

## 美ヶ原高原山系における紫外線強度の 高度的, 季節的変化\*

吉 田 稔\*\*

信州大学理学部生物学科  
(1993年12月27日受理)

### はじめに

地表に到達する太陽光に含まれる紫外線は, 時には致死的な効果を示すほど生物にとって有害である。近年, 人間の経済活動の結果として成層圏オゾン層が破壊され, 地表へ到達するこのように有害な紫外線が増加することが予測されている。北半球中緯度域のスイスアルプスではすでにこれの年毎の増加が観測されている (BLUMTHALER and AMBACH, 1991)。

紫外線は波長により長波長側から UV-A (320-400nm), UV-B (280-320nm), UV-C (190-280nm) に分けられる。これら紫外線の生物学的影響量はオゾン 1% の減少に対して約 2% 増加し, また, 短波長紫外線ほどこの生物学的影響は大きいとされている (環境庁「オゾン層保護検討委員会」1989)。移動能力を持たない植物がこのような紫外線環境の変化にさらされたとき, これに対する耐性として, 何らかの適応機構を持たなければ生存する事ができなくなるであろう。紫外線環境が高度的に変化することはよく知られており, 高山で植物の花色が鮮やかなことや, ヒトの肌で日焼けが起こることなどは, 海拔高度の増加につれて強くなる紫外線に対する生理的適応機構のひとつと考えられている (CALDWELL, 1968; CALDWELL and ROBBERECHT, 1980; 福田ら, 1988)。

太陽放射の各成分は各々が生物にとって重要な環境要因であり, 日射量については各地で測定されている。しかし, 紫外線については, これが種々の生理的反応を誘導すると実験的に認められている (TAKEUCHI et. al., 1989) が, 野外環境下の紫外線量と生物反応の関係に関する報告は少ない。高度的に分布域の広い山岳域植物の生理生態学的研究を行うに当たって, 生育環境要因の一つとして異なる高度における紫外線量を測定したので, その結果を報告する。

### 調査地及び方法

日射量と紫外線量の測定は, 長野県松本市の美ヶ原高原 (海拔2039m, 36°13'N, 138°07'E) から西にフォッサマグナ底部の松本市街地にまでのびた尾根上で, ほぼ等高度差の海拔620m, 1000m, 1400m, 1900mの4地点を選んで行った。各測定地点は南向きの開けた場所とし, 測定は1989年5月から1990年12月までの無雪期に月1回以上行った。

\*現在: 富山県富山市吉岡1124-1 富山県農業技術センター農業試験場

\*\*信州大学理学部 柴田治教授の推薦による。

日射量は LI-COR の日射エネルギー測定用セルの Pyranometer sensor LI-200S (LI-COR) を用いて1990年4月～11月まで測定した。紫外線量は1990年には東芝製紫外線強度計 (UVR-365) を用いて直達 UV-A を, 1989年と1990年には TOPCON 製の U. V. radiometer (UVR-254) を用いて直達 UV-B を測定した。なお, UVR-254は測定波長域が190nm から320nm までであり, 254nm を最大吸収波長とする吸収特性を持つ。したがって, 実際には UV-B と UV-C の合計量を測定していることになる。しかし, 一般に地表に到達する近紫外線光は290nm 程度までとされている (シュルギン, 1970; 環境庁「オゾン層保護検討委員会」, 1989; 島崎, 1989) ので, ここではこの測定値を UV-B 量とした。測定は快晴または雲量が少なく, 空気中の水蒸気量が少ない日で, 太陽南中時の正午をはさんだ1時間以内に, すべての測定地点で日射に対してセンサーを鉛直において直達放射量を測定した。また, 1990年12月11日～25日には海拔620mで, 日射, UV-A, UV-B について, 測定センサーを地表面に対して平行において全天放射量の終日測定を10分間おきに行った。

## 結 果

各高度における1990年の UV-A の実測値から解析して得られた季節的变化は重回帰曲線  $y = a + bx_1 + cx_2$  によって表され, 各高度の季節的变化はそれぞれ次式のように示された。

