

広帯域(全天型)紫外域日射計用 外部標準ランプ点検装置の開発とその精度

伊藤 真人*・高野 松美*

Development of External Lamp Test Unit for Broadband UV Radiometer

Mahito ITO and Matsumi TAKANO

Abstract

To monitor and correct the responsivity change of broadband UV radiometer, an external lamp unit, together with the operation method, was developed at the Aerological Observatory in Tsukuba. The accuracy of this unit including the operation methodology was tested periodically in parallel with the comparison with NIST lamp test results from January to December in 2005. The results are summarized as follows: 1) The external lamp unit using 50W halogen lamp was effectively used for global (upward facing) and reflected (downward facing) UV radiometer in the observation field. By changing the mount of lamp house, the unit could be attached to some kinds of UV radiometers (Kipp & Zonen UV-S-AB-T and EKO MS212WF). 2) Optimal warm-up time of the lamp seemed to be about 20 minutes, which was derived through many experimental tests. 3) Irradiance stability of 0.1%($\pm 0.05\%$) was achieved by controlling the voltage of the power supply within the range from 11.999 to 12.001V. 4) Comparison experiments were carried out over a year to test the usefulness of the unit and the operation method developed. The result showed that the average responsivities of UV radiometer traced in the field by the external lamp unit using three 50W lamps agreed well within 1% with those determined by indoor NIST lamp tests using six 1000W lamps.

It was demonstrated that periodical application of the external lamp test unit and the operation method system developed can serve as a practical measure to assure the reliability and consistency of UV monitoring network with broadband UV radiometers.

1. はじめに

広帯域(全天型)紫外域日射計については、経年的に感度変化を起こすことがNISTランプ検定試験や波長別紫外域日射観測装置(Brewer Spectrophotometer:以下、Brewerと呼ぶ)との太陽光を利用した比較観測により明らかとなってきた(柴田ほか:2000, 伊藤:2005)。これは、測器内部の受光部の劣化や、それに伴った分光特性の変化によるものと推定される。しかし、この種の測器の感度変化については、簡易的にそれを把握する装置や技術が確立されておらず、定期的な監視体制も整っていない。WMO(1998, 2002)ではこのような監視体制の重要性を指摘してはいるものの、実際に世界共通の点検装置の開発や、測器の感度変化を把握する定期点検による観測値の補正は

行われていない。

いっぽう測器感度の把握は、NISTランプ検定試験により可能ではあるが、度々測器を移動させて試験を実施することは不可能である。またBrewerや他測器の比較観測により補正を行うにしても、両測器の高度角特性のちがいが等(伊藤:2002, 2003)により、詳細な感度変化を追尾することはできない。このようなことから、この種の測器専用外部標準ランプ点検装置の開発が期待されていた。

本稿では、新たに開発した点検装置を紹介するとともに、その点検精度等について記述する。なお、広帯域(全天型)紫外域日射計の基本的構造については、気象庁(1993), Kipp & Zonen(2000, 2001, 2003), 英弘精機(2002a, b, c)等を参照していただきたい。

*高層気象台 観測第三課

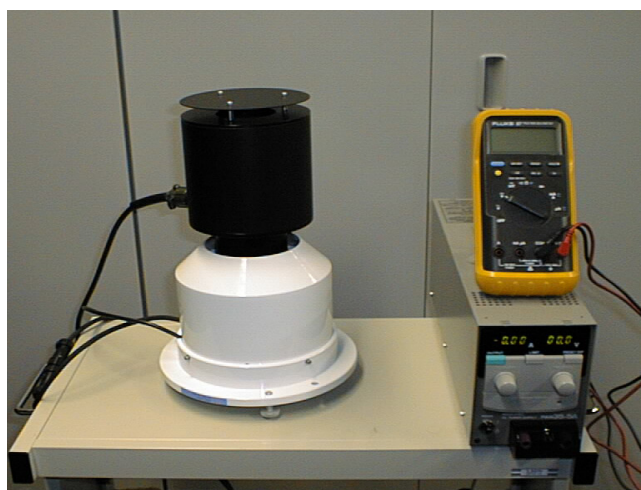


Photo. 1 New external lamp test unit (Single Type) for broadband UV radiometer which measures global UV radiation.

