

---

## 微細藻類の生育に及ぼす近紫外光の影響に関する研究

Effects of near ultraviolet radiation on the growth of various microalgae

代表研究者 東京大学応用微生物研究所教授 宮地重遠  
Prof., Inst. of Applied Microbiology, Univ. of Tokyo  
Shigetoh MIYACHI

協同研究者 マイアミ大学海洋研究所教授 三井 旭  
Prof., School of Marine and Atmospheric Sciences, Univ. of Miami  
Akira MITSUI

東京大学応用微生物研究所研究生 廣澤孝保  
Res. Assoc., Inst. of Applied Microbiology, Univ. of Tokyo  
Takayasu HIROSAWA

東京大学応用微生物研究所研究生 真部永地  
Res. Assoc., Inst. of Applied Microbiology, Univ. of Tokyo  
Eichi MANABE

東京大学応用微生物研究所助手 都筑幹夫  
Res. Assoc., Inst. of Applied Microbiology, Univ. of Tokyo  
Mikio TSUZUKI

The effects of long wavelength ultraviolet radiation from the solar radiation on growth rate of algae were studied with a newly constructed outdoor culture system in Tokyo and Miami, Florida, U. S. A. The near ultraviolet light, consisting mostly of UV-A, inhibited the growth from 10 to 40% in the morning; the inhibition was not significant in the afternoon. The percent inhibition was correlated with the total dose of the ultraviolet radiation. At the time when illumination started, the rate of photosynthesis increased rapidly to attain the maximum level at around 1 p. m. (usually). The increase in photosynthetic rate was slower in the presence of UV-A, although the maximum rate was similar to that attained in its absence. Thus, the inhibitory effect on algal growth may be due to the inhibition of the increase in photosynthesis which occurs after the sun rise. The most of the experiments were carried out with the algal cells which had not been exposed to UV-A. The same inhibitory effect on growth could be observed even in the algal cells which had been exposed to UV-A for 7 days.

The effects of UV-A on algal growth and on the Hill reaction with cells isolated from higher plant leaves were also studied in laboratory experiments under artificial light.

---

### 研究目的

紫外線の生物に対する影響は、一般に波長の短いものほど強く、短波長紫外線（波長、280 nm以下）や中波長紫外線（波長 280 nm～320 nm）の影響については、よく研究されている。しかし、長波長紫外線（波長 320 nm～400 nm, UV-A）

は、地表に到達する太陽光紫外線の大部分を占めているにもかかわらず、その影響についての研究は少ない。

一方、太陽エネルギーの効率的利用は、将来のエネルギー対策にとって、重要な課題であり、植物による物質生産の増大をめざして基礎的な研究

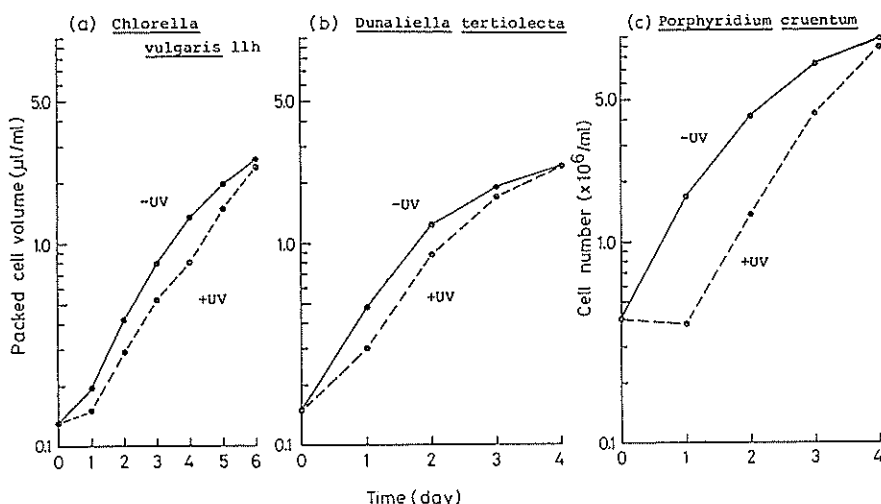


図 1. 長波長紫外線の藻類の生育に及ぼす影響. (a) *Chlorella vulgaris* 11 h, (b) *Dunaliella tertiolecta*, (c) *Porphyridium cruentum*. 実線は可視光 ( $8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) のみ, 破線は可視光に長波長紫外線 ( $7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) を加えたもの. (どの藻類も, 実験開始までは, 可視光のみを照射して培養した.)

