

4 紫外域日射の状況

4 - 1 紫外域日射の特性

波長280～315nmの太陽光(日射)であるB領域(UV-B)紫外域日射の地上への到達量は、太陽高度角に大きく依存し、一般的に一日のうちでは太陽の正中する時刻に最も大きく、一年では夏に大きく冬に小さい。また、オゾン、雲、エアロゾルによる吸収や散乱の影響を強く受けて、地上への到達量は大きく変動する。

図4-1-1に、紫外域日射量とオゾン全量との関係を示す。左図に示したものは、観測開始から2003年までのデータのうち、太陽高度角が23度で、晴天時かつ火山噴火による二酸化硫黄の影響を受けていないものを用いている。オゾン全量に対する紫外域日射の変化は、290～315nmの波長積分値であるUV-B量の場合に、オゾン全量が1m atm-cm増加すると約0.5%減少する。この関係について放射伝達モデル(Aoki, 2002)を用いて詳細に調べた関係を中図と右図に示す。中図はUV-B量に関するもの、右図はCIE紫外域日射量(4-2-2節参照)に関する計算結果である。これによれば、太陽高度角が低くなるほど、オゾン1m atm-cmあたりのUV-B量の変化率は大きくなること分かる。これは、一般的に太陽高度角が小さいほど地表に到達する太陽光はオゾン層を斜めに通過し、オゾンによる吸収が大きく影響するためである。太陽高度角が23度の場合、放射伝達モデルから求めた、オゾン1m atm-cmあたりのUV-B変化率は約0.5%となり、観測から得

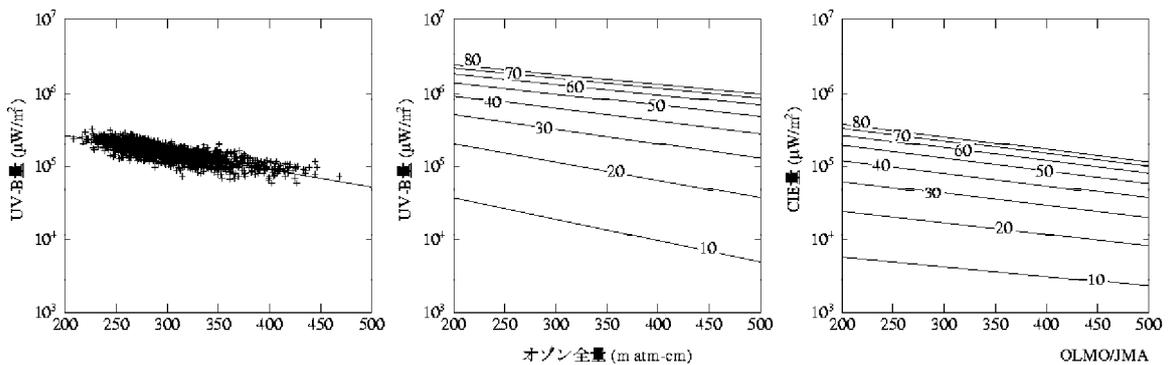


図4-1-1：オゾン全量とUV-B量及びCIE量との関係

左図は、観測開始から2003年までの太陽高度角23度、晴天時、二酸化硫黄の影響がない日のオゾン全量とUV-B量の関係。実線は観測データに適用した回帰直線。中図及び右図は、放射伝達モデルから得られたオゾン全量とUV-B量及びCIE量の関係。図中の数字は太陽高度角を示す。

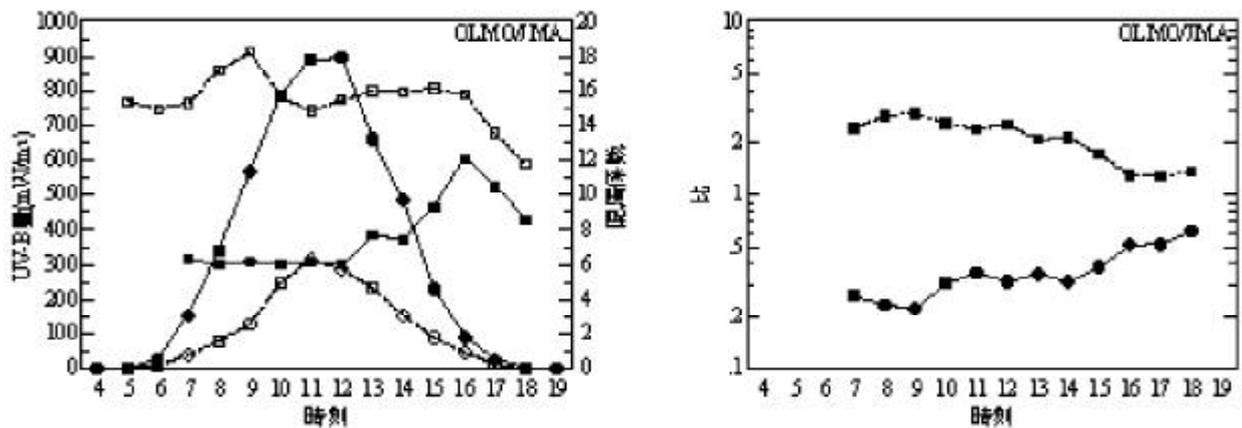


図4-1-2：札幌の5月21日、22日のUV-B積算量と大気混濁係数(左)と両日の比(右)

左図の---は21日のUV-B量、---は22日のUV-B量、---は21日の大気混濁係数、---は22日の大気混濁係数を示す。右図の---は22日のUV-B量を21日の同時刻のUV-B量で割ったもの、---は22日の大気混濁係数を21日の同時刻の大気混濁係数で割ったもの。

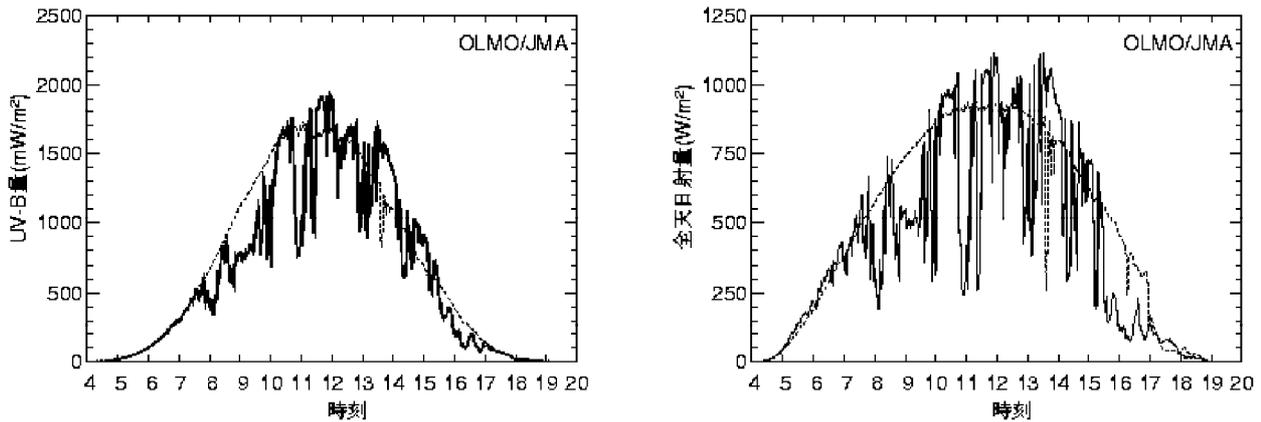


図4 - 1 - 3 : つくばにおける 1997 年 7 月 6 日、9 日の UV - B 量と全天日射量

左図はUV-B量を、右図は全天日射量の1分値を示す。両図とも、実線は上層雲の多かった1997年7月9日の時系列を、点線は晴れていた1997年7月6日の時系列を示す。