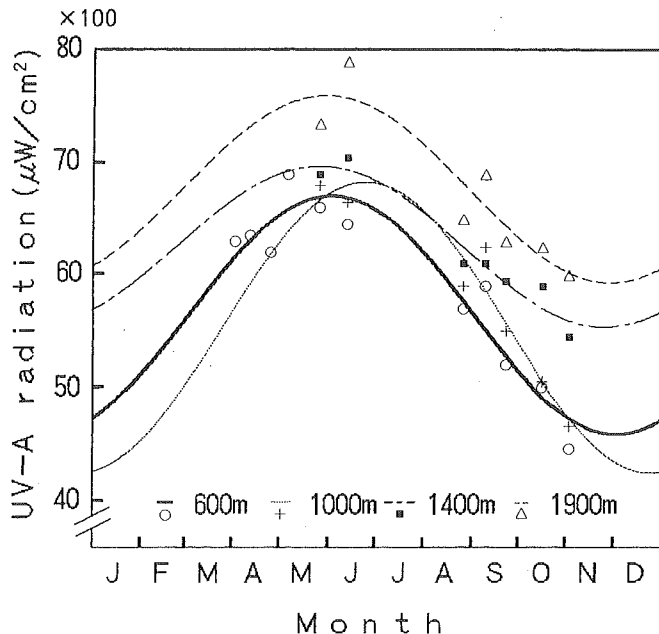


Fig. 1. Seasonal changes of UV-A radiation measured at various altitudes of the mountain. The measurement was taken in the central mountain region of Japan during snow free seasons in 1989 to 1990.

$$\begin{aligned}
 620\text{m} : y(A)_{620} &= 56.36 + 5.18x_1 - 9.28x_2 & \sqrt{b^2 + c^2} &= 10.63 & r &= 0.95 \\
 1000\text{m} : y(A)_{1000} &= 55.28 + 1.74x_1 - 12.85x_2 & \sqrt{b^2 + c^2} &= 12.96 & r &= 0.97 \\
 1400\text{m} : y(A)_{1400} &= 62.53 + 4.27x_1 - 5.75x_2 & \sqrt{b^2 + c^2} &= 7.16 & r &= 0.97 \\
 1900\text{m} : y(A)_{1900} &= 67.64 + 4.53x_1 - 6.99x_2 & \sqrt{b^2 + c^2} &= 8.33 & r &= 0.93
 \end{aligned}$$

$y(A)$  : X 日目の UV-A 強度  
 $x_1$  :  $\sin(2\pi x/365)$ 。x は日数  
 $x_2$  :  $\cos(2\pi x/365)$ 。x は日数  
a : 各高度の平均的紫外線強度

$\sqrt{b^2 + c^2}$  : 季節的变化の大きさ。b, c は各々 sin, cos の係数

これらの結果 (Fig 1) から、各測定地間の高度差はほぼ等しかったにも関わらず、11月から1月には海拔1000mと1400mの間の UV-A 量の差が最も大きくなった。これに対して、5月から9月には海拔1400m以下の各高度間の UV-A 量の差は小さくなり、海拔1400mと1900mの間の差が大きくなった。このような季節的な各高度間の UV-A 量の違いは、 $\sqrt{b^2 + c^2}$  によって表される季節的変動幅では、海拔620mと1000mの低高度における方が海拔1400mと1900mの高高度に比べて大きな変動として示された。これは UV-A の実測値の年間最大値と最小値の間に、低高度では1.6倍、高高度では1.3倍の開きが見られたことが原因であった。ここで、海拔1000mの季節的变化の最大値は特異的で6月頃に

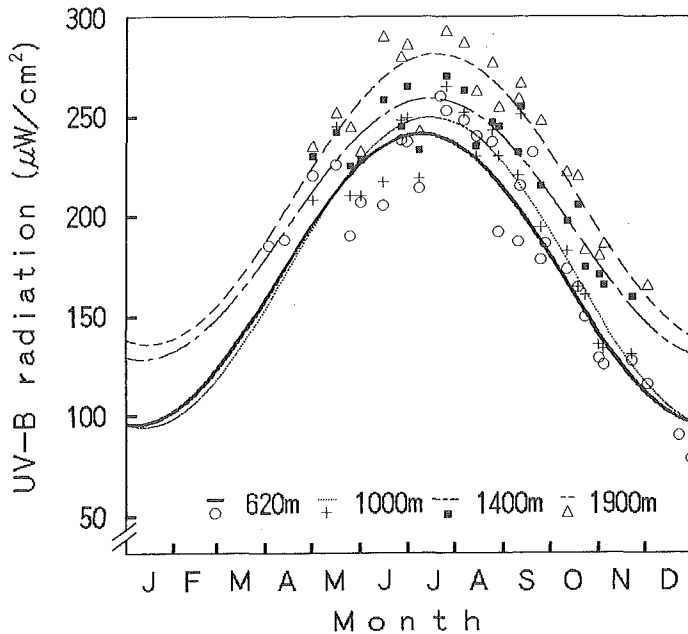


Fig. 2. Seasonal changes of UV-B radiation measured at various altitudes of the mountain. The measurement was taken in the central mountain region of Japan during snow free seasons in 1989 to 1990.