を進めなければならない。こうした背景をもとに、本研究では、微細藻類を用い、その生育に対し、屋外で長波長紫外線がどのように影響するかを主な目的として研究した。

#### 研究経過・成果

研究は、初年度、種々の藻類および高等植物を用いた屋内実験を行なうとともに、屋外実験に用いる藻類培養装置を製作、東京大学応用微生物研究所屋上において、第2年度、太陽光に含まれる長波長紫外線の影響について、クロレラを用いて研究した。ついで、紫外線が強いと予想される、フロリダ州マイアミ市において、同様の実験を行ない、東京で得られた結果と比較した（第3年度）。

#### 1 種々の藻類に及ぼす人工長波長紫外線の影響

まず、緑藻 *Chlorella vulgaris* 11 h, *Dunaliella tertiolecta*, 紅藻 *Porphyridium cruentum* を用い、その生育に対する UV-A (昼光色蛍光灯を光源とし、光強度  $7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) の影響を調べた (図 1)。方法は日本カーバイド工業 (株) のハイエス・ビニルを用いて UV-A を除去することにより、除去しない場合と比較した。その結果、いずれの藻類においても、培養初期の生育が、UV-A によって顕

著に阻害された。その後、紫外線阻害はしだいに小さくなり、数日後には、UV-A を照射された細胞は、照射されていない細胞とほぼ同じ濃度にまで達した。この結果は、既にラン藻 *Anacystis nidulans* で得られた結果<sup>1)</sup>と一致した。*A. nidulans* では、UV-A の前照射によって、UV-A による阻害が見られなくなることから、UV-A 照射細胞に見られる生育速度の回復は、阻害原因からの回復かまたは、UV-A 感受性の低下によるものと考えられたが、ここで調べた種においても同様と思われる。

#### 2 高等植物に及ぼす UV-A の影響

従来紫外線に敏感な C<sub>3</sub> 植物と考えられてきたダイズ (*Glycine max* var. *enrei*)、紫外線に比較的耐性の強い C<sub>3</sub> 植物として知られている落花生 (*Arachis hypogaea*) と C<sub>4</sub> 植物であるメヒシバ (*Digitaria adscendens*) の単離葉細胞を用いて、光合成 Hill 反応活性に及ぼす UV-A の影響を調べた (図 2)。ポリトロンを用いて機械的に破碎あるいはセルラーゼオノズカ RS を用いて細胞壁を消化することにより細胞を単離し、 $11 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  の UV-A を 20 分間照射した。その結果、Hill 反応活性は、照射前の 30% 以下に減少した。藻類でも同様の結果が得られた<sup>2)</sup>が、同程度の阻害を得

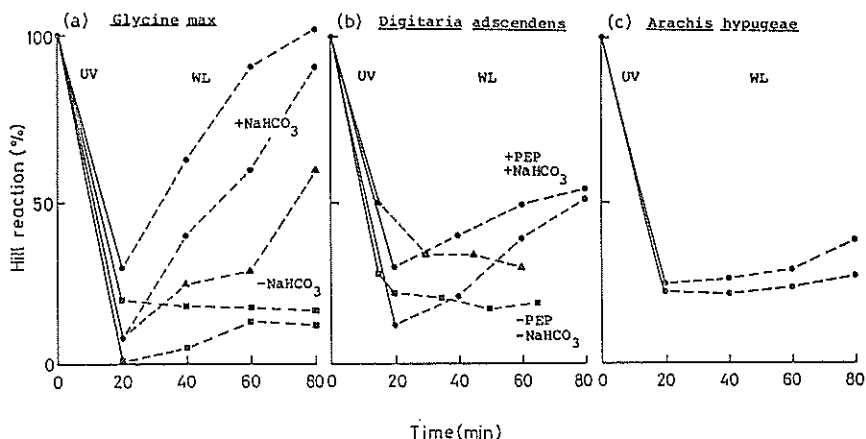


図 2. 高等植物単離細胞の Hill 反応に対する長波長紫外線の影響. (a) ダイズ (*Glycine max*). ●印と■印とは、成葉から、▲は第一葉から単離した細胞。●印では NaHCO<sub>3</sub> (5 mM) を添加した。(b) メヒシバ (*Digitaria adscendens*). ●印は PEP と NaHCO<sub>3</sub> 存在下、▲印は NaHCO<sub>3</sub> のみ、■印は PEP も NaHCO<sub>3</sub> も添加しなかった場合。(c) 落花生 (*Arachis hypogaea*). NaHCO<sub>3</sub> を添加してある。実線部分は、11 W·m<sup>-2</sup> の長波長紫外線を照射し、破線の部分は、白色光 (8 W·m<sup>-2</sup>) を照射した。

るためには、高等植物葉単離細胞では藻類の場合の 1.5 倍の UV-A を必要とした。しかし、単離細胞の場合、植物種間で阻害の程度に顕著な差が認められなかったことは、紫外線に対する耐性が、葉肉細胞自体の感受性に差があるのではなく、各種の色素を含む表皮系に依存していることを示唆する。長波長紫外線照射後、白色光に切り換え、その後の Hill 反応活性を調べたところ、ダイズでは、反応液中に NaHCO<sub>3</sub> が存在すると、活性はしだいに回復したが、NaHCO<sub>3</sub> が存在しない場合は活性の回復は認められなかった (図 2 a)。しかし、まだ成熟していない第一葉から単離した細胞では、NaHCO<sub>3</sub> が存在しない場合でも、回復が認められた。メヒシバ葉肉細胞では、NaHCO<sub>3</sub> のみの添加では回復が見られず、単離細胞の光合成に必要なとされるホスホエノールピルビン酸 (PEP) を加えて初めて回復が認められた (図 2 b)。これらの結果から、阻害された Hill 反応の白色光による回復には、炭酸固定反応を含めた光合成全体の活動が必要であると考えられる。しかし、落花生では、NaHCO<sub>3</sub> 存在下でも、白色光によって回復できなかった (図 2 c)。

