

長野市及び松本市における太陽紫外線の検討

誌名	長野県環境保全研究所研究報告
ISSN	1880179X
著者名	原田,勉
発行元	長野県環境保全研究所
巻/号	15号
掲載ページ	p. 37-43
発行年月	2019年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



長野市及び松本市における太陽紫外線の検討

原田 勉¹

長野県が帯域型紫外線計により長野市及び松本市で2011年4月から2018年3月まで測定した紫外線について検討した。その結果、UV-B量は長野市及び松本市とも12月が最小で、7月又は8月に最大となり、長野市が松本市より多い傾向がみられた。気象庁の那覇における同期間の観測値を1としたUV-B量の比は夏季平均(6-8月)が長野市0.99、松本市0.89、冬季平均(12-2月)が長野市0.55、松本市0.58で、長野市の夏季平均は那覇と同程度であった。また、有害紫外線モニタリングネットワーク活動報告で示された方法により算出したUVインデックスは、環境省の紫外線環境保健マニュアルで紫外線が「非常に強い」に分類される8以上が長野市及び松本市とも4月から9月の正午前後にみられ、7月と8月は日最大UVインデックスの月平均値が8以上であった。UVインデックスが8以上の時間を月別に比較すると長野市は7月の66時間(2.1時間/日)、松本市は8月の53時間(1.7時間/日)が最大だった。

キーワード：紫外線、UV-B、UV-A、帯域型紫外線計、CIE紫外線量、UVインデックス、長野市、松本市

1 はじめに

太陽紫外線は、波長によって紫外線A:UV-A(315~400nm)、紫外線B:UV-B(280~315nm)、紫外線C:UV-C(100~280nm)の3種類に分類されるが290nm以下の紫外線は大気圏上部の酸素分子及び成層圏のオゾンに完全に吸収されるため、地表に到達する紫外線はUV-AとUV-Bの一部である。UV-Aは生体への影響が少ないとされているが、UV-Bは核酸などの重要な生体物質に損傷をもたらすことが懸念されている¹⁾。1985年に南極上空でオゾンホールが発見²⁾され、成層圏のオゾン量の減少により地表へ到達するUV-Bの増加が危惧された。最近の知見では、成層圏オゾンが1%減少した場合、特定の太陽高度角(23度)において、UV-Bが約1.5%増加するという結果が報告されている¹⁾。気象庁の観測では国内のオゾン全量は1990年代半ば以降緩やかに増加³⁾しているが、それに反して紫外線は増加傾向を示しており、同庁は紫外線を散乱・吸収するエアロゾル(大気中の微粒子)の減少や天候の変化(雲量の減少)などの影響と考察⁴⁾している。

紫外線の量及び強度を表す単位としては、波長範囲の紫外線強度を積算して求めたUV-B量及びUV-A

量等の他、人体への影響が波長ごとに異なることから国際照明委員会(CIE:Commission Internationale de l'Eclairage)が定義したCIE作用スペクトルによる相対影響度に紫外線強度を掛けて波長範囲を積分したCIE紫外線量があり、CIE紫外線量を分かりやすく指標化したのがUVインデックスである。UVインデックスは人体への影響が分かりやすいことから、WHO(世界保健機関)はWMO(世界気象機関)及びUNEP(国連環境計画)と共同で2002年7月に「UVインデックスの運用ガイド」⁵⁾を刊行し、環境省も2003年6月に「紫外線環境保健マニュアル」(紫外線環境保健マニュアル2015⁶⁾に改訂)を刊行して紫外線についての新しい科学的知見や関連情報を紹介している。また、気象庁はUVインデックスによる紫外線情報⁷⁾を公開しているが、観測地点は2018年2月以降3か所(那覇、つくば、札幌)から1か所(つくば)になり、観測地点以外は上空のオゾン全量や気象台・アメダスで観測された日照時間などのデータから求めた解析値⁸⁾⁹⁾となっている。