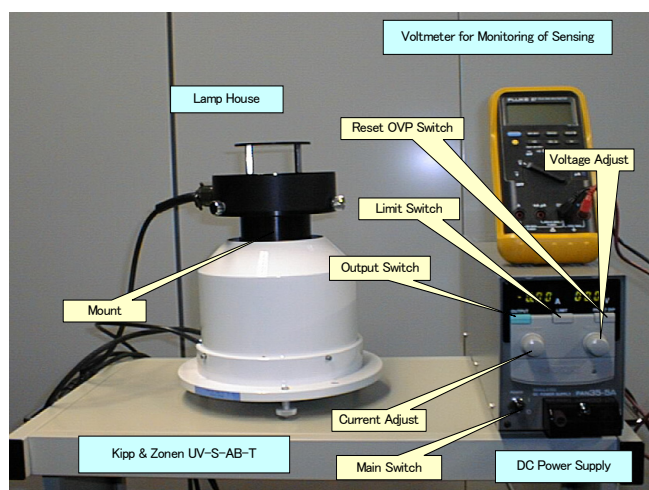


Photo. 2 New external lamp test unit (Double Type) for broadband UV radiometer which measures global UV radiation or reflected UV radiation.

2. 外部標準ランプ点検装置の開発

2.1 概要

今回開発した外部標準ランプ点検装置は、測器を移動させなくても点検が可能で、「全天紫外域日射観測用の測器の設置状態」はもとより、「地面反射紫外域日射観測用の測器の設置状態」でも点検を可能な構造とした。Photo. 1は前者のみを対象とした装置(以下 Single Type と呼ぶ)であり、Photo. 2は両者を対象とした装置(以下 Double Type と呼ぶ)を示す。これらの内部構造のちがいについては、後者に 2.2(b)の標準ランプ固定金具が装着されているほかはほぼ同じである。

また、UV(石英)ドーム用のマウントを取り替えることにより、各種測器の点検が可能な構造とし(現在は Kipp & Zonen UV-S-AB-T と EKO MS212W の2種に装着可能)、ランプフィラメントと測器のテフロン拡散板との照射距離を Brewer と同様、5cm とした。

点検は、通常、夜間等の観測の合間に外部標準ランプを用いて実施するが、ランプハウス内部に周辺の光が混入しない構造となっているので、昼間でも点検は可能である。点検用ランプは1測器につき複数とし(理想的には5個)、Brewer に使用されているものと同型(伊藤ほか:2000)のホルダー付きタングステン・ハロゲンランプ(50W)を製作・整備した。なお、同じランプを複数の測器に使用することが可能である。点検は、定期的な間隔で実施することが望ましい。点検の基準値は、NIST ランプ検定時(同環境下で実施)の値とし、実際の観測状態における点検値とのちがいにより観測値を補正する。

点検装置は、Photo. 2とPhoto. 3の通り、直流安定化電源、ランプハウス、外部標準ランプ、ケーブル類等で構成さ

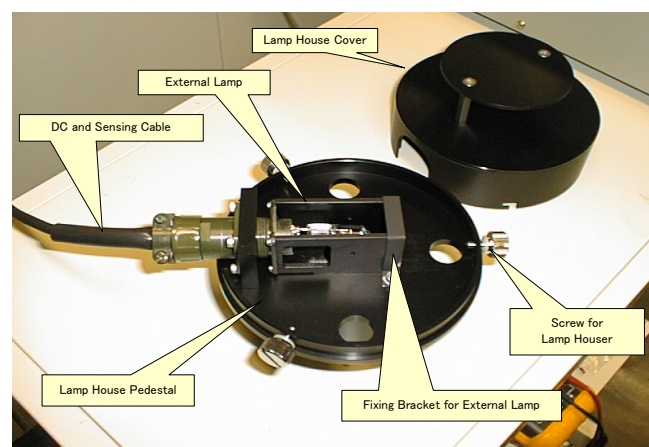


Photo. 3 Lamp house, lamp holder and external lamp of the Double Type unit.

れる。これらについて、Double Typeの装置を以下に説明する。なお、Double Typeの装置は南極への搬出が予定されていたため、後述の 3.3における年間の点検では、Single Typeの装置を使用した。

2.2 装置の構造と使用方法

(a) 直流安定化電源

ランプ用電源は、直流安定化電源(DC Power Supply)の KIKUSUI PAN 35-5 A (KIKUSUI PAN 35-20A や Kipp & Zonen BA-C126も可能)であるが、ケーブルコネクタを新規製作すれば、同等品でも使用可能である。電源は AC100V を DC約12Vに変えて供給する。ただし、ケーブル、ランプホルダー、ランプ等の抵抗変化により電圧が変化するので、Remote Sensing 機能(以下 Sensing と呼ぶ)が必要である。当電源は、常時、電圧12.000Vを供給させ

る定電圧電源として用いる。

電源後部から出ている電圧供給・制御用ケーブル(DC and Sensing Cable)は8芯(2本：12V, 2本：12V用com, 1本：Sensing, 1本：Sensing用com, 1本：監視用, 1本：監視用com)となっている。監視用2芯のSensingケーブル用端子には電圧計を接続し、常に電圧12.000Vが供給されているかを監視する。