以上の結果から、高等植物葉細胞においても、藻細胞と同様、UV-A により Hill 反応活性が阻害

され、その後白色光照射により回復されることが明らかとなった。

### 3 太陽光に含まれる UV-A の、藻類の生育に対する影響

まず、屋外実験用に藻類培養装置を作製した。培養の液量を数十 l 程度のもとするため、噴射循環式と斜面流路式について検討したところ、噴射循環式では、光の受容効率が低く、温度および pH の制御が困難、単位面積当たりの培養液量が少ないなどの点から、斜面流路式を採用した。図 3 にその装置を示す。培養槽は、紫外線を透過するアクリル (AT-Super, Shoritsu Plastic Co. Ltd., Tokyo) を用い、10 連の二重パイプ (図 3 右図、左図 a, b) からなる。内側パイプ (a) の内径は 5 cm、外側パイプの内径 10.5 cm とし、1 台当たりの培養液総量は 35 l である。培養液は、空気圧駆動のダイヤフラムポンプ (i) により内側パイプの中を循環し (35 l·min<sup>-1</sup>)、液留 (e) 中で空気または CO<sub>2</sub> を添加した空気を通気する。外側パイプ (b) 内には温度制御された水が循環する。アクリル製培養槽部分は、傾斜角度を太陽高度に合わせて調節することができる (j)。制御部分は、温度と pH の連続記録およびその制御装置からなり、pH の調節は供給する CO<sub>2</sub> の量によった。

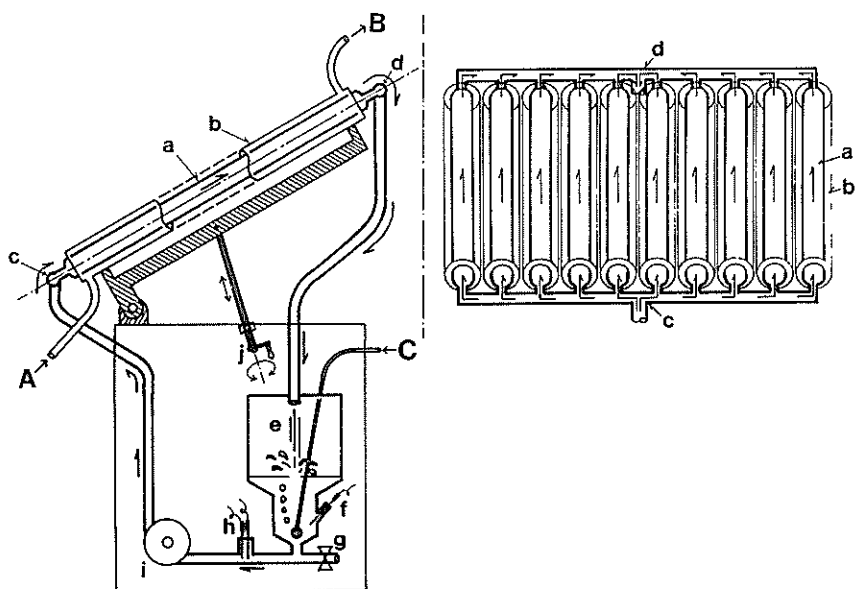


図 3. 屋外藻類培養装置. a. 10 連の亚克力製培養槽. b. 恒温槽. c. 細胞懸濁液を培養槽 a へ分岐する部分. d. 培養槽からの合流部分. e. 液留. f. pH センサー. g. サンプル用バルブ. h. 温度センサー及びそのコントローラー. i. ポンプ. j. 培養槽の傾斜を調節するハンドル. A. 恒温水の入口, B. 恒温水の出口, C. 2% CO<sub>2</sub> を含む空気の注入口.

この培養装置を、東京大学応用微生物研究所屋上に 2 基設置し、生育が速く、高い光合成活性を示す *Chlorella regularis* の生育に対する、太陽光に含まれる UV-A の影響を調べた。まず、2 基の亚克力パイプを紫外線を通さないビニルシート（日本カーバイド工業（株）製 Hi-S ビニル）で、藻細胞の生育が 2 基の培養槽で差がないように、チューブや液留を保温した。

次に、一方の培養装置のおおいを、UV-A を透過するビニルシート（三菱モンサント（株）製クリーンエース 10 ZD）に換え、*C. regularis* の生育速度を紫外線除去した装置の結果と比較した。材料には、前日まで UV-A を受けないで生育した細胞を新しい培養液で希釈し、夜間液留中で空気を通気したものを用いた。図 4 は、晴天の日の細胞の増殖曲線である。乾重量と細胞体積はよく似た増殖曲線を示し、クロロフィル量は乾重量より遅れて増加が始まった。UV-A を受けた細胞では、受けなかった細胞に比べ、生育速度が低かった。その阻害効果は、1 日 8 時間（9 時～17 時）

