長沼雅子 原 英二郎 八木栄一郎 福田 實

Seasonal and geographical variation of solar UV radiation.

Masako Naganuma, Eijiro Hara, Eiichiro Yagi and Minoru Fukuda.

Ultraviolet (UV) radiation in sunlight is known to play an important role in cutaneous aging. Solar UV radiation doses irradiated onto a horizontal surface at 9 cities (Naha, Miyazaki, Osaka, Yokohama, Matsumoto, Akita, Asahikawa in Japan; Milano in Italy; Taipei in Taiwan) were measured continuously for 2~9 years, using an Integrating Actinorecorder (Suga Test Instruments, Co., Ltd.).

Japanese MED (minimum erythema dose) from sunlight was measured on healthy 89 Japanese in order to discuss skin damages by UV rays. The average Japanese MED from 6 runs was 2.2 cal/cm².

The mean daily UV doses of 3 cities (Yokohama, Milano, Taipei) were calculated from the 5 highest daily doses throughout a month. These values were referred to as daily intensity. This daily intensity through one year was generally inversely proportional to latitude. The highest daily intensity was 43.41 cal/cm²/day at Taipei, which was 19.7 times dose of Japanese MED.

Annual total UV dose was 8320 cal/cm² at Matsumoto, 5663 cal/cm² at Milano and 6965 cal/cm² at Taipei. The highest UV dose in Matsumoto was caused by high altitude and long sunshine hours. Weather affects UV dose. We searched the relation between weather and daily UV dose. UV dose in a cloudy day was 54~73% of a clear day, while that in a rainy day was 16~24%. UV radiation dose was proportional to sunshine hour in each month.

The effect of altitude was investigated by measuring UV radiation dose in high regions. In March, UV dose at Lukla (2800m height) was 20% more than that at Taipei (9m height) on the same latitude.

Considering the recent worldwide attention towards UV radiation in relation with environmental pollution, it seems extremely important to measure UV radiation in various places of the world.

1. 緒言

紫外線は種々の皮膚障害を引き起こす。日焼け（サンバーン、サンタン）はその代表的な目に見える反応であるが、近年はしわやしみといった露出部の皮膚（顔など）の老化に関与している最大の外的要因と言われるようになった¹⁾。また白人の間では、紫外線による皮膚癌が大きな問題になっている²⁾。

一方フロンガス等によるオゾン層の破壊から地上に降り注ぐ紫外線は、量的質的に変化し³⁾、その生体に与え

る影響が検討されている^{4)~6)}。

このような紫外線を我々はいくどのくらい受けているのかに興味を持ち、日本の7都市での継続的な紫外線測定を行い、この結果については既に報告した⁷⁾。その後横浜については測定を継続し、加えて台湾の台北、イタリアのミラノについて紫外線の測定を行った。更に高地での影響を見るために、中国のゴルム（3000m）とネパールのルクラ（2800m）で数日間測定を行った。それらをまとめて地理的、季節的変動について、気象学的な諸データと合わせ考察を行った。

またこれら紫外線量の意味を考えるために、人での反応と紫外線量の関係が必要である。長期的な紫外線曝露による老化の反応については、実験的なデータをえるこ

資生堂基礎科学研究所：横浜市港北区新羽町1050
Shiseido Basic Research Laboratories.: 1050 Nippa-cho, Kohoku-ku, Yokohama-shi, JAPAN

とはできない。しかし急性の反応については、紫外線量との関係付けが容易である。つまりサンバーンを引き起こす量（最小紅斑量）を一つの指標と考えた。これまで我々が行った太陽光での人（日本人）の最小紅斑量についてまとめ、1日あるいは1年の紫外線量の生物学的意味付けを行った。

2. 実験方法

2.1 測定場所

継続測定場所

下記の当社社屋上

那覇市（北緯26.1°）、宮崎市（北緯31.6°）、大阪市東淀川区（北緯34.4°）、横浜市港北区（北緯35.3°）、松本市（北緯36.2°）、秋田市（北緯39.4°）、旭川市（北緯43.5°）、台湾台北市（北緯25.0°）、イタリアミラノ市（北緯45.4°）

一時測定場所

中国ゴルフ市（北緯36.4°）、ネパールルクラ（北緯27.8°）

2.2 測定期間

那覇・宮崎・秋田・旭川：1980—10～1984—2
大阪・松本：1981—12～1984—2
横浜：1980—10～1989—11
イタリアミラノ市：1985—10～1989—7
台湾台北市：1985—8～1988—7

