

## 可搬型紫外線照度計の特性試験と環境測定への応用

占部 逸正\*・竹屋 章史\*\*・中田 尚\*\*\*

### Performance Tests of Portable UVR Irradiance Meter and Its Application to Environmental UVR Measurements

Itsumasa URABE, Akifumi TAKEYA, Hisashi NAKATA

Keywords : ultraviolet radiation, irradiance, natural environment,  
semiconductor detector, spectral sensitivity

#### ABSTRACT

Considerable attention has been paid to the measurement of UVR in the living environment on account of increasing the level of solar UVR by the stratospheric ozone depletion as well as the widespread utilization of artificial UVR sources in engineering, medicine, and other fields.

Some of the fundamental properties of the portable UVR irradiance meter were investigated using a Xenon light source since it seems to be appropriate to get information on radiological protection against UVR. As an example of application of the irradiance meter, a few surveys of UVR in the natural environment were carried out, and it was found that the spectral response and the sensitivity of the sensor had to be improved to determine precisely UVR irradiances in spectral region of interest.

#### 1. はじめに

地球的規模で進行する環境変化のなかで、オゾン層の破壊は最も重大なものひとつとされている。オゾン層の破壊は地表に到達する紫外線量の変化を伴うため、その破壊が進行することにより人類のみならず地球上の全ての生物はこれまでと異なった紫外線環境下で生存することを余儀なくされる<sup>1)</sup>。一方、紫外線は教育・研究用光源、医用機器など多方面に利用されてきたが、近年半導体工学など工業面での紫外線利用の拡大傾向が著しくこれが新たな人の被曝源となる可能性も生じつつある<sup>2)</sup>。

紫外線の測定に関しては、紫外線影響に関心の高い北ヨーロッパやオセアニアの各国で広く行われ、また米国

でも比較的早くから環境紫外線の全国的な調査が行われてきた<sup>5)</sup>。我が国ではおもに太陽エネルギー利用の観点から実施された研究や紫外線の有害性や美容的效果と関連した研究が勢力的に進められているが、人の安全性とのかわり環境紫外線が検討された例も散見することができる<sup>10,11)</sup>。

自然環境、社会環境の変化がもたらす紫外線環境の変化に対応するためには、必要な紫外線情報をそれぞれ特有の方法で得る技術的基礎をよく検討しておくことが重要である。ここでは現在使用されている可搬型紫外線検出器あるいはこれに準ずる光検出器の紫外線に対する特性を調べ、紫外線防護計測への適用性の検討結果を報告

\*電子・電気工学科

\*\* (現在) 松下電器産業株式会社

\*\*\* (現在) 西芝電機株式会社

する。

## 2. 実験

### 2. 1 紫外線検出器の特性試験

#### 2. 1. 1 紫外線検出器および光源

ここでは紫外線検出器としてすでに製品化されている可搬型のもと光電子増倍管に光学干渉フィルタを組合せたものを特性試験の対象とした。可搬型検出器としてはSPECTRONICS CORPORATION製のDS-254EおよびDIX300とDIX365をセンサとするDRC-100X型照度計を使用した。この照度計のセンサはフォトダイオードの前面に光学フィルタを取り付けた構造となっており、センサに示された数値が感度のピーク波長に近い値を意味している。照度計の出力はデジタル表示され、検出可能な最小値はいずれの場合も $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ となっている。光電子増倍管を検出器とする場合はHTV7696の光電面に応用光研製300nm光学干渉フィルタを2枚取り付けて使用した。

紫外線検出器の特性試験には、浜松フォトニクス製L2194型キセノンランプを同社製のランプハウスの固定して使用した。キセノンランプは点光源で200nm程度の紫外線から赤外線にわたる太陽光に類似した連続スペクトルを有しており、必要な波長帯を選択して利用できる。ここで使用したランプは消費電力が75Wで、光源より50cmの距離で300nm紫外線に対し約 $2.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$ の放射照度を有している。<sup>12)</sup>

#### 2. 1. 2 分光感度特性

可搬型紫外線照度計には分光感度特性が与えられているが、センサごとに異なった応答を示す可能性もあり、それぞれの感度の技術資料との適合性を検討した。測定はキセノンランプ光源を島津製作所製ボッシュロムモノクロメータの入口から3.8cmの位置に設置し、センサをモノクロメータ出口から約1~6cmの位置に設置して行った。モノクロメータによって測定する紫外線の波長は5nm間隔で行い、各センサの感度はキセノンランプの放射スペクトル分布の相対強度比で除して得た。光電子増倍管を用いた検出器では感度が高いためモノクロメータの出口から1m程度離して検出器を設置し測定した。この検出器ではバックグラウンド太陽光に感度がみられたため、UVカットフィルタを使用してこれを差引き感度特性とした。