示されたが、他の高度では5月頃に最大値を示した。さらに、11月から翌年5月にかけての海拔1000mの紫外線量は、海拔620mよりも少なくなった。UV-A量と海拔高度との相関は $r = 0.96$ となり、UV-A量の増加率は高度100mにつき平均1.6%であった。

1989年と1990年の測定から、各高度におけるUV-B量の測定値を解析した重回帰曲線は次式によって示され、これらの季節変動をFig 2に示した。

$$620\text{m} : y(B)_{620} = 168.78 - 8.45x_1 - 72.61x_2 \quad \sqrt{b^2 + c^2} = 73.10 \quad r = 0.93$$

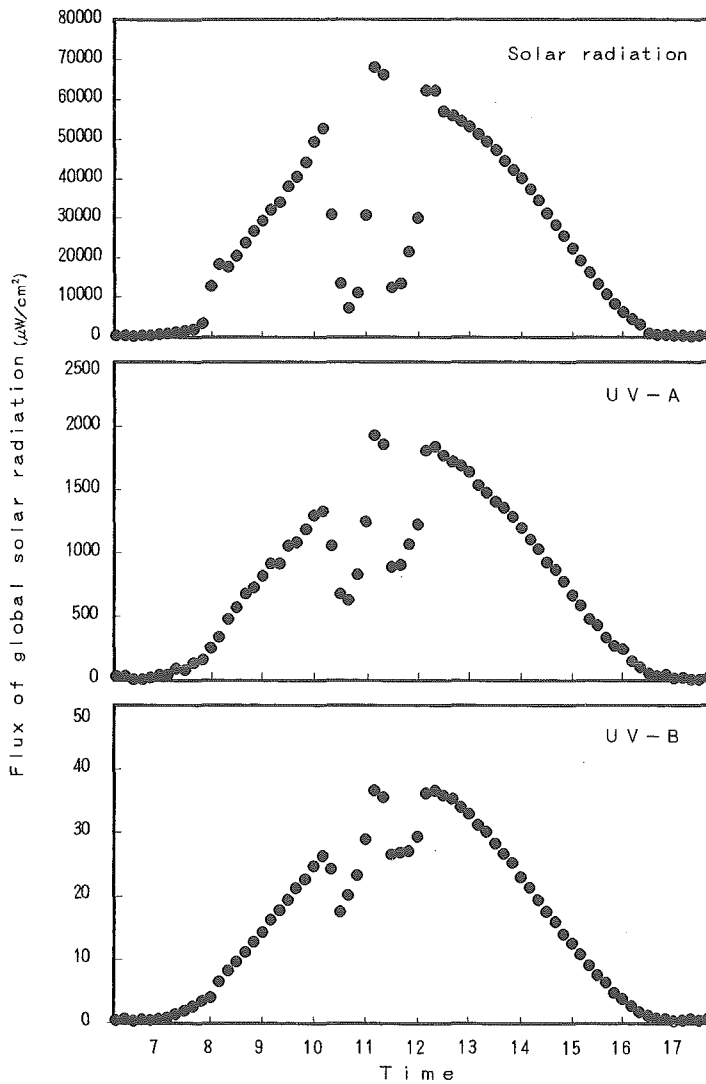


Fig. 3. Hourly changes of global solar radiation and UV elements measured on Dec. 12, 1990, at 620m altitude in the central mountain region of Japan.

$$1000\text{m} : y(B)_{1000} = 171.96 - 17.04x_1 - 76.10x_2 \quad \sqrt{b^2 + c^2} = 77.98 \quad r = 0.94$$

$$1400\text{m} : y(B)_{1400} = 194.02 - 13.54x_1 - 64.25x_2 \quad \sqrt{b^2 + c^2} = 65.66 \quad r = 0.95$$

$$1900\text{m} : y(B)_{1900} = 208.76 - 19.94x_1 - 70.13x_2 \quad \sqrt{b^2 + c^2} = 72.91 \quad r = 0.93$$

