

参考

有害紫外線の帯域測定における精度に関する知識及び考え方

1. はじめに

有害紫外線モニタリングネットワークは、帯域型計測器¹⁾³⁾によるB領域紫外放射(UV-B: 280~315nm)の測定を実施している全国の大学、試験研究機関、民間団体等が情報を交換・共有し、UV-Bの地表到達量の全国的な把握や時間・空間的な変動状況、さらには健康影響に係る暴露量評価のための基礎情報を収集・整備することを目的として発足した。

ネットワークの参加各機関が、データを共有・活用し、またネットワークとしてデータを発信していく上で一定の精度を確保する必要があることから、各機関において年1回の校正と日常的な保守点検を実施している。しかし、本B領域紫外放射計(以後、UV-B計と略)による観測が有する精度に関する共通認識を持つ必要があることから、測定そのものの特性と、絶対値の確実性(誤差)についての知識及びネットワークとしての考え方を取りまとめた。

2. 太陽紫外放射の光学的特性

太陽放射は、大気の上端に達したのち、大気中に存在する空気分子やオゾン、エアロゾル、水分、その他のガス分子による散乱と吸収を繰り返しながら地上に到達する。その影響で、地上に達する太陽放射は量、質とも大きく変化し、その波長範囲はほぼ300~3000nmに限定される(図1)。太陽放射の一部として地上に到達する紫外放射の分光分布もまた、大気条件により大きく変化する。放射の分光分布を支配する要因としては、前述した空気分子による散乱(Rayleigh散乱)、オゾンによる吸収、エアロゾルの吸収と散乱(Mie散乱)、下降水分、雲などがある。

それらの実際の散乱量と吸収量は、太陽高度に代表されるair mass(大気中を太陽放射が通過する距離を鉛直方向の距離を基準に測ったもの)に複雑に依存する。図2、3に代表的な要因であるオゾン全量とair massによるスペクトル分布の変化を、水平面に入射する放射量として示した。オゾンによるスペクトル分布の変化は330nmより短波長側に現れている(図2)。これはオゾンにより特にUV-Bの波長域で吸収されることによる。

また、air massすなわち晴天時の太陽高度に依存した分光分布の変化は、全波長に及んでいる(図3)。この変化の原因は、①air massが大きくなるとともに、直達光の減衰が大きくなり、相対的に散乱成分の割合が多くなること、②散乱放射の分布は短波長側に偏り、直達放射の分布は長波長側に偏っていることに起因する。

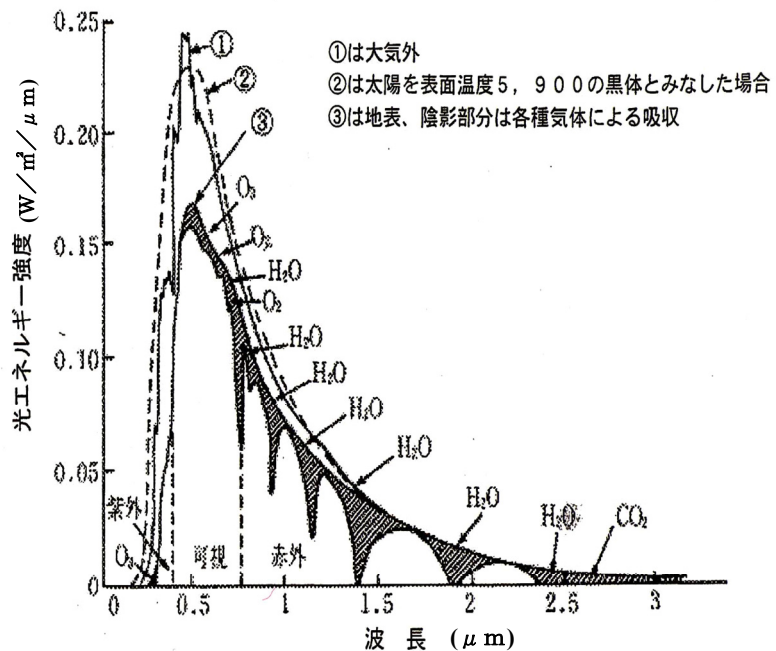


図1. 太陽放射エネルギーのスペクトル分布

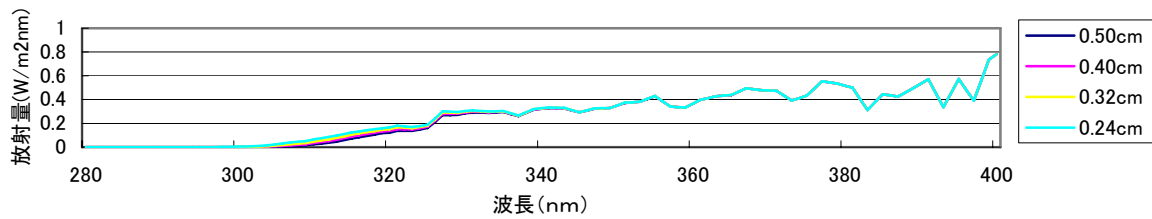


図2. オゾンによる紫外スペクトル分布の変化 (air mass=1.5)

