

4. 紫外線観測

(1) 試験観測の開始

高層気象台では昭和 22(1947)年の超高層系の設置後、超高層の熱的構造及び運動を研究する手がかりとなるオゾン層を観測する方法の一つとして紫外線に注目した。

昭和 23(1948)年 5 月に、日食に際して気象研究所とともに礼文島において臨時観測を実施し、天空の紫外線分布をクロム光電管により観測を行った(関原ほか：1950)。この臨時観測について、高層気象台彙報にも詳しい報告がある(関原：1953)。

気球による紫外線強度の直接観測はドイツやアメリカによって既に行われていたが、高層気象台においても気球に紫外線分光写真器(乾板)をつけて飛揚する方法で昭和 30(1955)年に始まった。観測は、高度約 30km で気球を切り離し、パラシュートで分光写真器を降下させ、その後に拾得者の通報により回収するもので、落下地点を選んでの飛揚となり季節も夏に限定された。昭和 36(1961)年まで年数回の頻度で続けられ(表 3.4.1)、このうち昭和 33(1958)年と昭和 36(1961)年の 2 回の観測では、上空 30km 付近までの分光撮影に成功し、ドブソン分光光度計(以下、ドブソンという)で得られた反転観測結果と比較が行われた。

表 3.4.1 気球による紫外線観測

年	飛揚回数	備考
1955 年	1 回	宇宙線観測用大気球を使用し飛揚。気球は上層風に流され海中に没したため回収不能。
1956 年 1957 年	1 回 2 回	4 個のゴム気球に自動撮影装置付き分光器をレーウィンゾンデとともに飛揚(山崎ほか：1957)、(清水・山崎：1958)。
1958 年 1959 年	4 回 4 回	気圧スイッチを使用し写真乾板を動かす(それまでは時計スイッチを使用)。うち 1 回は 34km 付近までデータを取得し、ドブソン分光光度計の反転観測結果と比較(清水・山崎：1959)、(山崎・秋田：1960)。
1960 年 1961 年	3 回 2 回	うち 1 回は 30km 付近までデータを取得し、ドブソン分光光度計の反転観測結果と比較(秋田・桑名：1962)。

(2) 全天紫外線量観測の開始

オゾン層破壊に伴い、有害紫外線の過度の照射が白内障や皮膚癌など健康に悪い影響を与えることから、昭和 51(1976)年に開始された WMO の全球オゾン研究・監視計画において紫外線(UV-B)の監視・調査に関する専門家会議が設置され、全球規模の組織的な紫外線観測が提案された。これを契機とし、高層気象台は、地上に設置した測器による定常的な紫外線観測に取り組むことになった。

昭和 54(1979)年、全天紫外線量の試験的な観測をエプリー型全天型紫外域日射計(センサーにフォトセルを使用し、干渉フィルターにより 322nm を中心とした 310 nm から 350nm に測定波長域を設定)で開始した(図 3.4.1)。



図 3.4.1 エプリー型の全天紫外線日射計

初期の紫外線計で、干渉フィルターにより 320nm～400nm にある狭い波長域を測定する。1979-1983 年の期間使用。

しかしながら、観測に使用した測器は WMO が推奨する 3 つのタイプの測器(Robertson-Berger, Dehne, Smithsonian の UV-B 計)ではなく、測定波長域が狭く、測器の検査も経時変化をチェックするのみで感度定数決定までは実施できていなかった。また、観測も大気路程が 2 となる時刻の一日 2 回のみであった(一木ほか：1980)。このエプリー型全天型紫外域日射計、干渉フィルターが湿気に弱いためシリカゲルの定期的な交換を行い、連続運用時の温度上昇を緩和するとともに雨滴や露などの水滴消散時間を短縮するため通風装置を取り付けた(小畑ほか、1982)。これにより、昭和 56(1981)年にエプリー型全天型紫外域日射計による全天紫外線量の連続観測を開始した。得られた一年分データを使用し、雲の影響とその季節変化について、放射の効果を考慮した「有効雲量」を用いた調査も行った(一木ほか：1982)。昭和 58(1983)年に測器の不調により、全天紫外線量の観測を一旦中止したが、2 年後の昭和 60(1985)年に UV-A 領域から UV-B 領