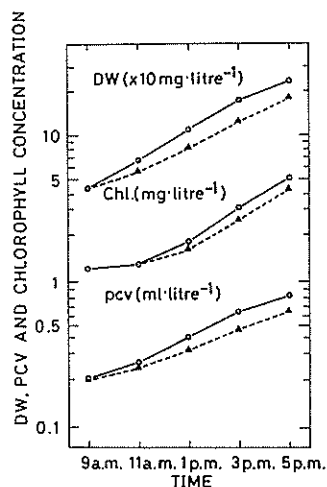


図 4. 屋外培養槽における、*Chlorella regularis* の生育曲線。実線は、UV-A を受けない細胞、点線は UV-A を受けた細胞。

の培養時間のうち、前半 4 時間で顕著に見られ、後半では生育速度に差は見られなかった。

図 5 は、東京における夏の晴れの日（1985 年 6 月 5 日）のスペクトルである（実線）。可視部（波

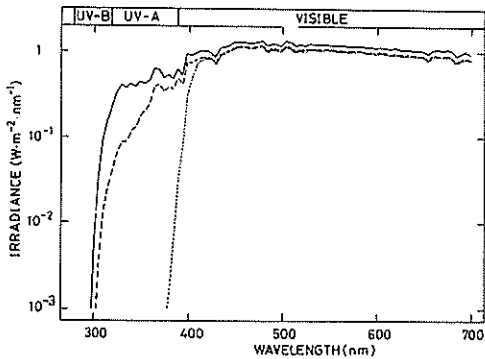


図 5. 東京における夏の日 (1985年6月5日) の太陽光のスペクトル (実線). 破線は、クリーンエースを、点線はハイ・エスのビニルシートを透過した光のスペクトルである。

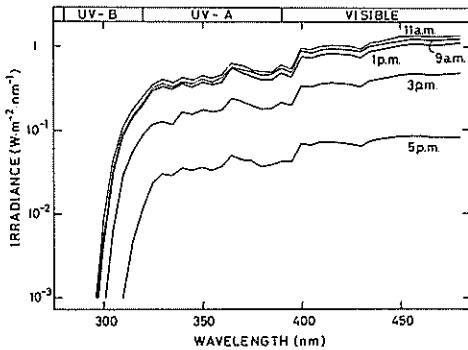


図 6. 東京における太陽光スペクトルの時刻変化. 測定は、1985年8月15日に行なった。

長 400~700 nm) のみならず、UV-A とわずかな UV-B (全紫外部の 10% 以下) の紫外部を含んでいる。破線および点線は、それぞれクリーンエースとハイ・エスのビニルシートを透過した光のスペクトルである。図 6 は、1985年8月15日 (快晴) の各時刻のスペクトルを示したものである。9時から13時までは、紫外部を含めて光強度が高いが、15時、17時と急激に減少した。15時における光強度は、11時の値に比べ、すべての波長で約 1/3 であり、17時までは 1/10 以下であった。

そこで、UV-A による *C. regularis* の生育速度とその阻害率 (%) を以下のようにして求め、1日間の生育速度とその日の全日射量、および生育速度の阻害率と紫外線量との関係を求めた。生育速

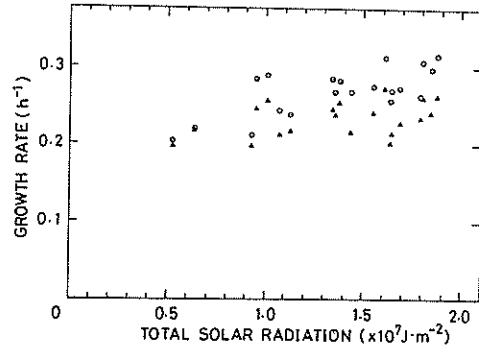


図 7. *Chlorella regularis* の生育速度と全日射量との関係。○印は UV-A を受けていない細胞、▲印は UV-A を受けた細胞。

度  $g$  は、培養時間を  $t$ 、培養開始前後の乾重量を  $DW(0)$ 、 $DW(t)$  とすると、

$$g = \{\log_2 DW(t) - \log_2 DW(0)\} / t$$

生育速度の阻害率  $I$  (%) は、紫外線を受けた細胞、受けない細胞の生育速度を  $g_x$ 、 $g_y$  として、

$$I = (1 - g_x/g_y) \times 100$$

で表した。

図 7 は、1984年5月から8月にかけて行なった、1日の生育速度とその日の全日射量との関係を示す。この図から、約  $10 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  以上の日射量で生育速度はほぼ飽和し、その最大値は約  $0.3 (\log_2 \text{unit} \cdot \text{h}^{-1})$  であることが明らかとなった。この値は、実験室で得られた最大値よりは、わずかに低かった。また、UV-A を受けた細胞の生育速度は、受けなかったものより低く、その差は日射量に依存しなかった。そこで、阻害率を紫外線量に対してプロットしたところ、高い相関が得られ、相関係数は  $0.82$  であった (図 8)。その時、阻害率は  $10 \sim 40\%$  であった。また、この図から明らかのように、1984年5月16日から1984年8月9日東京における夏の晴または曇天の日の紫外部日射量は、 $0.3 \sim 1.0 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  であった。図 4 で、1日の増殖のうち前半4時間の方が、後半4時間より、阻害が顕著であったことから、前後各4時間における阻害率とその間の紫外線との関係を図 9 に示した。図 7 から予想されたが、前半4時間 (9時から13時、図 9 a) の方が、後半4時間 (13時から17時、図 9 b) より、紫外線量は強