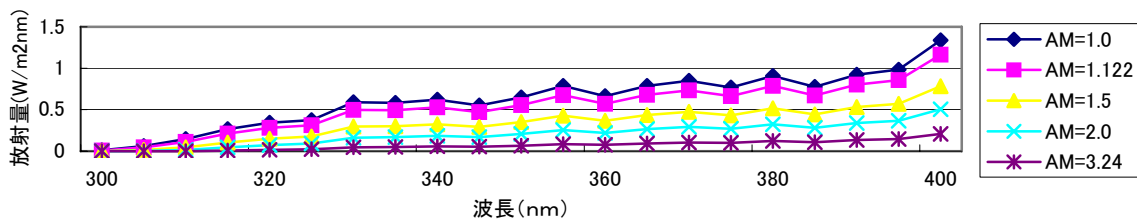


図3. air massによる紫外スペクトル分布の変化

図4には、オゾン全量が0.32cm、混濁係数が0.27（500nmにおける）の条件で、水平面における直達及び散乱成分の分光放射照度を、3種類のair mass（AM）毎に波長別に示した。図4に示すように、太陽高度によって全天量に占める直達及び散乱成分の割合は変化するが、UV-Bの波長範囲では散乱光の比率が高い。具体的には、330nm以下ではいずれの場合も散乱成分がまさり、AMが1.5及び2.0（2.0は東京で冬至における12時の高度に相当）の場合、全波長域で散乱光がまさっている。

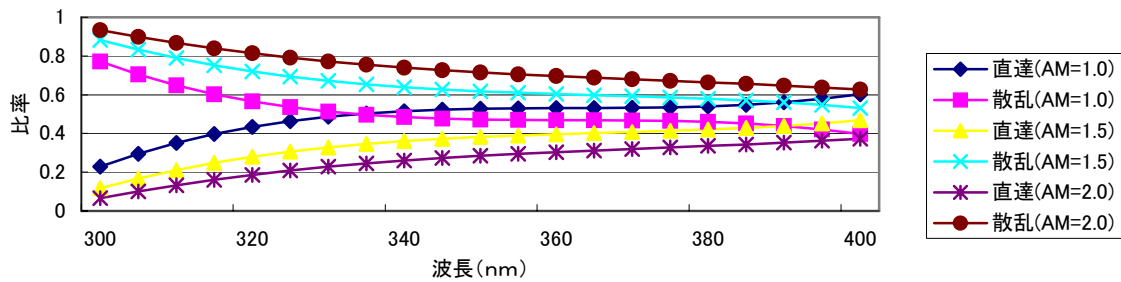


図4. 直達及び散乱成分の全天量に占める比率

以上のように、太陽からの紫外放射が地上に到達するまでの挙動については、様々な大気中の要因や太陽と地球との相対位置によって質、量ともに大きく変化する事がわかる。

3. 帯域測定の特徴

(1)紫外放射測定上の問題点

太陽放射の総量に対して、A 領域紫外放射（UV-A：315～400nm）は4～5%、UV-Bは0.1～0.3%程度しか含まれておらず、紫外放射を精度よく測定するには、長波長側に存在する大部分の放射の影響を取り除く必要がある。

また、紫外放射の分光分布と空間分布が絶えず変化し、放射強度の変化幅が大きいことから、あらゆる環境条件に対して安定した測定が求められる。しかし、これらの条件を完全に満足させることは実際不可能であり、特に放射量が少ないUV-Bでは測定はさらに難しい。

現在、紫外放射の測定法として普及している方法は、特定の波長帯、例えばUV-AやUV-Bの波長帯域に感度をもつ放射計測器による方法である。測定の正確さを保つために暴露試験に使用する放射計測器については、ISO 9370、JIS K 7363に特性等が規定されている。これらに規定されている放射計測器は長期間測定や場所を変えて測定するには非常に便利であるが、ISO等の規格によったとしても正確さには依然問題を有している。

(2)本モニタリングネットワークと気象庁の紫外域日射観測との違い

気象庁では、1990年から国内に4観測拠点（札幌、つくば、鹿児島、那覇）を設置し、UV-Bの地上到達量をBrewer分光光度計で観測している。Brewer分光光度計は、太陽光に含まれる紫外放射を回折格子により分光して、その強度を光電子倍增管で測定するもので、波長290～325nm（MK II型の場合）の紫外放射を0.5nmごとに観測している。気象庁では、このBrewer分光光度計を用いて日の出から日没までの毎正時に往復走査観測し、波長別紫外域日射量を観測している。

従って、本モニタリングネットワークで使用するUV-B計による連続観測と上述のBrewer分光光度計による観測とは表1に示すように、その観測方法や観測精度、及びデータ処理方法が異なることを再認識する必要がある。

表1. 本モニタリングネットワークと気象庁の観測方法・データ処理方法の違い

項目	本モニタリングネットワーク	気 象 庁
計測器	UV-B計（英弘精機 MS-210W, 212W）	Brewer分光光度計(SCI-TECH)
測定原理	280～315nm以外の紫外放射を光学フィルターで除去し、280～315nm域のUV-B量を一括測定	290～325nmの紫外放射を回折格子により0.5nm毎に分光測定
測定方法	連続測定	日出～日没までの毎正時に往復走査観測
算出方法	UV-B量：連続測定値を1時間当たりに積算 UV-B日積算値：UV-B量を1日当たりに積算	UV-B量：290～315nm域の放射量を0.5nm毎に積算 UV-B日積算値：UV-B量を1日当たりに積算