国内における紫外線の測定は主に帯域型紫外線計が使用されており、分光型紫外線計は高額で保守管理が難しいため使用する機関が少ない。大学や試験研究機関で構成する有害紫外線モニタリングネット

1 長野県環境保全研究所 大気環境部 〒380-0944 長野市安茂里米村1978

ワーク（事務局：国立環境研究所地球環境研究センター）¹⁰⁾では帯域型紫外線計による観測体制が構築されている。しかし、長野県には気象庁の紫外線観測地点がなく、長野県が大気測定計画に基づいて長野市と松本市で帯域型紫外線計により測定しているが、UV インデックスは不明であり、紫外線に関する情報が少ない状況である。

そのため、本研究は、長野県が行った長野市及び松本市における帯域型紫外線計による測定値を気象庁の積算単位に合せ、また、同測定値から有害紫外線モニタリングネットワーク活動報告で示された方法により両都市のUV インデックスを求めて、人体に有害な紫外線のレベルが気象庁の国内観測点と比べてどの程度なのか考察した。

2 調査方法

2.1 測定地点及び調査期間

測定地点は長野市の環境保全研究所（安茂里庁舎）（東経 138° 10′ 43″，北緯 36° 38′ 7″，標高 360m）の屋上（地上からの高さ約 14m）及び松本市の松本合同庁舎（東経 137° 56′ 33″，北緯 36° 14′ 6″，標高 587m）の屋上（地上からの高さ約 29m）で、2011 年 4 月 1 日から 2018 年 3 月 31 日の正時前の 1 時間積算値 (J/m²/h) を集計した。なお、半月以上の欠測がある月は除外した。

2.2 測定機器

測定機器は UV-B が B 領域紫外放射計（英弘精機 MS-212W），UV-A が A 領域紫外放射計（英弘精機 MS-212A），全天日射量がネオ日射計（英弘精機 MS-402F-C），データ収録装置がデータロガー（小笠原計器製作所 OKSAM-4100）である。

2.3 UV インデックスの算出

UV インデックスを算出するには波長ごと（気象庁の Brewer 分光光度計は波長 0.5nm 毎）に紫外線強度を測定する必要があるが、帯域型紫外線計は分光幅（B 領域紫外放射計：35nm，A 領域紫外放射計：85nm）が広いので、この測定値をそのまま使用することができない。そのため、有害紫外線モニタリングネットワーク活動報告（2005）で示された UV インデックスの求め方^{11) 12)}により算出した。この方法は、帯域型紫外線計で測定した UV-B と UV-A の紫外線量と Brewer 分光光度計で帯域型紫外線計

と同じ波長領域から求めた CIE 紫外線量との関係式から UV インデックスを求める方法で、日本の任意の地域で利用することが可能である。

算出手順は、測定場所における季節及び時刻ごとの太陽光が通過してくる大気の厚み（air mass）とオゾン全量（O₃ 全量）から既存の関係式に基づいて算出した。

2.3.1 air mass

air mass は太陽天頂角が零度の時の厚みを基準とした相対的な大気の厚みで、観測地点における毎正時ごとの太陽の時角、緯度及び視赤緯から文献 11 の付録 1-1 Air mass の求め方により計算した。主な air mass の値は、長野市の夏至（6 月 22 日）の 9 時が 1.3，12 時が 1.0，15 時が 1.4，冬至（12 月 22 日）の 9 時が 3.1，12 時が 2.0，15 時が 3.9 で、松本市の夏至の 9 時が 1.3，12 時が 1.0，15 時が 1.4，冬至の 9 時が 3.1，12 時が 2.0，15 時が 3.8 だった。