2.3 測定時間

日の出から日没まで

2.4 積算照度記録装置

PH-11-2UT（スガ試験機製）。300—400nmの紫外線量を測定する機器で、受光面を水平において測定した。

2.5 日本人の最小紅斑量（MED）の測定方法

1983～1988年の夏に海浜でテストを行った。紫外線照射量を積算照度計でコントロールしながら、日本人男性の背部皮膚に太陽光を照射した（紫外線増量幅30%）。16～24時間後に微かな紅斑の生じる部位を判定し、その紫外線量を最小紅斑量とした。

3. 結果

3.1 太陽光による日本人の最小紅斑量（MED）

平均的な日本人男性89名でMEDの測定試験を行った。Fig.-1に示したようにMEDは、1.36～2.99 cal/cm²の間にある人がほとんどで、88%に及んだ。平均のMEDは、2.20±0.90 cal/cm²であった。

Fig.-1. The variation of Japanese MED.

3.2 紫外線量の日内変動

紫外線量の日内変動を、一番緯度の高いミラノと、緯度の低い台北において、夏至のある6月と冬至のある12月の一番紫外線量の多かった日でみてみたのがFig.-2である。ミラノにおいては10時から14時の4時間で6月では1日の約48%となり、12月では、71%に達してしまう。一方台北においては6月は10時から14時の4時間で52%となり、12月は63%となる。つまり緯度が北へいくほど季節による違いが明らかになる。

横浜はその中間の変化をするが、年間を通じて1日の半量以上が10時から14時の間にきていることがわかった。

Fig.-2. Time course of ultraviolet radiation dose.

□ Milano-Jun. + Milano-Dec.
◇ Taipei-Jun. △ Taipei-Dec.

3.3 晴天の日の紫外線量の変動

横浜、ミラノ、台北の3都市の各月の1日毎の紫外線量のうち、大きい方から5日を選び平均した値をTable-1に示した。この値はほぼ晴れた日の1日の紫外線量を表し、その季節の1日の紫外線強度と言える。その結果紫外線の強いのは、台北の6、7、8月の43.41、38.79、41.73 cal/cm²/dayであり、ついでミラノの6、7、5月の38.70、36.28、34.89 cal/cm²/dayであり、横浜では

Table-1 Mean UV dose of Maximal 5 days and multiples of MEDs.

	Yokohama (35.3°N) UD dose* MEDs		Milano (45.4°N) UV dose* MEDs		Taipei (25.0°N) UV dose* MEDs	
Jan.	11.88	5.40	7.48	3.40	17.73	8.06
Feb.	17.46	7.94	11.07	5.03	23.85	10.84
Mar.	23.52	10.69	19.95	9.07	25.75	11.70
Apr.	30.56	13.89	28.98	13.17	28.21	12.82
May	34.56	15.71	34.89	15.86	36.06	16.39
Jun.	32.16	14.62	38.70	17.59	43.41	19.73
Jul.	33.35	15.16	36.28	16.49	38.79	17.63
Aug.	32.18	14.63	33.53	15.24	41.73	18.97
Sep.	23.59	10.72	22.35	10.16	36.32	16.51
Oct.	18.84	8.56	14.40	6.55	28.46	12.94
Nov.	12.45	5.66	8.69	3.95	22.26	10.12
Dec.	10.15	4.61	5.49	2.50	18.53	8.42
Mean	23.43	10.65	21.94	9.97	30.50	13.86
Max/Min	3.4	—	7.2	—	2.4	—

*; cal/cm²/day

5月の 34.56 cal/cm²/day であった。北海道と同じ緯度にあるミラノにおいては、夏の紫外線量の非常に強いことがわかった。位置的にはミラノと台北の中間にある横浜であるが、夏の紫外線量は一番低かった。大気汚染や天候状態などの影響が考えられる。

最大値を示す月は、横浜では5月、ミラノ、台北では6月であった。最小値は横浜、ミラノでは12月に、台北では1月に得られている。最大値と最小値の比は、ミラノで7.2倍、横浜で3.4倍、台北で2.4倍となり、緯度が北へ行くほど比は大きくなっている。

紫外線量が多い晴れた日には、日本人の皮膚はどれだけダメージを受けるのであろうか？ 3.1. で日本人が日焼けを起こす最小の紫外線量を測定したが、その値と比べてみると最大値を示した台北の6月の晴れた日で19.7倍であった (Table-1)。これは日の出から日没まで日光浴をした場合であるから現実的な値ではない。実際に太陽が出ている時間帯を戸外で過ごしてもそのほぼ 1/3 程度を浴びると推察される⁸⁾。一方、冬の紫外線を見てみると一番強い台北においても 8 MEDs であった。

3.4 各都市の年間平均紫外線量

Fig.-3 に日本の7都市及びミラノ、台北の年間総紫外線量を緯度によって示した。

年間総量で1番紫外線量の多かったのは、松本の8320 cal/cm²、次いで宮崎の 8285 cal/cm² となり、1番緯度の低い台北は 6965 cal/cm² と緯度の割には低い値であ

Fig.-3. Yearly ultraviolet radiation dose and latitude.