$y(B)$  : x 日目の UV-B 強度

$x_1$  :  $\sin(2\pi x/365)$ 。x は日数

$x_2$  :  $\cos(2\pi x/365)$ 。x は日数

a : 各高度の平均的紫外線強度

$\sqrt{b^2 + c^2}$  : 季節的变化の大きさ、b, c は各々  $\sin$ ,  $\cos$  の系数

各高度における UV-B 量の季節変動はいずれも 7 月上旬に最大となり、12 月下旬に最小となった。また、3 月から 5 月の方が 9 月から 11 月よりもやや増加する傾向も見られた。UV-B 実測値の年間最大値と最小値の差は測定地点によって 1.8 倍から 2.3 倍で、高度の低いところでこの差は大きく、また、解析による季節変動は低高度でやや大きく、各高度間の UV-B 量の差は UV-A の解析結果とよく似ていた。UV-B 量と海拔高度との相関は  $r = 0.95$  と高く、また季節の変動は UV-A 量の変動に比べて大きく平均 2.3 倍となった。この調査地での相対的な増加率は標高が 100m 高くなるごとに平均 1.9% であった。

日射量及び紫外線量の終日測定の結果を Fig 3 に示した。日射量、UV-A 量、UV-B 量はいずれも午前中の方が午後よりも多くなる傾向がみられた。また、紫外線量は日射量の変動に対してほぼ平行的に変動したが、太陽南中時をはさんだ前後 1 時間の日射量は UV-A、UV-B に対していずれも  $r = 0.99$  と特に強い相関があった。しかし、早朝および夕方にはこの関係は弱くなった。

## 考 察

近年、成層圏のオゾン量の減少が知られるようになり、これの減少にともなう紫外線量の増加は、生物への影響と関連して興味もたれている。太陽放射中の紫外線量が緯度的に、季節的に、また、高度的に変動することは経験的には知られていたが、わが国における気象学的な紫外線量に関するデータの蓄積はこれまでにほとんどされていない。

紫外線量の高度的変化については、海外ではこれまでもいくつかの研究が報告されている (PETIT, 1932; SCHULZE, 1960; CALDWELL, 1968) が、測定波長域や測定方法、緯度や調査地域の地形の違いなどのためか紫外線量の高度的増加率は一定ではない。わが国では最近、福田ら (1988) が国内のいくつかの都市で紫外線量を測定している。横浜市と松本市に関する福田らのデータを基に紫外線量の高度的増加率を計算すると、300~400 nm の紫外線増加量は 100m につき平均 2.8% とかなり高くなっている。しかし、福田らのデータでは、低緯度の調査地における紫外線の季節的变化量は、高緯度の調査地よりも緩やかになる傾向がみられている。この傾向は、海拔高度の高い調査地における紫外線量の季節的变化量が、高度の低い調査地よりも小さいという今回の結果に似ており、一般に、紫外線量の多い地域では、紫外線の季節的变化量が小さくなると言えるかもしれない。この推測は竹内 (環境庁「オゾン層保護検討委員会」1989) のシミュレーションの結果とも一致している。

今回の調査地である松本市街地は盆地底にあるため、気象学的には大気が滞留し易いなどの要因が考えられ、測定された紫外線量の高度的変化が、単純に高度変化による大気密度の変化のみに対応しているとは考えられず、局地的なエアロゾル量の影響も大きいと思われる。1000m地点の重回帰による推定値が特異的な変化を示したのはこのためと思われる。年間の直達紫外線量の変動は低高度ほど大きくなり、散乱紫外線量の割合が低高度で多くなる傾向がある(吉田, 未発表)こともこの推測を裏付けられると思われる。また、日の出および日没時の紫外線量は日射量の変化にともなわなくなることや、紫外線成分の中でも、UV-Aは各測定高度における季節変動の差が平均1.4倍であったが、より短波長であるUV-Bは季節変動の大きさが平均2.3倍とUV-Aよりも大きくなるという結果からも、紫外線のような短波長光は地表近くのエアロゾルの影響を受けやすいことを示している。

紫外線量は季節的には6~7月に最大となり、12月頃に最小となる。また、紫外線量の測定は高度間隔をほぼ等しくして行ったが、海拔620mと1000mの調査地点では1400mと1900mに比べて紫外線量の季節的な変化が大きくなり、各高度間の紫外線量の差は秋から春にかけては海拔1000mと1400m、夏には海拔1400mと1900mの調査地点間で大きくなった。これは、季節によってエアロゾルの滞留する高度や濃度が変動することを示唆している。

日射量は太陽高度と平行的に変化し、太陽高度がもっとも高くなる太陽南中時の正午をはさんだ前後1時間の紫外線量は日射量と特に強い相関があった。このことから、正午前後の日射量の測定値から紫外線量を推定することも可能であると考えられる。

強紫外線が生物に致死的な効果を与えることはよく知られており、今回ほぼ1300mの高度差で測定された紫外線量の差が、この高度域に分布を広げている同種植物にとって環境圧の一つとして働いている可能性は十分に考えられる。このような紫外線環境の高度的な違いに適応するために、植物が特異な生理的、形態的形質を獲得していることも推測できる。紫外線量増加による生物への影響が危惧されている現在、この紫外線が植物にどのような影響を与えるか、種特性を含めて今後早急に解明されるべき課題であろう。

