

全国オゾン量データの整備と紫外線推定モデルの補正

紫外線を測定している気象観測所はほとんど無く、紫外線の測定データの入手は困難である。そこで、日射量などの気象要素から紫外線量を推定するモデルが提案されているが、特に B 領域紫外線は大気中のオゾンに大きく影響を受けるため、地域差や季節変化を考慮して推定を行うにはオゾン量の値が必要である。しかしオゾン量も日本ではほとんど観測されていない。

ここでは、地域差や季節変化を考慮した紫外線推定のためのオゾン量データの作成と、それをを用いて井川モデルによる紫外線推定計算について述べる¹⁻⁴⁾。

1. オゾン観測データ

各地で観測されるオゾン全量は他の気象要素と同様に、地点ごとに異なり、時間の経過でも変化している。紫外線量はオゾンの影響を受けるから、精度の良い紫外線の推定計算にはオゾン量のデータが必要となる。しかし日本において長期的に全国をカバーする紫外線の地上観測データの入手は難しい。気象庁においても、オゾン量は 2021 年まで札幌、つくば、那覇、昭和基地の 4 地点、2023 年からつくばと昭和基地の 2 地点のみが測定・公開がされている⁵⁾。

一方、米国では NASA が人工衛星を使ってオゾンの観測を行っており、その結果を全球オゾン量データとして公開し、我々は日別のメッシュデータをインターネット経由で入手することができる⁶⁾。観測は観測衛星を更新しながら行われていて、年代(衛星)によって観測値の精度にばらつきが見られるものの、2005 年頃から観測精度がよくなった⁷⁾。

NASA が公開している人工衛星観測のオゾンデータは地球全体をカバーしている。日別値の 1 日 1 ファイルのテキストによるメッシュデータとなっていて、全球を緯度方向、経度方向ともにそれぞれ等間隔に区切った交点の観測値が記録されている。また、衛星軌道や視野角に由来するとみられる測定されない地域が存在し、その地域は日ごとに異なっていて、欠測値「0」が記録されている。欠測地域の縁には異常値(大きな値)が記録されていることが多い。

2. EA 地点のオゾン量データの作成

NASA の全球オゾン量データを以下の手順で処理して、EA 地点のオゾン量データを作成できる。

- 1) 異常値を除去、その地点を欠測と扱う
- 2) 欠測補間(前後日のデータを使って直線補間)
- 3) EA 地点のオゾン量を近傍のメッシュ点から推定

まず、異常値を欠測値と同じ「0」に置き換えることで異常値を除去する。次に、欠測についてその前後日の同地点の値から直線的に補間することで、欠測地域および欠測日が無いメッシュデータとなる。最後に、メッシュデータからの EA 地点のオゾン量の推定を逆距離加重(IDW)法にて行う。対象地点を囲む 4 点を選択し、対象地点から各点への距離(D_i)の逆数の p 乗を重み(W_i)として各点の値(V_i)を加重平均する(式 1)。 p の値は 1 として補間値は距離の逆数に比例するものとした。

$$W_i = \frac{1}{(D_i)^p}, \quad V_{target} = \frac{\sum_{i=1}^4 (W_i V_i) \Sigma(W_i V_i)}{\sum_{i=1}^4 (V_i)} \quad (1)$$

3. EA 地点のオゾンデータ

前述の方法で作成・整理した EA 地点日別オゾン量データを図 1 で 2010, 2011, 2012, 2013 年の 1 月 1 日についてカラーマップにした。図 1 より地点毎にオゾン量が異なり同じ日付でも年によって値が違ってくる。また図 2 では気象庁観測値が公開されているつくばについてオゾン量月平均値を 2010, 2015, 2020 年の気象庁観測値と比較した。図 2 より観測値と推定値はその大きさと変動が類似して、表 1 でも観測値と推定値の差は-0.9%から-2.3%にあり、良好な推定値が得られている。札幌や那覇においても同様の傾向がみられた。以上より、紫外線量の推定時に今回整理したオゾン量を各日・各地の値を反映させて計算することで、より実際に近い紫外線量の推定が期待できる。

