

有害紫外線モニタリングネットワーク 運営ガイドライン

有害紫外線モニタリングネットワークは、成層圏オゾンの減少により、その影響の増大が懸念される有害紫外線(B領域紫外線; UV-B 280~315nm)の地表到達量の全国的な把握や、紫外線暴露による健康影響評価などに広く活用することを目的として、全国の大学や試験研究機関・民間団体などで実施されている有害紫外線観測をボランティアベースでネットワーク化し、有害紫外線に係わる観測情報の収集及び共有体制を構築するものである。

以下に、本ネットワークの円滑な推進をはかるために、ネットワークの運営に係わる情報・指針をとりまとめた。

(内容)

1. 運営体制
2. 有害紫外線の観測
3. 観測データの取りまとめ
4. 観測データの公表・取り扱い
5. その他

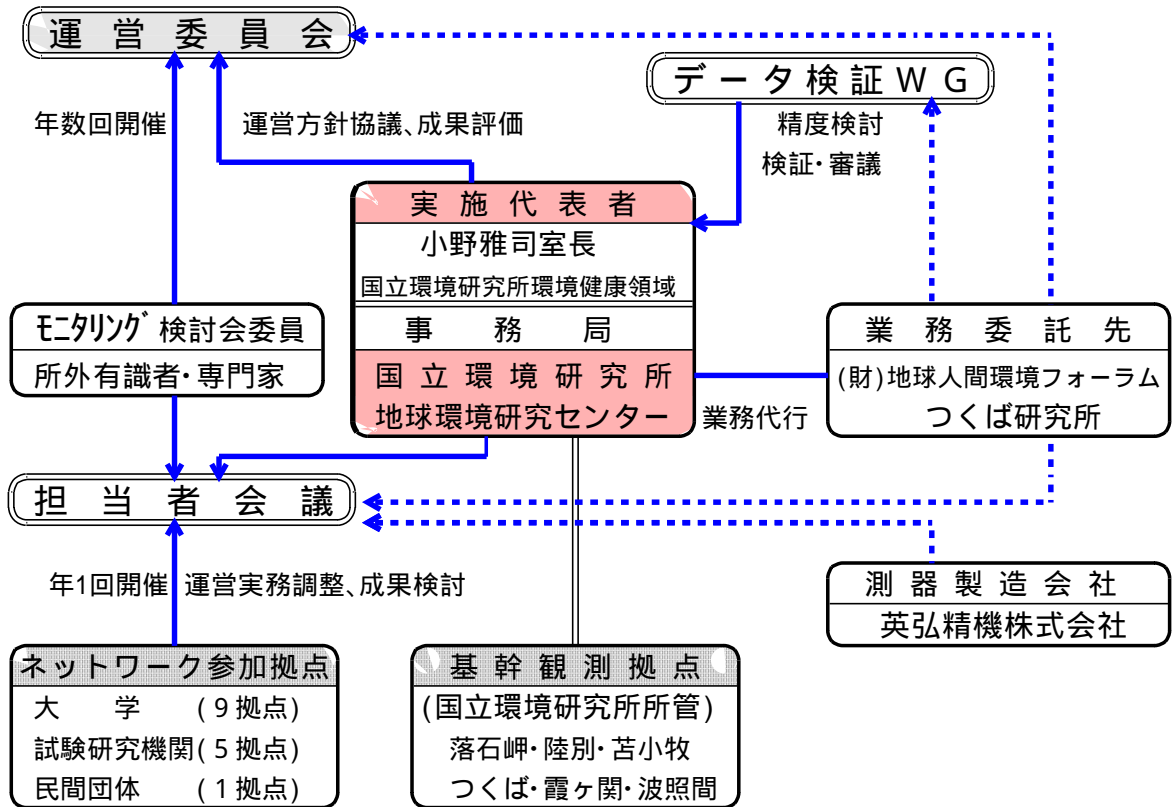
別紙 1 . B領域紫外放射計保守管理指針

別紙 2 . 観測データの処理及び取り扱い指針

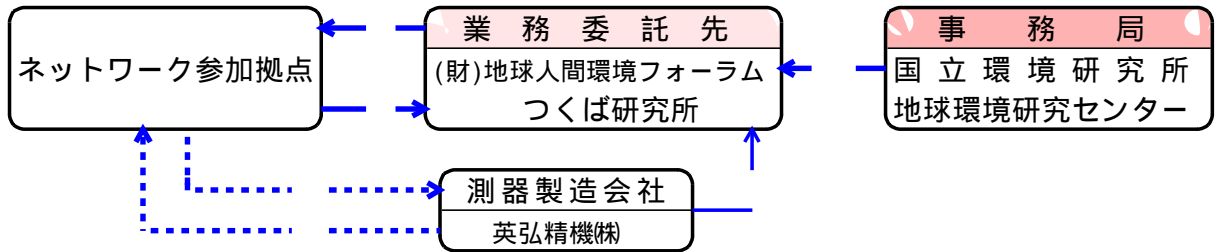
参 考 . 有害紫外線の帯域測定における精度に関する知識及び考え方

1. 運営体制

(1) ネットワーク運営委員会・担当者会議

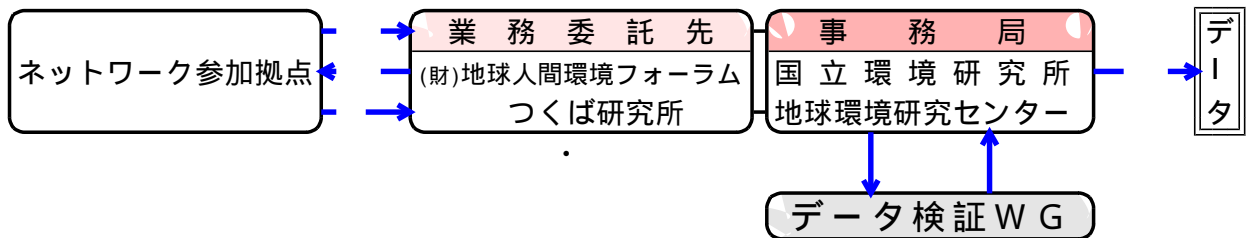


(2) 精度管理体制：測器校正時における代替器の貸与



代替器の運用委任 代替器貸与 保有器校正依頼 代替器変換
 保有器校正完了(成績書添付) 成績書(副)提出

(3) 観測データの取りまとめ・検証・公表



観測データの送付 検証・審議 確定データ取りまとめ
 データ収集・取りまとめ 確認事項指摘・意見添付 公表・発信
 取りまとめ結果提出 データ確認 確認結果返送

2. 有害紫外線の観測

(1) 測器・ロガー等の管理

- ・原則として、「B領域紫外放射計保守管理指針」(別紙1)に則って、測器・ロガー等を保守管理を行う。
- ・測器の日常点検；受光部の清拭は毎日、乾燥剤は適宜交換することを原則とする。
- ・なお、乾燥剤は、事務局から同一規格のシリカゲルを送付する。

