

ブリュワー分光光度計用の旧型及び新型外部標準ランプ点検装置 (UV Stability Kit) の特性調査

津田 元気* 上里 至*

Examination of the characteristics of the original and new UV Stability Kit for Brewer Spectrophotometer

TSUDA Genki, UESATO Itaru

要旨

ブリュワー分光光度計による波長別紫外域日射観測では、外部標準ランプ点検装置を用いて測器の感度変化を監視している。今回、従来の点検装置の老朽化及び製造終了に伴い、Kipp&Zonen社が後継機として開発した新型装置を購入した。現業利用における新型装置の精度に問題がないことを確認するため、①新型装置の高温及び低温環境での動作試験、②新旧両装置における温度特性(環境温度の変化に伴うランプの放射照度の変化)に関する調査、③新旧両装置の長期間に渡る屋外点検結果の比較、を実施した。各試験等の結果は以下のとおりである。

- ① 新型装置について、 -30°C ～ 40°C の環境下で動作試験を行った結果、ランプへの供給電流値及び電源部の基板温度に問題は見られなかった。
- ② 新旧両装置について、 -25°C ～ 40°C の環境下でランプの照射試験を行った結果、両装置共にランプの放射照度はほぼ変化がなかった(概ね1%以内)。
- ③ 新旧両装置について、屋外設置のブリュワー分光光度計の定期点検に約1年間利用し比較した。点検結果から得られた測器感度の変化は、両装置共にほぼ同じであった(両者の差は概ね1%以内)。

1. はじめに

気象庁では、ブリュワー分光光度計(以下、ブリュワー計という)を用いた波長別紫外域日射観測を1990年に開始し、現在はつくばと南極昭和基地において同観測を行っている。

ブリュワー計の測器感度定数(測器出力値を放射照度に変換するための定数)は、数年に1回、NISTランプを使用した検定(以下、NISTランプ検定という)により決定している。なお、NISTランプとは、アメリカ国立標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology)標準ランプにトレーサブルな波長別放射照度が値付けられたタングステンハロゲンランプ(1000W)のことを言う。

そして、NISTランプ検定から次の検定まで、測器感度の変化は外部標準ランプ点検装置(UV Stability Kit)を用いて定期的に点検を行い監視している。これらの詳細については、伊藤ほか(1991)及び伊藤ほか(2000)を参照いただ

きたい。

今回、従来の外部標準ランプ点検装置(以下、旧型装置という)の老朽化及び製造終了に伴い、Kipp&Zonen社が後継機として開発した新型の外部標準ランプ点検装置(以下、新型装置という)を購入した。

この新型装置について、現業利用における点検装置の精度を確認するとともに、その特性を把握するため、以下の①～③の試験等を実施した。

- ① 新型装置の高温及び低温環境での動作試験。
- ② 新旧両装置における温度特性(環境温度の変化に伴うランプの放射照度の変化)に関する調査。
- ③ 新旧両装置の長期間に渡る屋外点検結果の比較。

本稿ではこれらの試験等について、その方法及び結果を報告する。

なお、WMO(2001)では、波長別紫外域日射観測について観測精度の要求基準は明示されていないが、測器の校正や特性などにより観測結果に影響を及ぼす不確かさは、最も管理された測器でも5%程度と見積られている。本稿