域の一部を含む 300-380nm の波長を透過する干渉フィルターを持つ MS-140(英弘精機製)により観測を再開した。平成 2(1990)年には新たに開発された波長域を UV-B の領域である 280-315nm に狭めた全天型紫外域日射計 MS-210(英弘精機製)に測器を変更し、UV-B 領域を対象とした現業観測に移行した(表 3.4.2)。

表 3.4.2 全天型紫外域日射計の使用歴

期間	波長域	型番
1979～ 1983 年	310-350nm	(エプリー)
1985～ 1990 年	300-380nm	MS-140(英弘精機)
1990～ 2002 年	280-315nm	MS-210(英弘精機)
2002～ 2019 年	280-315nm	MS-212W(英弘精機)
2019～ 現在	UVB : 280-315nm UVA : 315-400nm	UV-S-AB-T (Kipp & Zonen)

全天型紫外域日射計は感度変化が大きく、感度定数の経時変化を把握し精度維持を図るため、標準ランプ(米国標準局(NBS),後の米国国立標準技術研究所(NIST)や通商産業省電子総合研究所(当時)で検定保証)で感度定数を求める方法、自然光で後述するブリュワー分光光度計(以下、ブリュワーという、図 3.4.2)との比較観測(平成 2(1990)年)により感度定数を求める方法を検討した(上野・伊藤：1990)。



図 3.4.2 ブリュワー分光光度計

1973 年に Brewer により考案開発された測器。回折格子を用いて太陽光を分光し、光電子増倍管でその光子数を目的の波長毎に測定する。

(3) 波長別紫外域日射観測の開始

高層気象台では、昭和 62(1987)年と翌年の南極地域観測隊のオゾン船上観測用に極地研究所が購入したブリュワー(#034)について、昭和 63(1988)年の観測隊の出発に先立ちドブソンのアジア地区準器(#116)との比較観測を庁舎屋上で実施した。ブリュワーはオゾン観測以外にも波長別に紫外域日射量の観測が可能であることから、平成 2(1990)年につくば、平成 3(1991)年に札幌・鹿児島・沖縄・南極昭和基地でブリュワー(気象庁では装置名を波長別紫外域日射観測装置としている)を用いた B 領域紫外線の波長別強度の観測を開始した。高層気象台では、つくばでの観測開始を機に、他の 4 地点を合わせた気象庁紫外線観測網における観測精度の確保及びデータの活用方法の開拓を目指して、「地上到達紫外線量の監視技術の開発ーオゾン層変化に伴う地上到達紫外線量の変化のスペクトル観測による評価ー」の調査研究を開始した(伊藤ほか：1991)。また、観測網で使用するブリュワーの相互比較観測、NIST ランプ(NIST で検定保証された標準ランプ)による検定等による感度校正を実施するとともに、各観測地点への測器配備後も測器感度監視等の業務を担うこととなった。以降、国内観測地点で使用した測器の履歴は表 3.4.3 の通り。

表 3.4.3 波長別紫外域日射観測に使用した測器の履歴

年/月	つくば	札幌	鹿児島	那覇	準器
1990/1	#052				
1991/1	↓	#058	#059	#060	
1994/11	↓	↓	↓	↓	#113
1998/11	#113	↓	↓	↓	↓
1999/11	#052	↓	↓	↓	↓
2002/1	#174	#169	↓	#175	↓
2005/4	↓	↓	廃止	↓	↓
2005/11	#173	↓		↓	#174
2012/1	#200	↓		↓	↓
2018/2	↓	廃止		廃止	↓

※ #052～#113 は MKII, #174～#200 は MKIII。

(4) 全天紫外線量観測の精度向上への取り組み

全天紫外線量の観測では、平成 2(1990)年に開始した UV-B 領域の観測に用いた全天型紫外域日射計(MS-210)の測器常数をブリュワーとの比較観測により決定していたが、測器感度の変動が大きいため、平成 10(1998)年までの比較観測結果と平成 11(1999)年に実施した NIST ランプ検定結果を使用して、測器の分光特性や経年変化

