

太陽紫外 UV-B 計測器の感度特性の経時変化

東海大学 総合科学技術研究所

竹下 秀

1. はじめに

我が国の太陽 UV-B 観測は、本研究所で開発された計測器¹⁾²⁾ (MS-210W として英弘精機から市販) によって 1990 年に開始された。その後、国立環境研究所の有害紫外線観測モニタリングネットワークなどが稼動し、各地で太陽 UV-B 観測が実施されている。しかし、太陽 UV-B の長期的な変動傾向や地域特性、季節変動などの評価には計測器の感度特性の評価が必須である。本報では、本研究所で継続実施している太陽 UV-B 計測器 (MS-210W、英弘精機) の感度定数の経時変化評価結果を紹介するとともに、現在研究に着手している新たな屋内校正法³⁾の概要を紹介する。

2. 感度定数の経時変化の評価

本研究所では、湘南校舎で使用している太陽 UV-B 計測器の感度定数の経時変化は分光放射照度標準電球を用いて評価している。分光放射照度標準電球は我が国の計量標準供給制度に則った唯一の波長ごとに放射照度値が付けられ、国際的に認定されている光源である。湘南校舎で使用している計測器は、基本的に年 1 回以上この標準電球を用いて感度定数を測定している。標準電球も経年変化するため、使用している標準電球は、約 20 時間ごとに校正認定事業者で再校正している。

本研究所で 1990 年から 2003 年まで 13 年間屋外で継続使用した太陽 UV-B 計測器の感度定数の経時変化を図 1 に示す。この間、年 4.6% の割合で感度が低下していることが明らかになった。また、1998 年に購入し、準器として暗所で保管した同型計測器の感度定数の約 10 年間の経時変化を図 2 に示す。この計測器は、年 1.5 % の割合で感度が低下している。すなわち、この型式の太陽 UV-B 計測器の場合は、程度の違いはあるが感度定数の経時変化の評価が必須であると言える。ただし、感度定数の評価に用いている分光放射照度標準電球と地上に到達する太陽スペクトルの波長分布は異なっている。このため、この評価結果を感度定数の経時変化として取り扱うことには注意が必要である。太陽 UV-B 計測器の分光感度の評価も必要であり、屋外測定結果を含めて総合的に評価する必要がある。本研究所では、分光感度の評価も年 1 回の頻度で自然科学研究機構基礎生物学所の大型スペクトログラフを用いて継続実施している。しかし、統計的な優位な分光感度変化は得られていない。

サテライト観測点 (稚内、熊本、西表) で使用している太陽 UV-B 計測器は、2007 年度までは携帯型光源による校正や携帯型計測器との比較測定によって経時変化を評価してきた。しかし、2007 年度から湘南校舎において分光放射照度標準電球で校正した計測器に交換する方式に変更した。これは、測定結果が計測器の周辺温度や点灯電流の変動の影響を受けるため、実験室が整っていないサテライト観測点では、高精度な測定が難しいことに起因する。また、屋外比較測定は測定時の天候の影響を大きく受けるため、出張中の 1 日か 2 日の測定では特異なデータが取得される可能性が存在するためである。

3. 新規校正システムの構築と評価

太陽 UV-B 計測器の校正規格は米国 ASTM による規格⁴⁾しか存在しない。この校正規格では、校正された分光計測器と太陽 UV-B 計測器の比較測定を太陽光や人工光源で実施し校正すると定めている。しかし、太陽光は不安定であり、校正時は天候が安定し、強度が強い必要がある。我々の観測拠点である関東地方ではこの条件を満足する季節は初夏から初秋であり、10 日前後しか適切な日は存在しない。また、人工光源は太陽と比較すると安定だが、太陽の分光分布と人工光源の分光分布は全く異なる。このため人工光源によって校正された感度定数をそのまま太陽光測定に適用すると、大きな誤差を生じることは明らかである。そこで、1) 分光放射照度標準電球を用いた感度定数測定系と 2) 分光感度測定系の二つの機能を限られた狭いスペースで両立し、高確度で校正可能となるような校正装置を製作している⁵⁾。

この二つの機能を実現するため、分光放射照度標準電球、太陽 UV-B 計測器受光部、分光感度測定系を一つの光軸上に配置した。太陽 UV-B 計測器は回転ステージ上に配置されており、回転ステージを 180 度回転することで二つの機能を容易に切り替え可能である。

この分光感度測定系は太陽 UV-B 計測器の分光感度特性測定に特化するよう設計されており、測定波長範囲は 250 nm – 400 nm である。太陽 UV-B 計測器の感度定数は実際の太陽放射に合わせて設定されているため低感度であり、明るい分光系が必要である。太陽 UV-B 計測器の分光感度の半値全幅は 10 nm 程度なので波長分解能は要求されない。そこで、分光系には 10 cm シングル回折格子型分光器を用いている。シングル回折格子型分光器の迷光除去には通常分光器の入射スリット前に帯域透過フィルタを組み合わせる。しかし、本装置で使用する分光感度測定系の光源には可視・赤外除去フィルタが内蔵されており紫外放射しか出射しない。このため、帯域透過フィルタを用いなくても低迷光である。

分光放射照度標準電球による感度定数は、太陽光測定時の感度定数と異なる。そこで、照度計で用いられている色補正係数⁶⁾を導入する。色補正係数は、分光感度、理想的な分光感度、校正光源の分光分布、測定光源の分光分布を用いて計算する。理想的な分光感度は 280 nm – 315 nm の波長域で矩形であることである。よって測定光源の分光分布さえ明らかになれば、分光放射照度標準電球による屋内校正で太陽放射測定時の感度定数が決定可能である。そこで、太陽 UV 分光放射計 (MS-701、英弘) と太陽 UV-B 計測器を湘南校舎で比較測定し、分光放射照度と太陽 UV-B 計測器の出力から決定された感度定数と、分光放射照度標準電球による感度定数に色補正係数を摘要した場合の感度定数を比較・評価した。なお、測定光源の分光分布には比較測定時に測定された分光分布を摘要した。

2 本の分光放射照度標準電球による校正値は、分光放射照度とその時の出力から決定された感度定数に対して $\pm 0.6\%$ 以内の誤差で一致した。次に校正精度を考察する。分光放射照度標準電球の試験精度は、250 nm 以上 360 nm 未満で $\pm 5.1\%$ である。この試験精度を考慮しない場合の校正精度は $\pm 2\%$ と見積もっており、屋外比較測定による校正 (校正精度は $\pm 5\%$ 程度) と比較すると精度が向上された。さらに、この校正所要時間は全作業を手動で実施しても 1 台当り 12 時間であり、校正所要時間は大幅に短縮された。

4. まとめ

太陽 UV-B 計測器の感度定数は、計測器の周辺環境にもよるが経時変化することが明らかになった。このため年次校正が必須である。しかし、従来からの屋外での比較測定による校正では結果が天候に左右される。そこで新しい屋内校正装置を試作した。

試作した校正装置による感度定数は分光測定によって決定された値と $\pm 0.6\%$ 以内の誤差で一致した。しかし、感度定数の誤差は、分光分布が時間と共に変化する太陽光の場合、時間と共に変化することは容易に推測できる。感度定数の誤差変動をできるだけ小さくするような感度定数の決定のためには、色補正係数の計算に使用する測定光源の分光分布、すなわち標準となる太陽の分光分布の決定が不可欠である。今後は、これまでに様々な機関で観測された太陽分光分布を整理し、標準となる太陽の分光分布を決定したい。また、本報告では詳細な説明を省くが、細かな課題は山積している。これらの課題を解決し、校正法確立を目指したい。

参考文献

- 1) Sasaki, M., S. Takeshita, M. Sugiura, Y. Miyake, Y. Furusawa and T. Sakata:
Ground-based observation of biologically active solar ultraviolet-B irradiance at 35° N latitude in Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, **45**, 473 - 485 (1993).
- 2) 竹下秀, 坂田俊文, 佐々木政子他: 太陽紫外 UVB 放射計の開発と諸特性の評価, *照明学会誌*, **78** (10), 537 - 544 (1994).
- 3) Shu Takeshita, Calibration of solar UV-B and UV-A Radiometers, *Proc. of East-Asia Regional UV Symposium on Monitoring and Health Study*, 35 – 36 (2008).
- 4) ASTM: Standard Test Method for Calibration of Narrow- and Broad-Band Ultraviolet Radiometers Using a Spectroradiometer. G130-06 (2006).
- 5) 竹下秀, 佐々木政子: 太陽紫外 UV-B 計測器の感度定数・分光感度評価装置の試作, 平成 19 年度 照明学会全国大会講演論文集, p. 224 (2006).
- 6) 照明学会編: “光の計測マニュアル”, 日本理工出版会, 6.2.6 節, (1990).