られた変化率と一致していた。また、CIE紫外域日射量については、UV-B量と比較して太陽高度角が高い場合は短波長側の影響を受けやすく、太陽高度角が低い場合は長波長側の影響を受けやすいことから、UV-B量のような太陽高度角による明瞭な差は現れていない。

紫外域日射はエアロゾルの濃度によっても強度が変化する。2003年5月にシベリアの森林火災の煙により、北日本の日照時間が大きく減少した(気象庁、2004)。図4 - 1 - 2は札幌の5月21、22日のUV-B量と直達日射量から算出した大気混濁係数の時間変化を示す。21、22日はともに雲がない状況であったが、21日のUV-B量の日最大値が12時に895mW/m²であったのに対し、22日のUV-B量の日最大値は11時の314mW/m²で、21日の日最大値の35%しかなかった。21日、22日のUV-B量の比と大気混濁係数の比を見ると、大気混濁係数の比は時間と共に小さくなっている。一方、UV-B量の比は時間と共に大きくなっていることがわかる。これは、エアロゾル量が少なくなると、UV-B量が多くなることを示している。なお、21日のオゾン全量は403m atm-cm、22日は394m atm-cmでUV-B量へのオゾン全量の変化の影響は小さかった。

最後に雲がUV-B量に及ぼす影響について示す。雲は太陽光を遮るため、雲量や雲の状態、つまり天気の変化もUV-B量に影響を与える重要な要素となる。ただし、雲は太陽光を遮るばかりでなく、雲が全くないときよりも散乱効果により紫外域日射を増加させる場合もある。例として、つくばにおいてCIE毎時日射量の観測開始以来の最大値を記録した事例について図4 - 1 - 3に示す。1997年7月9日は、朝から上層雲がほぼ全天を覆い、一部に中下層雲も出現していたが、毎時50分間程度は日照時間が観測されるほど、上層雲は薄い雲であった。左図の1分毎のUV-B量の観測結果を見ると、7月9日は6日と比較し8時前からUV-B量が少なくなっている。しかし、12時過ぎからは短時間であるが、6日よりも多いUV-B量を観測している。同様な現象は、右図に示している全天日射量の観測結果にも現れている。Crawford他(2003)によって、これと同様な現象の解析が行われている。その解析によると、雲が多い場合は散乱成分が多くなるので、太陽方向に雲がなく直達光が地上に到達する場合には、直達成分が散乱成分に加わることによりUV-B量は多くなりうることを示している。このつくばの事例も同様な理由によりUV-B量が多くなったものと推測される。また、表4 - 1 - 1に示しているこれまでの毎時日射量の最大値を観測した事例について調べたところ、全ての事例で8割以上雲に覆われている状況であったことが分かった。このように、雲が多くても太陽からの直達光が地表に届く場合は、UV-B量は短時間ではあるが多くなることもある。このほか、紫外域日射は、二酸化硫黄による吸収や大気による散乱、地表での反射などにも影響され、大気汚染などとも密接な関連がある。

表 4 - 1 - 1 観測開始以来 2003 年末までに観測された紫外域日射の各要素の最大値

項 目		観 測 地 点				比
		札幌	つくば	鹿児島	那覇	那覇 / 札幌
毎時 日射量	UV-B(W/m ²) (観測日) (時刻)	1.77 1997.7.27 12:00	1.96 1995.7.13 12:00	2.34 1996.6.28 12:00	2.39 1999.6.12 12:00	1.35
	CIE(mW/m ²) (観測日) (時刻)	244 1997.7.27 12:00	276 1997.7.9 12:00	327 1996.6.28 13:00	349 1996.8.5 13:00	1.43
	300nm(mW/(m ² ・nm)) (観測日) (時刻)	9.0 1998.7.27 12:00	10.7 2000.7.30 12:00	14.4 1996.7.17 12:00	16.6 1999.7.22 13:00	1.84
日積算値	UV-B(kJ/m ²) (観測日)	39.11 1993.6.17	41.61 1999.7.27	51.52 1996.6.28	47.45 1999.6.16	1.21
	CIE(kJ/m ²) (観測日)	5.22 1993.6.17	5.67 1999.7.27	7.09 1996.6.28	6.60 1999.6.16	1.26
	300nm(J/(m ² ・nm)) (観測日)	149 2000.8.1	172 1999.7.29	241 1996.6.28	234 1996.7.17	1.57
日積算値の 月平均値	UV-B(kJ/m ²) (観測日)	26.31 1994.7	30.83 2001.7	33.76 2001.7	37.89 2003.7	1.44
	CIE(kJ/m ²) (観測日)	3.52 1994.7	4.14 2001.7	4.59 2001.7	5.17 2003.7	1.47
	300nm(J/(m ² ・nm)) (観測日)	84 1994.7	107 2001.7	133 1995.8	168 1997.7	2.00

4 - 2 国内の紫外域日射

4 - 2 - 1 2003 年の UV-B 日積算値の特徴

札幌、つくば、鹿児島、那覇において観測された2003年のUV-B日積算値とその7日移動平均値を図4 - 2 - 1に示す。2003年の紫外域日射量の状況は、札幌では5月から8月にかけて変動が大きく、7月下旬から8月中旬まで累年平均値に比べ少ない値を示す日が多かった。年最大値は6月下旬に記録した。つくばで

