、国内の紫外線観測網ではNISTランプ検定を3年毎に、外部標準ランプ点検をほぼ毎週実施し、全測器について観測期間全てにわたる感度トレンドを作成しているため、過去に遡った補正がいつでも可能である。

一方、オゾン全量の比較観測では、ECのBR#191と約1%の誤差が生じた。しかし、ECのBR#145(前比較観測で使用した)とBR#191の間に同様の差が確認されている。そのため、JMA両測器の常数を変更することなく、今後の推移を見極めて行く予定である。

謝 辞

本国際相互比較観測を実施するにあたり、カナダ環境省のDr.S.Netcheva氏をはじめとするスタッフの方々には、

本プロジェクトを承諾して頂き、荷物搬入や設置等、現地での作業において大変ご協力を頂いた。また、本庁オゾン層情報センターの上窪所長をはじめとする皆様、計画課国際室の皆様、当台の定村台長をはじめとする関係官の皆様にご世話になった。これらの方々に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Early E.A., E.A. Thompson, and P. Disterhoft (1998) : Field calibration unit for ultraviolet spectroradiometers. *Applied Optics*, **37**, No.28, 6664 – 6670.
- IOS (2000) : Portable 1000W UV calibration system for Brewers. IOS announcement, 1pp., (appendix: the original drawings from NIST 1997, 26pp).
- IOS (2006) : JMA 1000w NIST portable lamp system operating procedure, April 2006. *Int'l Ozone Services Inc.*, 4pp.
- 伊藤真人・下道正則・能登美之 (1998) : カナダ大気環境長(AES)における波長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・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, T. Grajnar, M. Brohart, V. Savastiouk, and K. Lamb (2007) : カナダ MSC におけるブリュー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制度. 高層気象台彙報, **67**, 39 - 52.
- Ito, M, T. Grajnar, and M. Brohart (2010) : Intercomparison of Brewer Spectrophotometers between MSC and JMA at Toronto, Canada in 2006, and Accuracy of MSC, IOS and JMA Systems of NIST Lamp Calibration. *Jour. of Aerological Observatory*, **69**, 33 - 40.
- Ito, M, I. UESATO, Y. Noto, O. Ijima, S. Shimizu, M. Takita, H. Shimodaira, and H. Ishitsuka (2013) : Absolute Calibration for Brwer Spectrophotometers and Total Ozone/UV Radiation at Norikura on the Northern Japanese Alps. *Jour. of Aerological Observatory*, **72**, 45 - 55.
- 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.
- 下道正則・伊藤真人 (1995) : 波長別紫外域日射計のポールダー国際相互比較. 高層気象台彙報, **55**, 11 - 18.