った。年間を通して一番紫外線量の少なかったのは、横浜の 5530 cal/cm² で、次いで1番北にあるミラノの 5663 cal/cm² であった。傾向としては緯度が北にいくほど紫外線量は低くなり、同緯度においては高度の高いほど紫外線量は高くなる。これから外れた値を取るのは、天候状態や大気汚染等の影響が大きいと考えられる。

この年間総量は日本人の MED を基準とすると、一番多い松本で 3781 MEDs、一番少ない横浜でも 2513 MEDs と莫大な値になる。人に慢性的な影響を引き起こす最小量は不明であるが、ヘアレスマウスでは 100 cal/cm²/3 months で明かな皮膚変化が現れる事を我々は実験的に観察している⁹⁾。この年間総紫外線量はその値の55倍から83倍にも相当する。

3.5 各都市の月平均紫外線量の変動

月毎の紫外線量は **Table-2** で示したように冬期に低く夏期に高くなる。年間で1番紫外線量の多い月は、5～7月でそれぞれの地域により異なる。つまり梅雨の訪れの早い南の地域（沖縄、宮崎）では7月に最大値を示し、6月に入梅となり7月中旬まで続く大阪、横浜、松本では5月に高い値が得られている。また梅雨の影響の見られない旭川では6月に最大値が得られた。またミラノでは6、7月とほぼ同じ高い値を示し台北では8月に高い値を示した。

また5～8月の4ヶ月間で、いずれの地域でも年間の約50%の紫外線量を記録した。

3.6 天候状態と紫外線量

月平均紫外線量は梅雨などの天候状態に左右されることを前項で示した。そこで横浜の1985～1989年の5年間の3、6、9、12月のそれぞれの天候と紫外線量を調べてみた。天候は、気象台発表のものを使用し1日中同じ天気であった日を選んだ。その結果を **Fig-4** に示す。

同じ晴れた日でも季節によって紫外線量は異なっている。しかしこの晴れた日を100%とすると、曇りの日は晴れた日の54～73%の間にあり、雨の日は16～24%の間にあり、どの月をとってもほぼ同じ割合であることがわかった。

Fig-4. Daily ultraviolet dose and weather.

3.7 高地における紫外線量

高地2地点で測定したデータについて、同時期の定点観測場所との比較を行った。ルクラの標高は2800mで、台湾の台北の9mと高度が大きく異なるが、緯度的にはほぼ同じである。両者の3月の紫外線量は(**Fig-5**)、明らかにルクラの紫外線量が大きく、10:00～14:00の4時間の紫外線量では22%高くなっている。またチベット高原のゴルムは、緯度的には横浜や松本と同じであるが、標高は3000mで、日本の代表的な高原都市である松本の610mに比べても非常に高い(**Fig-6**)。ここで7月に測定した紫外線量は、松本や横浜の一番高い日に比べても明らかに高く、紫外線の強い4時間では松本の13%増で

Table-2 Monthly ultraviolet radiation doses of 9 cities.

City	(cal/cm²/day)								
	Asahikawa	Akita	Matsumoto	Yokohama	Osaka	Miyazaki	Naha	Milano	Taipei
Latitude	43.5°N	39.4°N	36.2°N	35.3°N	34.4°N	31.6°N	26.1°N	45.4°N	25.0°N
Altitude	112m	9m	610m	39m	23m	7m	35m	9m	9m
Jan.	4.29	4.57	13.17	8.85	11.03	15.31	13.25	4.13	10.41
Feb.	9.59	9.10	18.28	11.55	16.05	17.71	25.03	6.58	10.60
Mar.	18.96	19.22	23.54	14.30	20.79	20.88	19.85	12.75	8.93
Apr.	21.23	27.14	28.74	20.36	26.81	26.66	22.38	17.49	14.28
May	24.15	29.45	35.94	23.06	32.55	30.69	28.43	24.95	19.29
Jun.	27.27	31.71	32.94	19.47	30.43	29.04	29.09	29.23	30.22
Jul.	26.35	27.86	28.29	19.99	27.36	31.48	32.09	29.51	29.36
Aug.	22.52	30.23	28.92	22.06	28.63	30.74	31.07	26.55	32.90
Sep.	17.33	22.51	20.09	13.85	18.82	21.56	24.71	17.06	22.89
Oct.	11.43	16.36	18.10	12.02	17.39	19.16	20.71	8.85	20.66
Nov.	5.77	9.18	13.39	8.49	12.32	14.44	15.91	4.81	12.14
Dec.	4.21	5.65	11.83	7.51	10.04	14.24	12.43	3.68	10.07
Year	16.12	19.46	22.79	15.15	21.05	22.70	22.13	15.52	18.53
Total*	5885.60	7104.70	8320.00	5530.24	7682.40	8285.20	8076.20	5664.86	6762.65

* ; cal/cm²/year

Fig.-5. Ultraviolet radiation dose at high altitude (I).