(2) 測器の校正・代替器貸与

- ・測器(B領域紫外線計)の校正間隔は、1年以内とする。
- ・校正時期は、4～9月の夏期間を原則とする。
- ・代替器は、3～4ヶ所の観測拠点で1式確保する。
- ・校正順序は、各観測拠点の校正優先度に応じて決める。
- ・校正作業を行う測器製造会社は、校正前・後の測器感度を記載した成績表を測器保有機関とともに、副本を事務局に送付する。
- ・校正に要する経費は各観測拠点が負担する。
- ・事務局は、代替器の貸与に係わる作業のみを行う。
- ・なお、体制が整い次第、A領域紫外線計、全天日射計も定期的な校正を行う。

3. 観測データの取りまとめ

(1) 観測データの収集

- ・原則として、「観測データの処理及び取り扱いについて」(別紙2)に則って、行う。
- ・各観測拠点の取得したデータは、可能な限りロガー等に収録されている出力様式(無処理)の状態で磁気媒体、あるいは電子メールの添付ファイルで事務局へ送付する。
- ・各観測拠点のデータ処理間隔は、10分以内が望ましい。
- ・取得データは、可能な限り4半期毎に、その翌月上旬中までに事務局へ送付する。

(2) 1次データの取りまとめ

- ・各観測拠点のデータは、事務局で時間値、日値として集計する(1次データ)。
- ・観測データの数理処理は、原則として気象庁の気象観測集計マニュアルに則って行う。
- ・送付された取得データは、翌4半期中に各観測機関へ送付する。

(3) データの検証

- ・データは四半期ごとを目安として、データ検証ワーキンググループにおいて、検証及び審議を行い、随時、各観測拠点にデータの確認を行い、必要に応じて、修正または欠測扱いとする。
- ・ワーキンググループでは、併せて、精度の確保及び統一のための技術的見地からの検討を必要に応じて行う。

4. 観測データの公表・取り扱い

(1) 取りまとめた1次データの取り扱い

- ・ネットワークで集約された1次観測データは、原則として、参加機関の共有とするが、その利用にあたっては、その利用様式に応じて、以下に示す対処策を講ずるものとする。
 - ：自観測機関データの利用...自由。
 - ：他観測機関データの利用：
 - (a)参照データとして、自機関データの比較検討に利用するのみで、他機関データを成果として公表しない場合：自由。
 - (b)自機関データを含み、他機関データを公表成果として利用する場合：利用する他機関と協議する。また、ネットワークで得られたものであることを明記する。

(c)ネットワーク全般のデータを公表成果として利用する場合：事務局と協議する。

(2) 検証後の確定データの取り扱い

- ・前記四半期ごとのデータ検証後(2次データ)、毎年度の校正結果による補正を加え、確定データとし、公表を行う。
- ・2次データの利用についても、前記(4)に準じた取り扱いとする。公表データについては、ネットワークで得られたものであることを明記して利用するとともに、発表成果を事務局に送付する。

5 . その他

- ・観測データの検証のために、各ネットワーク参加拠点の地理的特徴・観測手法等の情報を必要に応じて、参加拠点に求めることがある。
- ・事務局(業務委託先)は、ネットワーク参加拠点の観測状況を適宜現地調査し、必要に応じて技術的な指導等をおこなうことがある。

1. 検出器の設置

(1) 設置場所の選定

原則として、年間を通じて検出器の視野を妨げない開けた場所が適当で、全方位にわたり 5 度以下の仰角で遮蔽物が無いことが望ましい（腕を目の前に伸ばしたとき指 1 本が約 1 度に相当する）。

近傍に日射、紫外線等を反射する建築物等が無い場所が望ましい。

(2) 設置方法

水準器を南に向け、検出器の受光面を正しく水平に設置し、調整ボルトにより水平に調整する。なお、水平が狂わないように設置台にボルト・ナットで固定する。

指定されたコネクタ付きケーブルを結線する。コネクタに雨水が進入しないように、固定用ネジを充分締め込み、必要に応じて絶縁テープを巻いておく。また、ケーブルは風等によって揺れるとノイズの原因となるため、揺れないように固定する。

検出器感部は衝撃に弱いため、取り外しや移動の際は極力注意すること。

(3) その他

設置に際し、検出器の製造番号・製造年月・校正年月等を必ず記録しておくこと。

2. 変換器・ロガー等の設置・設定

(1) 変換器の設置・接続

紫外放射計の変換器は、高温多湿な場所を避けて設置する。

信号出力・電源ケーブルを変換器に接続する際は順序を間違えないこと。検出器内部の増幅器を破損することがあるので十分注意すること。

信号線は外部ノイズを防ぐために必ず、線断面積 0.5 mm^2 以上のシールド被覆線を使用し、接地をとること。なお、信号線は耐候性を高めるために、保護管に入れることが望ましい。

(2) ロガー等の設定

紫外線量は積算値として算出するために、ロガー等により 10 秒間隔で収録し、それを 5 / 10 分間平均として算出して、積算値に換算する。あるいは、アナログ積算計を用いて、30 / 60 分積算値とする。

検出器の劣化等による信号出力のドリフトを把握するために、検出範囲(スパン)を必ず想定される最大出力の 1 / 10 程度の負(-)出力を検出できるように設定すること。

3. 日常点検

(1) 検出器・ケーブル等の点検

受光ドームに、雨滴・塵などが付着すると正確なデータが得られないため、可能な限り頻繁に(できれば毎日望ましい)アルコール綿布等で清拭するとともに、測定システムの動作を確認する。

水準器で水平を確認し、ずれている場合は調整する。

乾燥剤は青色細粒シリカゲルを使用し、監視窓より見て、シリカゲルがピンクに変色している場合は、乾燥剤容器を取外し必ず青色に呈色している細粒シリカゲルと交換する。なお、シリカゲルの変色が確認できない場合でも、相当期間使用している場合は適宜交換する。交換後は乾燥剤容器を元に戻し充分締め込む。締め込みが不十分な場合には、雨水が侵入し、検出器感部の腐食・劣化・故障の原因となるので注意すること。

検出器のコネクタおよびケーブルに異常がないか確認する。特に、コネクタへの雨水の侵入

による錆の発生、風によるケーブルの擦れ、ネズミによる被覆材の食害等に注意する。

(2)変換器・ロガー等の点検

変換器が正常に動作していることを確認する。電源ランプが点灯しているか、電源プラグがコンセントからはずれかけていないか等を確認する。

ロガーやパソコン等でデータを取り込んでいる場合は、表示時刻が合っているか、表示されているデータが妥当か等を確認する。データは、緯度や時間で異なるため、予めその観測地点でのおおよその紫外線量等を知っておく必要がある。

データをフロッピーディスク等の媒体にコピーする場合等は、観測を停止して、観測データのコピーの実施後、時間を確認し、HD容量等を確認する。プログラムを立ち上げ観測を開始した後動作状況を確認する。

