

JIER-025

照明学会研究調査報告書

第 号

光放射と植物成育に関する研究

光放射と植物の成育に関する研究調査委員会

1993年11月

社団法人  
照明学会

## 目 次

1.	はじめに	1
2.	光放射と植物の反応	3
2. 1	光合成	3
2. 2	光形態形成	5
2. 3	光周性	9
2. 4	動特性	12
3.	光放射の計測	19
3. 1	光放射の定量	19
3. 2	植物の成育環境要因としての光放射	21
3. 3	光放射の測定	23
4.	光源の特性と評価	24
4. 1	自然光と太陽光	24
4. 2	人工光源の種類と特性	27
4. 3	植物成育から見た光源の評価	33
5.	施設農業・植物生産への利用	40
5. 1	作物への利用	40
5. 2	植物工場・CELLS等への利用	46
6.	アトリウム・インドアガーデンへの利用	51
6. 1	意義	51
6. 2	光放射環境の設定と制御	53
6. 3	実施例	58
6. 4	課題と将来	83
6. 5	ガイドライン	86
7.	ライトアップの植物への影響	90
7. 1	意義と概要	90
7. 2	植物成育への影響	94
7. 3	新聞等の報道例	98
7. 4	課題と対応策とガイドライン	102
8.	放射その他の植物への応用	104
8. 1	電磁界の影響	104
8. 2	電磁波の周波数違いによる挙動	106
8. 3	音	109
8. 4	紫外線	109
9.	おわりに	111
10.	参考資料	112
10. 1	「植物成育」のテクニカルタームについて	112
10. 2	「新聞記事そのまま」	117



## 1. はじめに

われわれの住む自然生態系の構成要素は、生物的要素と、大気、水、土壌、光などの無機的要素に大別される。生物的要素はさらに、生産者、消費者、分解者に別けられるが、地球上の唯一の生産者は植物であり、植物あるいはそれを食べて成育する動物を食料とする人間を始めとする消費者、および死んだ動植物を分解して無機化するバクテリアなどの分解者に別けられる。

生産者である植物は、光を光合成のエネルギー源、発芽や開花などの形態形成に要する刺激源とし光に依存して成育している。

エジソンの白熱電灯開発に始まった人工光源の開発は、単に熱放射による発光にとどまらず、各種放電ランプや発光ダイオード、レーザーに発展し、またそれらの人工光源（放射）の利用も植物の成育を単に自然光に依存するばかりではなく、植物の有するさまざまな特性を把握活用することにより、キクの電照栽培や植物工場に見られるように任意に開花を調節したり、自然光に頼ることなく周年的に野菜を生産できるようになった。

また、人工光源の利用は人間を夜から開放し、地下や執務空間、居住空間の快適化のためにアトリウム、インドアガーデンのようにある程度の緑の維持も可能となった。一方、道路照明や都市、公共施設の美観を高めるためのライトアップが植物の成育に影響を与える事例も見られるようになった。本委員会は、このような状況の下に、

- 1) 植物の成育と光放射の関係の調査と概要のとりまとめ
- 2) 植物生産、アトリウム、インドアガーデンなどへの光放射の利用調査と概要のとりまとめ
- 3) 屋外夜間施設、ライトアップなどの樹木への影響調査と影響防止のためのガイドラインの作成

を目的として平成2年7月に設置され、平成5年3月まで11回の委員会を開催するとともに4回の現地調査、見学を行った。

本委員会の委員構成は以下のとおりである。

本報告をまとめるにあたり、貴重な時間をさいて調査、執筆にあたられた委員各位、および事務局に厚くお礼申し上げます次第である。

また、本委員会の席上、「植物成育」のテクニカルチームにつき、成育とするか生育とするかについて資料の調査、収集と討議が行われ成育とすることに決まったが、これまでにこのような調査がまとめられたことはないのではないかと考えられたので、その概要を参考資料10.1として掲げた。

なお、この調査は平田委員、村上委員、田澤幹事に負うところが大きい。3氏に感謝を表す次第である。

委員構成		
委員長	蓑原 善和	(株) 環境リサーチ (1章、5章1項、8章)
副委員長	河本康太郎	東芝ライテック(株) 技術本部研究所 (4章1項、7章4・5項、9章)
幹事	田澤 信二	岩崎電気(株) 開発部 (6章5項、7章1項)
幹事	洞口 公俊	松下電器産業(株) 生活システム研究センター 照明研究所 (5章2項、6章2・5項)
委員	相賀 一郎	大阪府立大学農学部農業工学科 (4章3項、5章2項)
	饗庭 貢	金沢工業大学電気工学科 (7章1項、8章)
	栗田 昌延	日立照明(株) ソフト研究センター
	岩尾 憲三	中部電力(株) 電気利用技術研究所 (2章4項)
	内田 徹	(株) 四国総合研究所バイオ・新素材 情報研究部
	大政 謙次	環境庁国立環境研究所生物圏環境部 (2章1項、3章)
	向阪 信一	松下電工(株) 中央EC (7章1項)
	今野 英山	(株) 竹中工務店技術研究所 (6章3項)
	佐々木 恵彦	東京大学農学部林学科
	菅沼 浩敏	(財) 電力中央研究所我孫子研究所 生物部 (2章3項)
	平田 良樹	農林水産省野菜茶業試験場花き部 緑化植物研究室 (2章2項、6章5項)
	坊垣 和明	建設省建築研究所第5研究部 居住環境研究室 (6章1・4項)
	本多 二郎	日本電池(株) 照明事業部 (4章2項)
	三沢 彰	千葉大学園芸学部環境緑地学科 (7章2項)
	村上 克介	大阪府立大学生物資源開発センター (4章3項、5章2項)
	山下 幸夫	鹿島建設(株) 建築設計本部 設備設計部 (6章3項)
	山田 直	東京電力(株) 営業開発部 (7章3項)
事務局	中村三七雄	(社) 照明学会
協力執筆者	戸部 和夫	環境庁国立環境研究所生物圏環境部 (2章1項、3章)

## 2. 光放射と植物の反応

### 2. 1 光合成

植物の光吸収に伴って生じる様々な生理反応のなかでも、光合成反応は、光放射が量的な面で影響をもつことに特徴がある。従って、アトリウムやインドアガーデンのような弱光下での植物の栽培を考えるうえでは、光合成は植物が成育状態を維持するために重要性の高い生理反応であるといえる。ここでは、特に、光に関連した側面から光合成の諸特性をとりあげる。

#### 2. 1. 1 光合成反応

光合成反応においては、まず、光エネルギーがNADPHとATPの化学エネルギーに変換される。ついで、この化学エネルギーを用いてCO<sub>2</sub>からブドウ糖などの有機物質が合成される。

NADPHとATPの合成までの反応は葉緑体内のチラコイド膜の膜内におよび膜面上において行われる。葉緑体内に入射した光は、まず光合成色素により吸収される。植物の葉緑体には、光合成色素としてクロロフィルaのほか数種類の補助色素が含まれている。これらの色素はそれぞれ異なった吸収スペクトルを示し、色素全体ではおよそ350~750nmの幅広い波長範囲の光を集光できるようになっている。光を吸収した色素は励起状態に遷移する。励起状態の色素は励起エネルギーを次々に他の色素に渡し、最終的に反応中心のクロロフィルaの励起エネルギーは、電子伝達系におけるNADPHの合成や光リン酸化反応によるATPの合成に用いられる。

こうして合成されたATPとNADPHに蓄えられた化学エネルギーを用いて有機物質が合成される。この反応は、葉緑体のストロマで行われる液相反応で、カルビン回路と言われる多段階の回路反応を通して、CO<sub>2</sub>やNADPH中のHを原料として有機物質を合成する。このカルビン回路内の中間産物は、ブドウ糖をはじめ各種の植物の成育に必要な物質の合成原料として用いられる。

光合成反応に影響を与える要因としては、光照射量、CO<sub>2</sub>供給量、葉温などがある。このうち、光照射量はNADPHとATPの合成速度に影響し、CO<sub>2</sub>供給量はカルビン回路の反応速度に影響をおよぼす。光合成反応が効率よく進むためには、照射光とCO<sub>2</sub>の双方が十分に与えられる必要がある。

## 2. 1. 2 光条件と光合成

植物に照射された光のうちおよそ350~750nmの波長範囲の光が光合成に有効に用いられるが、この波長範囲内の光が光合成反応に対し同等の有効性をもつわけではない。すなわち、一定の波長をもつ一定数の光子を照射したときに引き起こされる光合成反応量を各波長ごとに求めた光合成作用スペクトルは、約650nmの赤色域と約450nmの青色域に極大点があり、約650nmの赤色域において最大値をとる曲線である。また、光合成作用スペクトルの曲線のパターンには、植物種によりある程度の相違が認められる。

光の照射量は、NADPHとATPの合成速度に影響をおよぼす。光の弱い条件下では、呼吸速度が光合成速度より大きいので、植物は見かけ上 $O_2$ を吸収して $CO_2$ を放出している。そして、光の強さがある程度大きくなると、光合成速度が呼吸速度より大きくなり、 $CO_2$ の吸収と $O_2$ の放出が生じる。ここで、光合成速度と呼吸速度が等しくなるときの光の強さを光補償点という。そして、さらに光の強さを増していくと光合成速度は増加していくが、光の強さがある値を越えると光の強さを増加しても光合成速度が上昇しなくなる。光合成速度の上昇の停止がはじまるときの光の強さを光飽和点という。光補償点以下の光の強さのもとにある程度の期間さらされると、植物は成育できなくなる。また、光飽和点以上に光の強さを増加しても光合成速度は変化せず、これ以上の光合成速度の上昇のためには $CO_2$ 供給量の増加をはからなければならない。

こうした光の強さに対する特性は、植物種により大きく異なる。すなわち、光の強い環境下での適応性の高い陽性植物では、一般に光補償点と光飽和点がともに高く、クチクラ層が厚く柵状組織が発達して厚みがある葉（陽葉）を持っているのが特徴である。一方、光の弱い環境下でも成育可能な陰生植物では、光補償点と光飽和点が低く、面積が大きく薄い葉（陰葉）を持つものが多い。また、同一植物種であっても、光の強さの大きい環境下に置かれていれば陽葉を発達させ、受光量の少ない環境下では陰葉を発達させる傾向がある。従って、同一の植物種であっても、それまでに受けた照射光の強さの前歴によって光に対する反応特性が異なってくる。このように植物種によって光条件への適応性が異なることから、屋内環境のような弱光下で植物を栽培するためには、環境の明るさに応じた植物種の選定が重要となる。

## 2. 1. 3 $CO_2$ 吸収と光合成

光がある程度十分に照射されている条件下では、暗反応系への $CO_2$ の

供給量が光合成の速度を決定するうえで重要になる。CO<sub>2</sub>の供給量は主に葉面の気孔の開度に依存する。気孔は2個の孔辺細胞より構成され、孔辺細胞の膨圧変化により細胞容積を変えることによって、2個の孔辺細胞間の間隙の大きさ（開度）を変化させている。気孔はこのようにして開度を調節することにより外気との間のガス交換速度を調節している。気孔は多くの植物種では葉面積1mm<sup>2</sup>あたり50~300個程度分布し、植物種により葉の表裏に分布するものもあれば葉の裏面にのみ分布するものもある。気孔の開度が大きいほうが光合成のためには有利であるが、気孔から植物体内の水が蒸発（蒸散）して失われるのを避けられない。そこで、植物は、環境条件の変化に応じて気孔開度を調節することにより、水分の消耗の抑制とCO<sub>2</sub>の吸収量の維持の間の調整を行っている。多くの植物種では、光合成の行われる明条件下では気孔を開口し、暗条件下では閉口している。また、気孔は土壌中の水分量の低下や大気中湿度の低下などにより開度を低下させて、体内の水分の消耗を防ぐ。このように気孔はさまざまな環境要因の変化により開度を変えるが、気孔開度の変化により、光飽和点での光の強さの値も変わってくる。

一方、大気中から吸収したCO<sub>2</sub>のカルビン回路の前段階での固定方式により、植物は、C<sub>3</sub>植物に比べて高効率でCO<sub>2</sub>を固定することができるので、光の強い環境下では成育速度が大きい。また、CAM植物では、夜間大気中から吸収したCO<sub>2</sub>をもとに有機酸を合成して液胞に蓄え、昼間には夜間蓄積された有機酸の分解により生成するCO<sub>2</sub>をもとに同化反応を行う。CAM植物では、水の蒸発しやすい昼間気孔を封鎖することができるため、乾燥条件下での適応性が高い。

また、光合成の速度は葉温にも依存する。光合成の速度が最大になると葉温は植物種により異なり、C<sub>3</sub>植物で15~25℃、C<sub>4</sub>植物で30~47℃である。この最適温度以下の温度域では、光が十分に照射されていれば、葉温の10℃の上昇ごとに光合成速度が約2倍となる。しかし、葉温の上昇により光合成速度が顕著に増加するのは光照射の強さが光飽和点を越えている場合に限られる。弱光下では、葉温上昇による呼吸速度の増加のため、光補償点が上昇し、見かけの光合成速度が低下する。したがって、弱光下での温度上昇は、光環境としての側面からのみ見れば、植物の成育に不利な要因となることが多いといえる。

## 2. 2 光形態形成

光合成による植物の成長とは別に、光による植物体の分化、発達、伸長などの形態形成を光形態形成と定義している。器官別にここでは主として佐々木<sup>1)</sup>に基づき概説する。

## 2. 2. 1 種子発芽

種子の発芽には好光性と嫌光性が知られている。光不感応性種子といわれているものでも、厳密に試験すれば、発芽に対して光の効果が認められることが多い。すなわち種子の水分比、熟度、または光のスペクトル比など、光照射条件を変えることによって好発芽性に転換できる。種子の光発芽現象には弱光に対する反応と強光に対する反応がある。弱光下における種子の発芽の作用スペクトルをみると、赤色光(660nm)に発芽促進作用があり、遠赤色光(730nm)付近に発芽抑制作用がある。一般に赤色光と遠赤色光の作用は可逆性を持ち、赤色光による発芽促進効果は遠赤色光を照射することによって打ち消される。交互に照射した場合は、最後に照射した光の効果が現れる。嫌光性種子に長時間遠赤色光を照射することにより起こる発芽阻害は強光反応で、例えば裸地に成育する草本類や木本類でも、先駆種ではやがて樹冠が覆われるにつれ、枝葉越しの光に赤色光が少なくなり、かわって遠赤色光が多くなるので、自身の種子は発芽しにくくなり、植生変遷の一つの要因となっている。果実は成熟するにつれて果実色を変化させる。これは果肉を通した光の質を次第に変えることで、種子発芽を自己制御していると考えられる。

## 2. 2. 2 胚軸および節間の伸長

胚軸や上胚軸の節間伸長は光によって制御されており、発芽直後のそれらは暗中でよく伸びる。ところが、クロロフィルを含まない黄化苗と、クロロフィルを含む緑化苗とでは、当然組織内に到達する光の波長特性に差異を生じるので植物体の反応が異なる。

エンドウの黄化苗では節間や葉の成長に対し、610nm~710nmの波長域の光が伸長に促進効果を持ち、720nm以上の長い波長では急速に促進効果が減少する。黄化インゲンでは赤色光と遠赤色光との間で促進、抑制の相反する効果があり、さらに両者の可逆性も実証された。このほか青色光による成長抑制がエンドウなど胚軸切片で見られる。青色光による抑制効果は遠赤色光によって打ち消される。

緑化苗では、これらと同じ結果の場合もあるが、まったく逆の関係になることもあり、どうも植物種による違いが認識されるようになった。それ以来胚軸成長でオシロイバナ型、キュウリ型等に一応分類されている。

## 2. 2. 3 葉の展開と伸長

暗黒下で成育したインゲンの黄化苗の葉は赤色光によって展開し、遠赤色光によって抑制される。しかし細胞分裂と細胞伸長では異なる反応を示し、白色光の場合には弱い光で分裂が促進され、強い光では細胞伸長が促進される。また赤色光は細胞分裂を促進し、遠赤色光の強光は細胞伸長を促進する。したがって葉の伸長にもフィトクロムの弱光反応と強光反応が存在すると考えられる。青色光の葉の展開に対する効果は、オオムギ、イネの第2葉では促進的なことが知られている。

## 2. 2. 4 葉形

太陽光を直接受けている葉を陽葉、日陰に存在する葉を陰葉という。陽葉は葉が厚く、柔細胞の層が多く、陰葉は薄く、柔細胞層の発達が悪い。しかも陰葉ではクロロフィルbの量が多く、RuDPが少ない。クロロプラストの形態も異なり、陽葉のクロロプラストはラメラ構造が少ないため、グラナが発達しない。陰葉ではグラナが発達している上、多様な方向を示し、散光を捕捉しやすくなっている。このような陽葉の形成は青色光または強光下で起こり、陰葉は赤色光または弱光下で起こる。しかもクロロプラストの形成はフィトクロムによって制御されているので、葉の形態形成と光との関係は極めて重要である。屋内緑化の分野では弱光耐性を高めるため苗順化の基礎理論として重要である。

## 2. 2. 5 冬芽の形成

秋が訪れ、短日になると、温帯性の木本性植物では頂芽または側芽が冬芽を形成して越冬準備にかかる。芽の形成には、節間伸長の抑制、葉の展開抑制が起こると同時に、葉原基が鱗片葉状に変形し、芽鱗を形成するものと、托葉が変形して芽鱗になって成長点を包むものことがある。いずれも葉原基分化後の葉の発達過程における形態形成であり、この現象は光周反応の一つでもある。冬芽が形成されない場合、栄養成長を続けて葉の展開と枝の伸長が遅くまで続く結果、耐寒性の低下、落葉遅延、異常萌芽など植物の正常な成育サイクルが妨げられることになり、見苦しいだけでなく、種々の障害が発生するものとなる。

## 2. 2. 6 花芽の形成

花芽の形成にも同じく日長が関係している。花芽分化はそれまで栄養成長を続けていた植物体が生殖成長に転換した証拠であり、現象的には、成長点が葉原基分化を中断し、花器の分化を始めることにある。キクなど代表的短日植物においては、長い暗期の途中で赤色光の短時間照射を行うことにより、容易に花芽分化を抑制できる。これは遠赤色光で可逆的に打ち消すことができる。長日植物には赤色光の連続照射で花芽を形成しないが、紫色光、青色光、遠赤色光のいずれかの光によって花芽を形成するものがある。いずれにしても光は花芽形成に重要な因子であるが、光は花芽分化開始のための引き金的働きをするだけで、実際に花芽分化が順調に推移するか否かはその他に植物体の栄養状態、体内ホルモン比率、環境温度等が原因となって変動しやすい。なお花芽分化の直接の要因は、植物によっては光だけでなく、温度も重要である。また花き栽培では、ジベレリン、ジベレリンの拮抗物質である各種矮化剤、エチレン等の植物成長調節物質も花芽を人為的に誘導したり防止するために利用されている。

## 2. 2. 7 根の伸長

一般に白色光は根の成長を抑制する。波長別に見ると、青色光は細胞分裂と伸長を止めるのに対し、赤色光は細胞伸長のみを抑制するといわれる。また側根、不定根の形成はフィトクロムの作用であるとされている。緑化植物の分野では今後人工地盤などに向く浅根性苗を育成するために応用できないかと期待されている。

### 参考文献

- 1) 佐々木恵彦 光質に対する植物の基礎的反應 (光と植物生育) 50-88. 養賢堂、(1984)

## 2.3 光周性 (光周期の調節機構) 植物の光周期反応

生物反応の内には、時間を測定していると思われるものがある。この時間測定には、内在しているものもあるが、外部環境の変化、特に明暗の周期に関係しているものが多く、これが生物の季節変化の誘因になっている場合がある。光周性はその著しい例の一つであり、植物・動物に広く認められている。

1920年にアメリカ農務省の植物生理学者GarnerとAllardが、タバコの新品種であるメリ-ラント・マンモス (Maryland Mammoth) の実生を北緯39度で晩秋の頃、温室に入れて栽培したところ、夏に栽培すれば4.5mも成長して開花しないのに対し、この冬の温室栽培では僅か1m足らずしか成長しないのに立派な花を着け、沢山の種子が結実することを観察した。また、両氏はその当時ダイズの晩生品種のバイロキシー種 (Biloxi) の開花についても実験を行い、初夏に播種すると発芽後長期間成長を続け、晩秋に開花するが、播種期を次々に遅らせると、次第に発芽から開花までの日数が短縮され、晩秋に殆ど同時に開花することを観察した。このようにして、光周性は1920年に両氏により明確化された現象である。

植物における光周性は、上記の開花 (花芽形成、花芽の発達) の他に、雌雄性の決定、芽および種子の休眠、根の成長、茎の成長、塊茎形成、紅葉、落葉などの諸生理現象に認められている。

光周性における長日、短日、中性などの分類は、発見の初期において日長で区分されていたが、現在は、図2.3.1に示すように、日長に対する反応性で分類されている。

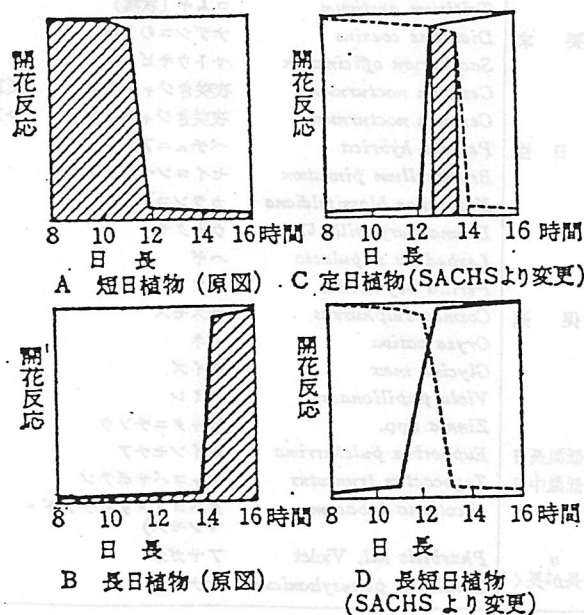


図 2.3.1 植物の日長型と限界日長 (田口)

斜線の部分は開花範囲

すなわち、ある生理現象が（24時間の明暗の周期で）暗期が特定の長さより長い時に生じるならば、その現象は短日性であるとする。逆に、ある特定の長さより短い暗期が与えられた時に生じるならば、その生理現象は長日性であるという。さらに、明期・暗期の長さに関係なく生じるならば、その生理現象は光周性に対して中性であるという。この短日性、長日性の植物においてみられる開花が起こる日長と、開花が起こらない日長との境の日長を限界日長といい、短日性とは限界日長より短い日長に、長日性とは限界日長より長い日長に反応することを意味する。種々の植物の花芽形成に対する日長を示すと表2.3.1の通りである。

表 2.3.1 いろいろな植物の花芽形成に対する日長  
(育種ハンドブック、1974 より抜粋)

日長反応	学名	和名	限界時間	
長日植物	<i>Agropyron smithii</i>	カモシグサ	>10hr	
	<i>Agrostis palustris</i>	ベントグラス	>16	
	<i>Anthrion graveolens</i>	イノンド	>11	
	<i>Hibiscus syriacus</i>	ハイビスカス	>12	
	<i>Lolium temulentum</i>	ドクムギ	>11	
	<i>Lolium perenne</i>	ペレニアムライグラス	>13	
	<i>Phleum nodosum</i>	ナモシ	>14.5	
	<i>Phleum pratense</i>		>12	
	<i>Phalaris arundinacea</i>	カナリーグラス	>12.5	
	<i>Sedum spectabile</i>	ベンケイソウ	>13	
	<i>Trifolium pratense</i>	アカローパー	>12	
	<i>Hyoscyamus niger</i>	ヒヨス(1年生)	>10	
	低温下中日性 低温促進	<i>Spinacia oleracea</i> , Nobel	ホウレンソウ	>12.6
		<i>Avena sativa</i>	エンバク	>9
		<i>Bromus inermis</i>	ブroomグラス	>12.5
<i>Triticum aestivum</i>		コムギ(秋播)	>12	
低温要求 中日植物		<i>Dianthus coesius</i>	ナゲシコの1種	>13
	<i>Saccharum officinarum</i>	サトウキビ	12-13	
低温中日性 短日植物	<i>Cestrum nocturnum</i>	夜咲きジャスミン	<13(短日)	
	<i>Cestrum nocturnum</i>	夜咲きジャスミン	>12(長日)	
高温促進	<i>Petunia hybrida</i>	ペチュニア	>10	
	<i>Bryophyllum pinnatum</i>	セイロンベンケイソウ	<12	
	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>	カラコエ	<12	
	<i>Lemna perpusilla</i> 6746	ウケクサ	<14	
	<i>Lespedeza stipulacea</i>	ヘギ	<13.5	
	<i>Perilla ocymoides</i>	シソ	<16	
	<i>Cosmos sulphureus</i>	コスモス	<14	
	<i>Oryza sativa</i>	イネ	<12	
	<i>Glycine max</i>	ダイズ		
	<i>Viola papilionacea</i>	スマレ	<11	
<i>Zinnia</i> spp.	ヒヤドリナソウ	<12		
高温短日, 低温長日 高温短日, 低温中日	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	ポインセチア	<11	
	<i>Zygocactus truncatus</i>	ジャコバサボテン	<12	
" "	<i>Nicotiana tabacum</i>	タバコ(メリーランド・マンモス)	<14	
" "	<i>Pharbitis nil</i> , Violet	アサガオ	<14	
高湿ほど日長が長くなる	<i>Xanthium pennsylvanicum</i>	オナモミ	<15.6	

この表にも見られるように、場合によっては、12時間以上の日長でも短日長と、逆に、12時間以下の日長でも長日長であることがある。

光周性現象は、フィトクロムを光受容体とする植物の反応であると考えられている。フィトクロムにはPr（赤色光吸収型）とPfr（遠赤色光吸収型）の2つの状態があり、それぞれPr $\xrightleftharpoons[\text{遠赤色光}]{\text{赤色光}}$ Pfrのように相互に変換する性質がある。短日植物では、明期に大量のPfrが形成され、暗期のはじめにPfrによって花芽の誘導が起こり、残りの暗期にPfr $\longrightarrow$ Pr（またはPfrの不活性化）の変化が起こること、すなわち、暗期中期から終わりにPfrが少なくなると考えられている。一方、長日植物では、暗期におけるフィトクロムの状態が、短日植物とは異なるといわれている。すなわち、暗期のはじめには、Pr型になり、暗期の終わりにはPfr型になるような状態が作り出されると、長日植物は花芽が形成される。従って、暗期のはじめに遠赤色光の効果があり、暗期の後半には、赤色光の照射によって、花芽の形成が促進される。

この日長を感じる部位は葉であることが多い。多くの場合、葉一枚、時には葉の一部で光を感じるだけで花芽を形成する。しかも受光期間は、わずかに数日の光の周期を経験するだけで花芽を形成する植物がある。

特に、Xanthium、Lolium、Pharbitis などでは、光の周期を1サイクル経験するだけで花芽を形成すると言われている。

この光周性が、波長、光量、温度、成育段階等によって変化すると報告も多くされている。そのいくつかの例を次に掲げる。

光周性が波長の違いによって変化する例として、Funke が1936年～1938年に行った実験を示す。この実験によると、短日性植物だけでなく、長日性植物も含めて次の4群に分類されている。

- 1) 赤・白が有効、青が無効：ローマカミルレの近縁種 *Anthemis tinctora*、シロネの一種 *Lycopus europaeus*、*Solidago virgaurea*、コスモス。
- 2) 赤・白・青が有効：ハッカの一種 *Mentha rotundifolia*、オオハンゴウソウの一種 *Rudbeckia speciosa*、シソの一種 *Perilla nankinensis*。
- 3) 白が有効、赤・青が無効：マメグンバイナズナの一種 *Lepidium durum*。
- 4) 白・青が有効、赤が無効：マグリバナ (*Iberis amara*)、*Sinapis alba*、ヒノナ (*Brassica rapa*)

光周性と光量についてみると、オナモミによる実験では、花芽形成を引き起こすに十分な暗期を与える前に 2,000～3,000 lxの明暗を与える。

この際、9時間までは長さを増すに従い花芽形成は増加するが、さらに強光を用いると、1時間で光飽和になる等の光量によって光周性に変化が認められるとの報告もある。

光周性と温度についてみると、オナモミに十分な長い暗期を与えて花芽形成を誘起する際に、その前に必要とされる強光は高温ほど短時間で飽和になる。また、23℃で16時間明・8時間暗という光周期では花芽形成をするが、明期の前半を4℃にしても花芽は形成されないとの報告もある。

また、光周性は植物の成育段階の違いによっても変化するといわれており、アサガオの例では、子葉期には16時間以上の暗期が一度与えられただけで花芽形成するほどに短日性が強いが、3カ月成育した植物では中性となつて、連続光下でも花を着ける。

## 2. 4 動特性

植物は動物と比較して、動きの無いもの、変化の小さいものの代表例として一般的に解釈されてきた。筆者らは植物生体情報の計測の一環として主に植物の体内水分動態について計測を続けてきたが、その結果、環境の変化に対して予想以上に敏感に反応していることが分かった。以下に、その測定方法と植物の動特性の代表的な事例について報告する。

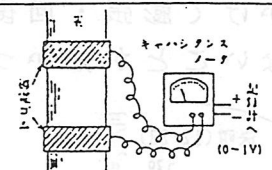
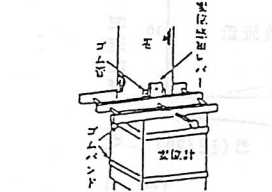
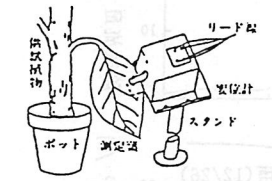

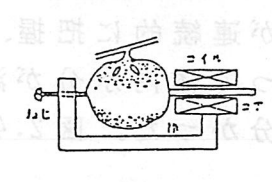
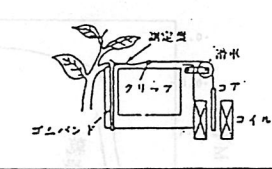
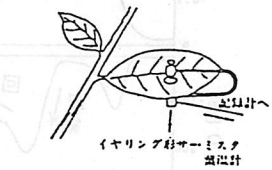
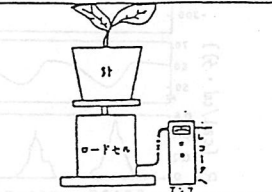
### 2. 4. 1 植物体内水分動態の非破壊・連続測定法の開発<sup>1)</sup> (表2.4.1)

- 1) 茎の直径変化、莖部組織の静電容量、葉身の厚みの変化を測定することにより体内水分状態の推移を連続的に評価できることが分かった。
- 2) 径変化と葉の厚み変化の測定には歪ゲージ式変位計を用いた。莖部の静電容量の変化は莖部の2カ所に導電ゴムを巻き付け静電容量計により測定した。

### 2. 4. 2 成長・肥大の非破壊連続測定法の開発<sup>2)</sup> (表2.4.1)

成長・肥大の測定は芽の伸長、果径の肥大、葉身の伸長、花蕾肥大の4項目について行った。

表 2.4.1 植物生体情報の計測とそのねらい

測定項目	測定手法	原理	測定のねらい
茎部の静電容量		茎部に貼付した間接電容量	生体内の含水量の非破壊測定
茎径の変化		微小変位計による茎径測定 (0 ~ ±0.4 mm)	同上
葉の厚み変化		同上 (0 ~ ±0.4 mm)	同上
主茎長の変化		差動変圧器による変位測定 (0 ~ 5 mm)	芽の伸長量の非破壊測定
果径の変化		1. 果実が大変位測定の場合 2. 果実が微小変位測定の場合	果実の肥大、縮小の非破壊測定
葉身長の変化		差動変圧器による葉身の長さ測定 (0 ~ 5 mm)	葉身の伸長量の非破壊測定
葉の温度		サーミスタによる温度測定 (0 ~ 50℃)	1. 蒸散速度の推定 2. 気孔の開閉の非破壊測定
鉢の総重量変化		ロードセルによる重量測定 (0 ~ 20 kg (分解能 5g))	蒸散速度の非破壊測定

2. 4. 3 植物体内水分動態の諸特性<sup>3)</sup>

1) 莖径は生体組織の含水量および水ポテンシャルと比例関係にあり、日中には収縮し、夕方から深夜にかけて膨張・回復すること、また曇天、雨天の順にその収縮量は少ないことが分かった。図2.4.1

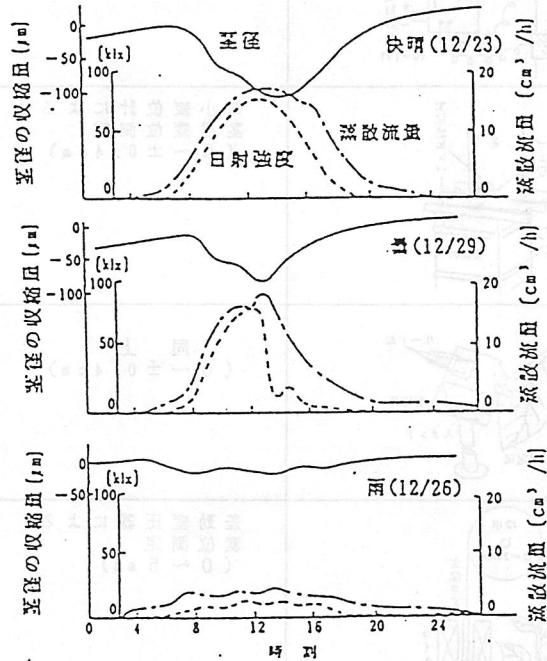


図 2.4.1 種々の天候下でのトマトの莖径と蒸散量の変化

2) 灌水に伴う体内水分の回復の過程が連続的に把握、評価できるようになった。逆に、土壌の乾燥に伴って体内水分が減少してゆく過程も同様に把握、評価できることが分かった。図2.4.2、図2.4.3

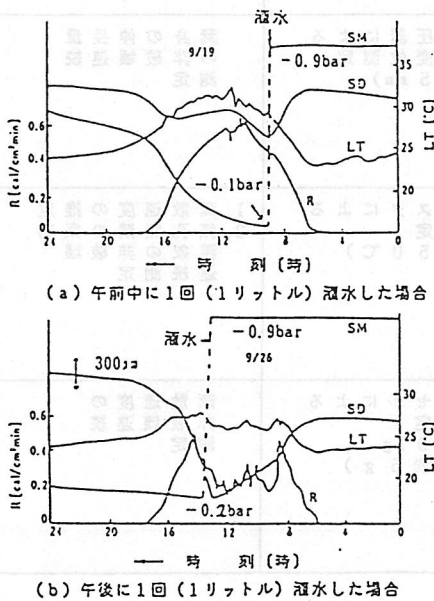


図 2.4.2 灌水が及ぼす莖径（体内水分）への影響（ケヤキ）

R: 日射強度, SY: 土壌水分張力  
SD: 莖径, LT: 葉温

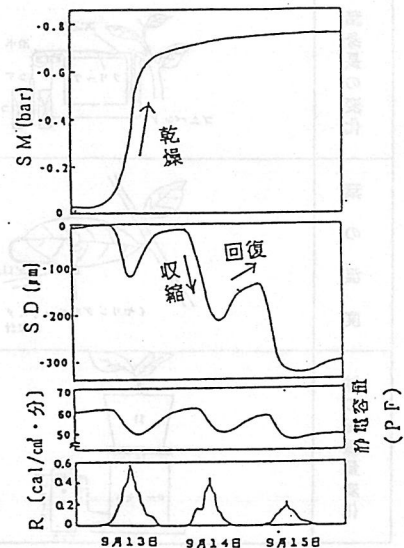


図 2.4.3 土壌の乾燥に伴う莖径の収縮（ケヤキ）

SX: 土壌水分張力, SD: 莖径  
C: 莖部静電容量, R: 日射強度

- 3) 人工気象室を利用した再現実験により光照射に対して茎径は収縮し、再び暗期になると元の茎径に膨張、回復する基本的な特性が確認された。さらに、その特性が季節により異なることも確認された。
- 4) 種々の植物において茎径、即ち体内の水分の日変化の過程で周期が約1時間の振動現象が生じることが分かった。図2.4.4、図2.4.5

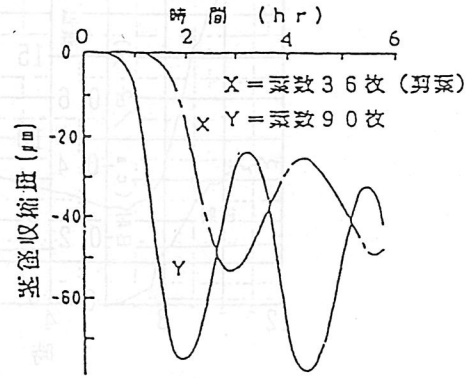
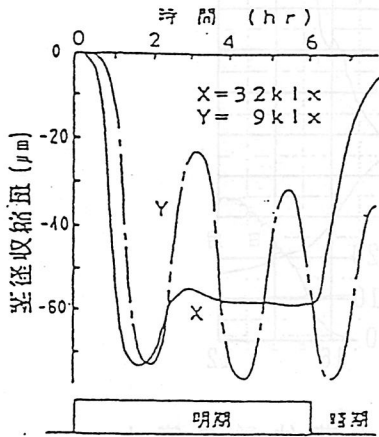


図 2.4.4 照度の違いによる茎径反応の差 (ホンコンカボック)      図 2.4.5 蒸散能力の違いによる茎径反応の差 (同一木)

#### 2.4.4 植物の成長・肥大の諸特性

- 1) 葉や葉身の伸長ならびに果径の肥大は自然環境下において、晴天の日中に著しく抑制されることが分かった。特に、トマトでは草丈の減少すら生じていることが分かった。図2.4.6 茎径収縮量の同時測定から、上述の成長・肥大の抑制は厳しい水ストレスによるものであることが分かった。

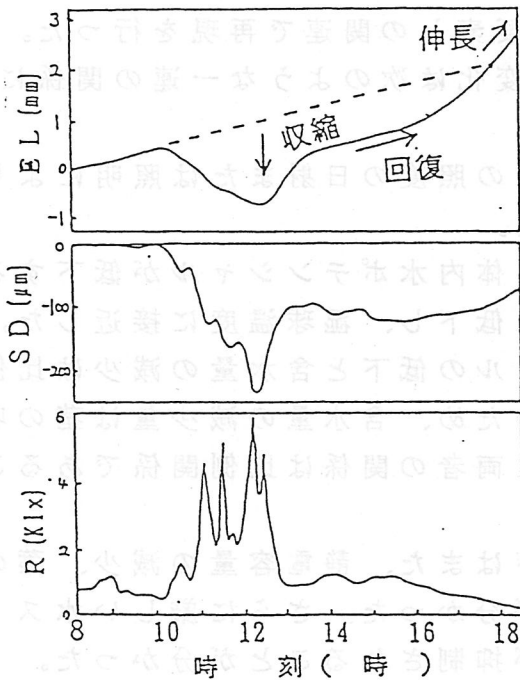


図 2.4.6 トマトの芽の伸長の日変化特性 (8/28)

E L : 芽の伸長量  
S D : 茎 径  
R : 日射強度

2) 慣行法での栽培条件において、冬期の夜間にトマトの伸長が低温により抑制あるいは停止(7℃以下)されていることが分かった。これらの実測データを集積することにより、主茎伸長・果径肥大の温度特性が明かになった。図2.4.7

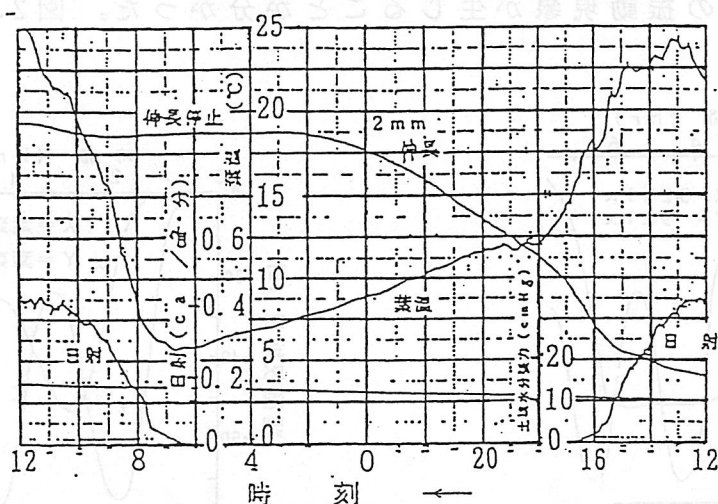


図 2.4.7 気温の低下に伴うトマトの主茎伸長の停止

3) 土壌の乾燥による体内水分ストレスのために茎の伸長は停止するが、再灌水により体内水分の状態が回復しても、伸長が再開するには数時間を要することが確認された。即ち、伸長は水ストレスの回復後、内的な要因の回復を待つて再開されることが示唆された。