電源前面のコントロールパネル左方には主電源スイッチ(Main Switch)がある。また、コントロールパネルには左側に電流調整用つまみ(Current Adjust), 右側に電圧調整用つまみ(Voltage Adjust)がある。通常、電流調整つまみは最大に設定する。電圧調整用つまみは、ランプの電圧調整用であり、ランプ点灯後、Sensingの電圧計(Voltmeter for Monitoring of Sensing)が12.000V(±0.001V)になるよう調整する。

その上側には、左から出力スイッチ(Output Switch), 出力限界スイッチ(Limit Switch), リセットスイッチ(Reset OVP Switch)がある。出力スイッチは、主電源スイッチONの後、ONにさせればランプ点灯となる。出力限界スイッチは、ランプ試験時においてONで押し続けながら電圧調整用つまみで電圧上限を12.05V程度に設定するが、一度設定すれば毎回使用することはない。

コントロールパネル上部の表示盤は、左側が電流計表示、右側が電圧計表示となっている。両方とも1/10A(V)の単位まで表示する。

Sensingケーブル端子に接続させる電圧計は、通常、Brewer用 Fluke 87(Wavetek 85XT)を用いる。表示は1/1000 V単位とする。構造や使用方法は、Brewerに使用する場合と同様である。

(b) ランプハウス

ランプハウス(Lamp House)は、マウント(Mount), ランプハウス台座(Lamp House Pedestal), 標準ランプ固定金具(Fixing Bracket for External Lamp), ランプハウスカバー(Lamp House Cover)等で構成される。マウントには測器装着用のテフロン製ネジが、ランプハウス台座下部にはマウント装着用のテフロン製ネジが、ランプハウスカバー下部にはランプハウス台座装着用のテフロン製ネジが、それぞれ取り付けられている。

マウントのテフロン製ネジは、NISTランプ検定時(基準値の点検時)に測器に応じて位置を決定する。その位置を決定した後は、それを動かすと点検値に影響を及ぼすので注意する。

ランプハウス台座下部のマウント装着用のテフロン製ネジも、NISTランプ検定時(基準値の点検時)に固定させれ

ば、それ以降、測器の種類を変更する場合を除き、取り外す必要はない。また、ランプハウス台座は、電源供給・制御用ケーブルが出ている位置を北側(測器の出力ケーブルが出ている方向)にしてマウントとともに測器に装着させる。

標準ランプ固定金具は、ランプハウス台座に2本のネジで外部標準ランプを固定させるものである。外部標準ランプを交換する場合には、このネジを十分にゆるめて行う(取り外さなくても可能)。

ランプハウスカバーは、ランプハウス台座を覆うように装着させるが、電源供給・制御用ケーブル退避用の窪みを北側にして設置する。

(c) 外部標準ランプ

外部標準ランプ(External Lamp)については、Brewerと同様、ホルダー付きで、1測器について番号(L321等)のつけられたランプが複数用意されている。ランプホルダーの端子は6Pであるが、ランプハウス台座のソケットの奥までしっかりと挿入する。このとき、ランプホルダー端の凹型の切込部と、ランプハウス台座側の凸型の突起とを組み合わせるようにする。挿入後、標準ランプ固定金具でしっかりと固定させる。

なお、ランプホルダーには側面にピンホールが設けられているが、これはランプをランプホルダーに取り付ける際、フィラメント位置をピンホールに合わせるためのものである。通常、フィラメントがピンホールの位置から少しずれていてもかまわないが、最初に使用の際、各ランプのフィラメント位置を記録しておくことが望ましい。ただし、ランプホルダーをランプハウス台座のソケットに挿入し標準ランプ固定金具で固定した場合、フィラメントとピンホールとの位置関係は若干ずれることがある。

(d) ケーブル類

直流安定化電源から出ている電圧供給・制御用ケーブルのコネクタは、ランプハウスから延びる電圧供給・制御用ケーブルのコネクタと接続させて使用する。これらのコネクタは9Pであるが、実際には8Pが使用されている。コネクタを接続させるときには、揮発性接点復活剤とブローを用いて確実に接続させる。ピンの接触部が劣化すると、一定の電圧を供給させることが不可能となる(電圧不安定)。また直流安定化電源用のAC商用電源については、100V以上(103~105V)を供給していないとランプ照度が不安定になることがある。

2.3 点検手順

点検は、通常、風が弱く(風速 5m/s 以下)、降水のない(霧雨等でも可能)夜間に行う。この条件に当てはまらない場合は順延する。対象測器については、NISTランプ検定時に使用したアンプ、ケーブル、送風装置を必ず用いなければならない。他測器のアンプやケーブルを用いると、精確な点検値が得られない。また、送風装置の送風ONと送風OFFの場合とでは、ランプ照度や測器感度に大きな差が生じる。通常の点検は、ランプ1個について約25分(warm up : 20分, データ取得 : 5分)を要する。点検手順は以下の通りである。