4．定期整備・オーバーホール

(1)長期間観測していると、夜間日射が無いにもかかわらず値がでることがある。こ

れは、検出器内部の増幅器や変換器の零点がずれている現象であることが多い。この場合は後日、補正する必要がある。感部については、光の入らない暗室等で高精度デジタル電圧計により信号出力を測定すれば零点の確認ができる。

(2)検出器の感度劣化・ドリフトは不可避であり、定期的なオーバーホール・校正作業が必要である。B領域紫外放射計の感度定数は1年で数%変化することもあるので、年に1回メーカーにて校正することが必要である。

5．点検記録

(1)日常点検及び定期点検の結果は、点検記録表などな記録し、管理情報として保存保管するとともに、データチェック等に活用する。

(2)点検記録表の一例を別添に示す。

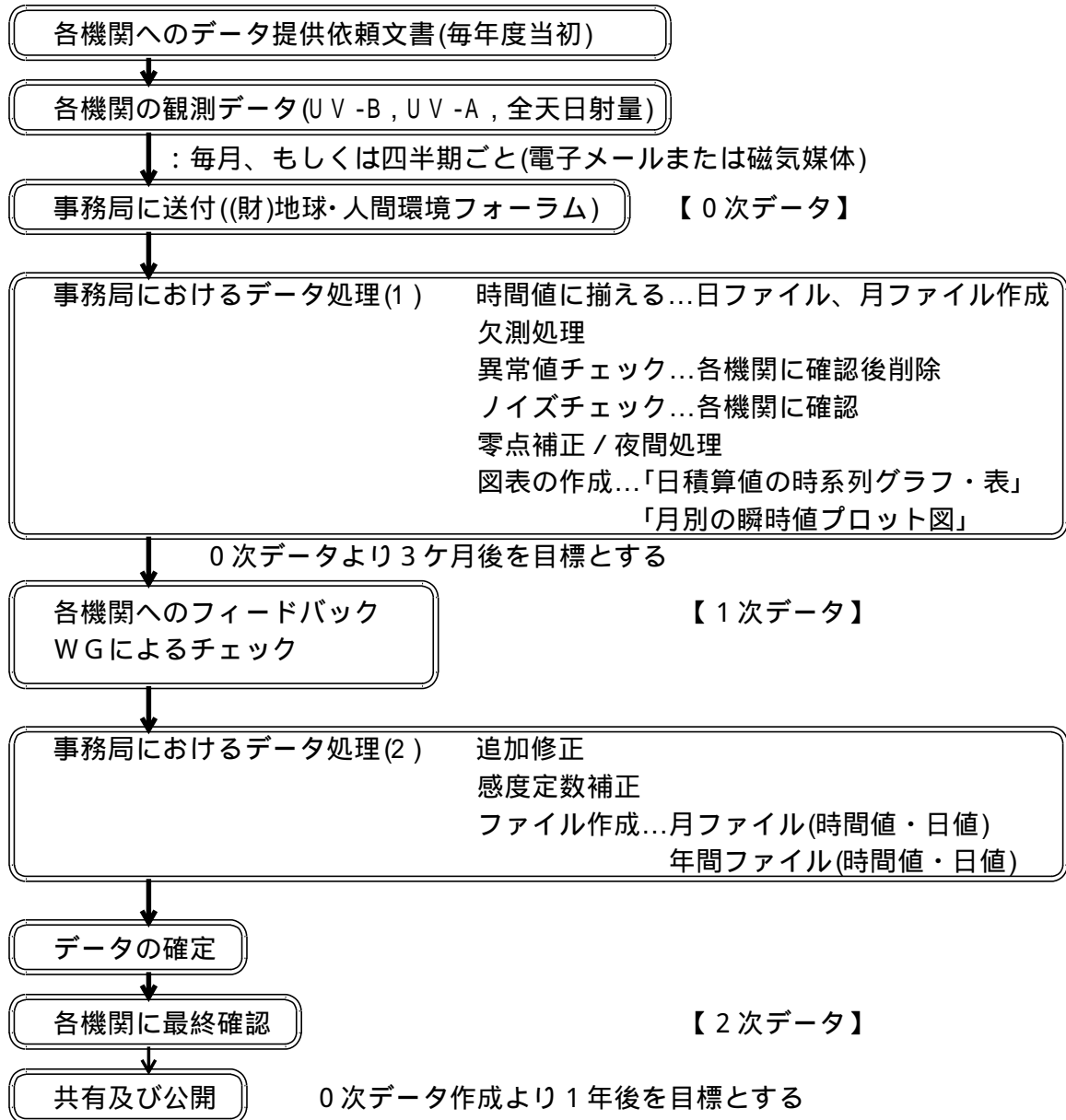
例

紫外線放射観測システム点検記録表

霞ヶ関

点検年月： 2000年 月 日 曜日		点検者名：	
点検時間： : ~ :		天 気：	
2 2 F 機械室パソコンの点検			
P C	PC画面（観測）	正常・異常	異常箇所：
	PC時刻修正	日本標準時 h m s 内部時計 h m s	修正時刻 h m s
	データ回収	(yyymmdd.db,.kdi,.px,.txt)ファイル / ~ / まで回収 Errorファイル 回収	
	HD残量	Byte	
	PC停止時間	: ~ : 停止	
W U V P C	PC画面（観測）	正常・異常	異常箇所：
	PC時刻修正	日本標準時 h m s 内部時計 h m s	修正時刻 h m s
	データ回収	(yyyyymmdd.uvd)ファイル / ~ / まで回収	
	HD残量	Byte	
	PC停止時間	: ~ : 停止	
特記事項：			
3.5インチFD残り 枚 ZIP残り 枚			
屋上センサー、変換器の点検			
W U V	外 観	正常・異常	異常箇所：
	ガラスドーム清拭	実施・しない	異常箇所：
	シリカゲル 交換	実施・しない	異常箇所：
V	変換器・電源ランプ	正常・異常	異常箇所：
U V B	外 観	正常・異常	異常箇所：
	ガラスドーム清拭	実施・しない	異常箇所：
	シリカゲル 交換	実施・しない	異常箇所：
	変換器 電源ランプ	正常・異常	異常箇所：
U V A	外 観	正常・異常	異常箇所：
	ガラスドーム清拭	実施・しない	異常箇所：
	シリカゲル 交換	実施・しない	異常箇所：
	変換器 電源ランプ	正常・異常	異常箇所：
日 射	外 観	正常・異常	異常箇所：
	ガラスドーム清拭	実施・しない	異常箇所：
	シリカゲル 交換	実施・しない	異常箇所：
口 ガ 	外 観	正常・異常	異常箇所：
	表 示	正常・異常	異常箇所：
	電源ランプ	正常・異常	異常箇所：
特記事項：			