*高層気象台 観測第二課

では上記①～③の試験等について、この 5%を評価の基準とした。

2. 外部標準ランプ点検装置の概要

外部標準ランプ点検装置は、タングステンハロゲンランプ、ランプハウス(周囲の光の混入防止や急激な温度変化からランプを保護するためのもの)、電源部から構成される。

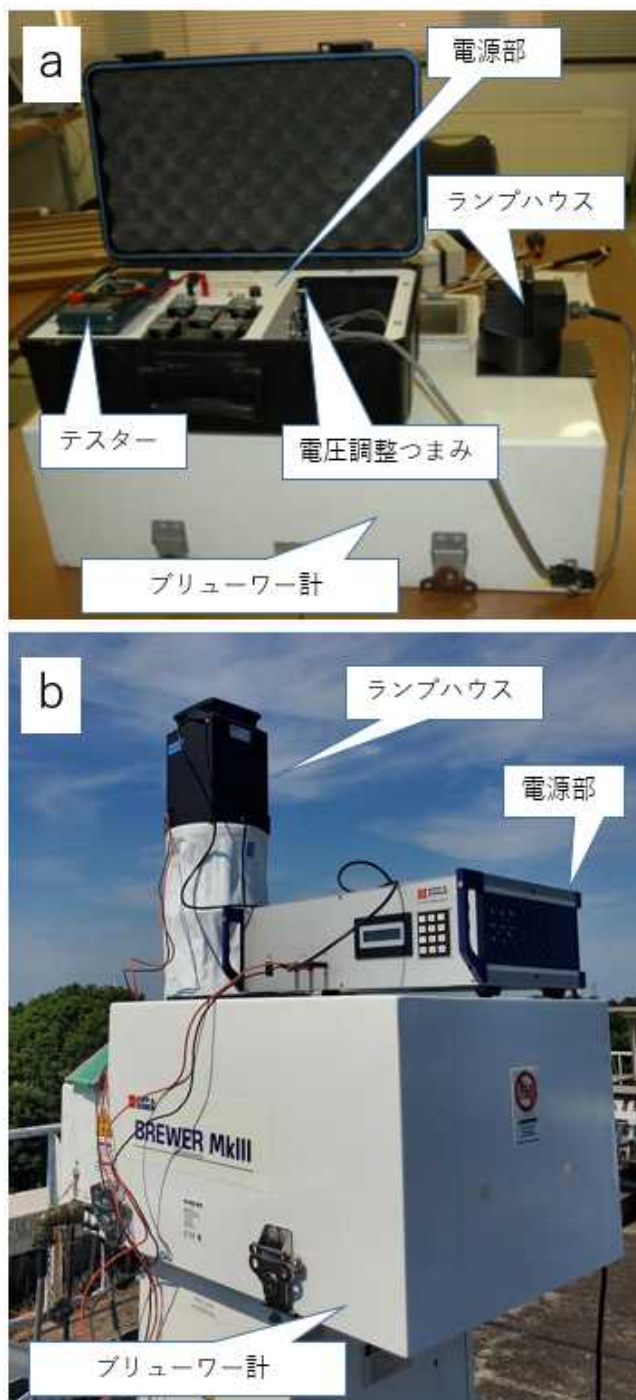


写真 1 外部標準ランプ点検装置(a:旧型 b:新型)

旧型装置の電源部は定電圧制御方式により、新型装置の電源部は定電流制御方式によりランプの放射照度を安定させる。旧型装置を写真 1(a)に、新型装置を写真 1(b)に示す。両装置共に、ランプハウスをブリューワー計の全天光ドーム(写真 2)に取り付けて点検を行う。

Kipp&Zonen (2015a, 2015b) 及び Schreder (2015)によれば、新型装置は次の(1)～(3)について改善された。

(1)電源部の自動制御化(高性能化)

旧型装置の電源部では、テスターの表示値を見ながら電圧調節つまみを手で回し、ランプへの供給電圧を一定にする仕様となっている。一方、新型装置の電源部では、制御用ソフトウェアが内部に組み込まれており、ランプへの供給電流を自動制御によって一定にする仕様となっている。

(2)ランプハウス内の温度の安定化

新型装置のランプハウスは、ランプハウス上端に通風ファンが取り付けられており、ランプハウス内の温度上昇をより抑える構造となっている。

(3)ランプから受光部までの距離

旧型装置は、ランプフィラメントから受光部であるテフロン拡散板(写真 2)までの距離は 5.0cm であったが、新型装置は 37.5cm である。距離が離れることにより、ランプフィラメントの位置ずれに伴うランプの放射照度の誤差が軽減される。また、使用するランプも、旧型装置は 50W であったが、新型装置では 200W になった。



写真 2 外部標準ランプ点検装置のランプハウスを取り付ける受光部の場所

3. 試験等の方法及び結果

3. 1 新型外部標準ランプ点検装置の高温及び低温環境下での動作試験

外部標準ランプ点検装置は、つくばの真夏の高温下から南極昭和基地の低温下まで広い範囲の気温で使用される。これらの使用環境において、新型装置の電源部の挙動を確認するため、高温及び低温環境下での動作試験を実施した。