## 摘 要

1. 山岳域における植物の生理生態的研究にあたって、海拔高度に応じた紫外線環境の違いを明らかにするために、長野県松本市信州大学構内から美ヶ原高原にかけて海拔620m, 1000m, 1400m, 1900mの4高度でUV-A(320~400nm)量, UV-B(280~320nm)量の測定を行った。また、これらの実測値をもとに重回帰曲線によって紫外線量の季節的变化を考察した。
2. UV-Aは5~6月に最大値を、11~12月に最小値を示した。高度の低い測定地ほど季節変動は大きくなり、冬に比べて夏に各高度間の紫外線強度の差が少なくなった。UV-A量は高度100mにつき平均1.6%の増加率を示した。
3. UV-Bは6~7月に最大値を示し、1月に最小値となった。季節変動の大きさはUV-Aよりも大きくなった。UV-Bの増加率は標高が100m高くなるごとに平均1.9%であった。
4. 紫外線強度の強い高標高地は紫外線強度の弱い低標高地よりも、紫外線量の季節的変

化が緩やかであった。また、日射量と紫外線量の経時的变化は太陽南中時に特に強い相関があった。

### 参 考 文 献

- BLUMTHALER, M. and W. AMBACH (1990) Indication of increasing solar ultraviolet-B radiatin flux in alpine region. *Science*, **248**, 206-208.
- CALDWELL, M. M. (1968) Solar ultraviolet radiation as an ecological factor for alpine plants. *Ecol. Mono.*, **38**, 243-268.
- CALDWELL, M. M. and R. ROBBERECHT (1980) A steep latitudinal gradient of solar ultraviolet-B radiation in the arctic-alpine life zone. *Ecology*, **61**, 600-611.
- 福田 實, 長沼雅子, 中嶋啓介 (1988) 本邦における太陽光線の紫外線量. 皮膚科紀要, **82**, 551-558.
- 環境庁「オゾン層保護検討委員会」編 (1989) オゾン層を守る. NHK ブックス574, P224
- PETIT, E. (1932) Measurement of ultraviolet solar radiation. *Astrophys. J.*, **75**, 185-221.
- SCHULZE, R (1960) Zur biologischen Wirkung der langwelligen Ultraviolet-Strahlung in den Alpen. *Strabentherapie*, **111**, 392-398.
- シュルギン, ア, イ. (1970) 太陽と植物 (内嶋善兵衛訳), pp163, 東大出版会, 東京.
- 島崎達夫 (1989) 成層圏オゾン (第2版). 東海大学出版会, P224.
- TAKEUCHI, Y., M. AKIZUKI, H. SHIMIZU, N. KONDO and K. SUGAHARA (1989) Effect of UV-B (290-320nm) irradiation on growth and metabolism of cucumber cotyledons. *Physiol. Plant.*, **76**, 425-430.

## Altitudinal and Seasonal Changes of Ultraviolet Irradiation in the Mt. Utsukushigahara

By Minoru YOSHIDA\*

Department of Biology, Faculty of Science,  
Shinshu University

(Received December 27, 1993)

Altitudinal and seasonal changes of the flux of ultraviolet (UV) radiation, UV-A and UV-B, were investigated at 620m, 1000m, 1400m, and 1900m altitude in the central mountain region of Japan in 1989 and 1990. The changes of UV radiation were discussed on the basis of the regression curve obtained from data.

The difference in UV-A flux between the measurement points were smaller in summer than in winter, and it increased with about 1.6% per 100m of increasing altitude. UV-A radiation showed the maximum flux in May to June and the minimum one in November to December, and its seasonal change was larger in lower altitudes than higher altitudes. UV-B flux changed similarly to UV-A flux, and increased about 1.9% per 100m of increasing altitude. UV-B radiation showed the maximum flux in June and the minimum one in January, and its seasonal change was larger than that of UV-A.

The seasonal changes of UV-A and UV-B fluxes were less at higher altitudes with stronger UV radiation than at lower altitudes with weaker UV radiation. Hourly changes of both the fluxes in daytime were parallel to that of the flux of global solar radiation around the culmination time.

The results obtained here suggest that altitudinal and seasonal changes of UV flux are mainly caused by atmospheric aerosol concentration. UV radiation may be calculated from the global solar radiation in the culmination time without the measurement of UV radiation.

---

\*Present address; Toyama Agricultural Research Center, Toyama 939, Japan.