1. データ処理の手順と流れ



2. データ処理手順



零点補正、夜間処理、異常値除去

CalTxt

校正による補正、欠測処理、時間表示調整

MonCal (時間値/日別値ファイル)

グ ラ フ

集 計 表

解 析

データの管理ディレクトリ

OrgData : 各機関から送付されたそのままのデータ

ObsTxt : 各機関から送付されたデータをスペース区切りのテキスト化したデータ

OrgTxt : 各期間毎の観測時間そのままの共通フォーマットのテキストデータ

CalTxt : テキスト化したデータに零点補正、夜間処理並びに異常値をカットした各機関毎の観測時間月別データ (共通フォーマット、観測時間は異なる)

ファイル名 XXXXyymm.CAL

MonCal : CALデータから時間積算及び日積算した月別データ (共通フォーマット)

ファイル名 : XXXXyymm.MON - - - - - 時間値、日値月ファイル

ファイル名 : XXXYyyyy.HOR - - - - - 時間値年間ファイル

ファイル名 : XXXYyyyy.DAY - - - - - 日値年間ファイル

* MonCalから種々統計、図表作成

3 . データ処理方法

(1)異常値チェック

- ・異常値については、0次データの段階で、各機関において確認、削除/修正を行うことを基本とする。
- ・各機関より事務局へ送付後は、事務局及び「データ検証ワーキンググループ」においてデータチェックし、個別に確認しながら処理する。
- ・異常値の判断については、UV-Bの図示(時系列、瞬時値プロット)、全天日射量とUV-Bとの相関(散布図等)により行うこととし、今後さらに効果的な方法について検討する。
- ・1次データの段階で、各機関にフィードバックされたデータについて、各機関において再度チェックを行う。

(2)ノイズチェック

- ・これまでの0次データを見ると、一定期間集中的にデータが不安定となったり、また零点補正の前後で月によっては10%以上数値が異なっているものがある。これはおそらくケーブルのコネクター部が緩んでいる等によるノイズ発生が原因と考えられることから、事務局が確認し次第、随時各機関に連絡するなど個別に対処する。
- ・各機関において、適切な日常点検を実施するとともに、校正時の代替器交換に際して、コネクターの接続等に十分留意する。

(3)零点補正/夜間処理

- ・零点補正は原則として行わないこととし、夜間処理(夜間部のデータ削除)のみ行う。
- ・夜間処理の時間帯は、安全を見込んで日没後1時間~日の出前1時間とする。

(4)欠測処理

- ・原則として気象庁の「地上気象観測統計指針」により取り扱う。その場合、瞬時値から時間値を積算する際、1データでも瞬時値に欠測があれば時間積算値(日積算値も同様)は欠測となる。

(5)感度定数補正

- ・毎年の校正後、事務局において、英弘精機(株)より各機器の感度定数を知らせてもらうとともに、各機関に校正時の機器取り外し日と設置日を確認し、直線回帰で補正計算を行う。

- ・ネットワークとしては時間値ベースで補正を行うこととし、瞬時値レベルの補正データが必要な場合は、ネットワークとしての集計とは別に、個々の機関が独自にやりとりしてもらうこととする。

(6)日界の取り扱い

- ・時間値は前1時間とし、0.01～1.00のデータを1時の数値とし、時間表示を1～24時とする。

気象庁「地上気象観測統計指針」(全天日射量に関する項目を抜粋)

原簿の記入

[地上の高さ]

- ・単位：m、最小単位：0.1
- ・全天日射計感部受光面までの高さ

[日表(時別値欄)]

- ・単位：MJ/m²、最小単位：0.01
- ・毎時の前1時間の全天日射量
- ・1時間量を0.01とするに足りない場合は、0.00とする。
- ・日の出前30分からと日没後30分までに該当する欄以外は空欄とする。

[日表(日別値欄)]

- ・単位：MJ/m²、最小単位：0.01
- ・毎時の全天日射量欄の合計値

日の統計方法

[合計]

1. 定時の観測値を合計して求める。
2. 定時の観測値に欠測があっても、別に合計値が得られる場合は、その値を日合計値とする。
3. 定時の観測値のうち、1つでも欠測ある場合は、合計値を求めない。

[平均]

1. 毎時の観測値から平均を求める。
2. 毎時の観測値のうち、欠測が2回以下の場合は、残りの観測値から平均を求める。
3. 上記以外の場合は、平均を求めない。

半旬、旬、月の統計方法

[平均]

1. 半旬、旬、月の日合計値を平均して求める。
2. 日合計値に欠測があり、欠測の日を除いた日数が、半旬について4日以上、旬について7日以上、月について20日以上ある場合は、欠測の日を除いて平均を求める。
3. 上記日数未満の場合は、平均を求めない。

年の統計方法

[合計、平均、日数]

1. 月合計値・月平均値を合計・平均して求める。
2. 日合計、日平均に欠測があるが、月合計、月平均、月間日数を求められる場合は、欠測のない月と同様に扱って求める。
3. 欠測の月が1ヶ月でもある場合は求めない。

注：「1」は通常算出、「2」は括弧付きでの算出、「3」は欠測扱いとする。)

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、帯域型放射計によるB領域紫外線(UV-B: 280 ~ 315 nm)観測を実施している全国の大学、試験研究機関、民間団体等が、相互に情報交換・共有することで、UV-B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曝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、本放射計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. 紫外線の光学的特性

太陽からの放射線は、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。また、それらの散乱・吸収過程のほかに、雲の存在と太陽高度(角度)の変化により、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 ~ 3000 nmに限定される(図1)。太陽放射の一部として地上に達する紫外線(UV)放射の分光分布もまた、大気条件により大きく変

化し、他の放射線同様、放射の分光分布を支配する要因として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、雲の存在と太陽高度で代表されるAir mass(大気的路程)に大別することができる。

図2、3に代表的な要因であるオゾン全量とAir massによる分光分布の変化を、水平面に入射する放射として示した。オゾンによる分光分布の変化は330 nmより短波長側に現れている(図2)。これはオゾンが特にUV-Bの波長域で吸収されることによるものである。

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、Air massが長くなるとともに、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といった具合に、全天量に対する直達成分と散乱成分の比率が変わること、並びに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ものである。