なお、新型装置の操作マニュアル(Schreder:2015)には、電源部の基板温度が 70℃以上または-5℃以下になると電源を自動で切断すると記載されている。実際、本試験の過程で環境温度-10℃で基板温度が-5℃以下になり、電源が自動で切断された。このため、新たに電源部の保温カバーを開発し(写真 3)、低温環境下での試験にはこのカバーを使用した。このカバーは電源部を断熱材で覆うことにより外気で冷えるのを防ぐとともに、電源部の排熱を利用して保温する。

3. 1. 1 試験方法

動作試験は、日射計等の温度特性を検査するための装置である温度特性検査装置(居島:2012)の恒温槽を使用し、恒温槽内の温度(以下、槽内温度という)を環境温度に見立てて実施した。恒温槽には信号及び電源ケーブルを通線するための穴が開いており、この穴から恒温槽内の電源部とデータ取得用 PC を USB ケーブルで接続し、PC から電源部へ制御コマンドを送信することにより、恒温槽の外からランプの ON/OFF や各データを取得することができる。試験する温度は、つくば及び南極昭和基地の環境温度を想定し、つくば(保温カバー無し)では T= 0, 10, 20, 30, 40℃を、南極昭和基地(保温カバー有り)では T= -30, -20, -10, 0℃とした。

試験手順は次の①から③のとおりである。

- ① 恒温槽内に新型装置一式を設置し、槽内温度を T (℃) に設定。槽内温度が安定したことを確認してから、ランプを点灯。
- ② 操作マニュアル(Kipp&Zonen : 2015c)に定められた 10 分間のランプのウォームアップ時間中、ランプへの供給電流値及び電源部基板温度の各データを 1 分毎に取得し、安定性を確認。
- ③ ランプのウォームアップ完了から 15 分後(ランプ点灯から 25 分後)に、②と同様の各データを取得し、ウォームアップ後に一定時間点灯させた後の変化を確認する。この時間は、実際の外部標準ランプ点検に要する時間を考慮した。

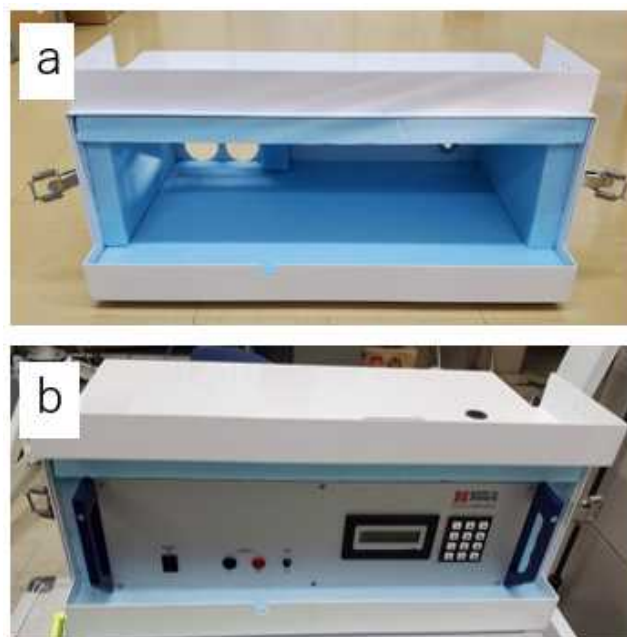


写真3 低温対策のために開発した保温カバー
(a: 保温カバーのみ b: 保温カバーを装着した新型装置電源部)
前面の操作部も前蓋で閉じられるようになっている。

3. 1. 2 結果

(1) ランプへの供給電流値

ランプへの供給電流値の結果を図 1A(保温カバー無し)及び図 1B(保温カバー有り)に示す。高温下(図 1A)及び低温下(図 1B)において、供給電流値はランプ点灯から 25 分後まで 6.2997~6.3000A の範囲に収まっており、電流設定値 6.3000A 付近で安定していた。

伊藤ほか(1991)によると、供給電流値の誤差が 0.1% の場合、放射照度は約 1% の誤差が生じるとしている。6.2997A の誤差は 0.005% であり、0.1% より十分小さいことから、新型装置は十分な精度でランプに安定した電流を供給していることを確認した。

(2) 電源部の基板温度

電源部の基板温度の結果を図 1C(保温カバー無し)と図 1D(保温カバー有り)に示す。すべての環境温度において、電源が自動で切断されない温度の範囲内(-5℃~70℃)に収まっていた。