(3)紫外放射の帯域測定の特徴³⁾

紫外放射の測定には2つの方法がある。一つは前述した気象庁が観測しているような波長幅ごとの量を測る分光測定（Brewer分光光度計など）、他はUV-AまたはUV-Bの総量を測る帯域測定である。分光測定は、Action Spectrum（作用スペクトル）に対応する紫外放射の実際の量を知る目的でなされるのに対して、帯域測定は、連続測定による紫外放射の総量を実測することを目的としている。

本ネットワークでは、長期及び広域にわたるモニタリングという観点から帯域測定を採用し、

全国的な計測器の普及という観点から英弘精機(株)製を共通の放射計測器としている。
帯域測定の特長を以下に記す。

[帯域測定法の特長]

- ・ 長期にわたり連続観測が可能である
- ・ 放射計測器の取り扱いが容易である

しかし、帯域測定法は分光誤差（後述）による影響を受けやすいという短所も持つ。

分光誤差の問題としては、第一に UV-B そのものを忠実に測定できないこと、第二に Action Spectrum に対応する紫外放射量を知ることができないことである。一方、Brewer 分光光度計などの分光測定の特長はこれと表裏の関係にあり、波長別の放射量を測るため分光誤差はなくなるが、連続観測ができないことから、1日の積算放射量を精度よく測定することができない。また、Brewer 分光光度計は取り扱いが難しく保守には熟練した人手を要する。

4. 帯域測定用放射計測器の特性

(1) 放射計測器の構造¹⁾⁻⁴⁾

紫外放射計の基本構造は、以下の4要素からなる。

- 1) 紫外放射の取り入れ部
- 2) 所定の分光応答特性に合わせる分光系
- 3) 放射強度の検知と電気信号への変換部
- 4) 収納ハウジング

UV-B 計の概要を図5に示す。このうち、1)、2)に相当する部分の機能概要を表に記す。

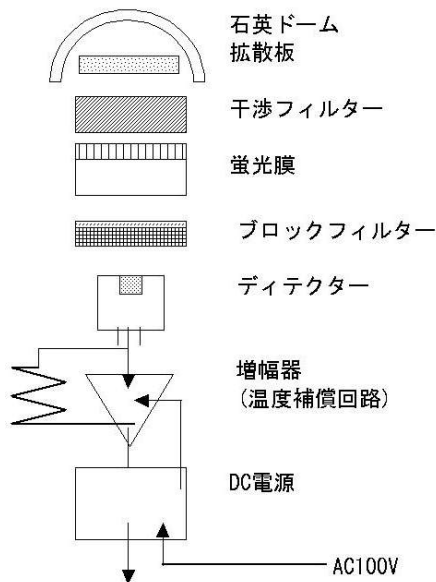


図5. UV-B 計の構造概要

1	石英ドーム	耐候性を維持しながら、あらゆる方向からの放射を取り入れる
	拡散板 (テフロン等)	あらゆる角度からの入射光に対し余弦特性を満足させるようにする
2	干渉フィルター	UV-Bを取り入れ、領域外の放射をカットする
	蛍光膜	取り込んだUV-Bを、蛍光体で放射照度に比例した可視光に変換する
	ブロックフィルタ (カットフィルター)	混入した蛍光以外の波長域光を除去する

一方、UV-A を測定する場合は、通常干渉フィルターと蛍光膜は使用せず、光学ガラスフィルターの組み合わせにより、UV-A のみを測定できる構造になっている。この点が UV-B と異なる。

(2)放射計測器の特性

① 劣化

放射計測器は各種の無機、有機材料で構成されているため、劣化の問題は避けて通ることはできない。しかし、各種高分子材料の暴露・劣化試験にもこの放射計測器が使用されている。UV-B の測定において、劣化の最もいちじるしい個所は、前述した構造の中で干渉フィルターと蛍光膜である。干渉フィルターは、UV-B 計が高温にさらされる事が劣化の原因であると判明したため、最近の UV-B 計では内部の温度を一定、かつ 30 度以下に保つ温度補償構造になっている。一方、蛍光膜については焼成処理により 1996 年以後の製造品については、劣化の度合いが低くなっている。なお、ネットワーク参加機関の使用している計測器は、すべて焼成処理済みである。

② 感度の変化等

UV-B 測定において、部品の劣化は感度（入力に対する応答度；入力と出力の比）の変化と放射計測器の分光特性の変化になって現れることとなる。このうち感度変化については、年間約 3%強と見込まれ⁵⁾、校正時にその変化程度を確認し、それに応じて UV-B 計の目盛り修正を行っている。その際、大気等の状態により変化することを考慮して、校正は各種の条件下で感度を求めて平均値として与えている。

感度の経年変化は避けられないため、定期的な校正と調整を行なう必要がある。本ネットワークにおいては、年 1 回校正を行なうこととしている。参考までに、ネットワーク参加機関が使用している計測器について、1 年程度使用した後の感度のばらつきを図 6 に示す。ただし、校正までの期間が必ずしも 1 年ではないもの、及び夏季以外に行われたものも含まれており、あくまで関係者間の参考として扱うものである。