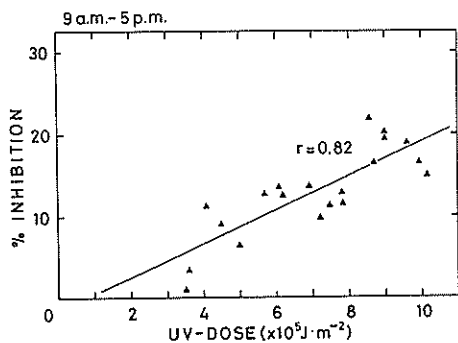


図 8. 太陽光に含まれる紫外線量と *Chlorella regularis* の生育阻害との関係.

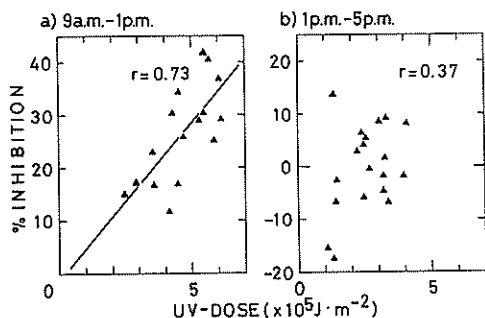


図 9. 1日8時間培養した場合の、前半4時間 (a) と後半4時間 (b) における、*C. regularis* の生育阻害率.

かった。しかし、前半4時間では、紫外線による生育阻害が見られ、その阻害は紫外線量に対し直線的に増加した。一方、後半4時間では、阻害はほとんど見られなかった。

一日における光合成活性の変動を調べたところ、活性は、9時には低かったが、すぐに高くなり、13時から15時にかけて最大値を示した。紫外線を受けた細胞でも、9時以降光合成活性は増加したが、紫外線を受けていない細胞に比べて、増加が抑えられた (図10)。11時以降は、紫外線を受けた細胞も受けていない細胞も、等しい光合成活性を示した。このことは、後半4時間で阻害が見られなかったことと一致する。

#### 4 マイアミにおける長波長紫外線の影響

東京では、屋外実験の場合、冬期は低温と光強度不足のため細胞の生育が悪く、実験に適さない。また、東京よりも強光度の紫外線を受ける場

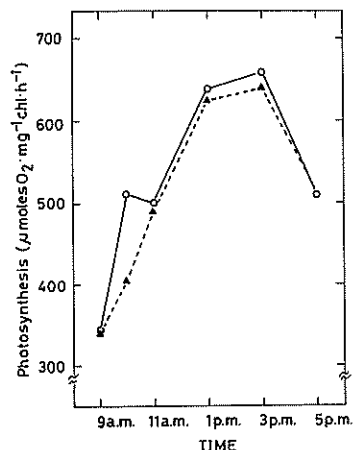


図 10. 東京における *C. regularis* の光合成の日変化.

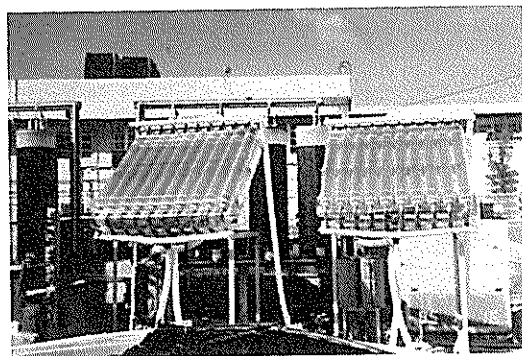


図 11. マイアミに屋外培養装置の設置.

所で、紫外線の影響を調べるため、東京で用いたものと同じ屋外培養装置を2基作成し、米国マイアミへ設置して実験を行なった (図11)。

図12は、1986年3月7日における480nm以下の波長の太陽光のスペクトルである。12時のスペクトルは、1985年12月29日、1986年1月17日、さらに4月12日にもほとんど同じスペクトルが得られた。また、前年の夏に東京で得られた結果 (図6) とよく似ていた。測定が冬から春にかけての結果であったためか、12時のスペクトルでは、必ずしも東京より紫外線が強いとはいえない結果となった。東京の結果 (図6) では、9時と11時とで光強度の差が少なかったが、マイアミでは、9時では低く、逆に15時の光