について調査を行い、感度定数の決定方法を検討するとともに、測器の経年変化の把握を行った(柴田ほか:2000). さらに、平成 14(2002)年頃にはブリューワーの NIST ランプ検定装置を用い、Kipp & Zonen 社の全天型紫外域日射計 UV-S-AB-T の新・旧モデル、MS-212WF(英弘精機製)及び MS-210(英弘精機製)について高度角・方位角特性の試験を行った(伊藤:2003). 平成 17(2005)年には、全天型紫外域日射計について、過去 15 年間の NIST ランプ検定で得た測器感度の変化状況と、ブリューワーと比較観測を行った結果についてまとめている(伊藤, 2005).

しかしながら、NIST ランプ検定は測器を室内に移動させる必要があるため実施できる回数が限られており、また比較観測による補正は両測器の高度角特性に違いがあること等により、詳細な経時変化を追尾することはできなかった. このため、全天型紫外域日射計専用の外部標準ランプ点検装置の開発が平成 16(2004)年頃に行われ、翌年には同装置を使用した一年間の点検によって、その有効性が実証された(伊藤・高野:2006). なお、平成 14(2002)年に波長域が 280-315nm の MS-212W(英弘精機製)に測器を変更し、平成 30(2018)年には UVB(波長域 280-315nm)と UVA(波長域 315-400nm)の各積算照度が同時に測定できる UV-S-AB-T(Kipp & Zonen)(図 3.4.3)に変更し、観測精度を向上させた.



図 3.4.3 UV-S-AB-T(Kipp & Zonen)

紫外線の A 領域(315~400nm)と B 領域(280~315nm)をデュアルバンドで同時測定する. 2019 年より使用.

(5) 波長別紫外域日射観測の精度向上への取り組み

国内観測網を整備した波長別紫外域日射観測については、世界的な紫外線監視網による検定体制がまだ確立できていない中、気象庁は 1000W の NIST ランプを標準光源に用い、電子技術総合研究所が推奨する検定装置を作成して検定を行ったうえで、経時変化を外部・内部(ハロ

ゲン)標準ランプにより監視する体制を独自に確立させた. 毎日 3 回自動的に実施する内部標準ランプ点検結果及び毎週一回夜間に行う複数の外部標準ランプ点検結果により日毎の測器感度を算出し、それにより観測値の補正を行った. 平成 5(1993)年には安定度の高い NIST ランプ検定用電源装置を整備したが、NIST ランプ検定における精度には引き続き問題があった.

観測データの品質管理のため、天空の理想的な状態における紫外線スペクトルとして、ブリューワー(#052)から参照スペクトルを算出して国内の各測器への適用を試みたが、測器ごとに異なる参照スペクトルを作成する必要が生じた(小林・下道:1993). この要因となった波長別感度特性(波長のにじみや波長ずれなど)が測器毎に異なることも問題となった(伊藤ほか:1994). このような波長別感度特性を把握し、測器の定数を波長別に決定するため、NIST ランプで検定を行った基準器と他の測器を波長別に比較し、観測結果を準器に統一させることによる測器間の相対的な誤差をなくす補正方法が検討された.

その一方で、精密な国際準器を早急に確立し、自然光の下で国際準器との同時比較による校正が強く望まれた.

そのような状況の中、平成 3(1991)年、日本・カナダ二国間科学技術協力の一環として「オゾン層に関わる有害紫外線監視網確立にともなう技術的詳細情報の交換」によりカナダ大気環境庁に出張、平成 6(1994)年には同枠組みによりカナダ・トロントとアメリカ・ボルダーに出張して、国際相互比較観測を実施した. 国際比較観測は、ボルダー・テーブルマウンテン観測所において、カナダ大気環境庁(当時)、米国環境保護庁、気象庁、米国農務省、米国科学財団、スミソニアン環境研究所による他機種 of 全天候波長走査型分光計等によって行われた. これにより、日本から比較観測に参加したブリューワー#113 を国内準器とし、NIST ランプ検定により国内準器の照度基準を維持することで、国内準器を使用した国内測器の相互比較による校正体制が構築された(下道・伊藤:1995).