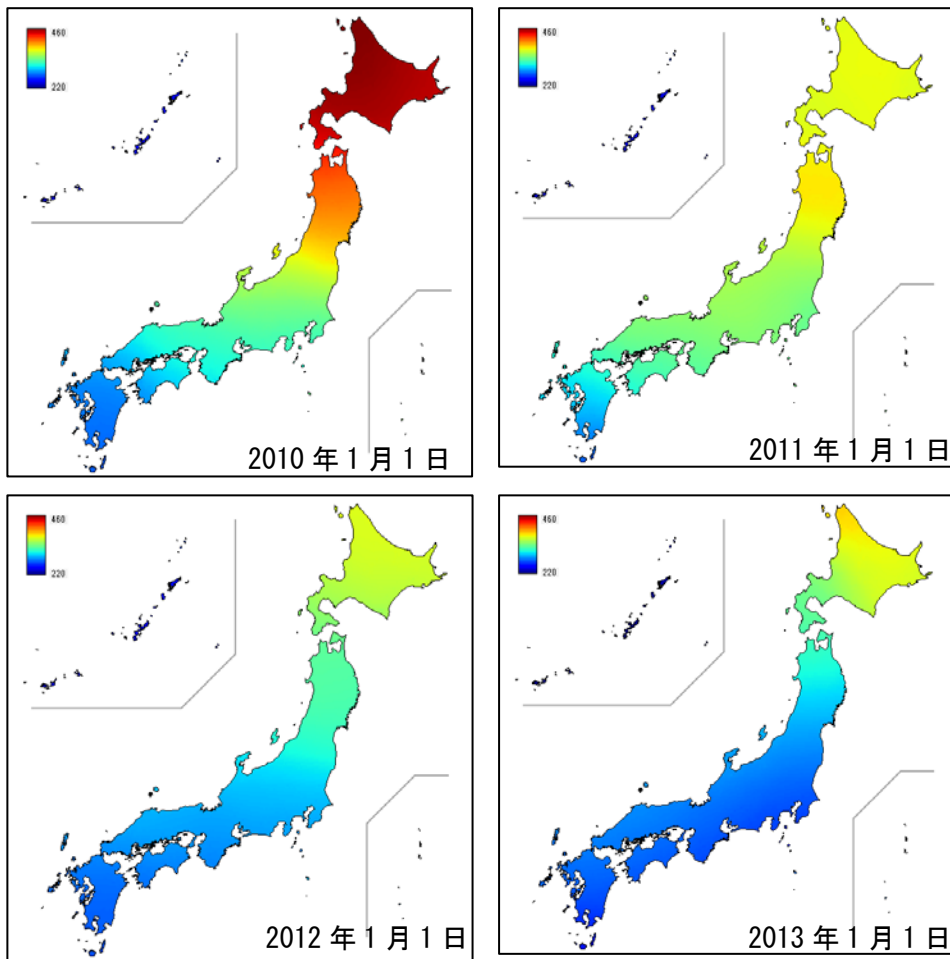


図 1. 2010 年から 2013 年の 1 月 1 日のオゾン量推定値 [DU]

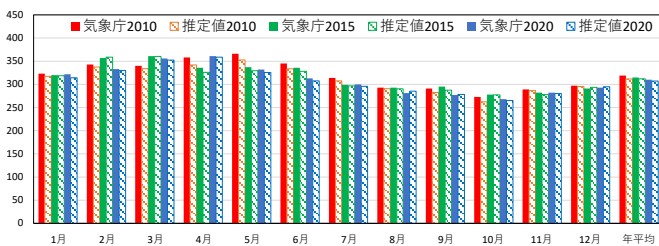


図 2. つくばのオゾン量月平均値(つくば) [DU]

表 1. オゾン量月平均値の推定誤差 [%]

つくば	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
2010年	-1.8	-1.7	-1.8	-4.5	-3.6	-3.3	-2.0	-0.8	-3.0	-3.8	-0.8	-0.5	-2.3
2015年	-0.4	0.5	-0.1	-3.0	-2.2	-2.3	-0.8	-0.9	-2.6	-0.2	-1.4	0.9	-1.0
2020年	-2.5	-0.8	-1.0	-0.7	-1.9	-1.8	-1.4	1.5	0.5	-1.1	-0.6	0.6	-0.9

4. 井川のモデルによる紫外線量の推定

紫外線の推定モデルとして 2024 年の井川らのモデル⁸⁾(以下, IgawaN と呼ぶ)が存在する。IgawaN は日射量に対する UV-A 量の比 η_A , UV-A 量に対する UV-B 量の比 η_B を導くモデルである。UV-B を算出するには日射量に η_A と η_B の積を乗じる。