#### 2. 1. 3 放射照度の距離の逆2乗則測定

ランプハウス内に固定したキセノンランプ光源と同じ高さに可搬型紫外線照度計のセンサを設置し、光源からの距離を10~100cmの範囲で10cmごとに変化させ放射

照度を測定した。今回検討の対象とした照度計は、測定点における放射照度を直接表示できるためキセノンランプ光源に添付された放射照度スペクトルから計算される放射照度と比較し、双方の値の整合性を検討した。

### 2. 2 自然環境での太陽光の測定

可搬型紫外線照度計を用いて太陽紫外線の測定を試験的に行った。測定は300nmおよび365nmセンサを用いて、平成2年12月に大阪府泉南郡熊取町で、平成3年1月に広島県福山市松永町で晴天時を選択して実施した。太陽光スペクトルは太陽高度や大気の状態により大きく変化するが、まずその概略を知るために紫外線照度の日変化に着目して測定を行った。また被曝面の方向性等の検討資料を得るため表示値が最大となるよう検出器を太陽の方向に向けた場合と太陽の位置に関係なく水平に置いた場合の測定を行った。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 紫外線検出器の分光感度特性

本研究に使用したDS-254EおよびDRC-100X型照度計の分光感度特性を図1に示す。図の結果は最高感度波長で規格化したものであり、実線は実験による結果で破線はメーカーの技術資料の値を示す。図から254nmセンサの結果は波長分解能が技術資料の値に比べ悪くなっているのがわかる。これには短波長紫外線で生じやすいモノクロメータ内での散乱効果も一部寄与していると思われる。<sup>14)</sup>300nmセンサの結果では実測値のピークが15nm程度短波長側にずれているのがわかる。300nmセンサは複数個について試験をしたが、いずれの場合も中心波長が短波長側にずれており現在のところ原因が明らかでない。一方、365nmセンサの結果では形は多少異なるもののピーク波長は比較的良好に一致している。図2には光電子増倍管と光学干渉フィルタを組合せた検出器の分光感度特性を示した。図には参考のために浜松フォトニクス製R286光電管の分光感度特性を示した。<sup>15)</sup>光電管の結果ではモノクロメータの分光限界が200nmのため、それ以下の紫外線では技術資料との相違が大きくなっている。光電子増倍管の場合、使用した光学干渉フィルタの最大透過率が298nm程度に見られるものを使用した。最高感度が数nm程度短波長側に表れている。これは光学干渉フィルタやモノクロメータの精度に起因するより可視光線による電流を除外するのにUVカットフィルタを使用したことによるものと思われる。

### 3. 2 放射照度の距離の逆2乗則

DS-254EおよびDRC-100X型照度計を使用して得た放射照度の光源からの距離による変化を図3に示す。図中

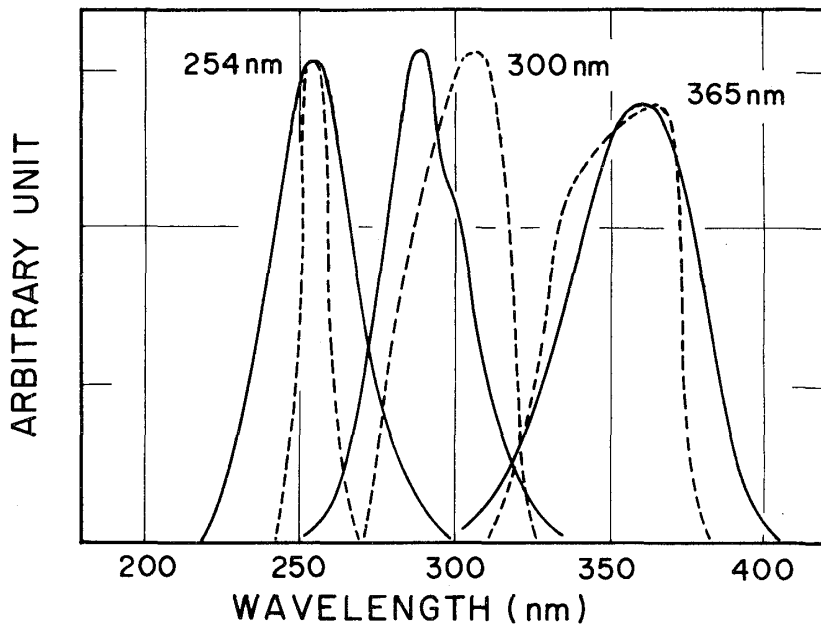


Fig.1 Spectral responses of the DS-254 and the DRC-100 irradiance meters. Solid and broken lines represent the results obtained here and the data shown in the technical data by SPECTRONICS CORPORATION, respectively.