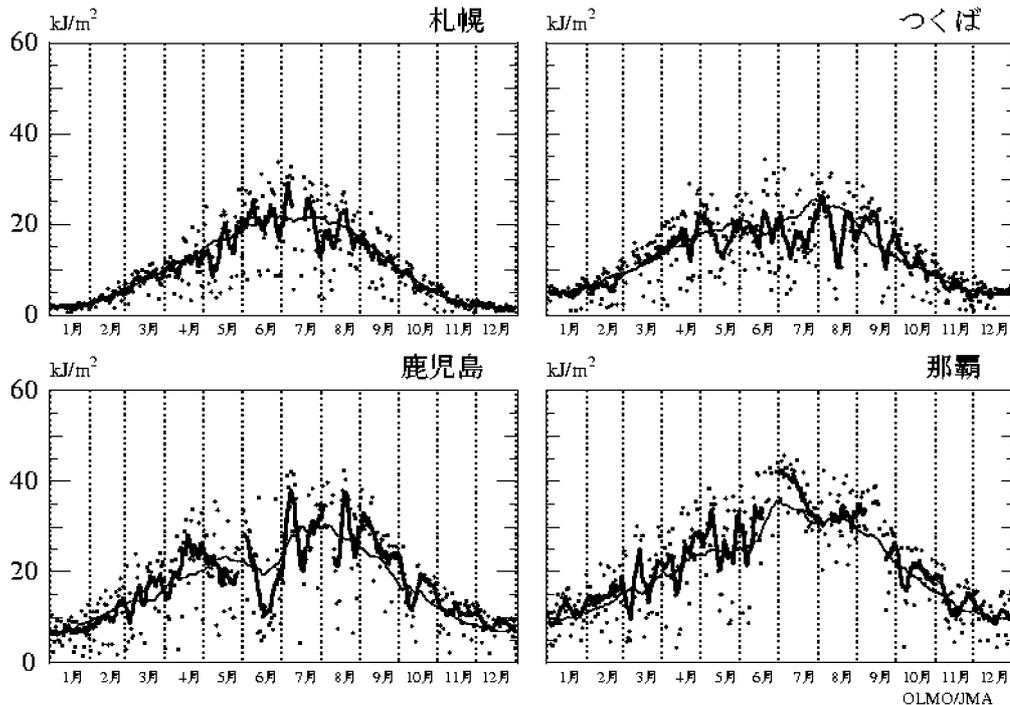


図 4 - 2 - 1 : 2003 年の UV-B の日積算値の推移

点は日積算値、太線は日積算値の7日移動平均値、細線は日積算値の観測開始から2002 年までの累年平均値。

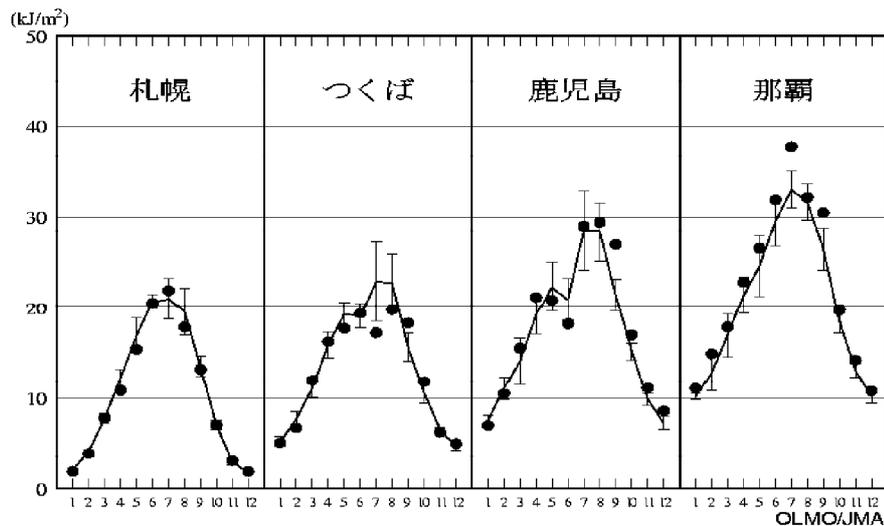


図 4 - 2 - 2 : 2003 年の月平均 UV-B 日積算値の推移

印は2003年の月平均値、折れ線は参照値(統計期間:1991-2002年、つくばは1990-2002年)、縦線はその標準偏差。

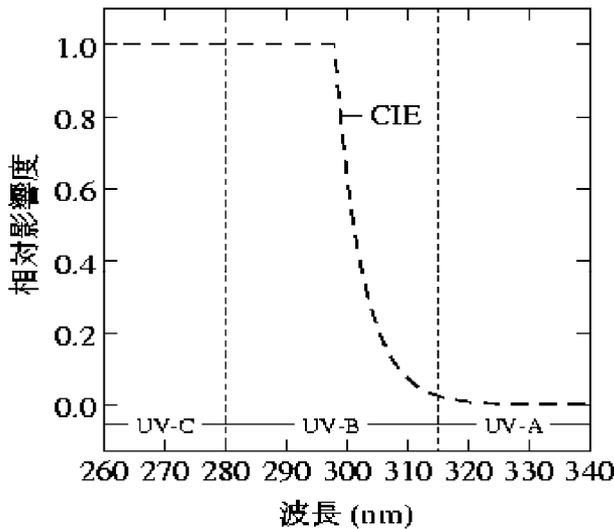


図4 - 2 - 3 : 紫外域日射の作用スペクトル関数
横軸は波長、縦軸はCIE 作用スペクトルの相対影響度。

は7、8月に累年平均値に比べ少ない値を示す日が多かった。年最大値は6月中旬に記録した。鹿児島では、4月と9月に累年平均値に比べ多い値を示す日が多く、一方6月に累年平均値に比べ少ない値を示す日が多かった。8月中旬に年最大値を記録した。那覇では1、2、7、9月に累年平均値に比べ多い値を示す日が多かった。年最大値は7月上旬に記録した。

2003年のUV-B日積算値の月平均値を参照値(1991～2002年の平均値、但しつくばは1990～2002年の平均値)と比較する(図4-2-2)と、多かったのは、札幌の12月、つくばの9、10月、鹿児島の9～12月、那覇の1、2、7、9、11月で、少なかったのは、札幌の4月、つくばの2、5、7月、鹿児島の1、6月であった。また各観測地点の月平均値の最大は、札幌が7月に21.90kJ/m²、つくばが8月に19.72kJ/m²、鹿児島が8月に29.40kJ/m²

、那覇が7月に37.89kJ/m²であった。鹿児島の9、10月、那覇の1、7、9月の月平均値は観測開始以来、最も大きくなった。これは全天日射量、日照時間などのデータから晴天の日が多かったことが反映されたものと考えられる。

4 - 2 - 2 UV 指数 (UV インデックス)

太陽光に含まれる紫外域日射にさらされることは、皮膚がん、白内障等の病気や体内免疫力の低下などをもたらす。特にメラニン色素の少ない人に、皮膚がん、悪性腫瘍が世界的に増加しているという報告があり、日射を浴びることが健康的であるとする生活習慣や、紫外域日射をさえぎるオゾン層の破壊は、その影響を

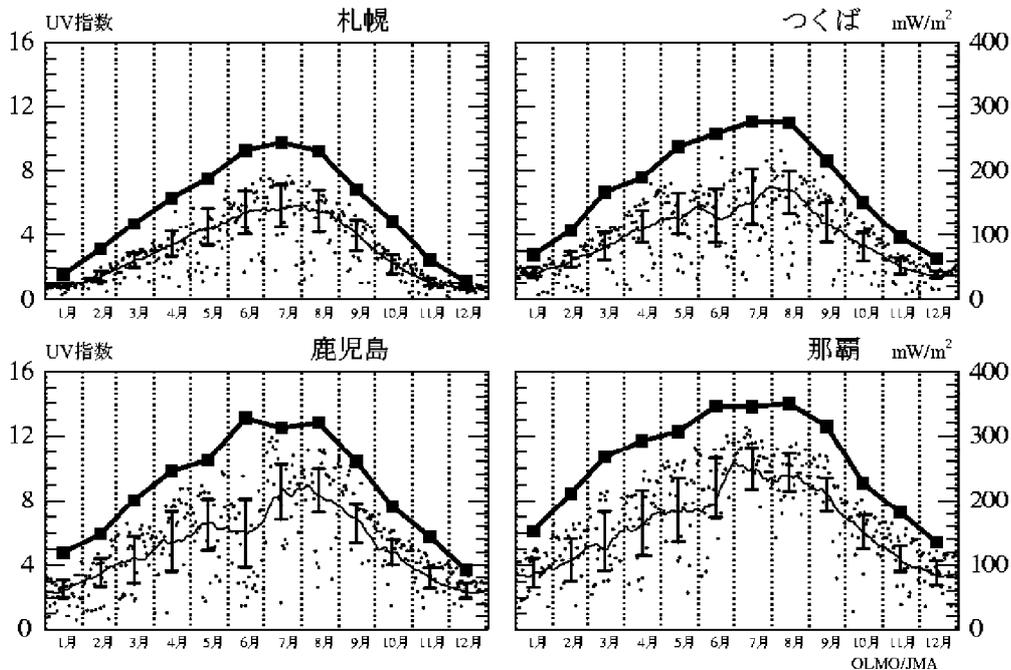


図4 - 2 - 4 : 2003年の国内4地点におけるCIE日最大値の推移とUV指数

点はCIE日最大値、細実線はCIE日最大値の累年平均値の15日移動平均値、太実線及びはCIE日最大値の観測開始から2002年までのその月の最大。縦線は観測開始から2002年までのCIE日最大値のその月の四分位数を示す。縦軸左側の目盛はUV指数。