2.3.2 オゾン全量

オゾン全量は地表から大気上端までのオゾンの総量で、地域によりその量は異なり、一般に赤道付近が少なく、中高緯度が多い。また、季節でも異なり、日本では春に多く、夏から秋にかけて少なくなっている¹³⁾。有害紫外線モニタリングネットワークでは各観測地域における前日の NASA（米国航空宇宙局）提供の TOMS（Total Ozone Mapping Spectrometer）のデータを使用している。これは、数日でオゾン全量に変化するためであるが、今回は緯度が長野市及び松本市と比較的近い茨城県つくば市における気象庁の 2011 年 1 月～2017 年 12 月の各月平均オゾン全量¹⁴⁾の 7 年平均値を使用した。

2.3.3 CIE 紫外線量

長野市及び松本市の UV-B 及び UV-A の 1 時間積算値から以下の計算式（係数は 2012 年 6 月の値、O₃ 全量の単位は atm-cm）により、両地点における 1 時間ごとの CIE（315）及び CIE（400）を算出して UV インデックス求めた。

(1) CIE（315）：波長領域 280～315nm の CIE 紫外線量 (W/m²)

$$\text{CIE (315)} = \text{MS_UV-B} \times \alpha \times (\text{air mass} \times \text{O}_3 \text{ 全量}) \\ \beta \times \exp(\gamma \times \text{air mass} \times \text{O}_3 \text{ 全量})$$

MS_UV-B=帯域型紫外線計による 1 時間積算値(k J/m²) × 1000 / 3600

$\alpha = 0.0345, \beta = -0.8232, \gamma = 0.4249$

(2) CIE (400) : 波長領域 315 ~ 400nm の CIE 紫外線量 (W/m²)

$CIE(400) = MS_UV-A \times \sigma \times \exp(\varepsilon \times \text{air mass})$

MS_{UV-A}= 帯域型紫外線計による 1 時間積算値 (kJ/m²) × 1000 / 3600

$\sigma = 0.00134, \varepsilon = -0.1617$

(3) UV インデックス

(1)・(2) の合計値 (W/m²) に定数の 40 を掛けて指標化した。

UV インデックス = {CIE (315) + CIE (400)} × 40

3 結果及び考察

3.1 UV-B

長野市及び松本市の日積算 UV-B 量 (kJ/m²/day) と日積算全天日射量 (MJ/m²/day) の月平均値を図 1 に示した。UV-B の季節変動は長野市と松本市でよく一致し、最小値は両地点とも毎年 12 月で、長野市が 3.5 ~ 5.6 (平均 4.6), 松本市が 3.8 ~ 5.3 (平均 4.6), 最大値は両地点とも 2012 年の 8 月を除き 7 月で、長野市が 33 ~ 38 (平均 36), 松本市が 30 ~ 35 (平均 32) で、最小値の差は少ないが、最大値は長野市が松本市より多い傾向がみられ

た。また、全天日射量の季節変動は UV-B とほぼ一致しており、最大値は UV-B と同じく長野市が多かった。なお、長野市と松本市の UV-B 量の差が 2015 年以降拡大しているが全天日射量の差では説明できなかった。理由としては、測定波長領域が 285 ~ 2800nm の全天日射量に対して、波長領域 280 ~ 315nm の UV-B は大気中のエアロゾルによる散乱・吸収や周囲の建物、地表面及び雲などの反射による影響が大きい¹⁵⁾ ことから、測定環境により全天日射量との相関が低くなったと考えられる。

長野市、松本市及び気象庁による那覇、つくば、札幌について、UV-B 量¹⁶⁾ と全天日射量¹⁷⁾ の関係を図 2 に、緯度との関係を図 3 に示した。図 2 において、那覇の観測値を 1 とした場合の長野市及び松本市の日積算 UV-B 量の比は、夏季平均 (6-8 月) で長野市 0.99, 松本市 0.89, 冬季平均 (12-2 月) で長野市 0.55, 松本市 0.58 で、長野市の夏季は那覇と同程度だった。図 3 で示すように高緯度になるに連れて UV-B は減衰しているが、これは高緯度ほど air mass が大きく、更に、日本周辺ではオゾン全量も多くなるためと考えられる。また、冬季の UV-B 量が少ない理由は太陽高度の低下に伴う air mass の増大とオゾン全量が夏季に比べて冬季は多いためと考えられる。なお、夏季の長野市及び松本