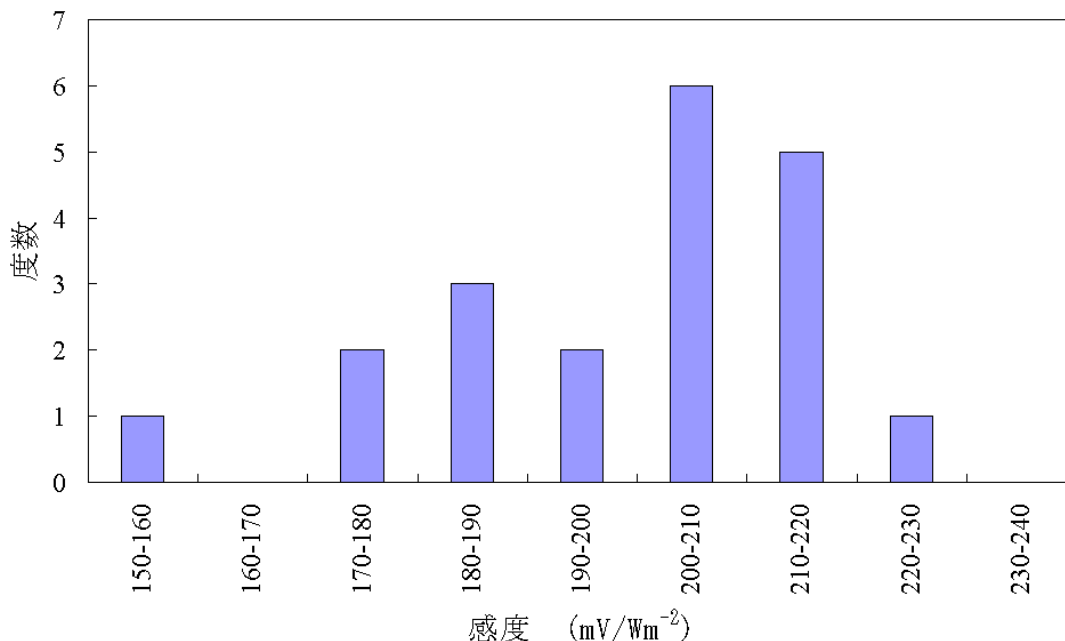


図 6. 1 年程度使用した後の計測器感度の分布図

注 1) 使用前計測器の感度はすべて 200mV/Wm⁻²

注 2) 平成 12~13 年に校正を行ったもののうち
前回の校正以降 1 年程度経過したもの (サンプル数 20)

③ 目盛りの変更

UV-B 計の目盛り（電圧→放射量の変換箇所）については、英弘精機(株)が東海大学発明の UV-B 計⁴⁾を製造開始した当時（1990 年）、最初に輸入された Brewer 分光光度計と標準光源により、気象庁において検定した値を採用していた経緯がある。当時は Brewer 分光光度計も観測を開始したばかりで UV-B の実態も明らかではなく、標準光源そのものについても紫外放射に関する情報が少なかった。しかも、Brewer 分光光度計との屋外比較検定は冬期であったため、夏季に比べ UV-B が 1/5 程度のレベルという非常に低い放射レベルで目盛りづけが行われた。

その後、英弘精機(株)では精密分光光度計 OL752（標準光源 NIST 基準）を導入し、これを基準（準器）に約 2 年間測定したところ、UV-B の放射照度が初期値に比べて約 15%高い値を示すと判明し、加えて、その後の気象庁（つくば）での測定結果と比較しても同じ傾向にあったことから目盛りを変更することとし、平成 10 年以降校正時に逐次変更を行ってきている。なお、ネットワーク参加機関で使用している UV-B 計は、すべて新しい目盛りで校正されている。

5. 測定における誤差について⁶⁾⁻⁸⁾

(1) 誤差の考え方

測定には誤差（誤差の大きさ＝精度）が必ず伴う。測定により知りたい真値（絶対値）は誰も知ることはできないが、後述する「系統誤差」をより正確に把握することにより、一般論としては、真値からのずれを推察し、限りなくそれに近づけることは可能であると考えられる。図 7 に「測定値」と「真値」を含む統計諸量の関係を模式的に示す。

誤差は「系統誤差(bias)」と「偶発誤差」に分類することができ、「系統誤差」は測定値に偏りを与えるような原因によって生じるものを指し、「偶発誤差」は測定値にばらつきをもたらすような原因によって生じるものを指す。一般にそれらの要因の特定は困難であり、そのため測定結果から「系統誤差」と「偶発誤差」とを分離することは困難である。したがって通常、これら（系統誤差と偶発誤差）を合わせて「不確かさ（uncertainty）」として取り扱う。

放射測定における測定条件は、太陽高度、大気の状態（混濁度、下降水分、オゾン量等）と気象条件（雲量、湿度、気温、風速等）によって決まるが、この条件に対する放射計測器の各種特性（温度、分光誤差、角度特性、零ドリフト等）と校正（調整を含む）誤差に基づく要因が作用し「系統誤差」の量が決まってくる。しかし、実際の測定では誤差の原因が分っていても定量的な評価ができない場合も多い。

例えば、分光誤差を「系統誤差」として評価しようとする場合、大気等の状態に応じて分光分布が異なりそれに伴って感度も異なるため、各分光放射量とそれに伴った感度の情報がなければ誤差の評価はできないことになる。さらに「偶発誤差」については、要因としては周辺環境（鳥や人の影、建物からの反射等）、ドームの汚れなどが考えられるが、文字どおり偶発的なものであることから定量的な評価は不可能な場合が多い。

