

—第2章—

信州の紫外線環境

2-1 信州の紫外線環境の特性を明らかにする意義

これまで述べたような紫外線独特の物理性やオゾン層破壊という環境破壊が、信州の位置している高地という立地・地理的な特性にどのように関連しているか、いくつかの話題を、例証を提示しながら考えてみます。また生活に関連するUV-Bの諸問題についても考察してみましょう。

信州の紫外線環境の特性を明らかにする意義

- ① 紫外線は大気層で散乱によって強度が低下する。しかし、信州は低平地と比較してその標高差分、大気層の厚さが薄い。
- ② 長野県は空気が澄んでいるといわれており、チリによる散乱も小さいと考えられる。
- ③ 長野県はその主要な産業が農林業で、UV-Bの増加が作物や林木の生長と生産に影響がおよぶ可能性があり、また、従事者が野外での作業により紫外線を浴びる機会が多く、健康への影響が懸念される。

一方で、大気中のチリの少なさと比較的快晴日が多いことは、紫外線環境の計測に適しており、継続した紫外線環境のモニタリングは、環境が変化していく過程を捉えるために重要です。

2-2 信州の紫外線環境の特性

信州大学農学部（上伊那郡南箕輪村、標高約800m）では1998年からB領域紫外線UV-Bの強度と紫外線のスペクトル（紫外線の各波長ごとの強度）の観測を実施しており、2000年からは加えて地面（牧草地、積雪時は雪面）によるUV-Bの反射量の観測も継続しています。そのモニタリングの結果から、いくつかの特徴的なUV-Bの特徴が示されています。

図7に7月の日射（可視光線、左図）とUV-Bの日変化（1ヶ月の毎日のデータを1枚の図にまとめたもの）を例として示します。日射は日中正午頃に $1000\text{W}/\text{m}^2$ （ $1\text{kW}/\text{m}^2$ ）程度を示すことが多く、最大では約 $1.4\text{kW}/\text{m}^2$ に達することもありました。気象学的には日射の最大強度は、地球大気上縁、つまり、太陽光線が地球大気に入る直前の太陽光線に直角な面で $1.37\text{kW}/\text{m}^2$ であることから、ほぼそれに匹敵する強度の日射が注いでいることがあきらかになりました。UV-Bでは、日中の平均的な（最も色濃くなっているところ）最大強度が $1.5\text{W}/\text{m}^2$ であり、時折 $2.3\text{W}/\text{m}^2$ という大きな値が観測されました。

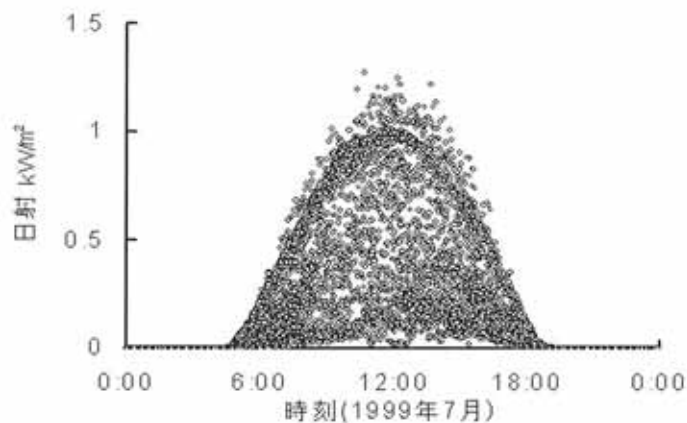
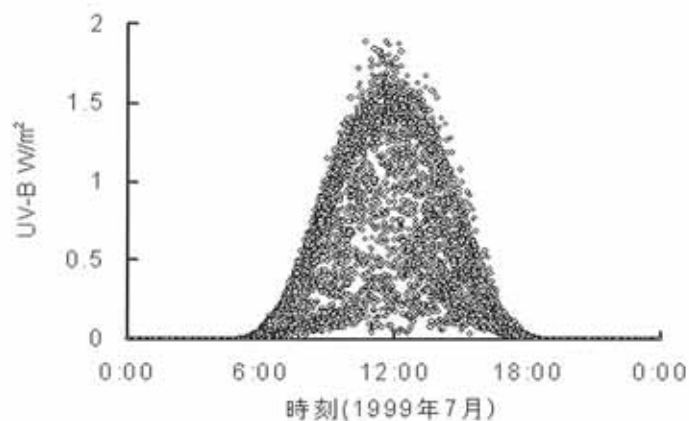