Fig.-6. Ultraviolet radiation dose at high altitude (II).

あった。

4. 考察

北緯 25° の台北から、45° のミラノまで緯度にして 20 度の開きのある 9 地点の紫外線量を測定した。緯度の違いによる紫外線量の違いについて見てみると、1 日の紫外線強度では、6 月は台北が 43.41 cal/cm²/day、ミラノは 38.70 cal/cm²/day で、台北がミラノの 1.12 倍である。一方 12 月は台北が 18.53 cal/cm²/day、ミラノが 5.49 cal/cm²/day で、台北はミラノの 3.37 倍となりその差は非常に大きくなる。南中時の太陽高度のみから理論値を出すと、6 月では台北はミラノの 1.08 倍、12 月では 1.84 倍と傾向は一致する。しかし実測値は更に大きな開きを持ち日照時間やエアマスなどの影響が大きいと考えられる。また台北での季節差よりもミラノでの季節差の方が非常に大きかった。つまり北へ行くほど季節差が大きくなり、冬ほど緯度差が出るのがわかった。

次に気象観測データのうち一番紫外線量に影響を及ぼすと考えられる日照時間との相関を、1985~1987 年の 6 月と 12 月の横浜について求めてみた。なお日照時間は横

浜気象台の気象月報の測定値を使用した。その結果、同一月内であれば、日照時間と、紫外線量に強い相関があり、日照時間の長い日には紫外線総量も多いことがわかった (Fig.-7)。

Fig.-7. The relationship between sunshine hours and ultraviolet radiation doses in December and June at Yokohama.

年間紫外線総量で横浜が非常に低い値を示したが、この理由の一つとして日照時間の影響が考えられる。そこで年間の紫外線量の約半量を占める 5~8 月の日照時間と、年間紫外線量の相関をとってみた (Fig.-8)。その結果よい相関が得られ、横浜の日照時間は 7 都市中で一番低く、紫外線量の低い原因の一つが日照時間の短さによることがわかった。

Fig.-8. Yearly ultraviolet radiation doses and 4 month's (Jun.-Sep.) sunshine hours of 7 cities.

次に全天空日射量 (紫外、可視、赤外のエネルギー量) と紫外線量の関係を探求めてみた。全天空日射量は理科年表の値 (横浜の測定値はないため日本国内 6 都市のデータ) を用い、紫外線量は Table-2 の中のデータ (各月の

平均紫外線量)を用いた。相関図を **Fig.-9** に示したが、非常によい相関が得られた。つまり紫外線量は、太陽からくる日射量の約 6~7% であり、この割合は大きく変動しないことがわかった。

Fig.-9. Monthly ultraviolet radiation doses and solar radiation doses at 6 cities.

以上我々が測定した紫外線量について述べてきたが、測定したそれぞれの地域に降り注ぐ紫外線は、現状でも皮膚障害を引き起こす十分な量であることがわかった。

更に地球規模の環境汚染による紫外線量の変化が予測される今日、現実の紫外線による皮膚障害を考える上で、またその防御を考える上で、直接紫外線量を測定する意義は大きいと考える。

参考文献

- 1) A.H. Kligman, “加齢と皮膚” p. 33 (1986) 清至書院
- 2) B.L. Diffey, *Photodermatology*, **4**, 118 (1987)
- 3) J.E. Frederick, H.E. Snell and E.K. Haywood, *Photochem. Photobiol.*, **50**, 443 (1989)
- 4) F. Urbach, *Photochem. Photobiol.*, **50**, 507 (1989)
- 5) T. Henriksen et. al., *Photochem. Photobiol.*, **51**, 579 (1990)
- 6) G. Kelfkens et. al., *Photochem. Photobiol.*, **52**, 819 (1990)
- 7) 福田 実, 長沼雅子, 中嶋啓介, *皮膚科紀要*, **82**, 551 (1987)
- 8) 福田實他, *粧技誌*, **13**, 20 (1979)
- 9) 長沼雅子他, *日皮会誌*, **100**(3), 189 (1980)

(平成3年1月11日受理)