3. 2 外部標準ランプ点検装置の温度特性検査

定電圧制御または定電流制御により、外部標準ランプ点検装置のランプ放射照度は一定になることが期待されるが、環境温度の変化によってランプの温度が変化し、ランプの放射照度が変化する可能性がある(菊池ほか: 1982)。

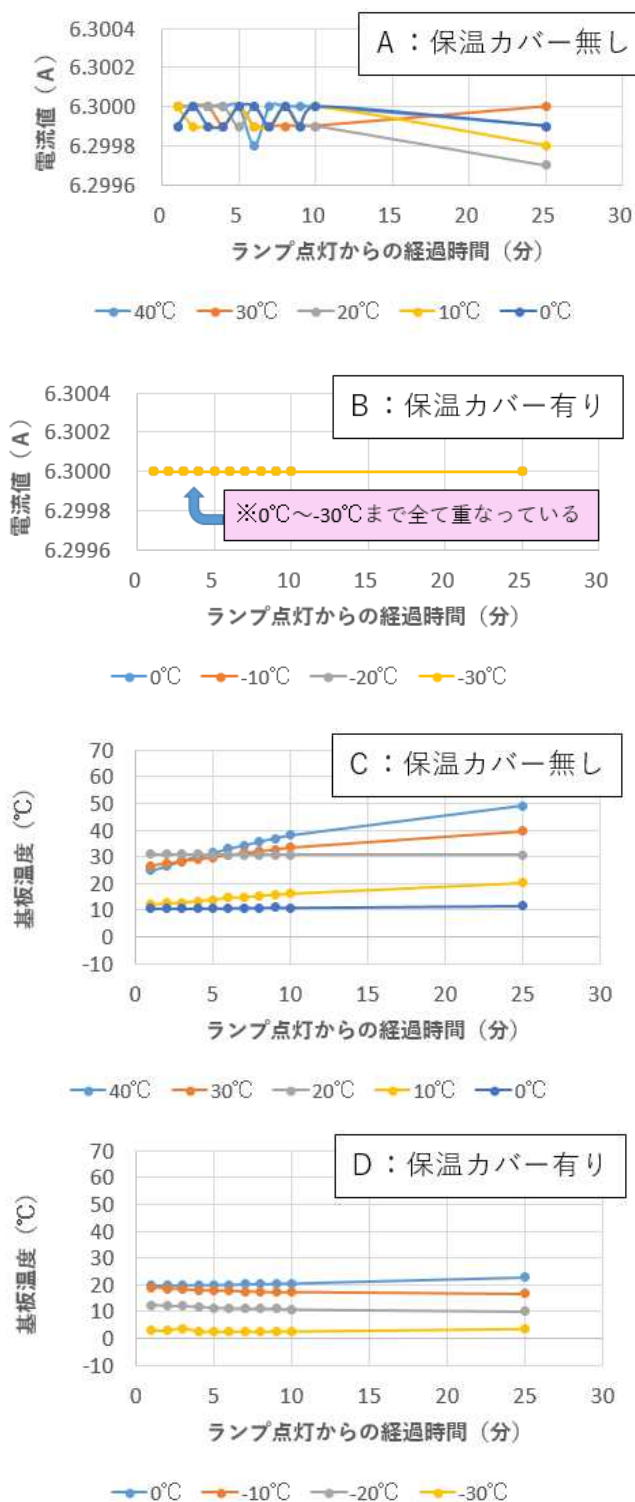


図1 新型装置の環境温度別の動作試験結果
 A: 保温カバー無しの時のランプへの供給電流値の推移
 B: 保温カバー有りの時のランプへの供給電流値の推移
 C: 保温カバー無しの時の電源部基板温度の推移
 D: 保温カバー有りの時の電源部基板温度の推移

そのため、旧型及び新型装置の温度特性(環境温度の変化に伴うランプの放射照度変化)について検査した。なお、新型装置の本検査は、南極昭和基地に保温カバーを送付した後となったため、電源部が動作しない-10°C以下では電源部を恒温槽の外に出して実施することとした(-5°Cの試験は恒温槽内外の両方実施した)。