UV-B の気象庁観測⁹⁾が行われていた期間の札幌, つくば, 那覇について, IgawaN を用いて EA 気象データと整理したオゾン量データで UV-B 量を推定計算した。計算結果を気象庁観測値と図 3 で比較する。IgawaN による推定値は気象庁の観測値より大きい値となることがわかる。

気象庁の紫外線観測は UV-B のみを対象として高層気象台にて Kipp & Zonen のブリューワー分光光度計による観測を行っている¹⁰⁾。ブリューワー分光光度計は, カナダの環境・気候変動省 (Environment and Climate Change Canada : ECCC) が保有する世界基準器を基にした校正体系が確立されていて, 国際的なブリューワー分光光度計相互比較に気象庁も参加している¹¹⁾¹²⁾。これらから気象庁観測値は, 真値に近い値が出力されているものと考えることができる。一方 IgawaN のベースになった紫外線データは Kipp & Zonen の UV-S-AB-T を用意し, 複数の同型の計器を相互比較したのち観測された⁸⁾¹³⁾。この計器はかつて気象庁観測でも使用されたことがある。しかし UV-S-AB-T は出力の変化が大きい等の報告¹⁴⁾も存在し, 十分な精度を維持するのは容易とはいえない。

そこで, 気象庁の UV-B 観測値を「真値」とみなし, IgawaN の計算値は真値より大きいと判断する。

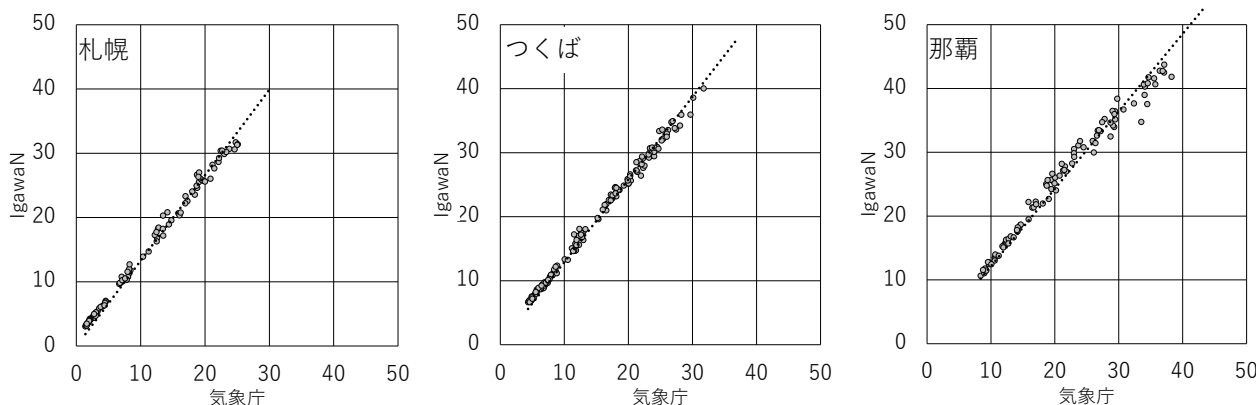


図 3. UV-B 月平均日積算値の気象庁観測値と IgawaN 推定値 [kJ/m²]

5. 井川のモデルの補正

IgawaN の計算値を気象庁観測値に近づけるための補正法について考察する。IgawaN では計算式に用いられる係数は天候に依らず一定であり, 図 3 より IgawaN の推定値と気象庁観測値は散布図において直線的に対応している。そのため補正は単純に補正係数を乗ずる。補正係数は気象庁のウェブページで容易に入手可能な月平均日積算値を利用して決定する。

まず, 気象庁から得られる「真値」は UV-B のみであるため UV-B の補正を考える。日射量に対する UV-B 量の比を, 札幌, つくば, 那覇において IgawaN と気象庁観測値それぞれから求めて比較したものが図 4 である。観測値に対し IgawaN が札幌で 1.3563 倍, つくばで 1.3209 倍, 那覇で 1.2365 倍大きくなった。平均すると 1.305 倍となるため, 補正係数を $1.305^{-1} (\approx 0.767)$ とし, C_{AB} とよぶ。

