

広帯域(全天型)紫外域日射計の NIST ランプ検定による測器感度変化と問題点

伊藤 真人*

Responsivity Trends of Broadband UV Radiometers by NIST Lamp Calibration and Difficulty of Observation

Mahito ITO

Abstract

Aging characteristics of seventeen broadband UV radiometers, namely nine of Kipp & Zonen (UV-S-AB-T), one Sin-Tec (UV-S-AB-T) and seven of Eko (MS210, MS212WF, MS212W) were analyzed on the basis of NIST lamp calibration results. They showed a variety of responsivity trends. Some of them indicated high stability or monotonous degradation with exposure time, while another gained higher responsivity by insolation. In the latter case the responsivity seemed to reach saturated value in a few months or years depending on the instrument. For many of the instruments the rate of responsivity change was 5 to 10 percent per year and the maximum was over 40 percent. Two instruments of the same manufacturer, one of which was exposed continuously and the other kept indoors, seemed to show a similar responsivity degradation of about 90 percent during fourteen years, which suggests a certain degrading factor other than insolation. The broadband radiometers calibrated by NIST lamp were compared with Brewer spectrophotometer by measuring the solar UVB irradiance. The irradiance ratios to Brewer scattered in the range of 0.8 to 1.2 for five of the same type with an exception of 2.0. Two of another type indicated a senseless ratio of 22. The cause of such large discrepancy remains unresolved.

1. はじめに

気象庁における広帯域(全天型)紫外域日射計による定常観測(B領域紫外域日射)は、つくばにおいて1990年より(気象庁:1993)、また南極においては1993年より開始された。しかし、この種の測器は、測器毎に測器感度や観測精度にばらつきが多く、それらの経年変化等についても不明な点が多い。WMOでは、これらの測器の精度を世界的に統一した基準で評価し、精度面から観測データを区分するといった試みを始めているが(WMO:1998, 2002a, 2002b)、実行には至っていない。いっぽうこの種の測器による観測値については、WCRP/BSRN(世界基準地上放射観測網(BSRN:2002))への導入が検討されており、その精度を議論する上においても、測器感度変化の現状を明らかにすることが求められている。

高層気象台では、当測器の常数をNISTランプ(National Institute of Standard and Technologyの照度付1000W標準ラ

ンプ)を用いた検定と、ブリューワー分光光度計(Brewer Spectrophotometer:以下Brewerと呼ぶ)との比較観測により校正してきた。しかし、NISTランプ検定による測器感度常数と、Brewerとの比較による測器感度常数との間には大きな相違が認められ、さらにその測器感度については年々変化している事実が明らかとなってきた。柴田ほか(2000)は、Brewerの観測値との比較から、当測器の波長依存性(分光特性)の経年変化を指摘した。これらのことから、現在ではBrewerとの比較によって得られた月別の測器常数により、観測値を算出している状況にある。

いっぽう、各製造元では独自に測器常数を提示してきた。例えばKipp & Zonenでは、Brewerとの比較結果を基準とし、太陽高度角やオゾン全量の変化による補正の必要性を強調している(Kipp & Zonen:2003)。しかし、それらの補正を施しても、測器感度の変化量が大きく、数%以内で観測値を議論することができない状況にある。

このようなことから本論では、1990年から当台で実施してきたNISTランプ検定による広帯域紫外域日射計4種

*高層気象台 観測第三課

17 測器の感度常数について総括し、測器常数の問題点を明らかにすることにした。

2. NIST ランプ検定による測器感度常数

2.1 検定測器

試験測器は、オランダ Kipp & Zonen 社(以下 Kipp と呼ぶ)の UV-S-AB-T Radiometer 9 台、同社の基本型 UV-S-AB-T (以下 Sin-Tec と呼ぶ) 1 台、国内の英弘精機社(以下 Eko と呼ぶ)の MS-212W 3 台(内、当台測器は MS-212WF)、同社の旧型測器である MS-210 4 台(内、MS-210W 2 台)の計 17 台である。Sin-Tec を含む Kipp のこれら全ての測器は、紫外域日射 A 領域(波長 315~400nm, 以下 UVA と呼ぶ)、紫外域日射 B 領域(波長 280~315nm, 以下 UVB と呼ぶ)、及び測器温度を同時に測定するものであり、Eko の MS-212W (MS-212WF を含む)は UVB と測器温度を、MS-210 (MS-210W を含む)は UVB のみのを測定する。これらは、Eko の MS210(MS-210W)を除き、全て温度制御方式を採用している。これらの仕様等については、製造元から発表された資料(英弘精機:2002a, b, c, Kipp & Zonen: 2000, 2001, 2003)を参照していただきたい。本稿で示す各測器の名称と測器番号は Table 1 のとおりである。

Table 1 Instruments No. and types

Kipp & Zonen	UV-S-AB-T				
(Sin-Tec)	010A00387				
(Old)	010-543	010-547	010-563	010-548	
(New)	030-619	030-620	030-621	030-622	040-625
Eko	MS210, MS212W and MS212WF				
MS210:	S89123.1	S89123.5	KS8602.01	KS8602.02	
MS212W:	S01041.14	(S01041.13)			
MS212WF:	S00083.19				