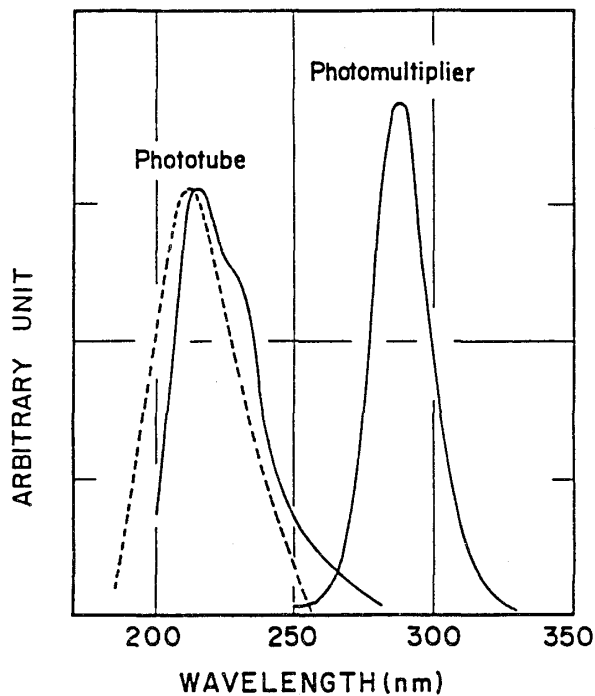


Fig.2 Spectral responses of the UVR detectors using 7696 photomultiplier tube and R2868 phototube. Solid lines represent the results obtained here, and a broken line represents the data shown in the technical data by HAMAMATSU PHOTONICS.

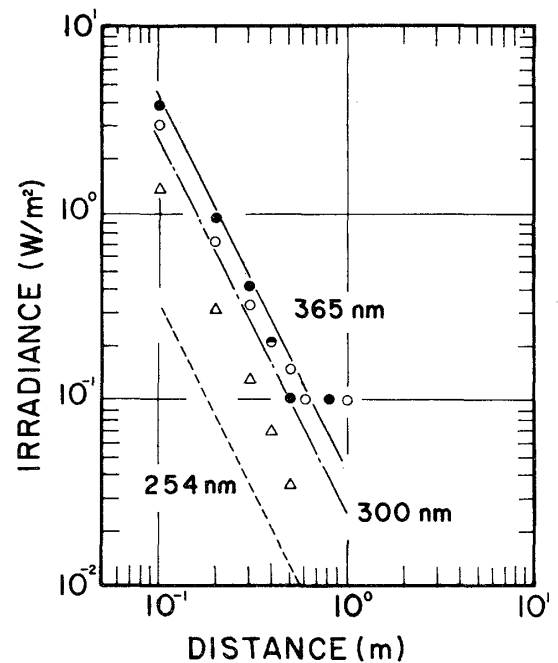


Fig.3 Attenuation of UVR Irradiance as a function of distance from the Xenon light source. Solid, chain and broken lines show the calculated results on the basis of the technical data by HAMAMATSU PHOTONICS. Circles and triangles show the experimental results.

に示された波長は技術資料に記載された公称値を示し、黒丸は365nm、白丸は300nm、白三角は254nmセンサの結果を示している。また図中の実線、一点鎖線、破線は各センサの分光感度が最大値の半分になる波長領域で光源の放射スペクトルを積分して推定した放射照度を示している。図から365nmと300nmセンサの結果では実測値と計算値の相違が10%程度であるのに対し、254nmセンサでは数倍の相違となっている。これは図1の254nmセンサの分光感度特性の相違とともに、使用した光源の分光スペクトルが使用条件により技術資料と幾分相違していたとも考えられ、放射照度を精度よく知る上で光源状態を詳しく検討することの重要性を示唆している。さらに図の365nmおよび300nmセンサの結果の場合、距離が50cm以上のところで一定の値を示しているのがわかる。これは照度計の最少検出限界が $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ で、表示が $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ごとに変化するために生じたもので、さら