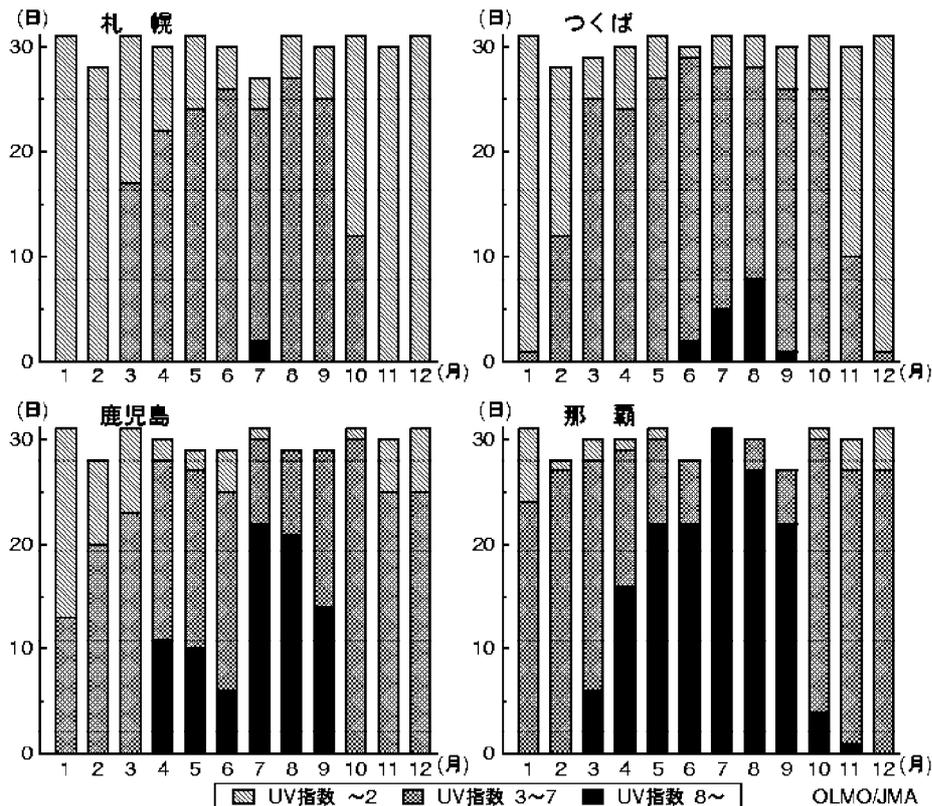


図4 - 2 - 5 : 2003年の国内4地点におけるCIE日最大値をUV指数の範囲で分類した月別日数
ただし、台風、障害等による欠測を除く。

深刻化することにつながりかねない。これを受けて、2002年7月に、世界保健機関(WHO)、WMO、国連環境計画(UNEP)などは共同で、紫外線からの防御に関する「UV指数(UV-index)の運用ガイド」を作成した。

紫外域日射の生物に与える影響度が波長によって異なることを考慮して、全体としての影響の大きさを評価するために国際照明委員会(CIE)は皮膚に対する波長別相対影響度を表したCIE作用スペクトル(McKinlay and Diffey, 1987)(図4 - 2 - 3)を定義した。波長別の紫外域日射にCIE作用スペクトルの重みをかけて波長積分すると、生物に対する影響度の尺度で測られた紫外域日射量が得られる。これをCIE紫外域日射量(红斑紫外域日射量)と呼び、このCIE紫外域日射量を25mW/m²単位で指標化したものが、UV指数である。運用ガイドでは、公衆衛生の観点から、もっとも影響を受けやすい人々(メラニン色素の少ない人や子供達)を基準にして、UV指数に応じた対処法をわかりやすく人々に伝えるよう提唱している。これによれば、UV指数が3~7の場合には、出来るだけ日陰を利用し、長袖シャツ等を利用するように、またUV指数が8以上の場合には、外出は控えると共に、必ず長袖シャツ等を利用することを推奨している。

また、環境省は2003年6月に紫外線に係る保健指導を目的として、保健師など保健活動に関わる人を対象に「紫外線保健指導マニュアル」を作成して、「UV指数の運用ガイド」と同様にUV指数を用いた紫外線対策を推奨している。

図4 - 2 - 4に2003年の各観測地点における日最大UV指数(CIE日最大値)を示す。点は日最大値、細実線は日最大値の累年平均の15日移動平均、太実線は観測開始以来の最大値、縦線は四分位数を示す。縦線の範囲内に観測開始以来の日最大UV指数の半数が入っていることを意味する。図をみると、札幌では6~8月にUV指数8を超えることがあるが、75%以上の日がUV指数8以下であることがわかる。一方、那覇では、7、8月に75%以上の日がUV指数8を超えることがわかる。

図4 - 2 - 5は、運用ガイド等の中で、特に配慮が不要なUV指数2以下、肌の露出を避けるなど配慮が必要なUV指数3~7、外出時に日に当たることを避けるなど特に配慮が必要なUV指数8以上の月別日数を、2003年の各観測地点での記録に基づいて示す。これによれば、UV指数が3以上の日は、札幌では11月から2月

の冬期間では出現していない。一方、那覇ではほぼ1年を通じて出現している。さらに、UV指数が8以上の日は、札幌では7月に数日あるだけであるが、つくばでは6月から9月、鹿児島では4月から9月、沖縄では3月から11月にかけて観測され、特に鹿児島の7、8月、那覇の4月から9月には月の半分程度の高い頻度で観測されている。

なお、気象庁ではCIE紫外域日射量の算出にあたっては、観測を行っていない325nmから400nmまでの波長域による寄与分については、観測を行っている波長域の中でオゾンの吸収の少ない324nmの観測値をもとに推定している。

4 - 2 - 3 紫外域日射量の長期変化の特徴

図4 - 2 - 6 ~ 図4 - 2 - 11に各観測地点におけるUV-B量、CIE紫外域日射量、波長300nmの紫外域日射強度の3種類の諸量の毎時値の日最大と日積算値について、それぞれ観測開始から2003年までの推移を示す。UV-AとUV-Bの領域では波長が短いほどオゾンに強く吸収され、強度は波長が長いほど増えることなどから、これら3種類の諸量はオゾン、太陽高度角等の変化によりそれぞれ違った振る舞いをする。これら紫外域日射の諸量を比べると、緯度が低いほど紫外域日射量は多くなっている。また、緯度の違いによる変化の割合は波長300nmの紫外域日射強度、CIE紫外域日射量、UV-B量の順に大きくなっている(表4 - 1 - 1)。

図4 - 2 - 12 ~ 図4 - 2 - 14にUV-B量、CIE紫外域日射量、波長300nmの紫外域日射強度それぞれの日積算値の月平均について観測開始から2003年までの推移を示す。この図から札幌、つくばは7、8月、鹿児島は3 ~ 9月、那覇は2 ~ 9月に変動が大きいことがわかり、これは梅雨、台風など天候状態の影響と考えられる。

前章のオゾン層の長期変化傾向との対応で見てみる。日本国内(那覇を除く)のオゾン全量には、長期的には減少傾向が見られるが、1990年以降は年々の変動はあるものの明瞭な減少傾向が見られない状態である(図3 - 3 - 1)。このことから、気象庁が紫外域日射観測を行っている最近13 ~ 14年間については、紫外域日射に明瞭な増加傾向は見られていない。また、UV-B量は既に述べたようにエアロゾルの影響を強く受ける。特に1991年6月に噴火したピナトゥボ火山噴火後のエアロゾル量の増加は顕著であり、その影響は1994年頃まで残っていた。エアロゾル量が増えると地上に到達する紫外線が減少するので、ピナトゥボ火山噴火後のエアロゾルが多かった時期と現在の観測データを比較する際には注意を払う必要がある。

しかし、オゾン全量が低緯度を除き長期的に減少していること、図4 - 1 - 1に示したオゾン全量と紫外域日射の関係から、日本国内では天気及びエアロゾル量に変化がないとした場合、1990年代以降のUV-B量は、地域、季節によっては1970年代より最大で8%程度増加していると推定される。また、WMOの報告によれば、現在の南北両半球中高緯度の10箇所以上の観測点において、1980年前半よりUV放射量が6-14%増加したと報告されている(WMO, 2002)。