2.2 NIST ランプ検定方法

NIST ランプ検定は、下記の要領で実施した。

- 1) 測器搬入後、検定用暗室の室温に順応させるため 1 時間以上測器の warm up を実施。
- 2) 観測時と同様のケーブル、アンプ、送風装置を使用(一部の測器を除く)。
- 3) 内部シリカゲルの交換を含む測器の分解は行わず、UV ドームを清掃しただけの状態を実施。
- 4) 検定・試験は、室温約 20℃、室内対流型の気流を設定した検定用暗室で実施。
- 5) 新型 Brewer 用検定装置(ランプハウスは自然対流式、電源は Takasago IPSO 130-10)を使用。
- 6) 室温の監視は UV ドーム付近、及びそれより約 50cm 離れた場所の 2 ヶ所で測定。

検定手順は以下のとおり。

- 1) NIST ランプ照射前に暗闇状態で出力を測定し、暗計数(以下 Dark と呼ぶ)値とする。
- 2) NIST ランプ照射 ON 後、10 分間のランプ warm up を実施する。
- 3) 測定はマルチメータを複数使用し、それらの平均値を測定値とする。このときの測定誤差は、測器の出力が安定している場合、最大±0.1mV である。なお、NIST ランプの制御は規定とおり、Optronic の場合 8.000±0.001A 制御、Eppley の場合 7.900±0.001A 制御、照射距離は 50.00±0.01cm とした。
- 4) NIST ランプ照射を OFF とする。
- 5) NIST ランプ照射 OFF が完了するのを待ち、再度、暗闇状態で出力を測定し Dark 値とする。
- 6) ランプ交換を行い、上記 1)以降を繰り返す。

これらの検定方法は、検定用暗室を整備した 2000 年以降の手順である。しかし、それ以前もほぼ同様の検定環境下で実施している。なお、前述の電源装置は 1994 年以降であり、それ以前は旧式電源装置を使用していた。

2.3 算出方法

当検定では、NIST ランプ照度の設定、および測器感度常数の算出を次のように実施した。

(1) NIST ランプ照度の設定

検定証付 NIST ランプでは、ランプの種類により異なるが、Optronic OL200A の場合、250~400nm の波長域では 10nm 毎に絶対照度が付けられている。そのため、これら 10nm 毎の照度から回帰近似式により 0.5nm 毎の波長別照度を求めた(伊藤ほか:1991)。

(2) 測器感度常数の算出

測器常数を R とし、照度を $I_r(\text{W}/\text{cm}^2)$ 、出力値を $\text{Out}(\text{mV})$ とすると、それらの関係は $I_r = \text{Out} / R$ となる。

Dark の補正については、測定の前後で計測しているので、それらを線形近似し、計測値から差し引いた。なお本稿では、補正後の測器常数について提示するが、補正を実施しない測器感度常数の監視も重要なので、当台では常に 2 種類の常数監視を行っている。

2.4 NIST ランプ検定による測器感度常数の変化

前章の補正により、UVB 観測用常数(以下 R_{UVB} と呼ぶ)と、UVA 観測用常数(以下 R_{UVA} と呼ぶ)の経年変化を Fig.1 に示す。また前者の R_{UVB} については、最初の検定値を基

準とした感度比の経年変化を Fig.2 に示す。なお Fig.1 内の R_{UVA} については、表示の都合上、100 倍した値で表示している。また Eko の測器は、UVB 観測専用なので R_{UVB} のみの変化を示す。これらの測器は、Eko の旧型測器を除き、ほぼ 2002 年以降に生産されたものであるが、Fig.1 や Fig.2 のとおり、測器の種類により、それらの感度変化の程度や傾向にちがいが認められる。そこで、これら測器を製造会社別に 3 区分してまとめた。なお Fig.2 では、太陽下での暴露期間を付け加えた。

(1) Kipp の測器 (旧型 4 測器, 新型 5 測器)

Kipp の測器は、生産直後(3ヶ月以内に当台に搬入)から「安定している測器」: 特に 030620 や 010563 と、「安定化に時間がかかる測器」: 特に 010543 や 030622 に区分される。また、それらの測器常数の変化については、 R_{UVB} と R_{UVA} とともに同じ傾向を示す。なお、Kipp の 9 測器のなかで、旧型 4 測器については、後述の測器感度変化や分光特性、高度角・方位角特性等の問題により、新型 4 測器と交換している。

「安定化に時間がかかる測器」については、例外なく生産直後から測器感度の上昇傾向が認められる。この上昇傾向については、測器により程度が異なり、010543 では安定化まで搬入後から約 1 年半、010547 や 010548 では安定化まで 3 ヶ月程度を必要とした。また、030622(当台の現用測器)の場合には、搬入後 1 年 3 ヶ月が過ぎているが、未だ安定化はしていない。上昇傾向の程度(基準値からの感度比)については、010543 が約 1 年で 40%以上の感度変化、030622 が 1 年 3 ヶ月で 20%弱、となっている。その他の測器は、ほぼ 5%~10%以内の変化にとどまっているようである。なお、030620 は準器としている測器であるが、ほぼ±2%以内の感度変化となっている。