[点検前の作業]

- 1) 使用する複数個のランプのフィラメント位置を確認し、ランプのガラス面のゴミをブロアで清掃する。ランプが相当汚れている場合には、アルコールで慎重に清掃する。
- 2) 電源供給・制御用ケーブルのコネクタの接点復活を行う。

[点検作業]

- 3) 点検装置一式を測器の所に持って行き、ACケーブルをコンセントに、また電源供給・制御用ケーブルのコネクタを接続させる。ランプハウスは簡易机等(焼けこげない板等)の上に置いておく。このとき、「全天紫外域日射観測用測器」の場合には通常通りの縦置き、「地面反射紫外域日射観測用測器」の場合には逆向きに置く。
- 4) 測定装置のUVドームをアルコールで清掃する。
- 5) ランプカバーを取り外し、外部標準ランプをソケットにきちんと装着させる。このとき、ランプホルダー端の凹型の切込部をランプハウス台座の凸型突起にあわせるよう静かに挿入する。また6本のホルダー端子も痛めないよう注意する。
- 6) 標準ランプ固定金具を用いて、ランプホルダーをランプハウス台座にしっかり固定させる。
- 7) ランプカバーを装着させ、ネジで固定する。
- 8) 主電源ONとし、出力スイッチをONとする。
- 9) Sensingの出力が12.000Vになるように電圧調整用つまみで電圧調整する。
- 10) この状態(点灯させた状態)で20分間静置させ、ランプの warm up を実施する。このとき、「地面反射紫外域日射観測用測器」の場合は、逆向きで静置する。
- 11) 20分間の warm up が終了したら、その状態(静置した状態)を維持させ、ランプハウス台座下のマウントを

測器の感部に装着させる。このとき、UVドームを傷つけないよう注意する。「反射紫外域日射観測用測器」の場合は、逆向きの状態を手で維持する。

- 12) この状態で、数分間計測させる。計測が自動収録でない場合には、出力値(UVB, UVA, Temp等)を記録する。また、Sensingの電圧計の出力、コントロールパネルの電流計表示、及び電圧計表示を記録する。
- 13) 出力スイッチOFFの後、主電源スイッチOFFとする。
- 14) ランプカバー、標準ランプ固定金具を取り外し、ランプを交換する。外したランプについては、6Pの端子側を上にして静置させ、常温になった後、保管する。
- 5)~14) についてランプ毎に繰り返して実施する。

[点検後の作業]

- 15) ACケーブル、電源供給・制御用ケーブルのコネクタを取り外し、点検装置一式を収納する。
- 16) ランプを収納する。このときランプホルダーの6Pの端子側を上にして保管する。
- 17) 記録を整理し保存する。

2.4 測器感度トレンドの算出

点検結果の出力を自動収録している場合、点検時のランプ番号に注意し、数点の平均値をその出力として記録する。手動測定の場合は、数回の平均値をその出力として記録する。記録要素は、UV-S-AB-Tの場合、1) 点検日時、2) ランプ番号、3) Output_UVB、4) Output_UVA、5) Output_Temp、6) Sensing_V、7) Power Supply_A、8) Power Supply_V とする。また 3) Output_UVB や 4) Output_UVA の出力値については、暗計数補正(Dark Correction)を施す。暗計数が一定でない場合には、点検前後の暗計数を線形近似する。

測器感度トレンド(測器感度変化量)の算出は、次の通りである。照度を I_r 、測器感度を Res 、出力値を V とすると、NISTランプ検定時(NIST)では、

