

赤城山におけるUV-B照射量の変動特性

石井 史 河辺俊雄 高野 庸 萩原 潤

Variation of UV-B Irradiance at Akagi Mountain

Fumi ISHII Toshio KAWABE You TAKANO Jun HAGIHARA

We have monitored solar ultraviolet-B (UV-B) irradiance at Akagi Mountain and Maebasi (plain area), Gunma prefecture. In this report, the variation of UV-B irradiance at mountain is analyzed compared with that of plain during 1995. The UV-B irradiance at Akagi Mountain shows higher level distribution than plain in Spring and Summer. When it is fine weather, the highest UV-B irradiance of a day is 20% stronger than plain in July.

When it is snow in Akagi Mountain, the UV-B irradiance shows higher value than rainy day and equally level with fine day in plain. While, in the fine day of rainy season (June), the UV-B irradiance at Akagi Mountain changes irregularly like cloudy day and sometimes shows very high level value.

[キーワード]

オゾン、UV-B照射量、赤城山、前橋

ozone, UV-B irradiance, Akagi Mountain, Maebasi

緒 言

地球レベルでのオゾン層破壊は年々拡大しており、南極でのオゾンホールを始め、近年では北半球の中高緯度でのオゾン量の減少が顕著になってきている。その影響でわが国においても北海道でのオゾン減少量は1978~1997年の20年間で冬~春期にかけて5~4.6%/10年のトレンドを示している⁽¹⁾。

このようなオゾン層破壊はモントリオール議定書のアセスメントパネルによると「オゾンの減少傾向は今後数年間続くものの、その後回復に向かい、オゾン層破壊の減少傾向が見られ始めた1970年代以前の水準にオゾン層破壊が回復するのは2045年ごろ」と予測している⁽²⁾。

これはオゾン層破壊の減少はCFCなどの大気中濃度が増加していることが主因で、モントリ

オール議定書を各国が遵守することによって、オゾン層破壊物質の濃度が低下するという前提でのアセスメントである。事実、1995年末に先進国がCFCの生産全廃をしたことによって、大気中のCFC11、12の増加率は年0～2%に下がってきている。

しかし、NASAなどの研究結果によれば、2000年にオゾン層を破壊する塩素濃度がピークを迎えても、北極のオゾン層のピークは2010～2019年で、回復時期も遅れるであろうと予測している⁽³⁾。これは温室効果ガスが増加して、成層圏が寒冷化するためである。

この予測は1994年に発表されたアセスメントをはるかに上回ることになり、しかも、このシミュレーションでも観測結果を十分に説明することができず、その他にまだわからない重要な因子があることを示唆している。

この様に長期間にわたってオゾン層破壊が続くと、B領域紫外線量はますます蓄積され、人間を始めとした生態系、農作物、水産物への影響が懸念されるが、不確定要素が多いために、定量的な予測はできていない⁽⁴⁾。しかし、南極でのUV-B量はすでに沖縄の夏のそれよりも高くなっており、植物プランクトンの生産量が6～12%減少している⁽⁵⁾。また、オーストラリアでは皮膚ガンが増加し⁽⁶⁾、子ども達を紫外線から守るためのキャンペーンが国を挙げて行われている。

オゾン層破壊に伴って増加するUV-B量の測定については、すでに前号で述べたが⁽⁷⁾、世界的に測定のデータが不足している。しかし、気象庁が1990年からつくば、1991年から札幌、鹿児島、那覇で測定した結果によると、太陽角度が同じであれば、オゾンの減少に伴いUV-Bの地上照射量が増加することが確認されている⁽¹⁾。

一方竹下らは⁽⁹⁾、全天日射量、UV-A放射、UV-B放射を測定した結果、UV-B放射は大気中の分子やエアロゾルによる散乱の影響を受け、日射と比べると四季の変動や時間変動が大きいことを示している。また、UV-B放射量の平均値は全天日射量の0.14%で、季節によって変化し、冬は0.1%、夏は0.25%となり、全天日射量からUV-B放射量は推定できないために、専用の測定が必要であるとしている。

これらのことから、筆者らはUV-B量の測定は地域特性を考えた、きめこまかい測定の蓄積が必要と考え、1994年から群馬県内にB領域紫外線放射計の設置を開始した。

本論文では標高1,340mの赤城山地蔵岳付近のUV-B量を、その麓で関東平野の最北に位置する前橋のUV-Bデータと比較した。これによって、気候が変わりやすく、標高の高い場所での紫外線照射量の変動特性を分析した。

UV-B量の測定方法

測定はすでに報告した機器を用いて行った。測定地点は群馬県赤城山地蔵岳の下とその裾野に位置する群馬大学(前橋)で、1995年1月1日から12月31日までの観測データを用いた。測定地点の地理的条件については表1に示した。用いていたUV-B領域放射計(MS-210W)について

は、1997年になって測定値に0.8を乗じた補整が必要であることが測定器の製作メーカーである英弘精機より報告されたために、前号の赤城山のデータ⁽⁸⁾については本論文で訂正した。

気象は前橋については前橋地方気象台の群馬県気象月報を、赤城については大熊一彦氏による観測ノートを参考にした。

表1 測定時点の地理的条件

	標高	緯 度	経 度
赤城	1,340m	北緯36°32'	東経139°10'
前橋	125m	北緯36°25'	東経139°03'

結 果 と 考 察

UV-B照射量の月別変動の比較

前報では赤城山と高崎のUV-B照射量を日積算値に換算して、月別変動を分析した⁽⁸⁾。しかし、UV-B照射量の日積算値は、日照時間や天候の変化によって左右されるために、単位あたりの照射量で示すことによって、より詳細にUV-B量の変動を把握することができる。赤城山と前橋で5分ごとに測定したUV-B量について、両地点の月別比較を図1に示した。