このような測器の感度変化については、太陽光下における暴露時間が大きく関与しているものと推定される。当台の定常測器は、当初 010543 であったが、前述の測器交換により 2004 年より 030622 に変更した。また、030620 は準器として取り扱っているため、比較時以外は室内に保存している。このようなことから、太陽暴露時間に応じて測器感度が変化する可能性が指摘できる。なお、010563 は半年で Kipp に返却している。

これらの測器以外は南極用測器であるが、010547、010548 等に認められるように、それほど大きな変化は示さなかった。ただし、南極で使用されていた間には、NIST ランプ検定ができないので、その間の動向については明らかでない。

(2) Sin-Tec の測器 (Kipp 旧型 1 測器)

Sin-Tec の 010A0087 は、現 Kipp の原型測器であるが、3 年間で約 8%の感度低下を示したものの、急激な感度変化は認められなかった。当測器は、同社の試験測器として太陽に暴露されている時間が長い、(1)で太陽暴露時間が長い 010543 や 030622 に比べ、変化量も少なく、また測器感度の増加傾向は認められなかった。

(3) Eko の測器 (旧型 4 測器, 新型 3 測器)

当台では、1990 年より MS210 KS8602.01 を使用した定常観測を実施してきたが、2003 年より定常観測用測器を MS212WF S00083.19 に変更した。また、MS210 KS8602.02 は比較観測時以外、室内で保存している。その他の測器は南極用測器である。

旧型の MS210 KS8602.01 は、当初 40%程度の感度上昇を見せたが、その後、徐々に低下し、2000 年頃には 80%の感度低下、2002 年には 90%を越える低下となった。同時期に製造された KS8602.02 についても、太陽に暴露してはいないもののほぼ同様の傾向をみせた。

新型 MS212WF S00083.19 では、測器搬入後約 2 年 2 ヶ月で約 26%の感度低下を示した。その低下傾向はほぼ一定であるので、今後も同じような減少傾向が続くと推定される。これに対し、昨年南極から持ち込まれた MS212WS01041.14 を検定する機会を得たが、その感度低下は 3%程度を示した。ただし、昨年の当測器を使用した測定では、当台のケーブルとアンプを使用している。また、南極での使用期間における測器感度については、調査を行っていないので不明である。

以上のように、NIST ランプ検定結果からみた広帯域紫外域日射計の測器感度トレンドは、製造会社により、また測器個々に異なることが判明した。測器感度に変化が起きるかどうかは、その測器を使用してみないと判らない状況にある。したがって、常に測器の感度を高精度で監視する必要がある。

3. 太陽光による Brewer MKIII #174 との測器相互比較

3.1 NIST ランプ検定による測器常数を使用した場合

Brewer との測器相互比較については、柴田ほか(2000)により Eko MS210 と当台の Brewer #052 との比較結果が明らかにされたが、本項では NIST ランプ検定で得た測器常数を使用した場合の日比較結果について紹介する。なお現在、当台では Eko MS212WF S00083.19 を正式な定常観測用、Kipp UV-S-AB-T 030622 を比較観測用としてそれぞれ用いている。