4 - 3 2003年の南極域における紫外域日射

南極昭和基地では1991年から1994年1月まで紫外域日射の試験観測を行い、それに続いて1994年2月から定常観測を開始した。

図4 - 3 - 1に観測開始から2003年までのUV-B日積算値の推移を示す。なお、プリューワー分光光度計の欠測期間については、並行運用を行っている広帯域紫外域日射計による全量測定値から、両測器のデータが揃っている期間の観測結果に基づき推定したものをを用いている。

2003年8 ~ 12月のUV-B日積算値、UV-B量に影響を及ぼす天候、特に雲の影響の指標である全天日射量及びオゾン全量の推移をそれぞれの累年平均値(1991 ~ 2002年の平均)とともに図4 - 3 - 2に示す。極夜の明けた後の8月から12月にかけて南中時の太陽高度角が大きくなることと日照時間が長くなることに伴い、全天日射量は増加し、12月に最大となっている。それに対応してUV-B量も増加している。日々のUV-B量の変動を見ると、全天日射量と対応しているが、それ以上にオゾンの変動の影響を強く受けている。UV-B量の2003年の最大が全天日射量の最大よりも早い時期に出現しているのは、昭和基地上空のオゾン全量の変動の影響を受けたためと考えられる。2003年のUV-B日積算値の最大は11月28日の46.85kJ/m²、毎時