C_{AB} で IgawaN を補正した値と気象庁観測値を図 5 で各地を比較すると傾き 1 前後の直線付近に分布がまとまっている。

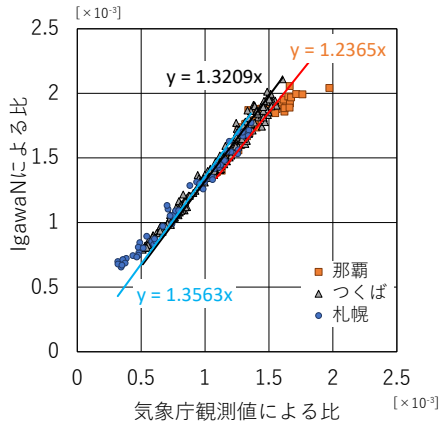


図 4. 日射量に対する UV-B 量の比

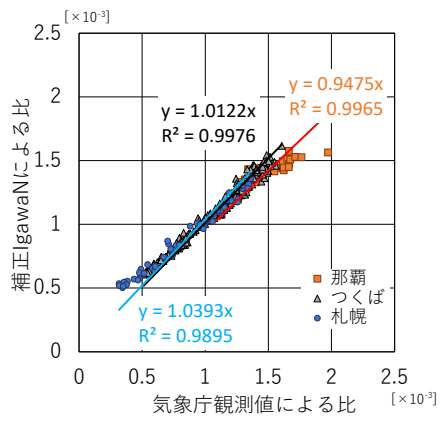


図 5. 日射量に対する UV-B 量の比(補正後)

UV-A については先に述べたとおり気象庁での観測が行われていないが、過去の複数箇所での観測事例として国立環境研究所が展開していた「有害紫外線モニタリングネットワーク(以降、UVMN)」¹⁵⁾がある。測器は主に帯域型紫外線計であり、一定の方針の下で各測定局の機関が独立して測定を行い、キャリブレーションやメンテナンスの頻度・方法も測定局毎に異なるものとなっている。そのため測定値に気象庁観測と同様の信頼性を求めることはできないが、参考とすることはできる。

UV-B と同じように UV-A の補正係数を求める。UVMN の測定値を使って日射量と UV-A 量の比について図 6 で比較すると補正係数は $1.169^{-1}(\approx 0.855)$ となり、これを $C_{A'}$ とよぶ。ただし使用した UV-A 観測値が気象庁による UV-B 量ほど信頼性が高いとは言えないが、DataNavi では UV-A 値の補正に $C_{A'}$ を使用する。補正後の値と UVMN 測定値の比較は図 7 となり、傾き 1 前後の直線付近に分布する。

本章で求めた、IgawaN への補正係数を表 2 にまとめる。

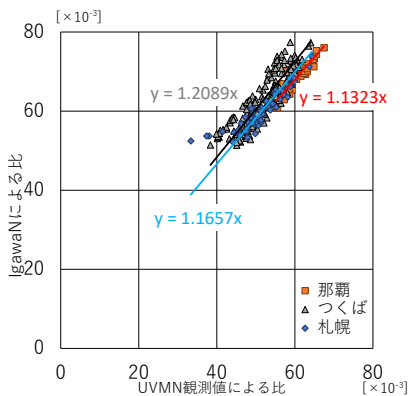


図 6. 日射量に対する UV-A 量の比

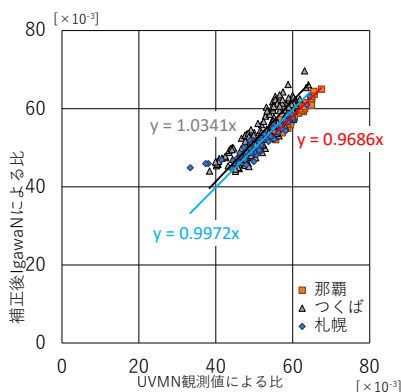


図 7. 日射量に対する UV-A 量の比(補正後)

表 2 IgawaN に対する補正值

補正係数	値
C_{AB}	1.305^{-1}
(参考) $C_{A'}$	1.169^{-1}

6. 補正井川モデルでの紫外線量の計算

ここでは求めた補正係数を用いた UV-B 推定値を観測値と比較する。比較は以下の 3 つでおこなう。

- a) 補正係数決定で使用していない地点(鹿児島)での比較
- b) 補正係数決定で使用していない時間間隔(日別値(日積算値))での比較
- c) 補正係数決定で使用していない時間間隔(時別値)での比較

時別値の観測値については、気象庁大気・海洋環境観測年報¹⁶⁾からブリューワー分光光度計の出力データを得て使用した。a)の結果を図 8、b)とc)では2020年つくばの結果を図 9、図 10 に示す。