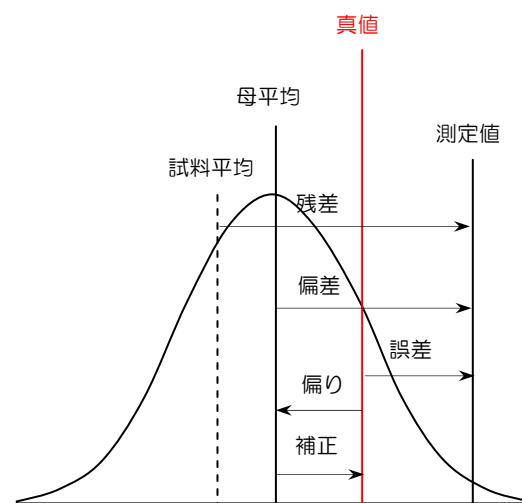


図 7. 測定値と真値を含む統計諸量の関係模式図
（培風館『物理学辞典』より）

(2)測定に伴う誤差

UV-B の測定に伴う誤差に関して、一般論として説明されている資料等をもとに取りまとめた。太陽放射の UV-B 測定において最も重要な要因（放射計測器の特性）は、温度、分光感度、角度の 3 条件である。各条件によって、測定がどのような「系統誤差」を有しているかについて以下に説明する。

① 温度特性

ネットワークの共通計測器である MS-210W, 212W には、温度補償回路が組み込まれており、通常-10～+50℃間において UV-A で 3%、UV-B で 1.5%以下である。ただし、温度補償するための温度センサーは計測器内部にあるので気温とは異なるが、気温情報から大略の「系統誤差」を知ることができる。

日積算放射量に対する温度特性由来の「系統誤差」は約 0.5%である（図 8-D）。

② 分光感度特性

大気条件による分光分布の変化は非常に複雑である。しかし、この変化に関する情報がない限りは「系統誤差」を知ることができない。晴天における分光分布は過去の知見により求められるが、曇天時における分光分布については正確な知見は得られていない。

ここで、自然光の分光放射照度を I_λ 、放射計の分光特性を D_λ とした時、放射計測器の感度定数（検定常数） K は下記で与えられる。

$$K = \frac{\int I_\lambda D_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} \quad (1)$$

式(1)で I_λ 、 D_λ とともに波長依存性を持つので K は一定にならない。波長に対して D_λ が一定であれば積分の外に出て、文字通り感度定数となるが、 D_λ はガウシアン分布をしているために I_λ の変化とともに K も変化してしまう。これをスペクトルミスマッチといい、これに伴う誤差、すなわち分光特性のずれにより生じる誤差をスペクトルミスマッチエラーという（前述の分光誤差）。

一方、構造上放射計測器の分光感度特性 D_λ を、UV-B の波長範囲に対し一定にすることは、現在の技術では不可能であるが、典型的な分光分布と既知の放射計測器の分光感度特性より式(1)を計算すれば、四季を通じてのおおよその「系統誤差」を知ることができる。なお、日積算放射量に対する分光特性由来の「系統誤差」はおおよそ+3.5～-6.5%である（図 8-B）。