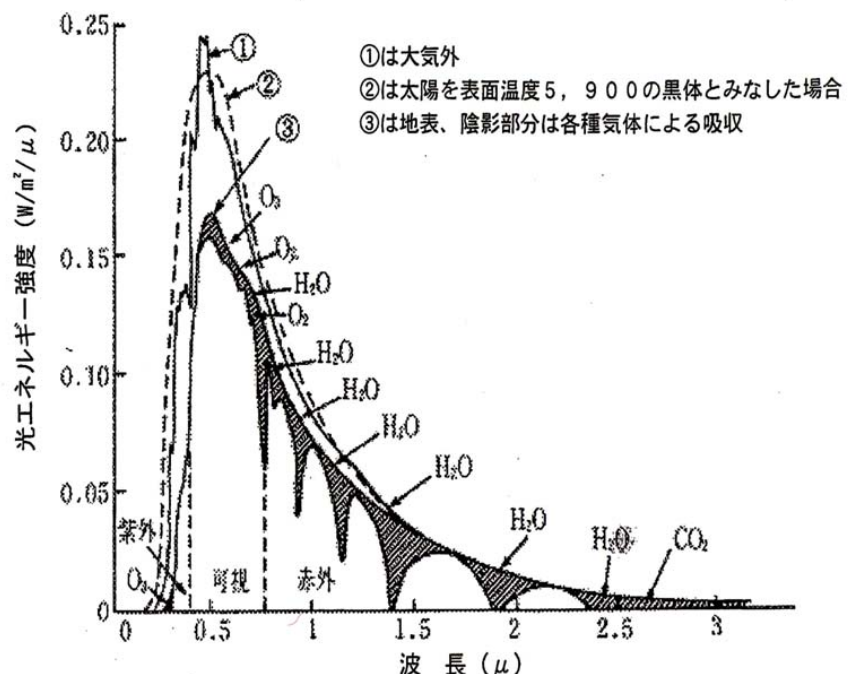


図1. 太陽放射エネルギーのスペクトル分布

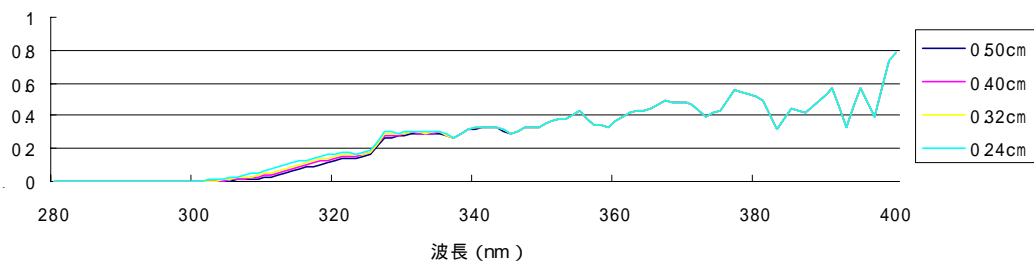


図 2 . オゾンによる紫外スペクトル分布の変化 (Air mass = 1.5)

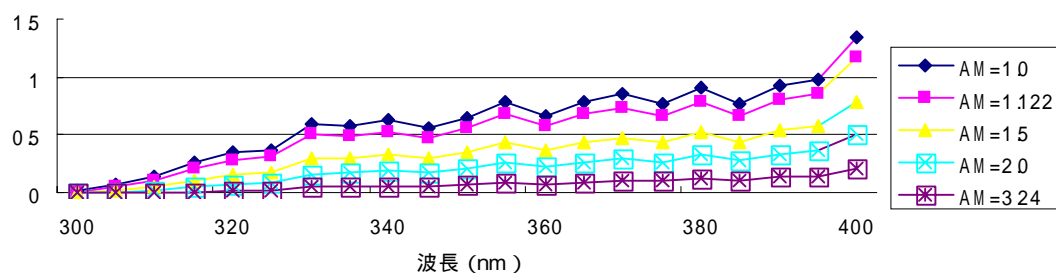


図 3 . Air massによる紫外スペクトル分布の変化

図 4 には、オゾン全量が0.32 cm、混濁係数が0.27 (500 nm 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種類の太陽高度 (Air mass) 毎に波長別に示した。図 4 に示すように、太陽の位置によって天空における放射の分布は変化するが、UV の波長範囲では散乱光の比率が高いため、全天日射のような大きい角度分布の変化にはならない。具体的には、330 nm 以下ではいずれの場合も散乱成分がまさり、Air mass 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。散乱光もまた角度分布があるが、ここでは均一分布として取り扱っている。

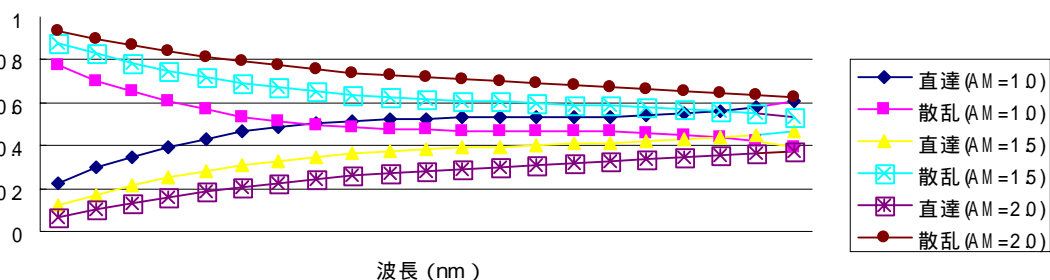


図 4 . 直達及び散乱成分の全天量に占める比率

以上のように、太陽から放射された紫外線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ものである。

3 . 帯域測定の特徴

(1) UVの測定上の問題点

太陽放射の総量に対して、UV-A は4 ~ 5 %、UV-B は0.1 ~ 0.3 %程度しか含まれておらず、UV 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、UV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B領域では測定はさらに難しい方法となる。

現在、UV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の波長帯に感度帯をもつ放射計による方法である。測定の正確さを保つために暴露試験に使用する放射計については、ISO 9370、JIS K 7363に特性等が規定されているが、これらに規定されている放射計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の気象庁の紫外域放射観測の違い

気象庁では、1990年前後よりわが国内に4観測拠点(札幌、つくば、鹿児島、那覇)を設置し、B領域紫外線(波長; 280~315nm)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線を回折格子により分光して、その強度を光電子倍增管で計測するもので、波長290~325nmの紫外線を0.5nmごとに、光放射強度を波長別に観測する。気象庁の観測では、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、波長別紫外域放射量を算出している。

従って、本モニタリングネットワークで使用する検出器である帯域型B領域紫外放射計による連続観測と上述のブリューワ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
検出器	帯域型B領域紫外線計(英弘精機MS-210W, 212W)	Brewer分光光度計(Sci-tech社)
計測原理	280~315nm以外の紫外線を光学フィルタで除去し、280~315nm域の放射量を一括計測	290~325nmの紫外線を回折格子により0.5nm毎に放射量を分光計測
計測方法	最低1分間隔で連続観測	日出~日没までの毎正時に往復走査観測
算出方法	時間値:1分毎の値を1時間当たりに積分 日積算値:時間値を1日当たりに積算	UV-B量:290~315nm域の放射量を波長積分 UV-B日積算値:UV-B量を1日当たりに積算

(3)UV放射の帯域測定の特徴

UV放射の測定には2つの方法がある。ひとつは前述した気象庁が観測している方法の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UV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、連続測定による放射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、全国的な測器の普及という観点から英弘精機(株)製の測器を共通の測定機器としている。

帯域測定の特長を以下に記す。

[帯域測定に係る測定法の特長]