#### 2.4.5 人工気象室による諸特性の検討<sup>4)</sup>

- 1) 自然環境下における植物の体内水分動態ならびに成長・肥大の諸特性について、特に気象要素との関連で再現を行った。
- 2) その結果、測定諸量の変化は次のような一連の関係にあることが分かった。
  - 1 一定のしきい値以上の照度の日射または照明により気孔が開き、蒸散流量が増加した。
  - 2 蒸散流量に比例して体内水ポテンシャルが低下するとともに蒸散冷却により葉温は低下し、湿球温度に接近した。
  - 3 体内の水ポテンシャルの低下と含水量の減少は比例関係を示した。水が非圧縮性のため、含水量の減少量は茎の収縮量として測定されるとともに両者の関係は比例関係であることが分かった。
  - 4 体内の含水量の低下はまた、静電容量の減少、葉の厚みの減少として現れることが分かった。さらに厳しい水ストレスの影響として伸長・肥大が抑制されることが分かった。

5 気孔の開閉の時間遅れにより、過渡的な体内水分の変動、即ち振動現象が生じることが分かった。

3) 気孔の開閉運動は気温の低下により著しく鈍化することが分かった(20°Cで一振動周期が1.3h r、10°Cで4h r、ハイビスカス)。

また、茎径の収縮部位は木本植物では樹皮部であり、草本植物では莖部全体であることが分かった。

## 2. 4. 6 モデルによる植物体内水分動態の検証<sup>9)</sup>

1) いわゆるSPACと呼ばれる水の移動のモデルについて、植物の体内での貯水機能と茎径変化測定から得られる体内水分動態の関係に着目した電気回路モデルを構築した。図2.4.8

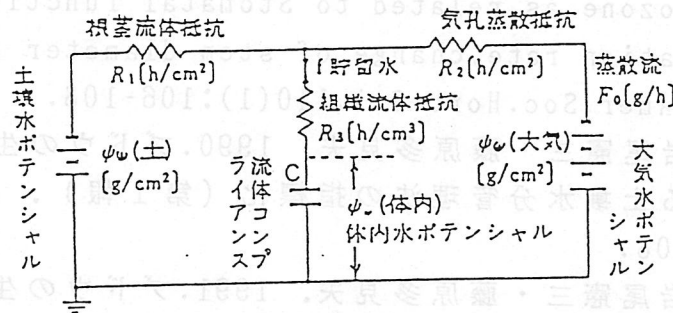


図 2.4.8 植物蒸散・体内水分アナログモデル

2) モデルの理論解から、茎収縮量と体内水ポテンシャルの関係ならびに蒸散流量と茎径収縮量の関係が各々比例関係にあることが導かれた。これらの関係が実際に成立することが種々の植物で実測された<sup>4)</sup>。

3) モデルの解と実測の茎径変化の比較検討の結果、灌水および気象要因に対する体内水分動態についてかなりの精度で再現できることが分かった。図2.4.9

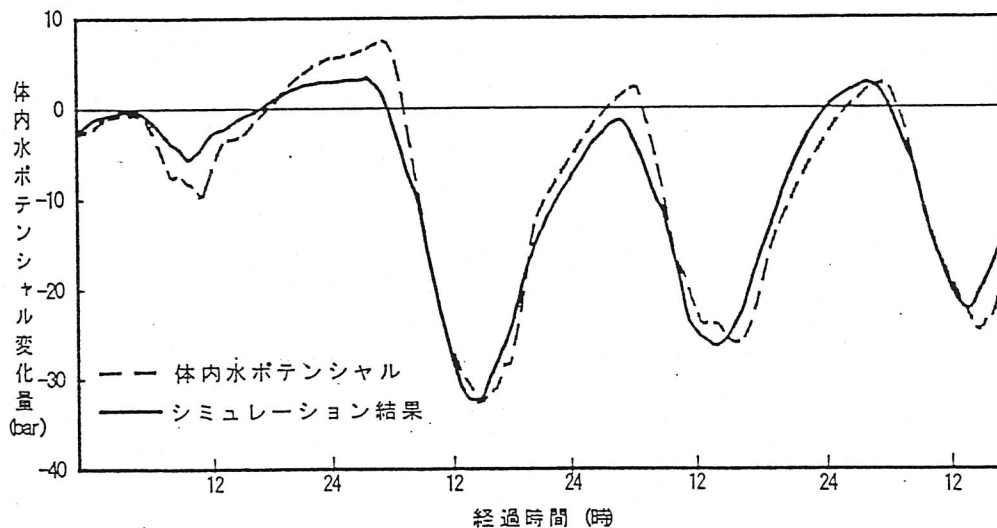
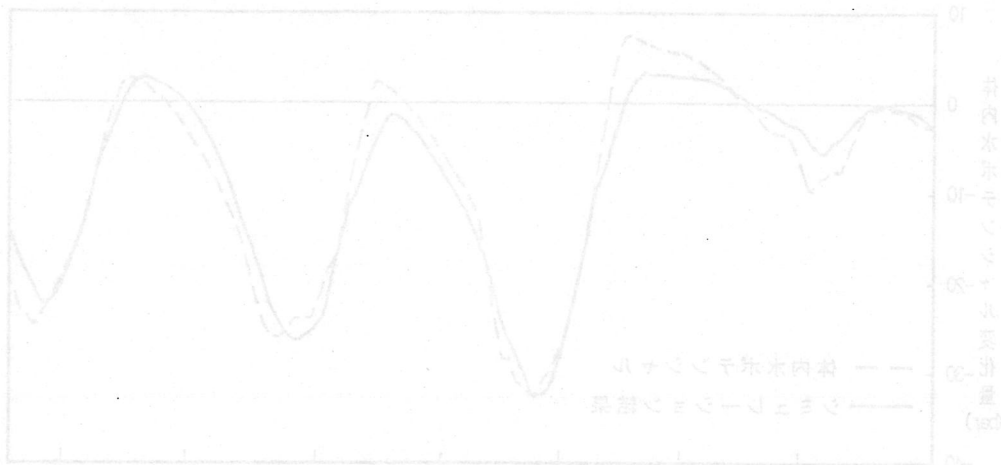


図 2.4.9 SPACモデルの解と実測との比較 (巨峰)

参考文献

- 1) 岩尾憲三・高野泰吉. 1988.植物生体情報の計測手法の開発とその応用に関する研究(第1報). 生物環境調節26(3):139-145.
- 2) 岩尾憲三・高野泰吉. 1989.植物生体情報の計測手法の開発とその応用に関する研究(第3報). 生物環境調節27(2):57-60.
- 3) 岩尾憲三・高野泰吉. 1988.植物生体情報の計測手法の開発とその応用に関する研究(第2報). 生物環境調節26(4):163-170.
- 4) 羽生広道・関山哲雄・岩尾憲三・高木信義. 1984.植物生体情報の工学的計測と処理に関する研究(第3報) 茎径変化と蒸散流量および吸水量との関係. 電中研研究報告479011:18.
- 5) 松島二良・米森敬三・岩尾憲三.1985.Sensitivity of Satsuma mandarin to ozone as related to Stomatal function indicated by transpiration rate, change of stem diameter and leaf temperature, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110(1):106-108.
- 6) 今井俊治・岩尾憲三・藤原多見夫. 1990.ブドウの生体情報の測定と解析による土壌水分管理法の指標化(第1報). 生物環境調節28(3):103-108.
- 7) 今井俊治・岩尾憲三・藤原多見夫. 1991.ブドウの生体情報の測定と解析による土壌水分管理法の指標化(第2報). 生物環境調節29(1):11-17.
- 8) 今井俊治・岩尾憲三・藤原多見夫. 1991.ブドウの生体情報の測定と解析による土壌水分管理法の指標化(第3報). 生物環境調節29(1):19-26.
- 9) 照明学会編. 1992.「光バイオインダストリー」  
-光応用による生物反応の制御-. オーム社. P212-229.東京.



(註目) 葉内水素濃度の測定と解析による土壌水分管理法の指標化(第3報) 図

### 3. 光放射の計測

植物は、光を吸収することにより、光合成のほか、光形態形成や気孔反応などの様々な生理反応を行っている。したがって、光条件は植物の成育を左右する最も重要な環境要因の一つであり、適正な計測がなされる必要がある。光が関与する植物の生理反応のうち、光合成では光が主として量としての側面から重要性をもち、光形態形成等においては光の波長分布が植物の反応に影響を及ぼす。したがって、植物の環境要因としての光放射の計測にあたっては、光の量としての側面のほか、光の波長分布に注目する必要がある。ここでは、まず、光放射の量としての側面に注目して照射量を一個の数値として測定する方法を検討し、さらに、光放射の波長分布に関連した側面を考察する。

#### 3. 1 光放射の定量

光放射を一個の数量として定量する方法にはいくつかのものが考えられ、測定目的によって使い分けられる。以下に評価基準を異にする3つの光放射の定量方法をあげる。

##### 3. 1. 1 光子数に基づいた光放射の定量——光量子束密度

光は波動としての性質のほかに粒子としての性質をもっており、この粒子は光子と呼ばれる。光子一個のもつエネルギーは、光の振動数や波長と以下の式により関係づけられる。

$$e = h \nu = h c / \lambda$$

ここに  $e$ 、 $h$ 、 $\nu$ 、 $c$ 、 $\lambda$  はそれぞれ、光子一個のもつエネルギー、プランク定数、光の振動数、光の速度、光の波長である。光を粒子としてとらえると、光の強さは単位時間に単位面積に入射する光子の個数に基づいて評価することができる。光子の個数に基づいた光の強さは光量子束密度と呼ばれる。光量子束密度は、単位時間に単位面積に入射する光子に対し、アボガドロ数（約  $6.02 \times 10^{23}$ ）の  $10^{-6}$  倍の個数を単位として、 $\mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$  の単位で表されることが多い。光化学反応においては、光は光子単位で吸収されるので、このような場合の光放射の定量は光量子束密度によるのが適当である。

また、多岐にわたる植物の生理反応は、いずれも光受容体による光子単位での光吸収に基づいているので、植物の成育環境要因としての光放射は光量子束密度により測定するのが適当である。最も一般的に用いられているのが、光合成有効光量子束密度 (Photosynthetic photon flux density)

である。これは、光合成反応に有用性の高い400~700nmの範囲の光量子束密度を一律に求めたものである。このほか、植物のなんらかの生理反応に関与している300~800nmの範囲の光量子束密度が用いられることもある。

### 3. 1. 2 エネルギー量に基づいた光放射の定量——照射照度

光がエネルギーを持つ点に注目すれば、単位時間に単位面積に入射する光のエネルギー量を光の強さとみなすことができる。このような光の強さは放射照度と呼ばれる。いま、単位時間に単位面積に入射する $\lambda \sim \lambda + d\lambda$ の範囲内の波長をもつ光のエネルギーを $W(\lambda) d\lambda$ とすれば放射照度 $I$ は、次式で与えられる。

$$I = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W(\lambda) d\lambda$$

ここで、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ はそれぞれの光の波長範囲の下限値と上限値である。市販の測器では、下限値として300nm前後の値が、上限値として800~4000nmの値が取られているものが多い。放射照度の単位としては $W \cdot m^{-2}$ などが用いられる。このような入射する光のエネルギーに基づいた量は、光による熱的影響を論ずる際に有用である。

野外においては気象条件の一つとして放射照度が測定される。一般に、太陽光の波長スペクトルは、太陽高度や天候等によつて多少変わるが、さほど大きなスペクトルパターンの変動はない。このため、太陽光では放射照度の測定値と光合成有効光量子束密度の測定値との比率には大きな変化がなく、実用上、放射照度の測定値がそのまま植物の成育環境要因としての光放射量の評価のために用いられる。

### 3. 1. 3 人間の視感度を基準とした光放射の定量——照度

人間の目に知覚される明暗の度合いを定量化した量として照度が用いられる。人間の目は、すべての波長の光に対して同等の感度を有する訳ではない。人間の目が明条件下で最大の感度を示す光の波長は555nmであり、この波長から遠のくにつれて感度が低下していき、紫外線や赤外線的光に対しては全く感知しない。国際照明委員会(CIE)では健全な目をもつ多様な人々から得た測定値をもとに、各波長ごとの目の感度を求めている。これは、最大感度をもつ波長での感度を1としたときの相対値で与えられ、標準比視感度と呼ばれている。さらに、最大の感度を示す555nmの波長の光に対する人間の目の感度 $K_m$ を、 $K_m = 683 \text{ lm/W}$ としている。このような

定義に従えば、波長 $\lambda$ での標準比視感度を $V(\lambda)$ としたとき、波長 $\lambda$ の光に対する感度は、 $K_m V(\lambda)$ となる。そして、各波長での放射照度とその波長での視感度を乗じて重みづけした値を可視域全体に対し積分した値を照度としている。すなわち、 $\lambda \sim \lambda + d\lambda$ の範囲内の波長をもつ光成分の放射照度を $W(\lambda) d\lambda$ とし、可視域の波長の下限值と上限値をそれぞれ $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ とすれば、照度 $E$ は次のように与えられる。

$$E = K_m \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) W(\lambda) d\lambda$$

照度の単位としては、 $lx$ （ルクス）が用いられる。照度は人間の視覚を基準としたものであり、照明器具の明るさの評価や人間の居住環境や労働環境の評価等の目的に有効に用いられている。しかし、植物の成育環境要因としての光放射を評価するために用いるには適当でない。

屋内環境において、照度の測定値をもとに植物の成育環境要因としての光の強さを大まかに見積もる必要があることがある。このような場合、照度の値に照明光源ごとに定まった一定の係数を乗じた値により、植物への光照射量の評価がなされる。

### 3. 2 植物の成育環境要因としての光放射

光吸収に基づいた生理反応として、光合成、光形態形成、気孔反応、日長反応、色素形成などがあげられる。そして、300~800nmの波長範囲内の光がこれらの生理反応のいずれかにかかわりを持っている。

これらの生理反応は、植物体内の光受容体による光子の吸収によりもたらされるが、それぞれの生理反応が異なった光受容体の光吸収に基づいている。そして、おのおのの生理反応に有効な光の波長の範囲は生理反応ごとに異なる。さらに、同一の光量子束密度の光であっても生理反応に対する有用性は波長に依存する。こうした生理反応の波長依存性は作用スペクトルとして求められている。すなわち、一定の波長をもつ一定数の光子を照射したときに引き起こされる生理反応の度合いを各波長ごとに求めたのが作用スペクトルである。たとえば、光合成の作用スペクトルは、約650nmの赤色域と約450nmの青色域に極大点をもち、約650nmの赤色域において最大値をとる曲線である。

このように、植物においては、光の関与する生理反応が多岐にわたり、それぞれの生理反応に対して有効な光の波長範囲が異なっている。さらに、それぞれの生理反応の作用スペクトルもかなり異なったパターンを示す。したがって、植物の環境要因としての光放射を評価するために、どの生理反応に注目するかでどの波長範囲の光量子束密度を求めるのが妥当かが異

なってくる。さらに、作用スペクトルのパターンに応じて、照度の定義において行ったように、波長ごとに生理反応に対する有用性に基づいた重みづけを行うのが理想的である。

現在のところ、植物の環境要因として光放射の評価方法に関しては一定の基準が定められているわけではないが、多くの場合、植物の環境要因としての光放射は、反応が光の強さに依存して量的に変化し、植物の成育に最も影響の大きな光合成に対する有用性を基準にした光合成有効光量子束密度により評価がなされる。ここで、光合成の効率、照射光の400~700nmの範囲内の光量子束密度と相関性が高いとの研究結果から、光合成有効光量子束密度の測定にあたって採用される波長範囲は400~700nmにとられることが多い。また、光合成に対する有用性には波長依存性が見られるものの、光合成反応の波長依存性は比較的小さい。植物種等によって波長依存パターンが若干異なる。そこで、実用上は、重みづけを行わず、400~700nmの範囲内の光量子束密度を一律に求め、これを光合成有効光量子束密度としている。

一般に、人工照明光源の光と太陽光の間にはスペクトルパターンに相異があり、また、光源の種類によりスペクトルパターンを異にする。光合成に対する有用性が波長ごとに一様でないため、同一の光合成有効光量子束密度の測定値を持つ光であっても、植物の光合成反応に対する有用性が同一であるとは限らないことに留意すべきである。

さらに、植物の成育は、光合成のほか、光形態形成などの生理反応により影響される。光形態形成等においては、光は量としてよりはむしろ情報源としての面から影響をもち、光の放射量よりも波長分布が重要性を持っている。たとえば、光形態形成に関与する光受容体の一つであるフィトクロムは、赤色光照射と近赤外光照射により二つの化学構造間を相互転換するため、赤色光と近赤外光の強度比により植物の各器官の成育量比や植物の形態が変化する。また、放射光中の赤色光成分と青色光成分の量比によっても、植物の形態が異なってくるということが知られている。このように、測定値が同一の光であっても、植物の成育に対する影響はスペクトルパターンにより一様でない。

以上のことから、一つの数値として求めた植物の環境要因としての光放射の測定値は、ややおおまかなものであることがわかる。このことは、照度の測定値が人間の視覚をかなり正確に反映した量であるのとは事情を異にしている。特に、太陽光と人工光の間や異なった種類の照明装置の照射光の間の測定値を比較する際には注意が必要である。したがって、植物の成育環境要因としての光放射をより適正に評価するうえでは、波長ごとの光放射を求めるのがよい。実用上は、植物に対する照射光を、近紫外域(300~400nm)、青色域(400~500nm)、緑色域(500~600nm)、赤色域

(600~700nm)、近赤外域(700~800nm)等の帯域に分割し、各帯域ごとの光放射の強さを比較する場合が多い。

### 3. 3 光放射の測定

光放射の測定器に用いられる光の検出器は、受光した光量に応じて電気信号を出力する。光放射の測定器では、こうした電気信号の表示や記録を行うことにより光の強さを指示する。ここで、光の検出器の感度には波長依存性があることが多い。さらに、光の評価量として上に述べた放射照度、光量子束密度、照度のいずれかを用いるかによっても、波長ごとの感度の重みづけが異なってくる。そこで、多くの場合、検出器の前にフィルターを取付けて、検出器が測定目的量に比例した値を出力するよう修正する。

光の検出器は、熱型と呼ばれているものと量子型と呼ばれているものに大別できる。熱型の検出器は物質の光吸収に伴う温度上昇から光の強さを測定するものであり、熱電対を用いたものや集電効果を利用したものなどがある。熱型の検出器の特徴として、感度や応答速度は低い、幅広い波長域にわたって入射した光の放射照度に比例した値を出力することがあげられる。したがって、熱型の検出器を放射照度の測定器に用いる場合、フィルターを用いずに検出器をそのまま受光器として用いることができる。一方、量子型の検出器は、半導体などが光子を吸収したときに生じる起電力や電気伝導度の変化等を検出するものや光電効果を利用したフォトマルチプライヤーなどがある。この型の検出器では、検出感度や応答速度は高いが、感度の波長依存性が大きい。したがって、多くの場合、量子型の検出器はフィルターと組み合わせて用いる必要がある。

光量子束密度の測定器では、量子型の検出器にフィルターを組み合わせた測定器が用いられる。光合成有効光量子束密度の測定用として、400~700nmの範囲の光の光量子束密度を求めるものがいくつか市販されている。

また、照度の測定には、量子型の検出器とフィルターを組み合わせて人間の視感度と同一の波長特性を持たせた測定器が用いられる。このような測定器は照度計と呼ばれる。人間の居住環境で用いる照明装置の特性評価や人間の環境条件の評価の目的から多くのものが市販されている。

このほか、各波長ごとの光量子束密度や放射照度を求めることのできる分光式の測定器もいくつか市販されている。これらの測定器では、受光した光を回折格子で分散し、波長ごとの光の強さを求める。測定波長範囲は、製品によってやや異なるが、下限として250~300nmの紫外の高波長域を、上限として800~2500nmの近赤外域をとるものが多い。

#### 4. 光源の特性と評価

##### 4. 1 自然光と太陽光

地球においては、生物生態系の光環境を形成する上での光放射源としては、何といたっても、太陽が大きな位置を占めている。そこで、人工光源について述べる前に、光放射源としての太陽の特性について簡単に触れておくこととする。

太陽は宇宙における恒星のひとつで、ほぼ球状をしており、直径は $1.39 \times 10^9$ m、質量は $1.99 \times 10^{30}$ kgの大きさをしており、地球は、この太陽から平均距離 $1.495 \times 10^{11}$ mのところにある。

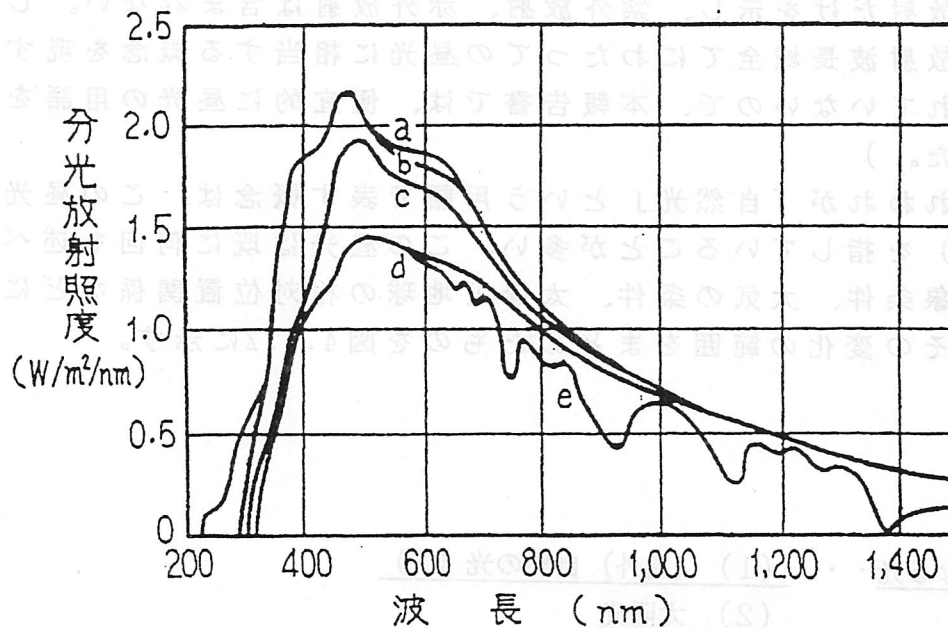
太陽の中心温度は、 $1.4 \times 10^7$ Kと推定され、主として水素の核融合反応により、熱エネルギーを発生している。そして内部と表面、および表層の大気との間にはエネルギー平衡が成立しており、太陽の熱エネルギーは、最終的には、有効温度5800Kの表層から熱放射として、大気中へ放出されていることになる。この熱放射源としての太陽の特性および地球上における太陽の放射特性を表4.1.1に示す。

地球は、太陽の熱放射エネルギーの一部を受けているが、太陽視差は、平均で $4.26 \times 10^{-5}$ radであるから、受けている割合は、太陽全放射のおよそ $4.4 \times 10^{-4}$ ppmである。

地球に到達する太陽光の分光分布は図4.1.1に示すように、波長範囲、ほぼ220~3200nmであるが、地球に到達するのは、大気その他の吸収により、波長範囲、ほぼ290~2400nmとなる。地上に到達する太陽光は、図4.1.1より明かなように、可視放射の他、紫外、赤外放射を含んでおり、総合して、地球上の諸生物に対する最大の光環境要素となっている。

表4.1.1 放射源としての太陽の特性

項 目	数 値 (単位)
全 放 射 束	$3.82 \times 10^{26}$ (W)
全 光 束	$3.95 \times 10^{28}$ (lm)
相 関 色 温 度	6280 (K)
光 度	$2.84 \times 10^{27}$ (cd)
輝 度	$1.87 \times 10^9$ (cd/m <sup>2</sup> )
(地上における)	
法線放射照度	約 1 (kW/m <sup>2</sup> )
法 線 照 度	約 $10^5$ (lx)



a : 大気圏外での太陽光, b : オゾン層での吸収を受けた太陽光, c : 分子による散乱を受けた太陽光, d : 煙霧質によって吸収散乱を受けた太陽光, e : 水蒸気と酸素による吸収を受けた太陽光

図4.1.1 太陽光の分光放射照度分布

ところで、我々はよく「(屋外)自然光」という用語を使用するが、この「自然光」というのは、太陽光と必ずしも同じではない。(正確には、自然光と太陽光とは常に同じ光学特性の光エネルギーを示していない。)

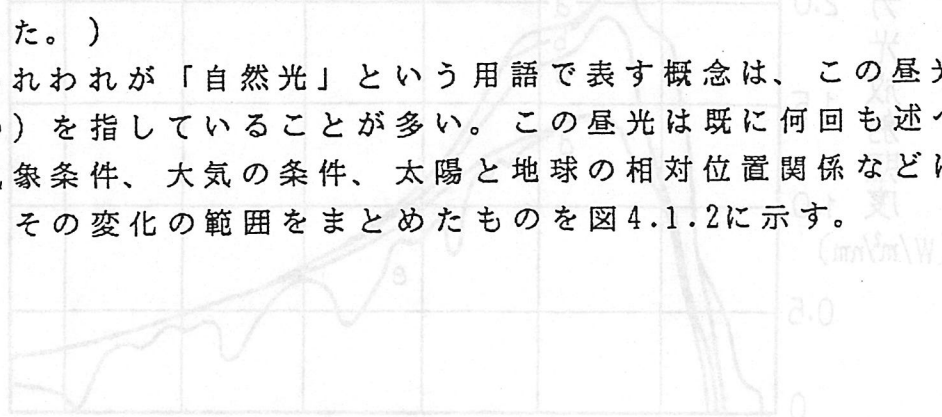
即ち、太陽光そのもの(太陽から放出されている光放射)はそのエネルギー変換の原理・過程から、極めて安定している。(実際に現在まで、約25億年間安定した光(放射)エネルギーを発生し続け、今後も25億年以上放射し続けるといわれている。)しかし、地球上において観測される太陽の光は、大気があることと、地球の自転や公転による地球と太陽の相対位置関係の変化のために、常に安定した光学特性を示している訳ではない。(図4.1.1にこの関係の一部を示してある。)

地球には大気が存在するために、太陽からの光放射は空気分子、塵埃、雲などによって反射、散乱を受けながら地表に到達する。これらの大気において反射、吸収(一再放射)、散乱されて地表に到達する放射を天空放射というが、この概念の内容より明かなように、天空放射は気象条件や太陽と地球の相対位置関係などによって大きく変化している。また、太陽から直接地表に到達する放射を直射太陽放射というが、我々は昼間は、この直射太陽放射と天空放射の複合された光放射を光環境要素としていることができる。

この直射太陽放射と天空放射の複合放射を昼光(厳密には、昼光という

と、可視放射だけを示し、紫外放射、赤外放射は含まれない。しかし、太陽からの放射波長域全てにわたっての昼光に相当する概念を現す専門用語が定義されていないので、本報告書では、便宜的に昼光の用語を使用することとした。）

通常われわれが「自然光」という用語で表す概念は、この昼光（広義の意味での）を指していることが多い。この昼光は既に何回も述べたように、天候、気象条件、大気の状態、太陽と地球の相対位置関係などによって変化する。その変化の範囲をまとめたものを図4.1.2に示す。



1. 基準となる光・・・ (1) (屋外) 自然の光 (?)

(2) 太陽光

地球の大気、その他で散乱される。

(3) 昼光

2. 昼光の定義と特性

	定 義	色温度の変化範囲	照度の変化範囲
昼光 (day light)	直達日光…… 地表に直接到達する (sun light) 太陽光	4000~5800 (K)	0~120,000 (lx)
	天空光…… 大気中の、空気分子、 (sky light) 塵埃、雲などによって 散乱され、天空より 地表に到達する太陽光	6000~10,000 (K)	0~20,000 (lx)

図4.1.2 自然光とその変動範囲

なお天空放射については、特定の条件の場合として、晴天空と曇天空の場合について、CIE（国際照明委員会）が分光分布を標準化している（CIE標準晴天空、およびCIE標準曇天空）。しかし、晴天と曇天の中間（中間天空といわれる。実際の出現確率は中間天空の場合が最も大きい。）については、分光分布は未だ標準化されていない。

## 4. 2 人工光源の種類と特性

人工光源は、電気エネルギーを可視光放射エネルギーに変換することを目的に主に人間に対する照明用光源として開発されたものである。このため、要求される特性は経済性、快適性、取扱い等を主眼におかれ種々の光源が開発されてきた。ここでは代表的な人工光源についてその概要を説明する。

### 4. 2. 1 人工光源の種類と特性

人工光源の種類とその代表的特性を表4.2.1に示す。<sup>1)</sup>

表4.2.1 人工光源の代表的特性

光源 項目	電球	蛍光ランプ	高圧水銀ランプ	メタルハライド ランプ	低圧ナトリウム ランプ	高圧ナトリウム ランプ	キセノンランプ
大きさ (W)	10~2,000	4~220	40~2,000	100~2,000	35~180	150~1,000	500~5,000
形状	小	長大	中	中	長	中	中
効率 [Lm/W]	8~25	30~90	35~65	70~95	130~180	100~115	28~48
寿命 [Hours]	1,000~2,000	3,000~10,000	6,000~12,000	6,000	9,000	12,000	1,000
分光分布	連続 赤成分大	連続 自由度大	輝線 青白色	輝線 白色	輝線 橙黄色	連続 黄白色	連続 白色
演色性	最良	良~最良	可~良	良	可	可	最良
色温度 [K]	2,500~3,200	2,700~6,500	4,000~5,700	5,000~5,500	-	2,100	6,000
可視光比率 [%]	8~14	20	13~16	20~40	35	27~30	10~15
紫外線比率 [%]	0~0.2	0~0.5	2~4	2~7	0	0.3	1~5
赤外線比率 [%]	80~85	40	60	50~67	5	47~63	30~35
対流・伝導 [%]	5~8	40	16~20	7~20	60	10~23	40~50
安定器	安定器不要	安定器必要	安定器必要	安定器必要	安定器必要	安定器必要	安定器必要
光制御	容易	困難	容易	容易	中	容易	中
調光の可否	容易	容易	段調光可	不可	段調光可	段調光可	段調光可
価格	低	低	中	高	高	高	高

#### 1) 白熱電球

白熱電球はタングステンフィラメントの温度を2800~3200Kに加熱することによりフィラメントから放射される温度放射を利用している。白熱電球の分光分布は可視域ではプランクの放射則にほぼ近似しているが、外管がガラスであるためその透過率により紫外域放射、赤外域放射は完全放射体よりズレが生じる。ハロゲン電球の場合は外管が石英であるため完全放射体に近い分光分布を示す。白熱電球は効率が低い安定器が不要で価格も安く簡便に使用できる光源である。

## 2) 蛍光ランプ

蛍光ランプは、ガラス管内の低圧水銀蒸気中の放電によって発生する紫外線放射によってガラス内面に塗布した蛍光体の発光を可視放射に変換しその放射を利用している。塗布する蛍光体の種類によりランプ効率、色温度等幅広く設計が可能で分光分布の点からも自由度の高いランプである。植物の光合成に合致させた分光分布を有する植物栽培用ランプや紫外域の放射を応用した殺菌灯（254nmの輝線）、健康線用蛍光灯（280～360nmの放射で305nmが最大放射）、ブラックライト蛍光灯（300～400nmの放射で360nmが最大放射）など特殊な機能や性能を持つランプが実用化されている。図4.2.1に蛍光ランプの分光分布図を示す。

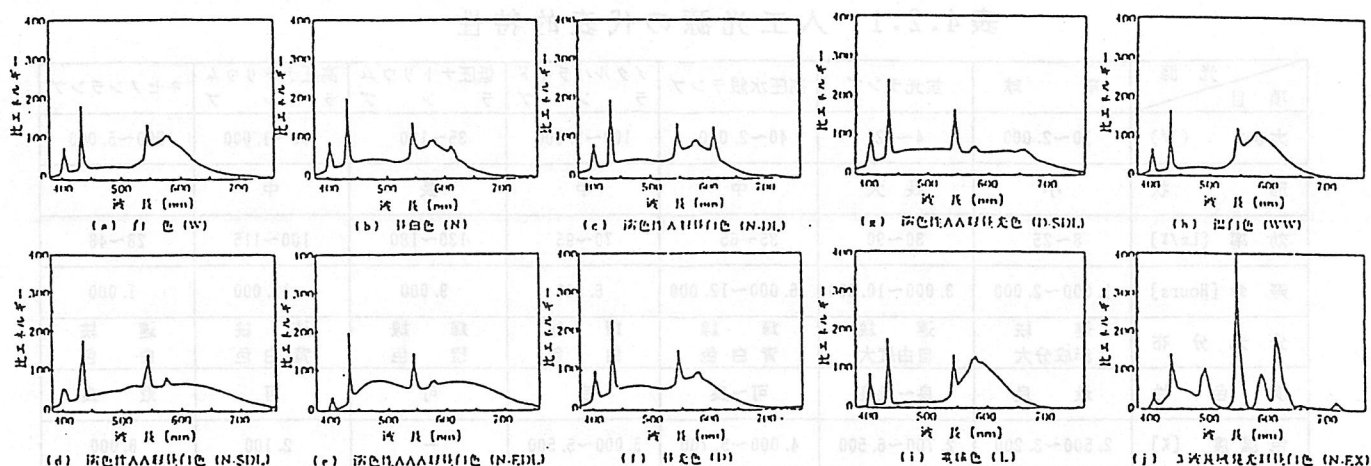


図4.2.1 蛍光ランプの分光分布図

HIDランプは、キセノンランプ、メタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプ等の高輝度放電灯の総称である。これらはいずれも金属蒸気中の放電によって励起された金属やガスの固有の発光を利用している。蛍光ランプと比べ高出力のランプでコンパクトな光源である。一般的に安定器が必要であり、目的にあった照明器具を選ぶことも重要である。

## 3) キセノンランプ

キセノンランプはキセノンガスの発光を利用してその分光分布が極めて自然光（色温度6000K）に近い光源で寿命中その分光特性がほとんど変化しない特徴がある。高出力のランプが可能であるが効率は低く寿命が短い。ランプの種類としてショートアーク型とロングアーク型があり発光形態も連続発光型とフラッシュ型がある。

## 4) 水銀ランプ

水銀ランプは石英発光管に封入したHgの発光を利用し可視部においては405nm、436nm、546nm、578nmの4本の輝線スペクトル放射を利

用している。効率や演色性改善のためランプ外球内面に蛍光体を塗布した蛍光型水銀ランプや安定器を必要としないバラストレス水銀ランプもある。効率はやや低いが生寿命の長いことが特徴である。水銀ランプの分光分布図を図4.2.2に示す。

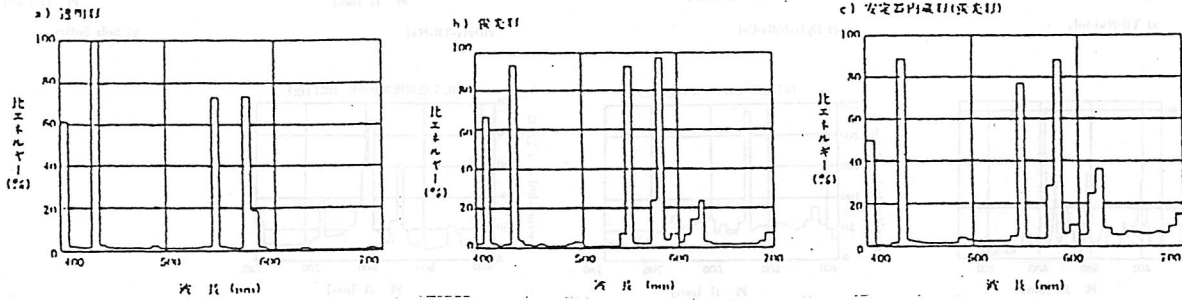


図4.2.2水銀ランプの分光分布図

5) メタルハライドランプ

メタルハライドランプは石英製の発光管に金属ハロゲン化物を封入しその金属の発光を利用している。金属ハロゲン化物の種類とその組み合わせを選ぶことにより種々の特性が得られ効率、演色性の良いランプである。色温度も3000~6500Kと幅広く開発されている。その種類と特徴の一例を表4.2.2に示す。<sup>3)</sup> 図4.2.3にはメタルハライドランプの分光分布図を示す。

表4.2.2メタルハライドランプの種類と特徴

種類	金属ハロゲン化物	効率	演色性・色温度	特徴
一般形	TlI-NaI-InI <sub>3</sub>	lm/W 70~90	Ra K 65~70, 5500	100W~1000Wまであり、初期の主要製品であったが、低始動電圧形が主流となっている。
	ScI <sub>3</sub> -NaI	70~100	65, 4000	メタルハライドランプ中最も高効率、始動管内気形が主流
始動管内気形 (低始動電圧形)	TlI-NaI-InI <sub>3</sub>	70~80	65~70, 5500	緑、橙、赤3色発光を組合せた白色光線、動特性が安定しており、屋内照明、屋外照明に使用されている。
	ScI <sub>3</sub> -NaI	70~100	65, 4000	多数の線スペクトル発光を用いた白色光源で、色温度が4000Kと白色蛍光灯に近い。効率が最も高く屋内・屋外に広く使用されている。100W~2000W
高演色形	DyI <sub>3</sub> -TlI-CsI	70~80	90, 5500	連続の近紫外線スペクトル発光により演色性に優れた白色光線、色温度がやや高い。専用安定器が必要。屋内照明とくに百貨市場などに使用されている。
	DyI <sub>3</sub> -NdI <sub>3</sub> -CsI	70~80	90, 6500	連続の近紫外線スペクトル発光の白色光線で、演色性に優れる。色温度は昼光色に近く、屋内照明や広告塔などに使用されている。水銀ランプ用安定器に適合。
	SnI <sub>4</sub> -SnBr <sub>2</sub>	約70	92, 5500	連続スペクトル発光で演色性が特に優れる。効率がやや低い。美術館などの照明や店舗照明に使用されている。
両口金形	DyI <sub>3</sub> -TlI-CsI	70~80	90, 5200	演色性に優れ、高色温度のため昼光に近い照明効果が可。
	DyI <sub>3</sub> -TlI-NaI	70~80	85, 4200	演色性が高く、白色蛍光灯に近い光色、屋内照明。
	SnI <sub>4</sub> -LiI-TmI <sub>3</sub> -TlI-NaI	約70	80, 3000	温白色・コンパクト光源で店舗照明に使用されている。
その他	CaI <sub>2</sub> , PbI <sub>2</sub> , FeI <sub>3</sub>			光化学用

元素記号 Tl (タリウム), I (ヨウ素), Na (ナトリウム), In (インジウム), Sc (スカンジウム), Dy (ジスプロシウム), Nd (ネオジム), Cs (セシウム), Sn (スズ), Br (臭素), Li (リチウム), Tm (フリウム), Ca (カルシウム), Pb (鉛), Fe (鉄)

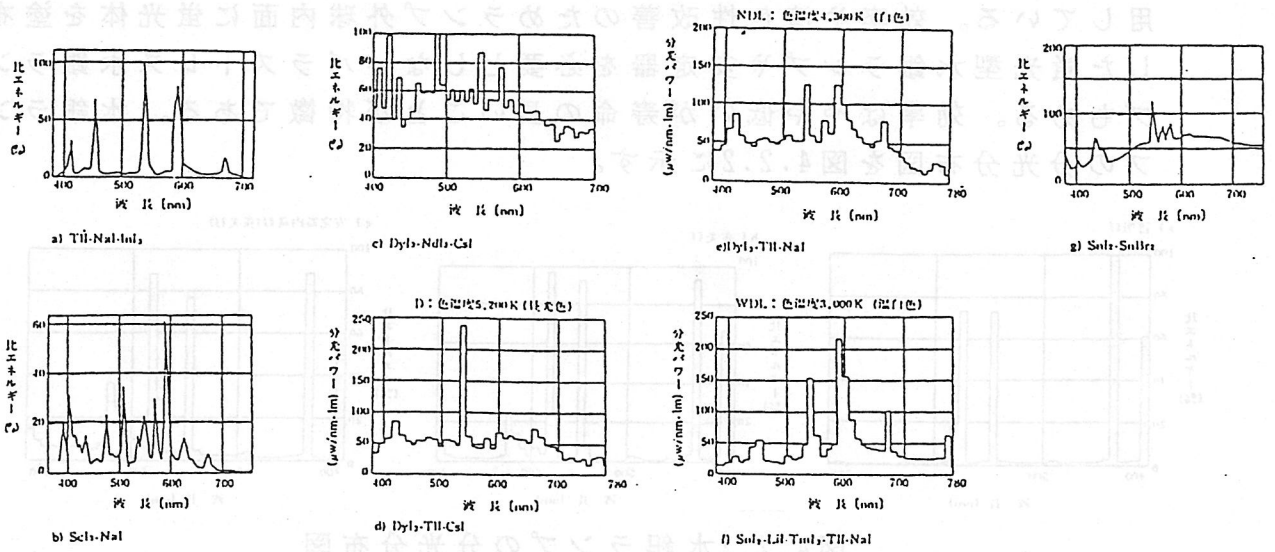


図4.2.3メタルハライドランプの分光分布図

6) 高圧ナトリウムランプ

高圧ナトリウムランプは、セラミック製の発光管にNa-Hgが封入されているが、主にNaの発光を利用するものである。効率がよく寿命も長く経済的な光源である。発光管内のNaの動作蒸気圧を制御することにより効率、色温度、演色性を変化させることが可能である特徴を有する。その特性例を表4.2.3に示す。図4.2.4に分光分布図を示す。