3. 2. 1 検査方法

検査には温度特性検査装置の恒温槽を使用し、ランプの放射照度の測定には、紫外域日射全量計(以下、UV 全量計という)を使用した。検査する槽内温度 T(°C)は、旧型装置では T= -30, -25, -20, -15, -10, -5, 5, 15, 30, 35, 40°C、新型装置では、電源部を恒温槽内に置いた状態で T= -5, 5, 15, 30, 35, 40°C、電源部を恒温槽外に置いた状態で T= -30, -25, -20, -15, -10, -5°Cとし、各々1回のみ検査した。

また、ランプは長時間照射した場合、放射照度が低下する可能性がある。このため、T=25°Cにおける放射照度の変化を監視することとし、上記検査温度を1~3点検査する毎に槽内温度を T=25°Cに戻して放射照度を測定し、検査中に放射照度の低下がないことを確認した。

検査手順は次の①から⑤のとおりである。

- ①恒温槽内に装置類を設置(写真4)
 - ・外部標準ランプ点検装置一式
 - ・UV 全量計(ランプハウスを UV 全量計の上に設置)
- ②恒温槽の扉を閉め、ランプを点灯。
- ③槽内温度を 25°Cに設定し、槽内温度が安定した後、ランプの放射照度を UV 全量計により測定。
- ④槽内温度を T(°C)に設定し、槽内温度が安定した後、ランプの放射照度を UV 全量計により測定。
- ⑤各検査温度について③、④を繰り返す。

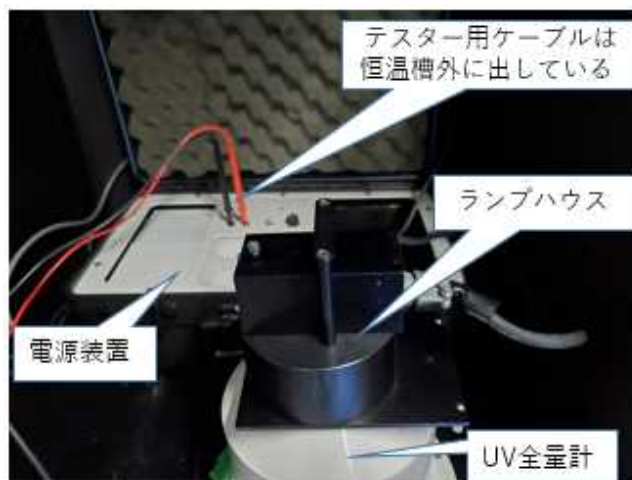


写真4 旧型装置の温度特性調査の様子

なお、UV 全量計も温度特性(測器の温度変化に伴う感度変化)を持っているが、事前に温度特性検査を実施し、検査結果を基に出力値を補正している。

3. 2. 2 検査方法に関する特記事項

新型装置は自動でランプへの供給電流が一定に保たれるが、旧型装置は手で電圧調節つまみを回しランプへの供給電圧を $12.000 \pm 0.004V$ の範囲内に収める必要がある。しかし、槽内温度の変化に伴い旧型装置の温度が変わり供給電圧が変化することに加え、恒温槽の扉を検査中に開閉し旧型装置の電圧調節つまみを操作することはできない(急激な槽内温度変化や低温下での結露の発生が想定される)。そこで、旧型装置ではあらかじめ電圧値を $12.000V$ より若干大きい値(または小さい値)にして検査を開始し、最終的に目的の温度で $12.000 \pm 0.004V$ の範囲内に収まるようにした。図2にその作業の流れの例を示す。なお、電圧値は、電源部のテスター接続用ケーブルを恒温槽の外に出し、このケーブルにテスターを接続して確認した。

3. 2. 3 結果

旧型及び新型装置の温度特性の検査結果を図3に示す。横軸は槽内温度、縦軸は設定した各槽内温度における、 $25^{\circ}C$ を基準としたランプ放射照度の偏差(%)である。両装置共に、各温度でのランプ放射照度の変化は $25^{\circ}C$ を基準として概ね $\pm 1\%$ 以内には収まっており、使用環境における温度変化の影響をほぼ受けないことを確認した。ただし、両装置共に $-30^{\circ}C$ においてランプの放射照度が急激に変化する現象が見られた(旧型装置は 3.0% 、新型装置は -6.5%)。そのため、新型装置の $-30^{\circ}C$ のみ2度目の検査を実施したが、再度急激な変化が見られた(-6.7%)。原因が外部標準ランプ点検装置にあるか、UV 全量計にあるか、その他にあるかは不明であるが、原因が解明されるまでの間、 $-25^{\circ}C$ を下回る環境温度で実施した外部標準ランプ点検については、その評価に通常以上の注意が必要と考える。今後、ブリュワー計を用いた同様な調査をし、 $-30^{\circ}C$ で同様に急激な変化が発生するか確認する予定である。

