

汎用型紫外域日射計 Skye SKU 430 の試験結果

伊藤 真人*

Some Tests Results of Skye SKU 430 UV Radiometer

Mahito ITO

Abstract

A small broadband UV radiometer, SKU 430 was manufactured by Skye Instrument Ltd. in UK. To evaluate the performance of the radiometer, some tests were carried out using NIST lamps, optical filters and the calibration system, as well as outdoor comparison with Brewer MKIII spectrophotometer. The results are summarized as follows: 1) NIST lamp tests by eight lamps showed that the error of calibrated responsivity was less than 4%, bearing in mind that irradiance error of lamp is about 2%. The responsivity changed by +3.5% during three months under solar radiation, and +0.4% in a month in the dark room. 2) NIST lamp tests were repeated by changing the distance between the lamp and the detector surface to find the optimum distance for calibration. The result was that the calibration of the instrument could be properly performed at the distance from 30 to 70 cm with errors of -1.4 to +0.8%. 3) Cosine response deviation from the ideal value of $1/\cos Z$ was under -5% at the zenith angle (Z) from 0 to 35 degrees, under -10% from 35 to 60 degrees, and about -20% at $Z = 70$ degrees, respectively. The azimuth response test indicated that the best azimuth position (AZ) to minimize the effect of directional response was $AZ = 180$ degrees (south side). 4) Tests using sixteen kinds of optical filters suggested that about 85% of total output was attributed to the wavelength range of UVB from 280 to 315nm. 5) Water pool on the flat detector surface produced the output decrease of 22% at a maximum. 6) Outdoor comparison between SKU 430 calibrated by NIST lamp and Brewer MKIII showed that the irradiance ratio of SKU 430 to Brewer MKIII scattered around 1.8 at noon for clear sky.

Compact and low-priced, the SKU 430 demonstrated good performance comparable to other UV radiometers such as UV-S-AB-T and MS212WF. Water holding tendency of the flat detector surface is recommended to be improved for all-weather meteorological use.

1. はじめに

国内における紫外域日射の観測については、気象庁の波長別紫外域日射観測装置(ブリューワー分光光度計 MKIII, 以下 Brewer と呼ぶ)による高精度な波長別紫外域日射観測をはじめ、広帯型(全天型)紫外域日射計(EKO MS212WF や Kipp & Zonen UV-S-AB-T)を用いた観測が研究所、大学、地方自治体で行なわれている(気象庁:1993, 伊藤ほか:2002, 国立環境研究所:2005)。しかし後者の広帯型(全天型)紫外域日射計の場合も、比較的高価であり、観測精度にも問題がある(柴田ほか2000, 伊藤:2003, 伊藤:2005)。また最近では、数種の回折格子型分光器を採用した測器が開発されるようになってきたが、この測器

の場合も汎用型測器とは言い難い(伊藤:2004)。

このようなことから高精度で安価、さらに取扱いが簡単な汎用型測器の開発が望まれていた。最近になって、当台はそのような汎用型の小型(簡易型)紫外域日射計を試験する機会を得た。本稿では、その測器の精度に関する若干の試験を行った結果を報告する。

2. 測器概要

対象測器は、Photo.1の通り英国 Skye 社(Skye Instruments Ltd.) SKU 430 紫外域日射計(以下 SKU 430 と呼ぶ)である。この測器は、測定波長範囲:280.0~315.0nm の B 領域紫外域日射を積分値として出力する。従来測器のように UV ドームは装着されておらず、テフロン拡散板が露出した状態となっている。拡散板の下部は円筒で、下端より電