表4.2.3 各種ランプのナトリウム蒸気圧と特性例

ナトリウム蒸気圧 (気圧)	種類	効率 (lm/W)	色温度 (K)	演色性 (Ra)
約 $\frac{1}{1000}$	低圧ナトリウムランプ	175 (180W)	—	—
約 $\frac{1}{10}$	一般形, 高効率形 高圧ナトリウムランプ	139 (360W)	2100	25
約 $\frac{1}{4}$	演色改善形	106 (360W)	2150	60
約 $\frac{1}{2}$	高演色形	58 (400W)	2500	85
約 $\frac{3}{5}$	高彩度形	45 (400W)	2800	78

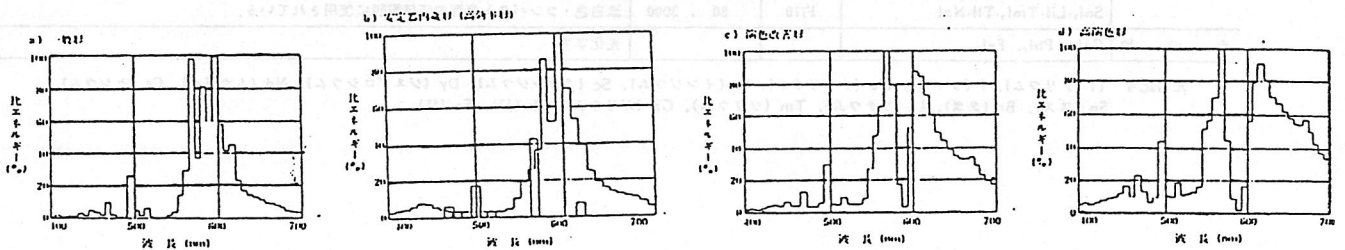


図4.2.4 高圧ナトリウムランプの分光分布図

#### 4. 2. 2 植物に関連する光源の動向

植物成育の点から光源の評価をするための一つの方法としてPAR放射比、光合成有効放射束比、光量子比が計算されている。<sup>5)</sup> その結果を表4.2.4に示す。

表4.2.4 植物成育から見た各種光源の特性評価

項目	ランプ ワット	Lw	D <sub>65</sub>	FL-D	FL-EX	FL-PG	Hf-X	MF	NH	NX
	100	100	—	37	37	40	400	400	400	180
① ランプ入力当たりのPAR放射束比	100	100	(509)	295	361	194	194	341	398	417
② ランプ入力当たりの光合成有効放射束比	100	100	(535)	300	371	250	241	373	513	570
③ ランプ入力当たりの光量子束比	100	100	(556)	344	422	243	227	370	486	549
④ ランプ効率 (1 m <sup>2</sup> W <sup>-1</sup> )	15	15	(93)	73	96	34	55	80	132	175

\* Lw: 自然電球, D<sub>65</sub>: 標準昼光(6500K), FL-D: 蛍光ランプ(昼光色), FL-EX: 蛍光ランプ(3波長域発光形), FL-PG: 蛍光ランプ(植物用), Hf-X: 水銀ランプ(蛍光形), MF: メタルハライドランプ(蛍光形), NH: 高圧ナトリウムランプ, NX: 低圧ナトリウムランプ

\*\* ①  $\int_{400}^{700} P(\lambda) d\lambda / P_{in}$ , ②  $\int_{400}^{700} P(\lambda) S(\lambda) d\lambda / P_{in}$ , ③  $\int_{400}^{700} P(\lambda) Q(\lambda) d\lambda / P_{in}$ , ④  $\int_{400}^{700} P(\lambda) V(\lambda) d\lambda / P_{in}$   
P(λ): 光源の分光分布, S(λ): 光合成作用関数, Q(λ): 光量子感度, V(λ): 標準比視感度, P<sub>in</sub>: ランプ入力

植物工場では高圧ナトリウムランプが使用されているのが一般的であり、この結果を裏付けている。高圧ナトリウムランプの分光分布は光合成作用スペクトルで示されている青色成分(400~500nm)の放射が少ないがHgの発光を強くして更に成育効果を改善したランプも商品化されている。<sup>6)</sup> 他に成育効果の改善として赤(600~700nm) / 近赤外(700~800nm)比による成育効果についての報告<sup>7)</sup>がある。今後さらに植物に関する光源の検討が進められると考える。

さらに、最近では屋内空間のアメニティを高める目的からインドアスペースへの植栽の実施が活発化している。ここで使用される光源の特性は植物の成育効果と共に色の見え方(演色性)が重要になり、光源の演色評価数も考慮することが必要である。表4.2.5に各種光源の演色評価数を示す。アトリウム、オフィス、での観葉植物の成育を助け維持管理費を節減する方法として高圧ナトリウムランプとメタルハライドランプを組み合わせた新照明手法<sup>8)</sup>等も開発されている。

表4.2.5 各種光源の演色評価数

ランプ	公称色温度 (K)	平均演色 評価数 Ra	特殊演色評価数							
			(赤) R9	(黄) R10	(緑) R11	(青) R12	西洋人 (肌色) R13	(木の葉) R14	日本人 (肌色) R15	
白熱電球	100W	2800	100	100	100	100	100	100	100	100
ハロゲン電球	500W	3000	100	100	100	100	100	100	100	100
3波長発光形 (EX-N) (EX-D) (EX-L) 白色 昼光色	5000	88	41	62	77	73	96	76	97	
	6700	88	45	60	75	71	96	75	98	
	3000	88	5	74	87	77	91	76	94	
	4200	61	-105	35	38	42	54	93	39	
	6500	74	-72	52	59	67	66	94	51	
高圧水銀ランプ (H) (HF)	5900	23	-327	-47	-19	-27	2	85	-33	
	4100	53	-65	4	20	9	46	80	45	
3元素形 TL-Na-In	5000	70	-103	35	78	29	79	75	49	
SC形 Sc-Na	4000	70	-129	32	73	23	80	78	47	
ハイラックス (昼白) (白色) (昼光)	3500	97	81	97	93	97	97	96	98	
	4500	96	88	94	92	95	96	94	97	
	6500	96	70	99	95	90	97	97	92	
演色本位型 (高演色) (高演色)	2500	85	72	66	62	56	86	85	87	
	2800	78	-18	78	89	70	94	78	60	
演色改善形	2150	60	-50	44	2	25	46	94	53	
効率本位型 (Dタイプ) (Sタイプ)	2050	25	-162	39	-33	18	22	78	13	
	2100	25	-214	47	-36	34	18	68	-3	

参考文献

- 1) 森田政明 光の生物に対する応用 National Technical Report Vol.23 No.4 August 1977
- 2)、3)、4) (社)照明学会 照明普及会 光源 照明教室67 1989
- 5) 洞口公俊・森田政明 植物工場の光放射技術 National Technical Report Vol.33 No.3 Jun. 1987
- 6) 芦田義孝・古久保晴夫 植物の工場的生産への光放射への応用 GS NEWS TECHNICAL REPORT Vol.47 No.1 Jun. 1988
- 7) 洞口公俊 (他) 4波長発光形植物栽培用蛍光ランプ National Technical Report Vol.38 No.6 Dec. 1992
- 8) 永井恵美子・黒岩麻木子・田澤信二・内藤義雄 観葉植物の屋内育成 照明 照明学会全国大会 1992

#### 4. 3 植物成育から見た光源の評価

人工光源は、一般に人間生活における照明に役立つ目的で開発されており、照明工学の分野では、その評価は主として人間の視覚特性をその基準としている。図4.3.1に示すように、植物の光合成作用スペクトルの平均曲線<sup>1)</sup>は、明所視における分光視感効率<sup>2)</sup>曲線と全く異なっており、全光束/消費電力で表示されている<sup>3) 4)</sup>視覚特性を基準とした評価をそのまま植物に当てはめることは適切とは言えない<sup>5)</sup>。さらに、植物の光形態形成についてもその評価対象に加えることが必要である。

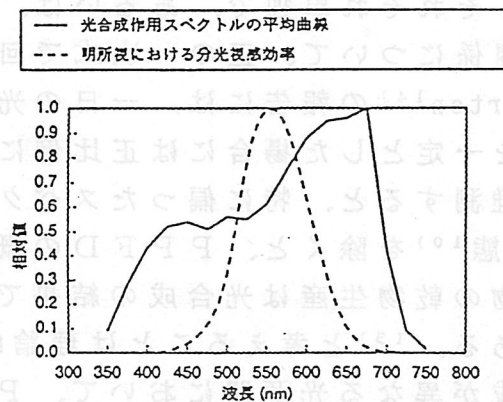


図 4.3.1 光合成作用スペクトルの平均曲線と明所視における分光視感効率

##### 4. 3. 1 光合成に関する光源の評価

植物成育における光環境の評価法として、Bickford and Dunn<sup>6)</sup>は、波長400から700nmの範囲の光放射が光合成に関与しているとした。McCree<sup>1)</sup>は、チャンパー内の作物20種の光合成作用スペクトルの平均曲線が400から700nmの可視光の範囲で平坦ではなく、青色光で低く赤色光で高いことを示し、さらに、光合成有効放射 (PAR) の定義として400~700nmの光量子束密度 (単位:  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) を用いると、400~700nmの放射束密度 (放射照度) (単位:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) で定義した場合に比較して誤差が19%から8%に大きく減少する<sup>7)</sup>ことを見いだした。Inada<sup>8)</sup>は26種類の草本作物、7種類の木本植物の光合成作用スペクトルの測定を行い、さらに、8種の作物の光合成の測定結果から、McCreeの結果の検証<sup>9)</sup>を行った。矢吹・高<sup>10)</sup>も同様の光合成作用スペクトルを得ているが、クロロフィル含量が少ない植物については異なるスペクトルを例示した。これらの結果から、400~700nmの光量子束密度を光合成有効光量子束密度 (PPFD) とし、PARの定義とする概念が成立する。

PPFDが光合成の評価法であることを実証する実験として、Tibbittsら<sup>11)</sup>は、光源をメタルハライドランプ単独、高圧ナトリウムランプ単独、メタルハライドランプ+ハロゲン電球、メタルハライドランプ+高圧ナトリウムランプとした4処理区でPPFDを等しくして成育させた場合に、光源が異なっても、乾物重の増加についてはPPFDで決定される事を示した。村上ら<sup>12)</sup>は、レタスについて、3波長域発光形蛍光ランプ、昼光色蛍光ランプ、植物用蛍光ランプを用い、PPFDを同一にして、成育に対する影響を比較したところ、各処理区の成育特性には、顕著な差が見られないことを示した。藤沼ら<sup>13)</sup>は、ヒマワリを用いた実験を行い、人工光(陽光ランプ)と太陽光の、それぞれ単独で、あるいは、両方を含めて、PPFDと植物乾物成長の関係について、正の一次式で回帰できることを示した。Warrington and Norton<sup>14)</sup>の報告には、一日の光量子積分値と乾物重の関係について、日長を一定とした場合には正比例に近い関係が見られる。

これらの実験例から推測すると、特に偏ったスペクトルを用いた場合<sup>15)</sup><sup>16)</sup>や、植物の特殊な状態<sup>10)</sup>を除くと、PPFDの概念を用いることができると考えられる。植物の乾物生産は光合成の結果であり、PPFDと乾物生産量は比例関係がある。<sup>13)</sup>と考えることは理論的に一応の合理性がある。分光エネルギー組成が異なる光源間において、PPFDが一致している場合、乾物生産量には差異がないという考え方である。現在では、PPFDの絶対値についての測定機器は、400~700nmの光量子感度に近似した応答曲線を持つ光合成有効光量子センサー(LI-COR, LI-190S)をライトメーター(同、LI-185)に装着したものをを用いて測定することが一般に行われ、PPFDによる植物成育光環境の評価法が定着してきた。

以上から、光源の400~700nmの光量子束(PPF)をランプ電力で除した値をPPF発光効率とし<sup>17)</sup>、植物の光合成に関する光源の評価とすることが適切であろう。

#### 4. 3. 2 光形態形成に関する光源の評価

700~800nm付近の遠赤色光が植物の成長や、形態形成に影響を与えるとの研究は多くあり、その影響原因はフィトクロム光平衡のPr、Pfr形の変化ではないかと推測されている。報告は多くの植物種にわたっているが、R/FRを低下させる、すなわちFRを相対的に多くした場合、茎または節間の著しい伸長<sup>13) 18) 24)</sup>、あるいは茎乾物重の増加が見られる例<sup>19) 22) 23) 25)</sup>が多い。逆に、茎乾物重が減少した例もある<sup>19)</sup>。また、葉面積の増加<sup>19) 26) 27)</sup>、葉の乾物重の増加<sup>19) 22)</sup>が見られる例もあり、逆に葉面積の減少<sup>23) 26)</sup>、葉の乾物重の減少<sup>19) 23)</sup>がみられるとの報告もある。

これらの結果から推測すると、FRは植物の形態形成、特に茎の伸長促

進に重要な波長域である。光形態形成のうち、特に植物の形状に影響をあたえる伸長成長は赤色光 (R) の光量子束と遠赤色光 (FR) の光量子束密度の比  $R/FR$  と密接な関係があると考えられている。村上らは、ヒマワリ<sup>28)</sup>、レタス<sup>29)</sup>を用いて遠赤色光付加照射により  $R/FR$  を変化させると、伸長成長の制御、成育の促進を図れる事を示した。これらの結果は、 $R/FR$  の変化により植物の光形態形成特に、伸長成長の制御が行われ、さらに植物体受光面積が増加することによる間接的な光合成促進にも効果がある事を示している。この  $R/FR$  を用いた FR の評価を、PPFD 発光効率に次ぐ植物栽培用光源の第2の評価法とすべきであると考えられる。

ただし、 $R/FR$  に用いる波長帯 (幅) については、研究者により必ずしも一致していない<sup>26) 30) 32)</sup> が、フィトクロムの作用スペクトル<sup>33) 34)</sup> の幅が広範囲にあることから、幅は狭い (660±5nm/730±5nm) よりも広い (600~700nm/700~800nm) 方が望ましいのではないかと推測され、ヒマワリの茎の伸長との一致関係から、波長帯 (幅) を広くとることが望ましい<sup>35)</sup> という提案もなされている。3波長域発光形蛍光ランプのように狭帯域の発光を組み合わせたランプの場合、波長帯幅を狭く取った場合と広く取った場合にはその数値の差が大きくなる。狭い幅で取った場合、広い幅で取った場合を比較検討する実験<sup>36)</sup> によると、広い幅で取った場合に、植物の成長はもつとも類似したとされている。

#### 4. 3. 3 人工光源の評価計算と評価法の検証

人工光源の効率を、PPFD、 $R/FR$  の概念を用い、植物栽培用人工光源として現在使用されているランプを含む9種の光源の分光分布を測定し、その分光分布から、計算により、各種人工光源のランプ電力当たりの光合成有効光量子束 (PPF) 発光効率および赤色光 (600~700nm) 光量子束/遠赤色光 (700~800nm) 光量子束の比 ( $R/FR$ ) を計算した<sup>17)</sup>。

光量子束 (PPF) 発光効率と  $R/FR$  (600~700nm/700~800nm) を指標として各種人工光源を比較した一覧を図4.3.2に示す。

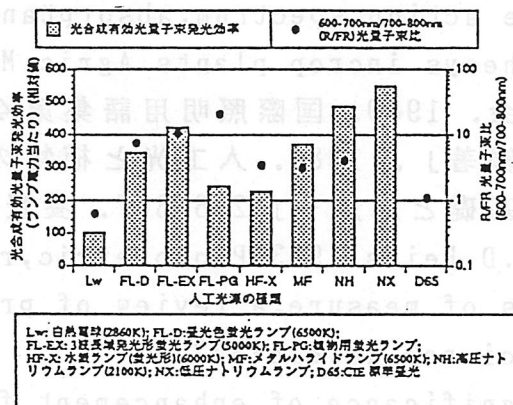


図 4.3.2 ランプ電力当たり光合成有効光量子束発光効率と  $R/FR$  光量子束比

各種人工光源のなかで、PPF発光効率が高い数値を示すのは、低圧ナトリウムランプ(NX)であるが、このランプは589nmの単波長光源であるため、光形態形成上不具合な作用を生じる場合がある。従って、光合成促進には既存の人工光源の中では高圧ナトリウムランプ(NH)、3波長域発光形蛍光ランプ(FL-EX)、メタルハライドランプ(MF)が推奨される。一方、植物の伸長成長では、標準昼光(D65)に比べて蛍光ランプはR/FRが大きくなり、植物は矮化傾向になる。また、白熱電球(Lw)ではこの比が小さくなるために、茎の伸長の促進傾向を示す種が多い。

以上の第1、第2の評価法が適切かどうかについては、実験的に検証を行う必要がある。メタルハライドランプ(陽光ランプ)、3波長域発光形蛍光ランプ+遠赤色蛍光ランプを光源として用い、PPFDおよびR/FR(600~700nm/700~800nm)を一致させた実験でのヒマワリ成育に関する例<sup>36)</sup>(図4.3.3)を示す。PPFD、R/FRを一致させても、なお多少の成育差が見受けられる点については、今後検討を要する。

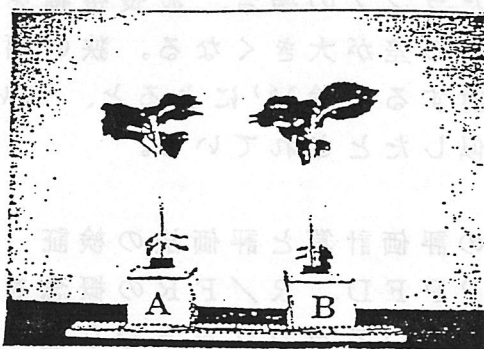


図 4.3.3 PPF D, R/FR(600~700/700~800nm)を一致させ  
3波長域発光型蛍光ランプ+FR蛍光ランプ(A)、  
メタルハライドランプ(陽光ランプ)(B)で成育させたヒマワリ

#### 参考文献

- 1) McCree, K.J. 1972. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric. Meteorol.* 9:191-216.
- 2) (社)日本照明委員会. 1989. 国際照明用語集第4版. 4-5.
- 3) 稲田勝美「稲田勝美編著」. 1984. 人工光と植物の生育. 「光と植物生育-光選択利用の基礎と応用-」236-307. 養賢堂. 東京
- 4) Thimijan, R.W. and R.D. Heins. 1983. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. *Hortscience*. 18:818-822.
- 5) McCree, K.J. 1971. Significance of enhancement factor for calculations based on the action spectrum for photosynthesis. *Plant Physiol.*

- 49:704-706.
- 6) Bickford, E.D. and S. Dunn. 1972. Lighting for plant growth. The Kent State Univ. Press, Kent, Ohio, U.S.A.
  - 7) McCree, K.J. 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Meteorol.* 10:443-453.
  - 8) Inada, K. 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant and Cell Physiol.* 17:355-365.
  - 9) 稲田勝美・船越建明・青木幹男・福井正夫・桂直樹. 1980. 混合光の光質が作物の光合成に及ぼす影響. *日作紀.* 49:34-41.
  - 10) 矢吹萬寿・高博. 1973. 数種のそ菜の光合成と光質との関係. *農業気象.* 29:17-24.
  - 11) Tibitts, T.W., D.C. Morgan, and I.J. Warrington. 1983. Growth of lettuce, spinach, mustard and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide, and tungsten halogen lamps at equal PPF. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:622-630.
  - 12) 村上克介・清田信・北宅善昭・洞口公俊・森田政明・相賀一郎. 1989. レタスの人工光栽培における3波長域発光形蛍光灯の効果. 日本農業気象学会、日本生物環境調節学会合同大会講演要旨. 12-13.
  - 13) 藤沼康実・町田孝・相賀一郎. 1984. フライトトンにおける実験植物. 国立公害研究所研究報告第64号. 64:312-336.
  - 14) Warrington, I.J. and R.A. Norton. 1991. An evaluation of plant growth and development under various daily quantum integrals. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:544-551.
  - 15) Mortensen, L.M. and E. Stromme. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Hort.* 33:27-36.
  - 16) Warrington, I.J. and K.J. Mitchell. 1976. The influence of blue and red biased light spectra on the growth and development of plants. *Agric Meteorol.* 16:247-262.
  - 17) Murakami, K., K. Horaguchi, H. Shibata, M. Morita and I. Aiga. 1992. Fundamental studies on the development of new fluorescent lamps for plant growth. *Acta Horticult.* 319:329-334.
  - 18) Chow, W.S., D.J. Goodchild, C. Miller, and J.M. Anderson. 1990. The influence of high level of brief or prolonged supplementary far-red illumination during growth on the photosynthetic characteristics, composition and morphology of *Pisum sativum* chloroplasts. *Plant Cell Environ.* 13:135-145.

- 1 9 ) Kwesiga, F. and J. Grace. 1986. The role of the red/far-red ratio in the response of tropical tree seedlings to shade. *Ann. Bot.* 57:283-290.
- 2 0 ) Morgan, D. C. and H. Smith. 1976. Linear relationship between phytochrome photoequilibrium and growth in plants under simulated natural radiation. *Nature*. 262:210-212.
- 2 1 ) Morgan, D. C. and H. Smith. 1979. A systematic relationship between phytochrome-controlled development and species habitat, for plants grown in simulated natural radiation. *Planta*. 145:253-258.
- 2 2 ) Knight, S. L. and C. A. Mitchell. 1988. Growth and yield characteristics of 'Waldmann's green' leaf lettuce under different photon fluxes from metal halide or incandescent+fluorescent radiation. *Scientia Hortic.* 35:51-61.
- 2 3 ) Rivard, P. G., and J. Hoddinott. 1989. Morphological responses of *Myriophyllum exalbescens* Fern. to Different red:far-red light ratios. *Biotronics*. 18:9-14.
- 2 4 ) Warrington, I. J., D. A. Rook, D. C. Morgan and H. L. Turnbull. 1988. The influence of simulated shadelight and daylight on growth, development and photosynthesis of *Pinus radiata*, *Agathis australis* and *Dacrydium cupressinum*. *Plant Cell Environ.* 11:342-356.
- 2 5 ) Kaul, K. and M. J. Kasperbauer. 1988. Row orientation effects on FR/R ratio, growth and development of field-grown bush bean. *Physiol. Plant.* 74:415-417.
- 2 6 ) Inada, K. and Y. Yabumoto. 1989. Effects of light quality, daylength and periodic temperature variation on the growth of lettuce and radish plants. *Jpn. J. Crop Sci.* 58:689-694.
- 2 7 ) Nethy, M., P. Alpert. and J. Roy. 1990. Effects of light quality and quantity on growth of the clonal plant *Eichhornia crassipes*. *Oecologia*. 84:265-271.
- 2 8 ) 村上克介・洞口公俊・森田政明・相賀一郎. 1991. 遠赤色光付加照射によるヒマワリ幼植物の伸長成長制御. *生物環境調節*. 29: 73-79.
- 2 9 ) 村上克介・洞口公俊・森田政明・相賀一郎. 1992. 遠赤色光 (FR) 付加照射によって生じるレタス生育の促進. *生物環境調節* 30: 23-28.
- 3 0 ) Smith, H. and M. G. Holmes. 1977. The function of phytochrome in plants growing in the natural environment. Measurement and calculation of phytochrome photoequilibria. *Photochem. Photobiol.* 25:547-550.

- 3 1) Knight, S.L. and C.A. Mitchell. 1988. Effects of incandescent radiation on photosynthesis, growth rate and yield of 'Waldmann's green' leaf lettuce. *Scientia Hort.* 35:37-49.
- 3 2) Warrington, I.J., K.J. Mitchell and G. Halligan. 1976. Comparisons of plant growth under four different lamp conditions and various temperatures and irradiance levels. *Agric. Meteorol.* 16:231-245.
- 3 3) Butler, W.L., S.B. Hendricks and H.W. Siegelman. 1964. Action spectra of phytochrome *in vitro*. *Photochem. Photobiol.* 3:521-528.
- 3 4) Hartmann K.M. 1966. A general hypothesis to interpret 'high energy phenomena' of photomorphogenesis on the basis of phytochrome. *Photochem. Photobiol.* 5:349-366.
- 3 5) 村上克介・洞口公俊・大久保和明・相賀一郎. 1991. 植物生育光放射環境における遠赤色光 (FR) の効果と評価. 平成3年度 (第24回) 照明学会75周年記念大会講演予稿集. 217-218.
- 3 6) 村上克介・洞口公俊・森田政明・相賀一郎. 1993. 植物栽培人工光環境における形態形成制御指標としての赤色光/遠赤色光光量子束比の波長帯 (幅) に関する考察. 日本農業気象学会、日本生物環境調節学会合同大会. 講演要旨. 58-59.

## 5. 施設農業・生物生産への利用

### 5. 1 作物への利用にあたって

植物を特徴づける一つの要素として、光を利用した光合成作用により独立栄養を営むということがあげられる。しかし光放射に対する植物の反応には、前期2章で述べられているように、光形態形成作用や光周性、光に対する動特性があり、種子の発芽、胚軸や節間の伸長、葉の展開や伸長、花芽や冬芽の形成、葉や気孔の開閉、屈光性、傾光性など、さまざまな反応が光の量、質、時間に関係し、それぞれが相互に複雑に関係し合っている。施設農業や植物生産への放射の利用は、生産目的に従ってこれらの性質をたくみに把握し活用するものである。

#### 5. (1. 1) 光周性の利用

光周性とは、地球の公転、自転によって生じる明期や暗期の長さの変化が引き起こす生物の反応を言うが、一般的には24時間を一周期として、光があたっている時間と光があたっていない時間の組み合わせである。

典型的な短日植物である秋ギクや寒ギクは、夏から秋にかけて日長時間が短くなってくると花芽が分化し、10月から11月にかけて自然開花する。キクはわが国では切り花として圧倒的な人気があり、1989年における統計では約18億本、金額にして全切り花の約36%、749億円を占めるに至り周年的に生産されている。すなわち、秋ギク、寒ギク以外にも夏ギク、夏秋ギク、最近では洋風の明るいスプレーギクなど、さまざまな品種が育成され、光周性を利用した電照栽培、シェード栽培によって一年中出荷されるようになった。暖地におけるキクの主要な作型を示したのが表5.1.1である<sup>1)</sup>。この表からさまざまな品種を用いてさまざまな作型によって周年的にキクが生産されているのがわかる。

なお、表中1月～4月出荷の抑制栽培では再電照を行うことが記されているが、これは普通に電照を行って花芽分化を抑えた後、一定の期間をおいて再び電照を行う方法で、これによって花のすぐ下の葉を大きくして花を引き立たせるとともに、出荷時の花のいたみを防ぎ、さらに筒状花を減らして舌状花をふやし、花のボリュームを大きくして商品価値を高める技術として定着している<sup>2)</sup>。

表 5.1.1 暖地における主要な作型（船越）

作 型		出荷期 (月)	苗の 条件	定植 (月)	挿心 (月)	加温	電照	シート	そ の 他
露 地	秋 寒 菊	10-11	挿し芽	6	7	-	-	△	8上~8下シェード
	冬 寒 菊	12-1	挿し芽	7	8	-	-	-	
	夏 寒 菊 (早生)	5-7	冬至芽	10	-	-	-	-	トンネル被覆あり
	夏 秋 菊 (早・中生)	7-8	挿し芽	4	4	-	-	-	
	夏 秋 菊 (中・晩生)	8-9	挿し芽	5	5	-	-	-	
露 地	秋 寒 菊	10-12	挿し芽	7	8	-	-	-	
	夏 咲 菊	5-7	冬至芽	9-12	-	-	△	-	草丈伸長目的で一部あり
遮 光 設 置	半 電 照	11-12	挿し芽	7	8	-	○	-	
	暮 出 し 電 照	12	挿し芽	8	8	○	○	-	
	1-2月出し電照	1-2	挿し芽	9	9	◎	◎	-	再電照を行う
	3-4月出し電照	3-4	挿し芽	10	11	◎	◎	-	徳冷蔵、再電照を行う
	電照2度切り	11-12 3-5	挿し芽	8	8	◎	◎	○	3-5月出しは切り花後 芽、晩出しはシェード
	夏 秋 菊 電 照	5-9	冬至芽 挿し芽	2-6	3-6	○	◎	-	精雪で栄養生長期だけ 電照
促 成	秋 菊 促 成	5-6	冬至芽 挿し芽	12-1	1-2	◎	◎	○	
	夏 菊 促 成	3-4	冬至芽	11	-	◎	-	-	高冷地育苗する
	夏・夏秋菊半促成	4-5	冬至芽	9-12	-	○	○	-	挿し芽苗直接定植が多い 草丈確保のための電照する
	秋菊早期シェード	5-7	冬至芽	1-2	2-3	◎	◎	◎	4月10日以降シェード
	秋菊普通シェード	8-9	挿し芽	5	5-6	-	○	◎	やなぎ芽防止電照あり

〔注〕 このほかに秀芳の力の無挿心1本立ち栽培も作型としている場合あり

スプレー菊も秋菊に準じた作型で栽培される

- : 行われない    △ : 少し行われる    ○ : 行われる    ◎ : 多く行われる

前記したように、短日植物である秋ギクや寒ギクの花芽が分化するための日長時間は約14.5時間以下、分化した花芽が発達して開花するためには約13.5時間以下の日長が必要である。そこでこの花芽の分化発達を抑えるために電照が行われる。

花芽分化を抑制する光の量については、大須賀の研究によると表5.1.2のとおりで、品種間の差異がかなり大きい。

表 5.1.2 花芽分化抑制に必要な照度（大須賀）

照度 (lx)	品 種 名
12	天竜の朝
15	秀芳の宝、精興の光
20	大観、銀水
28	船出、蜂の雲、天伯の朝
34	天寿、新精明の花、精興の花、山手の雲
45	乙女桜、精興の雲、精興の雲、大芳花、春の光、朝国
68	真流、弥栄、新全星、八女の輝、八女の光、白精明の花
98	精興白山

注 挿し芽 8月5日、定植 8月17日、挿心 8月26日  
電照 8月26日-9月22日、処理 9月23日

また光の質については、小川、養原が純青色、純赤色蛍光ランプ（40W）および白熱電球により、2品種のキクを用いて花芽抑制効果を調べたところ、表5.1.3に示すように青色光は抑制効果がなく、白熱電球や波長の長い赤色光が有効であった<sup>3)</sup>。

表 5.1.3 光質と花芽抑制 (小川、蓑原)

調査項目	品種 照度 灯の接点	乙 女 桜			精 良 の 花		
		白 熱 灯	赤色けい光灯	青色けい光灯	白 熱 灯	赤色けい光灯	青色けい光灯
葉 数 枚	2511	33.2	35.4	25.6	45.2	47.6	29.4
草 丈 cm	25	98.2	95.2	81.2	81.6	83.2	79.0
	40	107.3	106.8	81.2±α	101.4	103.7	79.0±α
葉の直径 cm	25	1.8	1.0	1.0	1.8	—	1.0
	40	2.2	1.4	開花	1.9	1.4	開花

(注) 定植 8 月 10 日 電照 8 月 19 日 ~ 9 月 30 日 2 2 時 ~ 1 時光中断

なお、キクの電照用電球として、電球の内部にアルミを蒸着させ反射鏡の働きを持たせた白熱電球が開発され、小さなW数でより大きな効果をあげられること、配光曲線が優れており、かつ電力を節減できることから広く使われている。

光周性の利用としては、キクのほかイチゴ<sup>4)</sup>で広く普及している。イチゴは一般に秋の短日、低温条件下で花芽が分化し同時に成長が止まって矮小となり、いわゆるロゼット化して休眠に入る。この休眠はイチゴ特有の現象で、日長と温度とは相互作用があつてこれらの関係についてはなお不明な点が多い。イチゴの電照栽培は、長日処理を行うことによってこの休眠を防ぎ成長を持続、促進させることをねらつて行われる。この場合の照度は最低 20 lx が必要とされており、通常夕方から 5 時間の電照が行われている。

シソ<sup>5)</sup>も短日植物で秋の短日条件下で花芽が分化し開花する。シソの葉はいわゆるオオバとして消費量が最近増大しており、短日を妨げる意味から電照栽培が行われている。電照の方法は大分県の例では 8 月下旬から翌年 3 月まで、日没から午前 1 時まで 9 m<sup>2</sup> 当たり 60 W の電照用電球 1 灯をつるして電照が行われている。図 5.1.1 にその一例を示した。



図 5.1.1 シソの電照栽培

光周性の利用は花を対象としたものが多く、リーガスベコニアやシロクジャク、カラコエなどで実用化している。このほか、照明学会「照明年報“生物への光放射の応用”<sup>6)</sup> 1991～1993年の3年間に、イースタリリー、アリストロメリア、カーネーション、トルコギキョウ、ベコニアなど23の応用例、実用化試験が紹介されており、花の電照栽培は今後さらに多くのもので実用化が期待される。

#### 5. 1. 2 光合成を対象とした利用

光周性を利用する電照栽培では、光は花芽形成の抑制など刺激的に働き通常数10 lxで足りる。しかし植物の光合成を対象として人工光源を利用する場合はかなり強い光が要求されることは、「第2章 光放射と植物の反応」に述べられている通りである。

緯度が高く、冬の間太陽光線が弱く、かつ日照時間も短いヨーロッパでは、足りない太陽光線を補い光合成を助ける人工光源の利用は古くから関心をもたれ、1950年代にはすでに各地の大学や試験場で試験、研究が行われていた。イギリスの電力公社から1980年に人工光源利用のガイドブック<sup>7)</sup>が出されているが、それによると野菜ではトマト、キュウリ、レタス、イチゴ、花に対してはセントポーリア、カーネーション、アザレア、ベコニア、ポインセチア、バラなどが、また落葉防止（アザレア）、発蕾促進（ハイドランジア）などを兼ねた補光の事例が紹介されている。

また一般に植物の苗の時代は成体に較べて光飽和点が低いので、人工光線のみでの育苗も可能であり、イギリスでは1966年にすでに温白色蛍光灯ランプを用いたコマーシャルベースの育苗室が作られている。ヨーロッパではこのような専門の苗生産業者からレタス、トマトなどの苗を購入することが通常行われている。わが国でも最近専門の育苗施設により生産された、いわゆる成型苗が次第に普及しつつあり<sup>8)</sup>、農水省農蚕園芸局の平成2年7月の調査によると、野菜についてはレタス、トマト、ブロッコリなどを中心に約1,000 ha、また花では花壇用、切り花用の苗の約20～30%が成型苗を利用している<sup>9)</sup>。成型苗は現在のところ自然光下で行われているが、種子系成型苗の人工光下の生産の研究も始まっており、今後の発展が期待されるところである。

一方、茎頂点培養などによる組織培養苗の生産は広く実用化が進んでおり、1988年の時点で、カーネーション約3,000万本、シュクコンカスミソウ800万本、シンビジウム、グラジオラス各300万本など、20種以上合計5,000万本の苗が生産されている。これらの組織培養苗の生産には人工光線が利用されており、苗生産の安定性、品質の維持・向上に大きく寄与している。今後は苗生産時における適切な光量、光質が課題になるものと考えられる。図5.1.2は、農林水産省野菜茶業試験場が中心となり、農水省の8研究機関と民間24社の共同によって進められている。

「バイオナーサリーシステムの開発に関する研究」による植物の組織培養による大量種苗生産システムの概念図である。

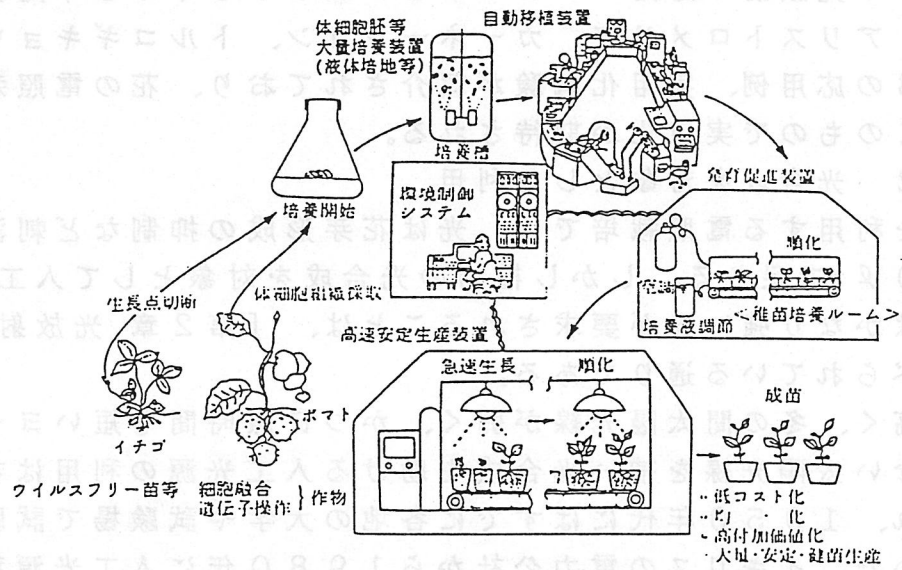


図 5.1.2 バイオナーサリーシステム概念図  
(農水省野菜・茶業試験場)

なお、光合成を対象とした人工光線の利用として、キュウリ、スイカなどの幼苗接木活着促進装置が実用化しており、蛍光灯が利用されている<sup>10)</sup>。

### 5. 1. 3 果実の着色などへの利用

果実の着色の良否は、栽培農家にとってその商品価値を左右する大きな課題の一つである。最近、ブドウを始め種々の果樹がハウスや雨除けなどで栽培されるようになり、さらに早出しが進むにつれて果実の着色は看過しがたい問題となってきた。

リンゴの着色は品種間差異が大きく、“ふじ”や“つがる”はスターキングや紅玉に較べ着色不良が問題とされることが多い。収穫後のリンゴ9品種を恒温室に置き、白色蛍光灯および紫外線蛍光灯の単独および混合光を照射し、アントシアニンの生成を調査した荒川の実験によると紫外光が大きく寄与していた<sup>11)</sup>。

また、イチヂクを対象とした柳原<sup>12)</sup>らの実験によると、5種類の光源を、ハウス内照度が3000 lx以下になったとき6～19時まで照明し着色を調べたところ、300～400 nmの主波長をもつ複写用蛍光灯および500～900 nmに主波長を有する3波長発光形蛍光灯区のアントシアニン含有量が多かった。

また、サクランボ、モモ、ブドウの高演色形メタルハライドランプによ

る着色<sup>13)</sup>、ハウスブドウの2期作栽培を目的として、2期作時の果実の肥大効果、新梢の木化（登熟）防止をねらって白熱電球やメタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプなどによる補光試験が行われそれぞれ良好な結果を得ている<sup>14)</sup>。人工光源の施設農業、生物生産への利用の今後の一層の発展が期待されているところである。

参考文献

- 1) 船越桂一編著 1989 キク—作型別栽培技術—（上・下） 誠文堂新光社
- 2) 大石一史 1993 研究ジャーナル 16(8)44~50
- 3) 小川 正・蓑原善和 1972 農業電化 25(6)24~25
- 4) 松本 理 1987 農業および園芸 62(1)
- 5) 二宮伊作 1990 ハイドロポニックス 4(1)24
- 6) 蓑原善和 1991~1993 照明学会誌（照明年報）
- 7) The Electricity Council, U.K 1980 Growing Room.
- 8) 古在豊樹 1993 アグリビジネス 8(3)21~35
- 9) 吉岡和之 1992 アグリビジネス 7( )37~
- 10) 板木利隆 1993 農耕と園芸 48(1)88~91
- 11) 荒川 修 1988 園芸学会誌 57(3)373~380
- 12) 柳原・木村・向阪他 1991 照学記念大会予稿集 214
- 13) 三科十代蔵 1991 農業電化 44(3)14~16
- 14) 久保田・片山・前田 1993 農業および園芸 68(5)74~78

## 5. 2 植物工場・CELS S等への（光放射の）利用

光環境は、気温、二酸化炭素濃度などと共に植物の地上部の重要な環境条件である。環境制御についてはまず施設園芸分野で気温、二酸化炭素濃度の調節が先行して行われ、光環境についてはその後が続くことになった。

植物工場の目的とする周年生産、安定的供給のためには、光放射を含めた環境は完全に人為的に調節できる必要があり、このことからすると完全人工光形（完全制御形）が植物工場の本来の姿である。人工環境下では、自然光下と異なり、光放射強度、時間および分光分布を自在に制御できる。この利点を生かし、植物の成長を最適に制御するように光源を利用する技術が開発できる可能性がある<sup>1)</sup>。植物成育に用いる人工光源のランプ効率、照明効率、空間利用効率を高め、電力消費を低減させることが重要である。

また、近年有人宇宙ステーションや月面基地の建設とその利用が検討されている。人間が宇宙で活動するためには生活環境の整備と食糧の確保が必要とされるが、植物工場に関する諸般の技術を宇宙空間の閉鎖生態系生命維持システム（CELS S）内で実現することにより目的を達する事ができると考えられる。

### 5. 2. 1 ランプ効率の向上

現在既に人間生活における照明に用いる目的で開発された照明が、植物栽培に用いられている。それらの光源の選択基準は、たとえば、低圧ナトリウムランプ、高圧ナトリウムランプは入力電力当たりの光束が高いという理由で、陽光ランプ（メタルハライドランプ）は分光分布が太陽光に類似しているという理由で、また植物用蛍光ランプは分光分布が葉緑素合成スペクトルに類似しているという理由<sup>2)</sup>でそれぞれ用いられている。このように、光源の評価基準は統一されていない。