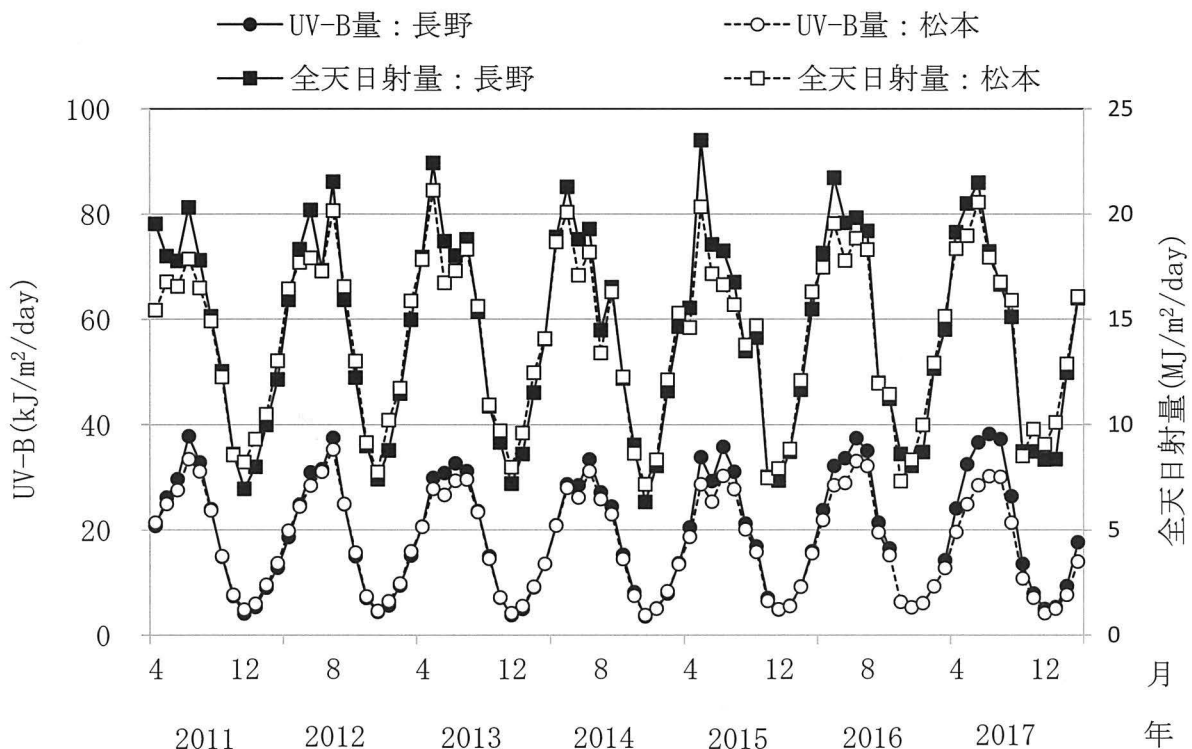


図 1 長野市及び松本市の日積算 UV-B 量と日積算全天日射量の月平均値

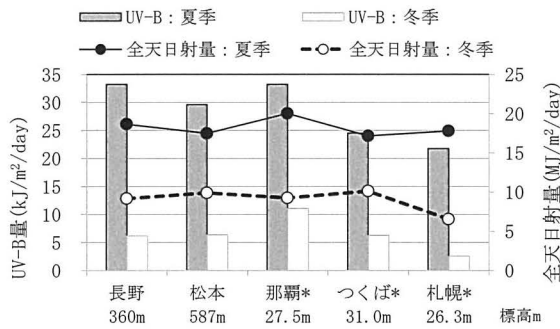


図2 UV-B量と全天日射量(夏季・冬季)
 夏季:6-8月, 冬季:12-2月 期間平均日積算値
 (2011.4-2018.3) *気象庁^{16) 17) 18)}