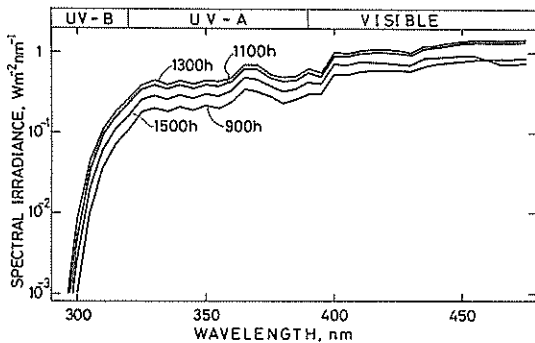


図 12. マイアミにおける、太陽光スペクトルの時刻変化。測定は、1986年3月7日に行なった。

強度は相対的に高かった。東京（東経 139°45′）は、標準時である明石（東経 135°）より 4°45′ 東に位置しているのに対し、マイアミは、標準時である西経 75 度より 5°20′ 西に位置していることから、測定地における太陽の動きは、標準時より東京で約 20 分早く、マイアミでは逆に 21 分遅い。すなわち、図 6 において 9 時のデータは、図 6（東京）の場合は 9 時 20 分に、図 11（マイアミ）の場合は 8 時 39 分に相当しており、このためにスペクトルの違いが生じたのであろう。

こうした太陽光のもとで、生育阻害をもたらす紫外線量の影響について検討した（図 13）。東京の結果と同じく、1 日のうちの前半 4 時間で生育が阻害され、後半 4 時間では阻害されなかった。図 13 a の直線は、東京における結果（図 9 a）から得られた相関直線であり、図 13 a から、マイアミの方が東京に比べ、UV-A による阻害が一見少ないような結果となった。培養装置に用いたアクリルの、UV-A に対する透過率を測定したところ、図 14 に示すように、マイアミで、用いた培養装置のために使用したアクリルの方が、東京で用いた培養装置に使用したアクリルより 300~400 nm の透過率が小さいことが明らかとなった。そのため、培養槽（図 3）内の細胞は 2 枚のアクリルを透過した光を受けることから各波長（320~400 nm, 10 nm おき）におけるアクリルの透過率を 2 乗し、1986 年 3 月 7 日 12 時（図 10）のその波長の光強度とを掛けて積算すると、マイアミで用いた培養槽では、東京で用いたものに比べ

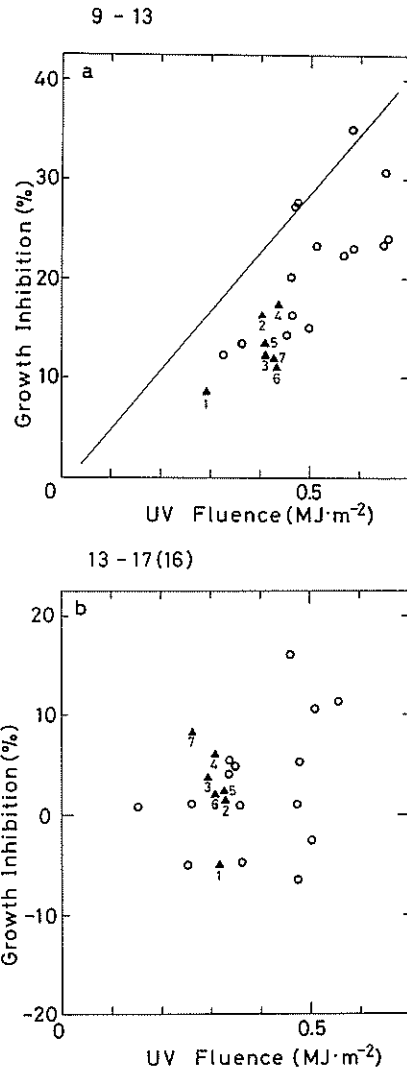


図 13. マイアミにおける *C. regularis* の生育阻害。1 日 8 時間の培養のうち、前半 4 時間 (a) と後半 4 時間 (b) とに分けて、結果を表わした。

て、20% UV-A を少なく受けていたことが明らかとなった。このことから、UV-A 透過ビニルシートを通過したあとの紫外線量に対し、東京マイアミ共ほぼ同じ程度の阻害が見られたといえる。

図 13 の▲印は前日まで UV-A を受けていた細胞を用いて得た値であり、▲印の下の数字は、生育阻害実験までに UV-A を受けた日数である。こ

の結果は、前日まで UV-A を受けていても、一晩経て細胞分裂を行なった細胞では、前日までに UV-A を受けていない細胞で見られたのと同じ程度の生育阻害が見られることを示している。このことから、太陽光照射下では、実験室で観察されたような UV-A に対する順化は起こらないものと思われる。

次に、生育阻害に対する細胞濃度の影響について

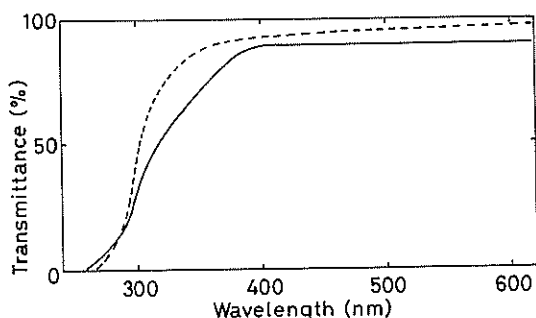


図 14. 屋外培養槽に用いたアクリルの、透過光スペクトル。実線と破線は、それぞれ、マイアミ、東京で用いたもの。

で検討した。1日のうち後半4時間で生育阻害が見られなくなる原因の一つとして、細胞が増殖して濃度が増すことにより、個々の細胞にあたる UV-A 量が減少することが考えられる。この可能性を調べるために、UV-A を受けた細胞が午後1時に到達する細胞濃度で、午前9時に実験を開始した。表1に示すように、阻害の大きさは幾分小さくなったが、なお、顕著な阻害が認められた。したがって、生育阻害が1日の後半に見られなくなる原因は、細胞による UV-A の相互遮へいによるものではなく、細胞自身の UV-A に対する感受性によるものと考えられる。