本報告書第4章3項には植物成育からみた植物栽培用人工光源についての評価に関し、光合成と光形態形成の観点から、PPF発光効率とR/F Rという2種の統一的评价法を提案した<sup>3)</sup>。この評価法を適用した計算例に示すように、既存人工光源の中では、高圧ナトリウムランプ、3波長域発光形蛍光ランプ、メタルハライドランプが光合成に有効な光源である。一方、R/F Rはすべての蛍光ランプで高い値を示し、ついで高圧ナトリウムランプ、水銀ランプ、メタルハライドランプ、白熱電球の順となった。

既に実用的に植物栽培に用いられている高圧ナトリウムランプ、メタルハライドランプ（HIDランプ）は、高ワットのランプが単体で作成できるという利点を持っており、光出力当たりのランプの大きさが小さいため、自然光形施設の補光用光源として用いられている。蛍光ランプも、3波長域発光形蛍光ランプは従来の昼光色蛍光ランプ、植物用蛍光ランプに比較

して P P F 発光効率が高く、また、ツインタイプのガラス管接合方式による装着面積当たり発光効率が従来の約 2 倍の光量子束を発する蛍光ランプが開発されており<sup>4)</sup>、植物栽培用光源として有望である。

蛍光ランプは遠赤色光が少ないが、遠赤色光を発する蛍光体により、3 波長域発光形蛍光ランプに遠赤色光を付加した 4 波長域発光形植物栽培用蛍光ランプが試作されており<sup>5)</sup>、植物のより細やかな成長調節や成育促進にも役立つものと期待されている。

### 5. 2. 2 照明効率、空間利用効率向上の試み

ランプ効率に合わせて、照明効率、空間利用効率の向上も人工光型植物工場の実用化のためには重要である。従来の植物工場では、光源として発光効率が最も高い高圧ナトリウムランプを使用している例が多い。植物栽培における照明では、栽培室の照明効率を向上させ、かつ葉群の受光効率を高めて光の利用効率を高める事が重要である<sup>6)</sup>。池田ら<sup>6)</sup>は、葉やけの原因となる赤外線含量が少なく、光環境の制御が容易な蛍光ランプを用いて、蛍光ランプと床面の距離を数 10 cm に接近させて内面を白色塗装し、反射光を有効に利用した近接照明により、従来の高圧ナトリウムランプよりも省電力でレタスを高速栽培できることを見いだした。

また、北宅ら<sup>7)</sup>は、単位光源当たり、単位空間容積当たりの栽培面積を飛躍的に増加させる目的で植物育成棚の中央に蛍光ランプを水平に配列し、その下側では通常の向きに植物を育成し、さらに上側にも栽培床を設け、野菜を逆さ向きにして吊下げた状態で育てる栽培方法について検討した。クリプスヘッド型レタス、ネギ、コカブ、ハツカダイコン、ナス、ピーマン、キュウリ、トマト、ツルナシインゲンについての実験が行われた。

図 5.2.1 にレタス、ネギ、ピーマン、ツルナシインゲンは地上部の乾物重、根菜のコカブ、ハツカダイコンは地上部および肥大根の乾物重、キュウリ、トマトについては地上部生体重で比較した下側栽培区の成育量に対する上側栽培区の比較を示す。

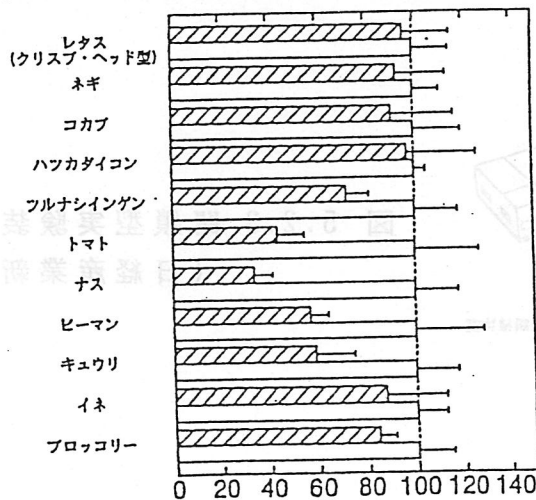


図 5.2.1 上下栽培区の成育の比較

各供試植物について処理開始後 20 日目での下側栽培区の成育量に対する上側栽培区の成育量の比率 (%) を示す。

トマト、キュウリ、ネギ、イネは地上部生重、その他の果菜、葉菜とブロッコリーは地上部乾物重、根菜は地上部及び肥大根の乾物重の合計。

レタス、ネギ、コカブ、ハツカダイコンは上下栽培区で大きな差がなく、この栽培方法が可能であるが、ツルナシインゲン、ナス、キュウリ、およびピーマンでは上側栽培区は下側栽培区の33～70%に減少した。上側栽培区と下側栽培区の植物を使い分けることによって、空間の有効利用が図れると考えられる。

図5.2.2にこの栽培方式を実用化した例を示す。この装置は国際花と緑の博覧会で展示された後、南極地域観測隊に寄贈され、昭和基地での植物栽培として隊員に食糧を供給するのに役立てられている。また、栽培植物の緑は白一色の南極でアメティを高め、精神的な安らぎを感じることができるとの隊員の感想も寄せられている。



図 5.2.2 逆さ野菜栽培（南極昭和基地）

### 5. 2. 3 CELSSにおける光放射の利用

CELSS (Closed Ecological Life Support System) とは、宇宙ステーションや月面基地に閉鎖空間を構築し、そこで人間の生命を維持し、生活環境を造成するために人為的に生態系を制御する新しい技術であり、長期にわたる有人宇宙活動に必要不可欠である。

CELSSには図5.2.3に示すように人間の生活執務施設に併せて作物栽培施設である閉鎖植物室、動物、魚類の増殖施設である閉鎖動物室などのサブシステムが設けられ、それらの諸施設を結合、制御する制御設備とあわせて閉鎖生態系を構成する。

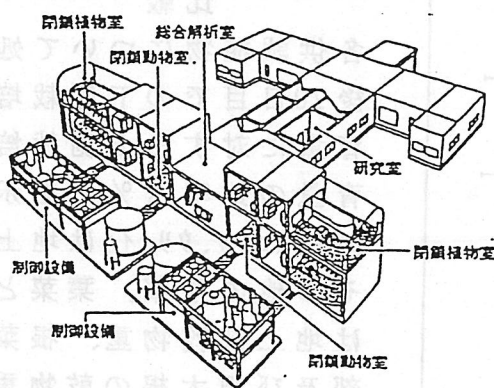


図 5.2.3 閉鎖型実験装置概念図  
(日経産業新聞より)

CELLSSの植物サブシステムは居住者の食糧確保をはじめ、植物光合成を利用した酸素の供給、排出、二酸化炭素の吸収、さらには植物の蒸散を利用した廃棄水の浄化再利用等の役割を持つ。このため、植物栽培サブシステムはCELLSSの中核となるものといえる<sup>9)</sup>。

植物の成育において、光放射は、温度、湿度、気流条件、二酸化炭素、水分、養分などとともに、不可欠な環境要素である。植物栽培サブシステムの光供給方式は、月面や宇宙空間での日照周期が地球上とは全く異なることや、食糧の過不足のない供給を支えるために、計画的、安定的生産が必要とされることから、人工光の利用を中心として設計する必要がある。

#### 5.2.4 日本におけるCELLSS概念設計

日本でも財団法人環境科学技術研究所により、閉鎖系実験施設を1995年までに青森県六ヶ所村に建設することが決定され(図5.2.3)、1993年3月に概念設計が完了した。

環境科学技術研究所のCELLSS植物サブシステムについては、イネ、ジャガイモ、ソバ、ダイズ、ゴマ、トマト、コマツナが指定植物とされた。自然光と人工光を用いた栽培区が計画され、人工光処理区では各栽培区がそれぞれ異なる光特性を持つ照明方式とし、各照明方式に有効適切な栽培植物の探索ができるように考慮されている。

光源として植物所要光強度にあわせ、高圧ナトリウムランプでは、イネ、ジャガイモ、ソバ、コムギ、サツマイモ、ビート、メタルハライドランプでは、ダイズ、ゴマ、トマト、4波長域発光形植物用蛍光ランプ<sup>5)</sup>では、コマツナ、サラダナ、レタス、ミツバ、コカブ、ハウレンソウ、ハーブ、発光ダイオード+青色蛍光ランプ<sup>9)</sup>では、コマツナ、サラダナ、レタス、ハウレンソウ、マイクロ波ランプ<sup>10)</sup>を用いた処理区では、イネ、ジャガイモ、ソバ、コムギ、サツマイモ、ビートの植物栽培を行う計画がなされ、自然光処理区では曇天雨天時やガラスによる自然光の吸収を補うために広照タイプ、リフレクタ形メタルハライドランプを用いる計画がなされている。

植物工場やCELLSSにおける光放射と植物成育に関する研究は、屋内アトリウム、地下都市、海底都市における植物栽培に応用が可能であり、人間と植物が共存したインドアスペースを創造するための知見として役立つことが期待される。

#### 参考文献

- 1) 村上克介・洞口公俊・柴田治男・森田政明・相賀一郎。植物栽培用人工光源の開発に関する考察。生物環境調節。30.135~141。

- 2) Bickford, E.D. and S. Dunn. 1972. Lighting for plant growth. The Kent State Univ. Press, Kent, Ohio, U.S.A.
- 3) Murakami, K., K. Horaguchi, H. Shibata, M. Morita and I. Aiga. 1992. Fundamental studies on the development of new fluorescent lamp -s for plant growth. Acta Horticulturæ. 319. 329~334.
- 4) 村上克介・洞口公俊・森田政明・相賀一郎. 1991. 遠赤色光付加照射によるヒマワリ幼植物の伸長成長制御. 生物環境調節. 29. 73~79.
- 5) 洞口公俊・村上克介・森田政明・柴田治男・高橋睦夫. 1992. 4波長域発光形植物栽培用蛍光ランプ. National Tech. Rep. 627-634.
- 6) 池田彰・谷村泰宏・江崎謙治・河相好孝・中山繁樹・安西良矩・岩尾憲三. 1992. 蛍光ランプを光源とした人工光型植物工場の開発とその照明設計法. 照明学会誌 76:523-529.
- 7) 北宅善昭・今中常仁・清田信・相賀一郎. 1990. 日本農業気象学会全国大会講演要旨. 312-313.
- 8) 洞口公俊・村上克介・森田政明・高橋睦夫・柴田治男・清田信・相賀一郎. 1992. CELSS植物サブシステムの人工光源. CELSS研究会誌. 5. 29-36.
- 9) Hoenecke M.E., R.J. Bula and T.W. Tibbitts. 1992. Importance of 'blue' photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. Hortscience. 27.(5). 427-430.
- 10) 古在豊樹・北宅善昭. マイクロ波ランプとその植物育成用人工光源への利用. 農業および園芸 68. 134-142.

入田崇雄・相賀一郎・相賀田森・長崎田榮・岩井口誠・介良土村 (1)  
 .141~231.08 . 植栽環境工学 . 光をみるための関心の光工

## 6. アトリウム・インドアガーデンへの利用

### 6. 1 植栽利用の意義

人類は、火の使用によって厳しい寒さや外敵から身を守る手段を獲得した。そして、これを契機として、その活動の場を飛躍的に広げ、いわゆる文明の発祥をもたらし、今日の繁栄の礎を築いた。

最近では、人類の活動の場は海底や大深度地下あるいは宇宙空間など、従来の常識では考えられなかったような空間へと拡大しようとしている。なにも、このような特殊な空間・環境を持ち出すまでもなく、一般的な活動空間にあっても、建築物の巨大化や住宅の高層化など、身近に自然とふれ合いながら生活できた従来の空間とは大きく異なる状況が日常的に経験されるようになってきた。あるいは、そのような空間での生活を余儀なくされる機会も多くなっている。

人間が地球上に登場して以来、人類は、その99%をはるかに越える時間を自然の中で自然と共に生きてきた。先史時代には森の中で狩りをし、木ノ実を集め、水辺で魚介類を取って生活してきた。近世に至っても、豊かな自然の中で農耕を中心とする生活が続いた。このような長い生活や経験を通して、人の心の深層において自然や緑を求める感覚が養われていたのではないかと考えられている。

最近の人工化した空間で植栽を利用しようとするのは、このような人間の緑に対する本能的な欲求に基づいていると解釈される。もちろん、植物には二酸化炭素を吸収し酸素を放出するなどの空気清浄作用や、蒸散による加湿・温度低下などの物理的効果も期待できる。しかしながら、現在の建築空間における植栽利用の目的は、心理効果が中心であると言えよう。

#### 6. 1. 1 建築空間に求められるもの

最近のオフィスでは、情報化やOA化に代表される執務作業の機械化が進み、ワーカーにとってはストレスの多い環境に変貌しつつある。特に、VDT作業に伴う目の疲労やストレスが新しい深刻な課題になりつつある。さらに、人間関係や業務内容が複雑・多様になってきていることも、執務環境におけるストレスの増加と無関係ではないであろう。

また、建築物自体に使用される材料も、コンクリートや鉄、プラスチックなど、無機的なものが大半を占め、親しさや安らぎに乏しいテクスチャーで構成される。諸外国と比べて内装制限が厳しいことも、木材などの目や皮膚にやさしい材料が使用されにくい原因の一つとなっている。建築物が巨大化し高層化するにしたがって、人とあるいは人の活動の場と地面や自然との距離が遠ざかっている。そこでは、物理的な距離以上に心理的な距離が拡大していることに、より重要な課題ができそうである。

かくして、建築物自体にもストレスを増加させる要因が増えている。

執務環境に関わる最近の課題をいくつかをとりあげてみた。これ以外にも国際化や高齢化、女性の社会進出など、建築物をとりまく状況は大きく変動している。このような新しい状況に対応し、ストレスが少なく、快適な環境を創造しようとする試みが行われているが、本格的取り組みが始まったのは比較的最近のことと言えよう。

まず、最初の取り組みは、物理環境を快適なものにすることにあった。生理的な快適環境実現の技術、例えば、明るさや適度な静けさ、あるいは適切な暖かさ涼しさなどを作り出すのに必要な技術を確立しようとする試みである。これについては、既に要求を満たすのに必要な技術が蓄積され、そのような空間が実現されている。

しかしながら、新しくてきれいで、十分にコントロールされた空間であっても、生理・心理両面を満足することは難しい。生理的に安定な環境は、不快ではないものの新鮮味や活性に欠け、陳腐な空間になりがちである。

これへの対処の方向の一つとして、香りや環境音楽の採用があった。1/f ゆらぎの応用もこの範疇に入るであろう。より積極的に、感覚器官を刺激し新鮮感を引き出そうと言うわけである。

最後に残されたのが、心理的な側面での改善である。これからの建築に課せられた課題は、心の満足をいかにして建築内部空間で獲得するか、そのために建築は何をなすべきか、なにができるか、といったことにあるのではなかろうか。建築空間への植栽の利用は、この心理的な効果をねらった対処の方向の一つと位置付けられる。

## 6. 1. 2 みどりの効用

葉緑素を持った植物は、太陽エネルギーを利用して、水と二酸化炭素から炭水化物を合成し（光合成）、酸素を発生するとともに、この炭水化物から誘導される様々の有機物を生産している。

建築屋内にあっても、光合成の作用は二酸化炭素の消費と酸素の供給という屋内空気清浄に寄与する効果が期待できる。また、葉面からの蒸散作用からは、加湿や温度低下による屋内環境緩和の効果も期待できる。

しかしながら、これらの効果は量的にさほど大きくなく、副次的な効果として若干の期待が寄せられているにとどまる。

むしろ、みどりの効果は心理面が中心であると言える。

人は、緑色に対して「穏やかさ」や「安心感」を感じるが、植物の緑に対しては単に色の緑に対する以上のものを感じる。

人類の発生以来、そのほとんどの時間を豊かな緑の中で生活してきたことが、人の深層心理に「みどり」を求める感覚を形成してきたと言われる。

近年、都市化が進展し緑が減少するとともに、人工的な空間での生活空

間が増加し、みどりを求める意識が高まっている。こうした人間の帰巢本能とも言うべきみどりへの渴望は、みどりが人間の精神に根源的な意味を持ち、みどりそのものに内在し、人間の存在自体と深く関わるみどりの価値が見直されてきたこと示すものである。

「みどり」は、人間精神にとっての生存基盤の一つとして、ますます重要性を増していると言えよう。

建築物に植栽が利用されるのも、こうした人と緑との関わりを考えるとごく自然な当然の成り行きと言える。

## 参考文献

- 1) みどり資源の意義と高度活用に関する調査報告「みどりとの共存を考える」、科学技術庁資源調査会、昭63、7、30

## 6. 2 光放射環境の設定・制御

### 6. 2. 1 光強度

植物は光エネルギーを利用した光合成で $\text{CO}_2$ と $\text{H}_2\text{O}$ から有機物を合成しながら成育している。光合成を支配する環境要因のうち重要なものは、光、温度、 $\text{CO}_2$ である。光合成の活性は、通常、光合成速度として、単位葉面積、単位時間当たりの $\text{CO}_2$ 吸収量で表されることが多い。

温度、 $\text{CO}_2$ 濃度を一定とした場合の一般的な光強度と光合成速度との関係を見てみると、図6.2.1のようになる。光合成で吸収する $\text{CO}_2$ 量と呼吸で排出する $\text{CO}_2$ 量が同一になる光強度を補償点と呼ぶが、この補償点より弱い光強度では、 $\text{CO}_2$ の吸収量より $\text{CO}_2$ の排出量の方が大きくなり、光合成量が負の値になる。こうした状態が長く続くと、植物体は活力が弱まり、場合によっては枯死する。また、光強度の増加とともに光合成速度は増加するが、ある光強度で飽和状態になる。この状態を光飽和と呼び、光飽和になる点の光強度を飽和点と呼ぶ。補償点や飽和点は植物の種類によって異なる。

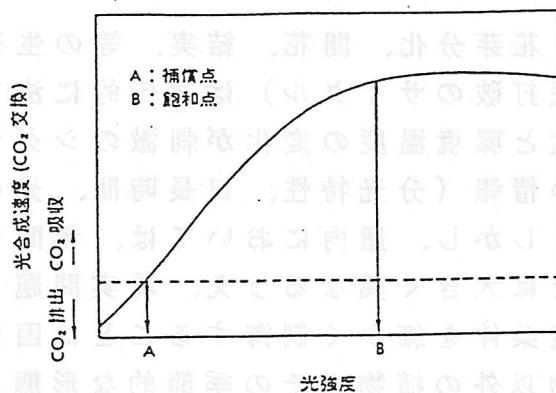


図 6.2.1 光強度と光合成速度

屋内植栽によく使用される代表的な植物の光強度と光合成速度を測定した結果を図6.2.2に示す<sup>1)</sup>。植物を早く、また大きく成育させるためには、飽和点に近い光強度の光環境が望ましい。しかし、得られる光強度が制約された屋内で、旺盛な成育を期待しないまでも、活力を維持できる程度の成育を目的とする屋内植栽においては、必ずしも飽和点に近い光強度を確保する必要はない。しかし、屋内植栽においても、補償点あるいはこれを幾分上回る程度の光強度では、植物を長期間成育させることは不可能である。屋内植栽によく用いられる植物とその必要とする光強度については6.5項のガイドラインのところで後述するので参照されたい。

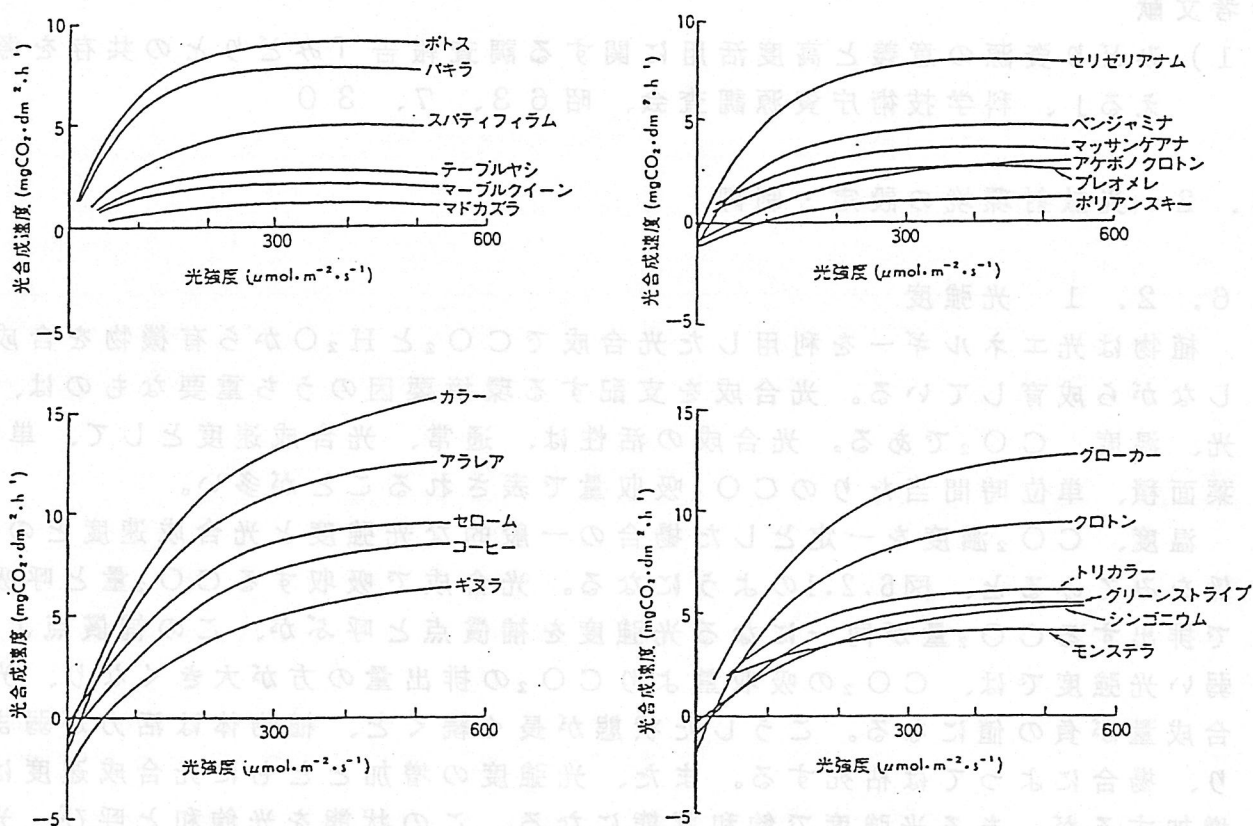


図 6.2.2 代表的な植物の光合成特性の測定結果  
(気温: 25℃、相対湿度 63% ± 5%)

### 6. 2. 2 光照射時間

植物の生活環（発芽－栄養成長－花芽分化、開花、結実、等の生殖成長－落葉、冬芽形成、等の休眠－休眠打破のサイクル）は遺伝的に決まっているが、その転換は主として光環境と環境温度の変化が刺激のシグナルとなっている。光環境では、光のもつ情報（分光特性、日長時間、光の有無、等）がその刺激のシグナルとなる。しかし、屋内においては、年間を通じた光環境および環境温度が自然界とは大きく異なるうえ、現実問題としても、植物の形態形成に合わせて環境条件を細かく制御することは困難である。このため、現段階では常緑植物以外の植物をその季節的な形態の変化

を楽しみながら屋内で成育させることは困難であり、落葉樹では紅葉や落葉をしないで、いつまでも葉が枝に残ったり、花芽が形成しなかったり、果実は開花・結実しても肥大しなかったり、落果したりする。

なお、屋内植栽の光環境は光強度が不足しがちになるため、人工光で、12～16時間程度の日長になるよう補光を実施することが望ましい。

### 6. 2. 3 光照射方向

植物は光を受容しやすいように枝・葉を展開し、樹形を整える。このため、建物の採光面や照明光源の位置が特定位置に固定されてしまう場合が多い屋内植栽空間では植物体への光照射方向が偏りがちになり、樹形が自然の姿から崩れてくることが多い。図6.2.3に示す例では、左側面にある大きな採光面からの自然光の入射が強く、昼間は樹木（ベンジャミン）の左右で約10対1の光強度差が生じるため、採光面側は葉が密集しているのに比べ、その反対側は葉がほとんどなくなっている。こうしたことを防ぐには、ターンテーブル付きのコンテナなどに植栽を施し、定期的に植物の方向を回転したり、自然光の入射が不足する面を人工光で重点的に補光する必要がある。

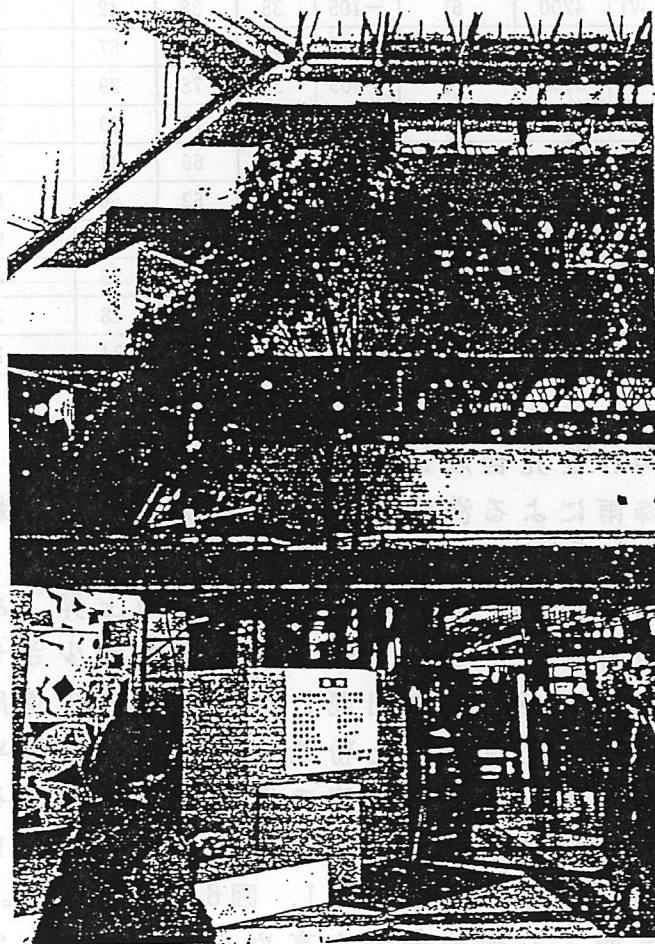


図 6.2.3 光照射方向の偏りのため樹形が崩れたベンジャミン

#### 6. 2. 4 光源の演色性

自然の生き生きしたみずみずしさを屋内に取り入れるうえで、屋内植栽は人の目に美しく見えなければならない。屋内植栽の緑を美しく見せるためには、JISの光源の演色性評価方法で定める特殊演色性評価数 $R_{14}$ （木の葉の緑）の大きな光源を使用するとよい。また、花の色は花の部位や開花後の時間経過等によって変化するため、特定しがたいが、対象となる花の色によって平均演色評価数 $R_a$ および特殊演色評価数 $R_9$ （赤）、 $R_{10}$ （黄）、 $R_{12}$ （青）の大きな光源を使用することが望ましい。表6.2.1に代表的な各種光源の演色評価数を示す<sup>2)</sup>。

表 6.2.1 代表的な各種光源の演色評価数

ラ	ン	ブ	公 称 色温度 (K)	平 均 演色評価 数 $R_a$	特 殊 演 色 評 価 数						
					$R_9$ (赤)	$R_{10}$ (黄)	$R_{11}$ (緑)	$R_{12}$ (青)	$R_{13}$ はだ色(西洋人)	$R_{14}$ 木の葉	$R_{15}$ はだ色(日本人)
電 球	白熱電球	100W	2800	100	100	100	100	100	100	100	100
	ハロゲン電球	500W	3000	100	100	100	100	100	100	100	100
蛍 光 ラ ン プ	3波長域発光形	(EX-N)	5000	88	41	62	77	73	96	76	97
		(EX-D)	6700	88	45	60	75	71	96	75	98
		(EX-L)	3000	88	5	74	87	77	91	76	94
	白 色	(W)	4200	61	-105	35	38	42	54	93	39
	昼光色	(D)	6500	74	-72	52	59	67	66	94	51
メ タ ハ ラ HID	標準形・Sタイプ(蛍光形)	5000	70	-103	35	78	29	79	75	49	
	標準形・Lタイプ(蛍光形)	4300	70	-129	32	73	23	80	78	47	
	SC形・Sタイプ(蛍光形)	4000	70	-86	73	66	81	71	92	44	
高 圧 ナ トリ ウム HID	演色本位形	(高演色形)	2500	85	72	66	62	56	86	85	87
		(高彩度形)	2800	78	-18	78	89	70	94	78	60
	演色改善形	2150	60	-50	44	2	25	46	94	53	
	効率本位形	(Dタイプ)	2050	25	-162	39	-33	18	22	78	13
(Sタイプ)		2100	25	-214	47	-36	34	18	68	-3	

#### 6. 2. 5 葉の汚れと光合成速度の低下

屋内では、自然降雨による洗浄作用が望めず、屋内植栽の葉はほこりなどの付着物によって汚れている場合が多い（図6.2.4）。一般に、葉に付着したほこりは、葉面に到達する光の減少、葉温の上昇、あるいは気孔を塞い $CO_2$ の交換の阻害をもたらす、光合成速度を減少させるため、光強度が弱い屋内環境では遮光が大きな問題となる。屋外の道路周辺の樹木について測定した例では、葉に付着した粉塵による遮光率は平均でほぼ5~10%となっている<sup>3)</sup>。屋内でも、この程度のほこりが付着するものと考えられる。光環境に恵まれない屋内植栽は厳しい状況にあり、10%の遮光による光合成の低下の意味は大きい（図6.2.1、図6.2.2参照）。したがって、葉を美しく保ち、視覚的・心理的効果を高める点からも、定期的な葉への灌水による洗浄の実施が望ましい。その場合排水設備の設置が不可欠である。



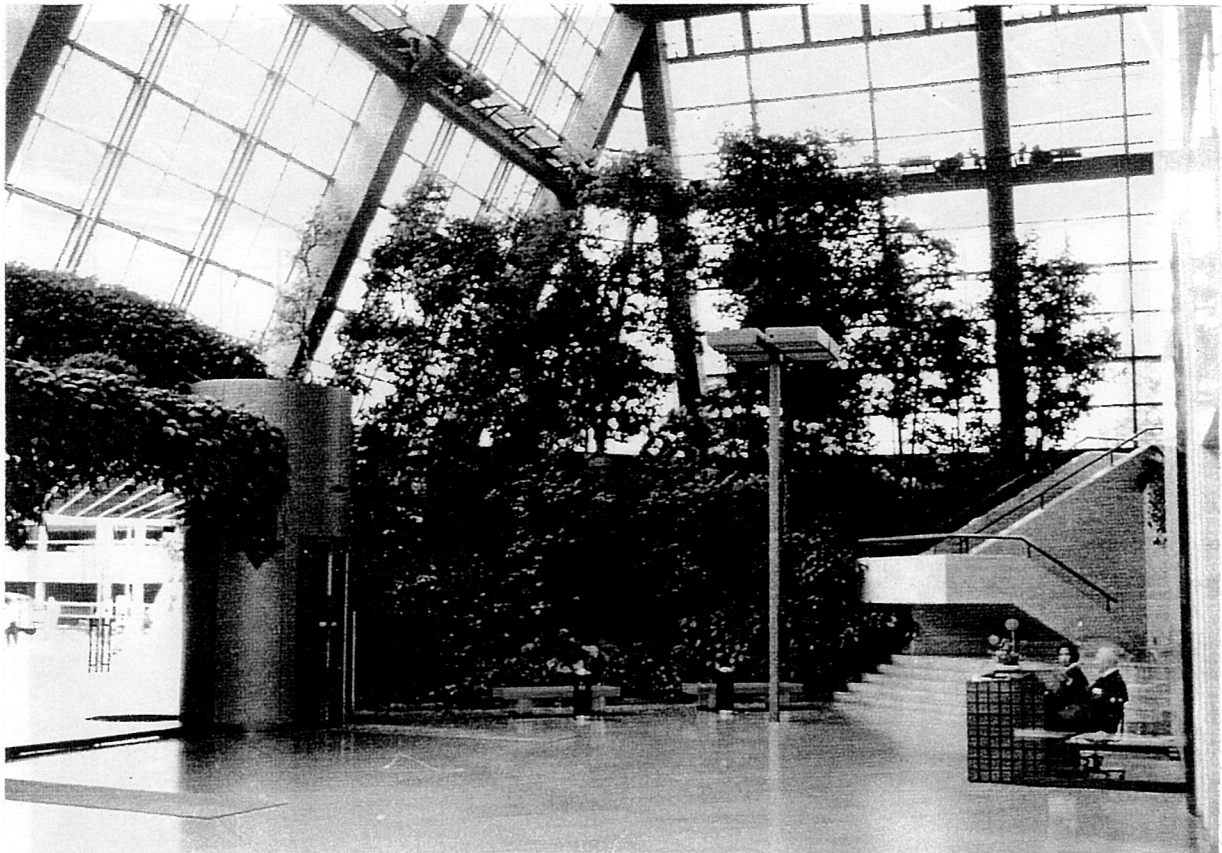
図 6.2.4 粉塵や汚染物質で汚れた樹木の葉の表面

参考文献

- 1) 辻 謙一. 植物による屋内改善に関する基礎的研究  
大阪府立大学農学部農業工学科卒業論文 (1991)
- 2) 洞口公俊他. インドアスペースの植栽に対する光放射環境.  
National Tech.Rep.38-1, pp.120(1992)
- 3) 平野高司他. 温州ミカンの葉面に付着した道路粉塵の遮光が光合成に  
与える影響評価. 大気汚染学会誌 26-5. pp.352(1991)

### 6. 3 アトリウム・インドアグリーンナリーの実施例

1. 大同生命本社ビル1972年大阪府吹田市
2. 大塚製薬(株)能力開発研究所1988年徳島県徳島市
3. 花の植物館カーニバルショーケース1988年兵庫県
4. KIビル1989年東京都港区
5. 大阪学院大学5号館1990年大阪府吹田市
6. 東京ベイホテル1990年千葉県浦安市
7. (株)日立戸塚工場情報通信技術センター1990年神奈川県戸塚市
8. 大阪東京海上ビルディング1990年大阪府中央区
9. シーバンス1991年東京都港区
10. 目黒雅叙園1991年東京都目黒区
11. ちゃやまちアプローズ1992年大阪府北区
12. フォード財団ビル1967年アメリカ・ニューヨーク
13. ハイアット・リージェンシー・アトランタ  
1967年アメリカ・ジョージア・アトランタ
14. ロングウッドガーデン・アゼリアハウス  
1973年アメリカ・ペンシルバニア・クネットスクエア
15. ムタート・コンサバトリー1976年カナダエドモントン
16. ディア&カンパニー1978年アメリカ・イリノイ
17. IBM本社ビル1982年アメリカ・ニューヨーク
18. ノースウエスタン ミューチュアル ライフ インシュアランス社1982年  
アメリカ・ミルウォーキー
19. トランプタワー1983年アメリカ・ニューヨーク
20. ステールケース本社1983年アメリカ
21. ヒューズ社1985年アメリカ・ロスアンゼルス
22. インテルサット ビルディング1985年アメリカ・ワシントン
23. ワールドファイナンシャルセンター ウィンターガーデン  
1988年アメリカ・ニューヨーク
24. オプリランドホテル1988年アメリカ・ナッシュビル



建物名称： 大同生命本社ビル

所在地： 大阪府吹田市 (国名： 日本 )

竣工年月： 19 72 年 9 月竣工

建築規模： 15 階 延床面積： 31,124 m<sup>2</sup>

設計者： 竹中工務店

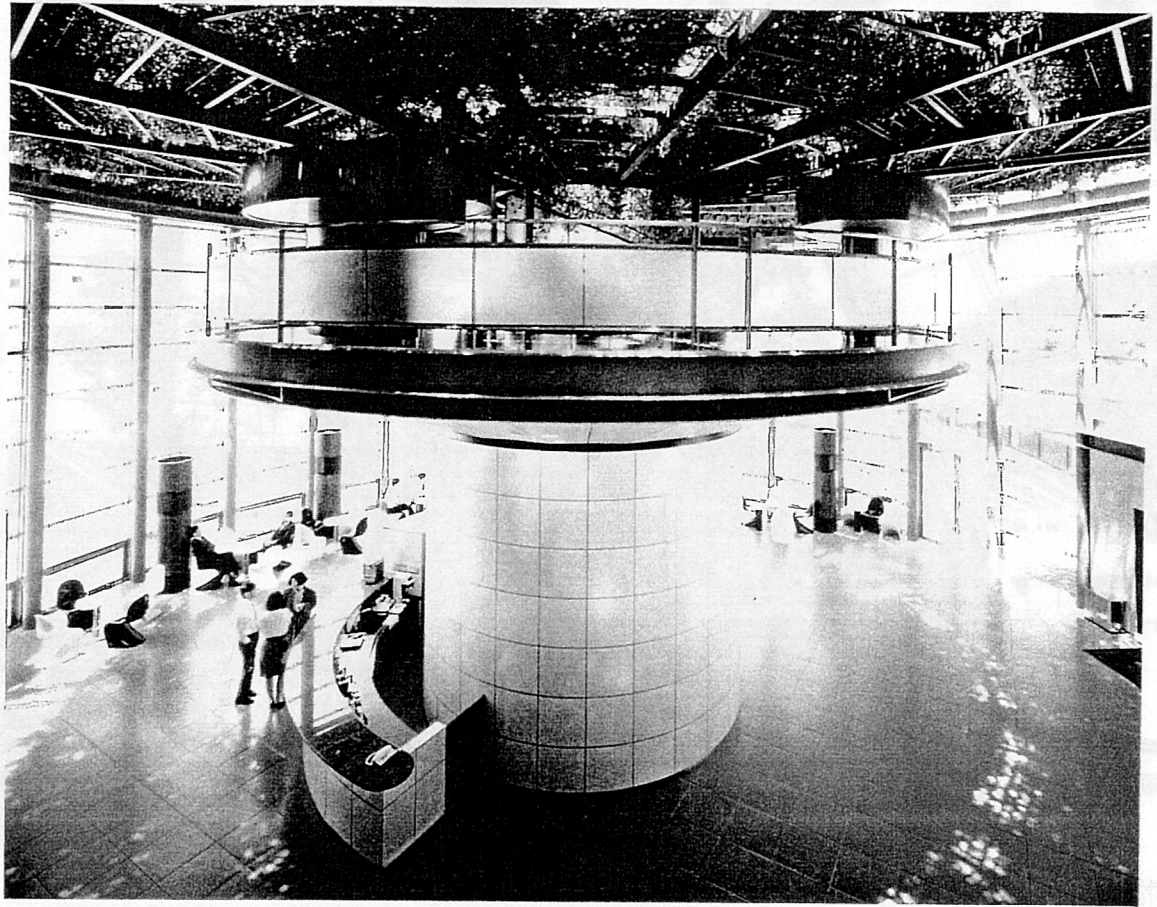
#### 対象空間の概要

- ・ 規模： 5階分の吹き抜け、2,500m<sup>2</sup>
- ・ 用途： アトリウム (公開空地)
- ・ 照明設備 (照度)： 蛍光水銀灯

- ・ 空調設備 (温湿度条件)： 夏期…温度 27 ℃、湿度 70~80 %、  
冬期…温度 18 ℃、湿度 60~70 %、

- ・ 植栽植物の種類： アラカシ、シラカシ、クスノキ、ユーカリ、アカシア、スギなど  
高木20種、亜高木34種

- ・ 特徴： 日本で最初の近代的アトリウム建築。日本の山野の風景を室内に取り込んだ。



建物名称：大塚製薬(株)能力開発研究所

所在地：徳島県徳島市川内町平石夷野224-18

(国名：日本)

竣工年月：1988年 2月竣工

建物規模：地上 2階

延床面積 4,265㎡

設計者：鹿島・大阪支店建築設計部

対象空間の概要

・規模：直径21m、高さ14.8m

・用途：ロビー

・照明設備(臈)：300ℓx (植物に対する人工照明はなし、全て自然光)

・空調設備(温湿度条件)：夏…温度35℃、湿度80%、冬…温度15℃、湿度40%

・植栽植物の種類：トマト(ハイポニカ栽培システム)

・特徴：栽培空間の日射量、CO<sub>2</sub>濃度、温湿度により天窗、側窓、冷暖房、細露冷房の制御を行ない、年中トマトの実が実っているようになっている。



建物名称： 花の植物館カーニバルショーケース

所在地： 兵庫県篠山町 (国名： 日本 )

竣工年月： 19 88 年 10 月竣工

建築規模： 3 階 延床面積： 3514.05  $m^2$

設計者： 栗生総合計画事務所（建築）、エー・エー・ピー（内部植栽）

対象空間の概要

- ・ 規模： 建築面積 2502.76  $m^2$
- ・ 用途： 見学、休憩、イベントのアトリウム
- ・ 照明設備（照度）：
- ・ 空調設備（温湿度条件）： ゾーンごとに設定。例えばジャングルのゾーンでは、冬期最低15℃、湿度は無条件、35～40℃で換気運転
- ・ 植栽植物の種類： ヤマボウシ、ボダイジュ、ハナミズキ、木生シダ、ケヤキ（以上、花の街ゾーン）
- ・ 特徴： 松下電器労組の保養施設「ユートピアささやま」に開設。街並み、植栽、流れをガラスのアトリウムで覆った。



建物名称：K I ビル

所在地：東京都港区赤坂6丁目5番30番地 (国名：日本)