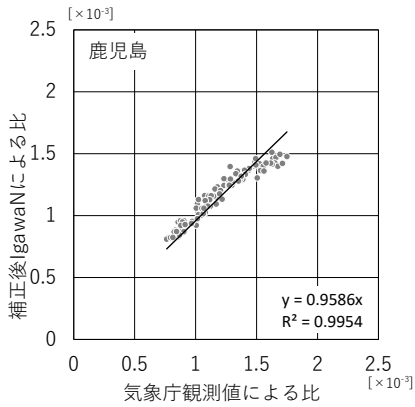


図 8. 日射量に対する UV-B 量の比 (補正後・1997-2004, 鹿児島)

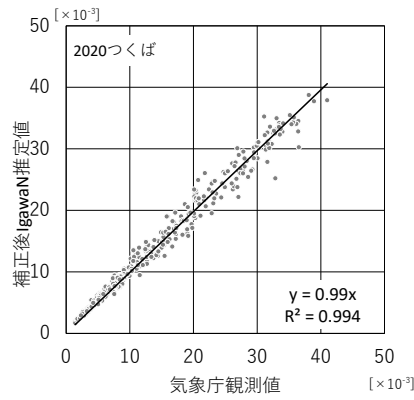


図 9. 日射量に対する UV-B 量の比 (補正後・2020, つくば日別値)

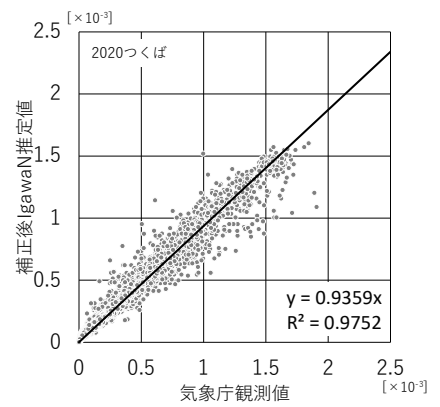


図 10. 日射量に対する UV-B 量の比 (補正後・2020, つくば特別値)

各図から以下のことがわかる。

- a)補正係数の導出に使用していない鹿児島においても、傾き約 0.96 の直線で近似された。
- b)補正係数の導出に使用していない日別値においても良好な推定ができています。
- c)特別値における回帰直線の傾きは日別値より 7%程度緩やかになった

c)について、さらに気象庁観測特別値を真値とした推定誤差を図 11 でみると UV-B 量が多いときは推定値がやや小さめに、少ないときは推定値がやや大きくなる傾向がみられた。図 9 の日別値が気象庁観測値とほぼ一致していても図 10 で特別値の回帰直線の傾きが少し緩やかであるのはこのためだと考えられる。2020 年特別値の年間平均推定誤差は 0.001965[W/m²]となっていて、2010 年で計算しても-0.00019[W/m²]であった。どちらも通年の総量はほぼ一致した。本稿では一定の係数をかけて井川のモデルを修正したが、実際はわずかながら一定ではないと推測される。一定値でない補正係数を提案するのは困難であり、そもそも井川のモデルを補正するという範囲を超える。

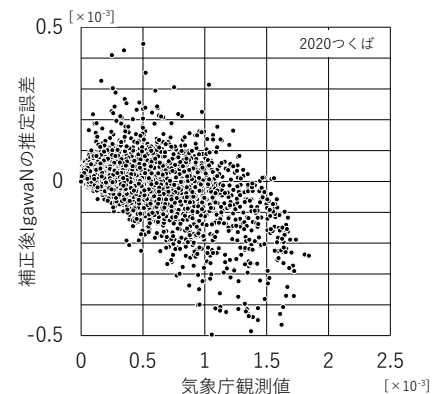


図 11. UV-B 量の推定誤差 (補正後・2020, つくば特別値)

7. まとめ

- (1) NASA の衛星によるオゾン観測データに欠測・補間処理を施したうえで、推定計算を行い、EA 地点における日別オゾン量データを作成した。その一部を気象庁が公開する月平均オゾン全量と比較した結果、尤もらしい値となっていて、適切な推定ができた。
- (2) 作成したオゾンデータを用いて IgawaN により UV-B 量を計算して月別値を比較すると、IgawaN の UV-B 推定値は気象庁観測値との直線性が高いものの、気象庁の観測値より約 30%大きいことがわかった。そのため気象庁の UV-B の観測計器の信頼性を確認した上で気象庁の観測値を真値と位置付け、IgawaN による UV-B 推定値を気象庁観測値に近づけるための補正係数を提案した。
- (3) UV-A については気象庁の観測がないため、有害紫外線モニタリングネットワークの観測値と比較したところ、IgawaN の UV-A 推定値が約 17%大きいことがわかった。この比較に基づいて補正係数を算出した。ただし、使用した観測値は気象庁の観測値ほど信頼性が高くないことから、この補正係数を参考値と位置付けた。