- ・ 長期にわたり連続観測が可能である
- ・ 測器の取り扱いが容易である
- ・ 分光誤差(後述)による影響を受けやすい

分光誤差の問題としては、第一にUV-Bそのものを忠実に計測できないこと、第二にAction Spectrumに対応するUV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日合計放射量を実測することができず、曇天時も測定が不安定となる。また、測器の取り扱いと保守には熟練した経験と人手を要する。

4. 帯域測定測器の特性

(1) 測器の構造

UV放射計の基本構造を大別すると、以下の4つの構成からなる。

- | |
|--|
| 1) 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) 強度を検知し電気信号に変換する部分
4) 以上を収納するハウジング |
|--|

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

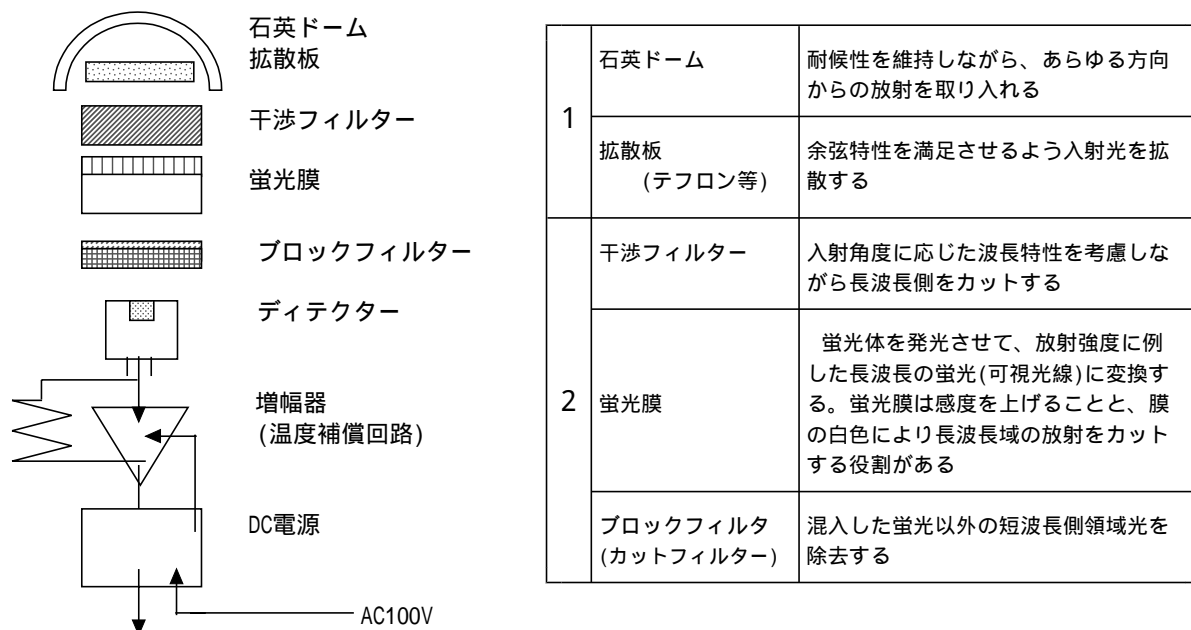


図5. UV-B放射計の構造概要

一方、UV-Aを計測する場合は、通常干渉フィルターと蛍光膜は使用せず、光学ブロックフィルター(ガラス等)の組み合わせによりUV-Aのみを透過させて受光器に入射するようになっており、この点がUV-Bと異なる。

(2) 測器の特性

劣化

放射計も各種の無機、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。各種高分子材料の暴露時における劣化試験にもこの放射計が使用されている。

UV-Bの計測において、劣化の最もいちじるしい箇所は、前述した構造の中で干渉フィルターと蛍光膜である。この内干渉フィルターは、最近、放射計が高温にさらされる事が劣化の原因であることが判明したため、最近の放射計では、内部の温度を一定、かつ30度以下に保つ構造が取り入れられている。一方、蛍光膜については焼成処理を取り入れることにより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放射計は、すべて焼成処理済みである。

感度の変化等

前述のUV-B計測において部品劣化した結果は、感度(入力に対する応答度；入力と出力の

比)の変化と放射計の分光特性の変化によって現れることとなる。

このうち感度の変化については、年間約3%強と見込まれ、次期校正時にその変化程度が分かり、それに応じて放射計の目盛りの修正を行っている。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常数を求めて平均値として与えている。

感度定数の経年変化は避けられないものであり、感度定数を把握するために、定期的な校正を行う必要がある。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測器について、1年程度使用した後の感度定数のばらつきを図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。

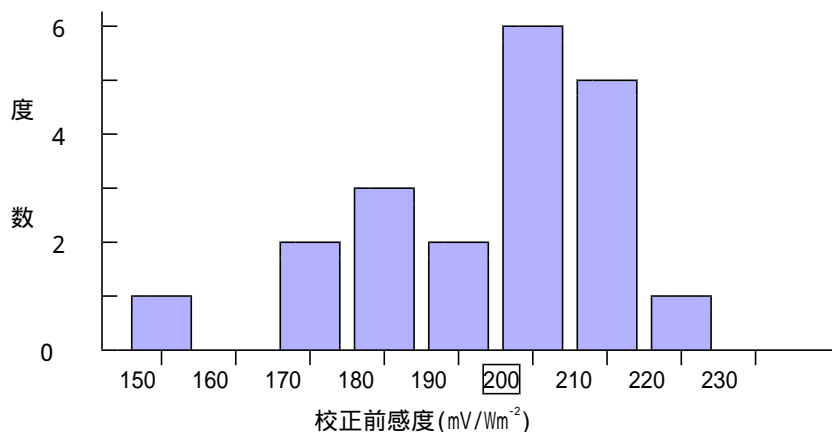


図6．1年程度使用した後の感度変化の分布図

注1)校正後はいずれも200mV/Wm²

注2)サンプル数20：H12～13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

目盛りの変更

放射計の目盛り(電圧 放射量の変換箇所)については、英弘精機(株)製のUV-B放射計を開発した当時(1990)、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放射の実態も明らかではなく、標準光源そのものについても、UV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放射が1/5程度のレベルという非常に低い放射のレベルで目盛りづけが行われた。

その後、英弘精機(株)では精密分光器OL752(標準光源NST基準)を導入し、これを基準(準器)にした測定を約2年行ったところ、UV-Bの放射強度が初期値に比べて約15%高い値を示すことが判明し、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測器は、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

(1)誤差の考え方

測定には必ず誤差(誤差の大きさ=精度)が生じるものであり、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に放射の測定における「測定値」と「真値」との関係を示す。

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」は測定条件等の要因により決まる量であり、一方「偶発誤差」は測定値のばらつきを意味し、その要因の特定は困難である。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、大気の状態(太陽の位置、混濁度、下降水分、オゾン量、雲