竣工年月：1989年 3月竣工

建物規模：地上 9階 延床面積 29,553㎡

設計者：MIDI総合設計事務所、鹿島・設計エンジニアリング総事業本部

対象空間の概要

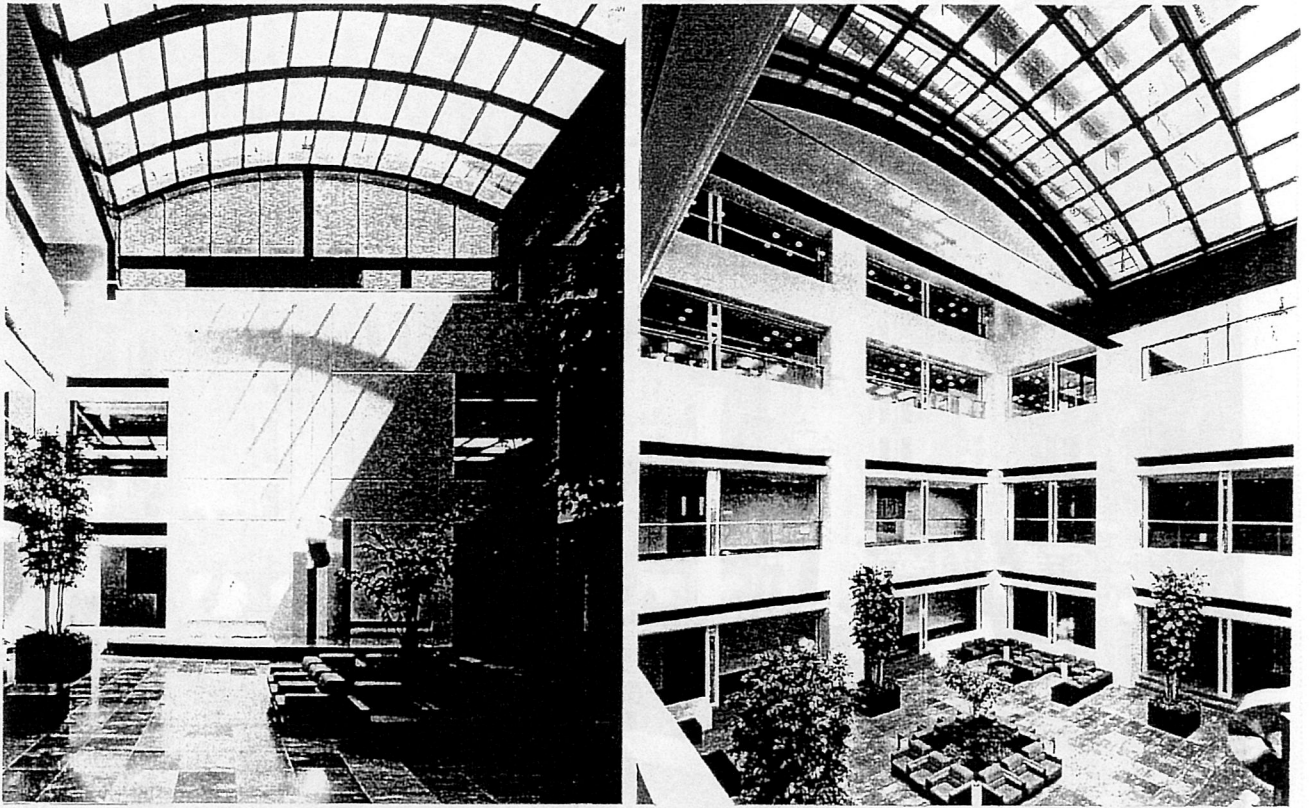
- ・規模：アトリウム面積 618㎡ 内植栽面積 39㎡ 内水面 128㎡ (3層吹抜け)
- ・用途：喫茶、打合せ
- ・照明設備(照度)：打合せテーブル上；400 lx 床面；50 lx

・空調設備(温湿度条件)：夏季…温度 25℃、湿度 50%、冬季…温度 21℃、湿度 40%

・植栽植物の種類：地被類・低木類；60種900株(コノハの木、ハマユウ、キングボス、他)

中高木類；15種25本(ヒカゲハゴ、ガシユマル、トックリヤシロドキ、他)

- ・特徴：設計者、エンジニア等、館内で働く人々が付加価値の高い創造的な活動が可能な様に、緑や水を使って息抜きや気分転換のできるスペースを設けている。



建物名称：大阪学院大学5号館

所在地：大阪府吹田市岸部南2丁目565番地-1 (国名：日本)

竣工年月：1990年 3月竣工

建物規模：地下3階、地上8階 延床面積 14,966㎡

設計者：鹿島・名古屋支店建築設計部

対象空間の概要

- ・規模：長さ18m、幅18m 地下2階～2階の吹抜け
- ・用途：ロビー、待合
- ・照明設備(照度)：上部;メタルハライド400w、周;スリット型蛍光灯+ダウンライト  
200 lx～300 lx
- ・空調設備(温湿度条件)：夏季…温度 26℃、湿度 50%、冬季…温度 22℃、湿度 40%
- ・植栽植物の種類：
- ・特徴：



建物名称：東京ベイホテル

所在地：千葉県浦安市舞浜1の7

(国名：日本)

竣工年月：1990年 4月竣工

建物規模：地下1階、地上12階

延床面積 67,033㎡

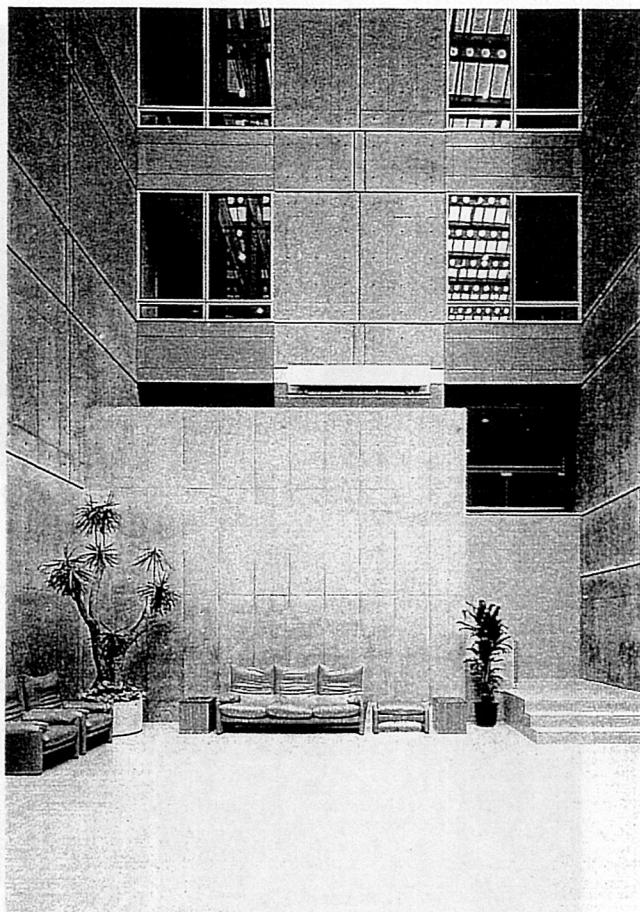
設計者：日本設計(株)

対象空間の概要

- ・規模：長さ102m×幅47m×高さ37m (10層吹抜け)
- ・用途：ホテルのフロントロビー、喫茶、レントラン、物販店
- ・照明設備(照度)：冬 天空照度8,600 lx → アトリウム内1,770~2,880 lx  
夏 天空照度90,000 lx → アトリウム内20,000 lx
- ・空調設備(温湿度条件)：夏季…温度 25~26℃、湿度 - %、冬季…温度 24~25℃、湿度 - %
- ・植栽植物の種類：ベンジャミン(13本)、ポトス、アグラオネマ、ワーネッキ、ゴールドクレスト、グリーンワーネッキ、他にリースでブーゲンビリア、ポインセチア等
- ・特徴：冬期の暖房用として座席部にフロアヒーティング



2階よりアトリウムのロビーを見る。中央のステージは、右手につながる大会議室のホワイエとしての役割をもつ



1階の受付コーナー。コンクリート打放しの冷たさと木の温かさとの対比が鮮やかだ

建物名称：(株)日立戸塚工場 情報通信技術センター

所在地：神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216 (国名：日本)

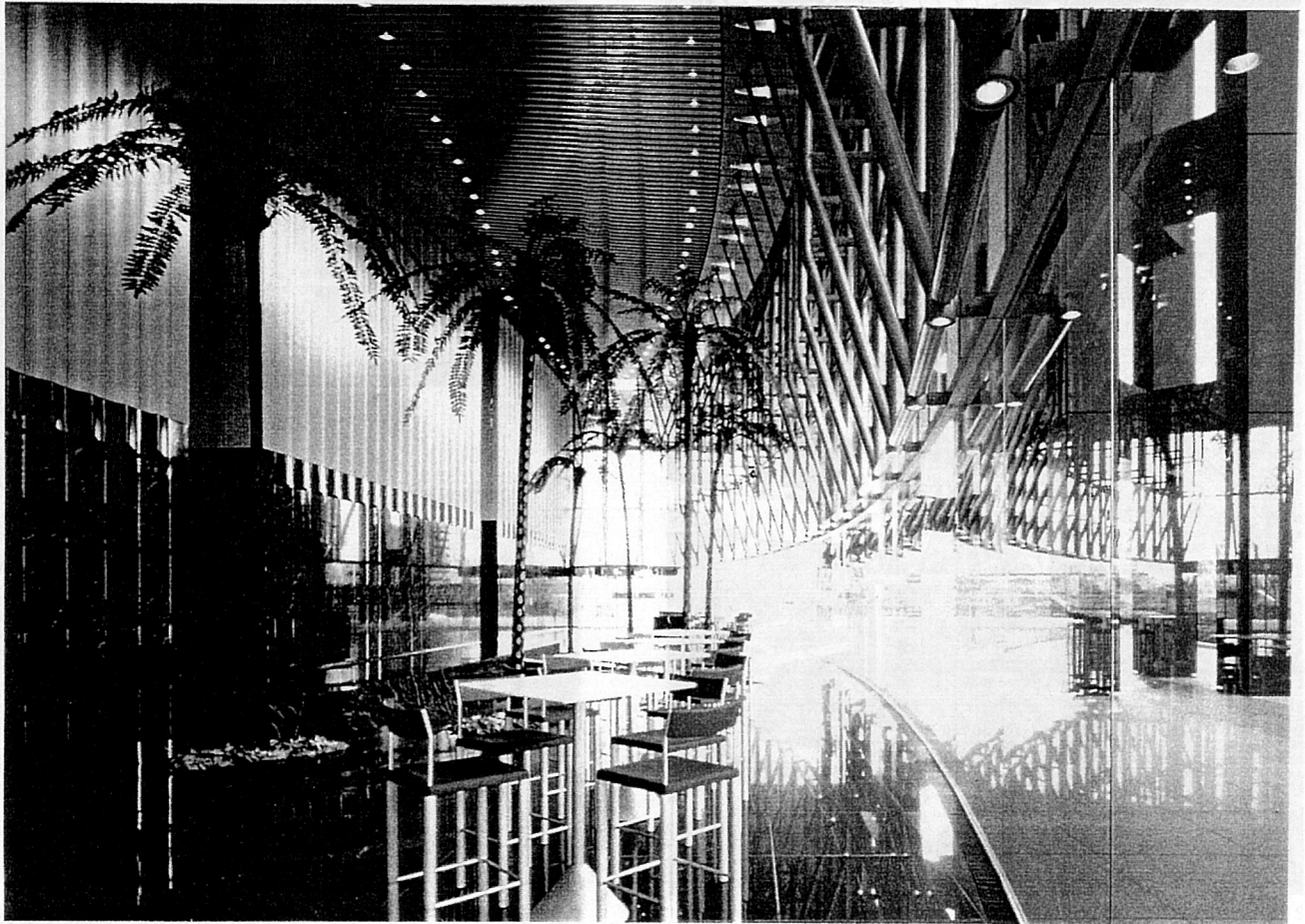
竣工年月：1990年 11月竣工

建物規模：地下1階、地上7階 延床面積 31,432㎡

設計者：鹿島・設計エンジニアリング総事業本部

対象空間の概要

- ・規模：長さ約20m×幅34m×高さ30m
- ・用途：受付、打合せコーナ、ブラウジングスペース
- ・照明設備(贖)：昼光利用
- ・空調設備(温湿度条件)：夏季…温度 26℃、湿度 50%、冬季…温度 22℃、湿度 40%
- ・植栽植物の種類：けやき(13m、枯らしたものの、葉は香港リーフ×3本)  
プラントボックス(数点)
- ・特徴：照明オブジェ(解体した旧工場の鉄骨トラスを再生し、照明器具を組込んだもの)



建物名称：大阪東京海上ビルディング

所在地：大阪府中央区城見2丁目2番53号

(国名：日本)

竣工年月：1990年 11月竣工

建物規模：地下3階、地上27階 延床面積 68,838㎡

設計者：鹿島・設計エンジニアリング総事業本部

対象空間の概要

・規模：500㎡ (高さ11.7m)

・用途：エントランスホール

・照明設備(照度)：壁面照明による間接照明 床面150lx

HQI 150w(3000k)×34台、ミニハロゲン 85w×27台 他

・空調設備(温湿度条件)：夏季…温度 26℃、湿度 50%、冬季…温度 22℃、湿度 40%

・植栽植物の種類：ヘゴヤシ(凝木・5m)、ライムポトス(下草)

・特徴：



建物名称：シーバンス

所在地：東京都港区芝浦1-2 (国名：日本)

竣工年月：1991年 1月竣工

建物規模：地下2階、地上24階 延床面積 167,800㎡

設計者：清水建設㈱・NTT都市開発㈱

対象空間の概要

- ・規模：長さ100m、幅20m、高さ30m (4層吹抜け)
- ・用途：ショッピングモール
- ・照明設備(照度)：ハロゲン250w、メタルハライド400w主体／調光機能付制御盤によるスケジュール制御／照度10～50lx (別紙参照)
- ・空調設備(温湿度条件)：夏季…温度 25～28℃、湿度 50～80%、冬季…温度 12～20℃、湿度 20～40%
- ・植栽植物の種類：ベンジャミン、デイゴ、ポトスライム、ブーゲンビリア
- ・特徴：アトリウムの店舗部分以外の天井、外壁が総ガラス張り、大空間の内部環境を効果的、経済的に制御する温熱環境制御システム。4層吹抜の開放的な空間

## インドアグリーンナリーの事例 10



建物名称：目黒雅叙園

所在地：東京都目黒区下目黒1-8-1 (国名：日本)

竣工年月：1991年 11月竣工

建物規模：オフィス棟19階 パンケット棟8階 延床面積133,628㎡

設計者：日建設計(株)

### 対象空間の概要

- ・規模：面積；2,300㎡ 気積；33,000㎡
- ・用途：料亭、ティーラウンジ、日本庭園
- ・照明設備(臈)：照度：100～200 lx、アトリウム上部照明(白熱灯60W) - 550灯  
ポール灯(特注品、ハロゲン250W×2、非常用照明、スプリングヘッド組込) - 11灯
- ・空調設備(温度条件)：夏…温度 26℃、湿度 50%、冬…温度 22℃、湿度 45%
- ・植栽植物の種類：モミジ、サツキ、ササ、水辺の植物 等
- ・特徴：1階に料亭、ティーラウンジ、日本庭園、空間にシースレエベータ、エスカレータ(1～5階)を設置  
エスカレータ上部を空調し、二重ガラス屋根内に照明、換気及びロールスクリーンを設置

# インドアグリーンナリーの事例 1 1



建物名称： ちゃやまちアプローズ

所在地： 大阪府北区茶屋町 (国名： 日本 )

竣工年月： 19 92 年 10 月竣工

建築規模： 34 階 延床面積： 96,586.4 m<sup>2</sup>

設計者： 竹中工務店

## 対象空間の概要

・ 規模： 長さ 66m, 高さ 31m, 巾 12.7m

・ 用途： ショッピングモールのガレリア

・ 照明設備（照度）：

・ 空調設備（温湿度条件）： 夏は上部排煙窓オープン、乾燥気味。1Fは22～23℃  
冬18～20℃

・ 植栽植物の種類： ワシントンヤシ 14本

イベントスペースで季節の花壇ディスプレイ（月ごと）

・ 特徴：

## インドアグリーンナリーの事例 1 2



建物名称： フォード財団ビル

所在地： ニューヨーク、43番街 (国名： アメリカ )

竣工年月： 19 67 年      月竣工

建築規模： 42 階 延床面積： 2,322 m<sup>2</sup>

設計者： Kevin Roche、John Dinkeloo (建築) Dan Kiley (造園)

### 対象空間の概要

・規模： 12階分 790m<sup>2</sup>, 62,580m<sup>2</sup>

・用途： アトリウム (公開空地)

・照明設備 (照度)： 10Fの高さから76~1200ワットのスポットライト

主な植物 (足元) には43~100ワットのライト

・空調設備 (温湿度条件)：夏期…温度      °C、湿度      %、  
：冬期…温度      °C、湿度      %、

・植栽植物の種類： ジャカランタ、マグノリアグランデフロラ、ベンジャミンゴム  
ハイビスカス、オーストリアンパインなど多数

・特徴： 近代的アトリウムのさきがけ。アメリカの様々な風景を表現しようとして、  
多くの樹種が使用されている。

# インドアグリーンナリーの事例 1 3



建物名称： ハイアット リージェンシー アトランタ

所在地： ジョージア州 アトランタ (国名： アメリカ )

竣工年月： 19 67 年 \_\_\_\_ 月竣工

建築規模： 22 階 延床面積： \_\_\_\_\_  $\text{m}^2$

設計者： John Portman & Associates

## 対象空間の概要

・ 規模： 60m、8万  $\text{m}^2$ 、22F分の吹き抜け

・ 用途： ホテルの中庭のアトリウム

・ 照明設備 (照度)： 110ft candles、1000 metal halide (1180 lx)

植栽エリア： 20ft <sup>(215 lx)</sup> candles(lowest point)、200ft.candles(highest point) <sup>(2150 lx)</sup>

・ 空調設備 (温湿度条件)： 夏期…温度 23.8 °C、湿度 30~60 %、  
冬期…温度 23.8 °C、湿度 30~60 %、

・ 植栽植物の種類：ベンジャミンゴム、ワーネッキー、ポトス、マルギナータス  
タケ、エメラルドビューティーズ

・ 特徴：22F分の吹き抜け空間、各階のアトリウムに属した手摺部分の柵にプランターを  
置いてあるポーツマン独特のスタイル





## インドアグリーンナリーの事例 16



建物名称： ディア&カンパニー

所在地： イリノイ州 Moline (国名： アメリカ )

竣工年月： 19 78 年      月竣工

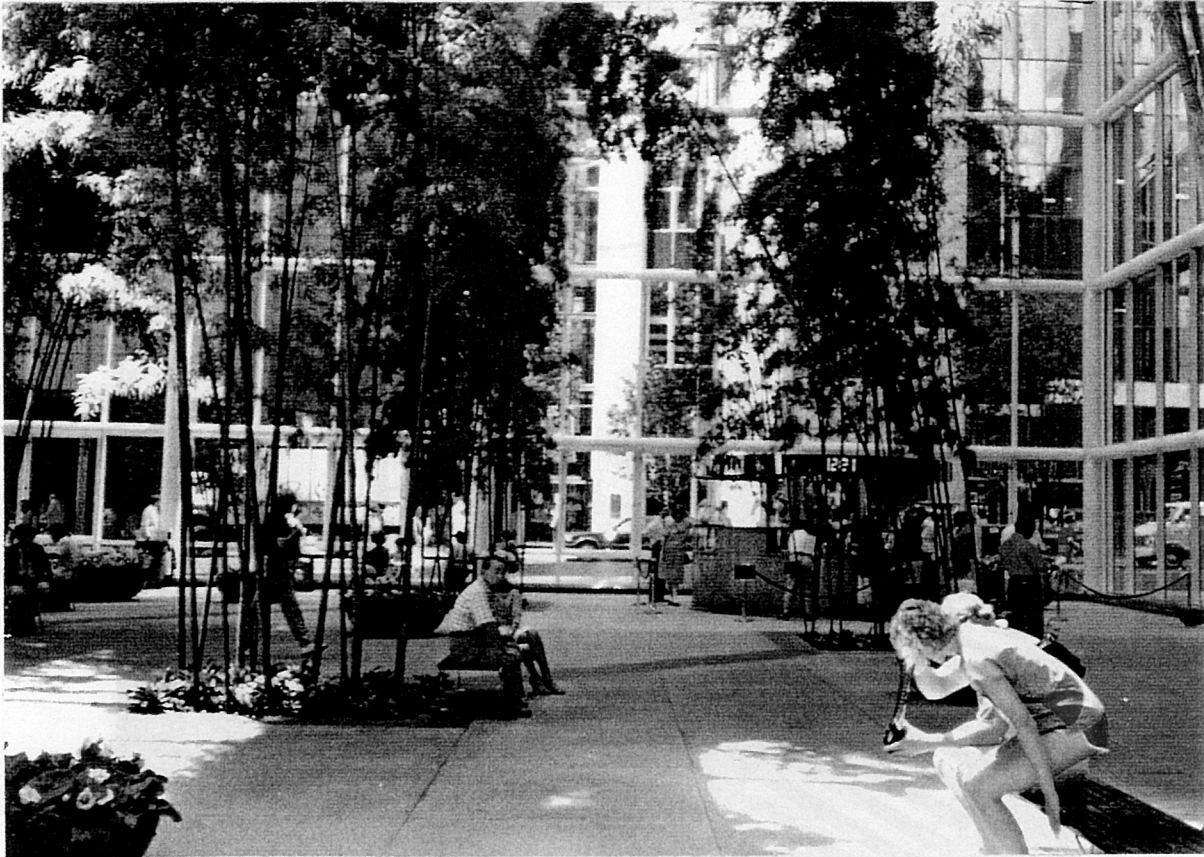
建築規模： 3 階 延床面積： 18,000 ㎡

設計者： Roche Dinkeloo (建築)、Sasaki-Watertown Massachusetts

### 対象空間の概要

- ・ 規模： L=63m、W=18m、H=16.5m
- ・ 用途： アトリウム (Walk way, Garolen, Dining area)
- ・ 照明設備 (照度)： 89~1000watt Quartz Lamps  
     植栽エリア： 50foot candles (540lx)
- ・ 空調設備 (温湿度条件)： 夏期…温度 22~24℃、湿度 40~50%、夜間は 20~22℃  
     ： 冬期…温度 22~24℃、湿度 30~40%、
- ・ 植栽植物の種類： ベンジャミンゴム、アラビアコーヒーノキ、ツバキ、ラカンマキ  
     トウネズミモチ、リュウキュウムクゲ、セイヨウヒイラギ、カポックなど
- ・ 特徴： アトリウムの中にオフィスが組み込まれているため、机のすぐ脇が緑地と  
     なっている

# インドアグリーナリーの事例17



建物名称： IBM本社ビル

所在地： ニューヨーク、マジソンアベニュー (国名： アメリカ )

竣工年月： 19 82 年 月竣工

建築規模： 43 階 延床面積： ㎡

設計者： Edward L.Barnes (建築)、Zion & Breen (造園)

## 対象空間の概要

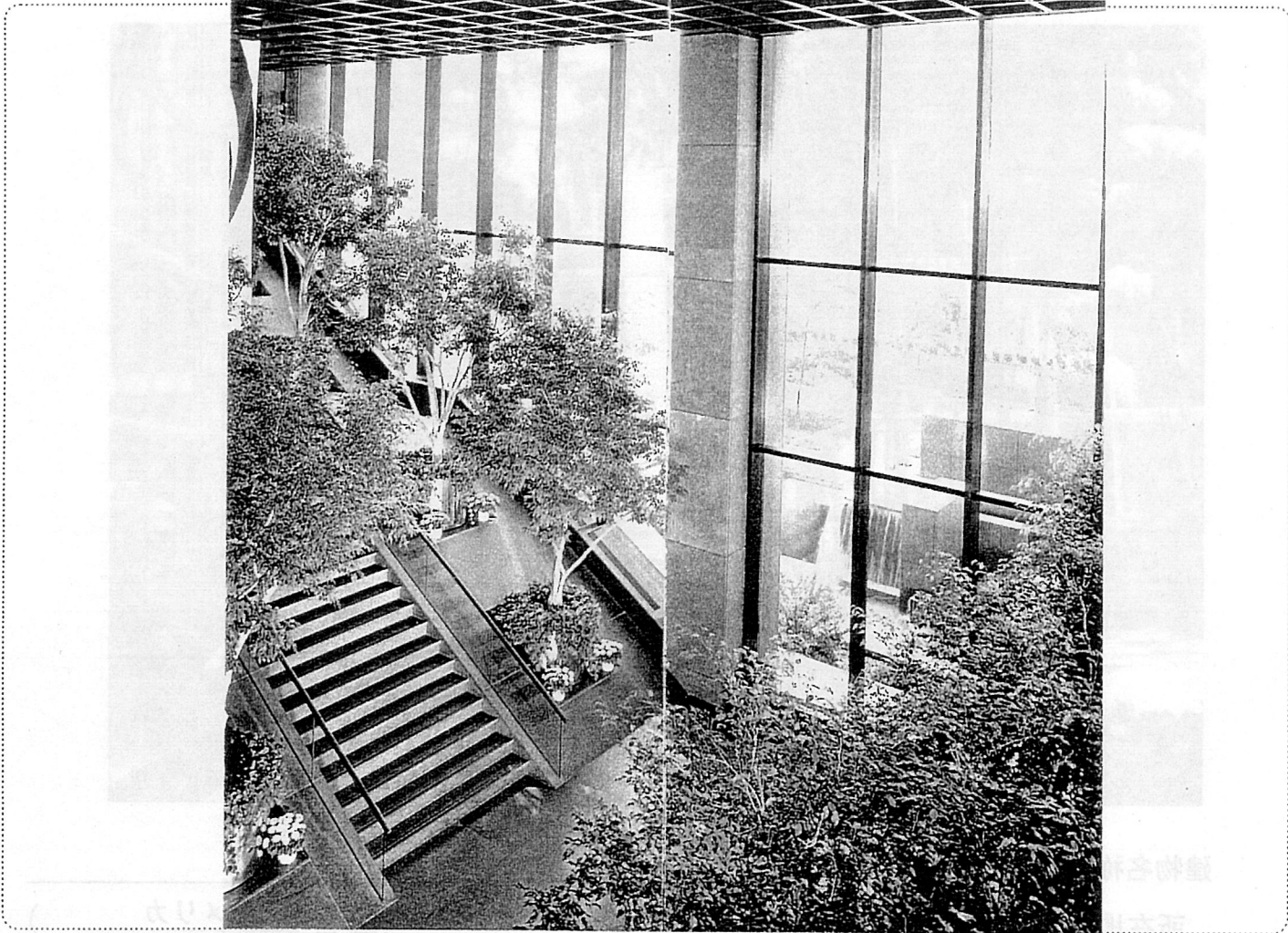
- ・ 規模： \_\_\_\_\_
- ・ 用途： アトリウム (公開空地)
- ・ 照明設備 (照度)： アトリウム天井に補光。冬24時間、夏12時間照明

- ・ 空調設備 (温湿度条件)： 夏期：クーラーなし。天窓開放。  
冬期：昼間22℃、夜間22℃

- ・ 植栽植物の種類： モウソウチク 11ブロック、四季の花のプランター

- ・ 特徴： 成育良好だが乾燥傾向、4~5年に1度植え換える。  
植え換えを前提として1つのマス2m×2mが4分割されている。

インドアグリーンナリーの事例18



建物名称：ノースウエスタン ミューチュアル ライフ インシュアランス社 (Northwestern Mutual Life Insurance Company)

所在地：ミルウォーキー (国名：アメリカ)

竣工年月：1982年 竣工

建物規模：16階 延床面積 46,500 m<sup>2</sup>

設計者：Swanke Hayden Connell

対象空間の概要

- ・規模：2層吹抜けのアトリウム
- ・用途：オフィス
- ・照明設備(照度)：約100 lx

グリッド天井の交点に白熱灯ダウンライトを設置

- ・空調設備(温湿度条件)：夏季…温度 - °C、湿度 - %、冬季…温度 - °C、湿度 - %
- ・植栽植物の種類：ベンジャミン(高さ26ft)、ポトス

- ・特徴：オフィスエントランスホールのアトリウムであり、比較的天井は低いが、庭に面したガラス張りが効果的に活かされている。

# インドアグリーンナリーの事例19



建物名称：トランプタワー (The Trump Tower)

所在地：ニューヨーク (国名：アメリカ)

竣工年月：1983年 竣工

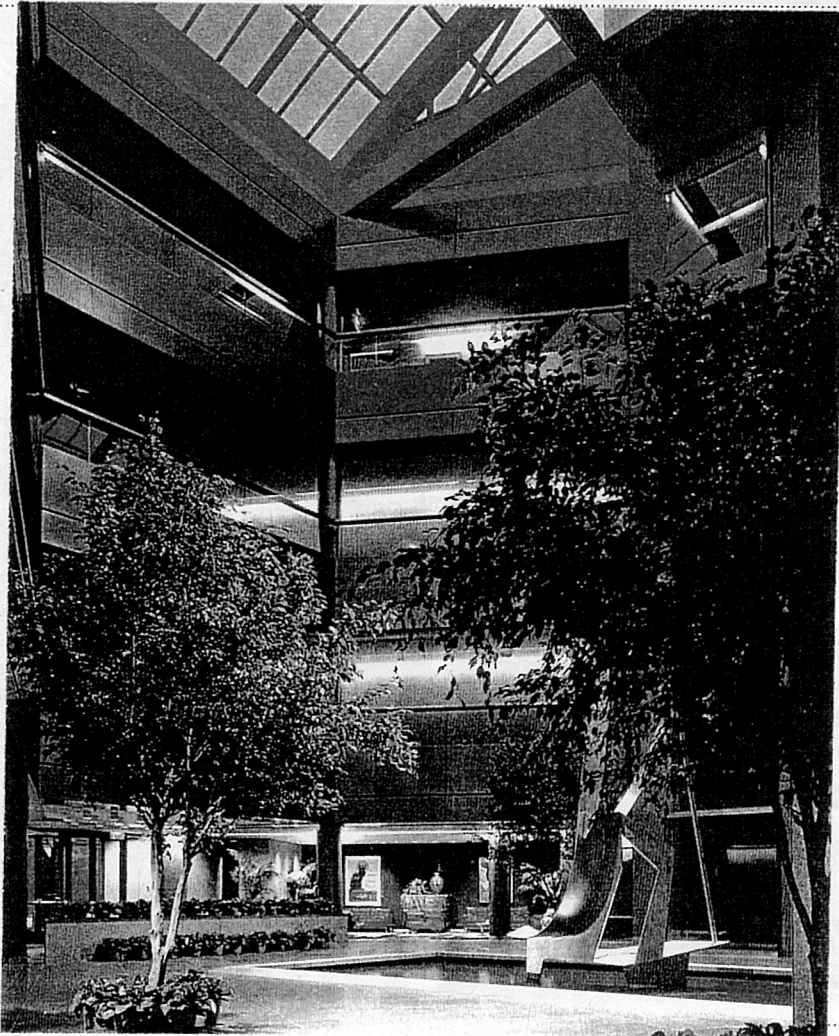
建物規模：6階 延床面積 - m<sup>2</sup>

設計者：Swanke Hayden Connell

## 対象空間の概要

- ・規模：6層吹抜けのアトリウム アトリウム面積：約430 m<sup>2</sup>
- ・用途：商業ビル
- ・照明設備(照度)：約150 lx  
白熱灯ダウンライト、ルーバ照明、間接照明 併用
- ・空調設備(温湿度条件)：夏季…温度 - °C、湿度 - %、冬季…温度 - °C、湿度 - %
- ・植栽植物の種類：ベンジャミン、ポトス、アイビー、フェニックス、スパティーフィラム  
モンステラ
- ・特徴：アトリウムは、総大理石張り(約100 m<sup>2</sup>)でエスカレータが交差し、商業ビルとしての空間を効果的に構成している。

## インドアグリーンナリーの事例 20



建物名称：スチールケース本社 (Steelcase Corporate Headquarters)

所在地： (国名：アメリカ)

竣工年月：1983年 5月竣工

建物規模： 4階 延床面積 35,800㎡

設計者：Hellmuth, Obata & Kassabaum (HOK) 照明コンサル：Jim Nuckolls, Inc.,

### 対象空間の概要

- ・規模：4層吹抜けのアトリウム
- ・用途：本社ビル (スチール家具メーカー)
- ・照明設備 (照度)：約100 lx

アトリウム部・白熱灯スポットライト、廊下部・蛍光灯による間接照明

- ・空調設備 (温湿度条件)：夏季…温度 — °C、湿度 — %、冬季…温度 — °C、湿度 — %
- ・植栽植物の種類：ベンジャミン

- ・特徴：への字形の建物の中心にアトリウムが位置し、リフレッシュに効果的に使用されている。

## インドアグリーンナリーの事例 2 1



建物名称：ヒューズ社 (HUGHES Aircraft Company)

所在地：ロスアンゼルス

(国名：アメリカ)

竣工年月：1985年 11月竣工

建物規模：4階

延床面積 41,800 m<sup>2</sup>

設計者：Skidmore, Owings & Merrill (SOM)

### 対象空間の概要

- ・規模：4層吹抜けのアトリウム
- ・用途：オフィス (ヘリコプタメーカー)
- ・照明設備 (照度)：アトリウム部 約100 lx、オフィス部 約500 lx  
 オフィスはOAルーバ蛍光灯 (U字管)、アトリウムはハログランプ (スポットライト)
- ・空調設備 (温湿度条件)：夏季…温度 — °C、湿度 — %、冬季…温度 — °C、湿度 — %
- ・植栽植物の種類：ポトス、ナンディナ、スパティーフイラム、シルバークィーン、  
 ベンジャミン、アルバニア
- ・特徴：アトリウムを中心に階段状にオフィスが面し、オープンな空間を構成している。

## インドアグリーンナリーの事例22



建物名称：インテルサットビルディング (THE INTELSAT Building)

所在地：ワシントン (国名：アメリカ)

竣工年月：1985年 竣工

建物規模：5階 延床面積 55,700 m<sup>2</sup>

設計者：John Andrews(建築設計) Richard Strong & Associates(造園設計)

### 対象空間の概要

- 規模：5層吹抜けのアトリウム
- 用途：研究所（世界60ヶ国から人工衛星の研究の為に研究者が集合している）
- 照明設備(照度)：約80 lx  
ハロゲンランプの間接照明、白熱灯スポットライト(植栽をライトアップ)
- 空調設備(温湿度条件)：夏季…温度 — °C、湿度 — %、冬季…温度 — °C、湿度 — %
- 植栽植物の種類：ベンジャミン、スパティーフイラム、ストレリッチア、他
- 特徴：オフィス・13棟に5ヶ所のアトリウムが接続されている建物群である。  
アトリウムは自然換気のため、植栽は気候にあった種類を植えている。

## インドアグリーナリーの事例 23



建物名称： ワールドフィナンシャルセンター ウィンターガーデン

所在地： ニューヨーク (国名： アメリカ )

竣工年月： 19 88 年      月竣工

建築規模： 51 階 延床面積： 680,000  $m^2$

設計者： Cesar Pelli

### 対象空間の概要

・ 規模： H=38m, W=36m, L=60m

・ 用途： アトリウム

・ 照明設備（照度）： ボルト天井の屋根面に人工照明（あくまで補助的）

・ 空調設備（温湿度条件）： 24時間空調。18～25℃、10月～4月は暖房運転

・ 植栽植物の種類： ワシントンヤシ 16本

・ 特徴： ワシントンヤシの植栽樹に各種のセンサーが組み込まれている。環境的には完全空調

## インドアグリーンナリーの事例24



建物名称： オプリランドホテル

所在地： ナッシュビル (国名： アメリカ )

竣工年月： 1988 年      月竣工

建築規模： 6 階 延床面積：                       $m^2$

設計者： Earl Swensson (建築)、Hollis Maone (造園)

### 対象空間の概要

- ・ 規模： 80,000  $m^2$
- ・ 用途： ホテル中庭のアトリウム
- ・ 照明設備 (照度)： 自然光利用、夜間はベランダと街路灯の照明のみ
- ・ 空調設備 (温湿度条件)： 年間を通じて20~22℃。相対湿度45~65%
- ・ 植栽植物の種類： パンノキ、ジョウオウヤシ、アレカヤシ、ヘゴ、ベンジャミンゴム  
ジャカランタ、ツピダンサス、バナナsp、ブラッサイアなど
- ・ 特徴： 「カスケード」と「コンサーバトリー」の2つの巨大なアトリウムを客室が  
囲む。湿度が低いにもかかわらず、足元散水のため成育良好。

## 6. 4 課題と将来

植栽利用は多方面にわたるが、ここではオフィスでの利用を中心に、若干の課題を検討してみた。

### 6. 4. 1 どのような「みどり」が求められるか

元来、日本の建築は開放的で外部との一体感を大切にしてきた。もともと、夏の暑さ対策として開放的に建てざるを得なかったとしても、長い間に、内と外とを区別しない、いわば「自然」と「建築」を連続した親密な関係としてとらえる考え方や建築構法が醸成されてきた。「自然＝障害」の図式に則って計画される外国の建築が、閉鎖的で外界環境との遮断を主たる目的とし、シェルターとしての機能を重視したのとは大きく異なる。

直接植物を屋内に持ち込むのではなく、建築のごく近傍に自然をしつらえ、いつでもそれを屋内と連続した空間の中で感じることができた。そして、そのような関わりが可能な建築的な工夫が行われてきた。軒先から続く庭がそうであり、建築内部ともとらえられる坪庭しかりである。

ところで、このような日本の「建築」と「自然」にみられる自然は、決して粗野なあるがままの自然ではなく、高度に人工化された自然であるところに大きな特徴が見いだされる。自然物が用いられてはいるが、自然そのものではない。自然美を創造的に造形し、人工的自然の世界を展開し、鑑賞して楽しんだ。西洋の自然観が、森の中で自然との対話を楽しむといった、あるがままの自然を大切にし、その中で自然を享受しようとするのとは異なる。

このことは、日本人の心象風景には高度に造形化された自然美があり、屋内の自然にも「日本庭園」に見られるような創造的造形美が求められることを示してはいまいか。ただ単に、植物を持ち込むだけでなく、そこに、ある風景が、構成された造形空間としての美しさが見いだせるような、植物や土・石の組み合わせを作ることを考えてはどうだろうか。幸い、わが国には盆栽から坪庭、庭園に至る造形美の伝統がある。これを屋内の植栽にも大いに利用すべきではないか。アトリウムほどではなくとも、少しまとまった空間があれば展開が可能である。現在のアトリウムなどに導入されている自然の光景は、どちらかと言うと西洋的な感覚で、植物を持ち込んだに留まっているように感じられる。

一方、路地の中のタンポポに自然を感じる俳句的感性をも日本人は有している。瞬間のうつろいを捉える微妙な感性を大切にする植栽利用もありそうだ。屋内に茶花を飾って自然を感得するといった利休の数寄屋文化、囲いの文化に代表される利用法である。通常の屋内では、いままで以上にこのような活かし方が考えられてもよさそうなものである。

現在の植栽利用は、アトリウムのような大きな空間でも通常の屋内でも、

どちらかと言うと西洋的な利用が中心ではないか。もちろん、あまり屋内に植物を持ち込む伝統のなかった日本で、どのようなインドアグリーナリイがふさわしいかについては議論の余地があると思われるが、一つの方向として、もう少し積極的に、日本的利用を考えてはどうだろう。その場合、大きな空間では箱庭的な造形美が、小さな空間や通常の屋内では俳句的感性が活かせるのではないだろうか。

#### 6. 4. 2 植栽の管理

植栽が生き物である以上、細心の管理が要求される。そして、屋内には屋外とは異なった難しさがあることは言うまでもない。屋内空間での最適な植栽選定と管理技術が、早急に確立されることが期待される。

最近では、植栽のリースや管理そのものの外部委託が進んでいるが、管理の難しさが伴う以上、専門家に任せることの利点は大きく、当然の趨勢ではあろう。ただし、屋内の比較的人に近くにある植栽については、直接的な管理の可能性がある。その近くにいる人に管理を任せようとする考えである。特定の管理者を決めることによって、管理を任された人はその対象に親近感を持ち、積極的に関わろうとするようになるであろう。このことは、管理水準を向上させる可能性を秘め、また、管理する人にとってはストレス解消作用として働くことをも期待させる。

当然のことながら、管理に必要な知識を修得させるための時間と費用およびリスクを考えれば、専門家に任せた方が得策であるとの考えが一般的と思われる。しかし、オフィスの住宅化が進行する中で、オフィスの形態や空間でのプライバシー重視に加えて、管理にも非公的な部分、個人に依存する部分が増えていくものと考えられる。オフィス空間のパーソナル化に合わせて、各個人が積極的に関わる空間と調度や空調・植栽が要求されることとなろう。このようなパーソナル空間では、空間の所属は公的なものでありながら、私的な管理の性格が強くならざるをえないであろう。私的管理の対象の一つに植栽を加えることで、管理負荷の低減に加えてストレス解消にも役立つとなれば、これは大変好都合なことである。

#### 6. 4. 3 植栽利用のコンセプト

建築物での植栽利用が、様々のメリットをもたらすことに異論はないであろう。問題は、その利点や効用が十分に理解され、しつかりした考えに基づいて利用されているか否かではないか。

いわゆる、バブルの崩壊後、経費節減策として真っ先に植栽利用が中止されたといった事例が聞かれる。植栽利用のコンセプトが確立されていたならば、このような事態は生じないであろう。

これからのオフィスのあり方、あるいは、オフィス管理のコンセプトをどうするかと言う問題については、もちろん、多くの方向が考えられる。が、全体の中で個人のニーズがより強く認められるようになるであろうこと、そして、そこでは光と緑と新鮮な空気がより自由にパーソナルなタッチで実現できることが大切になるであろうことは、基本的なコンセプトとして無視できないこととなろう。

また、これからのオフィスには、単に働く場というだけではなく、皆が自発的に出社し、仲間と楽しく仕事ができる場であることが求められることとなろう。そのための手段の一つとして、植栽の利用は大切な要因となることが期待される。

人間の精神に根源的な意味を持ち、人間の存在自体と深く関わっているみどりは、これからのオフィス経営・建築管理にとって極めて重要な価値をもつものの一つとなりそうである。

このような植栽利用の価値が、広く確固として認められるような雰囲気作りが大切になっていると思われる。

オフィスの生産性向上といった側面での緑の効用を証明することは、確かに難しい。しかし、人間の精神に良い影響を与えるであろうことは明かであり、何らかの手段でそれをより確かなものとし、広く認めさせるような取り組みが求められている。その価値が認められ、植栽利用が社会システムの一つに組み込まれるならば、その将来は明るい。

#### 参考文献

- 1) 上田篤、多田道太郎：「都市の中の自然」、日本の美学、Vol.2.No7.ペリカン社.1986.3.15
- 2) 「ヨーロッパのオフィス」第2部ほか、オフィスエイジ、No.16.(株)イトーキPR推進室.1992.12.10

## 6. 5 ガイドライン

植物は、地球上の多様な環境に適応して多数の植物種を進化させたが、屋内植物と呼べるものはその中にない。今後の育種でこの分野に向く植物種の創出が期待できるが、今の段階では、主に人間活動に照準を合わせて設定された屋内という環境に対し、少しでも耐えられる植物種を選定し、併せて植物の生理・生態的特性に基づいた最適の維持管理に心掛ける方針をなによりも基本としなければならない。

### 6. 5. 1 環境圧の種類と影響の程度からの指針

植物が育つ自然環境と屋内環境を比較した場合、環境負圧となる要因は温度、光、湿度、降雨などがある(表6.5.1)。

表 6.5.1 野外と屋内での環境圧の差異

環境要因		野 外	屋 内
温 度	高日年光日湿C有害 ・低 ・較 ・温 差 差	あ あ あ	な 小 小 小
光	量 長 度	り り り	し い い
空 気	○ <sub>2</sub> ガ ス	変 化	弱 期 あ り
降 雨		あ 定 発 り	あ 定 発 し

温度については最近空調が進み、年間を通じて植物の成育適温域が得られるようになり、熱帯観葉植物も冬季低温障害の問題がなくなった。しかし、日較差とくに年較差が小さいため、温度周期性を持つ温帯性植物種ではむしろ一定温度の方が制約因子の一つとなる。5℃以下、2カ月以上の低温を要求する種が多く、これらでは、混植時の問題点となる。

光については、質、強度および時間の長短が問題となる。光強度は、自然光取り入れ型の場合でも、常に不足すると考えてよく、樹種選定および維持管理上の最大の制約要因となる。この時、葉色、葉の形態の違いから光適応性を類推<sup>1)</sup>できる。さらに光補償点が低いほど一般に弱光耐性が高くなるので、補償点の高低を耐性判定の論理的基準に用いることが多い。熱帯観葉植物などの陰地植物の多くは500 lx程度<sup>2,3)</sup>に光補償点があり、この照度はニューオフィス化の明るさの指針であるので、一つの基準線となる。ただし、光補償点が低いものは、飽和点も低い性質があり、弱光下での光合成産物が必ずしも多くなるとは限らない<sup>4)</sup>ので、両者合わせて参考資料とすべきである。光補償点は温度に強く依存し、温度の上昇とともに高くなるので光不足耐性は温度が高くなるほど低くなる。その程度には

種間差異<sup>4)</sup>が認められるので資料が得られれば参考にしたい。長期植栽では、定植時の苗のもつ貯蔵養分の多少、またその後の呼吸速度の差も耐性に関係深いはずだが、今のところ見るべきデータが少ない。

最近針葉樹の仲間コニファー類の高い弱光耐性が実証<sup>5)</sup>されているが、この仲間は成育期間が短く、成長緩慢で、反面、長い幼若期（花をつけない時期）と落葉サイクル等を身につけ、できるだけ消耗を抑えるという長寿型の成長特性を示す。このような成長特性が弱光を含めた不良環境全般に対する耐性発現に大きく寄与しているとも考えられ、一考に値する。また、弱光下、一定期間の順化は呼吸速度を低くする。屋内向けのコンテナ苗などでは順化苗の生産も始まっているので、今後は順化能力の大小が樹種選定時のきめてになる可能性が高い。以上弱光耐性を主な制約要因にみた場合の考え方を示したが、生活環境との関係が示された近藤<sup>6)</sup>の案は実利性が高いので掲示する。（表6.5.2）。

表 6.5.2 照度条件と屋内の用途、植物の成育との関係

		3000 lux	葉広葉樹等の陽性植物で緑化 ただし恒久的な緑化は望めない
ニューオフィス化の指針での細かい視作業に必要な照度	1000 lux	1000 lux	ハナミズキ等の陽性植物がかるうじてある期間生存可能
日本工業規格での細かい視作業をする事務室、設計・製図室の照度基準の最低値	750 lux		
ニューオフィス化の指針での通常の視作業に必要な照度	500 lux	500 lux	欧米の文献の中で記載されている主要な観葉植物の必要最低照度の下限値 観葉植物で恒久的な緑化が可能
日本工業規格での通常の視作業をする事務室、会議室の照度基準の最低値	300 lux	300 lux	耐陰性に富む観葉植物、造園樹木、地被植物の健全育成可能 使う植物によってはある程度長期間の緑化が可能
日本工業規格での集會室、応接室、食堂の照度基準の最低値	200 lux	200 lux	耐陰性に富む観葉植物、造園樹木、地被植物のある程度の健全育成可能 2～3年で植え替えることを前提とした緑化が可能 耐陰性に富む観葉植物の光補償点
		150 lux	耐陰性に富む観葉植物、造園樹木、地被植物の生存可能 毎年、植え替えることを前提とした緑化が可能
日本工業規格での喫茶室、休養室などに必要な照度基準の最低値	75 lux	100 lux	大半の緑化用植物の生存不可 緑化を断念する臨界点
		50 lux	緑化用植物の中で最も耐陰性に富むと考えられるナギイカダがかるうじて生存可能

大阪市で開かれた'90国際花博の水の館ほか屋内展示館の栽植されていたヤマモモほか樹木類36種について、成育良好から成育困難まで5段階の評価<sup>7)</sup>がなされている。昼光率6~20%、期間6カ月とややストレスの程度は少ない事例であるが、多くの人の共通体験があるので、ぜひ参考にしたい。

屋内では、人間活動に伴う照明あるいは光合成不足を補う意味での補光が別け隔てなく放射され、種によっては日長の影響がしやすい、長日による栄養成長の持続、落葉および休眠の遅延等の悪影響<sup>8,9)</sup>、また高圧ナトリウムランプの街路樹への影響<sup>10)</sup>等の樹種間差異の成績を参考にすると、温帯樹木では16時間日長、さらに高緯度地方の樹木では18時間日長、それ以外では10時間日長付近が限界日長となるので、利用場所の光放射条件に照らしあわせてみるとよい。なおこれらの樹種では長日の影響が高温下ほど顕著になることを忘れてはならない。質の高い屋内緑化を目指した花壇用草花などの利用においては、早期開花、連続開花にとって日長無反応型の品種の選定が必須となる。

#### 6. 5. 2 緑化工法および維持管理上の制約からの指針

大きなアトリウム等では高中低各種の樹木、下草として花木、草花、つる性植物、シダ植物ほかを組み合わせ、自然に近い植生を演出する必要から、環境圧に逆らっても植栽計画が進められることが多い。何年持たせるかの目標値によっても植物種の選択条件が異なってくる。長期的には木本性のもの、中期的には花木や多年性草本を、そして短期的には観賞性の高い草花を中心に、それぞれ半永久的、数年、数カ月間を持ちこたえの目安として選定したい。なにより緑化工事の便や維持管理上の難易から不可避となる植物種も多い。例えば人工地盤であるので、浅根性が必須で、深根性のマツ類、不定根再生のみられないツバキなどは避けられる。季節演出用に随時植え込む草花では活着力、斉一性、花持ち性が重視される。落葉量が多い種は始末に困るので嫌われる。落葉に強い他感作用のあるメタセコイアは特に嫌われる。病害虫に関してはハダニが問題で、寄生の多い種は徐々に控えられる傾向にある。

#### 参考文献

- 1) Heitz H. Flowering and foliage varieties for the home indoor plants. P240, Barron's N.Y (1991)
- 2) 森岡公一ほか3名. 観葉植物12種の光合成特性. 園学要旨昭63秋. 490-491.(1988)

- 3) 洞口公俊ほか4名. インドアスペースの植栽に対する光放射環境.  
National Technical Report,38(1),114-122(1992)
- 4) 平田良樹. 緑化植物の効率的な利用による市街地生活環境の保全に関する研究. 樹種別耐陰性のスクリーニング. 農林水産技術会議事務局編成果シリーズ. 258,47-49.(1991)
- 5) 柴田忠裕・遠藤宗男. コンテナ栽培コニファーの品質に及ぼす光量の影響. 第1報ヒノキ属. 園学雑61別2. 550-551.(1992)
- 6) 近藤三雄ほか. 屋内緑化デザイン. 76. グリーン情報.(1992)
- 7) 金田資郎ほか3名. 国際展示館における植物生育環境に関する調査事例. EXPO'90国際展示館記録集. 358-369.産経新聞社(1991)
- 8) Nitsch J.P. Photoperiodism in woody plants. Proc.Amer.Soc.Hort.Sci.70,526-544.(1957)
- 9) Cathey H.M. & L.E.Campbell Effectiveness of five vision-lighting sources on photo-regulation of 22 species of ornamental plants.Amer.Soc.Hort.Sci.100(1),65-71.(1975)
- 10) ----&---- Security lighting and its impact on the landscape. J.Arboriculture 1,181-187.(1975)

## 7. ライトアップの植物への影響

### 7. 1 ライトアップの意義と概要

#### 7. 1. 1 ライトアップの意義

夜間の都市を活性化し、文化生活を楽しく過ごせるようにする照明は必然的に環境として都市の夜間景観を向上させ、美しいデザイン効果が発揮される。展示会、博覧会など催し物の多くなってきた昨今、照明の果たす役割がますます大きくなってきた。光のデザイナーの要求する光源や照明器具も改善され、小さなものから大きなものまで、すべての対象物を効果的に照明することが可能となってきた。

特に、屋外のライトアップ（景観照明）は、北から南まで各地で実施され、閉じ込めりがちな夜間も都市機能が生きづいてきた。

景観という対象は、人間の目で見、体で感じることで始まるものであるから、見るもの、見られるもの全体が一体化して環境として好ましいものが要求される。国際的となれば、24時間という終日の都市機能が可能であることも要求される。しかし、国際的な人の交わり、年齢の異なる集団の動きは、複雑な照明空間の演出となって、国家計画・都市文化・人間の好みなどに左右され、独創的な環境を導出することになる。

夜間照明というのは、昼間照明と同様な働きを望むことを目標には出来るが、同様な明るさと光の質を望むことは不可能である。従って、最低限、不便を感じない範囲での条件となる技術に頼ると共に、夜間ならではの演出を施した照明も考え合わせた方法もよいのではないだろうか。具体的には、美しい都市夜景、24時間都市化への対応、商業活動への振興、公共施設への親睦向上、健康維持のスポーツ施設、観光都市の表現、リゾート都市の振興、博覧会のデザイン計画、史跡・橋梁・塔・建造物・港・空港などの特別演出、その他である。

景観照明をデザインするには、光源・照明器具・器具取付材・配線・電源など場所と用途に応じたものを供給可能な技術面での進展が必要である。取り敢えず、現在市販の照明器具を駆使して、要望に合致した景観照明を演出することが出来れば、人々の不便を改善するに止まらず、幸せをもたらすものである。

照明は、ハード的には基準に合わせた明るさを求め、ソフト的には喜怒哀楽などの心の明るさを造成するものである。しかし、太陽光に生活のリズムを合わせていた人間の祖先とは異なった近代社会の照明環境で、人間が健康である条件はかなえられているであろうか。同様に、動物、植物に与える良い影響、悪い影響についての検討も必要になってくる。これだけの科学の進展がめざましい現代社会では、光放射の手法によって、バランスのとれた生物の環境を維持することは可能であると考えられる。

## 7. 1. 2 ライトアップの概要

### 1) ライトアップ対象植物

ライトアップの対象となる植物は屋外で栽培されている比較的大きな樹木であり、インドアグリーンナリーや背の低い植物はライトアップの対象としてはあまり考えられていない。また、アトリウムの植栽が補光されている場合があるが、この照明の主目的は植物の成育のためであり、ライトアップとは言えない。ライトアップされる樹木はイチョウ・モミジ・サクラなどの落葉樹とケヤキ・マツ・クスなどの常緑樹に大きく分類される。また、常緑樹では年間を通じてライトアップが行われることが多いが、花が咲く樹木や落葉樹などでは一定期間だけライトアップされることも多い。その他、イベントなどの開催期間中だけライトアップされることもある。

### 2) 樹木の照明方法

通常、樹木の照明は、H I D照明器具を用いて樹木の下側から行われることが多い。この場合、地上に設置された高ワットの投光器を樹木から少し離し斜め上方に向けて照明する方法（図7.1.1）および、低ワットの地中埋込型器具を使い樹木の根の付近から器具を真上に向けて照明する方法（図7.1.2）がある。なお、落葉樹では落葉期間のみ多数の小型電球やグラスファイバーを樹木に巻き付ける方法がとられることもある。

ライトアップに用いられる光源は照明対象によって種類が異なる。常緑樹の緑を鮮やかに見せるには、H I D光源のなかでもメタルハライドランプや水銀ランプが適している。紅葉時のモミジなど赤系統の色を強調して照明するには高圧ナトリウムランプが適している。

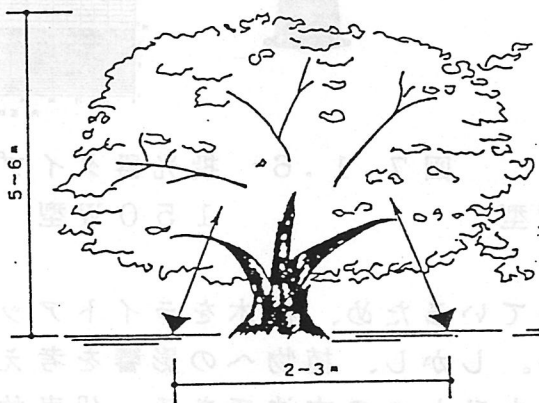


図7.1.1 投光器による照明方法

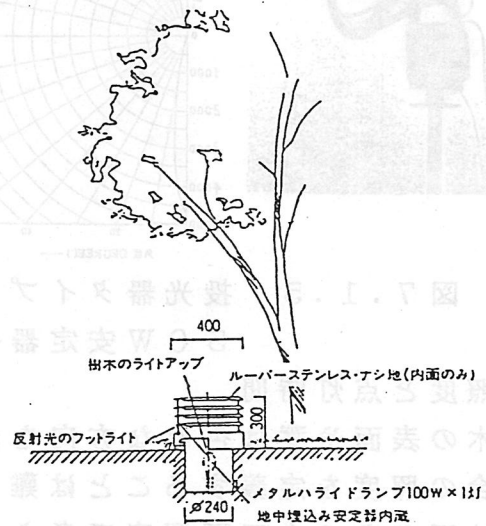


図7.1.2 地中埋込型器具による照明方法

### 3) ライトアップ用照明器具

ライトアップに用いられる照明器具はグラウンド照明に用いられる投光器類だけでなく、ライトアップ専用の器具も開発されている。

地面にそのまま設置される投光器タイプでは、外觀がそれなりに落ち着いた色調・デザインのものになっている。また、地中埋込タイプでは前面ガラスの耐久力を強くしたものや、ライトアップする樹木と反対側へは光の洩れを少なくしたものなどがある。代表的な器具とその配光を図7.1.3～7.1.6に示す。

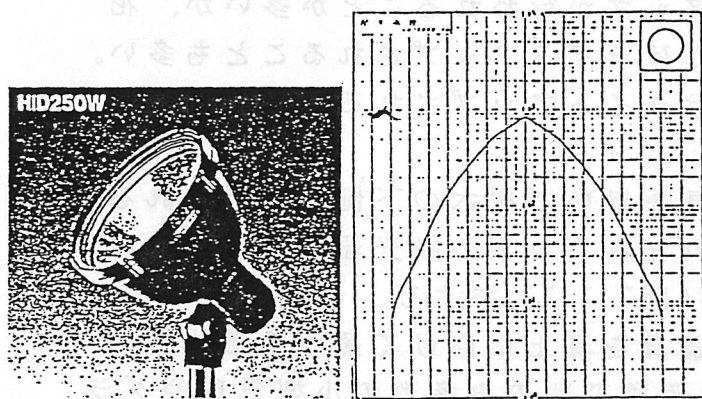


図 7.1.3 投光器タイプ  
250W型

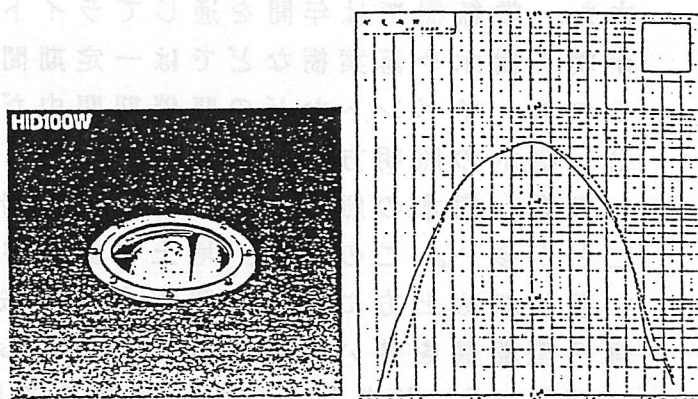


図 7.1.4 地中埋込型タイプ  
100W型

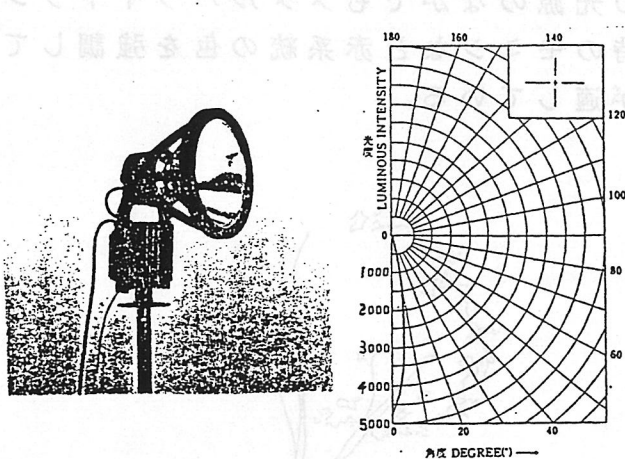


図 7.1.5 投光器タイプ  
50W安定器併置型

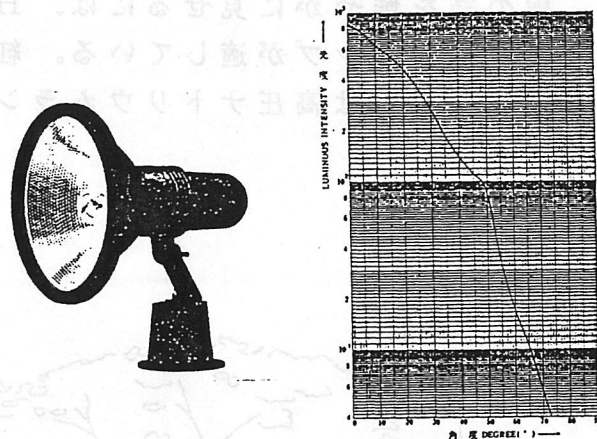


図 7.1.6 投光器タイプ  
150W型

### 4) 照度と点灯時間

樹木の表面や葉は色々な方向を向いているため、樹木をライトアップする場合の照度を定義することは難しい。しかし、植物への影響を考える場合には下向きの水平面照度で考えるのもひとつの方法である。代表的な照明（図7.1.1、7.1.2）での下向き水平面照度を求めたものを図7.1.7、図7.1.8に示す。なお、ライトアップは観客に対する一種の演出照明であり、点灯時間は季節や照明対象によって異なるが、一般的には観客が多い夕方か

ら10時頃までであると考えられる。

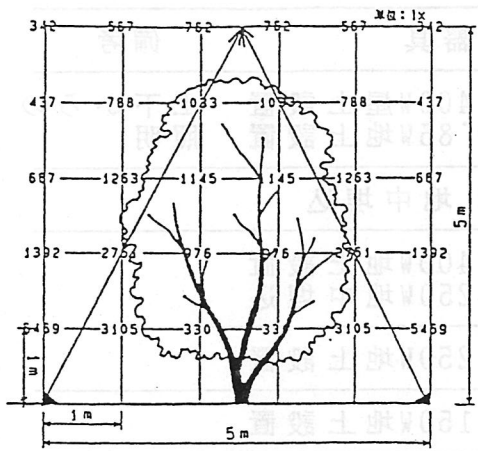


図7.1.7 水平面照度分布  
(下向き)

投光器による照明方法

- ・メタルハライドランプ・250W・広角配光
- ・初期照度(計算値)

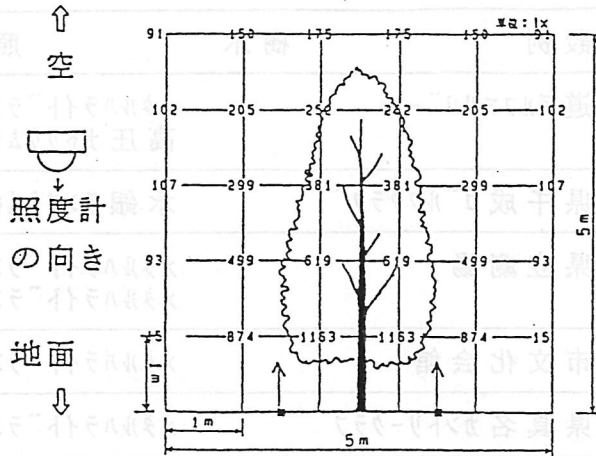


図7.1.8 水平面照度分布  
(下向き)

地中埋込型による照明方法

- ・メタルハライドランプ・100W・広角配光
- ・初期照度(計算値)

### 5) 照明施設例

ライトアップが実際行われている施設とその照明内容をまとめたものを表7.1.1、7.1.2に示す。

表7.1.1 樹木のライトアップ事例(その1)

施設例	樹木	照明器具	備考
神戸市グリーンライト神戸	クス	水銀ランプ・400W地上設置	
佐賀県庁前	クス	水銀ランプ・400W地上設置	
日立市平和通り	サクラ	メタルハライドランプ・250W地上設置	
神戸市生田川	サクラ	水銀ランプ・250W地上設置	ドライバーへの グレアカット対策
愛知県香嵐溪	カエデ	高圧ナトリウムランプ・180W 地中埋込型	水銀灯 (新緑期)
大阪市御堂筋	イチヨウ	メタルハライドランプ・250W地上設置	
大阪市梅田センタービル		メタルハライドランプ・100W地中埋込	フットライト併用
高知市中央公園		メタルハライドランプ・70W地中埋込	
東京都新宿グリーンビル		メタルハライドランプ・70W 地上1mより上下へ照明	

表 7. 1. 2 樹木のライトアップ事例 (その 2)

施設例	樹木	照明器具	備考
北海道アルファリゾート		メタルハイトランプ・400W 屋上設置 高圧ナトリウムランプ・85W 地上設置	上下からの照明
栃木県千成ゴルフクラブ		水銀ランプ・400W 地中埋込	
熊本県立劇場		メタルハイトランプ・400W 地上設置 メタルハイトランプ・250W 地中埋込	
徳山市文化会館		メタルハイトランプ・250W 地上設置	
千葉県真名カントリークラブ		メタルハイトランプ・150W 地上設置	
高岡市古城公園		メタルハイトランプ・150W 地上設置 メタルハイトランプ・100W 地中埋込	上下からの照明
広島市平和通り		メタルハイトランプ・150W 地上設置	
姫路シンボルロード	クス・イチヨウ	光ファイバー	樹木に設置
大阪市プロムナード	ケヤキ	光ファイバー	樹木に設置
仙台市スターライトファンタジー	ケヤキ	0.54W 白熱電球	樹木に設置

## 参考文献

新しい都市照明 (No.1 No.3~6)、中国照明改善委員会  
ライトアップマニュアル、照明学会 (昭和 63 年)

## 7. 2 植物成育への影響

植物の成育にとって光が重要であることは論を待たない。このことはすでに本報告書の第 2 章に述べられているところであるが、ここでは夜間の人工照明による植物成育へのマイナス影響を中心に述べてみたい。

## 7. 2. 1 花芽形成への影響

植物に限らず、一般に生物は体内時計を有しており、それによって一日、一年、一生を決まったサイクルを持って生きていると考えられている。この体内時計を司る主要な要素が光であり、夜間の人工照明がこの生活リズムを狂わしていると言う報道が最近とくに多くなってきた。これはそれだけ夜間に強い人工照明が氾濫している現れでもあろう。しかし、この問題は古くから存在し、特に道路照明による稲の結実不良については全国各地で多くの報告がある。いずれにしろこれは日長条件の問題である。日照時間が日増しに長くなってゆくか、短くなってゆくかを植物は察知し、それによって花芽を分化させ、結実する。日長がある時間よりも長くなると花

芽を形成するものを長日植物、日長がある時間よりも短くなることに反応する植物を短日植物と言う。それは植物の種によって異なり、長日植物には春に開花する物が多く、キンセンカ、ホウレンソウ、プリムラ等があり、短日植物にはキク、コスモス、ダリア等がある。夜間の人工照明により長日化し、ホウレンソウが葉が繁茂する前に花穂を出し、商品にならないなどのマイナス影響が出ている。これは農家にとっては深刻な問題で、それぞれ光源の向きや強度、光質を配慮する事によって対策が取られている。

## 7. 2. 2 休眠と冬芽形成への影響

街路灯や明るいネオン等の近くの落葉樹では明かりの周囲の葉だけが晩冬まで枯れずに残っていることがある。これは街路灯の光がもたらす人工的な長日条件のためである。

日長は樹木の休眠の誘導に著しい影響を及ぼす。樹木の落葉現象はまず、葉の老化による機能の低下がおこり、黄化、離層の形成、落葉、と経過すると考えられている。特に、離層の形成にはエチレンが関与していると言われているが、このエチレンの生成にはアブシジン酸が関わっている。この一連の作用も光形態形成によるものである。しかし、街路樹の落葉には光条件の他に気温、栄養状態、大気汚染、揃定時期などの管理条件など多くの要因が関与しており、その年ごとに落葉形態は微妙に異なる。また、種による違いも大きい。いずれにしろ、これらの現象に関する具体的な研究例は少なく、一般論として展開しにくいところとなっている。ここでは少し長くなるが、著者らが1989年の冬に行った東京都内の街路樹を対象にした調査<sup>1)</sup>の結果の概要について以下に引用する。

観測樹種（スズカケノキ、ユリノキ、アオギリ、ニセアカシア、トウカエデ、ケヤキ、イチヨウの7種）中、スズカケノキ、ユリノキ、アオギリ、ニセアカシアの4種はいずれも街路灯の光の影響が著しく、多くの健全葉を冬遅くまで残すことが確認された。強く影響を受けた以上の4樹種について共通な点は光の当たる樹冠の葉が一様に残ることであり、このことからこれらの樹種にとっては光が落葉の時期に差を与える第一の要因であると推測された。街路灯の付近に残った葉の落葉の形態も、スズカケノキ、ユリノキ、ニセアカシアは全体としての密度が徐々に減少していく傾向があるのに対し、アオギリは残った葉もその周囲から順に枯れて行くという相違がみられた。

トウカエデは前述の4樹種に比べて残った葉の数は少なかったが、枝の先端部分についている葉のみが残るという残葉形態は大変特徴的である。一般にトウカエデは枝の先端部分の葉から変色し落葉していく<sup>2)</sup>。このことからトウカエデの葉は、その葉齢により光の感受性に相違があるものと推測される。つまりある程度の葉齢を経た葉は、街路灯の光により長日条

件を与えられても気温の低下により早期に変色・落葉するが、比較的若い葉は気温の低下よりも光の影響を強く受け、落葉期が遅れるという仮説である。

ケヤキ、イチョウは街路灯によつて葉を残す現象は確認されず、これらの樹種の落葉は光条件よりも温度条件の影響をより強く受けていると思われる。一方、光の影響を受ける樹種であるトウカエデと受けにくい樹種であるケヤキの2種についての夜間照明の有無による落葉期への影響に関する実験<sup>1)</sup>の結果によればトウカエデの色相角度に明かな違いが見られ、紅葉の始まる時期に約一ヶ月のずれが生じたのに対して、ケヤキでは照明の有無による紅葉の始まる時期に違いは見られなかった。

また、光合成についても、トウカエデは夜間照明を行わなかった無処理区では健全葉の光合成速度が時期と共に確実に低下したのに対して、夜間照明を行った処理区では無処理区よりも20日程長く光合成を行っていた。これに対して、ケヤキの光合成速度の変化は処理区・無処理区共にほぼ同じ割合で低下しており、両区について特別な相違は見られなかった。このように冬期遅くまで光合成を行っていることは一見成長を続け、悪いことでは無いように思われるが、当然の事ながら、気温はそれほど上がらず、光合成速度は早くはならない。一方、葉が着いていれば呼吸は行われるため、光合成による総生産量は呼吸量をうわまわるとは考えにくい。すなわち、冬期遅くまでの展葉は純生産量で見ればマイナスになるものと考えてよい。それだけむしろ個体を衰弱させることになっているはずである。また、冬期遅くまで着葉し、それが突然の寒波によつて不自然に部分枯死することも十分に考えられることで、長年にわたつてこれを繰り返せば樹勢が衰退することは明かであろう。

以上のようにして夜間の人工照明による影響を受ける樹木は冬芽の形成にも多大な影響が出る。冬芽が未発達のまま春を迎え、貧弱な展葉しかできなければ、開花にも影響する恐れもあり、樹木にとってライトアップは決してプラスには働かないのである。

この他の樹種で夜間照明の影響を受けやすいものにフウ、ハナミズキ、シダレヤナギ等を上げることができる。

また、どのような光質、光量によつて以上のような落葉への影響を受けるかについては調べられていないが、例えばトウヒ、エゾマツ等は1000 lx程度の弱い光でも成長を続ける<sup>3)</sup>と言う。このような光合成、光形態形成と光質、光量の関係については第2章を参照されたい。樹種の違いが大きいものの、光の影響を受けやすい樹種にとっては外部照明によるライトアップは以上で述べたような現象を生じさせることは明かである。しかし、低ワットの豆電球によるイルミネーション照明では光量から考えてこのような現象は生じないであろう。

### 7. 2. 3 害虫による影響

照明に集まってくる虫が周辺の農作物に害を及ぼす恐れについても、しばしば問題になる。しかし、これに関する学術的な報告は皆無に近い。そもそも何故、昆虫が夜の照明に群がるのかについても科学的根拠は不明といわざるをえない。集まった昆虫が近くの植物を食害するとは考えにくく、この問題に関しては過剰な意識を持ち過ぎているきらいがある。ただし、集まってきた昆虫が照明の近くに産卵をする可能性は大きく、次世代において、その幼虫や成虫による食害が生ずる恐れは否定できない。いずれにしろ、昆虫にとっても夜間の人工照明は生活のリズムを攪乱させるだけで、生存にとって有利な点は何もない。

#### 参考文献

- 1) 三沢 彰・高倉博史：夜間照明による街路樹の落葉期への影響  
造園雑誌 53(5)127-132(1990)
- 2) T.T.Kozlowsk : Shedding of plant parts, ACADEMIC PRESS,  
45-79(1973)
- 3) 佐藤大七郎・堤利夫：樹木－形態と機能－、文永堂(1980)

“ベトナム産品としての光害 光害の樹果” 1.x9

(雑誌 農業本日 01.11.0881)

ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出  
ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出  
ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出  
ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出  
ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出  
ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出  
ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出  
ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出  
ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出  
ベトナム産品としての光害 光害の樹果の産出

“光害による土壌の乾燥と光害の樹果” 5.x9

(雑誌 農業本日 01.10.0881)

光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出  
光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出  
光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出  
光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出  
光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出  
光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出  
光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出  
光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出  
光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出  
光害による土壌の乾燥と光害の樹果の産出

### 7. 3 新聞等の報道例

本項ではライトアップが植物に影響を与えているという事例が、どのように新聞等で報道されているかについて調査してみた。

一般紙を主に業界紙を含め、キーワードとしては光、照明、植物、樹木、成育、影響などを選択し1990年以降の記事について検索を行った。

その結果、新聞記事の場合52件の情報があり内容を大別すると、街路樹の照明等景観形成の報道が23件、植物成育に光を利用した記事が10件、光が植物に悪影響を及ぼしているとの内容が4件、その他15件であり、植物へのライトアップによる景観形成の向上を図った報道が多くみられた。また最近では、企業が手掛ける植物工場の実用例も報道されており、植物の成育に人工光が積極的に取り入れられていることが伺える。

ここでは照明が植物に及ぼす影響を

- ・照明の対象を植物とした場合
- ・照明の対象を植物以外のものとした場合

に分類し、代表的な報道例を紹介して考えたい。

#### 7. 3. 1 照明の対象を植物とした場合

植物に対して人為的（積極的）に光を照射する目的としては、

- 1) 自然光を補い、光合成による成育の促進を図る。
- 2) 人工的に長日環境をつくり、花き栽培における花芽形成や開花の調節を図る。
- 3) 光を照射し、夜間の景観形成の向上を図る。

等がある。1)、2)項の事例として次のような新聞記事がある。

#### ex.1 “果樹の補光栽培 補光で品質アップ”

(1990.11.10 日本農業 抜粋)

施設栽培の果樹で補光する試みが増えている。施設では被覆資材でどうしても光が遮られて品質や収量が低下する。それを補光して防ぐとともに、曇りの日や早朝の光の弱い時、それに夜間に補光して品質と収量を上げている。これまで、桃、ナシ、ブドウ、オウトウ、イチジクなどで成果が上がっている。

#### ex.2 “「巨峰」補光に白熱灯 安上がりで2割増”

(1989.10.26 日本農業 抜粋)

島根県農業試験場と中国電力は施設ブドウの「巨峰」で冬の日射量不足策として電照での補光栽培を試験していたが、高価なメタルハライドランプでなくとも、白熱灯でも収量が2割強増えるという結果を得て「手に入りやすい白熱灯で十分」としている。

ex.3 “気長なランに電照、半～1年開花早く”

(1990.11.29 日本農業 抜粋)

電照でランの生育を促進する新しい技術が登場しそうだ。栃木県農業試験場が試験を始めたもので、カトレアが半年から1年、ファレノプシス(コチヨウラン)で半年程度の栽培期間短縮が目標。-中略- 原産地の熱帯の日長と日光の強度を考慮して、14時間以上の日長が生育に適すると推定、電照方法を試験している。

1) の光合成による成育促進を図る例では、ex.1の記事にも見られるようにナシ、ブドウ、桃など果樹生産に利用され効果をあげている。

また最近ではミツバ、サラダナ等を生産する植物工場等でも自然光に代わって植物育成用に人工光が利用されているが、その多くはメタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプ等、高価なランプが用いられている。

しかし、ex.2のように白熱灯を用いて収量が増加したという事例もあり、栽培作物とランプによってその効果にも差異があると言える。

2) の花芽形成や開花調節に利用される例では、キクの電照栽培がよく知られている。白熱灯、蛍光灯などの照明により、長日植物では花芽形成の促進、短日植物では花芽形成を抑制するなどの効果をもたらしており、電照栽培技術として確立されている。

ex.3の例は試験的なもので記事の中でも、効果はありそうだが品種によって反応がまちまちであると報じている。

これら植物の生産に人工光を照射する場合には、被照射物となる植物の特徴を把握した上で照射を行い、それによって何らかの作用(効果)を期待しているもので、反作用が生じることは少ないと思われる。

上記1)、2)項の目的とは異なるものとして、景観形成の向上を目的として人工光を照射する事例が新聞等の報道に多く見られる。以下はその新聞記事を抜粋したものである。

ex.4 “アイデア商店街、街路樹ライトアップ-東京原宿、花で歩道に彩り” (1991.12.19 日経流通 抜粋)

原宿駅から明治通りまでの約300メートルの34本のケヤキ並木。十万個あまりの電球で街路を照らし出す。

ex.5 “中央分離帯の木にイルミネーション-福井市観光協会、駅前通りで” (1992.10.14 日本経済 抜粋)

福井市観光協会は12月から、福井市中心部の福井駅前通りの中央分離帯にある樹木を使ったイルミネーション事業を展開する。-中略- 点灯時間は午後5時から10時で、期間は12月1日から来年1月31日までを予定している。

ex.6 “町の明かりがとてもきれい、山形市七日町――街路樹ライトアップ (1991.12.7 日本経済 抜粋)  
14日から28日まで、およそ70本の街路樹に豆電球を点灯するライトアップ作戦を展開する。とにかく寂しいといわれる山形の夜を、年末に向けて盛り上げる。

ex.7 “香嵐溪のライトアップに思わぬ風圧”  
(1992.11.21 朝日 抜粋)  
紅葉の名所で知られる愛知県東加茂郡足助町の香嵐溪。-中略-谷から飯盛山の山頂まで、オレンジ色に輝く263基のナトリウム灯が午後9時まで、香嵐溪の姿を引き立てている。

ex.4~6は、商店街や町の中心、繁華街等、主として地元の人達を対象に考えたライトアップであり、ex.7は主に夜間も観光客に集まってもらおうとの狙いのようなのである。

前者については、樹木に影響を及ぼしているという内容もなく、景観形成上は評判が良いようである。

後者については「紅葉時期が遅くなった」「色が昔ほど鮮やかでない。ライトのせいでは」などの意見があるようだが、記事の中では大学に調査依頼したところ「この程度で、影響ない」という回答を得ていると報じられている。

これら植物に対する人為的(積極的)な光の照射は、果樹栽培や花き栽培などのように農業生産を目的とした場合、植物の成育促進や出荷調整を図るなど、生産者にとって効果的な作用を及ぼすものである。また、景観形成の向上を目的にしたライトアップを行う場合も、“人の目を楽しませる”という目的においては、効果的であると言える。

新聞記事にみる景観形成の報道事例はいずれも、常時ライトアップされているものでなく季節的なもので、ある一時期のみ人工光の照射を行うため、植物の生態に大きな影響を与えるものでもないようである。

### 7. 3. 2 照明の対象を植物以外のものとした場合

夜間に通行する人や車などの防犯・安全性を考慮した街路灯照明、オフィスビル、観光用の建物、橋などの建造物や公園等を照らし出して、景観形成の向上を図るライトアップのように植物自体を被照射物としていない一般照明の漏れ光が、周辺の樹木や農作物に悪影響を与えているという内容で次のような新聞報道例が見られる。

ex.8 “夜間照明が都会のハウレンソウの商品性消す”

(1993.4.23 日本農業 抜粋)

夜道を照らす街路灯や防犯灯などの夜間照明が、ハウレンソウを著しくとう立ちさせ、商品性を著しく低下させることが、東京都農業試験場の研究結果で明かになった。

ex.9 “眠れる夜もどって江戸川区、街路灯減光へ 植物の成育に悪影響” (1992.1.10 朝日 抜粋)

江戸川区が一部の街路灯の減光に乗り出すことになった。区内の農家から「ハウレンソウが伸びすぎる」、住民からも「網戸にする夏は明るくて困る」という苦情が出ており、省エネ効果もねらった作戦。

ex.9の記事の中では同区の園芸農家からも「キクの開花時期が狂った」との苦情があると報じられている。これらは一般照明の漏れ光が人工的に長日環境を作りだしており、これによって植物の持っている光周性に影響を及ぼしていると言える。農作物に対する一般照明の影響は稲作に対する例もある。水稲は短日植物であり、一般に夜間照明の漏れ光が出穂の遅延をまねくが、品種によってはかえって出穂が早まる例もあり、品種によってまちまちであるとの雑誌記事<sup>1)</sup>もある。

一般照明の漏れ光が作り出している長日環境が植物に及ぼす影響については、街路樹や公園の花壇などに影響を及ぼす場合はまだしも、農作物の生産を目的として計画的に栽培を行っている営農者にとっては、収穫物の商品価値低下という経済面から、また、行政側にとっても防犯上・安全性の面から照明設備を施設すると同時に農家からの漏れ光対策の要求など、深刻な問題と言える。

植物が一般照明により受ける影響は、光を受ける植物と照明に使用されるランプの波長に関連するもので、ランプの分光分布を検討することにより、照明本来の目的を失わず、作物の光の影響を軽減することができる<sup>2)</sup>と報じている雑誌記事<sup>1)</sup>もあり、照明設備を設ける際には行政側、農家側が学識経験者も交えた上で周辺の植物の生理とランプ選定について十分な検討を行うことが必要と思われる。なお、参考資料10.2として新聞記事をそのまま添付してあるので参照願いたい。

参考文献

- 1) 石井重行：農作物光公害対策照明 電設工業 平成2年5月号
- 2) 橋本 康：農業における光の利用 照明学会誌 第75巻第11号
- 3) 山本正三：公園照明 電気設備学会誌 平成3年11月号
- 4) 三沢 彰・高倉博史：夜間照明による街路樹の落葉期への影響 造園雑誌1990年5月号

7. 4 課題と対応策とガイドライン

前項で紹介した最近の新聞等の報道事例のいくつかを基に、夜間照明の植物生態系への影響についてまとめたものを表7.4.1に示す。

各種の人工光源が開発されて人工照明システムが普及し、夜間においても人間が活動できるようになったことの成果は非常に大きく、人工照明が人類の歴史に対して貢献してきたことの大きさは計り知れないものがある。そのことは、例えば照明の無い深山の山奥を深夜ひとり歩いてみれば良く理解することができる。懐中電灯のような人工照明器具が無ければ数歩歩くにも難渋することはいうまでもない。

また、表7.4.1の中にある「防犯灯」の例で明かなように、夜間必要な場所に必要人工照明を実施することは、その実施効果が非常に大きいといえることができる。現状では都市においてさえ、夜間には「明るくて困る」場所よりも「暗くて困る」場所の方が格段に多いのである。

ところで一方残念ながら、表7.4.1にまとめた結果を見ると、人工照明が人類に対し必ずしも貢献ばかりしている訳ではなさそうであることが分かる。例えば、人工照明の普及により、夜も明るいことを不自然に思わない、いわゆる「夜型人間」が多くなり、そのため人々の生活リズムが多様化し、異なった生活パターン間の相互干渉的なトラブルが増加しているのはその一例と考えられる。（具体的には「明るくて眠れない。」とか天文観測障害など）

表7.4.1 報道事例

区分	関係地区	報道されている影響の具体的な内容	掲載紙(誌)と掲載日付
道徳性への「光害」の懸念	東京都内	野球場のナイター照明、工場の夜の夜間照明、公園の常夜灯、商店の広告灯、街路灯など夜間照明による人間、動物などへの影響についての説話報道	毎日新聞(夕) 1979-12-14
	東京都内	「飛空を守る会東京ネットワーク」の飛空艇減速降着懸念	朝日新聞(朝) 1991- 9-14
	小平市内	住宅・都市計画公団の団地内駐車場照明の改善による光色の変化に起因する住民への生理的影響懸念	朝日新聞(朝) 1991-12-20
	東京都内	街路灯やライトアップの光による人間の夜間視覚、天文観測への影響や西、ホウレン草、菊の開花への影響、その他観音木への影響についての報道	朝日新聞(朝) 1992- 1-10
自然内に対する悪影響の懸念	横浜市内	ライトアップの人間生活や動物の生態系への悪影響懸念	朝日新聞(朝) 1992- 2-22
	引佐市内	田んぼの真ん中の通学路に防犯灯設置の報道(この記事には報道されていないが僅かに光害の懸念が東京電力側に寄せられている。)	埼玉新聞(朝) 1989 12 21
	松戸市内	新設の大塚ゴルフ練習場の夜間営業の際の照明光の隣のブドウ畑への青虫誘引や発生不期の懸念	朝日新聞(朝) 1991-11-14
	三木市内	近隣の照明光(水銀灯)によるイネの出穂遅延および収穫量減少の懸念結果の報道	朝日新聞(夕) 1992- 4-16
草花・観音木への影響懸念	三木市内	道路灯(水銀灯)設置に伴う周辺農家からの米の減収の懸念	朝日新聞(朝) 1992- 5-13
	(44) 東京都内	家庭や駅前広場などでのマリーゴールドやジャコパサボテンなど花の開花時期への悪影響懸念	読売新聞(朝) 1990-12-07
	大板市内	(香嵐渓の)しらじの色変化への影響試験結果の報告	読売新聞(朝) 1991年 8月 21日
その他	大板市内	街路灯やビルの照明や空調の放射熱のカエデや榊などの紅葉への影響懸念	朝日新聞(朝) 1992- 1-19
	その他	コケやカビの成長促進による舞茸科の腐化懸念	毎日新聞(朝) 1992- 8- 8
その他	東京都内	75ワット電球による「電扇照明」の実態の状況の報道	朝日新聞(朝) 1992- 1-14
	東京都内	国道20号(新橋)の橋脚のライトアップの状況の報道	山梨日々新聞 1992- 4-05
	大板市内	「ちやまちアプローズ」において環境制御による立冬における桜開花の報道	読売新聞(夕) 1992-11-07
	京都府内	街の色研究会・京都による京都市内の夜間改善のための研究会の状況の報道	京都新聞(夕) 1993- 4-07

(朝)：朝刊、(夕)：夕刊

そしてしかも、第3章で述べたように光はエネルギーであるから、人間の視作業支援に関連した上記のミスマッチの他に、いろいろな作用を及ぼす効力を（視作業支援と不可分的に）持っていることから、これに関連するいろいろな影響もある。

表7.4.1に示された事例にも記述されているように、近年高速道路網の発達や、工場の拡張、進出、球技場などの公共設備の整備などにより、これらに付随する高照度の照明が、周辺に副次的な作用を及ぼし、周辺の住民との間にトラブルを発生している例がみられる。

良く知られている例としては、稲作に対する影響がある。高速道路が水田の側を通ると、その照明光が、周辺のイネにも照射されて、前述の太陽光による光周性のリズムが崩れ、通常の開花時期になっても開花せず、出穂遅延が生じ、米の減収を来す可能性がある。また、ハウレンソウは、逆に開花が促進され、抽臺などにより、味がおちるなどの可能性が指摘されている。

地球上において各種の動植物も、人間と同様に（あるいは人間が出現するずっと以前から）太陽による光環境の中で生活してきており、人間の場合と全く同様に（あるいはむしろ人間以上に）光を重要な環境要素としてきている。それ故、動植物にとっても重要な環境要素でもある光の設計に際しては、十分な関連知識の下に動植物に対する十分な配慮を伴った照明設計をすべきであることは言うまでもないことである。

例えばライトアップを実施する場合には、もし少しでも周辺の動植物の環境との交絡が懸念されるような場合には、ライトアップの効果を落とさないようにしながら、しかも周辺の環境への配慮ある照明設計が要求される。

この2つの要件には、双方を総合的に検討しながら進めることが肝要である。即ち、動植物の環境に対する要件と、ライトアップを実施する明確なコンセプトやフィロソフィー<sup>1)</sup>とのバランスを常にとりながら設計を行うことが重要になってくると考えられる。

これらは、設備計画の段階で、問題発生の可能性のある場所については、計画の時点で十分な検討をすべきである。農作物については、そのために有効な資料がまとめられている<sup>2) 3)</sup>。

#### 参考文献

- 1) 乾 正雄 . 「もともとライトアップは西欧のものだが」  
新しい都市照明. No.6, 1992年11月
- 2) 照明学会編. 「農作物に対する夜間照明の影響研究調査委員会報告書」. 昭60
- 3) 照明普及会編. 「光放射の応用 (Ⅰ) および (Ⅱ)」. 昭60

## 8. 放射その他の植物への応用

### 8. 1 電磁界の影響

大気空間に電磁波が存在すると、電界・磁界が生体に対して電波生体効果をもたらす。そのエネルギーの大きさは電界強度、磁界強度で表現する。一方、電磁波には周波数があり、この大きさによっても電波生体効果の程度が異なってくる。

太陽光を受け、地磁気の中で生活している生体は、電離層と地表空間中では、シューマン共振（全地球的な規模の電波共振現象）の7.8、14.1、20.3、26.4、32.5 Hzの周波数電波を受け、その電界強度は1 mV/m、磁界強度は10  $\mu$ A/mの環境の中で活動している。従って、生体の基準となる環境をどこに定めるかが重要である。

電界・磁界による影響の他に、大気空間に発生したイオンによる影響も分けて検討することがあるので、このことも考慮したい。

1915~1920年、英国農務省が電気栽培と称し、高電圧磁界（60 Hz）の電氣的環境の生物に与える影響として、エンバク・オオムギ・冬播コムギ・アカツメクサなどで研究を行ったところ、増収となったことが始まりである。同様な研究は、ドイツ、日本などでも実施され、1927年東大植物園（渋谷・柴田）で、高電圧放電下におけるドウモロコシ・ソバ・エンドウ・コムギ・ゴボウ・ダイズなどでも増収となったことが判った。これは、高電圧によって生じた空気中の陰イオンが植物の成長に役立つと言われている。オオムギの成長促進効果は50 KV/m以下であり、200 KV/m以上では成長抑制効果となる。

尖鋭の葉先の植物では20~22 KV/mでコロナ損傷が始まる。電気製品による電界強度の例は表 8.1.1 に示すとおりである。

表 8.1.1 家電製品による電界強度

（大森、「電磁気と生体」日刊工業新聞社、1987、P.39）

電気器具	電界強度(V/m)
電気毛布	250
プロイラー	130
ステレオ	90
アイロン	60
冷蔵庫	60
ハンドミキサー	50
トースター	40
霧吹き器	40
カラーテレビ	30
コーヒーポット	30
掃除機	16
電気時計	15
蛍光灯	10
電子レンジ	4
白熱電球	2

(30cm離れた点における測定結果)

一方、磁界による影響は植物細胞の原形質流動がS極処理かN極処理かによってかなりの違いがあることが分かったが、樹液・細胞液の中に多数のイオン ( $K^+$ 、 $H^+$ 、 $NADP^+$ など) が存在し、流動することで現れる。また、サラダナの根の伸長性 (数百・千ガウス、数時間) や、種子の胚の方向をS極に向けると15%の成長促進を起こすことも確かめられた。

静磁界の安全基準の例を表 8.1.2 に、商用周波数電磁波での安全基準例を表 8.1.3 に示す。また、電界内での成長方向を表 8.1.4 に示す。

表 8.1.2 静磁界の安全基準

(中川、「哺乳類に及ぼす磁場の影響」サイエンス、1986、6月号)

	静磁界
一般 (全身)	0.05T (7.6時間)
	0.1 T (5.4時間)
	0.5 T (2.4時間)

表 8.1.3 50~60 Hz の安全基準 (清水)

	電界	磁界
一般 (全身)	5 kV/m(終日) 10 kV/m(数時間)	0.2mT(終日)
職業従事者 (全身)	10 kV/m(終日) 20~30 kV/m (2時間以内)	5 mT(終日) 10mT (2時間以内)

表 8.1.4 電界内での成長方向

材 料	成長部分	電界(V/cm)	成長方向
クワフィチン糸状体細胞	仮根	0.04	+
ヒバマタ卵	"	0.5~4.0	-
スギナ胞子	"	3.0~10.0	-
ニシキワカ花粉	花粉管	10.0	+

さらに、イオンによる影響は、高電圧下に於いてよく現れ、植物成長促進に、微量イオンが効果的である。キャベツを用いた植物の電界による生理作用 (炭素同化作用と呼吸作用) のリズムの変化を実験によって試みたものを図 8.1.1 に示す。

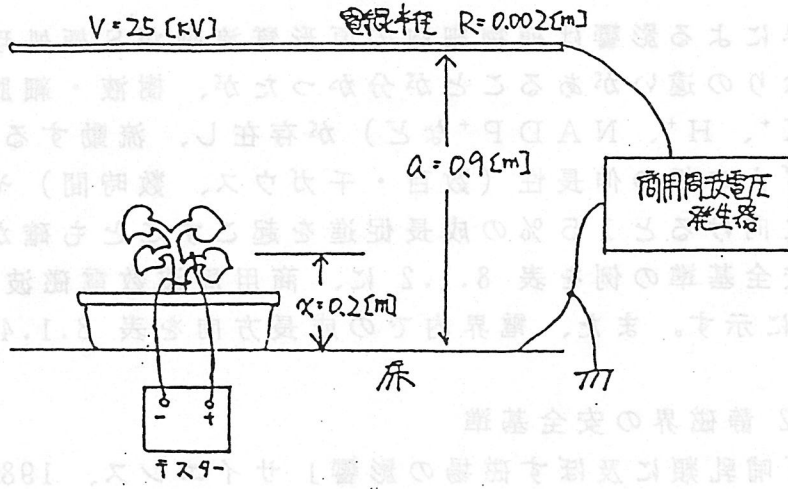


図 8.1.1 キャベツを用いた植物の電界による生理作用

## 8. 2 電磁波の周波数の違いによる挙動

郵政省電気通信局技術管理室の電波利用施設の周辺における電磁環境に関する研究会報告書で図 8.2.1 に示すような周波数に対する電界強度と電力密度の大きさについての電波の安全基準の例が発表された。

文化の担い手としての放送局電波については図 8.2.2 に示すような電力密度と距離に関する放送電波の等価放射電力の例がある。

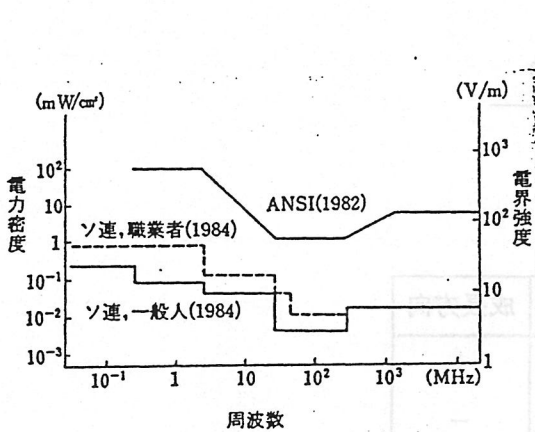


図 8.2.1 電波の安全基準  
ANSI(1982)とソ連の基準(1984)、  
郵政省電気通信局技術管理室  
「電波利用施設の周辺における  
電磁環境に関する研究会」報告書、  
1987、7月、P.44

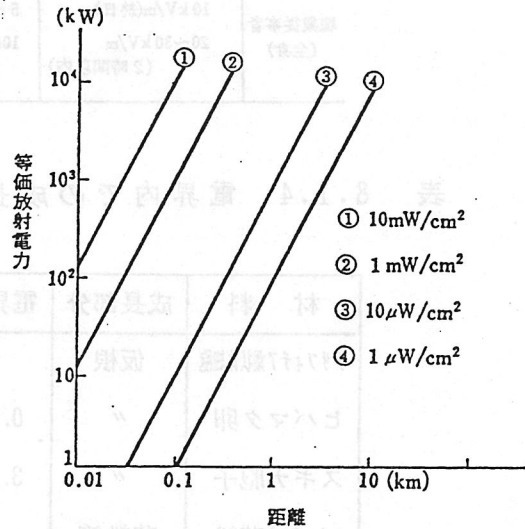


図 8.2.2 放送局の放射電力と距離、  
電力密度の関係 (対数目盛り)  
R.Tell, Broadcast radiation:  
how safe is safe?  
(IEEE Spectrum, 1972, Aug, P.49)

最近、効率の向上と特性の改善を歌い文句としているインターバル使用の電気機器では、出力波形に含まれる高調波が周囲の環境に影響を与える。また、運転周波数の変化に伴い、基本波成分・高調波成分が高範囲に変化するため機器各部との共振現象の増加を招き、騒音・振動を含んだ雑音が発生する。

一般に、ラジオノイズといわれるものは0.15~30MHzの範囲で、λ・出力ラインにノイズフィルターを接続したり、シールド線を用いた配線や全シールドを施すことで漏洩を防止する。電源の高調波については、交流用リアクターを各相に挿入することで防止する。インバータを用いた時の漏れ電流は、60Hz数mAがコイルと鉄心間に流れるが、その3倍の電流が1KHz前後となる。

照射時間に対しては、生体の対象による区別があるものと考えられる。照射時間に対する最大許容レベルの大きさについての電波の安全基準の例を図8.2.3に示す。植物についてもものではないが、周波数に対する電波の人体内透過深さの例を図8.2.4に示す。同じく人体の場合であるが、生体の電気波動特性の例を図8.2.5に示す。

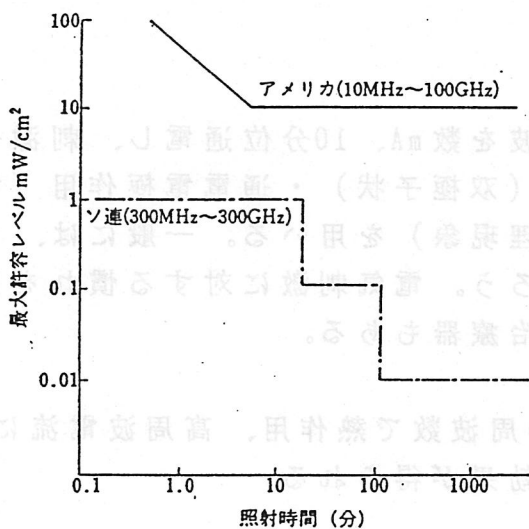


図 8.2.3 ANSI' 66基準とソ連(1958)基準：アメリカとソ連では10~1000倍の差がある。

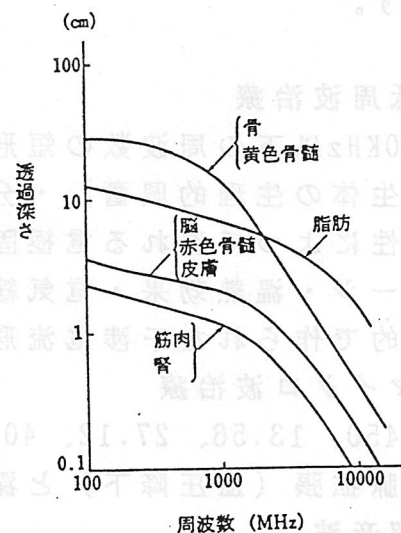


図 8.2.4 代表的組織での周波数と電波透過深さ(センチ)。

佐久間、放射線、電子通信学会  
vol.55.1972.11.P.1437

項目	代表値	周波数幅[Hz]
心電図*	2mV	0.05~80
血圧	120mmHg	DC-20
血流	1000cc/分	DC-50
血量	5500cc	
脈波		0.05~80
脈拍数	70回/分	
呼吸運動	500cc/分	0.05~2
呼吸気流	20000cc/分	DC-2
脳波*	50μV	0.5~100
誘発脳波	50μV	0.5~100
網膜電図*	150μV	0.05~20
筋力	6~10kg/cm <sup>2</sup>	DC-50
筋電図*	1mV	10~5000
神経伝導速度	0.6~120m/秒	10~5000
平滑筋電位(胃)	20mV	0.05~2
精神性発汗	50kΩ	0.05~2

\*皮膚電極による

図 8.2.5 生体の電気波動特性 (生体波動の周波数)

「通信工学ハンドブック」電気通信学会編、オーム社、1979、P.1726

これらの人体に対する治療や療法として、周波数特性を用いた例を下記に示す。

#### (1) 低周波治療

20KHz以下の周波数の短形状の脈波を数mA、10分位通電し、刺激作用(生体の生理的興奮)・分極作用(双極子状)・通電電極作用(電流極性によって現れる電極固有の生理現象)を用いる。一般には、マッサージ・温熱効果・電気緩和であろう。電気刺激に対する慣れを防ぐ目的で作られた干渉電流形低周波治療器もある。

#### (2) マイクロ波治療

2.450、13.56、27.12、40.68MHzの周波数で熱作用、高周波電流による静脈拡張(血圧降下)と深部温度効果が得られる。

#### (3) 超音波

16KHz以上の周波数、3~5W/cm<sup>2</sup>の強度、3~4分間で行う。

#### (4) 光線療法

a. 赤外線療法 760~6000nm、温熱効果に期待する。

b. 遠赤外線療法 4000nm~400μ、皮膚表面への吸収による温熱効果

c. 紫外線療法 260~320nm、殺菌、ビタミンD生成とその蓄積作用  
白血球の増殖、免疫体の形成、新陳代謝の促進

以上は、人体や動物に対する研究成果であるが、植物細胞も同様な電解質であることから、照射効果は得られるものと考えられる。その他には、細胞膜での境界条件による事象が相加わるものと推測する。

## 8. 3 音

音波に対する現象としては、人間では音楽療法が実用化されているように、植物に関しても、同様な効果を期待できる。物理的には、空気振動の波形が植物生体に与えることの効果と考える。植物にはその姿から固有のものがあるので、昼夜、季節に応じた風効果のリズムが成育に関係すると推測される。

## 8. 4 紫外線

照明学会では、毎年学会誌の第8号を照明年報として、その前年における放射関連の進歩発達事項を特集している。

その中の「生物への放射応用」については、1990、1991の2年間に194篇の研究、試験の文献が引用されているが、そのうちUVに関連するものとして15篇の文献が紹介されている。この15篇の内訳は、(1)ニワトリ、ドジョウ、エゾアワビ、コンブの育種に関するもの…5篇、(2)作物に対するUVの影響(+と-)…4篇、(3)オオムギやキュウリの病菌防除…2篇、(4)誘蛾灯に関するもの2篇、(5)11種類の花の色素発現に対するUV利用…1篇、(6)スケソウダラねり製品の弾力性増強…1篇であり、多方面にわたる示唆に富んだ報告がある。

### 8. 4. 1 UVの農作物への影響

成層圏オゾン層の破壊によって地表に到達するUVが増加し、作物に影響を与えることが懸念されていることは前期したが、オゾンの紫外部における吸光係数は短波長部では高く長波長部では低いため、オゾン層の減少によるUVの影響はUV-Bが問題であると考えられている。

UV-Bの植物への影響については、Krupa、Kickertら(1989)によって多種類の作物、野菜、花などの乾物重、葉面積、光合成に対するマイナス、ゼロ、プラス効果に関し多数の文献がまとめられ報告されているが、Tera-muraは、野菜など22種類を対象に野外で行ったUV-B照射実験の結果を表8.4.1のようにとりまとめている。

これを見るといくつかの実験ではプラス効果も見られているが、最近放射線においても小量ならばむしろ生物に対して良い効果を与えるという事例が報告され、放射線ホルミシス効果として注目されている。

植物の成育に及ぼす太陽からのUV-A、UV-A波長域についての「UVの波長域は植物の成育に対して、悪玉より善玉を演じ且つ必須要因である」との手塚らの研究もあり、なお今後の成果が期待されるところである。

表 8.4.1 UV-B 照射実験結果

作物名	Amblerら 1978 (1)	Bartholicら 1975 (2)	Becwarら 1978 (3)	Biggs and Kassuth 1978 (4)	Biggsら 1984 (4)	Eisenstarkら 1984 (4)	Esser 1980 (5)	Hartら 1975 (1)	Teramura 1981 (4)	Teramura 1982 (4)	Teramura 1983(1)
クリカボチャ	0			-14--90							
セイヨウカボチャ	0	+12--+15					-53--73				
インゲンマメ	0				-5						
コムギ	0	+29--+39		0	0	-79--87					
トウモロコシ	0						-11--56	0			
ハウレンソウ	0										
ソルガム	0										
トウガラシ	0			0				-(?)	0	0	0
ダイズ	0							-8			
ギョウギシバ	0										
フダンソウ	0										
キャベツ							+19--49				
ハナヤサイ	-24--45										
トマト		-5--26		-11--39				0			
タバコ								0			
ダイコン			0					0			
チカラシバ			0	0				0			
ジャガイモ				0							
カラシナ				-9--43							
サナゲ				-18--38							
イネ					0						
ラッカセイ				0				0			

注) 表中のそれぞれの数値は対照区に対する変化パーセントを表す。

- (1) Westinghouse社のBZS-CLGとFS-40の健康線灯でフィルターの装着なし
- (2) 自然光にUVカットフィルターとしてMylar Tape Sあるいはポリエチレンを使用
- (3) 自然光にUVカットフィルターとしてセルロースアセテート、Aclar、Mylarのフィルターを使用
- (4) セルロースアセテートあるいはMylarのフィルターを装着したWestinghouse社のFS-40で照射
- (5) フィルターを装着していないPhilipsのTL40 12の健康線灯照射とSchott WG305(2と3nm)のフィルターを装着した健康灯照射

#### 8. 4. 2 果実などの着色

ブドウには、甲州やグローコールマンのような直光着色品種とデラウエアやベリーAのように散光着色品種があり、直光着色品種では紫外放射の有無が着色に大きく影響する。

また、リンゴの着色は品種間差異が大きく、“ふじ”、“つがる”はスターキングや紅玉に比べ着色不良が問題になることが多い。荒川は9品種のリンゴを用い、開花約1カ月後に袋かけしたもの、しないものを供試し、収穫後15℃の恒温室で白色蛍光ランプおよびそれに紫外線蛍光ランプを加えた光を96時間照射しアントシアニン含有量を測定した。その結果、有袋、無袋の別なく、紫外放射の混合光区でアントシアニンの生成が著しく大きいことを認めた。またその効果は“つがる”や“むつ”で大きかった。

さらに、榊原、木村、向坂らは、イチヂクを対象に、ハウス内照度が3000 lxを下回った時照明し、着色を調べた。その結果、特に300~400nmに主波長をもつ複写用蛍光ランプ区および500~700nmに主波長を有する3波長域発光型蛍光ランプ区にアントシアニン含量が多かった。

被覆栽培が多くなっている果実の栽培にあたって、光は大きな問題と思われるが、最近、回転式補光システムによるブドウ、オウトウ、モモに対する着色成育促進試験やブドウの二期作への補光などの試験が行われ、それぞれ良好な成果をとげているが、果樹に対する人工光源の利用が期待される。

## 9. おわりに

以上第8章までのところで、3年間にわたり活動を行ってきた「光放射と植物成育に関する研究調査委員会」の成果についてまとめてきた。

良く知られているように、光（光放射）は地球上における環境要素の中の最も重要なものとして、人類の出現以来、人間の生活と深くかゝわってきている。ところで、これも既に良く知られているように、光はエネルギー伝達の様態のひとつであり、したがって光はエネルギーである。光がエネルギーであれば、そのエネルギーの質・量の度合いに応じて種々の作用や効果を及ぼす効力を持っていることは当然であり、人間環境の要素として設計をする場合に、照明本来の機能や目的である光環境形成や視作業支援以外の作用や効果を及ぼす効力（その効力は当然光環境形成や視作業支援の機能と不可分的に発生する訳であるが）についても目を向けておく必要があることはいうまでもない。この光エネルギーの効力の中で、人間を含めた生物生態系に及ぼす作用や効果は、こゝまでに述べてきたように、最近の環境問題と関連して特に重要であると考えられる。

即ち、人間の環境における視作業支援だけを重視する余り、人間を含めた生物生態系への作用についても決してないがしろにすることは出来ない。以上の研究成果が、光（光放射）はエネルギーであり、視環境だけに注目している状況ではあっても、そこには必ず不可分的に生物生態系への作用が伴っていることを認識するための一助となり、生物生態系を含めて良い環境を創造し、結果として人類が快適な生活を送るために活用されることを願っている。

## 10. 参考資料

### 10.1 「植物成育」のテクニカルタームについて

文化庁では、昭和45年から国語審議会建議「国語の教育の振興について」の趣旨に基づき、「ことば」シリーズを刊行し、平成3年度もシリーズ37「言葉に関する問答集18」を刊行した。この中に「生育と成育」の使い分けの記述があり、20数種の国語辞典、漢和辞典を調べたところ「生育」と「成育」を完全な同一語と見る辞書は一つもなかった。つぎに新聞界では、「朝日新聞の用語の手引き」（平成二年）、日本新聞協会の「新聞用語集」（昭和56年）、「毎日新聞用語集」（平成元年）では主として植物に「生育」、主として動物に「成育」を用いているが、共同通信社では平成元年から動植物いずれも「成育」を用いるようにした。また、「読売新聞用字用語辞典」（平成2年）では、「子供の成育」など一般用語として「成育」を用い、「稲の生育」など動植物学の学術用語として「生育」を用いた。また、学術用語集「植物学編」、「動物学編」、「海洋学編」には動植物ともに「生育」を使って「成育」の言葉がなく、以上を要するに、「生育」と「成育」は別語であるがその使い分けは難しく、動物学、植物学の術語として用いる場合は別として、一般に発達と言う意味で用いる場合は「成育」のほうが無難であろうとしている。

学会等用語集	成育	成長	生育	生長	発育	分化
広辞苑 (1973)	そだつこと。 成長すること	育って大きくなる こと。育って成熟 すること。	生まれそだつ。また、生まれたも のをそだてること。	うまれ育つこと。俗には発育と 同じ意味で用いるが、生物学的 には生体の量の増加を指し、形 態形成あるいは形態変化に対し ていう。	そだつこと。発生成育する こと。成長。	均質のものが異質のも のに分かれること。 発生の過程で、形態的 ・機能的に特異化が進 行し、異なる部分に 分かれること。
文語 学術用語集 植物編 (1976 21版)	なし	なし	なし	growth	なし	differenti ation
文語 学術用語集 動物学編 (14版1969)	なし	growth	なし	なし	なし	なし
文語 学術用語集 農学編 (初版1986)	なし	growth, g. and d.	growth and devel opment	なし	development	differenti ation
科学技術英表現辞典 (1970)	なし	growth	なし	なし	なし	differenti ation
農林水産用語対訳辞典 (1992)	なし	なし	(1)growth and de velopment (2)growthの両方。	growth	development	differenti ation
英中日 農業科学技術用語集 (1983)	なし	なし	なし	growth	development	defferenti ation

## 注)

ただし現在文部省関係の教科書ほか、また植物学会、動物学会等主要な学会では「成育」、「成長」に統一されている。学術用語集が遅れているだけである。

学会等用語集	成育	成長	生育	生長	發育	分化
生態学辞典 沼田 真 編 (1版1974)	なし	成長曲線growth curve ほか成長解析、成長点、成長量などすべて	生育期間growing period、生育地habitatの例	なし	發育段階developmental stageとは動物の成長の過程でみられる生活様式や体の急激な質的变化。連続成長をする動物も生涯に数段階に区別できる。	なし
岩波生物学辞典 (3版1983)	なし	成長と生長の両方	生育期間growing periodの例	成長と昇華。	發育因子growth factorは成長因子ともいう。 發育段階developmental stage生物の發育過程の区分でとくに形態・生理・生態などが質的に異なるものをいう。	defferentiation 一般的に(1)一つの系が二つ以上の相互に質的に区別できる部域または部分に分れていく状態。(2)一つの比較的単純で同質的な系が二つ以上の質的に異なった部域または部分に分離する過程。(3)発生(胚体発生・系統発生)しつつある一つの系の中で形態的・機能的に特殊化が進行し、特異性が確立される過程。
園芸事典 (松本正雄他編;1版1989)	なし	一般に生体における不可逆的な量的増加を示す概念である。以前は動物では成長、植物では生長と区別されてきた。しかし最近では徐々に成長に統一されつつある。	growth and development 一般には植物の生活過程または生活の状態を指して用いられる。生育は広義の生長と同義である。	一般に生体における不可逆的な量的増加を示す概念である。以前は動物では成長、植物では生長と区別されてきた。しかし最近では徐々に成長に統一されつつある。	development 生物が時間軸に沿って量的・質的に発達し育つこと。発生(development)も同じ意味があるが従来は形態的発達を指して用いられることが多かった。これに対して发育は生理・生化学的な発達も含めて用いられてきた。しかし最近では同じ意味で用いられることも多い。	なし
花き園芸の事典 (河部定夫他編;1版1986)	なし	なし	growth and differentiation 形態形成における形の量的な増大、増加のこと。細胞集団や組織レベルでは同質細胞の増量、増加をいい、器官レベルでは同質組織の、個体レベルでは同質器官の増量、増加による容積増大のこと。	growth 形態形成における形の量的な増大、増加のこと。細胞集団や組織レベルでは同質細胞の増量、増加をいい、器官レベルでは同質器官の増量、増加による容積増大のこと。	development 生長、发育、生育の語は人によってかなり異なる意味で用いられていて統一した見解はない。…園には「生長と发育」のように植物体の量的増大としての生長に対して、開花や球根形成、休眠のような質的变化を伴う現象を发育とし、併せて生育としている。	differentiation 生育の過程で、それまでにない形態や機能を伴う増殖、増大するものを生長と区別する。

学会等用語集	成育	成長	生育	生長	発育	分化
作物学用語集 (1971)	なし	なし	(1)growth (2)growth and developmentの両方	growth	development	differentiation
畜育種学用語集 (改訂版1988)	なし	生長と( )記 で併記 (growth)	生育習性growth habit 、生育期間growing period の熟語としては使用	growth merisis(細胞分裂による)	development, growthの両方。	differentiation
園芸学用語集 (第3版1990)	なし	なし	growth and development	growth	development	differentiation
造園学用語集 (1版1979)	なし	なし	なし	なし	なし	なし
農業気象用語解説集 (1版1986)	なし	なし	なし	growth 生物体が重量や大きさを増大させることをいうが、植物と動物では、外観からみても形態、形成のしかたが異なっている。 植物(とくに作物)では栄養生長と生殖生長にわかれている	development 植物体のあるいは大きさの増加するのを生長といい、発育は質的な形態変化を意味し、温度・日長等の環境要因によって発育相をつぎに経て行く過程をいう	なし
土壤肥料用語集 日本土壤肥料学会編 (1版1983)	なし	なし	growth developmentの両方。	growth	なし	defferentiation
応用動物学・応用昆虫学 学術用語集(2版1982)	なし	なし	なし	なし 生長曲線、生長阻害物質の例	なし 発育零点、発育速度の例	differentiation

表1 「農業気象」に用いられた各用語の集計

学会誌 年月	論文等* 合計数	生育	成育	生長	成長
91.3	8	5	0	3	0
91.6	6	5	0	1	0
91.9	5	2	0	2	0
91.12	6	3	0	1	0
92.3	5	4	0	1	0
92.6	11	7	0	5	0
92.9	8	4	0	1	2
92.12	8	2	0	3	0
合計	57	32	0	17	2
割合	100%	56.1%	0%	29.8%	3.5%

\*論文等とは、論文、要報、総説、資料、講座、小講座を示す。

表2 「生物環境調節」に用いられた各用語の集計

学会誌 年月	論文等* 合計数	生育	成育	生長	成長
91.3	8	5	0	2	0
91.6	5	3	2	1	1
91.9	6	5	0	5	0
91.12	5	2	0	3	0
92.3	7	3	1	2	2
92.6	6	3	0	3	0
92.9	6	3	1	2	1
92.12	9	3	0	4	1
合計	52	27	4	22	5
割合	100%	51.9%	7.7%	42.3%	9.6%

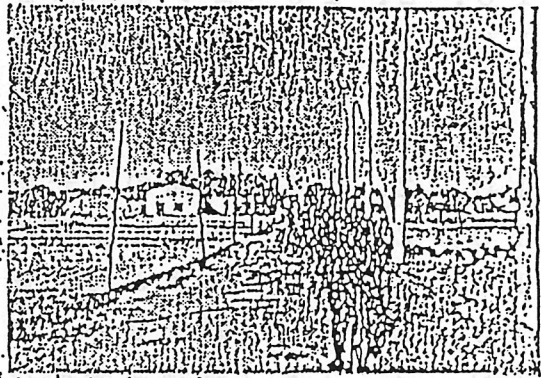
\*論文等とは、原著、総説、紹介・解説、資料、学会賞受賞記念講演要旨を示す。

10. 2 「新聞記事そのまま」

- 10. 2. 1 「防犯灯で安全通学」 (埼玉新聞)
- 10. 2. 2 「やさしい植物学、短日・長日植物」 (読売新聞)
- 10. 2. 3 「水銀灯」に補償要求 (毎日新聞)
- 10. 2. 4 「立冬の桜」 (産経新聞)
- 10. 2. 5 「合掌造りにライトアップ」 (日本農業新聞)
- 10. 2. 6 「桃畑ライトアップ」 (山梨日日新聞)
- 10. 2. 7 「こじれがち「光害」問題」 (日本経済新聞)
- 10. 2. 8 「病んだオフィス・怖い空気汚染の害」 (日本経済新聞)
- 10. 2. 9 「オフィス去りゆく観葉植物」 (日本経済新聞)
- 10. 2. 10 「オフィスに香りを」 (朝日新聞)
- 10. 2. 11 「夜の新名所寂しく」 (朝日新聞)
- 10. 2. 12 「ライトアップ本当に必要か」 (朝日新聞)
- 10. 2. 13 「ライトアップで新名所続々」 (朝日新聞)
- 10. 2. 14 「夜間の「光害」が心配」 (朝日新聞)
- 10. 2. 15 「まぶしすぎる駐車場の街灯」 (朝日新聞)
- 10. 2. 16 「オラこんな夜イヤダー、街路灯“光害”」 (朝日新聞)
- 10. 2. 17 「眠れないキク」 (朝日新聞大阪)
- 10. 2. 18 「植物も季節を失った!？」 (朝日新聞大阪)
- 10. 2. 19 「なにわの緑化せめて橋脚に」 (朝日新聞大阪)
- 10. 2. 20 「工事現場そのまんまアート」 (朝日新聞)
- 10. 2. 21 「イネの生育に照明が悪影響」 (朝日新聞)

# 防犯灯で安全通学

羽生 女子高生の声受け東電が設置



防犯灯が設置された不動岡女子高から、  
南羽生駅までの市道

県立不動岡女子高校の通学路に東京電力行田営業所(石井健児所長)の手で街路灯が完備され、十九日夜から点灯された。これは同営業所が秋のありがとうと、さいま羽生に羽生市に防犯灯を寄贈した際、三木兼吉市長から「同女子校の通学路に防犯灯を完備してほしい」という依頼を受け実施した。同校ではクラブ活動で生徒の帰宅が遅れた場合など通学路が暗くて危険、といっ

た声が生徒から上がった。通学路は、田んぼの真ん中を通っており、ほとんど真暗な状態だった。防犯灯が完備されたのは、羽生市神戸の同女子校正門から東武線南羽生駅までの市道約二、九日から十事が始まり、十八日に終了。電柱が増設され、南羽生駅までの電灯が完備された。今後、生徒らは明るい道を帰宅することができる。

# やさしい植物学

日が短くなった。これから冬まで回って来たまた短くなる。

明るい昼の時間と、暗い夜の時間が十一時間ずつ同じなのが、春と秋のお彼岸。日本ではこれを境に約二分間ずつ日が長くなったり短くなったりする。

十二月末の冬至は昼が九時間余、夜が約十五時間と短日の最高となる。クリスマス、ポインセチア、ポインセチアが赤く色づくのはこのころである。

## 短日・長日植物

ポインセチアが赤く色づくのはこのころである。ポインセチアが赤く色づくのはこのころである。ポインセチアが赤く色づくのはこのころである。

### 花が咲く時期によって区別

#### 光を調節してずらすことも

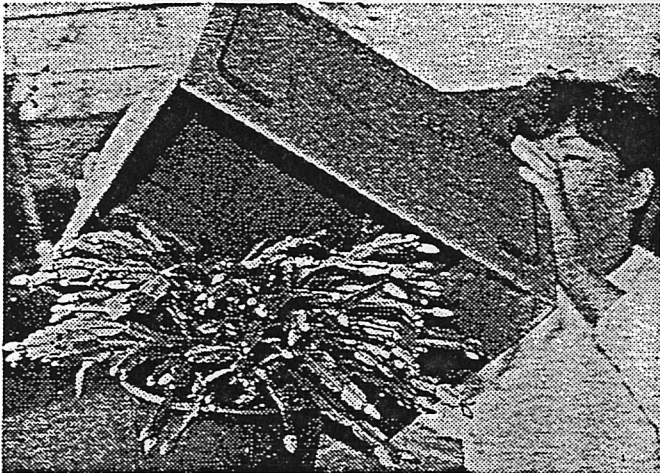
くきく、コスモス、ハマギク、アサガオ、ダリア、ポインセチア、シャコバサボテンなどを短日植物という。夏から秋にかけて花の咲くものが多い。

これは人工的に光の調節をすることで、短日処理を繰り返す。

夜が十五時間になり、いまでも花が咲く条件が整う。花が咲くには温度が二十度以上必要。だから九月月上旬が花を咲かせるところあいの時期といえる。

短日植物にも変わった野草がある。キク科で虫前撮り植物といわれているオナモミがそれ。夜が長いほど花がよく咲くのが通例だが、オナモミは逆だ。例外的に昼が十五時間以上、夜が九時間以上なら花が咲いてしまう。

短日の反対は長日だが、日が長くなるといへんシースンに花が咲くグループを長日植物という。キンギョソウ、ダイコン、ホウレンソウ、エンドウ、ネギなど春に花の咲くものが多い。



シャコバサボテンをダンボールで覆い短日処理をする

電灯などの人工照明を使って昼を長くすることを長日処理という。園芸的に、キクの電照栽培は有名で、愛知県の高知県のヒールハウスなどの夜景はみごと。

家庭や駅前広場などの花壇で、マリコーポールの花が咲かないとよく聞く。調べてみると、街灯の蛍光灯が原因だった。都市の花たちは、人為的な明るさの条件に左右されて咲いていく。

### 園芸肥料はやっぱりハイポネックス

園芸肥料はやっぱりハイポネックス。シャコバサボテンの花がなかなか咲かないなどの苦情も似たようなことが多々ある。暗室は暗い部屋で日が短くなるが、ポインセチアやシャコバサボテンは、短日をわが世の春と謳歌したい。心が明るくなるし、自然の摂理を感じてほしい。

(園芸研究家・川上幸男)

毎日 1992.5.13

# 「水銀灯」に補償要求

## 「山田錦」産地・三木市の農家

交通事故防止実っても

# イネが実らん

日本酒の醸造米「山田錦」(ことば欄参照)の全国一の産地・兵庫県三木市で、夜間の事故防止のため市が設置した水銀

灯をめぐって、周辺農家が田植えシーズン前夜に、「夜通し水銀灯がついているとイネが実らない。点灯するなら収穫減



農家が夜間点灯中止を求めている水銀灯。兵庫県三木市別所町西道田で。

の根拠。同様の訴えは全国の都市周辺の水田地帯で続発しているという。

水銀灯の消灯を申し入れたのは三木市別所町西道田の市道交差点周辺の農家。関係者によると、現場は見通しが良くスピードを出しやすいため夜間の事故が以前から多く、水銀灯設置前の九〇年度には乗用車が水田に飛び込むなど四件の事故があり、七人がけがをした。三木署は道路管理者の市と協議、市は昨年十一月に二百五十ワツの水銀灯を設置、日没から夜明けまで点灯している。

ところが、周辺農家は「一晩中、水銀灯がついていると、イネにとつて昼夜が区別できず穂が出てもセミが実を結ばない不稔実という現象が起きる」として収穫高の減少分の補償を求めた。

不稔実現象は全国で問題化。和歌山県那賀郡の県農業試験場が今年発表した調査によると、四〇ワツの水銀灯を地上二ワツに設置して夜間照明した場合、コシヒカリの出穂は水銀灯を設置した地点から半径七ワツ、照度三ワツ以上の範囲内で遅れる。

これに対し三木市土木課は農家の主張を受け入れ、点灯を中止したい方針だが、三木署は引き続き、夜間照明継続を求めており、市は板ばさみに困惑気味。



満開の桜に出会った。2日にオープンした大阪・キタの「ちゃやまちアプローズ」。吹き抜けのショッピング街に、ソメイヨシノが9本。コート姿の若いOLは花びらに顔を寄せ、枝に触れ、本物であることに気づいて戸惑いの笑みをもらす。見慣れた花が、驚くほど新鮮に感じる。季節を忘れて立ち止まり、われに戻ると、きょう7日は「立冬」。

## 立冬の桜

3年前から計画し、オープンに合わせて開花を調節したという。本来、桜の花芽は夏にでき、冬の眠りから目覚めたあと、気温の変化を確実に感じとって、一種のホルモンの作用で開花する。その自然の繊細な営みを、温度や湿度、陽光ランプの時間などをコンピューター制御することによって操作した。ソメイヨシノは園芸会社の大きな冷蔵庫の中で出番を待っていた。

フラワーショップには、四季にかかわりなく、温室栽培のバラ、カーネーション、洋ランなどが咲きそろそろ。人はないものねだりで季節を壊し、そして都会に季節感がなくなると嘆く。ちょっとデータを調べてみた。大阪では立冬のころの最高気温は、お花見シーズンの4月上旬とほとんど同じだ。満開のソメイヨシノはそれなりに帳じりを合わせている。

仕掛けのある風景

CITY歳時記

# ニュース写真の部



一位

【合掌造りにライトアップ】(カラー)

岐阜県高山市松之木町

平野 清通

## 審査評

第17回読者の写真コンテストも最終回を迎えました。数多くの応募ありがとうございました。四月から引き続き実施しますので引き続きお願いします。

「ニュース写真の部」第一位は「合掌造りにライトアップ」。雪の積もったかやぶの屋根が、暗さの中に浮かび幻想的な作品となりました。岐阜県白川郷の合掌造りの夜間照明は、昨年までは二、三軒で行われただけでしたが、今年は集落全体がライトアップされました。昼間の光景とは異なると、合掌造りの家屋が一味も二味も違う雰囲気をかもしだしています。



# 桃畑ライトアップ

## 一宮町が観光PR作戦

国道20号は  
夜の花見街道

山梨日日新聞

H4.4.5(B)

東八代郡一宮町は、日本一の桃の里をPRするため十日(土)まで、同町東原の国道20号(勝沼バイパス)下り線の桃の花をライトアップして

いる。約三キロの区間に白色灯十五基を設置。毎日午後七時から十時までライトアップし町のイメージアップと桃の消費拡大を目指している。花は八分咲きで、今が見ごろ。照明に映し出された光景は幻想的で、昼とは違った雰囲気を出している。

五日から、桃の里花まつりが始まり、観光客がごった返り出。同町には約四百五十枚、二十万本が栽培されており、花が咲き乱れる中、恒例のマラソンや花見会などの行事は行事が繰り広げられる。満開は十日前後の見通し。

ライトアップでくつきりと浮かび上がった桃の花。新しい観光名物としてドライバーの人気を集め始めている。 Ⅱ東八代郡一宮町東原



# 鍾乳洞の風化進む

## 照明光や熱でコケやカビ

地味な水が石灰質を溶かして生じた鍾乳洞。その形成は百年から一千年にわたる。最近、年月が経つにつれて、鍾乳洞が人々を驚かすほどの風化が進んでいる。近年、一般公開された鍾乳洞では、照明光や熱で鍾乳洞の内部が乾燥し、風化が進んでいる。全国六カ所の鍾乳洞の管理者など代表が、毎年開閉する「洞穴サマシ」のシンポジウムで報告した。このシンポジウムは、鍾乳洞の風化を抑制する。また、秋吉科学博物館(山口県)の研究で、明るさを十五分程度に下げ、湿度を調整する必要があることがわかった。

各地の鍾乳洞で、照明を最小限に抑えるのは、定期的な照明の位置を調整する。人が通る場所には、照明の強度を調整する。約五秒間、照明を消す。一々の天井

また、秋吉洞(山口県)油縄(県)おまへ(洞)福島県(洞)の風化を防ぐため、湿度を二重に調整する。また、秋吉洞(山口県)油縄(洞)おまへ(洞)福島県(洞)の風化を防ぐため、湿度を二重に調整する。また、秋吉洞(山口県)油縄(洞)おまへ(洞)福島県(洞)の風化を防ぐため、湿度を二重に調整する。

また、秋吉洞(山口県)油縄(洞)おまへ(洞)福島県(洞)の風化を防ぐため、湿度を二重に調整する。また、秋吉洞(山口県)油縄(洞)おまへ(洞)福島県(洞)の風化を防ぐため、湿度を二重に調整する。

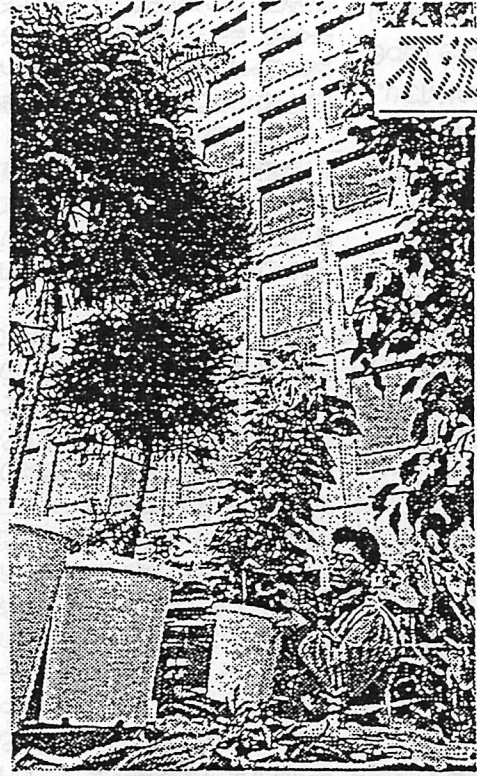


# オフィス去りゆく観葉植物

## ピークの2、3割減

### 効能認めても経費削減優先

不況の長期化とともにオフィスも砂漠化している。――企業のオフィスに取り入れられてきた観葉植物が最近、次々と撤去されている。すべにでもうけつながらないリース料などが真っ先に経費削減の対象となっているため、中には応接室なども抜き、スペースのものを減らす例も。ストレス解消や知的生産性向上といった効能も自らのイチオチ手運動にはすくなく色あせた形だ。



日本航空は、ノーマルや国際電話の節約といった経費削減の一環として植物のリース数を見直した。東京地区の事業所など、

九一年に大小合わせて四百四十年間、千鉢余りも減った。「お客様に不快感を与えないよう接客カウンターなどはそのまま、外部の人の出入りのあまりない総務部、営業部といったセクションを中心に削減した」という。

現在積極的に経営見直し策を進める日本アイ・ピー・エム（東京都港区）も事情は同じ。九一年一月には観葉植物を置く場合の基準を徹底するよう各部署に通達を出した。その結果、弊のオフィスの観葉植物を入れ替えるリース業者（東京九段南）で

ないスペースも経費はそのままだが、これまで事業本部長クラスの部屋にあってあったものをなくすなどして、聞き、している。「観葉植物を置いても仕事上の見返りは少なく、むしろ況山盛っていた今までがせいじく過ぎた」（同社広報）と指摘している。

西村用兵衛（大阪府吹田）では、昨年専らから本社内に四百十本あった観葉植物を百本に減らした。オフィスの内、パーテーション間仕切りの換気扇に伴い、経費見直しで不要な物品を減らすというもので、なかには緑が減ると威風凛々だと、自分で鉢植えの植物を所持する女子社員も増えたという。

こうしたなか、貸し植木業者も強弱をうけており、全国の六百四十四の業者が加盟する社団法人日本インドア

グリーン協会によると、オフィス向けの観葉植物リースの売り上げが落ちたのは昨年の九月ごろから。「統計をとっている訳ではないが、首都圏でみるとオフィス向けのリースは不況業種といわれるコンビニエンス、証券などを中心に、前年比二〇―三〇％は落ちているのではないかとみる。

企業約二千社に観葉植物をリースする「珍珍園」（大阪市福島区）でもキャンセル数の削減を求める企業が相次ぎ、九一年の売り上げはピーク時の二割減の状況。「外部の人の目につきやすい場所以外では減らさなければいけない」という企業が多い。中で働く社員にストレス解消に緑は大切なのだが……と頭を抱える。

大阪大学長で経営評論家の野田一夫さんは「情報化社会が高圧化する中、企業はもっと知的生産性を高めるいかなければならず、その意味でもオフィスの環境整備は不可欠。だがこれまでの企業の取り組みは、自社にとって何が必要なのか、といった明確な理念を欠いたまま進められた。その結果がこうしてどうにも現れているのではないかと話している。



# 夜の新名所寂しく

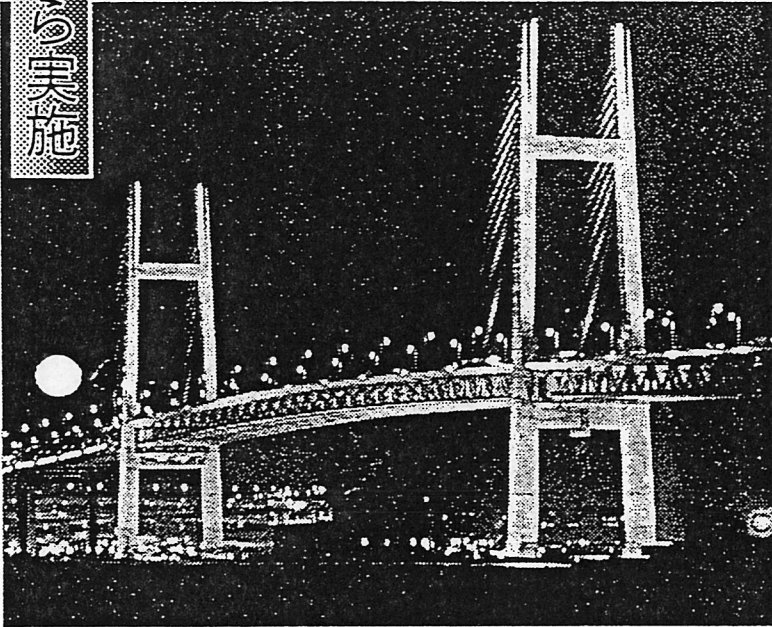
湾岸戦争

ベイブリッジなど点灯自粛

民間にも呼びかけ

省エネ「室温下げ協力を」

横浜市の二十日、湾岸戦争の影響で省エネ対策として、横浜スタジアムや横浜美術館など、同市の主要施設で実施されている夜間のライトアップを二十日から半分の時間照明も減らし、おぼえた。また、同市は、ライトアップを実施しているベイブリッジなど、市内の民間施設にも自発の協力を要請するほか、市民にも、夜の照明を二〇％程度減らすように呼びかけている。



今夕から実施

湾岸戦争の影響で22日から当分の間ライトアップが見られなくなる横浜ベイブリッジ

同市のライトアップ自発対策は、ベイブリッジと大倉山記念館、大佛次郎記念館、エリスマン邸、横浜美術館、横浜シーボルトタワー、大橋橋の七施設を中止の同市開港記念会館、横浜開港資料館、横浜入形の家、三浦邸を午後九時までに一時短縮の横浜海岸教会や日本郵船横浜ビル、マリナータワーなど、自発を要請する一〇の三施設、中でもベイブリッジは、毎年八月の湾岸危機以来、湾岸戦争が一時的短縮されたが、全く見られなくなるのは一昨年からの供用開始以来初めて。ライトアップは完成以来、横浜の新しい観光スポットとして県内外から、屋台だけでなく、その夜景を見に来る多くの人が集まってきた。ただ、これに、寂しくなった。そのためか、西秀市長も「湾岸戦争が真の暗になってしまっている。考えものなので、戦争が原因とな場合は照明を半分にして、開するなどの対策をとりたい」といふ。また県庁と県立博物館が

一昨年のライトアップは、約二〇％減らした。市民に呼びかけた省エネの協力も、日曜夜を二〇％減らすという「省エネ」の呼びかけも、市民の協力を呼びかけた。また、十七日に同市が発表した同市市民生活部開港記念会館対策本部（本部長 西秀市長）は、湾岸戦争の影響による電気値上げ懸念のため、これまで月一回だった小規模価格調査を月一回に増やす方針を決めた。毎月二十五日だった住宅関連物資の価格調査の公表を新たに毎月十日も加える。さらに西秀市長は、新年早々に予算化を検討して来たものの中で、省エネを理由で先送りしたものが数件あることを明らかにした。

# 「声」ライトアップ本当に必要か

埼玉県 三品 法業

(主婦 28歳)

横浜駅近くのビル建築に使われているタワークレーンを金色に飾り、約二百八十個の電球とサーチライトをつけ、毎晩深夜まで点灯させる「光のパフォーマンス」が行われているそうです。最近このようなライトアップが、あちこちで盛んですが、関係者は「光害にひいては存じないのでしようか。」

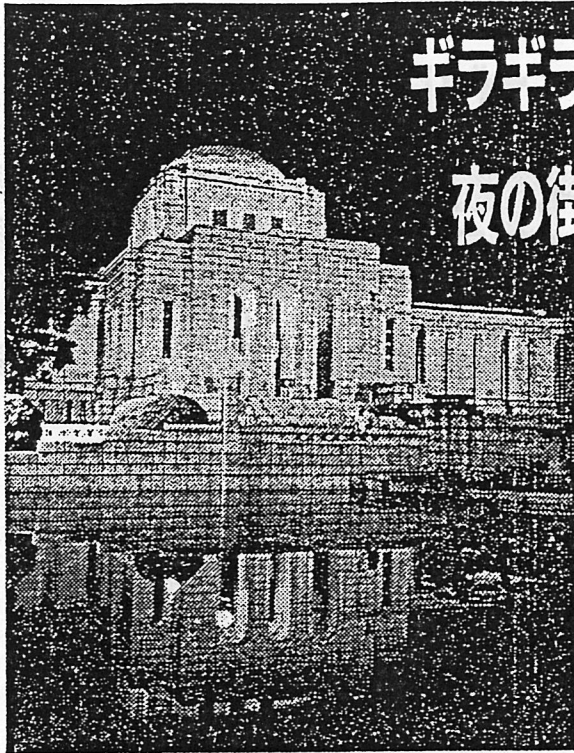
本来「闇」(み)「であるはずの夜をあかかと照らすと、繁華街の草花は深夜になっても花弁を閉じないことがあるといわれます。闇に包まれて眠り、闇を求めて活動する動物たちの生態系にも大きな影響を与えると願います。カーテンを

## ライトアップ 本当に必要か

閉じてでも部屋が暗くならずに安眠できない人も多くいるのです。大気汚染もあって、都市部の夜空では、きれいな星を見つげることができません。大量のエネルギーを放出しながら金色に光るクレセント、夜空にまたたく星々と、どちろを美しいと感じるかは人それぞれだと思えます。しかし、人間のおどりやエゴイスムから生まれた「都市の美観」はそんなに価値があるものでしょうか。日本「光害」に対する認識は、大変、甘いと思えます。

ライトアップ関係者の皆さん、深夜の光が本当に必要なのか、調査と再考をお願いします。

# ライトアップで新名所続々



## キラキラからほんのりへ 夜の街のおしゃれな衣装

夜の街にライトアップを施した建物や橋が増えてきた。昔風に加え、「夜間景観照明」だが、現代人が好むのは、その場に合せて綿密にデザインされた「おしゃれな光」。省エネモードを背景にキラキラからほんのりへ――これが主流のようだ。

東京の場合、本格的なライトアップが出だしたのは、この一、二年。都市に無秩序な光があふれる中で、一昨年、

### 女性に人気高いが…

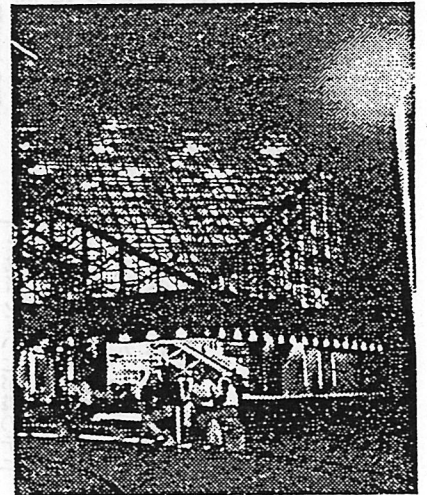
民間のビルも増えている。ライトアップの元祖はパリで、「安全と平和のシンボル」として一九二〇年ごろ始まった。もともと日本には夜桜見物や雪見の習慣があり、ほのかで美しい陰影をもつ明かりが好まれてきた。この市民アンケートでも女性の支持率が特に高く、男たちが飲み歩く街から女性やお年寄りも安心して楽しめる街へ変身中という感じですね。

### 「省エネ」「光害」などの問題点も

ライトアップには、当然ながら省エネ問題がからむ。昨秋の湾岸戦争開戦時、日本では、ほとんどのライトアップが中断された。戦争が終わり、再開したが、都内では以前より二時間ほど短縮している所もある。

都庁の新庁舎は、当初の点灯予定を現在「白紙に戻したまま」といい、投光設備は使われていない。理由は「第一に省エネ対策。第二に、まだ引越後の片づけなどで残業が多く、気が明るいから……」。

建設省が中心になって、国が十月四日を「都市景観の日」と定めたのが昨年。この日は各都市でシンポジウムを開き、ライトアップも含めて今後の景観美化の在り方を探る。初の試みとして都市景観大賞も発表するようだ。



省エネと経費節約でライトアップを一部休止中の東京芸術劇場  
—東京・池袋で

京都の城や橋で照明デザインし、石井幹子さんが実践した。その後、各自自治体に広まった。北は札幌や函館から南は大分や熊本まで、ほとんどの都市が取り組む。

こうしたブームの背景について、東京タワーはじめ横浜、函館などの照明計画を数多く手がけている石井さんは、こう話す。「海外旅行者が増え、外国の例を見て、自分の街の景観への関心も高まったのです。もともと日本には夜桜見物や雪見の習慣があり、ほのかで美しい陰影をもつ明かりが好まれてきた。この市民アンケートでも女性の支持率が特に高く、男たちが飲み歩く街から女性やお年寄りも安心して楽しめる街へ変身中という感じですね。

照明技術の進歩も見逃せない。「ランプの種類が増え、調光にはコンピュータを使う例もある」と話すのは、ITIヤマギワ研究所所長、鈴木智さん。自治体にとってライトアップの魅力の一つは施工費が割安で、効果がわかりやすいことだ。

「税金の無駄づかいは困る。実施すれば巨大な光害発生源

夜空に浮かぶ絵画館。隣接の球場でナイターがある日は午後10時半まで点灯  
—東京・明治神宮外苑で

## ブドウ畑の隣にゴルフ練習場 松戸

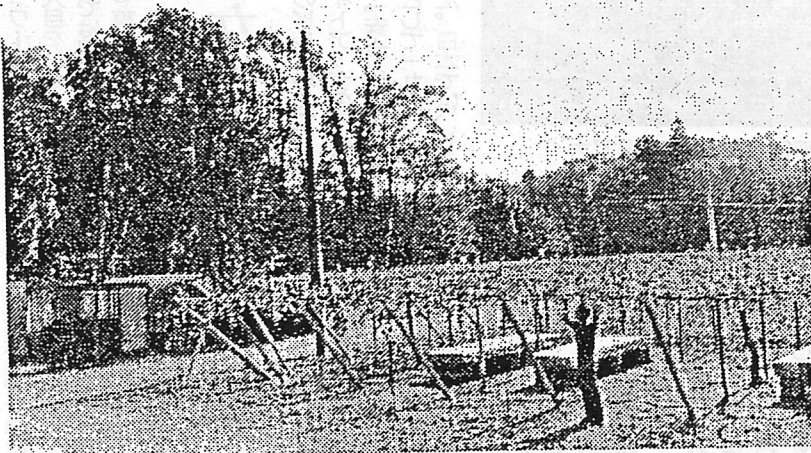
# 夜間の「光害」が心配

## 農家、計画に「待った」

松戸市内に大型のゴルフ練習場を建設する計画をめぐり、すぐ隣の農家が「夜間も営業されるとゴルフ場の照明でブドウ栽培に影響が出る」と反対している。しかし、「光害」に対するデータがなく解決の糸口が見いだせない。ゴルフブームや建築物のライトアップの流行などで、都市部の農地周辺でこうしたトラブルが出てくるのが予想されるだけに、双方がどう妥協点を見つけるか注目される。

### 影響のデータなし 解決への糸口見えず

ゴルフ練習場は、松戸市に建設される。近隣住民に金ヶ作のブドウ畑の東南側に配った説明書によると敷地



一面に広がるブドウ畑の後ろの林にゴルフ練習場の計画が持ち上がっている。松戸市金ヶ作で

面積二・七畝で、距離は百八十メートル。最高四十五メートルの支柱を数本立てて、ネットで覆う。打席は七十六。照明は打席側に二十四灯、打球が飛ぶ芝生の周りに四灯ほど備え付ける。営業時間は午前七時から午後十時まで。市内の不動産会社が建て主で、現在、市で農地転用などの手続きが行われている。

これに反対しているのは、ブドウ栽培農家の加藤孝さん(四四)。二畝の土地にブドウなどを栽培している第一種専業農家。近くのゴルフ練習場の話などから、夜間照明で害虫が集まってきたり発育不良などが起きたりするとみている。

夜間照明と作物との関係については、これまで研究機関などでも具体的なデータがない。

ブドウの産地で知られる山梨県果樹試験場は「データや実例がないので、あく

まで予想だが、夜間照明の熱や光で気温差が小さくなると実に締まりがなくなると品質が落ちたり、害虫が集まってくるのが考えられる」と説明している。

「実際に被害がでることは予想されるが、まだ光害が公害として認識されていない」とは、環境庁大気保全局。

このゴルフ練習場の工事を請け負った建設会社は「樹木などで光をさえぎり、影響が出ないよう努力するが……」と話している。

加藤さんは「近くでクリを栽培していたが隣のテニス場が夜間照明を使い出したから害虫がついて結局やめてしまった。クリより弱いブドウのほうが被害が大きいはず」と話している。

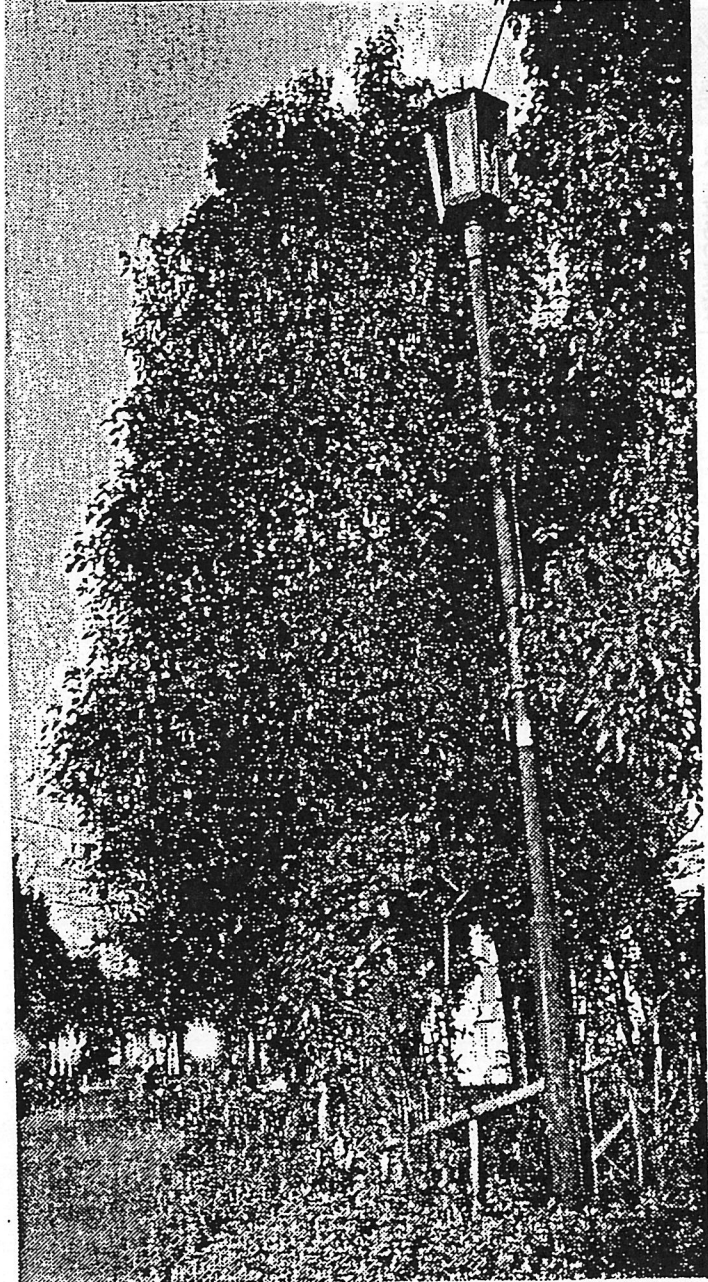


江戸では明るくて眠れねえ  
ホウレンソウも伸びすぎた  
菊の開花時期まで狂ったよ

二十四時間化する東京で、街は必要以上に明るくなりすぎてはしないか。こんな反省から、江戸川区の一部の街路灯の減光に乗り出すことになった。区内の農家から「ホウレンソウが伸びすぎ」「住民からも「網戸にする夏は明るくて困る」という苦情が出ており、省エネ効果もねらった作戦。「草木も眠る丑(うし)三つ時」を失いつつある動植物や人間に、少しでも自然に近いライフサイクルをとりもどせよという試みだ。

江戸川区が管理する街路灯は約三万基の三万五千灯。このうち、減光しても区が定める明るさの基準を満たし、防犯効果や交通対策に障害がないと判断した二千四百基は、三月から消灯したり、ランプのワット数を落とすこととした。

# オラこんな夜イヤダー



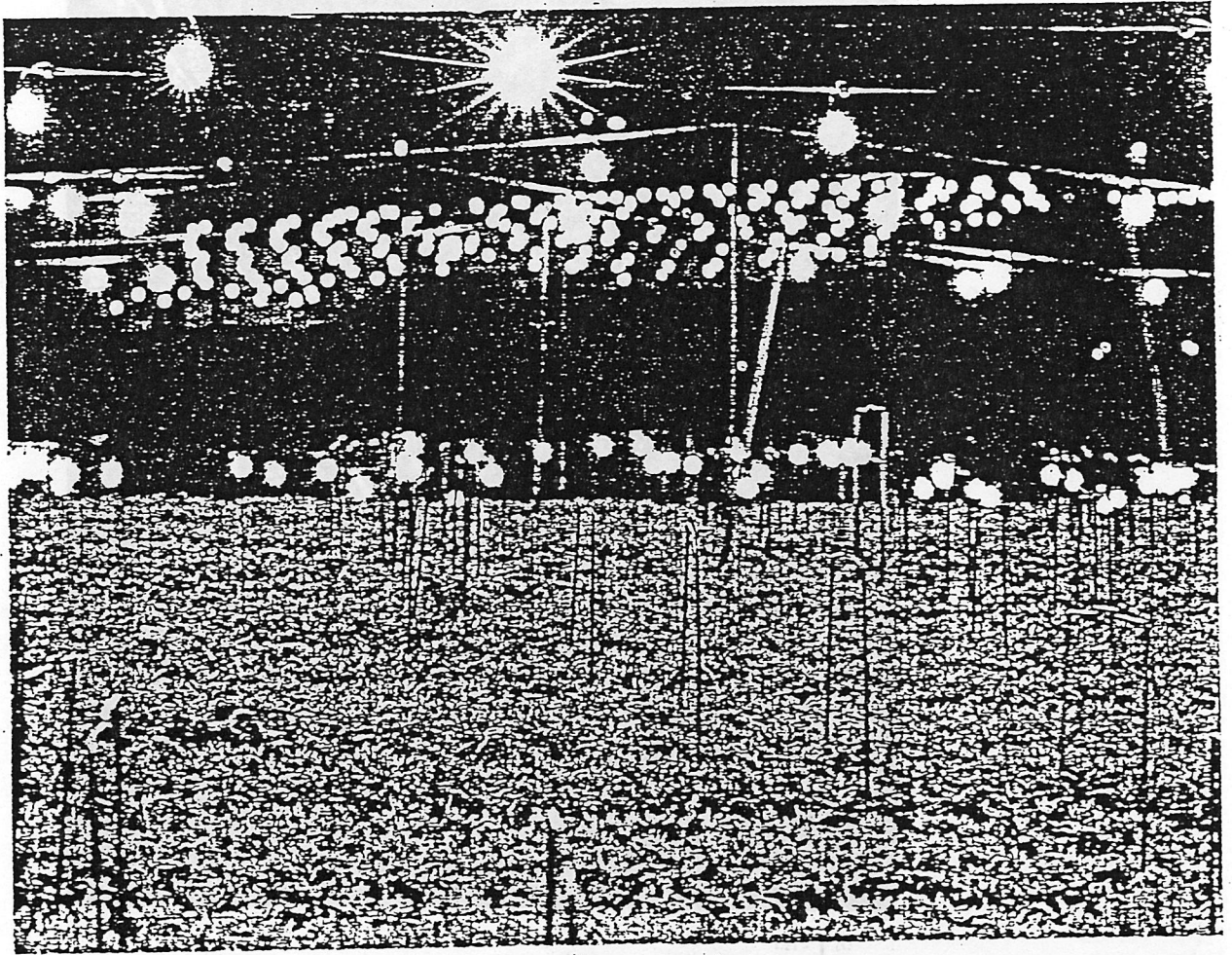
減光実験のため明かりが消された樹木ライトアップ用の街路灯  
＝江戸川区船堀で

3月から  
江戸川区

行者用街路灯のほか、ライトアップのための街路灯を設けている。この四百基にはタイマーを設置、午後十

## 2400基減光作戦 街路灯「光害」

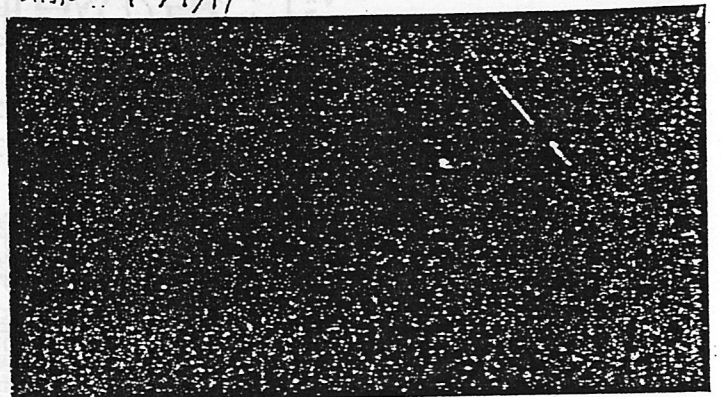
時以後は消灯する。また、一般公道では二千基に安定器を設置、ランプを二〇ワットから八〇ワットのものに交換する。七〇年代末ごろから水銀灯が普及したろえ、二十四時間営業のコンビニエンスストアや自動販売機、自動車の増加、生活の深夜化で都市の夜はますます明るくなってきた。その一方で、同区内の園芸家からは「菊の開花時期が狂った」、住民からは「網戸のまま眠るには明るすぎる」といった苦情が出るようになった。水稲の出穂が遅れたり、ホウレンソウが伸びすぎトウがたつなど影響を受ける植物があることも専門家の研究でわかった。同区では都営新宿線船堀駅前の緑道で減光の実験をして歩行者の意見を聞いたが、商店街の照明に目が慣れた後は住宅街の街路灯の光を実際よりも暗く感じ、必要以上の明るさを求めることもわかった。今回の減光措置で少なくとも月額六十万円程度の電気料金節約になるといわれるが、タイマー取り付けなど一億近い改修費用がかかる。同区土木部の中川博道街路灯係長は「ひたすら明るさを追い求めてエスカレートしている都市生活に、自然のライフサイクルを少しでも取り戻す時期に来ているのではないか」と話している。



眠れないキク

高値で売れる時期に出荷を合わせようと栽培農家も手エを絞る。開花を遅らせるために75ℓの電球が昼のように照らす「電照キク」の畑。日照時間を長くみせかけ、本来なら秋に咲くのを、3月の彼岸に合わせて開花させる。照明は9月から1月半ばまで続けられる。この時期、夜間に那覇空港を発着する飛行機からは、南の島の所々が幻想的な光の帯のように見える—沖縄県具志川市の「太陽の花」の栽培場で (写真部・佐賀文雄)

朝日 92/1/14





# 植物も季節感失った?

## 街の温暖化で まだ紅葉・柳

冬の寒空の下、カエデのやこの花館の技術顧問をし葉が鮮やかに色づく北区中ノ島で、季節はずれの紅葉と、まだ落葉しない柳の葉を見つけた。葉の数は少なくなつたものの、まだ、みずみずしさが残る。都会のコンクリートジャングルで、植物も季節感を失ってしまったのかも知れない。街を歩くといつまでたっても落葉しない葉が目につく。「やはり都会は暖かいからでは」と、大阪市咲く化現象に驚いてい

いつまでも落葉しない柳と紅葉したままのカエデ

北区中ノ島で

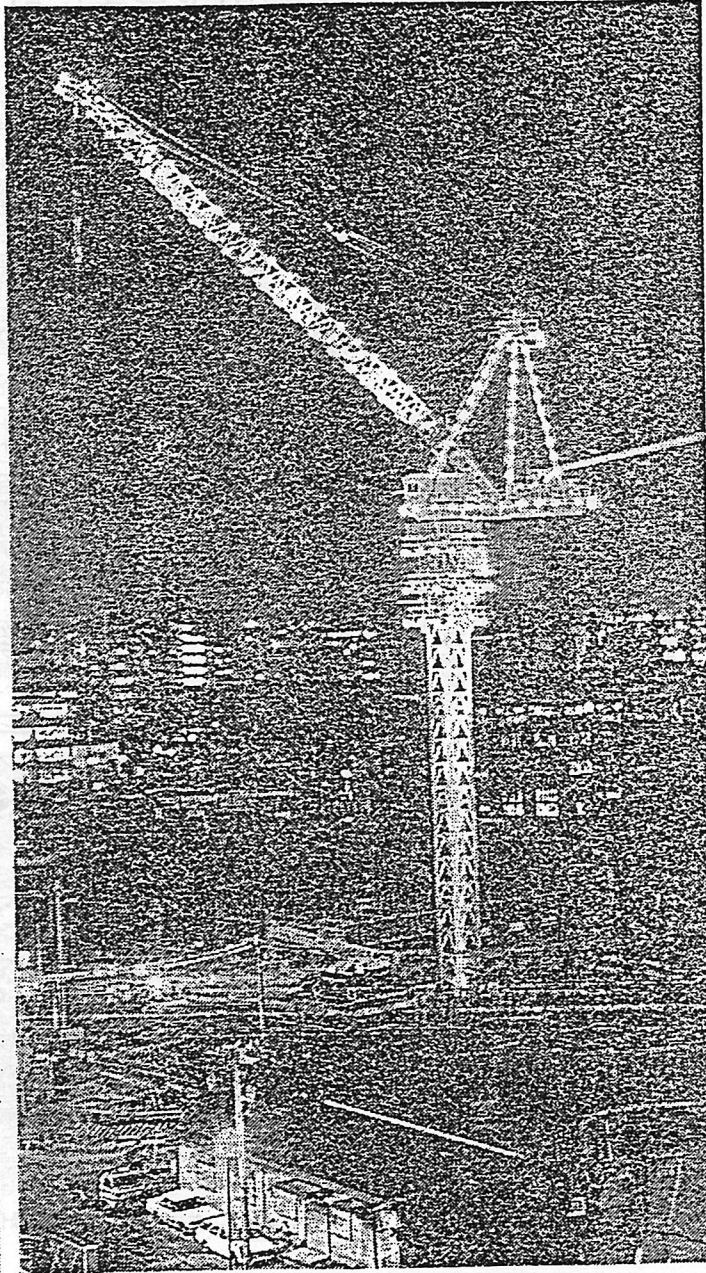


朝日 92.3.16 朝刊 3面

# 工事現場そのまんまアート

「三日月の夜」のライトアップ

## 金色塗り点灯 完工直前140メートルに都市美問う



イルミネーションを点灯した工事用の大型クレーン  
＝横浜市神奈川区金港町で

「光の彫刻家」として、國が、「横浜アート・アンド・デザイン月間」の開幕を契機に知り得る。在任の宇賀家田原直一さんが企画した光のパフォーマンス「三日月の夜」のライトアップは、

「三日月の夜」のライトアップは、お目見えした。ビル建設の現場に設置した。クレーンに金色の塗料を塗り、約百八十個の照明をサーチライトをつけて、夜の現場を照らす。その中で、「工事現場をアート」との発想。

「三日月の夜」のライトアップは、お目見えした。ビル建設の現場に設置した。クレーンに金色の塗料を塗り、約百八十個の照明をサーチライトをつけて、夜の現場を照らす。その中で、「工事現場をアート」との発想。

# イネの生育に照明が悪影響

和歌山県農試が実証

夜の街灯も広告灯などの「光害」で水稲の出穂

（しゅすい）が遅れ、収穫量が減少することが和歌山県農業試験場の実験でわかった。近郊農村の都市化が急速に進むなか、光の被害が全国的に広がる恐れがあり、農林水産省も今後の大きな課題と受け止めている。

実験は昨年六月十四日に田植えをしたフジヒカリ、コシヒカリ、ミネアサヒ、ヤマヒカリ、日本晴の五品種を使い、十一月一日まで続けた。四〇ワの水銀灯を地上二メートルに設置。日没から日の出までの間、光源からの距離によって二・四〇ワの光が試験田（四十五平方メートル）のイネに当たるようにし、それを観察した。

その結果、照度が出穂に大きな影響を及ぼすことがわかった。遅れが開始する照度は、フジヒカリ、コシヒカリが三ワ、ミネアサヒ、日本晴が四ワ、ヤマヒカリが五ワ。測定照度四〇ワで出穂が遅れる日数は、コシヒカリが四十日、ヤマヒカリ、日本晴は二十三・二十五日、その他は二十日未満だった。

極早生のフジヒカリは出穂が早いため、高い照度でも成熟期を迎えたが、他の品種は二〇・三五ワ以上になると実験終了時（十一月）までに成熟期に達せず、収穫はゼロに近かった。同農試総合技術部の川村和史研究員（三）は「農業体験者が薄々感じていたことを、初めてデータで実証できた。水田と光源の距離が力キになるが、パチンコ

店の明かりなどは四〇ワを越えており、生育への影響は大きい」と話している。

環境庁環境管理課によると、現在「光害」に対する国の法律はなく、自治体レベルでは唯一、岡山県小田

郡美屋町の「光害防止条例」があるだけ。しかし、この条例は同町の「星の郷づくり」の一環として星空を守ることを主な目的で、農作物などを保護するものではない。

農林水産省農産課では

「対策は照明を減らすことだが、都市化の進む中、大規模にはできない。光の波長によっても被害程度が違っているとおり、近郊農業の光害は今後、大きな研究課題になる」と話している。