図7 日射（左）とB領域紫外線の日変化
 (図は、1999年7月の毎日の値を24時間の図に示したもの)

また、日射とUV-Bの、日の出と日の入り時刻帯の変化に着目すると、日射（可視光線）より波長が短く散乱しやすいUV-Bは、その立ち上がりが緩やかであることが見て取れます。つまりUV-Bの散乱しやすい特性から、太陽が降りつつある条件でも他方からの散乱光が進入してくるわけです。

ここで特に注視したい点は、日射とUV-Bともに、最大値はグラフの上縁をとるのではなく、滑らかに連続する色濃い部分の上に散在している点です。これら分散する観測値がどのような日に観測されるのかを詳細に調べてみると、快晴で雲がない日中ではなく、積雲が上空を速い速度で移動するような気象条件の下で観測されることが判明しました。

図8は快晴日と雲が速い速度で移動して、青空に雲が浮かんでいるような日のUV-Bの日変化を示しています。図中の凡例にあるように、8/15（1999年）は快晴で、8/18は雲の多い気象条件でした。快晴日のUV-Bの日変化は滑らかに推移し、その最大値は 1.6W/m^2 程度でした。一方雲が多い気象条件の8/18は、太陽が雲にさえぎられたと思われる時刻には 1W/m^2 程度に低下しましたが、快晴日を上回る高い強度のUV-Bが観測されました。この現象は雲が速い速度で移動するような日に一般的に観測され、それはUV-Bだけではなく、日射にも共通して検出されました。この現象につい

ては、信州だけではなく、国内および諸外国でも報告があるようです。これは、太陽から放射されたUV-Bのうち、ある地点以外に向かっているUV-B成分のうち、雲によってその進行方向が修正されてある地点に収束した結果観測されたものと考えられます。簡単に考えれば、他方に散乱された成分が雲によって反射され、観測地点に収束された結果、値が大きくなったと考えられます。

前の図で説明された色濃い部分の上に散在している観測値は、この雲の影響によって集められた成分が加わっていると考えられます。

ここで、一般的経験的に言及されている特性と照合してみましよう。紫外線は曇りの日にも強い、ということがたびたび聞かれますが、このことは上述のことからも立証されるはずで、真っ白な雲が空に浮かんだ日には、快晴の時よりもまぶしさを感じることがありますが、日射と異なりUV-Bが人の目には見えないとしても、やはりより多くの紫外線が降り注いでいることが明らかになったといえるでしょう。

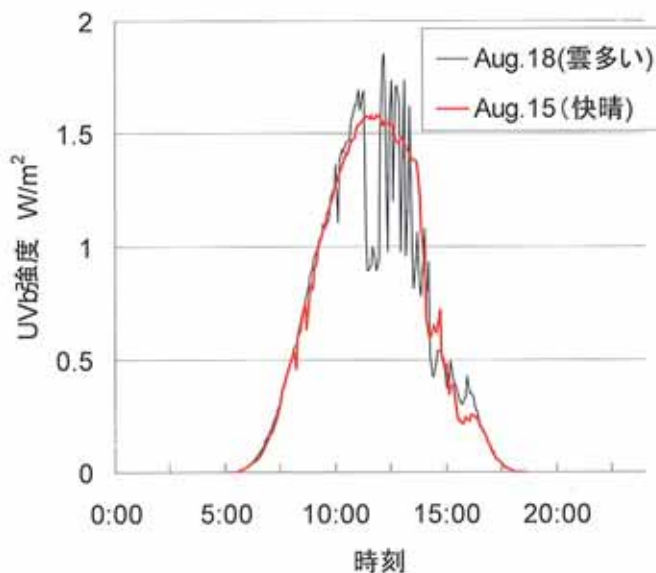


図8 快晴日8/15と雲の多い日8/18のUV-Bの日変化

そのほか、雪面がUV-Bに対してどのように振る舞うのか、についてもデータを紹介しましょう。図9は、2003年に観測された雪面による日射とUV-Bの反射を示したものです。グラフは上から日射と日射の反射量、UV-Bとその雪面による反射量を示しています。日射よりもUV-Bのほうがより多くの量が雪面によって反射されていることが分かります。