$$I_r (NIST) = V (NIST) / Res (NIST)$$

となる。また、定常観測中の各点検時(Obs)では、

$$I_r (Obs) = V (Obs) / Res (Obs)$$

となる。ここで外部標準ランプの照度に変化はないもの「 $I_r (NIST) = I_r (Obs)$ 」と考えれば、上の2式は、

$$V (NIST) / Res (NIST) = V (Obs) / Res (Obs)$$

となり、NISTランプ検定以降の測器の感度変化量 α は、

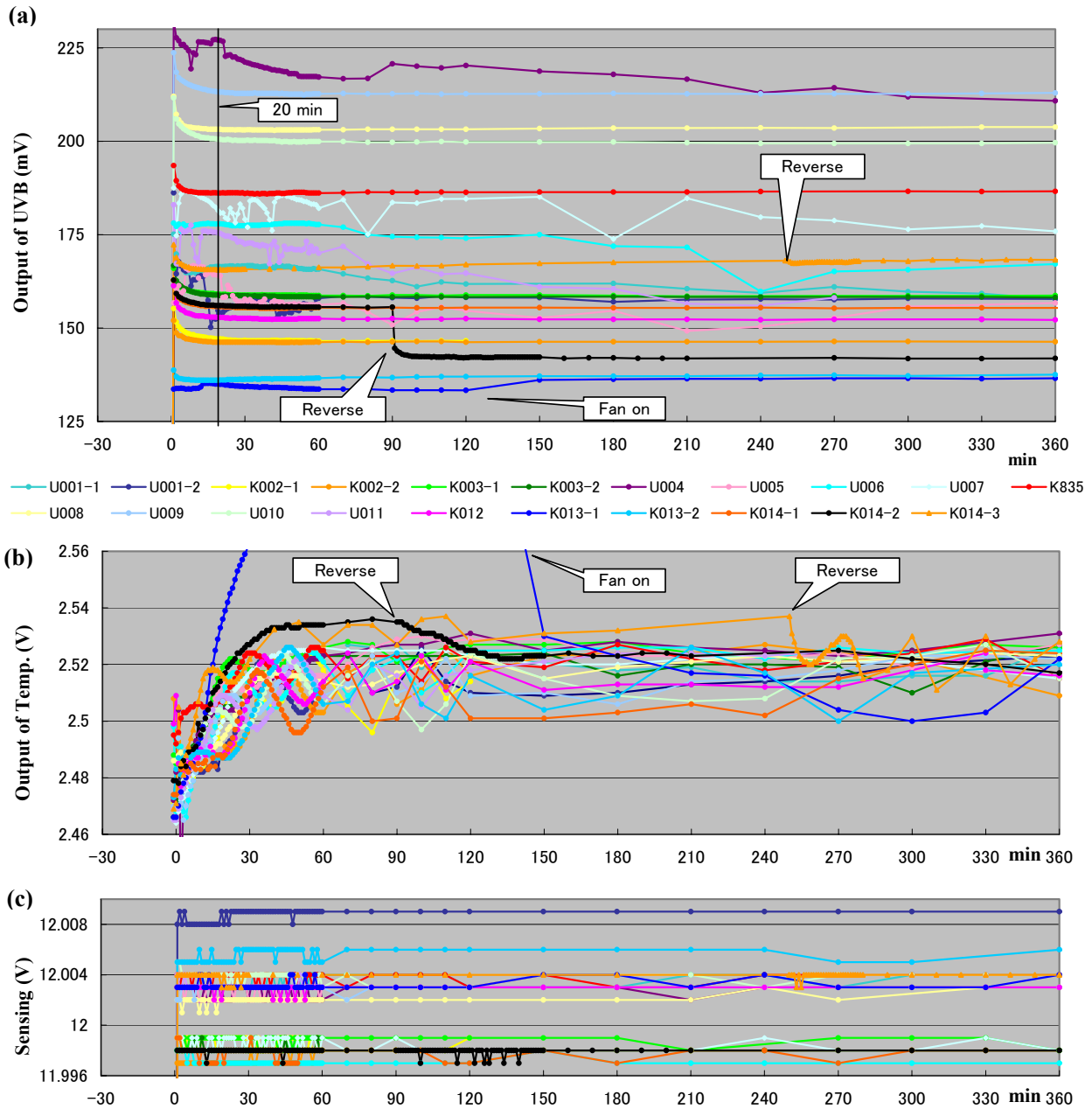


Fig. 1 Temporal output change after putting the lamp ON using new external lamp test unit.

(a) Output of UVB (mV) by UV-S-AB-T 030-620 of Kipp & Zonen. (b) Output of temperature (V) by UV-S-AB-T 030-620 of Kipp & Zonen. (c) Output of sensing (V) by voltmeter of new external lamp test unit. Legend numbers (U001, K002, etc) indicate external lamp numbers.

$$\alpha = \text{Res}_{(\text{Obs})} / \text{Res}_{(\text{NIST})} = V_{(\text{Obs})} / V_{(\text{NIST})}$$

で表される. 以上により, 点検値の 3) Output_UVB や 4) Output_UVA を NIST ランプ 検定時の基準出力値で除した値が感度変化を意味する. この値を複数のランプについてそれぞれ求め, ランプ間で大きなちがいがなければ, それらの平均値を「測器感度トレンド(α)」とす

る. なお, 数%以上のちがいが認められた場合には, 使用するランプを変更する. ここで真の紫外域日射量を $I_{r(\text{Solar})}$, 実際の観測値を $V_{(\text{Solar})}$ とすると,

$$I_{r(\text{Solar})} = (V_{(\text{Solar})} / \text{Res}_{(\text{NIST})}) / \alpha$$

により補正することができる.