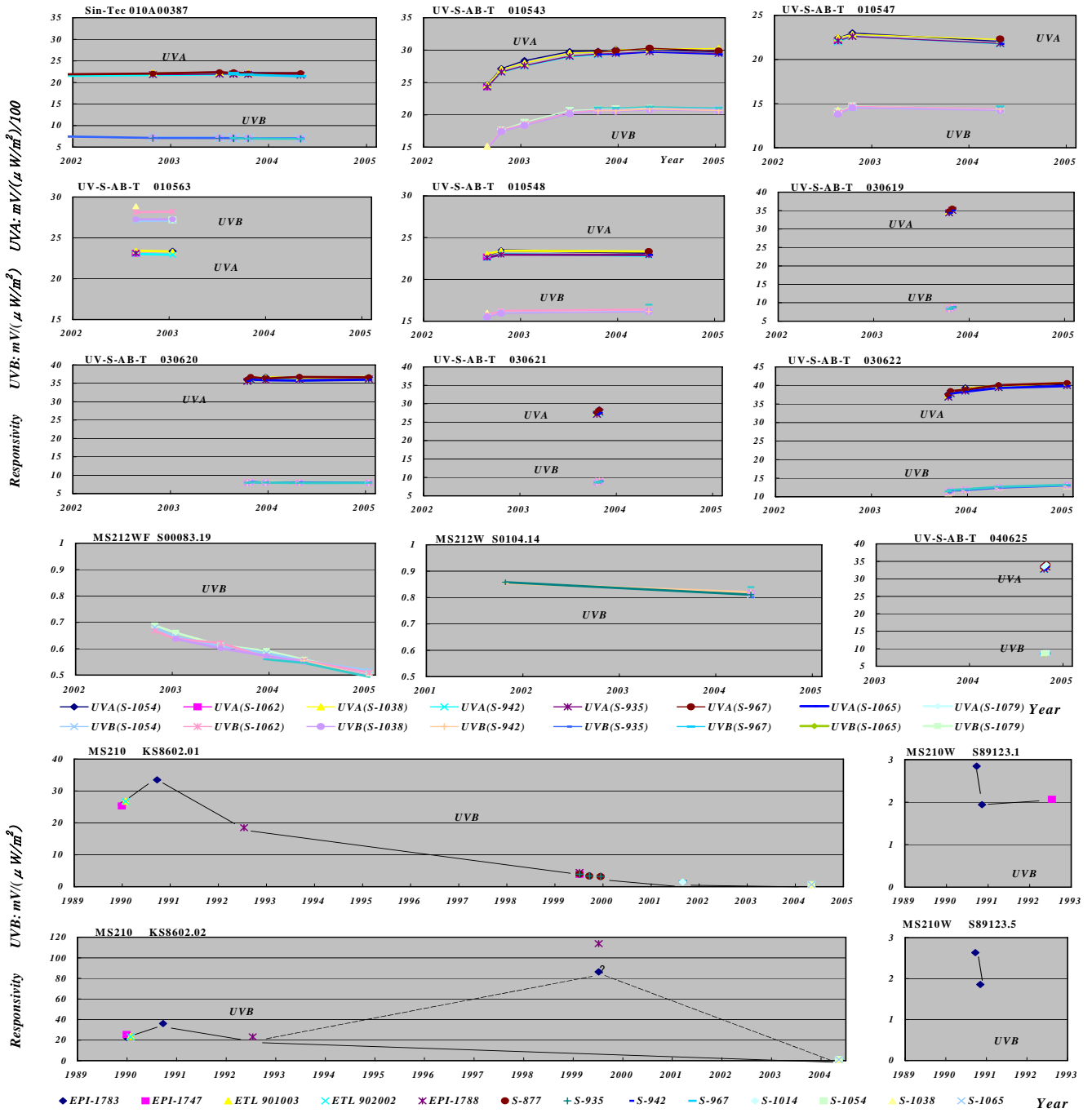


Fig. 1 Responsivity trend of broadband UV radiometers calibrated by 1000W NIST lamp.

Fig. 2 (next page) Same as Fig. 1 expressed as UVB responsivity ratio.

Sin-Tec(Kipp & Zonen): 010A00387. Kipp & Zonen: UV-S-AB-T 010543, 010547, 010563, 010548, 030619, 030620, 030621, 030622 and 040625. Eko: MS210 KS8602.01 & KS8602.02, MS210W S89123.1 & S89123.5, MS212WF S00083.19, and MS212W S01041.14.

UVA: 315~400nm. UVB : 280~315nm. Kipp & Zonen instruments are designed to output UVA in parallel with the UVB.

今回の測器相互比較観測については、データロガーの都合により、上記測器を除いて 2004 年 4 月から 10 月の間の特定期間について実施した。そのため、全測器を一斉に比較することはできなかった。これらの中で 3 測器についての結果を、Fig.3 上半分に 5 月 7 日の例(a: Eko

MS212WF S00083.19, Sin-Tec 010A0038, Kipp UV-S-AB-T 030622, 及び Brewer #174)を、下半分に 6 月 16 日の例(b: Eko MS212WF S01041.14, Kipp UV-S-AB-T 010548, 同 030622, 及び Brewer #174)を示す。