市はつくばとほぼ同緯度であるが標高が高い (air mass が小さい) ことから近似式より多かったと考えられる。しかし、長野市より標高が約 220 m 高い松本市が長野市より少なかった。これは、全天日射量が長野市より松本市の方が若干少なかったことも一因と思われるが(図2)、前述のとおり測定場所の周辺環境の差による影響が大きいと考える。一方、冬季は長野市及び松本市も近似式に乗った。この夏季は近似式より高く冬季は近似式に乗る現象は既報告¹⁹⁾でも確認されており、両都市の特徴と考えられる。

3.2 UVインデックス

3.2.1 オゾン全量の影響

UVインデックスの算出で使用したオゾン全量をつくば市の月平均オゾン全量を基に、月ごとに7年平均値を求めて使用したが、オゾン全量は日変動があることからどの程度UVインデックスに影響するのか検討した。つくば市における2015年の日変動が大きい3月と小さい9月の日別オゾン全量²⁰⁾を使用して、同年における長野市の3月と9月の快晴日における最大UV-B量(両月とも12時の1時間積算値)からUVインデックスを試算した。3月と9月の日別オゾン全量はそれぞれ約300~440(m atm-cm)、約260~330(同)で、このオゾン全量から試算したUVインデックスは3月が5.8~6.9、9月が9.0~10.2となり、UVインデックスの誤差は約1.2以下と考えられた。また、年ごとの月平均オゾン全量の変動によるUVインデックスの誤差を検討した。つくば市の2011年から2017年における各月ごとの月平均オゾン全量の最大値、最小値及び平均値を使用して月ごとにUVインデックスを試算した。なお、試算は欠測が少ない2015年の長野

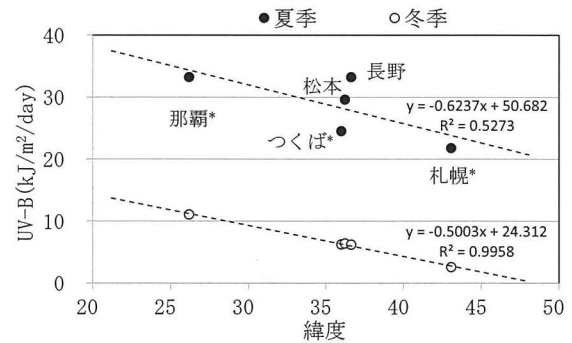


図3 UV-B量と緯度(夏季・冬季)
 夏季:6-8月, 冬季:12-2月 期間平均日積算値, (2011.4-2018.3) *気象庁¹⁶⁾

市における air mass と UV-B 及び UV-A のデータを使用した。その結果、月平均オゾン全量の最大値及び最小値から試算した UV インデックスは同平均値から試算した UV インデックスに対して季節で異なるが 95 ~ 105% の範囲となり、年ごとの月平均オゾン全量の変動による UV インデックスの誤差は少なかった(図4)。

3.2.2 CIE (315) と CIE (400)

図5にUV-A及びUV-Bの日積算値(kJ/m²/day)の月平均を示した。なお、長野市の2014.2-6、2016.11-2017.2及び2017.7-2018.1はUV-B・Aの一方が欠測のため除外した。長野市及び松本市のUV-AはUV-Bと同様な季節変動を示した。UV-AとUV-Bの最大値は両地点とも7月で、UV-Aが1025(長野市)及び943(松本市)、UV-Bが34.7(長野市)及び31.4(松本市)だった。UV-Bは両地点ともUV-Aの約1%(冬季)~約3%(夏季)だった。しかし、CIE紫外線量の日積算値はUV-Bが皮膚に対する影響度が大きいことからCIE(315)がCIE(400)より多かった(図6)。両地点ともCIE紫外