そこで、UV-A を午前中は受けず、1日の後半4時間のみ UV-A を受けるようにして、生育阻害を測定した(表2)。実験Iは、これまで通り午前9時に培養を開始し、午後1時から UV-A を受けるようにした場合で、実験IIは、午後1時に藻細胞の受ける UV-A 量を増やすため、同様の実験を1時間早く開始し、細胞の濃度もやや低くして実験

表1. 高い細胞濃度下における太陽光中の中波長紫外線による生育阻害。

実験開始時における細胞濃度 ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )		生育阻害度 (%)		紫外線強度 ( $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ )	
-UV	+UV	9 am.-1 pm.-5 pm.		9 am.-1 pm.-5 pm.	
82.8	83.3	22.1	2.7	55.4	37.9
89.5	91.8	22.1	-7.9	60.8	41.6
90.3	90.4	20.8	-1.2	59.4	37.4

表2. 培養前半は紫外線を除去した太陽光を照射し、後半にのみ長波長光紫外線を含む太陽光を照射した場合における藻類の生育。

I 培養時間: 午前9時~午後5時  
II 培養時間: 午前8時~午後4時

	細胞濃度 ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )		生育阻害度 (%)	紫外線総量 ( $\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ )
	-UV 1 pm. (noon)	+UV		
	-UV	+UV	1-5 pm. (正午-4 pm.)	1-5 pm. (正午-4 pm.)
I	123.5	114.0	1.1	36.1
	101.0	101.0	3.2	23.5
	113.5	110.8	5.5	30.3
II	95.5	88.0	8.3	48.1
	77.1	73.7	10.7	41.9
	78.0	78.4	10.6	36.8



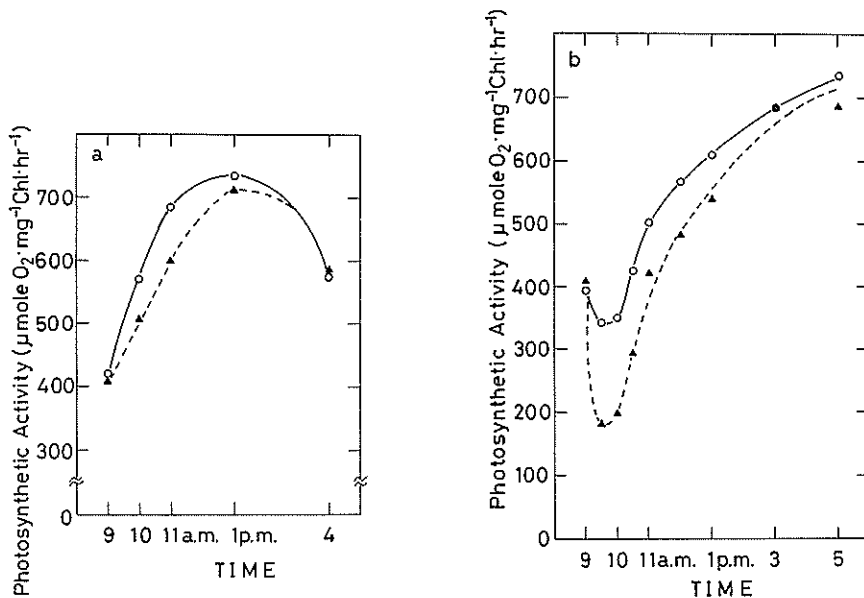


図 15. マイアミにおける、光合成活性の日変化. (a) 細胞の生育速度の高い日 (1985年12月3日). (b) 午前9時に17°まで気温が低下した日 (1986年3月23日).

を開始したものである。この実験から、午前中 UV-A を受けていない細胞においても、午後の UV-A による生育阻害はほとんどないが、阻害があるとしても、午前中に UV-A を受けた場合よりもはるかに弱い阻害しか受けないことが明らかとなった。

マイアミの太陽光のもとで生育した細胞でも、東京と同様、朝9時の光合成活性は約  $400 \mu\text{mol O}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{chl} \cdot \text{h}^{-1}$  であった。光を受けることにより、光合成活性は急激に増加し、午後1時には約700にまで達した (図 15 a)。この活性化の過程が UV-A を受けた細胞 (破線) で抑制された。この結果は東京で行なった結果と一致した。また、(夜間の温度制御が不完全なため) 夜間気温が低下した場合、翌日の生育速度が非常に低くなってしまった。この時、光合成活性は図 15 b のように太陽光を受けると一時的に活性が低下し、その後回復した。この条件下でも、UV-A を受けた細胞では、受けなかった細胞より初期における光合成活性の低下がより顕著であった。