3. 外部標準ランプ点検の精度と問題点

3.1 外部標準ランプの選別とその照度変化

外部標準ランプの照度変化については、1) 点灯してから照度に変化する、2) ランプの種類により照度変化の傾向が大きく異なること、等々が判っている。信頼度が高いとされた Brewer用外部標準ランプでも、良好なランプは10個中5個程度(50%程度の確率)である。そのため使用に当たっては、ランプの点灯試験を実施し、ランプの選別を行う必要がある。

Fig. 1に、15個のランプを点灯した試験結果を示す。これらの図は、Single Typeの当装置とKipp & Zonenの測器(UV-S-AB-T : 030-620)による結果で、上から「UVBの出力値」、「測器のTemp出力値」及び「Sensingの出力値」を示す。その他、「UVAの出力値」、「直流安定化電源のVoltage出力値」及び「電源のCurrent出力値」を計測しているが、「UVAの出力値」の変化傾向は「UVBの出力値」の変化傾向とほぼ同様であり、「直流安定化電源のVoltage出力値」と「電源のCurrent出力値」の変化はほぼ認められなかったため、これらの図は省略する。

この図の通り、照度が安定する時間はランプにより異なり、約10分で安定するランプを**最良ランプ**、約20分で安定するランプを**良好ランプ**、約30分で安定するランプを**使用に耐えうるランプ**、その他を**使用不能ランプ**とした。これらのことから**良好ランプ**以上のランプを使用する場合、warm up は少なくとも20分が必要と判断される。また、点検毎に warm up の時間を変えることは毎回安定した照度が得られない可能性があり、最初に20分としたならば、常に20分後に計測をすることが重要である。

3.2 供給電圧と照度変化

外部標準ランプに供給する電圧については、その変化によりランプ照度に変化する。そこで**3.1**と同様、Single Typeの当装置とKipp & Zonenの測器(UV-S-AB-T : 030-620)を利用し、供給電圧(Sensing V)を変化させ、UVBとUVAの出力測定を試みた。その結果をFig. 2に示す。

上図は11.98~12.02Vに対応する出力変化、下図は12.00Vの出力を基準とした出力比率の12.00V付近拡大図である。このように、 $\pm 0.1V$ の供給電圧の変化は、 $\pm 0.5\%$ の照度変化を起こす。したがって、当点検における供給電圧の許容範囲を11.999~12.001Vとするならば、ランプの照度変化は約0.1%($\pm 0.05\%$)に抑えることが可能である。

3.3 外部標準ランプ点検による測器感度トレンド

当外部標準ランプ点検装置を用いて、2005年1月~12月の約1年間点検を実施し、その精度の把握を試みた。

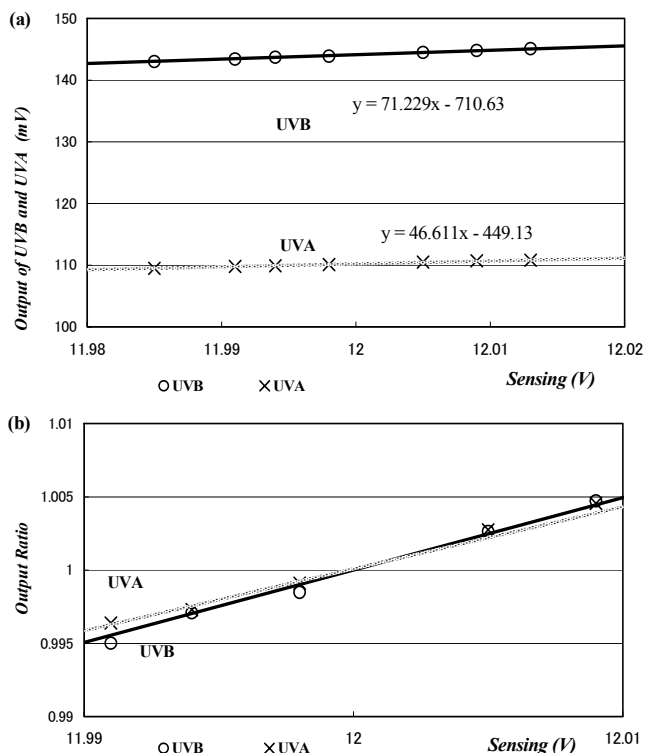


Fig. 2 UVA and UVB outputs of UV-S-AB-T under some power supply variations.

(a) Outputs (mV) corresponding to power supply voltage from 11.98 to 12.02 V. (b) Output ratios normalized by the output at 12.00 V.