Fig.3 の(a-Ir-1)と(b-Ir-1)は、比較日の 1 ヶ月以内実施

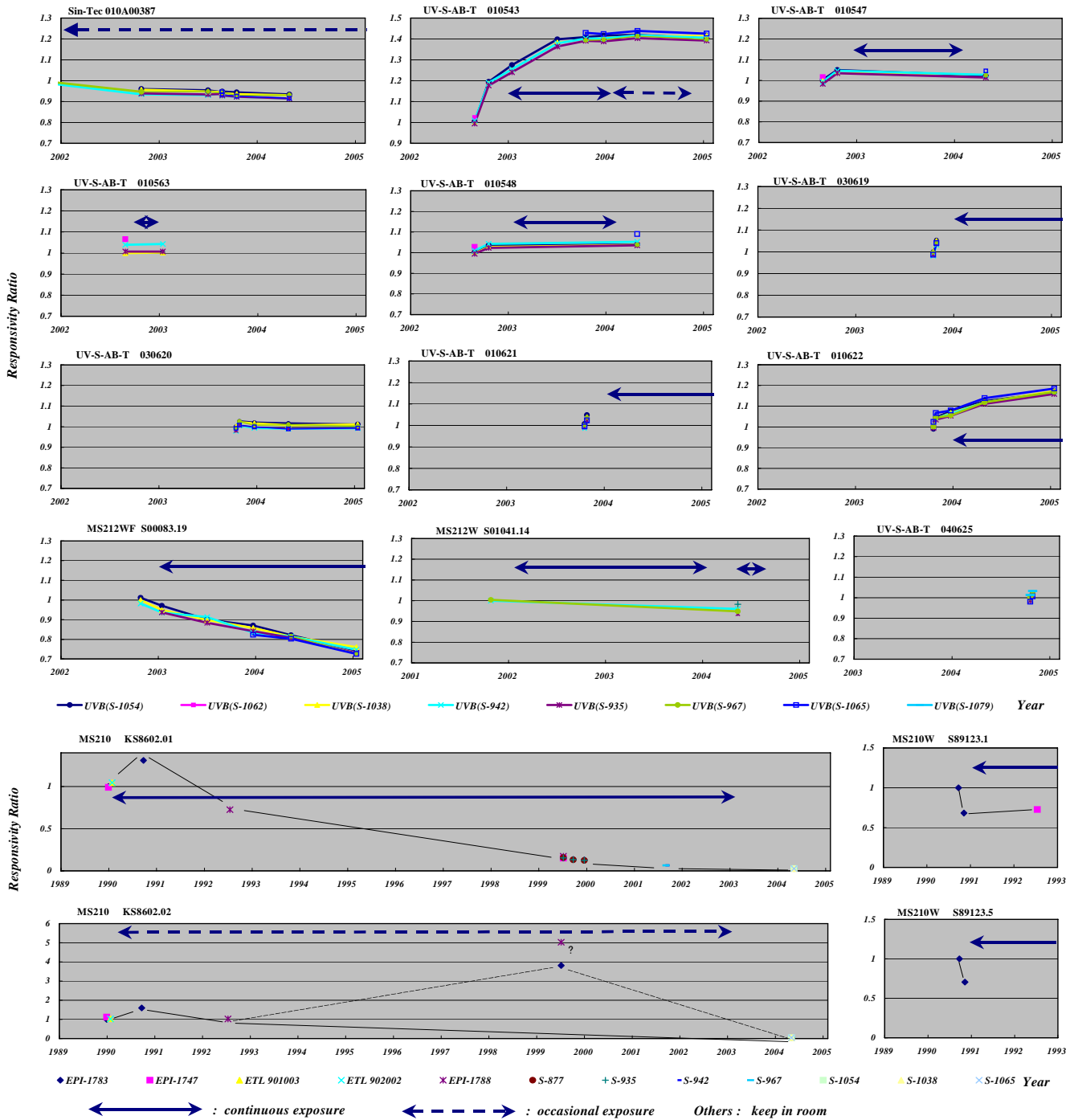


Table 2 Responsivities by NIST lamp calibrations and by comparisons with Brewer MKIII #174. Irradiance ratios to the Brewer were calculated using the responsivities by NIST lamp calibrations.

Instrument Type	No.	Responsivity (mV/(μW/cm ²))							Irradiance Ratio to Brewer #174 using Responsivity by NIST Lamp Calibration												
		by NIST Lamp Calibration		Day in 2004	by Comparison with Brewer #174 using Average from 11 to 12h				using Responsivity by NIST Lamp Calibration												
		UVB	UVA		UVB	UVB	UVB	UVB	UVB	UVB	UVB	UVB	UVB								
Kipp UV-S-AB-T	010-543	20.893	0.301	26 Apr	19.130																
Kipp UV-S-AB-T	010-548	16.206	0.233	26 Apr																	
Kipp UV-S-AB-T	010-547	14.408	0.223	27 Apr				12.770													
Kipp UV-S-AB-T	030-620	8.041	0.364	27 Apr																	
Kipp UV-S-AB-T	030-622	12.471	0.399	27 Apr	9.850	9.900	9.990	9.730						0.79	0.80	0.80	0.78				
Kipp UV-S-AB-T	030-625	8.756	0.339	27 Oct																1.90	1.98
Sin-Tec UV-S-AB-T	010A00387	6.999	0.219	28 Apr		8.310									1.19						
EKO MS210	KS8602-1	0.696	---	02 May																	
EKO MS210	KS8602-2	1.147	---	09 May																	
EKO MS212W	S01041.14	0.677	---	11 May																	
EKO MS212WF	S00083.19	0.554	---	11 May	11.970	11.970	11.660							21.60	21.70	21.00	21.60				

NIST Lamp : Optronic S-1054, S-1038, S-942, S-935, S-967 and S-1065.
 Multimeter : Fluke 87 No.54680384, No.48450398 and No.59190259.
 MS212W : with cable of MS212WF.