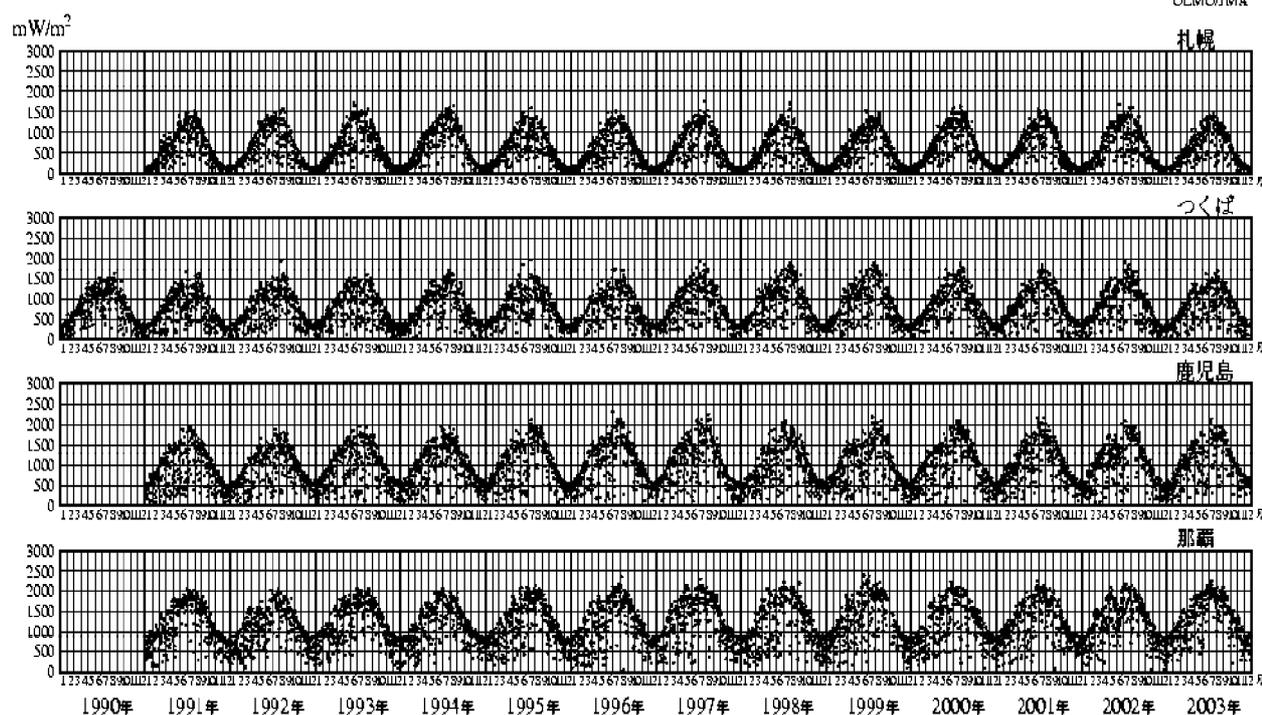


図 4 - 2 - 6 : 観測開始から 2003 年までの UV - B 日最大値の推移

札幌、つくば、鹿児島、那覇における観測値。

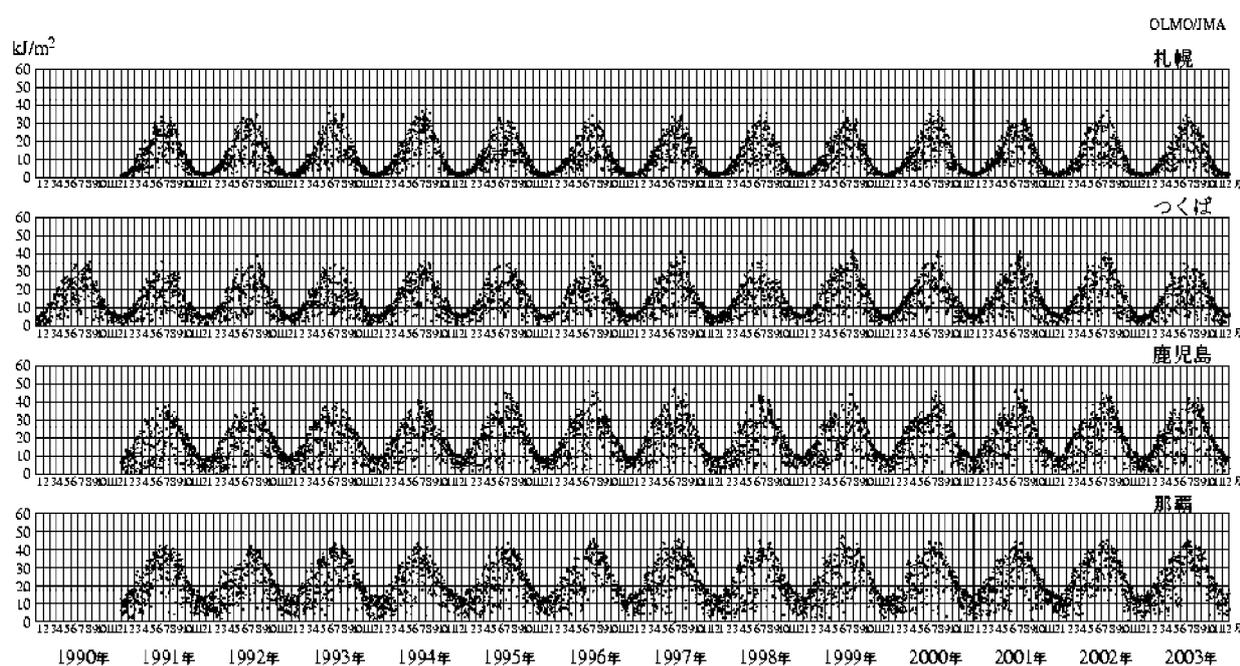


図 4 - 2 - 7 : 観測開始から 2003 年までの UV - B 日積算値の推移

UV - B 日積算値の推移であるほかは図 4 - 2 - 6 と同じ。

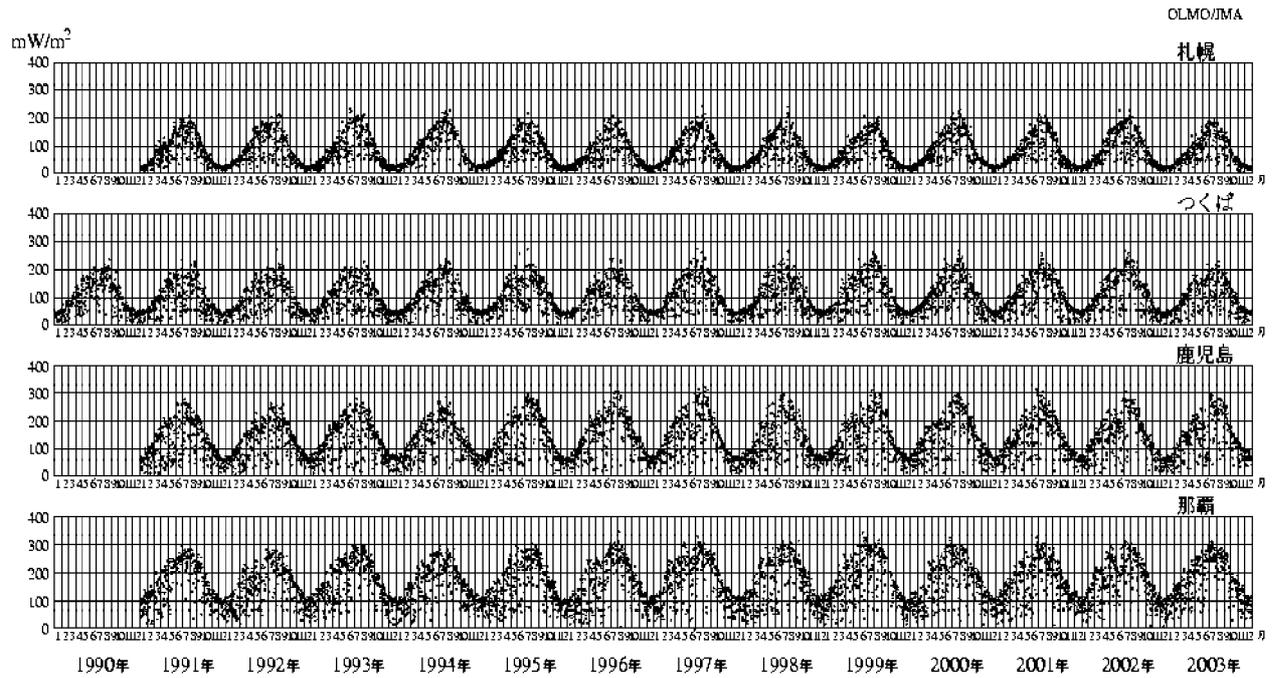


図 4 - 2 - 8 : 観測開始から 2003 年までの CIE 日最大値の推移
CIE 日最大値の推移であるほかは図 4 - 2 - 6 と同じ。