に詳しい情報を得るためには感度の改善が必要と思われる。

### 3.3 太陽光の測定

紫外線照度計による太陽紫外線の測定例を図4、図5に示す。図はそれぞれ300nmと365nmの各センサによる測定結果を示し、図中の太線は大阪府泉南郡熊取町の京大原子炉実験所(KURと略す)で得た結果を、細線は広島県福山市松永町(FUと略す)で得た結果を示している。また図中の黒印は太陽光線がセンサ面に垂直に入射する条件で、白印はセンサ面が地平面と平行になる条件で測定したものである。図から紫外線強度の日変化が見られるが、特にFUの結果で不規則な変動が著しい。これは測定を行った日の雲量変化が顕著であったことに起因している。一方、KURの結果では11:30ごろから急激に強度が弱くなっているが、これは午前中が快晴

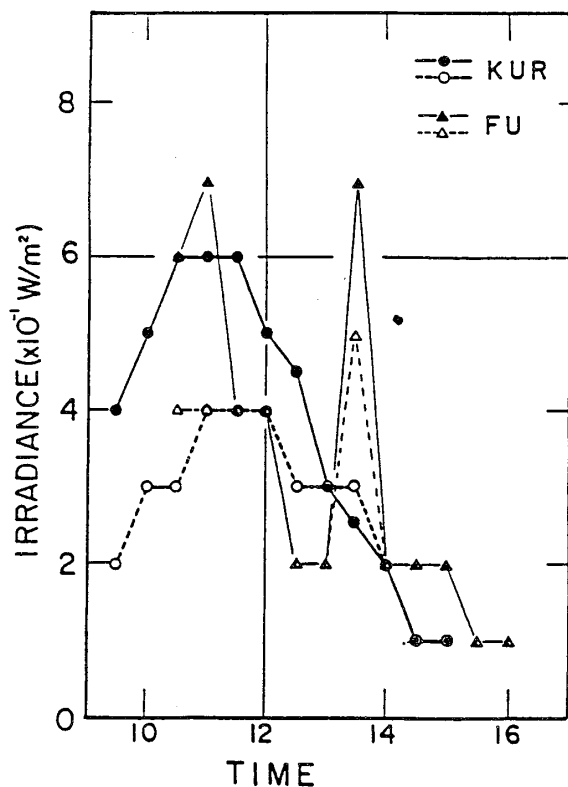


Fig.4 Daily variations of the solar UVR irradiance measured by DRC-100X irradiance meter with the 300nm sensor. Circles and triangles show the results measured in Osaka and Hiroshima prefectures, respectively. Solid and open symbols show the results determined by the sensor directing at the sun and the sensor directing perpendicular to the earth surface, respectively.

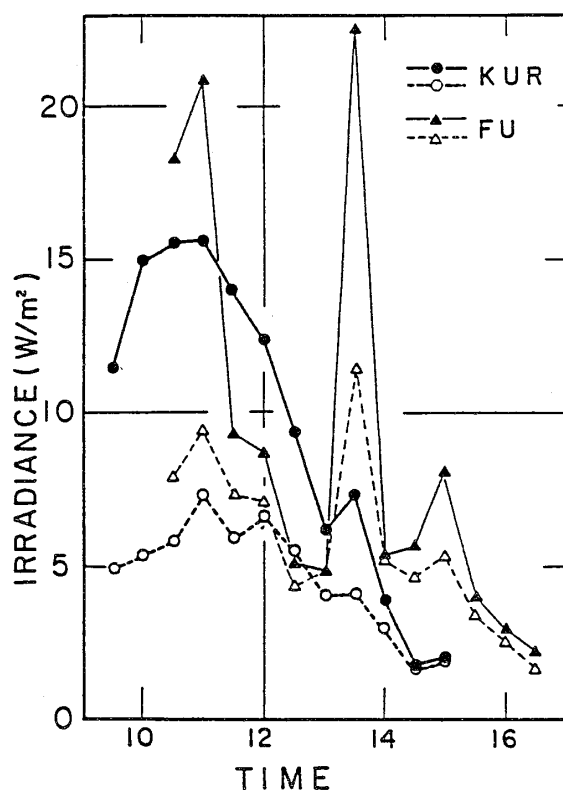


Fig.5 Daily variations of the solar UVR irradiance measured by DRC-100X irradiance meter with the 365nm sensor. Circles and triangles show the results measured in Osaka and Hiroshima prefectures, respectively. Solid and open symbols show the results determined by the sensor directing at the sun and the sensor directing perpendicular to the earth surface, respectively.

Table.1 Ratios of UVR irradiances determined by the 365nm and the 300nm sensors around KUR.

time	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
to the sun	30.0	26.1	24.8	20.3	19.0	20.0
horizontal	17.7	18.2	16.5	13.3	14.0	19.0

であったのに対し午後しだいに薄曇りとなったことと関連すると思われる。放射照度の最大値は12:00前後に観測されるが、今回測定に使用した検出器の波長範囲では300nmで0.6~0.8W/m<sup>2</sup>、365nmで22~25W/m<sup>2</sup>程度が最大値として予想される。

KURで得られた結果は比較的安定していたので300nmと365nmの結果の比較を試みた。10:00から15:00における放射照度の比を表1に示す。表の第2行にはセンサ面を太陽に向けた場合、第3行には水平にした場合を示している。表によると放射照度の比は一定でなく、午前から午後にかけてしだいに小さくなる傾向が見られる。データ数が少ないために十分な検討は不可能であるが、午前から正午にかけては直射光の強度変化と天空光スペクトル変化が複雑に寄与することにより放射照度比の減少が生じたものと思われる。また午後の変化は大気中の水蒸気等散乱物質が増加したことと関連するものと思われる。こうした変動から紫外線強度が自然環境条件に大きく依存することが明らかであり、これらの点に関しては自然環境での紫外線防護の方法とも関連するのでさらに長期間のデータ蓄積に基づく検討が必要と思われる。

#### 4. おわりに

以上の検討の結果、紫外線についてはこれまで多くの研究の積み重ねがあり、すでに開発された紫外線検出器でも太陽紫外線については利用可能であるが、

(1) 紫外線に対する分光感度が技術資料等と異なることもありセンサごとに分光感度を検討する必要がある。特に300nmセンサは太陽紫外線の中でも重要なUVB領域をカバーするもので高精度が要求される。

(2) 紫外線による放射照度の決定に欠かせない存在である光源の設置環境による分光スペクトルの変化について詳しく検討する必要がある。

(3) 太陽紫外線は強度も強くこれまでの検出器で対応できるがより詳しい情報や散乱線の分布など紫外線防護に必要な情報を得るには感度の改善が必要なことなどが明らかになった。

#### 謝辞

紫外線センサの分光感度特性評価に使用したモノクロメータは、名古屋大学工学部池辺研究室の御好意により借用させていただいたものです。また本研究の一部は平成2年度文部省科学研究費補助金（一般研究C）の援助を得て行いました。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 島崎達夫：成層圏オゾン，UPアースサイエンス，(1989)，東京大学出版会，東京。
- 2) 保健物理学会加速器放射線防護研究専門委員会：加速器放射線防護の現状，95(1990)，保健物理学会。
- 3) World Health Organization; Ultraviolet Radiation, Environmental Health Criteria 14, (1979), WHO, Geneva.
- 4) C.Ray, P.Gies and G.Elliott; Solar Radiation and the Ultraviolet Radiation Exposure Standard, Proc. 7th Inter. Congr. IRPA, 3, 333 (1988), IRPA, Sydney.
- 5) J.Scotto, G.Cotton, F.Urbach, D.Berger and T.Fears; Biologically Effective Ultraviolet Radiation; Surface Measurements in the United States, 1974 to 1985, Science, 239, 762 (1988).
- 6) 羽生光宏，鈴木 守，長坂武彦：田無における太陽光の分光放射測定(I)，電子技術総合研究所研究報告，第812号，(1981)。
- 7) 宮地 巖，依田正之，鈴木義彦：環境における太陽エネルギーの分光強度，照学誌，72, 626(1988)。
- 8) 東 堯：わが国における紫外線研究の歩み(I)，照学誌，57, 4 (1973)。
- 9) 末継 勝，富田健一，東 孝雄：紫外線センサーの開発，J. Soc. Cosmet. Chem. Japan, 23, 207(1989)。
- 10) 渡会吉昭：太陽および人工光源の紫外線と赤外部の放射特性，電気学会光源・関連装置研究会資料LS-77-5, 1 (1977)。
- 11) 中川靖夫，大谷文雄，谷治 環，笛木広久，藪崎憲司：有害紫外放射照度計の開発，照学誌，69,

548, (1985).

- 12) 浜松ホトニクス；光源セレクションガイド， 6 (1988)， 浜松ホトニクス株式会社.
- 13) 鈴木 守；直射日光と天空光の紫外線， 照学誌， 57， 62(1973).
- 14) 照明学会；光をはかる， 156(1987)， 日本理工出版会， 東京.
- 15) 浜松ホトニクス；UVトローンの使い方， (1989)， 浜松ホトニクス株式会社.