	21 Apr	07 May	04 Jun	16 Jun	23 Oct	24 Oct
Zenith Angle at 11h	25.6	20.8	15.9	15.4	47.9	48.2
Zenith Angle at 12h	24.6	19.9	14.4	13.4	48.3	48.7

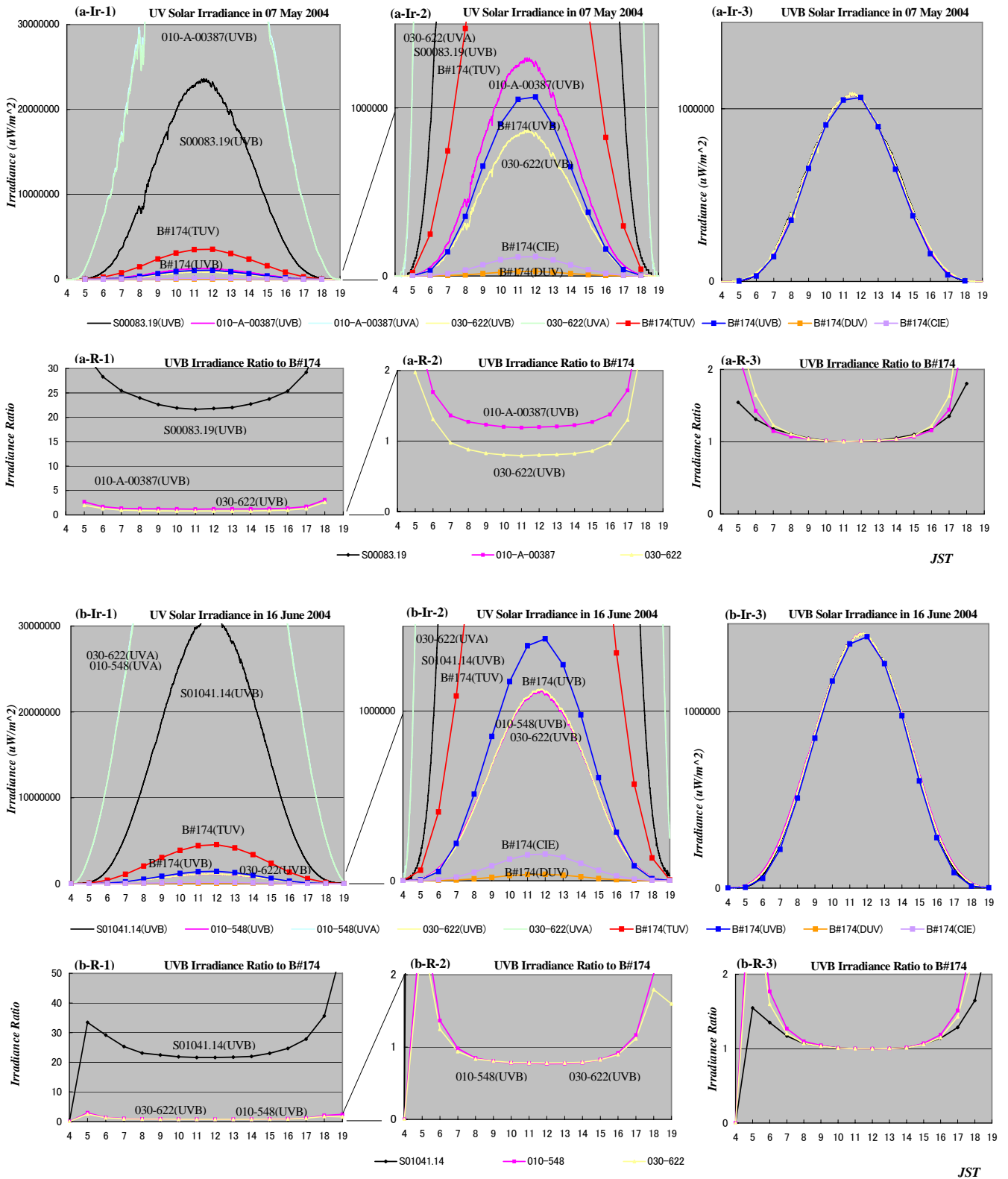


Fig. 3 Results of comparison between broadband UV radiometers and Brewer MKIII #174.

Results (a-Ir-1), (a-Ir-2), (b-Ir-1) and (b-Ir-2) show daily UV irradiances using fixed responsivities by NIST lamp calibration. Results (a-Ir-3) and (b-Ir-3) show daily UV irradiances using averaged responsivities calculated from the comparison with Brewer MKIII #174 at 11h and 12h JT. Charts (a-R-1), (a-R-2), (a-R-3), (b-R-1), (b-R-2) and (b-R-3) indicate daily UV irradiance ratios to Brewer MKIII #174. Broadband UV radiometers are (a) Eko MS212WF S00083.19, Sin-Tec 010A00387 and Kipp UV-S-AB-T 030622, and (b) Eko MS212W S01041.14, Kipp UV-S-AB-T 010548 and Kipp UV-S-AB-T 030622.