1月のUV-B照射量は0.5W前後をピークとしており、赤城山と平野部での分布に差異は見られない。2月のUV-B照射量の分布も1月に類似しているが、赤城山で日によって時々0.7~0.9Wの平均分布より高い値を示している。1、2月は前橋気象台の観測によれば、平地では湿度は低く、晴天日が多く天候が安定しているが、赤城山では気象が不安定で、積雪が観測されている。

3月にはいと最大ピークは1~1.3Wの間で分布しており、1、2月より2倍高くなる。この月も赤城山では月の半分以上で積雪が見られている。

4月になるとさらに最大ピークは高くなり、平地では1.5W、赤城山では1.9Wで、全体的に山のUV-B照射量が高くなっている。1月に比べると、紫外線量の最大ピークは前橋で3倍、赤城で3.5倍高くなっている。このころになると赤城山では降雪はなくなるが、残雪が20日過ぎまで見られる。

5月は4月よりピークが高くなり、赤城山で最大ピークが2Wを超え、平地ではそれより低めである。6月は5月と同様な推移であるが、赤城山では2W以上のピークがかなり見られた。雨量の多い月であったが、晴天になると山の紫外線量はかなり強いことが分かる。7月も6月とほぼ同様な分布をしめしているが、平地で最大UV-Bが2Wを超えるような日が見られる。このような分布は8月まで続いている。

9月になるとUV-B照射量の分布は低くなり始め、赤城山で1.8W、平地ではそれよりやや低い分布をしめしている。10月にはいと1.3W前後と9月よりやや低めであるが、赤城山では1.5W以上になる月も見られる。11月は更に低くなり、0.8W前後をピークとしている。12月は両地点とも0.5Wをピークとし、一日の変動も少ない。

以上から一日のUV-B量の変動と強度について季節的な特徴を考察すると、11、12、1、2月の

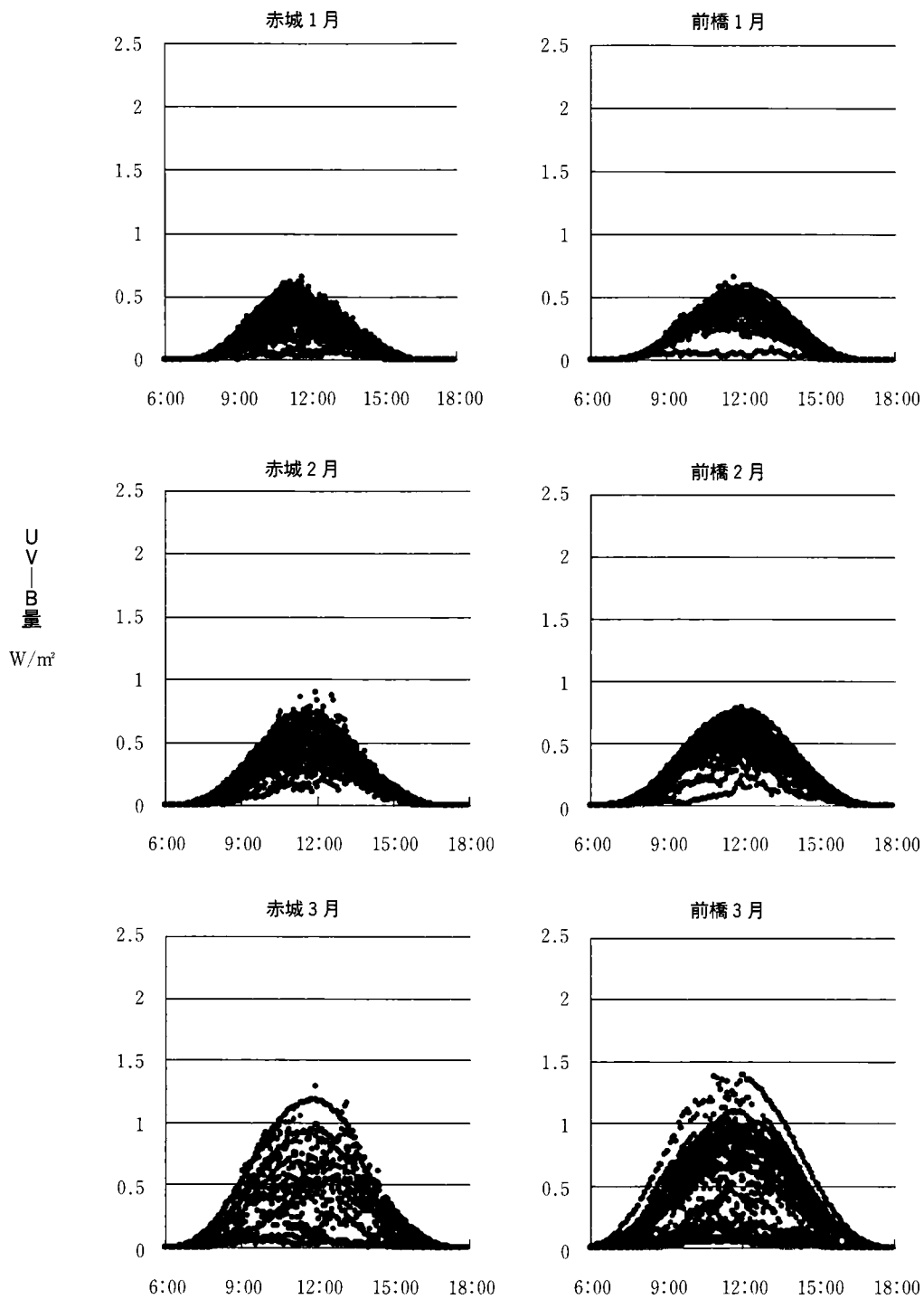


図 1 - 1 UV-B 照射量の変動

赤城山におけるUV-B照射量の変動特性

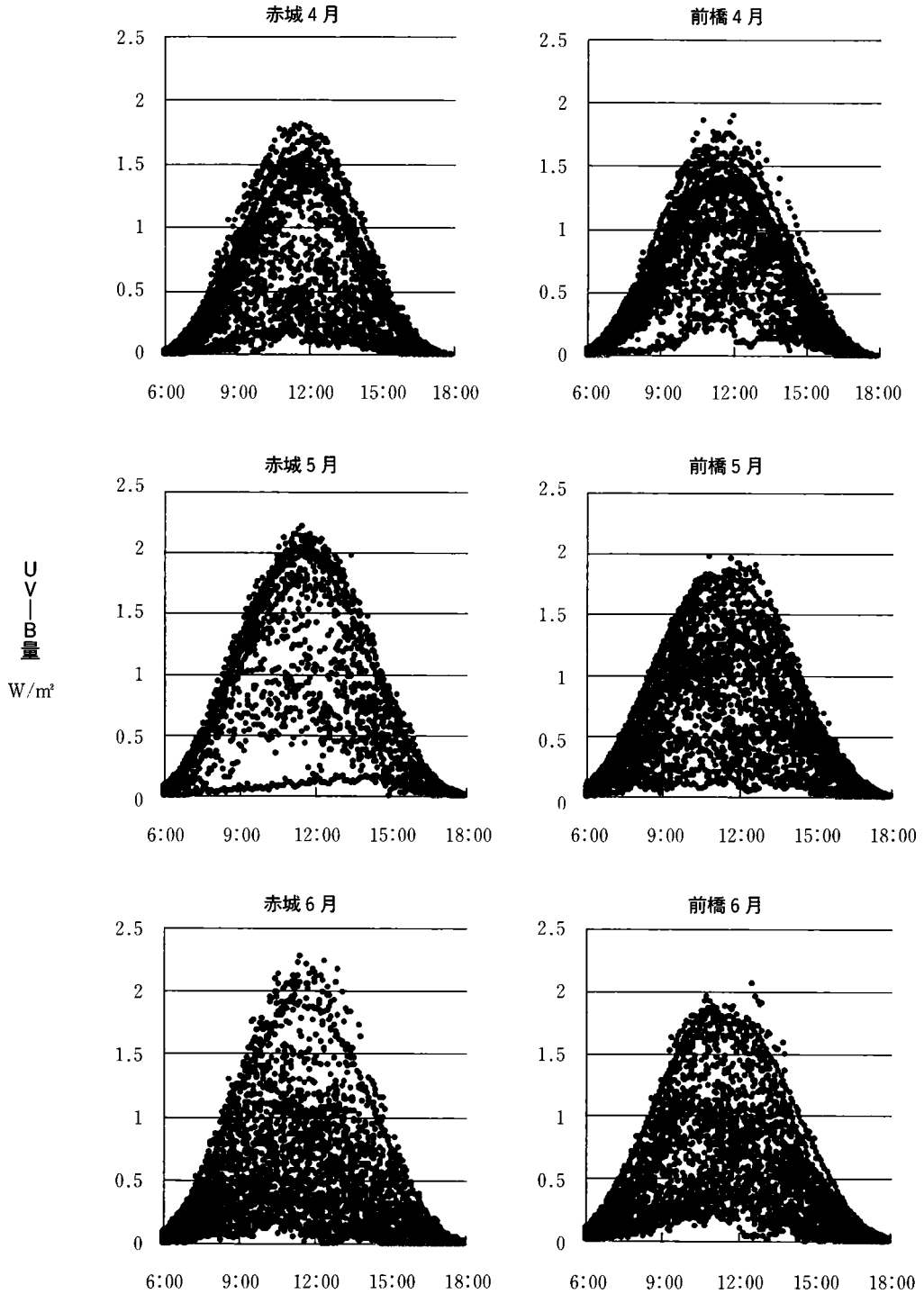


図1-2 UV-B照射量の変動

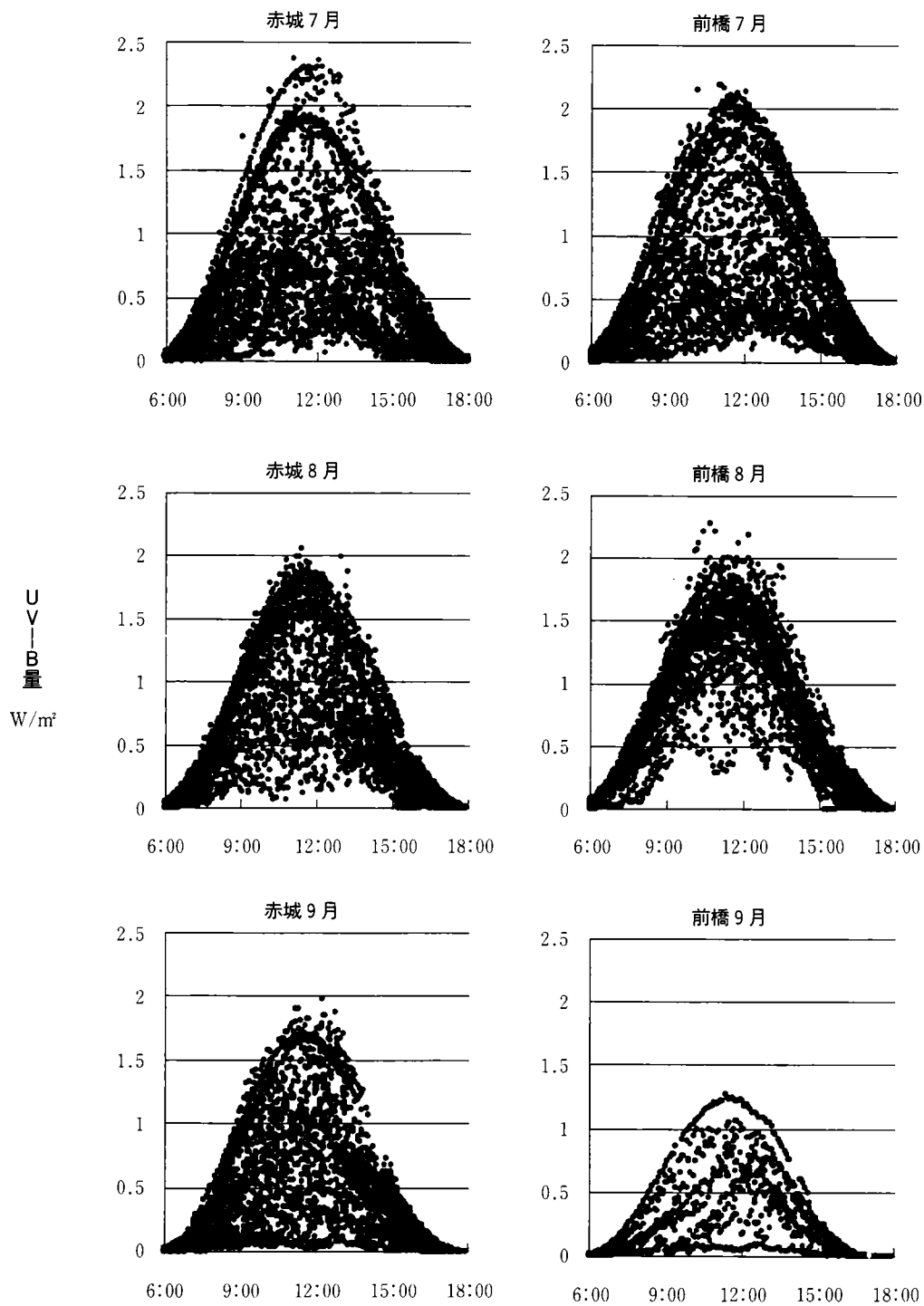


図 1 - 3 UV-B 照射量の変動

赤城山におけるUV-B照射量の変動特性

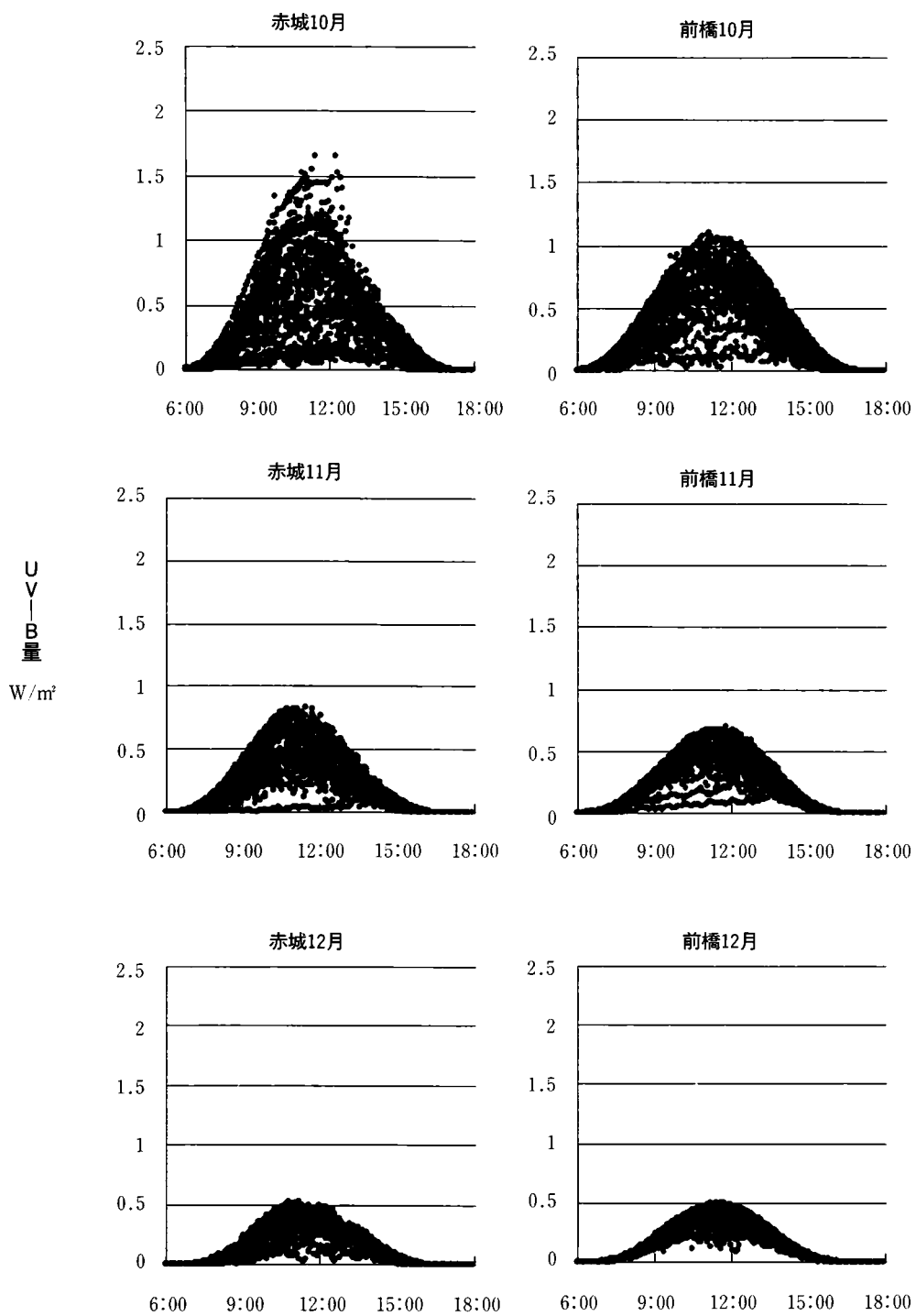


図1-4 UV-B照射量の変動

冬季は0.5W前後であるが、赤城山では雪の多い2月にこれより高い値を示す日がスポット的に見られる。

3月になるとUV-B量は急激に増加を始め、4月から8月まで2W前後のピークを示すようになる。4、5月と6、7、8月との違いは、夏場になると2W以上のUV-B量がスポット的に見られるようになることである。特に、山では5月から2W以上を示す日が見られ、雨期の6月でも2.3Wを観測している。

夏場のUV-B照射量は9月になるとやや下がるが、10月半ば頃になるとその違いは顕著になる。このように季節的には4月から9月まではUV-B照射量のピークは1.5～2Wの間にあり、冬場との差は3から4倍である。また、一日のUV-B照射量の変動は春から夏にかけて大きく、冬場は小さい。

このように、山のUV-B照射量は平地に比べて全体的に高い分布を示し、春から夏にかけて特に顕著であることがわかった。

晴天日のUV-B照射量の比較

上述のように、春から夏にかけて赤城山ではUV-B照射量が前橋に比べて高い値を示した。このように、平地より山間部でUV-B量が大きくなるのは、標高が高くなると大気層が薄くなるためとされている。高度が上がることによるUV-B量の増加率は最初の1kmについては6.34%/km、その上では高度が上がるとともに小さくなるという報告がある⁽¹⁰⁾。測定地点の赤城と前橋の標高差は1.2kmである。山でのUV-B照射量の一日の分布を平野部と比較し、標高差による増加率を検討してみる。

同緯度にあっても、2地点の天候は大きく異なり、特に赤城の天候は一日のうちでも変わりやすいために、UV-B照射量の分布と増加率は大気が安定している快晴時の一日の変動を各季節から抽出した。図2に一日のUV-B照射量の変動を比較した。最大UV-B照射量と日積算値については表2に示した。

UV-B量照射量が低い冬場の2月11日は最大ピークが赤城0.68W、前橋0.02Wで、赤城山は前橋より9.5%高くなっている。しかし、日積算値で計算すると、両地点とも1.6kJとなり一日のUV-B照射量の差はなくなる。

UV-B照射量が上がり始める春先の3月20日の最大ピークは赤城1.2W、前橋1.1Wである。赤城山は前橋より9%高い値を示す。日積算値では赤城が21.6kJ、前橋が20.6kJで、赤城が前橋より5%高い。

更に紫外線が強くなる5月18日の最大ピークは赤城山2W、前橋1.8Wである。赤城山の最大ピークは前橋より11%高くなっている。日積算値で比較すると、赤城が42.4kJ、前橋が39.8kJとなり、赤城山は一日の照射量が前橋に比べて6.5%高いことになる。

最も紫外線量が多くなるのは夏至頃であるが、6月は天候が不順なために、これよりあとの7

赤城山におけるUV-B照射量の変動特性

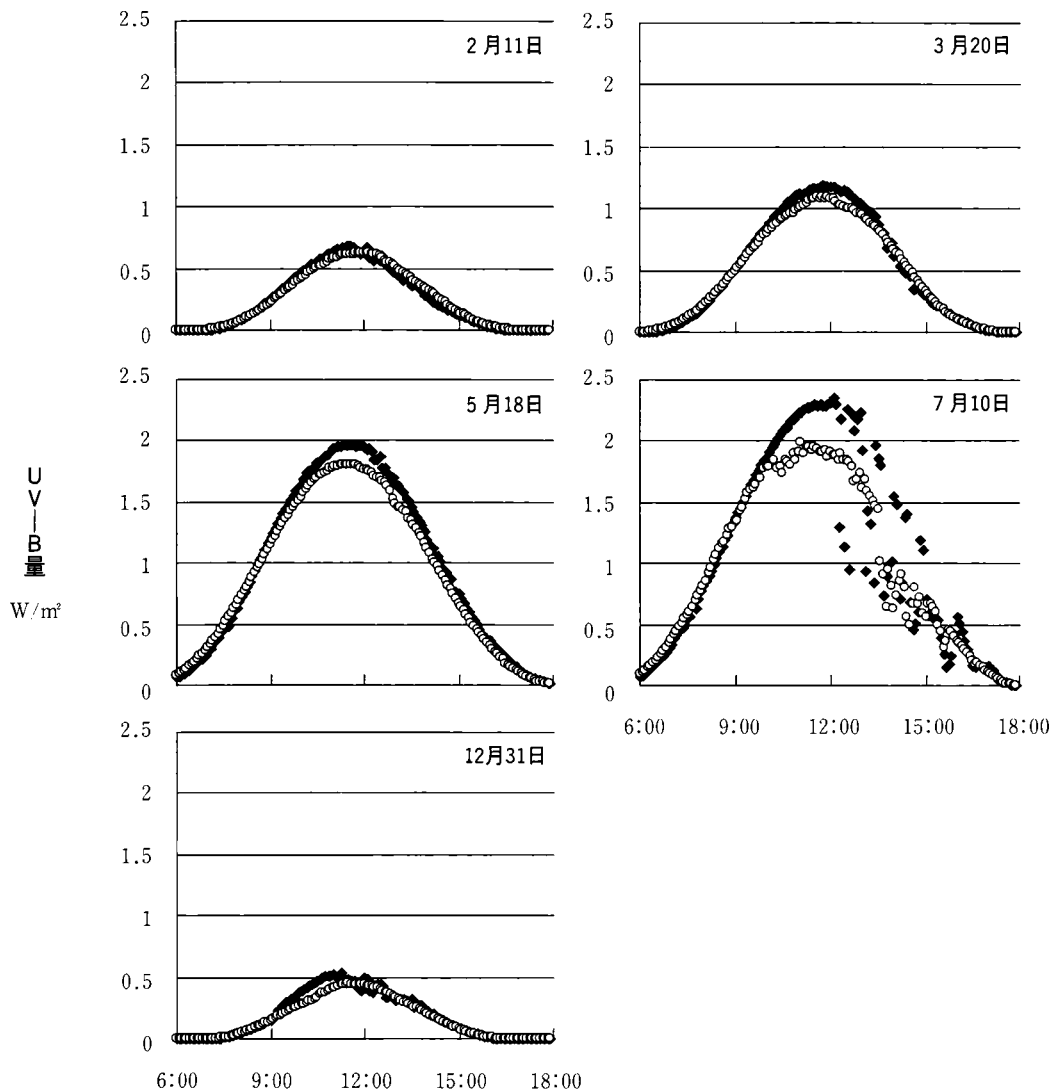


図2 晴天時におけるUV-B照射量 (◆：赤城、○：前橋)

表2 晴天日の最大UV-B照射量と日績算値

	赤 城		前 橋		増 加 率	
	最大UV-B量 (W/m ²)	日績算値 (kJ/m ²)	最大UV-B量 (W/m ²)	日績算値 (kJ/m ²)	最大UV-B量 (%)	日績算値 (%)
2月11日	0.68	10.65	0.62	10.61	9.5	0.4
3月20日	1.20	21.59	1.10	20.58	9.0	5.0
5月18日	2.00	42.42	1.80	39.77	11.0	6.5
7月10日	2.40	45.88	2.00	42.18	20.0	8.8
12月31日	0.51	7.91	0.45	6.99	18.0	13.2

$$\text{増加率} = \frac{\text{赤城山} - \text{前橋}}{\text{前橋}} \times 100$$

月10日のUV-B量を検討した。赤城山で最大2.4W、前橋で2Wであった。これは年間を通してもかなり高い照射量である。日積算値は赤城山45.88kJ、前橋42.18kJであった。前橋と比較すると、最大UV-B照射量で赤城山は20%、日積算値で8.8%強くなっており、夏山には注意が必要であることが分かる。

これに対して、紫外線量が1年間で最も低くなる、冬至の頃の12月31日では最大ピークが赤城山で0.51W、前橋で0.45Wである。赤城山は前橋に比べて18%UV-B量が高くなっている。夏至の頃には比べると最大照射量は約1/5、日積算値では約1/6に減少している。

このように快晴時には山頂と麓では紫外線照射量の最大ピークは9~20%の差が見られることが分かる。これに対して日積算値で比較すると、0.4~8.8%の差となる。特にUV-B照射量が高い夏山では、平地に比べて2割も高くなることが分かった。

雪によるUV-B照射量への影響

赤城山とその麓では、天候が大きく異なり、前述のように両地点が一致して快晴の日は僅かである。特にこの違いが大きいのは冬における降雪量である。赤城山は12月から4月半ばまで、降雪が見られ、この間地上は雪で覆われている。

竹下らはUV-B放射の散乱成分は最も少ない場合でも約60%で、日射やUV-Aに比較して散乱放射の割合が大きいとしている⁽⁹⁾⁽¹¹⁾。これに加えて、積雪面の反射率は平均的な反射率と比較して大きい⁽¹⁾。

このような雪の影響を検討するために、赤城山で降雪の多かった3月のデータを用いて、雪の影響や雨や晴天時と比較して、図3に示した。最大UV-B照射量と日積算値については表3に示した。

3月11日は赤城山では42mmの降雪が見られ、積雪量が152mmに達した。一方、前橋では一日晴れていた。この日のUV-B照射量の変動は、前橋では0.97Wをピークとした、晴天時特有の変動曲線を示した。一方、赤城山は雪が降っていたにもかかわらず、変動は見られるが、晴天時の前橋と同じ程度のUV-B照射量であった。快晴日であった3月20日の同地点での最大UV-B照射量は1.19Wで、これと比較しても大きな差はないことがわかる。日積算値は赤城山13.56kJで、晴天であった前橋(16.69kJ)の80%であった。

また、3月18日は赤城では雪時々雨、前橋では雨であった。前橋では0.13Wという低い紫外線量で推移しており、3月20日の快晴日の最大UV-B照射量の11%であった。一方、赤城では0.44Wまでになり、3月20日の快晴日の37%であった。日積算値は赤城4.9kJ、前橋1.8kJで、3倍近い差が見られた。赤城の降雪日(11日)と前橋の降雨日(18日)とを比較すると、時間帯によっては最高10倍の差が見られた。

このように降雪日のUV-B照射量は雨天日より遙かに高くなり、晴天日に近い量を示すことがあり、雪山での紫外線には注意をする必要がある。

赤城山におけるUV-B照射量の変動特性

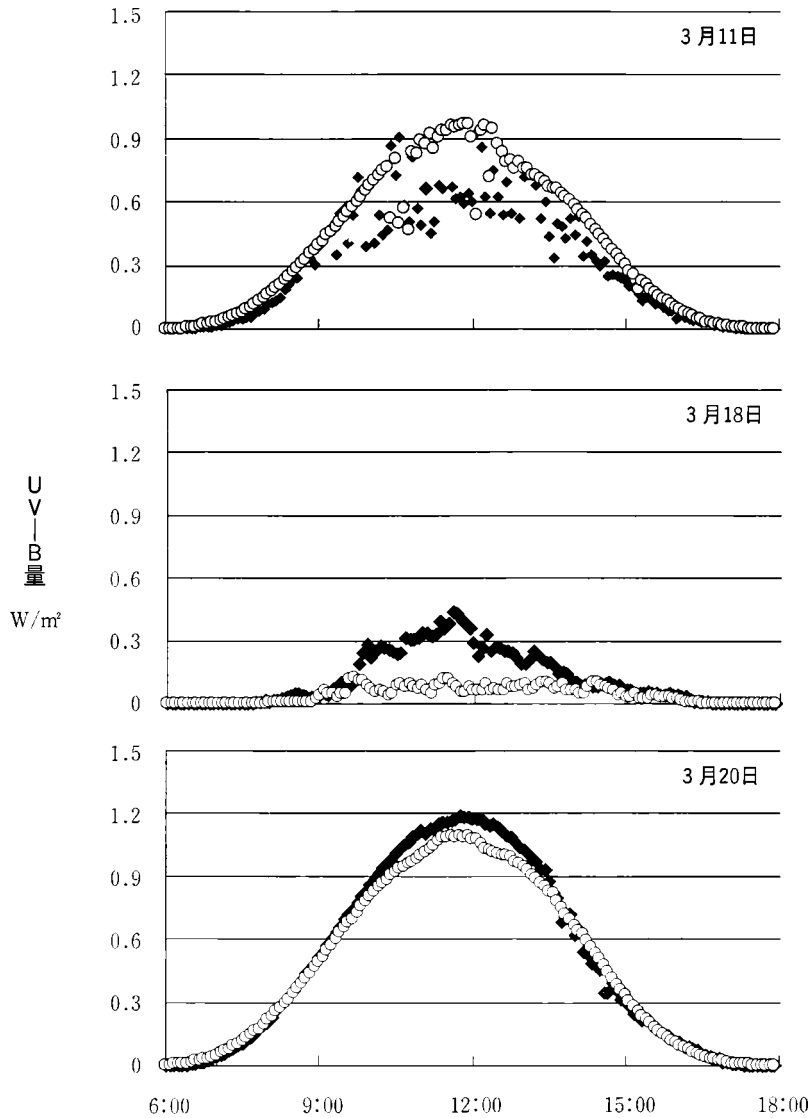


図3 雪・雨・晴天日のUV-B照射量の比較 (◆：赤城、○：前橋)

表3 雪によるUV-B照射量への影響

地点	3月11日			3月18日			3月20日		
	天候	UV-B量 (W/m ²)	日績算値 (kJ/m ²)	天候	UV-B量 (W/m ²)	日績算値 (kJ/m ²)	天候	UV-B量 (W/m ²)	日績算値 (kJ/m ²)
赤城	雪	0.94	10.65	雪時々雨	0.44	4.94	快晴	1.19	21.59
前橋	晴れ	0.97	10.61	雨	0.13	1.76	快晴	1.09	20.58

(注) UV-B量は一日の最大値を示した。

梅雨時のUV-B照射量

平地と山間部での気象の違いは、降雨量である。6月は太陽角度からUV-B量が最も多い時期であるが、雨の日が多いために、紫外線量は少なくなっている。そのような季節の梅雨の晴れ間と曇日のUV-B量の変動を図4にした。最大UV-B量と日積算値は表4に示した。

6月11日は赤城山では快晴であったにもかかわらず、10時ごろから1.74Wを記録した後は、UV-B量が低下して、曇や雨の日のような不規則な分布を示している。一方、6月15日は曇で、変動が激しいが、正午頃には2.27Wという高いUV-B量を記録した。また、6月17日は晴れていたが、低いUV-B照射量で推移していた。しかし、正午頃には2Wを超えるUV-B量をスポット的に記録し

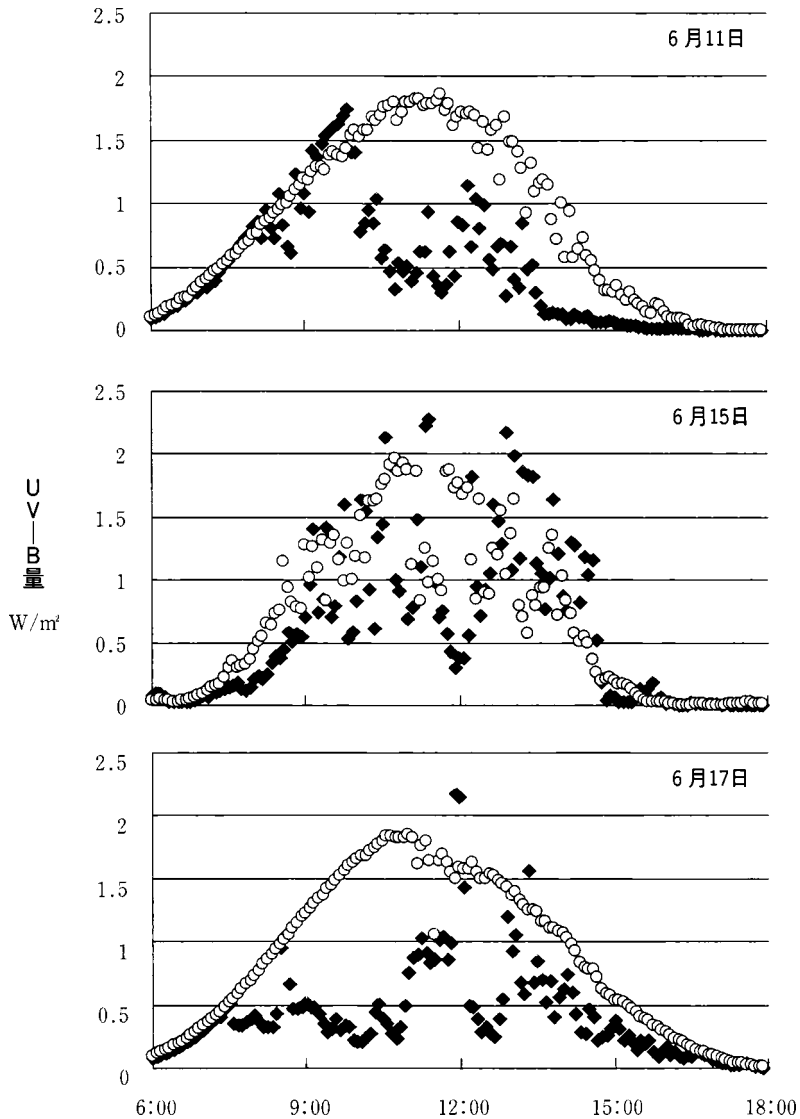


図4 梅雨時のUV-B照射量の変動 (◆：赤城、○：前橋)

赤城山におけるUV-B照射量の変動特性

表4 梅雨時のUV-B量

地 点	6 月 11 日			6 月 15 日			6 月 27 日			6 月
	天候	UV-B量 (W/m ²)	日績算値 (kJ/m ²)	天候	UV-B量 (W/m ²)	日績算値 (kJ/m ²)	天候	UV-B量 (W/m ²)	日績算値 (kJ/m ²)	総雨量 (mm)
赤 城	快晴	1.74	19.87	曇	2.27	26.11	晴	2.18	17.95	490
前 橋	晴・曇	1.86	29.21	曇・晴	1.96	29.21	晴	1.86	38.52	243

(注) UV-B量は一日の最大値を示した。

ている。これに対して、前橋では6月11日と17日の晴天時には正午頃をピークとした変動の少ないカーブを描いて推移していた。

6月に一日中晴天日であったのは、赤城山で4日間、前橋で6日間だけで、後は曇か雨であった。この月の降雨量は赤城で490mmに達し、前橋の243mmと比べると、2倍の差があった。このように雨量が多いと、晴天時には大気中に水分が蒸発し、紫外線に影響を及ぼすと考えられる。このような状態は、周囲の環境にも関係しており、赤城では木に覆われて、保水力があり、徐々に降った雨が蒸発するが、前橋ではコンクリートが多く、降った雨はすぐに乾燥してしまうためと考えられる。

このような気象の変化に富んだ状況では、短い間隔で測定することによってのみ、瞬間的なUV-B量を把握することができることがわかる。

結 論

1995年の赤城山とその麓の前橋で、5分ごとに測定したUV-B照射量を比較することによって、標高差や天候による山のUV-Bの変動特性を解析した結果、次の傾向を見ることが出来た。

1. 山のUV-B照射量は平地に比べて、全般的に高い分布を示し、春から夏にかけて特に顕著であった。
2. 快晴時には山では平地に比べて最大UV-B照射量が高く、夏山では平地より20%強いUV-B量になることがある。
3. 降雪日のUV-B照射量は雨天日より10倍近く高くなり、平地の晴天日とほぼ等しい量となる。
4. 梅雨の合間の晴天日には山のUV-B照射量は平地に比べて乱高下の激しい、不規則な分布を示し、瞬間的には平地より高くなることもある。

謝辞

赤城でUV-B測定機とデータの管理、および気象情報を提供して下さった大熊一彦氏とその御家族に心より感謝します。また、この研究に必要な費用の一部は高崎経済大学特別奨励金によるものです。

(いしい ふみ・高崎経済大学地域政策学部教授)

(かわべ としお・高崎経済大学地域政策学部教授)

(たかの よう・群馬大学教育学部教授)

(はぎわら じゅん・東京大学大学院医学系研究科博士課程)

文献

- (1) オゾン層観測報告：1997，気象庁、日本気象協会、1998
- (2) Scientific Assessment of Ozone Depletion：1994,WMO,1995
- (3) Drew T. Shindell et al.: Increased polar stratospheric ozone losses and delayed eventual recovery owing to increasing greenhouse-gas concentrations, *Nature*, 392, 589-592, 1998
- (4) Environmental Effects of Ozone Depletion：1994 Assesment, UNEP,1994
- (5) R.C. Smith et al.: Ozone Depletion-Ultraviolet Radiation and Phytoplankton Biology in Antarctic Waters-, *Science*, 255, 952-958, 1992
- (6) MacLennan R. et at., Increasing Incidence of Cutaneous Melanoma in Queensland, Austraria : J. National Cancer Institute, 16, 1427-1432, 1992
- (8) 石井史、河辺俊雄、西園大実：高崎市と赤城山における地上到達UV-B照射量の変動、高崎経済大学論集 39, 1996
- (9) 竹下集ら：太陽紫外線放射の変動解析、東海大学紀要工学部 33, 91-100, 1993
- (10) Long C.S. et al.: Ultraviolet index forecasts Issued by the National Weather Service, *Bull American Mete. Society*, 729-748, 1996
- (11) Sasaki M. et al.: Ground-Based Observation of Biologically Active Solar Ultraviolet-B Irradiance at 35 N Latitude in Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, 45, 473-485, 1993