S89123.03の感度定数の変化

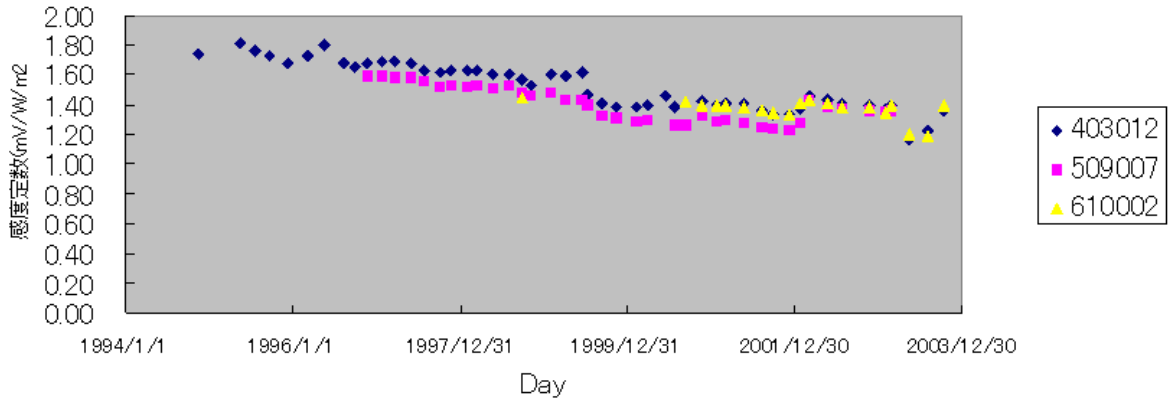


図1 分光放射照度標準電球に対する感度定数の長期的な変化（1990年10月から屋外で継続使用）

S97055.03の感度定数の変化

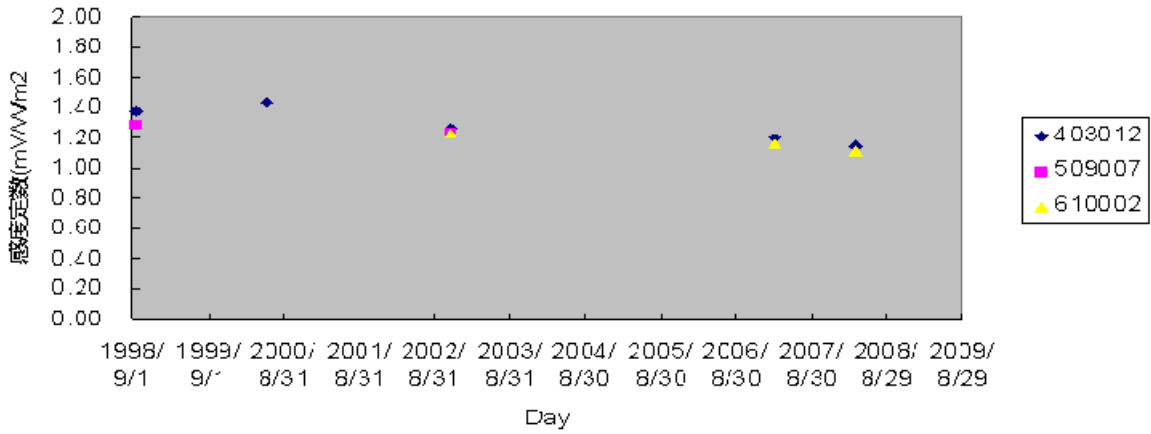


図2 分光放射照度標準電球に対する感度定数の長期的な変化（暗所保管）