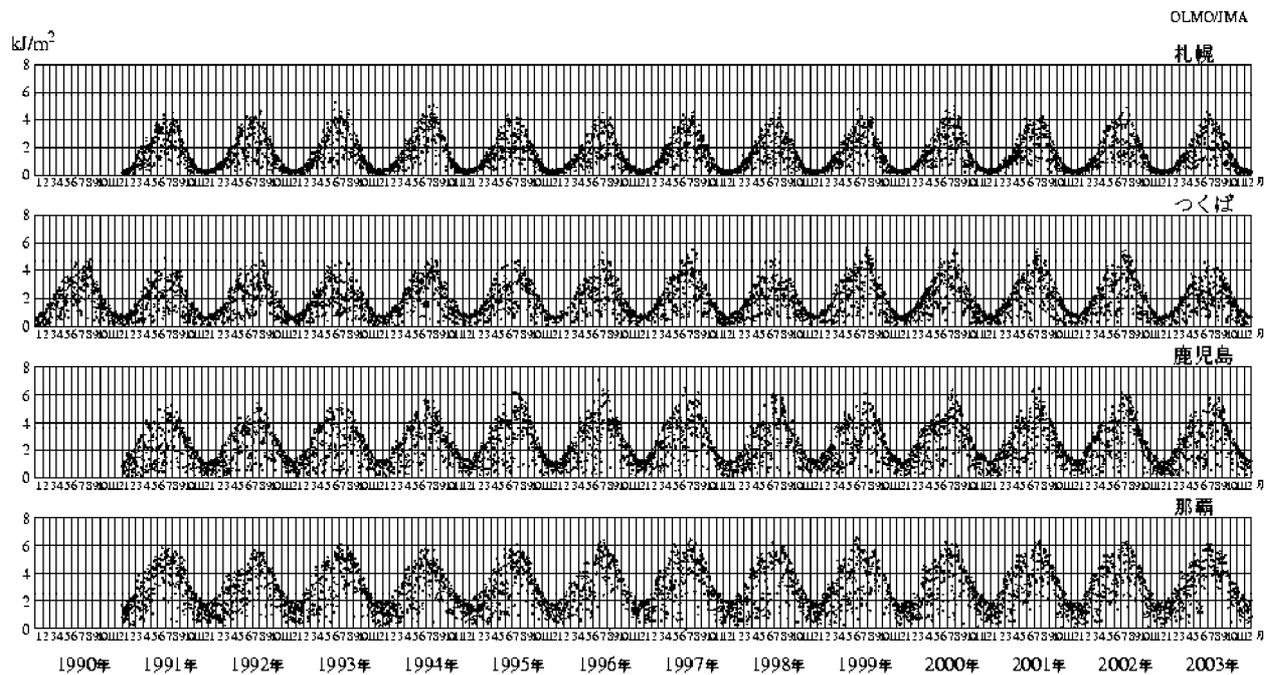


図 4 - 2 - 9 : 観測開始から 2003 年までの CIE 日積算値の推移
CIE 日積算値の推移であるほかは図 4 - 2 - 6 と同じ。

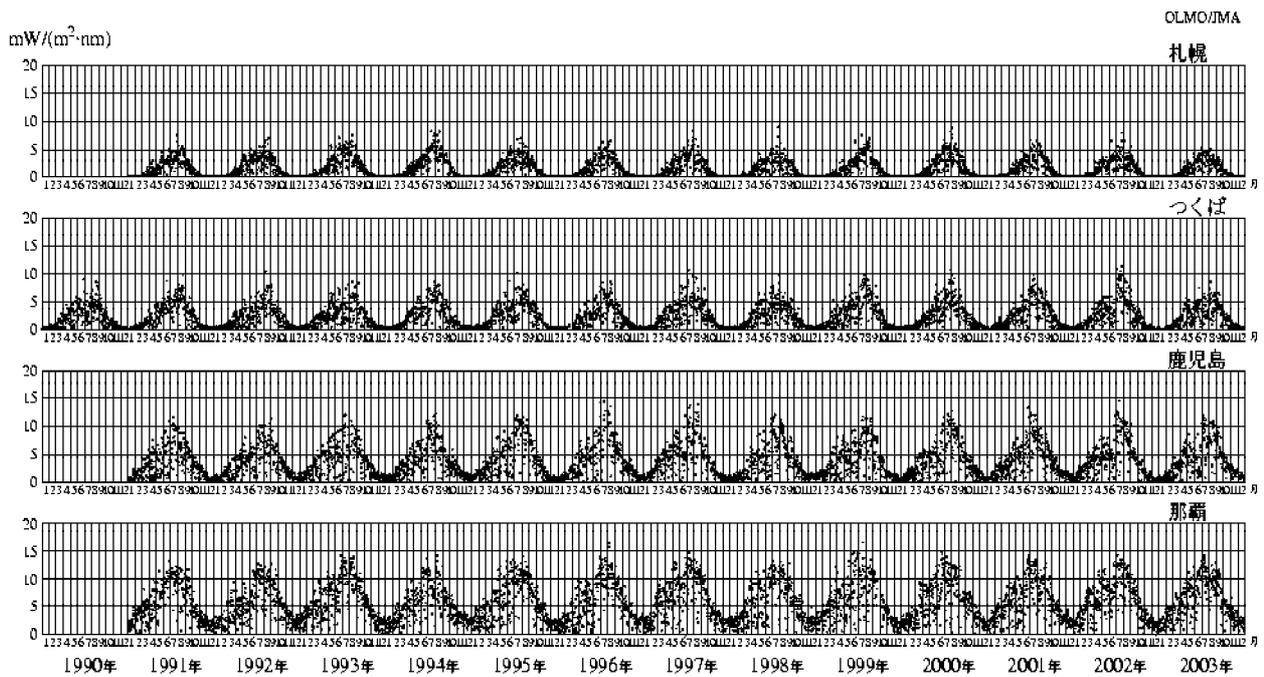


図4 - 2 - 10 : 観測開始から2003年までの波長300nmの紫外域日射の毎時値の日最大値の推移
波長300nmの紫外域日射の日最大値の推移であるほかは図4 - 2 - 6と同じ。

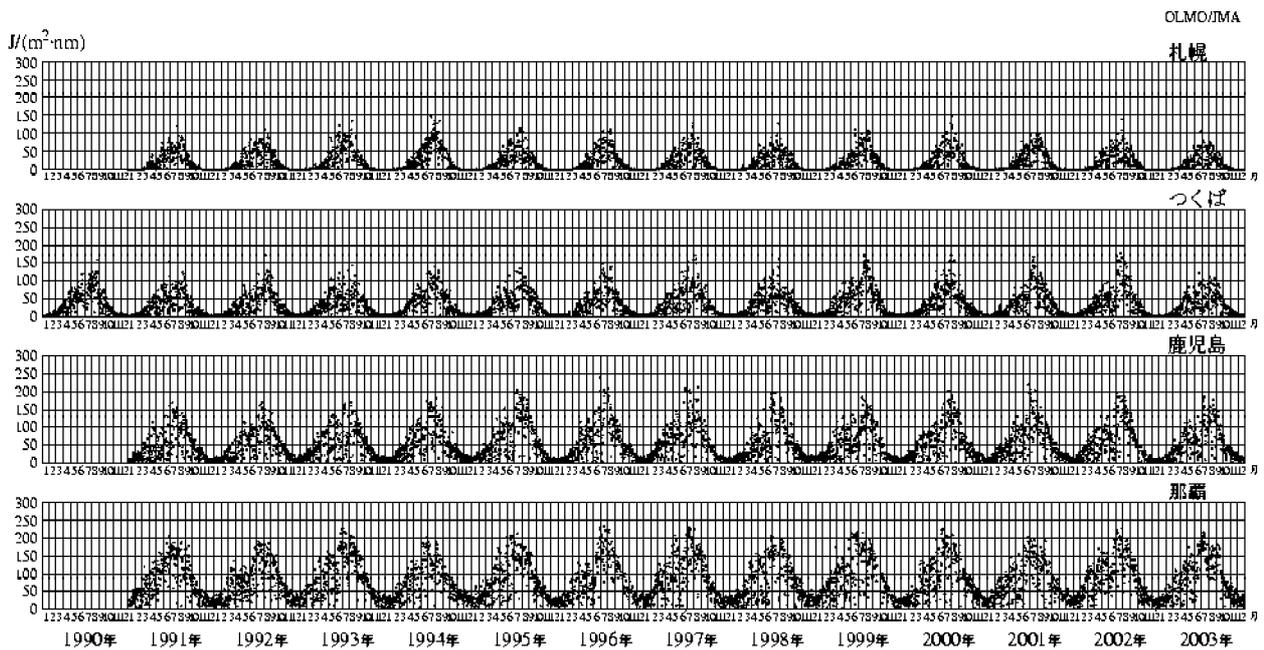


図4 - 2 - 11 : 観測開始から2003年までの波長300nmの紫外域日射の日積算値の推移
波長300nmの紫外域日射の日積算値の推移であるほかは図4 - 2 - 6と同じ。