の NIST ランプ検定で得た測器常数を使用した場合の紫外域日射強度の日変化を示す。それらの部分的拡大図を右側の (a-Ir-2) と (b-Ir-2) に示す。この図のとおり、(a)、(b) ともに Eko MS212WF による観測値が異常に高い値を示すことが判る。

Fig.3 の (a-R-1) と (b-R-1) は、Brewer #174 の観測値を基準とした場合の各測器の紫外域日射強度比を示す。それらの部分的拡大図を右側の (a-R-2) と (b-R-2) に示す。この図のとおり 5 月 7 日において、Eko MS212WF S00083.19 は Brewer #174 に比べ約 21.70 倍もの強度となり、Kipp UV-S-AB-T 030622 は約 0.80 倍、Sin-Tec 010A0038 が 1.19 倍となった。同様に 6 月 16 日では、Eko MS212W S01041.14 は Brewer #174 に比べ約 21.60 倍もの強度となり、Kipp UV-S-AB-T 030622 は約 0.78 倍、Kipp UV-S-AB-T 010548 が 0.77 倍となった。このように、これら測器の観測値が Brewer #174 と一致することはなく、Eko の測器については 20 倍以上の測定値が示された。Kipp の場合には、観測値のオーダーはほぼ一致したが 20% 前後の誤差が生じていることが明らかとなった。

Table 2 では、これらを含むいくつかの比較観測結果を示す。この表のとおり、複数日に実施した比較結果は常に一定ではなく、数%程度の差が認められた。これらの差が、季節変化(太陽高度角の差)等に左右されるものかどうかについては、データ数が少ないため言及できない。いっぽう Fig.3 の (a-R-1)、(a-R-2)、(b-R-1)、及び(b-R-2)では、太陽高度が高い南中時に照度比(Irradiance ratio)が低く、太陽高度が低い時間帯ほど高くなっている。例えば (a-R-1) の S00083.19 では 11~12h に Brewer #174 の約 22 倍となっているが、7h や 16h では 25 倍以上となる。これらのちがいは、各測器の高度角・方位角特性(伊藤:2002)も影響していると考えられる。ただし、後述するように、照度の大小により、測器感度が変化する可能性も残されている。

3.2 Brewer との比較による測器常数を使用した場合

Brewer #174 との比較で得られた測器常数を用いた場合の比較結果を 3.1 と同様、Fig.3 右列の (a-Ir-3)、(a-R-3)、(b-Ir-3)、及び(b-R-3)に示す。

これらの解析に使用した測器常数は、当日の 11h と 12h の比較結果から得たものなので、当然 11h や 12h の結果は Brewer #174 の結果と一致する。しかし、太陽高度角が低くなる日の出・日没頃になると、Brewer #174 の観測値と離れる傾向となる。また、(a-R-3)と(b-R-3)では、両者とも太陽高度の低い時間帯において、Eko の 2 測器が Brewer #174 に近く、Kipp の 2 測器と Sin-Tec の 1 測器が離れて

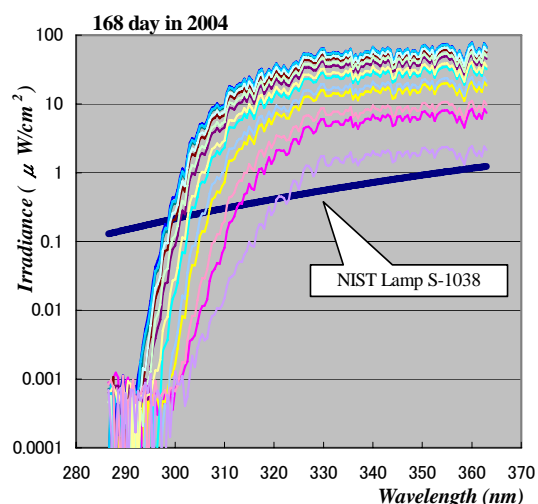


Fig. 4 Spectrum of NIST lamp S-1018 comparing with the solar spectra in 168th JD, 2003 by Brewer MKIII #174.

いる。これらのちがいの要因には、前述したように測器固有の高度角・方位角特性による要因が含まれている。

4. 問題点とまとめ

以上のように、測器感度の経年変化は測器個々に異なること、常に測器感度を監視して観測値を補正しなければならないこと等々が明らかとなった。また、NIST ランプ検定で校正された測器常数を用いて Brewer #174 と比較観測をした場合、その照度比は Eko の測器で約 20、Sin-Tec を含む Kipp の測器で 0.8~1.2 となった。

後者の原因を明らかにするためには、個々の広帯域紫外域日射計の分光特性を明確にする必要がある。特に、最高感度を有する波長帯(分光特性のピーク)や、B 領域の測定器では B 領域をどの程度反映させているか、といった問題が重要となる。比較結果の相違が、NIST ランプ照度と太陽光照度のちがいに起因するならば、この種の測器が何を測定しているのか判らなくなる。

参考のため、Fig.4 に NIST ランプと太陽光の波長別強度を示す。Fig.4 のとおり、短波長域においては NIST ランプ照度が太陽光照度に比べ 10^4 倍以上高くなっている。逆に 315nm 以上の長波長域では、NIST ランプ照度は夏の日の出・日没頃の太陽光照度より若干低い程度となっている。もしこの種の測器が、ある限られた波長帯だけしか測定できないのであれば(例えば波長幅 1nm 程度の領域しか測定できないのであれば)、その波長帯が、NIST ランプと太陽光の波長別照度差が大きい波長帯であった場合、3.1 のような大きな差になって現れるのではないかと推定される。したがって、この種の測器がどの波長帯をどの程度測定するものなのかを調査する必要がある。な

お本稿では割愛したが、比較観測で使用した測器について、いくつかのカットオフフィルターによる試験を行ったところ、B領域の測定器がA領域の照度まで測定している事実は少ないことを確認している。

本稿では、NISTランプ検定による広帯域紫外域日射計の感度変化について総括し、比較観測の問題点を明らかにした。これらのは以下のとおりまとめられる。

(1) 広帯域紫外域日射計について、過去15年間のNISTランプ検定で得た測器感度の変化状況についてまとめた。

a) 測器感度の経年変化の程度は測器個々に異なり、10年間で80%以上変化した測器や、1年間で40%以上変化した測器が認められ、最近では5~10%の変化する測器が多かった。なお、経年変化が認められない測器は非常に少なかった。

b) 測器感度の変化傾向は、測器の種類毎に酷似する。生産後に測器感度が徐々に上昇し、感度が安定化するまで数年が必要な測器、また生産後に感度低下が一定して認められる測器等があった。

(2) 広帯域紫外域日射計と Brewer との比較観測を行い、そのちがいについてまとめた。

a) NISTランプ検定で校正された測器常数を使用した場合、Brewerの観測値に対し、20倍以上の誤差を示した例や、0.8~1.2倍の誤差を示す例が認められ、数%以内で一致するような測器はなかった。

b) Brewerとの比較観測で校正された測器常数を使用した場合、太陽高度によって比較誤差が異なる。さらにこれらの誤差の傾向は、測器毎に異なる。

本稿では、過去15年間に当台で実施してきたNISTランプ検定で明らかになった測器感度の経年変化、また Brewer との比較結果について報告した。これは、広帯域紫外域日射計を使用している国内外のユーザーからの問い合わせに答えるもので、この種の測器が、全天日射計や直達日射計のように測器常数の取り扱い方やデータの補正方法が確立しているものではなく、データの取得、特に照度の把握には十分な検討と注意が必要であることを認識してもらうためである。今後、個々の測器の分光特性等を明らかにする必要がある。

謝 辞

本稿を草するに際し、気象研究所気象衛星・観測システム研究部の廣瀬保雄主任研究官には数々のご助言を賜った。また、観測第三課の居島 修研究官、長井勝栄研

究官には比較データの取得を助けていただいた。各種試験測器については、本庁南極観測事務室の皆様、オランダ Kipp & Zonen 社、(株)ブリード、(株)英弘精機の各社にお世話になった。これらの方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- BSRN(2002) : BSRN 7th Report. *WCRP/BSRN*, 53pp.
- 英弘精機(2002a) : B 領域紫外放射計技術資料. 英弘精機株式会社配布資料, 2pp.
- 英弘精機(2002b) : 市販 B 領域紫外放射計の性能比較. 英弘精機株式会社配布資料, 5pp.
- 英弘精機(2002c) : B 領域放射計 MS-212W, 212D 取扱説明書. 英弘精機株式会社, 10pp.
- 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ーオゾン層変化に伴う地上到達紫外線量の変化のスペクトル観測による評価ー. *研究時報*, **43**, 213 - 273.
- 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(ブリューワー分光光度計)の高度角・方位角特性. *高層気象台彙報*, **62**, 53 - 66.
- 伊藤真人(2003) : 全天型(広帯域)紫外域日射計の高度角・方位角特性. *高層気象台彙報*, **63**, 41 - 50.
- Kipp & Zonen (2000) : Instrument manual UV-S-X-X UV sensors. *Kipp & Zonen Inc, Netherlands*, 29pp.
- Kipp & Zonen (2001) : Calibration certificate UV-S-A(B)-T radiometer. *Kipp & Zonen Inc, Netherlands*, No.010543:4pp, No.010547:4pp, No.010548:4pp, No.010563:4pp.
- Kipp & Zonen (2003) : Calibration certificate UV-S-A(B)-T radiometer. *Kipp & Zonen Inc, Netherlands*, No.030619:4pp, No.030620:4pp, No.030621:4pp, No.030622:4pp, (No.040625:4pp).
- 気象庁(1993) : 紫外域日射観測指針. 気象庁, 83pp.
- 高層気象台観測第三課(1996) : 日射・放射資料集. 気象庁高層気象台, 196pp.
- 柴田誠司・伊藤真人・能登美之・上野丈夫・岡本利次(2000) : 全天型紫外域日射計の感度変化と測定精度. *高層気象台彙報*, **60**, 17 - 24.
- WMO (1998) : Guidelines for site quality control of UV monitoring. *WMO/GAW*, No.126, 39pp.
- WMO (2002a) : Instruments to measure solar ultraviolet radiation: Part 2: Broadband instruments measuring erythemally weighted solar irradiance. *WMOwg18*, Ver.19 Feb. 2002, 33pp.
- WMO (2002b) : Quality assurance in monitoring solar ultraviolet radiation: the state of the art. *WMO/GAW*, 44pp.