一方、上記国際比較においても、NIST ランプ検定に関するいくつかの疑問点が生じており、平成 9(1997)年に科学技術庁二国間協力専門家派遣旅費により、日本から国内準器と複数の NIST ランプをカナダ大気環境庁に持ち込み、同庁の検定装置を用いた NIST ランプ検定の精度に関する実験、および外部標準ランプ点検、自然光による両国の測器の相互比較等を行い、両国の NIST ランプ検定装置及び検定方法の違いにより検定誤差が生じること等が確認された(伊藤ほか:1998). その後も 2018 年まではほぼ 4 年間隔で、カナダとの相互比較を継続し、国内準器の校正や技術情報の交換等を継続している(表 3.4.3).

表 3.4.4 参加したブリュワー分光光度計の国際比較

開催年	開催地	出張者	国内基準器
1991 年	トロント (カナダ)	高層気象台	
1994 年	ボルダー (アメリカ)	高層気象台	#113(MKII)
1997 年	トロント (カナダ)	高層気象台	#113(MKII)
2002 年	トロント (カナダ)	高層気象台	#113(MKII)
2006 年	トロント (カナダ)	高層気象台	#113(MKII) #174 (MKIII)
2010 年	トロント (カナダ)	高層気象台	#113(MKII) #174 (MKIII)
2014 年	トロント (カナダ)	高層気象台	#113(MKII) #174 (MKIII)
2018 年	トロント (カナダ)	本庁	#113(MKII) #174 (MKIII)
2019 年	ウエルバ (スペイン)	高層気象台	#174(MKIII)

※ 1991 年は、ブリュワー分光光度計に関する技術的詳細情報の交換のみ実施。

また、平成 29(2017)年に均質で高精度な観測を実現するための技術情報を互いに共有するため、豪州・メルボルンにおける第 16 回 WMO 全球大気監視(GAW)ブリュワー利用者グループ会合へ出席、令和元(2019)年には 2018 年から開始したブリュワーによるオゾン現業観測の精度を維持する必要もあり(GAW は 2 年間隔の国際比較を推奨(WMO GAW:2001)), スペイン・ウエルバにおける WMO ヨーロッパ地区ブリュワー分光光度計相互比較(2019)に参加した。

高層気象台では、平成 6(1994)年末に、紫外線観測用国内準器となったブリュワー(#113)との比較観測で使用するソフトウェアを開発し、3 年毎に行う自然光による測器相互比較観測により各測器の感度の経時変化を効率的に確認・補正することを可能とした。また、同年にボルダーで使用した NIST ランプ照度を国際的な基準照度として維持するため、照度がほぼ一致する NIST ランプを選別し、選別したランプの照度補正を行った。平成 10(1998)年には、測器感度を監視するための外部標準ランプ点検装置及び各種点検用プログラムを作成し、ブリュワー(#113)とブリュワー(#096)を用いた試験的な運用を行った。平成 11(1999)年頃からは、測器感度の確

認および経時変化の監視方法を発展させ、3 年毎に光学系の調整を含む測器オーバーホールとその前後における NIST ランプ検定を実施することとし、外部・内部標準ランプ点検結果による基準値の更新および準器との比較観測を実施するための手順を作成した。

さらに、平成 11(1999)年のブリュワー制御装置(PC)の更新に伴い Windows 上で作動する制御用プログラム(従来は MS-DOS)を開発し、同年末に運用を開始した。また平成 12(2000)年頃には、光学系光軸と測器(方位追尾装置)の回転軸の直角を保つよう、水銀溜を利用して調整する光軸調整装置を開発した。南極では、平成 13(2001)年からより精度が高い二重分光方式のブリュワー(MKIII 型: #168)の運用を開始した(それまでは一重分光方式の MKII 型)。高層気象台ではそれに先立ち、平成 11(1999)年に購入された同機の点検・整備・定数の校正を、平成 12(2000)年には南極への輸送直後に発生した障害により持ち帰った同機の修理と一年間の試験運用を実施した。平成 13(2001)年 3 月には、札幌・つくば・鹿児島・那覇の国内 4 官署の MKIII 型が高層気象台に納入され、日本への輸送途中に発生した数々の障害や設定ミス等への対応、光学系の再調整、測器定数の校正、乾燥空気送風装置及び防霜・防雪装置(札幌)等の周辺機器取り付け、準器との比較観測を行い、同年 11~12 月に各官署に配備し、平成 14(2002)年 1 月から運用を開始した。