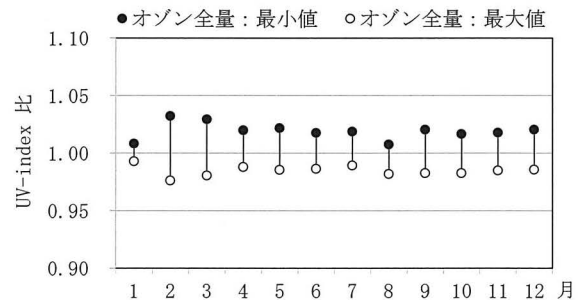


図4 つくば市における2011年から2017年のオゾン全量月平均値の最大値、最小値及び平均値から試算したUVインデックスの比
 平均値からのUVインデックス=1, 長野市(2015)

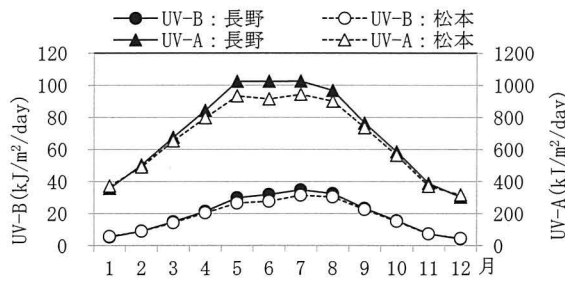


図5 長野市及び松本市の紫外線量 (UV-B・A) 月平均日積算値 (2011.4-2018.3)

線量に占める CIE (315) の割合は季節で異なり、5月から9月が70%以上、冬季の12月及び1月が約50%だった。

3.2.3 UVインデックスの国内比較

2011年4月から2018年3月における日最大UVインデックスの月平均値を気象庁の観測地点²¹⁾と比較した(図7)。なお、月平均値は3.2.2で示した欠測月及び気象庁で観測が行われなかった月を除いて求めた。また、気象庁の値はBrewer分光光度計による正時の観測値であるのに対して、長野市及び松本市は帯域型紫外線計による正時前の1時間積算値から求めた値である。長野市及び松本市の日最大UVインデックスの月平均値は気象庁の国内観測地点と同様な季節変動を示し7月が最大で12月が最小だったが、変動幅が少し大きかった。最大だった7月の月平均値は那覇>長野市>松本市>つくば>札幌の順だった。また、日最大インデックスの月平均値が8以上は長野市及び松本市が7月と8月、那覇は6月から9月で、つくば及び札幌はなかった。那覇のUVインデックスを1とした場合の長野市及び松本市のUVインデックスの比は、夏季平均(6-8月)が長野市0.86、松本市0.82、冬季平均(12-2

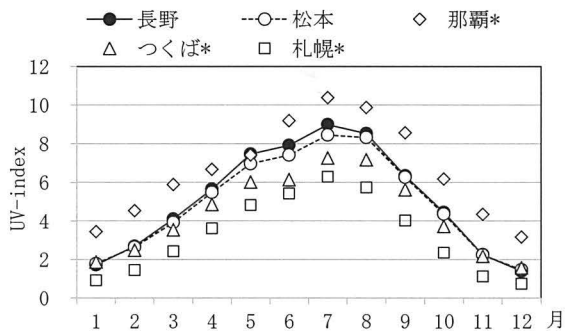


図7 UVインデックスの季節変動と地点比較 日最大UVインデックスの月平均値 長野・松本・つくば* (2011.4-2018.3) 札幌*・那覇* (2011.4-2018.1) *気象庁²⁰⁾

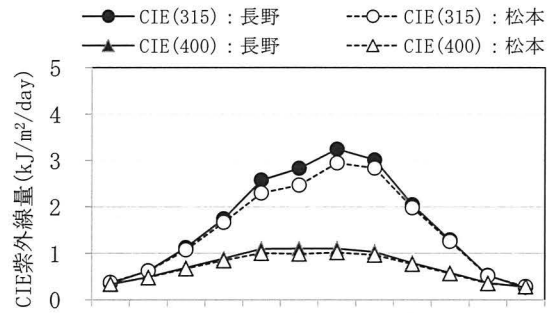


図6 長野市及び松本市のCIE紫外線量 (CIE315・400) 月平均日積算値 (2011.4-2018.3)