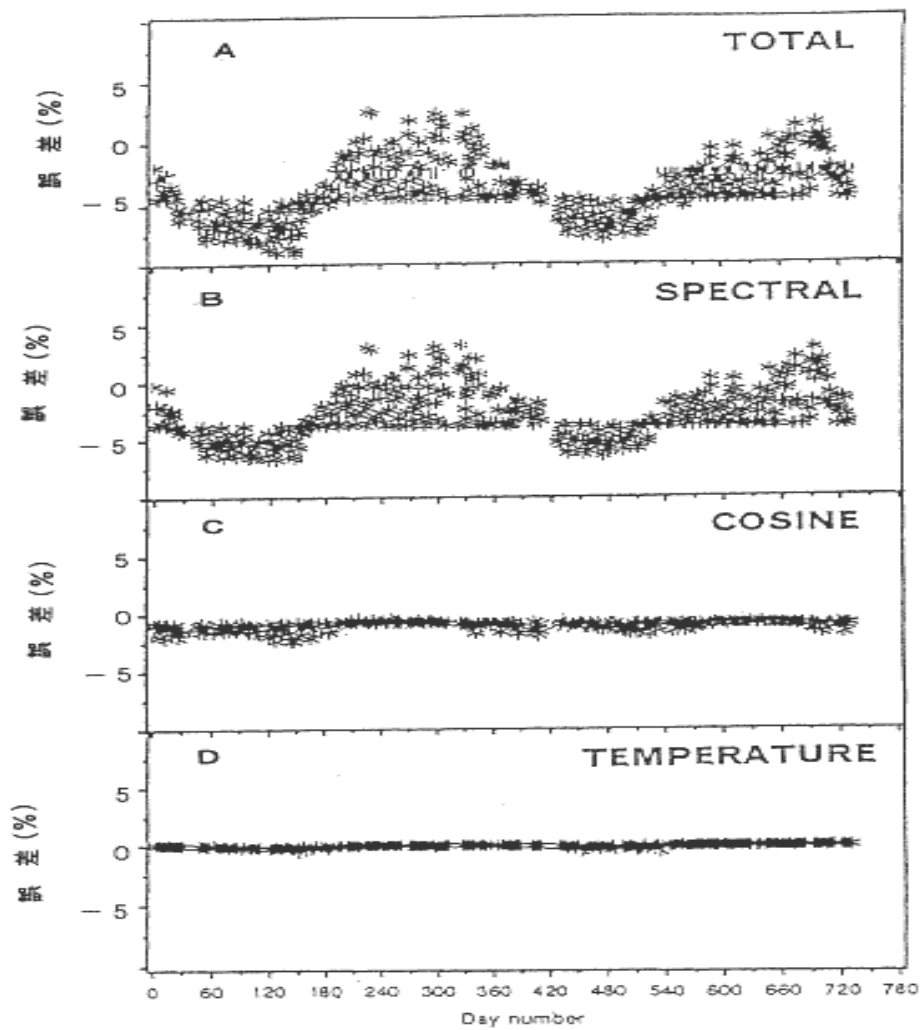


図 8. 2) 測定に伴う誤差の例(日積算値)

参考までに、図 9 に UV-B 計の分光感度特性とそれに起因する誤差の例を示す。

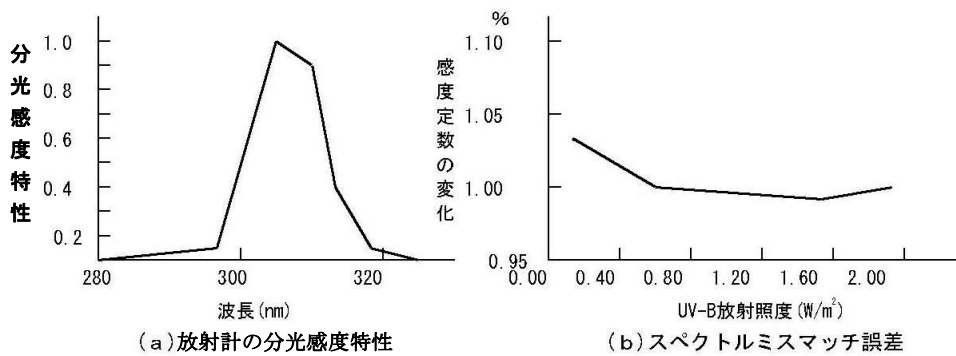


図 9. 分光感度特性とそれに起因する誤差(英弘精機 MS-210W)

③ 角度特性

太陽の角度特性による測定結果への影響は、前項と同じように考えることができる。太陽放射の放射照度の空間分布は太陽の位置と大気条件により決まるが、分光分布よりもさらに放射照度の空間分布の情報を得ることは困難であるため、誤差の推算は一層難しくなる。ただし、UV-B は散乱成分の割合が直達成分より非常に多くなるので、全波長域で測定する全天日射の天空放射照度分布よりも空間分布はゆるやかになる。従って、角度特性に基づく「系統誤差」は全天日射を測定する場合に比較すると小さくなる。

角度特性は大きく入射角度による余弦特性と、方位による方位特性の2つより構成されるが、UV-B 計の特質から考えて方位方向の誤差は非常に小さいので後者は無視しても支障はなく、前者の余弦特性を角度特性と見なす。放射計の角度特性 $R(\theta)$ は、通常下記で表される。

$$R(\theta) = \frac{E_0 \cdot \cos \theta - E_\theta}{E_0 \cdot \cos \theta} \quad (2)$$

式(2)において E_0 は入射角度零度における放射計の出力を、 E_θ は入射角度 θ の時の出力を示す。角度特性 $R(\theta)$ は余弦曲線からの誤差を示していることになるので、測定時の「系統誤差」 D_θ は、以下により与えられる。

$$D_\theta = \frac{\int I_\theta \cdot R(\theta) \cdot \cos \theta \, d\theta}{\int I_\theta \cdot \cos \theta \, d\theta} \quad (3)$$

ここで、 I_θ は入射角度 θ における放射輝度を全方位角で平均した輝度を表す。以上をもとに実際の測定データより計算すると、日積算放射量に対する角度特性由来の「系統誤差」はおよそ 1.4% である (図 8-C)。

④ 3つの系統誤差の合計

測定に及ぼす主要な「系統誤差」①、②、③の合計について、実際の推算は非常に難しいが、その1つの例を図 8-A に示す。これは、UV-B 日積算量について、2年間の実測結果を利用し、式(1)及び式(3)を適用して「系統誤差」を計算した結果である。

この結果によると3つの「系統誤差」の合計は最大で約 7% と推算される。

⑤ その他の誤差等

その他の誤差要因に、オゾン量、エアロゾルの量と粒径分布の変化が考えられる。個々の要因について、独立してその誤差を評価する必要があるが、これまで述べてきた他の主要な要素に比較して小さいことから、分光感度特性による誤差に含まれるとして取り扱う。

また、「偶発誤差」として、例えば非直線性、零点移動、分解能なども考えられるが、比較的小さい誤差に起因し、気象条件などとの相互作用に基づく誤差で、制御不能な誤差といえる。

なお、誤差とは異なるが、周辺遮蔽物による影の影響に関して若干説明する。影の影響については散乱光と直達光に分離して考える必要がある。周囲の樹木や建物等による直達光の影については、放射計測器が設置された周囲の状況を立体的に表現した図を作成し、既知の太陽軌道により影となる時間帯を推算することができる。一方、散乱光については同じ図を使い、散乱光の天空分布を一様として遮蔽率を考えれば同じように推算することができる。いずれにしても直達光と散乱光の比率に関する情報が必要となるが定量的な評価を精度

良く行なうことは困難である。

(3)校正に伴う誤差

① 校正の方法

太陽放射を測定する場合、WRR (WORLD RADIOMETRIC REFERENCE : 世界放射基準) を放射の基準としているが、この基準は直達日射強度、すなわち全波長域で積分した放射に対して規定されたもので、紫外放射計測器のように、限られた波長域の基準に直接用いることはできない。そこで、石英バルブのハロゲン電球を標準光源として、紫外放射計測器に直接照射して目盛り付け(検定)を行なう。しかし、標準光源と測定対象(太陽放射)の分光特性が異なることに起因する誤差を生ずる場合がある。このため、本ネットワークで使用している UV-B 計は、まず分光放射照度標準光源を用いて精密分光光度計を校正し、この分光光度計により太陽放射の分光放射照度を測定する。こうして求められた分光放射照度のうち 280~315nm の波長域を積分し UV-B の基準の放射量を定める方法をとっている。図 10 に校正方法の手順を示す。

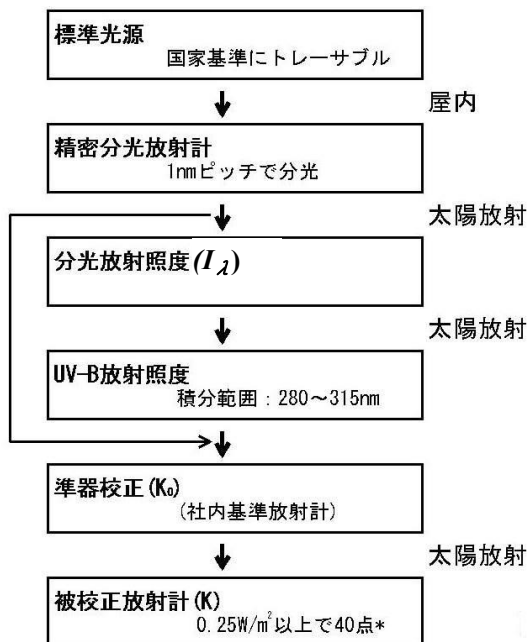


図 10. 校正方法の手順
(* : 30 分積算値を 1 点とする)

まず、大気条件の安定した晴天の時間帯に、UV-B 計の準器と精密分光光度計を同じ場所に設置し、時間を合わせて同時測定する。この同時測定によって UV-B 計の準器の出力 E_0 は以下のとおりとなる。

$$E_0 = K_0 \int_{280}^{315} I_\lambda d\lambda \quad (4)$$

ここで、 I_λ は精密分光光度計より得られる分光放射照度、 K_0 は準器の感度定数である。

次に、準器と同型の UV-B 計(被検定器)を晴天、曇天日を含み準器と比較測定を行なう。この結果、被検定器の感度定数 K は以下に与えられる。

$$K = \left(\frac{E}{E_0} \right) \times K_0 \quad (5)$$

ここで E は被校正計測器の出力である。

② 校正による誤差

上記の校正の過程で生じる誤差は2種類に分類することができる。ひとつは準器確立に至るまでの誤差である。この過程で最も大きい誤差は分光放射照度標準光源である。標準光源相互の間においても約2~4%値のばらつきがある。

また、精密分光光度計より準器を目盛りづける時に生じる誤差が3.5%程度ある。この中には前述した3つの主要な誤差が含まれている。また、各段階で移し変え時の偶発的な誤差(再現性)2%(1%×2回)を加え、単純に合計すると7.5~9.5%となる。ネットワークの参加機関で使用しているUV-B計では、ここまでは共通に生じる誤差であり、ネットワークとして収集したデータのばらつきを論じる際には問題にする必要はないと言える。

次に、UV-B計を校正する際の具体的な感度定数のばらつきについての考察であるが、これは校正が完了した放射計測器を複数個用意し、数日間測定した場合のばらつきとして表現できる。表2に、検定後の8台の放射計測器を9日間準器と比較測定した結果を、日積算値の準器からの隔たり(%)で示した。これより、平均で約2%の隔たりが生じた。

表 2.³⁾ 日積算値の準器からの隔たり

[原データ] 単位: %

機器番号	A	B	C	D	E	F	G	H
1997/08/02	-1.0	1.9	-1.0	-1.4	-3.4	-1.0	-1.9	-2.4
1997/08/03	0.3	0.6	0.0	-0.6	1.0	0.0	0.6	0.3
1997/08/04	-0.6	0.6	-0.9	-1.1	0.3	-0.3	0.0	-0.6
1997/08/05	5.6	1.9	4.4	3.8	5.0	3.1	2.5	3.1
1997/08/06	3.1	-0.4	3.5	2.2	3.1	3.1	3.5	4.0
1997/08/07	1.9	-0.4	2.3	1.9	2.3	2.6	4.1	4.1
1997/08/08	4.1	0.0	4.1	3.4	3.5	2.8	2.8	3.4
1997/08/09	2.4	1.3	-0.5	-0.3	1.1	-0.3	-1.6	-0.3
1997/08/10	2.6	1.4	-1.1	2.5	0.6	-1.1	-2.9	-1.1