量)と気象条件(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の各種特性(温度、分光誤差、角度特性、零ドリフト等)と校正(検定)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。

一般に、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。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応じた感度の情報がなければ誤差の評価はできないこととなる。さらに「偶発誤差」については、要因としては風、湿度、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要因の特定及び定量は不可能である。なお、前述した真値と測定値との差は「系統誤差」で表現することができる。

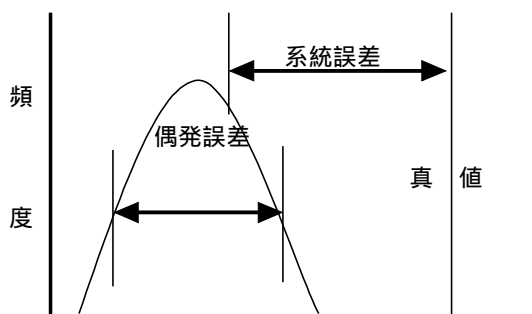


図7．測定値と真値の関係模式図

(2) 計測に伴う誤差

UV-Bの計測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。太陽光(自然光)のUV測定において最も重要な要因(放射計の特性)は、温度、分光、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。

温度特性

ネットワークの共通測器であるMS-210W, 212W (UV-B)、MS-210A (UV-A)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放射計内部にあるので、気温とは異なるが、気温の情報から大略の「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」は僅か約0.5%である(図8-D)。

分光特性

大気条件による分光分布の変化は非常に複雑であり、しかしこの変化に関する情報がない限りは「系統誤差」を知ることにはできない。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。

いま、自然光の分光放射強度を I 、放射計の分光特性を D とした時放射計の感度定数(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 、 D 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 が一定であれば K は積分の外に出て一定の感度定数となるが、 D はガウシアン分布しているために、 I の変化とともに K も変化する。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。

一方、構造上放射計の分光特性 D を、UV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り、従って、「系統誤差」を検討するには自然光の大気条件による変化の様子を把握しておく必要がある。典型的な分光分布と既知の放射計の分光特性より式(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、日合計放射量に対する分光特性由来の「系統誤差」はおよそ +3.5 ~ -6.5 % である(図 8 - B)。

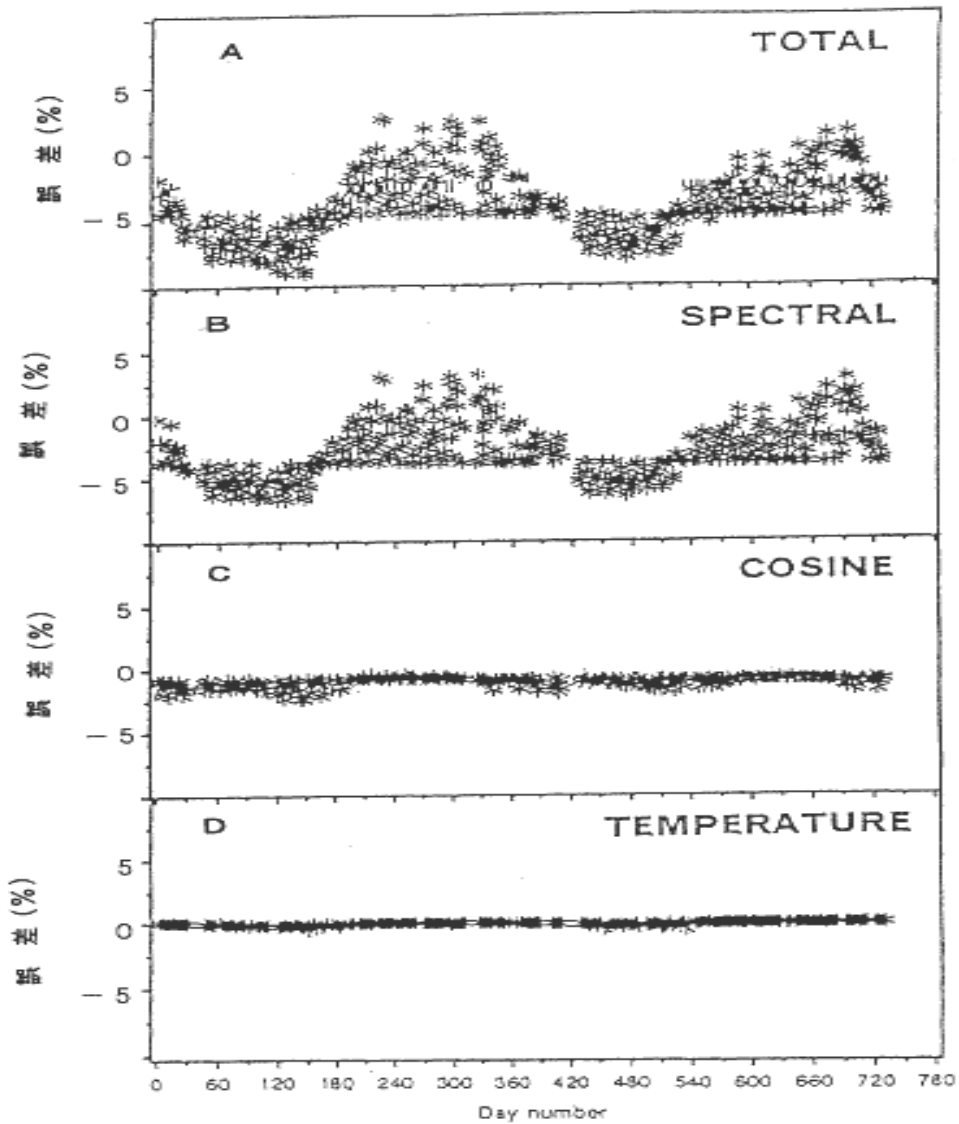


図. 8 . 計測に伴う誤差の例(日合計値)

参考までに、図 9 に放射計の分光応答特性とそれに起因する誤差の例を示す。

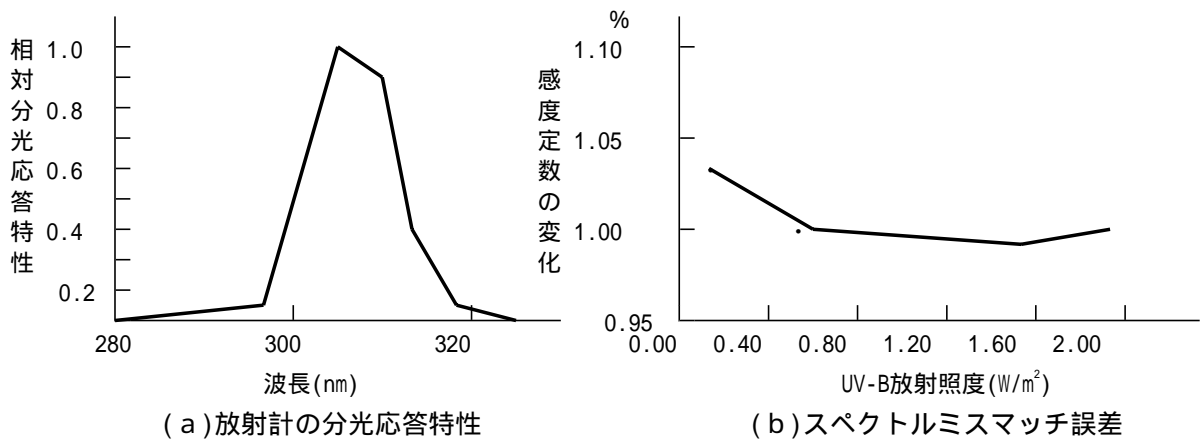


図 9 . 分光応答特性とそれに起因する誤差(EKO; MS210W)