次の図10は、雪面および牧草（いずれも2003年1月）における日射 S_r と紫外線UV-Bの反射量/入射量=反射率の推移を示しました。凡例はそれぞれ上から雪面におけるUV-Bと日射の反射率、ついで牧草面の日射とUV-Bの反射率となります。UV-Bは雪面ではその反射率が日射より大きく、牧草面では日射が20%ほど反射する一方、UV-Bはそのほとんどが牧草によって吸収され、反射されていません。以上の例から、

植物はUV-Bのほとんどを吸収していることが、観測から明らかにされました。一方、雪面では、可視光線よりも高い割合でUV-Bが反射されること、可視光線が降雪以降の経過時数により反射率が減少するのに対して、UV-Bは高い反射率を長い期間維持している、という特徴が明らかにされました。

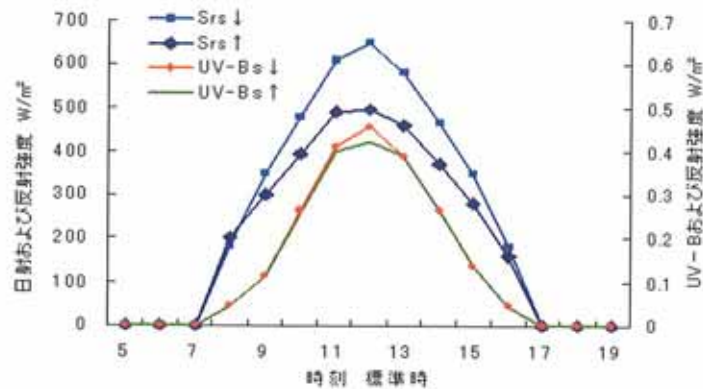


図9 雪面によるUV-Bの振る舞い

(Srs ↓、↑は日射の強さと日射の雪面による反射、UV-Bs ↓、↑はUV-Bの強さと雪面による反射)

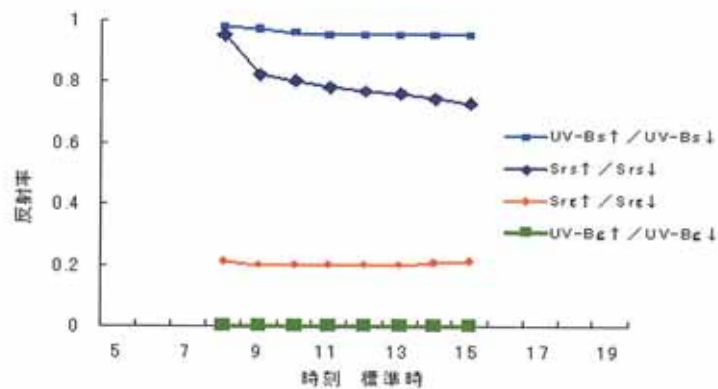


図10 雪面および牧草面における日射SrとUV-Bの反射

(UV-Bs ↑/UV-Bs ↓, Srs ↑/Srs ↓, Srg ↑/Srg ↓, UV-Bg ↑/UV-Bg ↓はそれぞれ、UV-Bの雪面反射の比、日射の雪面反射の比、日射の牧草面反射の比、UV-Bの牧草面反射の比を示す。雪面によるUV-B反射の比は日射反射の比に比較して大きくまた頃日変化は小さい。牧草面による反射では、日射が0.2程度であることに対して、牧草面ではほぼ0である)

2-3 信州の紫外線環境の年変化

一年のうちでは、紫外線はどのように変化するのでしょうか。

図11は、1998年から1999年にかけて観測されたUV-B（左）と日射（右）の観測値を2年分を合わせて示しました。時刻を示す横軸は1/1を1日、12/31を365日（うるう年以外）とするday of year（暦日）で示してあります。両図の最も上に示されている曲線はいずれの図においても、大気外日射量(地球大気上縁の太陽光線に垂直な1m²の面が受ける日射)の年変化を示しており、地上で観測されるUV-Bと日射と比較するために記載してあります。