[絶対値としての隔たり] 単位: kJ/m²

機器番号	A	B	C	D	E	F	G	H	平均
1997/08/02	1.0	1.9	1.0	1.4	3.4	1.0	1.9	2.4	1.75
1997/08/03	0.3	0.6	0.0	0.6	1.0	0.0	0.6	0.3	0.43
1997/08/04	0.6	0.6	0.9	1.1	0.3	0.3	0.0	0.6	0.55
1997/08/05	5.6	1.9	4.4	3.8	5.0	3.1	2.5	3.1	3.68
1997/08/06	3.1	0.4	3.5	2.2	3.1	3.1	3.5	4.0	2.86
1997/08/07	1.9	0.4	2.3	1.9	2.3	2.6	4.1	4.1	2.45
1997/08/08	4.1	0.0	4.1	3.4	3.5	2.8	2.8	3.4	3.01
1997/08/09	2.4	1.3	0.5	0.3	1.1	0.3	1.6	0.3	0.98
1997/08/10	2.6	1.4	1.1	2.5	0.6	1.1	2.9	1.1	1.16
平均	2.40	0.94	1.98	1.91	2.26	1.59	2.21	2.14	1.93
最大	5.6	1.9	4.4	3.8	5.0	3.1	4.1	4.1	4.00
最小	0.3	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.15

6. モニタリングネットワークとしての考え方

モニタリングネットワークとして総合誤差をどの程度考えるかについてであるが、これまで述べてきたように、誤差は「系統誤差」と「偶発誤差」に分類され、両者の分別は困難である。これを踏まえつつ、これまで挙げてきた個々の要因による誤差を日積算値に対してまとめると、以下のとおりとなる。

- | | |
|------------|--------|
| ① 温度誤差 | ± 0.5% |
| ② 分光誤差 | ± 5% |
| ③ 角度誤差 | ± 1.4% |
| ④ 校正時の誤差 | |
| ・ 標準電球 | ± 2~4% |
| ・ 準器確立 | ± 3.5% |
| ・ 偶発誤差 | ± 2% |
| ・ 個別校正誤差 | ± 2% |
| ⑤ 測定時の偶発誤差 | ± 2% |

これらを合計する方法として、一般的な計算式である下記の式を採用する。

$$E_t = \sqrt{\sum E_i^2} \quad (6)$$

ここで、 E_t は総合誤差（不確かさ）、 E_i は上記の個別の誤差を示す。

以上を代入し計算すると E_t は7.45~8.21%となる。これはあくまで統計的に処理した数字であるが、本観測における誤差の幅として結論付けることができると思われる。

以上のことから、ネットワークとしては、これまで述べてきた紫外放射及びUV-B計の特性、スペクトル変化をはじめとする様々な外的要因に伴う測定上の影響、加えてネットワークとしてのデータ利用の目的等を勘案し、年1回の校正と適切な日常保守を前提に、誤差を10%以内とすることは可能と考え、**「10%以内」をネットワークとしての共通の精度（＝「目標精度」または「保証精度」）とする**。この精度10%は、国際的に見て十分に対応できる水準といえる。なお、本精度はしばしば極端な数値を示す瞬時値ではなく、日積算放射量における百分率(%)として表現されることが適切である。

尚、本資料は、本UV-B計の製造元である英弘精機(株)の知見及び所見をもとにして取りまとめたものである。

7. 参考文献

- 1) M. Sasaki, S. Takeshita, M. Sugiura, N. Sudo, 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, 太陽紫外 UV-B 放射計の開発と諸特性の評価, 照明学会誌, **78**, 537-544 (1994).
- 3) 特許第 2710352 号 紫外線計.
(発明者:佐々木・古沢 ; 特許権者:学校法人東海大学・英弘精機株式会社)
- 4) 三宅行美, 「UV と生物産業—UV(紫外放射の影響と利用)—」((社)照明学会編、養賢堂) pp. 170-182.
- 5) M. Sasaki, S. Takeshita, T. Oyanagi, Y. Miyake, and T. Sakata, Increasing trend of biologically active solar ultraviolet-B irradiance in mid-latitude Japan in the 1990s, *Optical Engineering*, **41**, 3062-3069, 2002.
- 6) S. Takeshita, M. Sasaki, T. Sakata, Y. Miyake and G. A. Zerlaut, Uncertainty of measurement of global UV-B irradiance using a narrow-band filter radiometer, *Abstracts of 8th Conference on Atmospheric Radiation*, Jan., 1994 USA pp. 199-201.
- 7) S. Takeshita, Y. Miyake, M. Ichihashi, and M. Sasaki, Intercomparison of UV-B radiometer, *Proceedings of SPIE, Ultraviolet Ground- and Space-based Measurements, Models, and Effects*, August, 2001, San Diego, USA pp. 436-444.
- 8) G. A. Zerlaut, Y. Miyake, Relationships between daily UV-A, UV-B and hemispherical solar radiation, *Proceedings of SPIE, Ultraviolet Ground- and Space-based Measurements, Models, and Effects*, August, 2001, San Diego, USA pp. 127-141.