*高層気象台 観測第三課

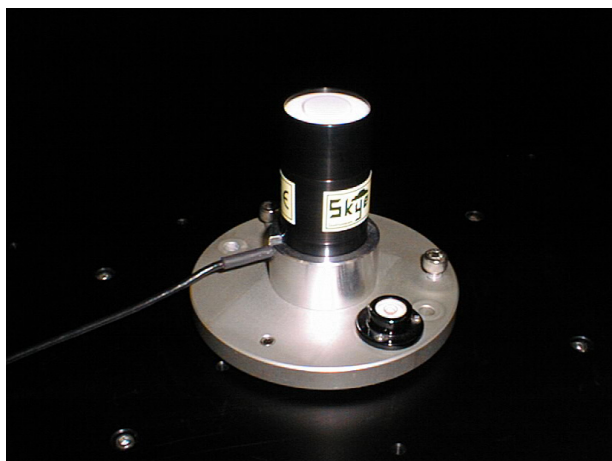


Photo. 1 Skye SKU 430 UV radiometer.

圧供給・出力ケーブルが延びる。当測器は、高さ：69mm、直径：34mm、重量：200g(3m ケーブルを含む)、ケーブル(3 芯：供給電圧 5~15V DC 当試験は 12V 供給, 2 芯：出力 mV)という仕様で、従来型より非常に軽量となっている。なお、温度調節機能は有していない。

3. 試験方法と試験結果

3.1 NIST ランプによる測器常数校正試験

NIST ランプ(照度が値付けられた 1000W 標準ランプ)による常数校正試験については、9 月 4 日(247 通日：以下 JD と呼ぶ)、11 月 13 日(317 JD)、12 月 19 日(353 JD)の 3 回実施した。校正試験方法は、伊藤(2005)の通りとした。

第 1 回目の試験では、数日間恒温の検定室内において測器感度を安定させた後に実施した。また、第 1 回目から第 2 回目までは、太陽光による比較観測のため当台屋上西端に設置(太陽による暴露試験)し、第 2 回目以降は上記の検定室内で観測状態として維持した。NIST ランプは 3 回とも S-1054, S-1038, S-942, S-935, S-967, S-1065, S-1079, S-1086 の 8 個を使用した。これらの結果を Fig.1 に示す。なおこれらの結果には、暗計数補正(暗闇で計測した Dark 数の補正)を施している。

Fig.1(a)はそれぞれの測器感度であり、(b)は第 1 回目の S-1079 の測器感度を基準とした全結果の測器感度比を示す。この図に認められる通り、8 個のランプによる 8 種の測器感度はほぼ 4%以内に収まっており、その誤差は従来型測器と変わらない。この誤差にはランプ間の照度誤差が 2%以上含まれるので、実際には 2%以下の検定誤差と考えられる。この誤差の大小は、測器の分光特性(照度積分値の誤差)に起因していると考えられ、より小さい値の方が理想的である。従来型の広帯域紫外域日射計でも、この誤差より大きいものがあり(伊藤：2005)、当測器はそ

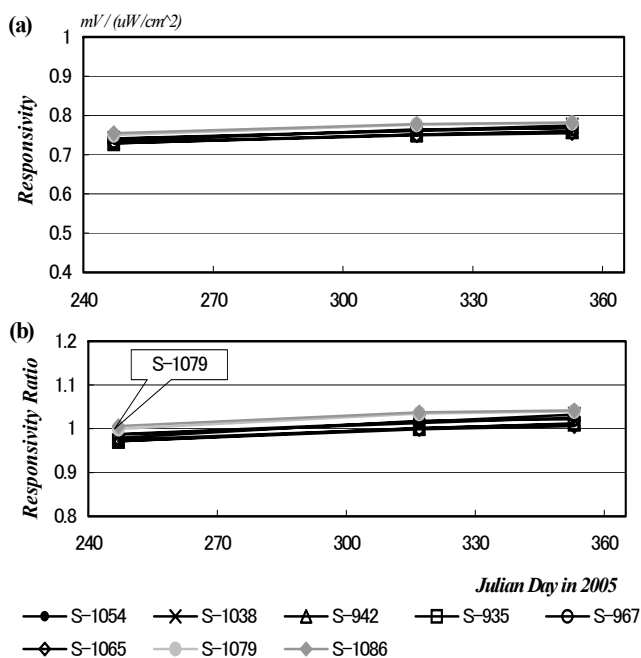


Fig. 1 Responsivity of Skye SKU 430 broadband UV radiometers calibrated by 1000W NIST lamps.