この図で興味深い点は、日射の年変化（右図）が大気外日射の年変化とほぼ等しい時期に増減している一方、UV-Bは日射の最大強度よりも若干遅れてピークが現れる点です。左図中の下の滑らかな曲線はUV-Bの季節ごとの最大強度（日積算値）を滑らかな曲線で結ぶようなモデル計算によるものです。このピークは大気外日射のピークより約20日遅れています。またUV-Bは春にモデル計算値よりも大きい値を示すことがある一方、秋にモデル計算値を越える観測値は観測されていません。モデルは軸に対象であり、春の時期の観測値の発散を再現していませんが、上述した現象は次のように説明されるでしょう。太陽高度の上昇とともに大気を受ける紫外線の強度も増し、大気中のオゾンは破壊されて紫外線の地上到達量が増加します。太陽放射は夏至を境に減少に転じますが、大気中のオゾン量が十分に修復されるまでに約20日間を要し、大気中のオゾン濃度はUV-Bを十分に減衰させる濃度に回復しているため、モデル値を上回ることはありません。

これらの結果から、UV-Bの最大強度は、信州では7月中旬に出現することがあきらかになりました。

UV-Bは人間にもさまざまな影響を及ぼすことが医学的にも疫学的にも証明されているところであります。この時期は梅雨明けと農繁期、森林管理に適した時期でもあり、また行楽、スポーツにおいても野外活動の多くなる季節でもあります。筆者らは人間影響、あるいは医学的な専門知識を有するわけではないので、今回は詳しい言及を避けま

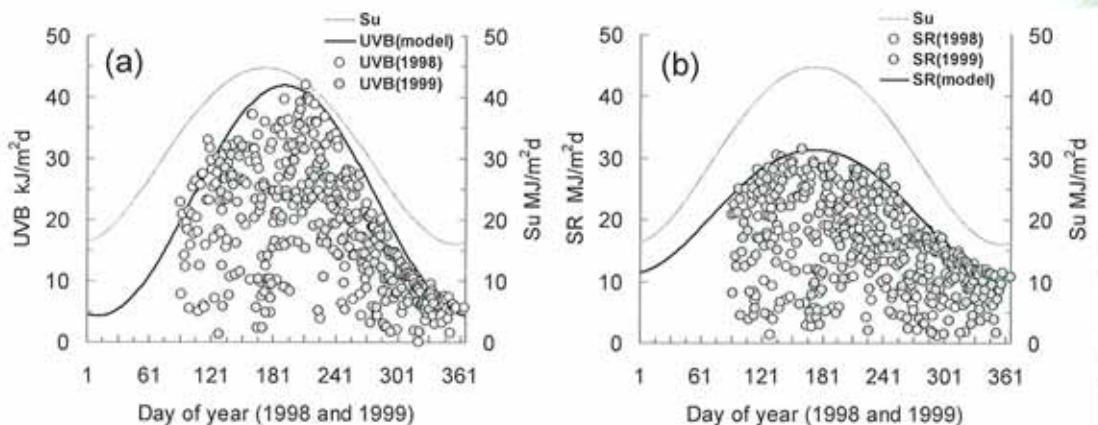


図11 日射とUV-Bの年変化

すが、人間影響の研究ではUV-Bは、「百害あって一利なし」とも称されます。野外活動に際してはぜひ紫外線の強さを認識してほしいと考えます。

2-4 信州の紫外線の光学的性質

次に、信州の紫外線UV-Bの光学的性質、いわゆる直達光と散乱光の比率について検討してみましょう。図12は、1998年から1999年にかけて、主として快晴日の正午（日本標準時）に行ったUV-Bの散乱光と（散乱+直達）光の推移を示したものである。右図はそれらの成分の比率を示しています。