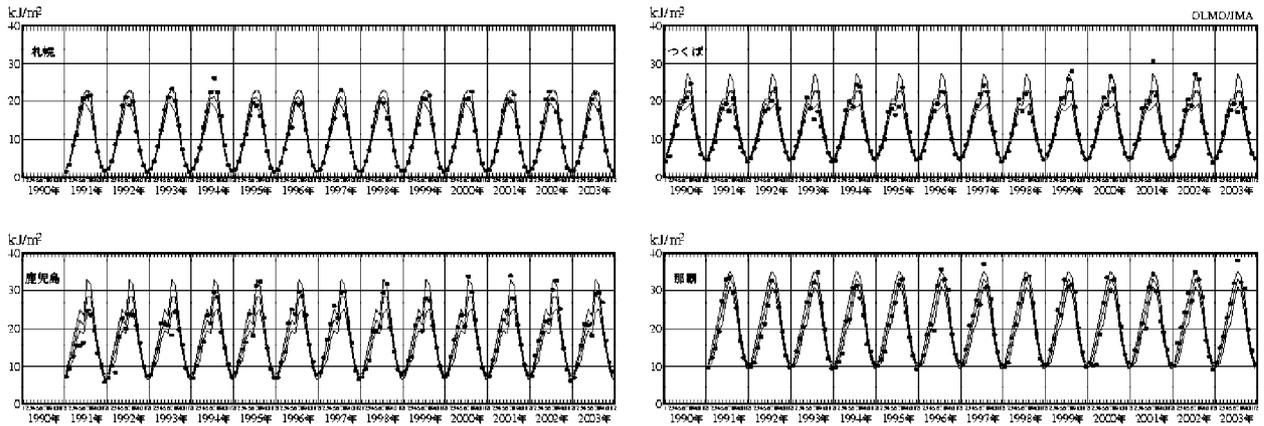


図 4 - 2 - 12 : UV - B 日積算値の月平均値の推移

札幌、つくば、鹿児島、那覇における観測値。印は月平均値。3本の線のうち、中央が参照値（観測開始から2002年までの累年平均値）、上下がその標準偏差を示す。

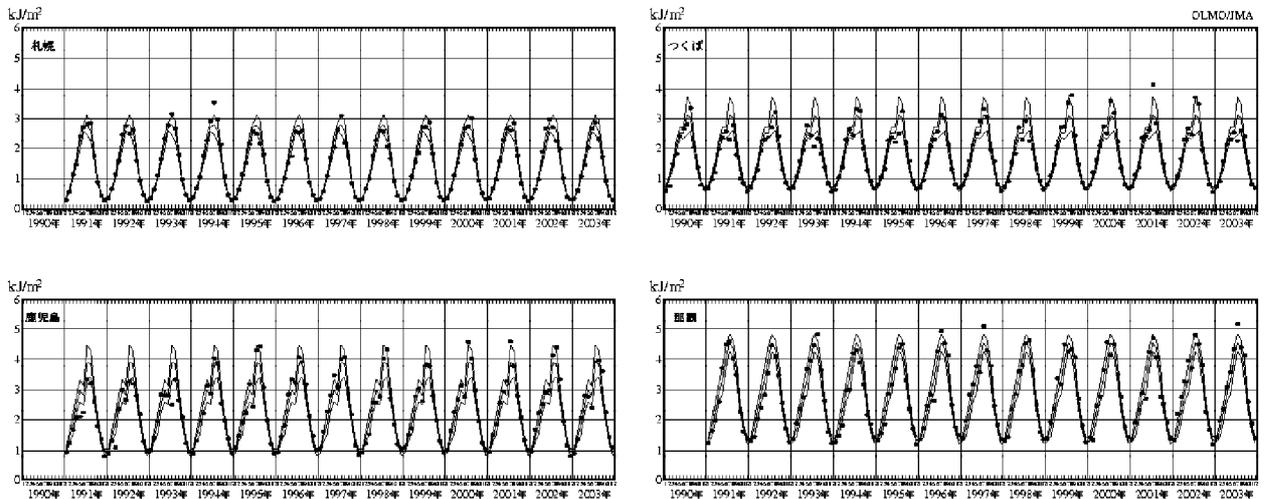


図 4 - 2 - 13 : CIE 日積算値の月平均値の推移

CIE 日積算値の月平均値の推移であるほかは図 4 - 2 - 12 と同じ。

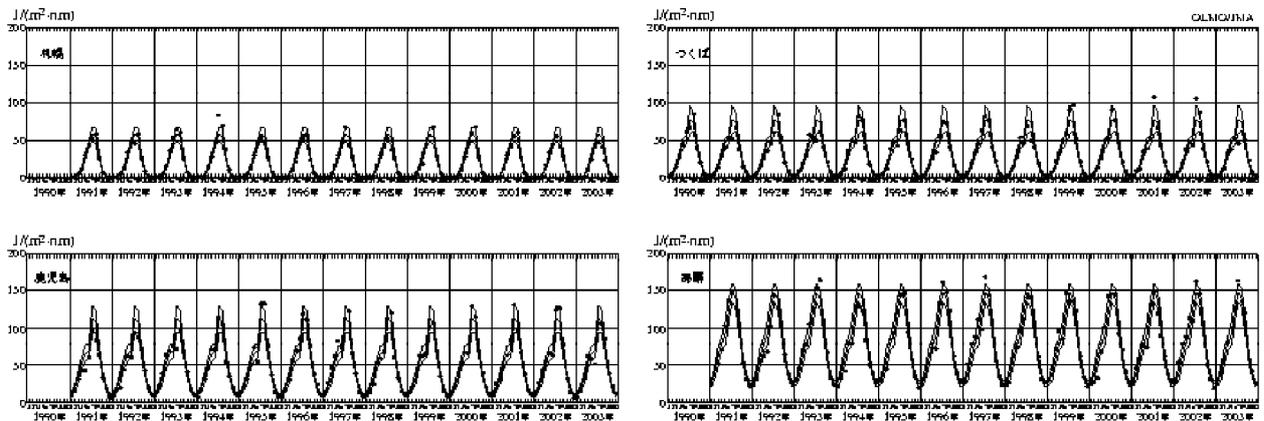


図 4 - 2 - 14 : 波長 300 nm の紫外域日射量（日積算値）の月平均値の推移

波長 300nm の紫外域日射量（日積算値）の月平均値の推移であるほかは図 4 - 2 - 12 と同じ。

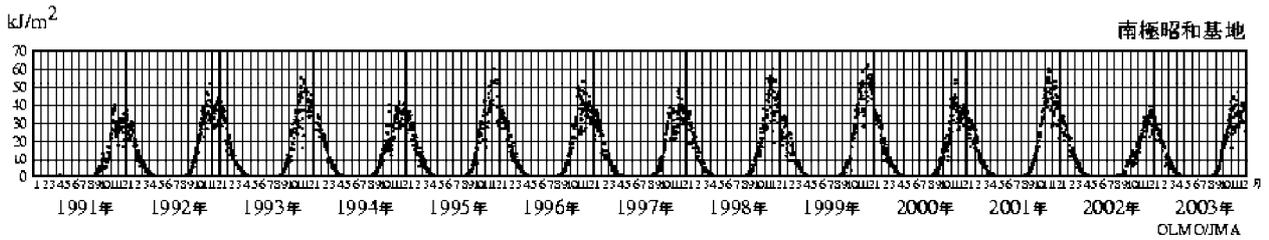


図4 - 3 - 1 : 観測開始 (1991年) から2003年までの南極昭和基地におけるUV-B日積算値の推移

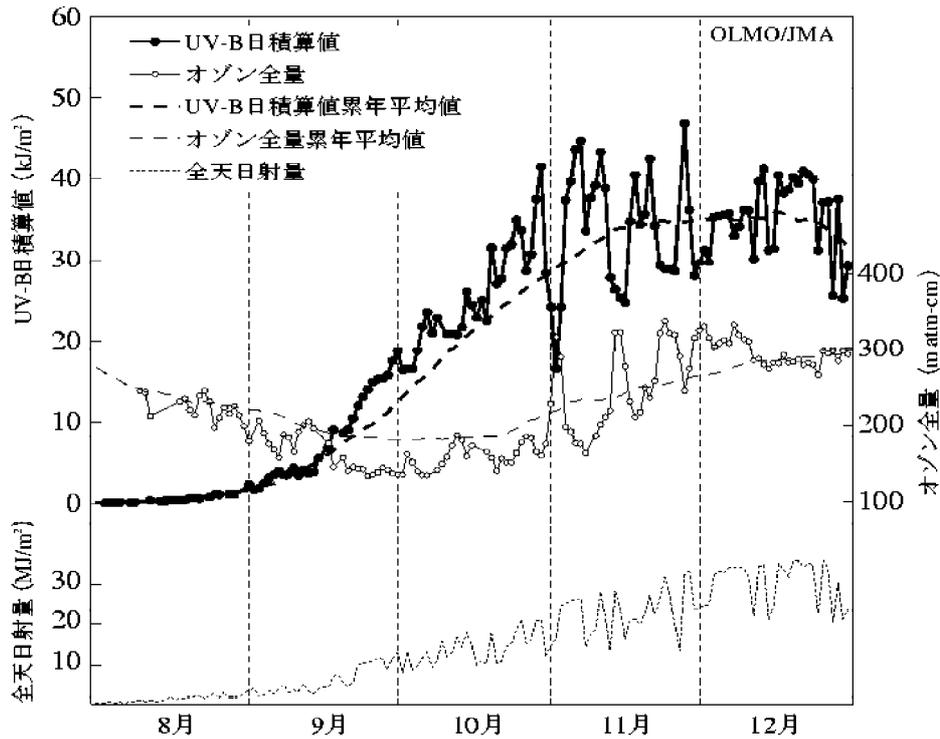


図4 - 3 - 2 : 2003年の南極昭和基地におけるUV-B日積算値とオゾン全量

太実線はUV-B日積算値、細実線はオゾン全量、太破線はUV-B日積算値累年平均値の15日移動平均、細破線はオゾン全量累年平均値の15日移動平均、点線は全天日射量。ここでの累年平均値はUV-B、オゾン全量共に1991年から2002年までの平均値。

値の最大は11月28日13時の1.696 W/m²であった。日々のUV-B日積算値について詳細にみると、9月から10月下旬までは累年平均より多く、11月上旬以降は大きく変動しながら、11月28日に年間最大値を記録した。

昭和基地で観測されたUV-B日積算値の観測開始以来の最大値は、1999年12月10日の61.43kJ/m²であり、鹿児島で1996年6月28日に観測された国内最大値51.52kJ/m²より約20%も大きくなっている。昭和基地は国内4地点に比べ高緯度(南緯69度)に位置しており、最大時の太陽高度角は国内に比べはるかに低いものの、逆に夏季の日照時間が長く、さらにオゾンホールの影響により上空のオゾン量が減少するためUV-B日積算値が大きくなる。また、南極域では大気汚染が少なく透過率が高いこと、また地表面が雪氷で覆われていて反射率が高いため、そこで反射した紫外域日射が再び大気中で散乱されて地上に達することも紫外域日射量を増加させる要因として挙げられる。