- (4) 求めた補正係数による補正により，月別値，日別値の計算は気象庁の観測値に近づく。時別値については UVB 量が大きいときにやや小さめに，小さいときにはやや大きめに算出されることが確認された。
- (5) DataNavi (ver.8.1 以降)では，UV 量は IgawaN の計算値を UV-A については C_A' ，UV-B については C_{AB} で補正した値を用いていて，これを Igawa-NC と表記している。IgawaNC の計算に必要なオゾンの量の値は表 3 のとおりである。

表 3. DataNavi8.1 が UV の計算に使用するオゾンデータ

種類	年	計算に使用するオゾンデータ
実在年	1981 年～2004 年	平年は 2005 年の観測値から得られたオゾン量 うるう年は 2008 年の観測値から得られたオゾン量
	2005 年～2020 年	対応する日の観測値から得られたオゾン量
標準年	1995 年	2005 年の観測値から得られたオゾン量
	2000 年	2005 年の観測値から得られたオゾン量
	2010 年	平均月が 2005 年以前から選択されている月は 2005 年の， それ以外は選択された年の観測値から得られたオゾン量
	2020 年	平均月が選択された年の観測値から得られたオゾン量
	将来年	2005 年の観測値から得られたオゾン量

【参考文献】

- 1)武田和大,三田井隆樹,赤坂裕,衛星観測データを基にした全国オゾン量の整備および紫外線推定モデル補正の提案,日本建築学会環境系論文集, 90(838), pp.587-593, 2025
- 2)武田和大,赤坂裕,三田井隆樹,大気中のオゾンの影響を考慮した紫外線の計算 その1.オゾンの地域差及び季節変化, 2024 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp793-794, 2024
- 3)三田井隆樹,赤坂裕,武田和大,大気中のオゾンの影響を考慮した紫外線の計算 その2. オゾンの地域差及び季節変化が紫外線に与える影響, 2024 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.795-796, 2024
- 4)武田和大,赤坂裕,三田井隆樹, 全国の日別オゾン量の整理とオゾンの地域差・季節変化を考慮した紫外線の推定,令和6年度空気調和・衛生工学会大会講演論文集, pp61-64, 2024
- 5)気象庁,月平均オゾン全量の数値データ表(ウェブページ)
https://www.data.jma.go.jp/env/ozonehp/ozone_monthhave_sap.html
- 6) Aura OMI Data (web page)
<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/data/omi/>
- 7)気象庁, 衛星によるオゾン全量観測データの地上観測との比較,オゾン層・紫外線の年のまとめ(2018), p40, 2019
- 8)井川憲男ほか, 日射量と UV-A, UV-B の関係について,日本建築学会環境系論文集, 89 (817), pp.154-159, 2024,
- 9)気象庁, 日積算 UV-B 量の月平均値の数値データ表(ウェブページ),
https://www.data.jma.go.jp/env/uvhp/uvb_monthhave_tsu.html
- 10)伊藤朋之ほか, 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, 気象庁研究時報, 43(5), pp.213-273, 1991
- 11)藤原宏章ほか, スペイン・ウエルバにおける WMO ヨーロッパ地区ブリューワー分光光度計相互比較(2019), 高層気象台彙報 第 77 号, pp.1-11, 2020
- 12)WMO: Report of the Third International Solar UV Radiometer Calibration Campaign (UVC-III), GAW Report No. 284, 2023
- 13)井川憲男,永村一雄,Craig Farnham, 日射量による昼光照度, PAR, UV-A, UV-B の推定, 日本建築学会環境系論文集 81 (726), pp.679-685, 2016
- 14)伊藤真人,高野松美,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 第 65 号, pp.45-52, 2005
- 15)有害紫外線モニタリングネットワーク(ウェブページ)
<https://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/uv/index.html>
- 16)気象庁,大気・海洋環境観測年報(ウェブページ)
<https://www.data.jma.go.jp/env/data/report/data/>