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。自然光の輝度の空間分布は太陽の位置と大気条件により決まるが、分光分布よりさらに輝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 は散乱成分の割合が直達成分より非常に多くなるので、全波長域で計測する全天日射の天空輝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」は全天日射を計測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つより校正されるが、放射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。

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

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 \cos カーブ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、入射角度 θ における輝度を I とすると、以下により与えられる。

$$D_\theta = \frac{\theta R(\theta) \cos \theta}{\cos \theta} \quad (3)$$

以上をもとに実際の測定データより計算すると、日合計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)。

3つの系統誤差の合計

測定に及ぼす主要な「系統誤差」、 Δ 、 Δ 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。

その他の誤差等

その他の誤差要因のひとつに、大気状態(オゾン、エアロゾル等)によるものがある。すなわち、オゾン量、エアロゾルの量と粒径分布によりスペクトルが変化し、その結果Airmass等によるスペクトルの変化と重なる形で影響すると考えられる。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。いずれにしろ直達光と散乱光の比率に関する情報が必要となる。

(3)校正に伴う誤差

校正の方法

太陽放射を計測する場合、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、UV放射計のように、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UV放射計に直接放射して目盛り付け(校正)を行う。しかし、標準光源と測定対象の分光特性が異なることに起因する誤差を生ずることがあるため、まず標準光源に与えられている分光放射照度により精密な分光光度計を校正し、この分光光度計により、UV放射計が測定対象とする光源の分光放射照度を計測し、これを280~315nmの波長域で積分し、これを基準の放射量とする方法をとっている。

図10に校正方法の手順を示す。大気条件の安定した晴天の時間帯に、UV放射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計測する。

以上の過程を数式で表現すると、準器の出力 E_0 は以下のとおりとなる。

$$E_0 = K_0 \int_1^2 I \, d \quad (4)$$

ここで、 I は分光光度計より得られる分光放射照度、 1 、 2 は積分する波長域(280~315nm)、 K_0 は準器の感度定数である。

次に、準器と同型のUV放射計(被校正放射計)を晴天、曇天日を含み比較測定を行う。この結果、被校正放射計(被検定器)の感度定数 K は以下に与えられる。ここで E は被校正放射計の出力である。

$$K = (E / E_0) * K_0 \quad (5)$$

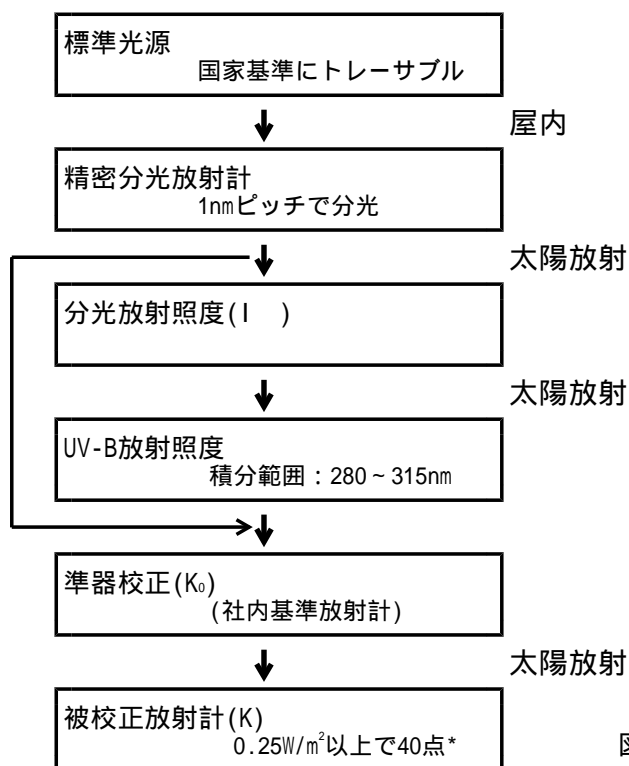


図10. 校正方法の手順
(* : 30分積算値 = 1点とする)

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標準ランプで、光源が異なることに伴って感度定数も変わってくることに起因する。この誤差の程度は約2~4%である。ここで留意しなければならないことは、標準ランプ相互の間においても値のばらつきがあることである。

他は、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で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75~95%となる。ネットワークの参加機関で使用している放射計では、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拾得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、放射計を校正する際の個々の誤差の違い、すなわち具体的な感度定数のばらつきについての考察は、校正が完了した放射計を複数個用意し、数日間放射を計測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台の放射計を9日間準器と比較測定した結果を、日合計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. 日合計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：%

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(Uncertainty)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(不確かさ)を、日合計積算値に対してまとめると、以下のとおりとなる。

温度誤差	± 0.5%
分光誤差	± 5%
角度誤差	± 1.4%
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%
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。

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

ここで、 E_t は総合誤差、 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UV及び測器の特性、スペクトル変化をはじめとする様々な外的要因に伴う計測上の影響、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誤差(精度)認識(=「目標精度」または「保証精度」とする。この誤差10%は、国際的に見て十分に対応できる水準といえる。なお、本誤差は、しばしば極端な数値を示す瞬時値ではなく、日合計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。

本資料は、本放射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。

7. 参考

(1) 「UVと生物産業 UV(紫外放射の影響と利用)」抜粋

(社団法人照明学会編、株式会社養賢堂発行)

(2) Uncertainty of measurement of global UV-B irradiance using a narrow-band filter radiometer.

S. Takeshita, M. Sasaki, T. Sakata, Y. Miyake and G. A. Zerbut,

8th Conference on Atmospheric Radiation, p199-201, Jan. 1994 USA

(3) Intercomparison of UV-B radiometer.

S. Takeshita, Y. Miyake, M. Ichihashi, and M. Sasaki,

PROCEEDINGS OF SPE, Ultraviolet Ground- and Space-based Measurements, Models, and Effects, p436-444, August, 2001, San Diego, USA

(4) Relationships between daily UV-A, UV-B and hemispherical solar radiation.

G. A. Zerbut, Y. Miyake,

PROCEEDINGS OF SPE, Ultraviolet Ground- and Space-based Measurements, Models, and Effects, p127-141, August, 2001, San Diego, USA