#### 結果のまとめと今後の課題

屋外実験の結果をまとめると、(1) 太陽光のも

とでクロレラを生育させる場合、太陽光に含まれる UV-A により細胞は生育阻害を受ける。(2) その阻害は1日の培養の前半で見られ、後半では生育速度は回復した。(3) 生育阻害の程度は受けた UV-A 量に従い、ほぼ直線的に増加した。(4) この生育阻害は細胞濃度を高くした場合にも見られたことから、実験に用いた細胞濃度範囲内では濃度に依存しない。(5) 午前中 UV-A を受けなかった細胞が、午後から UV-A を受けても生育阻害はほとんど見られなかった。(6) 光合成活性は培養開始から午後1時頃まで急激に増加したが、UV-A を受けた細胞ではその増加が抑えられた。午後には、UV-A を受けた細胞も受けなかった細胞も等しい光合成活性を示し、時間とともに低下した。(7) 夜中が低温だったり、明け方の冷えこんだ日 (午前9時に培養液が17°C) は、UV-A を受けなくても、午前中は光合成の増加が少なく、培養開始後いったん低下し、それから上昇する場合も見られた。こうした場合には日没近くまで光合成活性は上昇し続けた。この場合も、UV-A は午前中の光合成活性低下促進に認められた。このことから、屋外で藻類を培養する場合、太陽光に

含まれる UV-A は光合成活性を阻害し、その結果、生育が抑えられるものと考えられる。高等植物の単離葉緑体では、UV-A により Hill 反応活性が阻害されたことから、屋外での藻類の培養で見られた UV-A による生育阻害も、Hill 反応活性が抑えられている可能性がある。この点は今後に残された問題である。また、午後には阻害が見られないという点に関して、午前中に受ける可視光が、UV-A による阻害を抑えているのかどうかについても検討すべきであろう。さらには、同調培養系による室内実験を行なうことにより、細胞の発育段階によって UV-A に対する感受性が変化するのかが明らかになることが出来よう。

室内実験では、UV-A による藻類の生育阻害は 1 日以上たってから回復したのに対し、屋外では 4 時間後には回復していた。このように、屋外と室内実験の結果とが必ずしも一致していない。その原因は可視部の光強度の違いによるものと想像される（屋内では 24 時間で  $0.7 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  に対し、屋外では昼間の 8 時間で  $5 \sim 19 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ）が、定かではない。これまで、室内実験で得られた結果を屋外実験の結果と比較検討することは、細胞の性質を明らかにするためにも、また、太陽エネルギーを利用して藻類を培養するためにも重要なことであろう。

さらに、夏の東京で得られた太陽光のスペクトルと冬から春にかけてマイアミで得られたスペクトルとがほぼ一致し、光強度も大差はなかった。このことから東京においても夏に降りそそぐ紫外線量はかなり強いことが明らかである。今後、定期的に太陽光のスペクトルを測定しつづけることが可能ならば、地球レベルでの変化をとらえられるかもしれない。

本研究によって、藻類の生育が UV-A によって阻害されることが明らかになったが、生態レベルで自然に生息している藻細胞でも UV-A によって生育阻害を受けていることが予想される。一方、用いたクロレラは、東京では夏にのみ生育が

認められたこと、夜や明け方の低温で生育が抑えられたことから、自然のもとでも主に夏にのみ増殖し、冬はほとんど増殖しないものと思われる。本研究によって作製した屋外培養装置は、液留部分に光が当たらないため、光エネルギーの利用という点では、さらに効率化をはかる必要がある。

#### 謝 辞

屋外培養実験につきましては、一部、文部省科学研究費・エネルギー特別研究「高エネルギー植物の研究」からのご援助も受け、研究を遂行できましたことを深謝いたします。最後に、3 年間にわたり、本研究をご援助いただき、不十分ながらも、研究結果をまとめるに致りましたこと、日産科学振興財団および選考委員の諸先生方に心からお礼申し上げます。

#### 発表文献

- 1) T. Hirose and S. Miyachi: Effects of long-wavelength ultraviolet (UV-A) radiation on the growth of *Anacystis nidulans*. *Plant Science Letters*, 28, 291-298 (1983).
- 2) T. Hirose and S. Miyachi: Inactivation of Hill reaction by long-wavelength ultraviolet radiation (UV-A) and its photoreactivation by visible light in the cyanobacterium, *Anacystis nidulans*. *Arch. Microbiol.*, 135, 98-102 (1983).
- 3) S. Miyachi, T. Hirose and M. Tsuzuki: Regulation of photosynthetic carbon metabolism in microalgae by wavelength of incident light and by  $\text{CO}_2$  concentration. *In Advances in Photosynthesis Research*. Edited by C. Sybesma. Vol. III p. 565-572. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague (1984).
- 4) T. Hirose: Near-UV and blue light effects in cyanobacteria. *In H. Senger (ed.), Blue light effects in biological systems*. p. 39-47. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (1984).
- 5) G. Ruyters, T. Hirose and S. Miyachi: Blue light effects on carbon metabolism in *Dunaliella*. *ibid.*, p. 317-322 (1984).
- 6) E. Manabe, T. Hirose, M. Tsuzuki and S. Miyachi: Effect of solar near ultraviolet radiation on growth of *Chlorella* cells. *Physiol. Plant.*, 67, 598-603 (1986).