また、平成 12(2000)年に開発したレーザー光や回転フレーム等を用いて照射距離や角度の設定を容易かつ正確に変えられる NIST ランプ検定装置(図 3.4.4)を用い、上記 4 台の MKIII 型を含む複数の測器の高度角・方位角特性の調査を行った(伊藤: 2002)。この結果を受け、入射角特性に関する直達・散乱成分を考慮した補正手法の開発を行い、MKIII により国内 4 官署で観測された平成 14(2002)、平成 15(2003)年のデータの補正を試みた。また、太陽スペクトルの観測波長を決定するブリュワーの分光定数を決定するため、数種のスペクトルランプと電源、ランプハウス、解析用ソフトウェア等からなる分光定数校正装置を製作し、平成 15(2003)年から試験を行った。さらにブリュワーを改造して、反射波長別紫外域日射を高精度に観測可能とする測器改良を行い、測器感度の監視方法を確立し、平成 15(2003)年には国内準器等との比較観測、さらに通年の地面反射日射の観測を開始し、翌年には年変化の特徴の把握を行った(伊藤: 2004)。

平成 16(2004)年にはブリュワーに装着する簡易型(手動型)の太陽直射光遮蔽装置を作製し、散乱波長別紫外域日射観測と、ブリュワー基準器による全天波長別紫外域日射観測の同時比較観測により、紫外域の日射散

乱率(全天光に対する散乱光の割合)の変化について調査を行った。加えて紫外域日射散乱率の詳細な季節変化や経年変化を明らかにするため、太陽直射光の自動遮蔽装置を開発し、平成 17(2005)年に散乱波長別紫外域日射の観測を開始した。

これらの観測について平成 18(2006)年に自動遮蔽装置の紹介と得られた観測値の特徴について(伊藤:2006)、さらに平成 24(2012)年にそれまでの観測値と波長別紫外域日射量や日射量(全天・散乱・地面反射の各日射量)との比較により年変化の特性を調査した(伊藤ほか:2013)。また、高層気象台ではブリューワーによる直射波長別紫外域日射観測も実施しており、紫外領域を含むレーザーを利用した光軸調整システムを平成 19(2007)年から 20(2008)年にかけて導入し、前置光学系の光学特性を明らかにして新たな定数校正方法を開発し、観測精度を上げた。

また、WMO/GAW が進めるブリューワー分光光度計の地区校正センターの構築計画を受け、高層気象台では日本国内の高地においてオゾン・紫外域日射観測のための観測用測器定数の校正や、高精度の比較観測が可能かどうかを見極めるため、平成 21(2009)年に東大宇宙線研究所との共同研究「乗鞍岳におけるブリューワー分光光度計を使用したオゾン・紫外線の観測」を開始した。共同研究では、平成 28(2016)年まで東京大学宇宙線研究所附属乗鞍観測所において、夏季に直射光オゾン・二酸化硫黄全量観測、同観測用測器定数校正試験、全天・散乱波長別紫外域日射量観測や全天・散乱日射量等の観測を毎年実施し、蓄積したデータをもってブリューワーの観測用定数の絶対検定の可能性や、高地における波長別紫外線量や日射量の推移を示し(Ito *et al.* : 2014)、乗鞍高原鈴蘭での観測結果を加え高度による紫外線増加率の算出と検証を行った(Ito *et al.* : 2015)。

(6) 紫外線観測に係る業務協力

高層気象台は、観測精度向上の取り組みを行う一方、対外機関への業務協力として、宇宙開発事業団(当時)、マレーシア、環境庁国立環境研究所(当時)、東京都環境科学研究所の測器整備に係る技術支援を行った。特に国立環境研究所については、研究協力依頼を受け、平成 5(1993)年及び平成 7(1995)年に現業観測用測器のブリューワー(#052)との比較観測を、平成 11(1999)年には紫外域日射観測用定数やオゾン観測用定数の校正のための技術指導を含む比較観測を、平成 17(2005)年には測器修理後の点検・調整、定数校正と比較観測協力及び観測研修を実施した。また同年から平成 29(2017)年まで毎年、同研究所陸別成層圏総合観測室(北海道足寄郡陸別町)に赴いて、



図 3.4.4 NIST ランプ検定装置

高層気象台で開発した検査装置で、正確な照度距離や光軸の設定、高度角・方位角特性の検査を可能とした。

測器監視協力(技術指導)を実施した。測器定数の推移、陸別における波長別紫外域日射量の推移等については、平成 23(2011)年までのとりまとめがなされている(Ito *et al.* : 2012)。

気象庁は、平成 17(2005)年 5 月に紫外線の解析・予測情報の発表を開始した。高層気象台ではこれに向け、前年に紫外線情報提供関連機器の設置を行うなどの準備を進め、波長別紫外域日射観測データの即時的提供を行う体制を整えた。また、紫外線の解析・予測情報提供に伴う UV インデックスの導入や、MKIII の波長範囲の拡大に表示を対応させるため、紫外域日射観測表示プログラムを改訂し、波長範囲を拡大した参照スペクトルの計算が行えるようにした。

(7) 紫外線観測の成果と将来展望

昭和 54(1979)年に開始した全天紫外線量の観測は、2020 年で 40 年以上が経過する。また、平成 2(1990)年に開始した波長別紫外域日射量の観測も 30 年となる。両

観測とも試行錯誤を繰り返しつつ、常に精度向上の取り組みを続けてきた。その成果として、全天紫外線量のデータは気象庁が発表する大気・海洋環境観測年報に利用され、波長別紫外域日射量の観測データは気象庁が提供している紫外線予測情報等のプロダクト検証に生かされている。また、波長別紫外域日射量の観測データは観測開始から WMO/GAW/WOUDC(世界オゾン・紫外線資料センター)に報告され世界の研究者が利用可能となっており、平成 26(2014)年の国連環境計画の環境影響評価委員会によるオゾン層破壊の環境影響アセスメント(EEAP)の波長別紫外域日射照度の変化傾向の解析では、アジア地域で唯一日本が選ばれ紫外線量のトレンド評価、及びオゾン層の回復傾向と紫外線量との関係評価に利用された。これは、日本が長期に精度の良い観測データを取り続けてきた証でもある。

WMO/GAW は、大気中の化学成分および特定の物理的特性について、地球規模の長期的な監視を継続的に実施することで環境政策を支援する科学的評価に貢献するだけでなく、気候・気象および大気質の予報能力を高めることを目的としており、その観測要素に紫外線を含めている。現在、全天紫外線量と波長別紫外域日射量のどちらの観測も、南極昭和基地を除けば国内で観測を実施しているのは高層気象台 1 地点のみとなっており(鹿児島は平成 17(2005)年 3 月、札幌及び那覇は平成 30(2018)年 1 月をもって波長別紫外域日射量の観測を終了している)、高層気象台において観測を継続することが国内的にも国際的にも益々重要となってきた。また、その観測には精度向上の余地が多々残されており、ブリュワーや全天型紫外域日射計の入射角特性を全天輝度カメラから得られる輝度情報を用いて補正する試みや、NIST ランプ校正装置や校正手法の改善、全天型紫外域日射計の測定波長域のにじみに対応する校正方法の検討など、新たな知見を取り入れつつ今後も更なる精度向上に継続して取り組む必要がある。

参考文献

秋田貞一・桑名十郎 (1962): 自記分光写真器によるオゾン鉛直分布の観測. 高層気象台彙報, **7**, 2, 44-48.
 一木明紀・小畑実 (1980): 紫外線観測及び紫外線計の検査装置について. 高層気象台彙報, **41**, 18-23.
 一木明紀・三宅勉・小畑実 (1982): 地表で測定される紫外線量と雲量の関係. 高層気象台彙報, **42**, 14-19.
 伊藤真人・下道正則・梶原良一 (1994): 波長別紫外域日射観測の基準化について. 高層気象台彙報, **54**, 43-55.

伊藤真人・下道正則・能登美之 (1998): カナダ大気環境庁(AES)における波長別紫外域日射計の検定試験と測器相互比較. 高層気象台彙報, **58**, 1-10.
 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 (2003): 全天型(広帯域)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): ブリュワー分光光度計を利用した地面反射波長別紫外域日射観測装置の開発と観測. 高層気象台彙報, **64**, 19-34.
 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.
 伊藤真人 (2006): ブリュワー分光光度計用自動遮蔽装置による散乱波長別紫外域日射の定常観測. 高層気象台彙報, **66**, 47-56.
 伊藤真人・高野松美 (2006): 広帯域(全天型)紫外域日射計用外部標準ランプ点検装置の開発とその精度. 高層気象台彙報, **66**, 57-64.
 伊藤真人・居島修・島村哲也・上里至・能登美之・江崎雄治・押木徳明 (2013): つくばにおけるブリュワー分光光度計を使用した波長別全天・散乱・地面反射紫外線量の季節変化 2004~2012 年. 高層気象台彙報, **71**, 51-62.
 伊藤朋之・上野文夫・梶原良一・下道正則・上窪哲郎・伊藤真人・小林正人 (1991): 地上到達紫外線量の監視技術の開発ーオゾン層変化に伴う地上到達紫外線量の変化のスペクトル観測による評価ー. 研究時報, **43**, 213-273.
 Ito, M., M. Ono, N. Tsuda, T. Machida, N. Yokozeki, Y. Noto (2012): Global Spectral UV in Recent 6 Years and Test Observation of Diffuse Spectral UV with Brewer Spectrophotometer at Rikubetsu, Central Hokkaido. 高層気象台彙報, **70**, 61-66.
 Ito, M., I. Uesato, Y. Noto, O. Ijima, M. Takita, H. Shimodaira and H. Ishitsuka (2014): Absolute calibration for Brewer spectrophotometers and total ozone / UV radiation at Norikura on the Northern Japanese Alps. *Jour. of the Aerological Observatory*, **72**, 45-55.
 Ito, M., I. Uesato, Y. Noto, O. Ijima, M. Takita, H. Shimodaira and H. Ishitsuka (2015): Altitudinal Increasing Rate of UV radiation by the Observations with Brewer Spectrophotometers at Norikura, Suzuran and Tsukuba. 高層気象台彙報, **73**, 63-72.

- 小林正人・下道正則 (1993) : 波長別紫外域日射観測の参照スペクトルの改訂. 高層気象台彙報, **53**, 39-46.
- 小畑実・一木明紀・志村英洋・広瀬保雄 (1982) : 紫外線計の改良ー通風装置の設置ー. 高層気象台彙報, **42**, 20-23.
- 関原彊・川村 清 (1950) : 日食時に於ける天空散乱光分布観測に関する研究報告. 照明学会誌, **34**, 1, 11-19.
- 関原彊 (1953) : 日食時における天空紫外線分布の研究. 高層気象台彙報, **5**, 2, 41-53.
- 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.
- 清水正義・山崎正博 (1958) : 自記分光写真器によるオゾンの垂直分布の観測(2). 高層気象台彙報, **6**, 2, 1-3.
- 清水正義・山崎正博 (1959) : 自記分光写真器によるオゾンの垂直分布の観測(3). 高層気象台彙報, **6**, 3, 1-4.
- 下道正則・伊藤真人 (1995) : 波長別紫外域日射計のボー ルダー国際相互比較. 高層気象台彙報, **55**, 11-18.
- 上野丈夫・伊藤真人 (1990) : B 領域紫外日射測定器の検定について. 高層気象台彙報, **49**, 23-28.
- WMO GAW (2001) : Global atmosphere watch measurements guide No.143. WMO TD No.1073, 17pp.
- 山崎正博・清水正義・福田寿彦・秋田貞一 (1957) : 自記分光写真器によるオゾンの垂直分布の観測. 高層気象台彙報, **6**, 1, 45-54.
- 山崎正博・秋田貞一 (1960) : 自記分光写真器によるオゾンの垂直分布の観測(4). 高層気象台彙報, **6**, 4, 69-71.