なお、ランプの経時劣化(長時間照射による放射照度の低下)は旧型装置、新型装置共に見られなかった。

3. 3 旧型及び新型装置の長期間に渡る屋外点検結果の比較

ブリュワー計の感度変化の定期的な監視方法としては、過去には、外部標準ランプ点検結果の他に、ブリュワー計に内蔵されたハロゲンランプ(内部標準ランプ)に

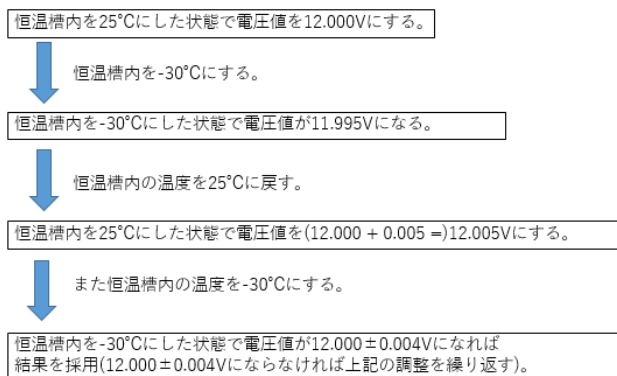


図2 旧型装置での温度特性調査時の電圧調整手順

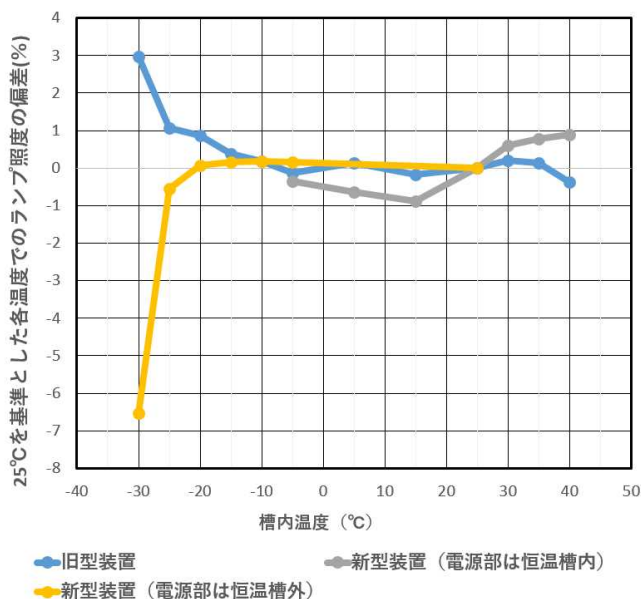


図3 外部標準ランプ点検装置の温度特性検査結果 (照度測定に使用した UV 全量計は温度特性補正済)

よる点検結果を利用していた(伊藤ほか:2000)。しかし、内部標準ランプ点検は外部標準ランプ点検に比べて精度が劣ることから、現在気象庁の運用では、感度変化の定期的な監視は外部標準ランプ点検によってのみ行われている。

このため、新型装置について、ブリュワー計の感度変化の定期的な監視を、季節を通して旧型装置と同等に行うことができることを確認するための調査を実施した。

3. 3. 1 調査方法

屋外に設置しているブリュワー計で、旧型及び新型装置を用いて定期的に外部標準ランプ点検を実施し、両装置各々による感度変化について調査した。比較期間は約1年間、点検は同じ日に実施した。

気象庁の運用では、原則 3 本のランプの点検結果を平均し、感度変化の補正値を算出していることから、本調査でも同様に 3 本の平均値により感度変化を確認した。

3. 3. 2 結果

1 回目の点検(2020 年 4 月 21 日)を基準とした、各点検日における点検結果(ランプの放射照度)の偏差(%)を図 4 に示す。比較期間において点検結果から得られた測器感度の変化傾向は、両装置共にほぼ同じであった(概ね 1%以内)。図 4 において偏差が上下しているが、Fountoulakis et al.(2017)が指摘しているブリューワー計の温度依存性が主な原因と考えられる。詳細な調査については今後の課題としたい。