使用した測器は、当台屋上西端において全天紫外域日射の定常観測に使用している Kipp & Zonen の UV-S-AB-T 030-622 と EKO の MS212WF S00083.19 である。

点検では、Single Type の装置と K003, K012, K014 の 3 ランプを使用し、測器は移動させず、夜間に定常観測の位置(屋上)で実施した。その他の手順は**2.3**の通りとした。なお、各ランプの基準値設定と、点検の精度確認のため、次節の通り NIST ランプ検定時に同じ外部標準ランプ点検を実施した。

Fig. 3 に 1 年間の点検結果を示す。このように、ランプ間誤差は数%生じているものの、ほぼ各測器の感度変化をとらえることができた。

3.4 測器感度トレンドと NIST ランプ検定結果

外部標準ランプ点検の精度を確認するため、期間内に 3 回の NIST ランプ検定と、その検定と同環境下で外部標準ランプ点検を実施した。これらの検定と点検では測器を検定用暗室に移動させ、充分室温(20 度)に順応させた後、複数の NIST ランプと、点検時に使用した外部標準ランプを使用して実施した。

1 月 13~14 日(13~14 Julian Day : 以下 JD と呼ぶ)の第 1

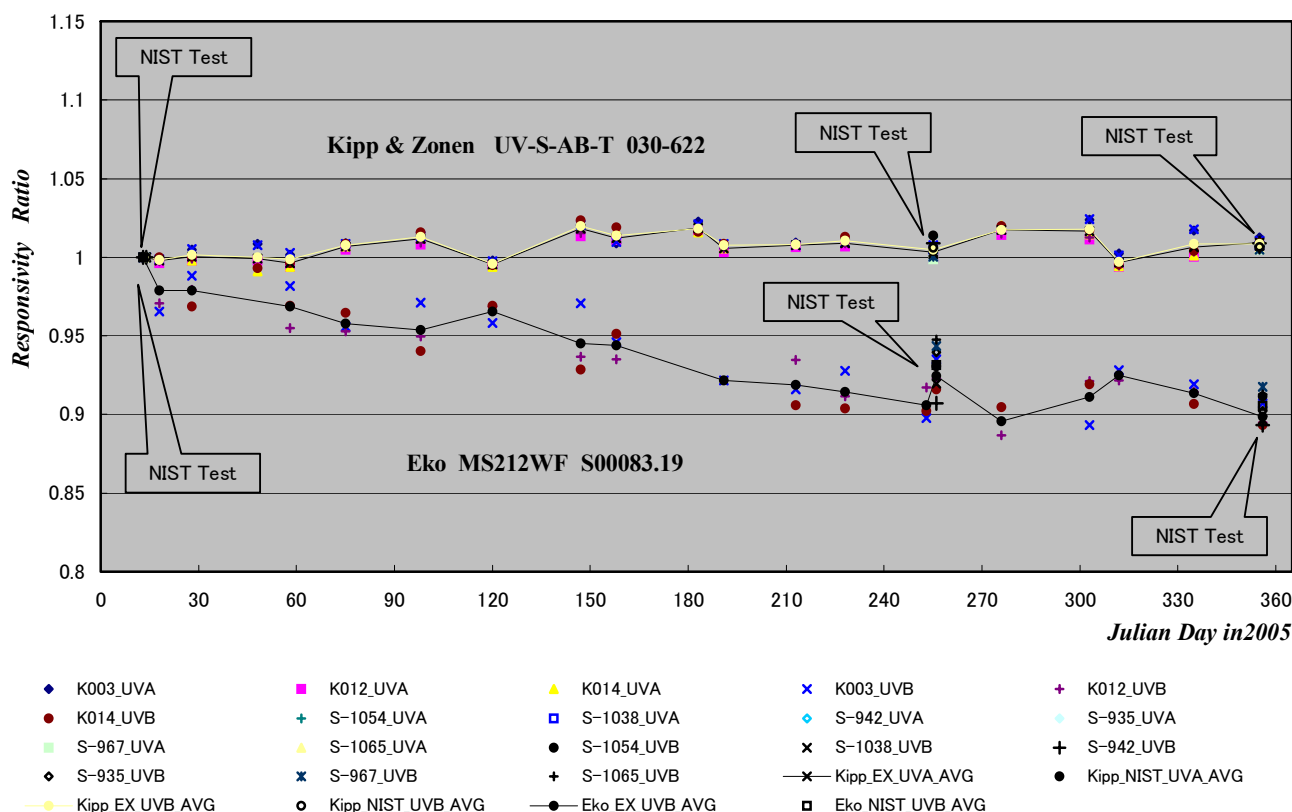


Fig. 3 Trend of output ratio normalized by the output at 1st time.

Kipp: UV-S-AB-T 030-622 Kipp and Zonen, EKO: EKO MS212WF S00083.19, EX_UVA_AVG and EX_UVB_AVG: average ratios of output using 3 external lamps which are K003, K012 and K014, NIST_UVA_AVG and NIST_UVB_AVG: average ratios of output using 6 NIST lamps which are S-1054, S-1038, S-942, S-934, S-967 and S-1065.