先に記載したとおり、太陽から放射されて地球に向かった紫外線は、オゾン O_3 や酸素分子 O_2 による吸収、大気分子やチリによる散乱によって地上では減衰します。地上に到達した紫外線は太陽から放射された進行方向を維持している直達成分と散乱して地上に到達した成分によって構成されます。これら散・直成分の分離は非常に簡単な方法で観測できます。すなわち、観測に際して、観測器の感部に直接入射する光線を遮り、影を作ってやれば、その直達成分だけ減衰し、残差である散乱成分のみ測れるというわけです。具体的には、写真中央の白い装置が紫外線計で、この紫外線形の感部（およそ直径3cmの円）に、棒に取り付けた黒色塗装のボールで影を落として「散乱成分」Dを観測し、ついで紫外線形から遠ざかって「全天紫外線量」Tを測定します。これらから紫外線の直達成分Aは、 $A=T-D$ で求めることが可能です（図13参照）。

直達と散乱について、重ねて説明しましょう。直達成分は、たとえば日傘や帽子によって遮断することができる成分ですが、散乱成分はあらゆる方向から入射する成分であり、帽子などでは完全には遮断することが困難な成分です。

図12によれば、夏には直達成分UV-B_{dir}が優勢となりますが、冬にはこの直達成分が夏の1/5程度まで減少する一方、散乱成分UV-B_{diff}は1/2程度までしか減少しないため、散乱成分が優勢となります。これらの比率を示した右図によれば、散乱と直達の比率（UV-B_{diff}/UV-B_{dir}）は、夏に0.8程度で、冬には2.5にもなることが分かりました。

2-5 信州の紫外線環境

以上の結果より、信州の紫外線環境は、以下のように要約されます。

- ①日射よりUV-Bのピークは約20日遅い
- ②UV-Bの散乱成分は冬に直達成分の2.5倍になる
- ③雲がある日は、UV-Bが強まることもある
- ④雪面では地上に到達したUV-Bのほとんどが反射される
- ⑤降雪後の日数によるUV-Bの反射率の減少は可視光線のそれより小さい

今ら（2003）は、千葉県松戸市で1999年7月28日に40.6kJ/dのUV-B（日量）を観測しました。伊那ではこの翌日に41.9kJ/dと、松戸より3%強いUV-Bを観測しました。空気が澄んでいること、大気層が低平地と比較して薄いことなどにより、信州の紫外線環境は他地区と比較して大きく、また、その日変化、季節変化についても十分認識されるべきなのです。

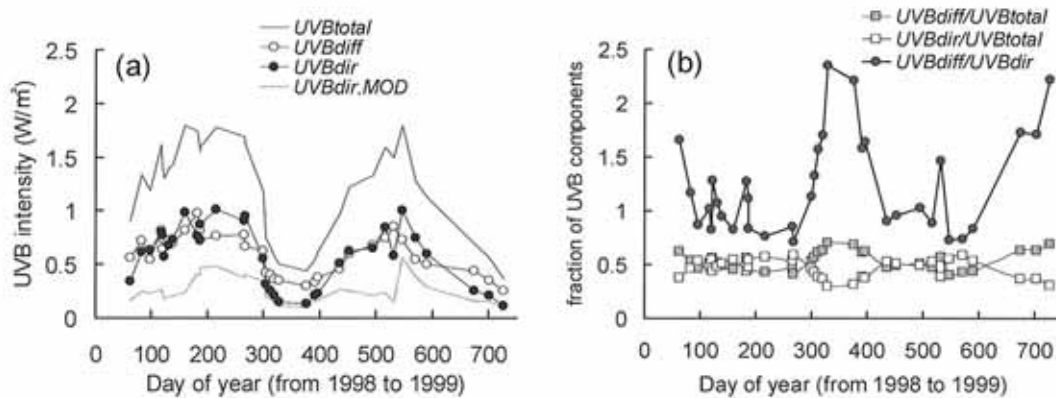


図12 UV-Bの直達成分と散乱成分の強度の年変化(左) とその比率(右)



図13 UV-Bの直達・散乱成分の分離測定の様子（演示）

（棒の先につけたソフトボール（測定時には黒く塗っておく）の影を、白い円盤状に見える紫外線計の受感部に置くと、紫外線の直達成分を除いた散乱成分だけが観測できる）