月)が長野市0.52、松本市0.53だった。この比は3.1において日積算UV-Bで比較した値より小さいが、これは、長野市及び松本市のair massが那覇より大きく、また、那覇²²⁾より多いつくばのオゾン全量を用いてUVインデックスを算出したためである。

UVインデックスの運用ガイド(WHO)⁵⁾及び紫外線環境保健マニュアル(環境省)⁶⁾で示されたUVインデックスの分類(表1)によると、UVインデックスが8から10は「非常に強い」に分類され、日中の外出は出来るだけ控え、必ず長袖シャツを着ること等を勧めている。長野市及び松本市において、UVインデックス8以上は毎年4月から9月の正午前後にあり、10月から3月はなかった。また、UVインデックス8以上の時間を月ごとに比較すると、長野市が7月の66時間(2.1時間/日)、松本市が8月の53時間(1.7時間/日)が最大だった

表1 UVインデックスの分類

11+	極端に強い	日中の外出は出来るだけ控えよう。必ず長袖シャツ、日焼け止め、帽子を利用しよう。
8~10	非常に強い	日中は出来るだけ日陰を利用しよう。出来るだけ長袖シャツ、日焼け止め、帽子を利用しよう。
6~7	強い	安心して戸外で過ごせます。
3~5	中程度	
1~2	弱い	

UVインデックスの運用ガイド⁵⁾、紫外線環境保健マニュアル⁶⁾から作成。

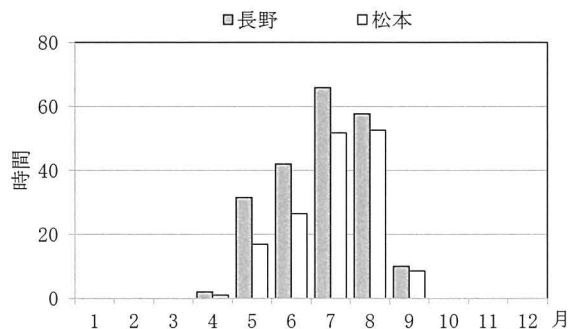


図8 月ごとのUVインデックス8以上の時間 期間平均月積算値 (2011.4-2018.3)

(図8). なお, UV インデックスの最大値は長野市が12.6(2015年7月14日12時), 松本市が12.2(2016年7月6日12時)で共に「極端に強い」に分類される紫外線強度だった。

4 まとめ

長野市及び松本市における帯域型紫外線計による2011年4月から2018年3月のUV-B及びUV-Aの測定値及びつくば市のオゾン全量データを用いてのUVインデックスの試算から以下の知見を得た。

(1) 長野市と松本市のUV-B量の季節変動はよく一致し, 日積算UV-B量の月平均値は7月(2012年は8月)が最大で, 12月が最小だった。また, 最大値は長野市が松本市より多い傾向がみられた。

(2) 気象庁の那覇における観測値を1としたUV-B量の比は夏季平均(6-8月)が長野市0.99, 松本市0.89, 冬季平均(12-2月)が長野市0.55, 松本市0.58だった。

(3) 2015年以降の長野市と松本市のUV-B量の差は大気中のエアロゾル及び測定環境の違いによることが考えられ, 今後, PM_{2.5}などの大気汚染物質と測定(周辺)環境を検討する必要がある。

(4) 帯域型紫外線計の測定値から既存の方法によりCIE紫外線量を求めたところ, CIE(315)とCIE(400)の割合が季節で異なった。CIE紫外線量は紅斑作用に基づくため, 他の影響については季節で異なることが予想された。

(5) 長野市, 松本市及び気象庁の国内観測地点で日最大UVインデックスの月平均値が最大だった7月の月平均値は那覇>長野市>松本市>つくば>札幌の順だった。

(6) 4月から9月はUVインデックスが8を超える時間があり, また, 7月と8月は日最大UVインデックスの月平均値が8以上だったことから, 屋外に出る際には十分な紫外線対策が必要であることが分かった。