(a) Trend of responsivity. (b) Trend of responsivity normalized by the 1st calibration result with S-1079.

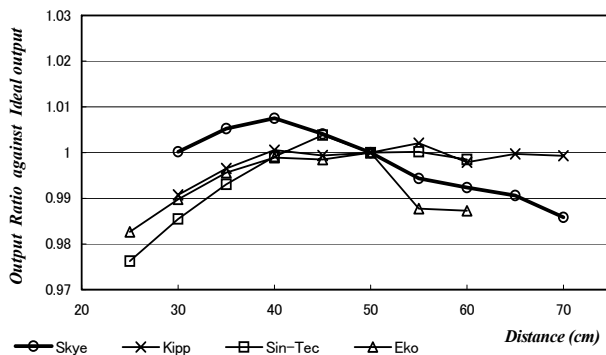


Fig. 2 Output ratios to ideal outputs at the distance from 30 to 70 cm changing every 5cm.

Skye: Skye SKU 430, Kipp: Kipp & Zonen UV-S-AB-T 050635, Sin-Tec: UV-S-AB-T 010A00387, Eko: MS212WF S00083.19

のような測器に比べて良好な結果と言える。

測器感度変化については、測器を太陽に暴露していた 3 ヶ月弱で約 3.5%上昇した。その後、室内で維持していた約 1 ヶ月で 0.4%の上昇を示した。従来、測器の感度変化の傾向は、測器の製造元、種類、個々の測器で異なることが明らかとなっているが(伊藤：2005)、当測器の上昇傾向は、Kipp & Zonen の測器群の特徴に似ている。ただし、測器製造直後ということとを考慮すると、その安定度はそれらより良好と考えられる。

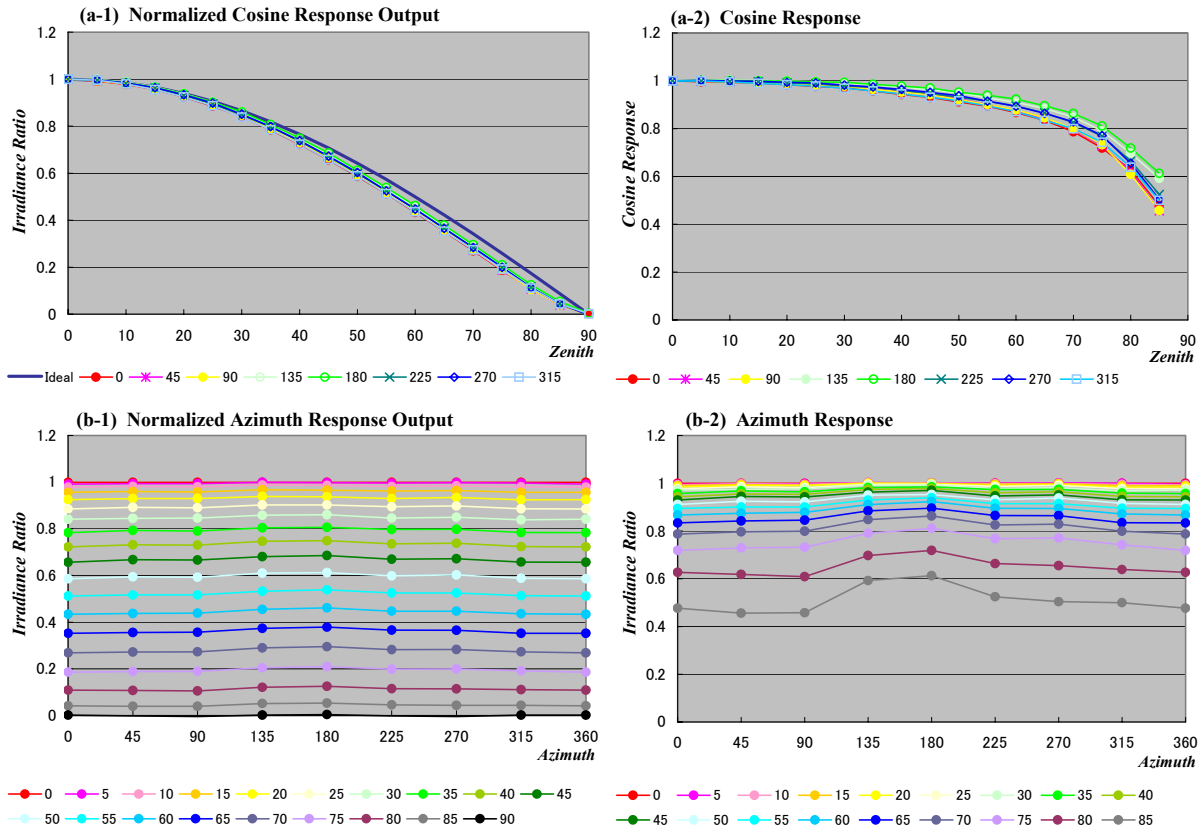


Fig. 3 Cosine and Azimuth response of Skye SKU 430 using NIST lamp test system.

(a-1) and (b-1) : Normalized directional response output for the zenith angle from Z=0 to 90 degrees and the azimuth angle from AZ=0 to 315 degrees. (a-2) and (b-2) : Directional response (ratio of Measurement / Ideal).

3.2 NIST ランプ照射強度のちがいによる試験

通常、測器感度の校正は、NIST ランプを使用し、50cm(ランプフィラメント～拡散板間)の照射距離で実施することになっている。いっぽう、この照射距離を変更した場合、変更した距離に応じた補正を施せば、理論上校正が可能となる。しかし、測器の照射強度と出力値に比例関係がない場合には、その校正は不可能となる。そこで照射距離を30～70cmに変化させ、その間、5cm毎に出力を測定し、その比例関係を試験した。測定値については、最初と最後に50cmの距離で基準値を測定し、それらの値を確認した後、暗計数補正を施した。また各距離における理想値は、その基準値から各距離のちがいに応じた値として算出した。結果を Fig.2 に示す。

図中の値は、各測定値をその理想値で除した値である。この図の通り、基準値に対し+0.8～-1.4%の誤差であり良好な結果となった。また、距離が長くなると理想値より小さくなり、距離が短くなるとそれより大きくなる。しかし距離40cmより短くなると、逆に理想値に近づく傾向となった。なお図中には、参考のため他測器の結果を示したが、それらと比べても大きく異なることはなかった。

3.3 高度角・方位角特性試験

当台で開発した Brewer 用検定装置(伊藤:2002)を用い、当測器の高度角・方位角特性を試験した。試験方法は伊藤(2003)の通りで(本稿では省略)、結果を Fig.3 に示す。

Fig.3 (a-1) は Z=0 (以下 Z: Zenith は天頂角, 数値は角度を示す)の測定値を基準とした各高度角における出力比率, (a-2) はその理想値に対する比率(高度角特性), (b-1)と (b-2) は, (a-1) と (a-2) をそれぞれ AZ(以下 AZ: Azimuth は方位角, 数値は角度を示す)別に示したものである ((b-2) : 方位角特性)。

Fig.3 (a-2) のように、高度角特性については Z=35 以内で-5%以内の誤差, Z=60 までは-10%以内の誤差, Z=70 ではほぼ-20%の誤差となった。また、この高度角特性の曲線は非常にスムーズな形状を示し、今後この曲線を用いた高度角補正が容易であると考えられる。この特性は、Brewer のそれに(伊藤 : 2003)によく似ている。

いっぽう、方位角特性では AZ=180(南方向)が通常の観測位置であるが、この位置が最も良好な結果となり、Z=85 でも誤差-40%以内を維持している。したがって、当測器は方位角特性においては問題ないと考えられる。

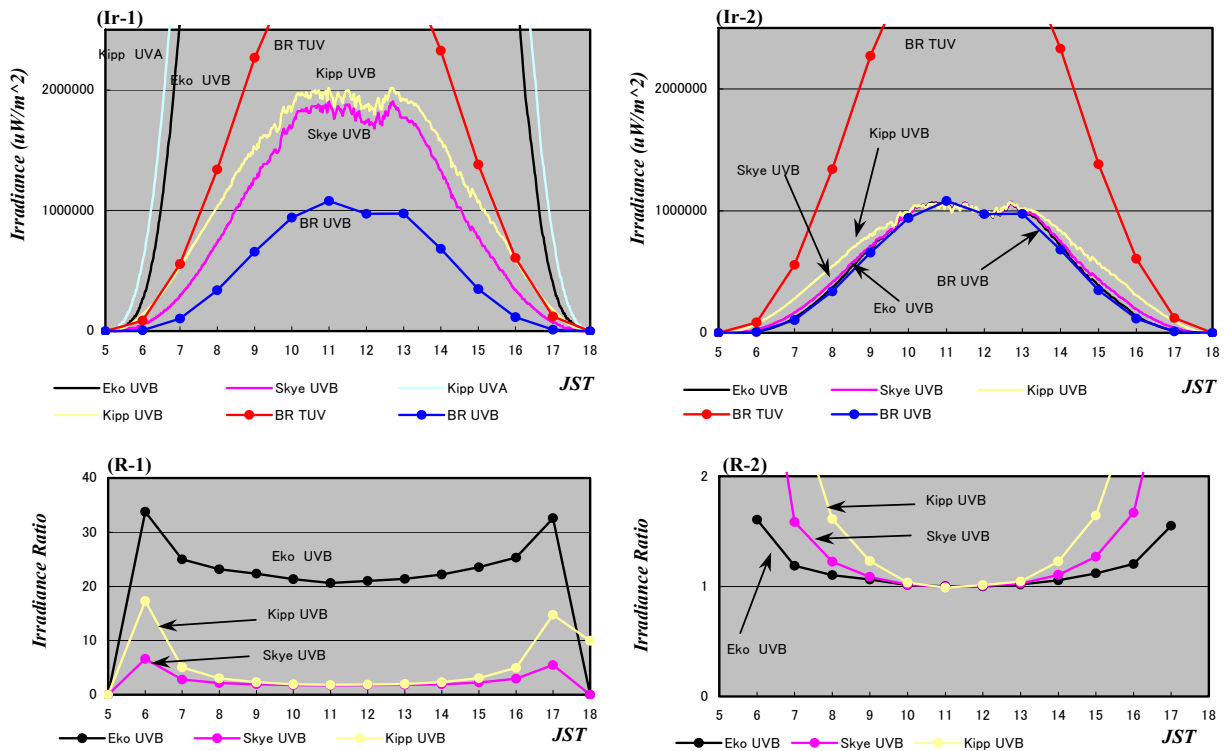


Fig. 7 Results of outdoor comparison between broadband UV radiometers and Brewer MKIII #174, 18 September 2005. **(Ir-1)**: daily UV irradiances using fixed responsivities by NIST lamp calibration. **(Ir-2)**: daily UV irradiances using averaged responsivities calculated from the comparison with Brewer MKIII #174 at 11h and 12h JST. **(R-1)** and **(R-2)**: daily UV irradiance ratios to Brewer MKIII #174. BR_UVB and TUV: Brewer MKIII #174, Skye_UVB: Skye SKU 430, Kipp_UVB and UVA: Kipp & Zonen UV-S- AB-T 050635, Eko_UVB: Eko MS212WF S00083.19.

さらにテフロン拡散板の表面にはドーナツ状の凹型の溝がある。そのため、テフロン拡散板上に降雨による水溜まりができる。そこで、この水溜まりが測定値にどの程度影響を及ぼすかについて試験した。

試験は、通常通り NIST ランプを照射させ、テフロン拡散板上に水滴を垂らして水溜まりを人工的に作ることににより実施した。水溜まりの度合いは、下記の通りの 7 種とした。その結果、(1)の水溜まりなし(通常の状態)を基準にすると、

- (1) 水溜まりなし(通常の状態) : 1.000 (基準)
- (2) 凹型の溝に半分 : 0.994
- (3) 凹型溝全体(ほぼ平面になるまで) : 0.996
- (4) 凹型溝全体(表面張力面になるまで) : 0.978
- (5) 拡散板全体の半分 : 0.839
- (6) 拡散板全体(ほぼ平面になるまで) : 0.852
- (7) 拡散板全体(表面張力面になるまで) : 0.787

となった。したがって、降雨等によりテフロン拡散板に水溜まりが生じた場合には、紫外域日射が水に吸収され、

最大約 22%の出力低下を起こすことが明らかとなった。

3.6 太陽光による Brewer MKIII#174 との比較観測

測器の実用性を調べるため Brewer MKIII #174 との比較観測を 2005 年 9~10 月に実施した。比較方法および解析方法は伊藤(2005)と同様なので本稿では省略する。比較結果の中でほぼ一日中快晴であった 9 月 18 日(261JD)の例を Fig.7 に示す。なお参考のため、Kipp & Zonen UV-S-AB-T 050635 と Eko MS212WF S00083.19 の結果も表示した。

Fig.7 **(Ir-1)** は、前述の NIST ランプ検定で得た常数を使用した場合の紫外域日射の日変化を示し、**(R-1)** は Brewer を基準とした場合の紫外域日射強度比の日変化を示す。このときに使用した測器常数は、SKU 430 が 2005 年 9 月 4 日(247JD)、050635 が 9 月 3 日(246JD)、S00083.19 が 9 月 12 日(255JD)、同じ NIST ランプ(S-1079)でそれぞれ実施した値である。Brewer については 2005 年 1 月 7 日(007JD)に同じ NIST ランプで実施した常数を用い、5 個の外部標準ランプによる当日の感度変化の補正を加えている。

この図に示されるように、SKU 430 の紫外域日射強度

は 050635 とほぼ同様の变化を示し、南中時で Brewer の約 1.8 倍の照度を示した(050635 は約 1.9 倍, S00083.19 は約 21 倍). 050635 と同型の Kipp & Zonen の他の測器群は、既に 0.8~2.0 倍であることが明らかとなっているので(伊藤 : 2005), SKU 430 の比較による特性は、Kipp & Zonen の測器群の特性に似ていると言える。また太陽高度の低い朝夕では、SKU 430 による強度は 050635 よりもさらに Brewer に近づく。この結果は、当測器の高度角特性が Brewer に似ていることを意味する。

いっぽう (Ir-2) は、(Ir-1) と同日の南中時(11 時と 12 時)における Brewer との比較結果から得られた測器常数を使用した場合の紫外域日射強度を、また (R-2) は Brewer を基準とした場合のその強度比を示す。この図の通り、当然南中時の紫外域日射強度は一致する。しかし太陽高度がより低くなると、Brewer の値に対して差が広がる。これは、各測器の高度角特性が異なるためである。

一般に、この種の紫外域日射計は、1) NIST ランプによる常数を用いて太陽光下で比較すると、Brewer とは大きな差が生じ、2) 太陽下での比較観測による常数を用いると、太陽高度角のちがいで観測値に大きな差が生じる、等の欠点がある。これらのことを考慮すると、SKU 430 の観測値は、同種の他測器に比べてそれほど大きな差違もなく、むしろこの種の測器としては、Brewer に近い特性を持つと考えられる。

4. まとめと今後の課題

本試験結果は、以下の通りにまとめられる。

- (1) NIST ランプによる校正試験では、ランプ間の照度誤差を除くと、8 個のランプで 2%以下の測器感度の誤差となった。測器感度は、太陽暴露期間の約 3 ヶ月で約 +3.5%、室内運用期間の約 1 ヶ月で約 +0.4%、それぞれ上昇した。この変化傾向は Kipp & Zonen の測器群に近いものであった。
- (2) NIST ランプによる照射距離の試験では、30~70cm の距離において、基準値に対し誤差 +0.8~-1.4%と良好な結果となった。
- (3) 高度角特性試験では、Z=35 以内では -5%以内の誤差、Z=60 までは -10%以内の誤差、Z=70 ではほぼ -20%の誤差となった。方位角特性試験では、AZ=180(南方向)の位置(通常観測位置)が最も良好であることが明らかとなった。
- (4) 各種フィルターによる透過試験では、A 領域以上の紫外域日射(日射を含む)を測定してはいるものの、出力の約 85%は B 領域紫外域日射によることが判明した。
- (5) 当測器には UV ドームが装着されていないため、降雨

等によりテフロン拡散板に水溜まりが生じた場合、紫外線が水に吸収され最大約 22%の出力低下を起こす。

- (6) 太陽光による比較観測を行ったところ、SKU 430 の紫外域日射強度は Brewer の約 1.8 倍となり、UV-S-AB-T 050635 とほぼ同様の値となった。またその紫外域日射強度は、太陽高度の低い朝夕では、他測器よりも Brewer に近づくことが明らかとなった。

以上のように、SKU 430 はこの種の他測器(広帯域紫外域日射計)と比較して、精度的に遜色のないことが明らかとなった。しかし、当測器には UV ドームが装着されていないため、降雨の場合には精度が悪くなる。今後、UV ドームが装着されれば、この種の測器としては充分使用可能なものと考えられる。

謝 辞

本稿を草するに際し、(株)プリードの辻 智章氏には当測器を貸与していただき、観測第三課の廣瀬保雄課長にはご助言を賜った。また屋外でのデータ取得では、同課の居島 修研究官にお世話になった。これらの方々に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 伊藤真人(2002) : 新型 NIST ランプ検定装置の開発と紫外域日射観測装置(ブリューワー分光光度計)の高度角・方位角特性. 高層気象台彙報, **62**, 53 - 66.
- 伊藤真人・佐藤 健・下木原卓也・平良 修・宮川幸治 (2002) : 新型ブリューワー分光光度計 MKIII の測器調整・校正結果—測器整備と各官署への設置—. 高層気象台彙報, **62**, 45 - 52.
- 伊藤真人(2003) : 全天型(広帯型)紫外域日射計の高度角・方位角特性. 高層気象台彙報, **63**, 41 - 50.
- 伊藤真人(2004) : 回折格子を利用した新型紫外域分光光度計の試験結果. 高層気象台彙報, **64**, 49 - 54.
- 伊藤真人(2005) : 広帯域(全天型)紫外域日射計の NIST ランプ検定による測器感度変化と問題点. 高層気象台彙報, **65**, 45 - 52.
- 気象庁(1993) : 紫外域日射観測指針. 気象庁, 83pp.
- 国立環境研究所(2005) : 有害紫外線モニタリングネットワーク活動報告. 国立環境研究所, 160pp.
- 柴田誠司・伊藤真人・能登美之・上野丈夫・岡本利次 (2000) : 全天型紫外域日射計の感度変化と測定精度. 高層気象台彙報, **60**, 17 - 24.
- Skye Instrument Ltd. (2004) : Light sensors for UVA and UVB. Skye Instrument Ltd., 12pp.