Table 1 Trend of output ratio normalized by the output at 1st time.

Kipp_622: Kipp and Zonen UV-S-AB-T 030-622, EKO: EKO MS212WF S00083.19, Kipp_620: Kipp and Zonen UV-S-AB-T 030-620, External: average of output using 3 external lamps, NIST: average of output using 6 NIST lamps, Difference: External - NIST

Instrument	Julian Day	UVA			UVB		
		External	NIST	Difference	External	NIST	Difference
Kipp_622	14	1	1		1	1	
	255	1.0031	1.0040	-0.0009	1.0047	1.0059	-0.0012
	355	1.0094	1.0068	0.0026	1.0086	1.0066	0.0020
Eko	13	-	-		1	1	
	256	-	-		0.9246	0.9313	-0.0067
	356	-	-		0.8984	0.9056	-0.0072
Kipp_620	255	1	1		1	1	
	354	0.9905	0.9898	0.0007	0.9894	0.9896	-0.0002

回目の検定と点検では、NIST ランプと外部標準ランプによる測器感度の基準値の設定を、9月12~13日(255~256 JD)と12月21~22日(355~356 JD)に実施した同様の検定と点検では、両者の値の比較をそれぞれ目的とした。それらの結果を Fig. 3 と Table 1 に示す。

Table 1 では、3 個の外部標準ランプの各基準値に対する平均出力比率、及び6 個の NIST ランプの各基準値に対する平均出力比率を示す。上段が UV-S-AB-T 030-622、中段が MS212WF S00083.19、下段が UV-S-AB-T 0303-620(参考: 屋外での点検はなし)である。例えば 030-622 では、2005 年の 14 JD を基準とすると、第 2 回目の 255 JD では外部標準ランプの平均出力比率(External)は 1.0031(基準日より 0.31%増)、同じときの NIST ランプの平均出力比率(NIST)は 1.0040(基準日より 0.40%増)となり、両者の差(Difference)は -0.09%となった。この結果は、点検誤差が 2%以内と考えると(伊藤ほか: 2000)、両ランプによる結果が一致したものと考えてよい。

この結果を含めた全ての両者の差(Difference)は, +0.26 ~ -0.72%となり, 1%以内の誤差となった。この結果により, 測器感度トレンドの追尾は, 当外部標準ランプ点検装置により十分に可能であると考えられる。

4. まとめ

本稿では, 広帯域(全天型)紫外域日射計用の外部標準ランプ点検装置を開発し, その点検精度等について吟味した。これらの結果は以下の通りである。

- 1) 当装置は可搬型で, 全天紫外域日射観測用測器はもとより, 地面反射紫外域日射観測用測器でも点検が可能である。
- 2) UV ドーム用のマウントを交換することにより, 各種測器の点検が可能である(現状では Kipp & Zonen UV-S-AB-T と EKO MS212WF の 2 種の測器に装着が可能)。
- 3) 具体的な点検手順を確立した。
- 4) 外部標準ランプの照射試験により, ランプの選別が重要であること, ランプの warm up は 20 分が最適であることが判明した。
- 5) 供給電圧とランプ照度との関係について試験したところ, 供給電圧 11.999~12.001V の範囲においてランプ照度の誤差は約 0.1%(±0.05%)以内であることが明らかになった。
- 6) 複数のランプを使用した 1 年間の点検により, その有効性を実証した。
- 7) 点検精度を把握するため, NIST ランプ検定を同時に実施した。その結果, 外部標準ランプ点検結果から求めた測器感度は, NIST ランプ検定結果から求めた測器感度に対し 1%以内の誤差となり, 両者は一致した。

以上のように, 当広帯域(全天型)紫外域日射計用の外部標準ランプ点検装置を定期的地使用し, 同測器の測器感度トレンドを監視することが可能となった。今後, より軽量の装置に改良する予定である。

謝 辞

本稿を草するに際し, (株)プリードの古賀陽庸氏と辻智章氏には当点検装置の製作面でお世話いただき, 観測

第三課の廣瀬保雄課長には数々のご助言を賜った。また屋外の夜間点検のデータ整理では, 同課の長井勝榮研究官にお世話をかけた。これらの方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 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.
- 伊藤真人・能登美之・宮川幸治・上野丈夫(2000) : ブリュワー分光光度計の感度監視体制と感度変化。高層気象台彙報, **60**, 45 - 56.
- 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.
- 伊藤真人(2005) : 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。高層気象台彙報, **65**, 45 - 52.
- 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.
- 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 (2002) : Quality assurance in monitoring solar ultraviolet radiation: the state of the art. WMO/GAW, 44pp.