4. まとめ

- (1) つくば及び南極昭和基地での使用を想定した、新型の外部標準ランプ点検装置の高温及び低温環境での動作試験を実施し、正常に動作することを確認した。ただし、南極昭和基地(低温環境)では電源部用の保温カバーが必要である。
- (2) UV 全量計を利用して、旧型及び新型の外部標準ランプ点検装置の温度特性を検査した。両装置共に環境温度変化によるランプ放射照度の変化は、 -30°C を除き、使用する環境温度において概ね 1%以内に収まっていた。このことから、環境温度によるランプ放射照度への影響はなく、点検装置の精度にも問題がないことを確認した。ただし、 -30°C においては両装置共にランプの放射照度が急激に変化する現象が見られたため、点検結果の評価の際はこのことを念頭に置く必要がある。これについては、今後原因を究明する予定である。
- (3) ブリューワー計の定期点検に、旧型及び新型の外部標準ランプ点検装置を 1 年間併用した。比較の結果、新旧両装置で求めたブリューワー計の感度変化に差異がないことを確認した。

謝 辞

本稿を草するに際し、温度特性検査装置の利用に関して助言を賜った、観測第二課の居島主任研究官に厚くお礼申し上げます。

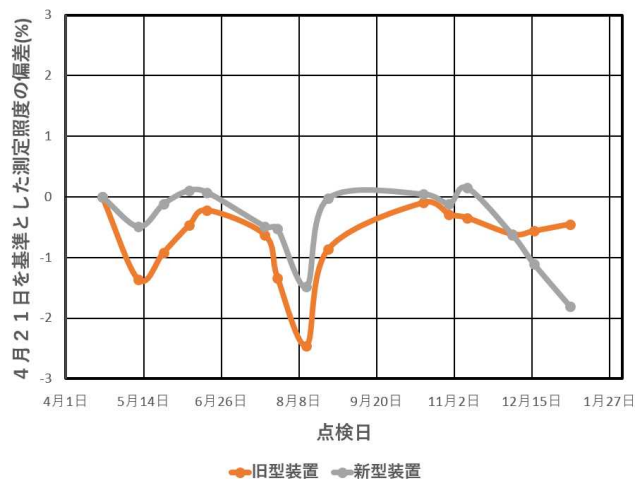


図 4 新旧両装置による感度変化の点検結果

引用文献

- 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。気象庁研究時報, 43 - 5, 213 - 273.
- 伊藤真人・能登美之・宮川幸治・上野丈夫 (2000): ブリュー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.
- 居島修 (2012): 分光型全天日射計(MS-710)の温度特性及び入射角特性について。高層気象台彙報, 70, 37 - 42.
- 菊地久吉・勝山元・斉藤一朗 (1982): 分布温度 2865K におけるハロゲン電球の動程特性調査。照学誌, 66 - 1, 11 - 16.
- Fountoulakis, I., Redondas, A., Lakkala, K., Berjon, A., Bais, A. F., Doppler, L., Feister, U., Heikkila, A., Karppinen, T., Karhu, J. M., Koskela, T., Garane, K., Fragkos, K., and Savastiouk, V.: Temperature dependence of the Brewer global UV measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, **10**, 4491-4505, 2017.
- Kipp&Zonen (2015a): New UV Stability Kit for the Brewer, <http://kippzonen-brewer.com/news/new-uv-stability-kit-brewer/> (2022.8.31 閲覧)
- Kipp&Zonen (2015b): UV Stability Kit and Precision Power Supply, <https://www.kippzonen.com/Product/383/UV-Stability-Kit-and-Precision-Power-Supply#.YwyZ3uR7noo> (2022.8.31 閲覧)
- Kipp&Zonen (2015c): Brewer MKIII spectrophotometer operator's manual. Kipp&Zonen Inc., 125pp.
- Schreder (2015): Instruction Manual J1017-POWER. CMS Ing. Dr. Schreder GmbH., 20pp.
- WMO (2001): Global atmosphere watch measurements guide No.143. WMO TD No.1073.