最後に, 帯域型紫外線計は標準光源のNIST基準(アメリカ国立標準技術研究所)への変更により, 1998年以降に校正値が変更されたこと及び測定機器は性質上, 劣化による誤差があることが有害紫外線モニタリングネットワーク活動報告¹¹⁾で示されていることから, 既報告¹⁹⁾との経年変化の考察は行わなかった。

文 献

- 1) 環境省, 太陽紫外線に関する基礎情報, 平成29年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書: https://www.env.go.jp/earth/ozone/qa/part3_chapter1.pdf (2019年2月確認)
- 2) Farman, J. C., B. G. Gardiner & J. D. Shanklin, (1985) Large losses of total ozone in Antarctica reveals seasonal ClOx/NOx interaction. Nature, 315: 207-210
- 3) 気象庁, オゾン全量の経年変化: https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/diag_totalozn.html (2019年2月確認)
- 4) 気象庁, 紫外線の経年変化: https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/diag_cie.html (2019年2月確認)
- 5) WHO・WMO・UNEP・NIR (2002), Global Solar UV Index. A practical Guide: <http://www.who.int/uv/publications/globalindex/en/> (2019年2月確認)
- 6) 環境省, 紫外線環境保健マニュアル2015: <https://www.env.go.jp/chemi/matsigaisen2015/full.pdf> (2019年2月確認)
- 7) 気象庁, 紫外線情報: <https://www.jma.go.jp/jp/uv/> (2019年2月確認)
- 8) 気象庁, 用語解説: http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/terminfo.html#uvindex_a (2019年5月確認)
- 9) 気象庁, 日最大UVインデックス(解析値)の月間推移グラフ: https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/link_uvindex_ana_chiten.html (2019年5月確認)
- 10) 有害紫外線モニタリングネットワーク: <http://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/uv/> (2019年2月確認)
- 11) 国立環境研究所, 有害紫外線モニタリングネットワーク活動報告(有害紫外線モニタリングネットワーク事務局編)
- 12) UVインデックスの求め方, 有害紫外線モニタリングネットワーク: http://db.cger.nies.go.jp/gem/ja/uv/uv_index/outline/uvindex.html (2019年2月確認)
- 13) 気象庁, オゾンの世界分布と季節変化, https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-20ozone_avemap.html (2019年2月確認)
- 14) 気象庁, 月平均オゾン全量の数値データ表

- (つくば) : http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/ozone_monthhave_tsu.html (2019年2月確認)
- 15) 気象庁, 紫外線の性質 : https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/3-70uvindex_mini.html (2019年2月確認)
- 16) 気象庁, 日積算 UV-B 量の月平均値の数値データ表 : http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/uvb_monthhave_tsu.html (2019年2月確認)
- 17) 気象庁, 過去の気象データ・ダウンロード (日射量) : <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2019年2月確認)
- 18) 気象庁, 紫外線の観測地点 (標高) : http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/5_0station.html (2019年2月確認)
- 19) 原田勉 (2000) 長野市における紫外線 (UV-A, UV-B) の測定, 長野県衛生公害研究所研究報告, 23 : 24-26
- 20) 気象庁, 日別オゾン全量の年間推移グラフ : http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/ozone_daily.html (2019年3月確認)
- 21) 気象庁, 日最大 UV インデックス (観測値) の月平均値の数値データ表 : http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/uvimax_monthhave_tsu.html (2019年2月確認)
- 22) 気象庁, 月平均オゾン全量の数値データ表 (那覇) : https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/ozone_monthhave_nah.html (2019年2月確認)

Study of solar ultraviolet radiations in Nagano City and Matsumoto City

Tsutomu HARADA¹

¹ Atmospheric Environment Division, Nagano Environmental Conservation Research Institute, 1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan