植物の照明影響

Exterior Lighting and Plant Growth

1927年3月生 九州大学農学部卒業 環境植物学 (株)環境リサーチ最高顧問 1968年 農学博士 大気環境学会、生物環境調節学会、農業気象学会、園芸学会会員 著書 (共著) 『光バイオインディケーター』『自然界の熱エネルギー』

養原 善和
Yosikazu Minohara

◀キーワード：植物光害、植物照明影響

1. 植物と光害 (ひかりがい)

近年 大気汚染、水質汚濁、土壌汚染など、いわゆる典型7公害の改善が図られるに従い、さらに進んでこれらに関する環境のアメニティが重要視されるようになった。たとえば大気汚染では、窒素酸化物や浮遊粉じんなどの直接的な汚染物質に止まらず、大気を媒体として起こる風害、光害 (ひかりがい) など環境の快適性に関連する問題が提起されるようになってきた。

光害については、環境庁が環境モニター・アンケート調査を行い、平成7年3月にその結果を発表した。それによると、『光害』については52.2% (複数回答) の人が動植物への影響をあげており、生態系や農作物に対する影響への対策については、51.4%の人が理由を問わず改善すべきとしている。

それでは、このような光害の具体的な内容はどのようなものであろうか。照明学会では『光放射と植物の生育に関する研究調査委員会』でとりまとめた成果の概要を平成5年度照明学会全国大会で発表した。表1は夜間照明の生物生態系への影響についての報道事例を示したものである。

また、NHKが行っている、『国民生活時間調査』の1995年の結果によると、国民全体で午後10時から10時半の間に起きている人の率は76%、午後0時から0時30分の間に起きている人の率は15%で、この数字は年々増加の傾向にある。また、スーパー最大手のセブンイレブンでは1985年30%強であった深夜営業は1995年には93%に達しており、近年生活パターンの夜間へのシフトがますます進んでいることがわかる。これに伴う高速道路、国道や地方道路の照明施設、街路灯や防犯灯、夜間の都市景観、城や歴史的記念的な建物、モニュメント、公園や広場、街路樹のライトアップ、さらには生産手段としての花、果樹、野菜の電照・補光栽培など、照明の屋内から屋外への広がりはいよいよ盛んなものとなっており、表1に示したような生物生態系への影響への懸念も今後なお増加して行くことが予想される。

2. イネへの影響

イネは日本農業の基幹をなす作物である。イネへの影響については照明学会でいち早く1968年、『道路照明と稲作被害研究会報告』としてとりまとめ、また、1985年

には各種の農作物、害虫への影響などの対策も含めて『農作物に対する夜間照明の影響研究調査委員会報告書』をとりまとめている。

2.1 イネの生育段階と照明の影響

植物には、1日24時間のうち昼の時間が一定時間より長い (夜間の時間が一定時間より短い) 長日条件下で、展開すれば花となる芽の元である花芽 (カガ) 形成が促進される長日植物と、その逆に短日条件下で花芽形成が促進される短日植物、および日長に関係なく花芽が形成される中性植物がある。

イネは短日植物で、ある時期がきて自然日長が短日になると、短日に感応して花芽 (幼穂分化) が形成される。

図1はイネの生育ステージを模式的に示したものである。イネ栽培の播種、移植、幼穂分化、出穂、登熟 (澱粉、脂肪、蛋白質などが子実の中に蓄積されること) の過程で光が大きな要因となって出穂に影響をおよぼすのは栄養生長期中の、『短日のみによって出穂が促進される感光性の期間』である。そしてこの期間に夜間照明によって長日条件になると出穂が遅延してしまう。

図2は図3に示した生育の初期、中期、後期に照明を行ったハウネンワセと、ニホンマサリの生育段階別の出穂遅延の変化を調べた結果である。この実験は、道路照明用400w水銀灯を用いて行われたが、ハウネンワセの初期照明区の出穂が2日早くなったほかは、すべての区で出穂が遅れ、その程度は後期>中期>初期照明の順で遅延が大きかった。

2.2 照度と出穂、登熟の遅延

表2に、水銀灯の終夜照明による5品種のイネの出穂および登熟日数の遅延を示した。

これを見るとヤマヒカリを除く他の品種は5lx前後から出穂、成熟期、登熟日数の遅れが大きくなり、40lxの照度ではフジヒカリを除いて11月1日までに成熟期に達しなかった。

この表からは、また、照明影響の品種間差異がかなりあることがわかる。

3. 野菜への影響

3.1 ホウレンソウ

ホウレンソウは長日性植物だが、花芽の形成は短日条件下でも行われ、形成された花芽の伸長は温度にも関係するが、日長に支配され長日下で伸長をはじめる。すな

表1 夜間照明の生物生態系への影響についての最近の報道事例（河本）

区 分	関 係 地 区	報道されている影響の具体的内容	掲載紙（誌）と掲載日付
周辺住民への「光害」の懸念	東京都内各所	野球場のナイター照明、工場の寮の夜間照明、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、動植物などへの影響についての総括報道	日本経済新聞（夕）1979-12-14
	東 京 都 内	「星空を守る会東京ネットワーク」の星空観測障害懸念	朝 日 新 聞（朝）1991- 9-14
	小 平 市 内	住宅・都市整備公団の団地内駐車場照明の改装による光色の変化に起因する住民への生理的悪影響懸念	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安眠確保、天文観測への影響や稲、ホウレン草、菊の開花への影響、その他樹木への影響についての報道	朝 日 新 聞（朝）1992- 1-10
	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- 3-22
農作物に対する悪影響の懸念	羽 生 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稲に対する光害の懸念が東京電力㈱に寄せられている。）	埼 玉 新 聞（朝）1989-12-21
	松 戸 市 内	新設の大型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害虫誘引や発育不順の誘発懸念	朝 日 新 聞（朝）1991-11-14
	和歌山県農試	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実験結果の報道	朝 日 新 聞（夕）1992-4-16
	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勢の補償要求	毎 日 新 聞（朝）1992- 5-13
草花・樹木への影響懸念	（不特定）	家庭や駅前広場などでのマリーゴールドやシャコバサボテンなど花の開花時期への悪影響懸念	讀 賣 新 聞（朝）1990-12-07
	愛知県東加茂郡	（香嵐渓の）もみじの色変化への影響試験結果の報告	電気関係学会東海 1991年8月支部連合大会予稿集
	大 阪 市 内	街路灯やビルの照明や空調の放射熱のカエデや柳などの紅葉への影響懸念	朝 日 新 聞（朝）1992- 1-19
その他周辺への影響懸念	山口県美祿郡	コケヤカビの成長促進による鍾乳洞の風化懸念	日本経済新聞（朝）1992- 8- 8
そ の 他	沖縄県志川市	75ワット電球による「電照菊畑」の実際の状況の報道	朝 日 新 聞（朝）1992- 1-14
	山梨県東八代郡	国道20号線沿いの桃畑のライトアップの状況の報道	山梨日々新聞 1992- 4-05
	大 阪 市 内	「ちゃやまちアブローズ」において環境制御による立冬における桜開花の報道	産 経 新 聞（夕）1992-11-07
	京 都 市 内	街の色研究会・京都による京都市内の夜景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

参 考 文 献

- 1）朝日新聞 1991年1月22日号（朝刊）
2）日本経済新聞 1991年1月22日号（朝刊）
3）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報告書，（1985年）
4）照明普及会編：光放射の応用（I），照明教室61および全（II），照明教室62，（1985年）
5）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）

播種	移植	幼穂分化開始	出穂	登熟
栄 養 生 長 期 間		生殖生長期間	登熟期間	
		30～35日	35～40日	
基本栄養生長期間		感 光 性 期 間		

図1 イネの生育ステージの模式図（井上）

基本栄養生長期間（BVP）：短日日長条件下における幼穂分化まで日数。
感光性期間（PSP）：長日日長条件下および短日日長条件下における幼穂分化まで日数の差。

図2 照明の時期による出穂反応の変化（近藤，大刀川）

図3 試験区の構成（近藤，大刀川）

表2 水銀灯による終夜照明が水稻の成熟に及ぼす影響 (川村, 1993)

照度 (lx)	成熟期遅延日数					登熟日数				
	フジヒカリ	コシヒカリ	ミネアサヒ	ヤマヒカリ	日本晴	フジヒカリ	コシヒカリ	ミネアサヒ	ヤマヒカリ	日本晴
無照明	8・29	9・16	9・21	9・30	10・3	29	34	39	41	45
1以下	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	29	34	39	41	45
2	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	29	34	39	41	45
3	2(1)	3(1)	0(0)	0(0)	0(0)	30	36	39	41	45
4	2(1)	5(2)	5(1)	0(0)	4(2)	30	37	43	41	47
5	5(3)	10(3)	9(2)	3(1)	4(3)	31	41	46	43	45
6	5(3)	14(4)	9(2)	3(1)	4(3)	31	44	46	43	46
7	7(3)	14(5)	12(2)	3(1)	4(3)	33	43	49	43	46
8	11(5)	14(6)	12(2)	7(1)	4(4)	35	42	49	47	45
9	11(6)	14(7)	16(2)	7(2)	11(4)	34	41	53	46	52
10	14(6)	21(7)	16(2)	7(2)	11(7)	37	48	53	46	52
15	23(9)	21(10)	23(4)	14(5)	19(7)	43	47	58	50	57
20	28(11)	28(15)	31(5)	14(7)	…(12)	46	47	65	48	…
25	28(14)	…(19)	31(7)	22(9)	…(15)	43	…	63	54	…
30	32(15)	…(23)	31(8)	…(13)	…(19)	46	…	62	…	…
40	32(17)	…(40)	…(13)	…(25)	…(23)	44	…	…	…	…

注：1) 成熟期遅延日数の無照明の行の数値は成熟期 (月・日) を示す。
2) ( ) 内の数値は出穂遅延日数を示す。
3) 登熟日数：出穂期から成熟期までの日数。
4) …印は11月1日までに成熟期に達しなかった。その後も登熟が進む可能性はないため適期刈り取りを打ち切った。
5) 試験実施年次は1991年。

図4 夜間照明の照度とハウレンソウの抽苔(品種おかめ)(高尾氏 写真提供)

わち夜間照明の下では、はやばやと“とう”がたってしまい、商品にならなくなってしまふ。

ハウレンソウは都市近郊で多く栽培されており、高尾の調査によると都区部の生産農家の3割強で、夜間照明による影響が問題となっているという。また、品種間差異、栽培条件、照明時期、影響する光質などについて詳細な実験を行っているが、図4は長日期の5月18日に種を播いた品種『おかめ』の照度と抽苔に関する実験結果を示したものである。これを見るとわずか数lxの照明でも温度の高い長日期には影響が出ていることがわかる。また、これらの実験から、高尾は夜間照明の光の強さが与える影響の強弱、そのために配慮が必要な品種36種について調べ、リード、パレードなど14種は栽培不可能、サザンクロス、トニックなどは15lx以下なら栽培可能で

表3 数種野菜類における夜間照明の影響(高尾)

作 目	耕種概要	光環境 ¹⁾	生育等への影響
コマツナ、葉ダイコン コカブ、チンゲンサイ	3月10日、10月6日 播種、施設栽培。	照度：40 lx PPFD：0.52	各作目、生育の影響なし
サラダナ、リーフレタ ス	4月4日播種、5月 9日定植。露地	照度：15 lx PPFD：0.20	生育、花茎の伸長影響なし
ブロッコリー	7月21日播種、8月 19日定植。露地	照度：20 lx PPFD：0.25	花蕾重、品質、収穫期など について影響なし
キャベツ	7月21日播種、8月 19日定植。露地	照度：20 lx PPFD：0.27	生育、収穫期など影響なし
インゲン (つるなし)	5月6日播種。露地	照度：20 lx	生育、開花期収量に影響なし
ワケネギ ²⁾	5月9日定植	照度：15 lx PPFD：0.16	光が強いとやや生育が劣る傾 向がある
ニンジン ²⁾	7月8日播種	照度：20 lx	光が強いとやや生育が劣る傾 向がある

1) 照度、PPFDとも試験設定の上限値をあらわし、測定は法線とした。PPFDの単位は $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。
2) 詳細な検討を予定。

表4 街路地の光により落葉の遅れた樹種(三沢, 高倉)

樹種名	トウカエデ	アオギリ	ユリノキ	スズカケノキ	ニセアカシア
路 線 名	方南通り	外苑西通り	外苑東通り	千川通り	あかしあ通り
調 査 日	12/7	11/21	11/30	12/4	12/11
植 栽 間 隔	6 m	8 m	6 m	6 m	8 m
樹高・樹冠	6 m : 3 m	7 m : 3.5 m	12 m : 4 m	7 m : 3 m	6 m : 3 m
総 本 数	157	190	123	139	118
影響本数	23	64	29	58	62
影響範囲	2 m	4.5 m	3.5 m	6 m	3.5 m
街路灯数	33	48	24	32	30
最終観測日	12/17	12/6	12/6	1/9	1/6

あるとしている。

3.2 その他の野菜

夜間照明のエダマメに与える影響は開花おくれと収量の減少という2つの面があらわれ、品種については早生品種への影響が大きく、生育ステージが早いほど影響が顕著であるという。

また、キュウリについては8月播きの『近成四葉』で蛍光水銀ランプ30lxの照明により、低い節位に貧弱な雌

表5 アカマツの年間生育過程と日長の関係

(月)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
成 育 過 程	← 成 長 期 →		← 冬 芽 (休 眠) 期 →									
	成 長		葉原基形成		休眠導入			冬休眠	休眠解除		内的成長	
	冬芽開芽 成長停止		冬芽形成	葉原基形成 停止		休眠			低温のため開芽の 長日依存性喪失		開芽に向けて動く	
												開芽
日 長 影 響	① 冬芽の開花 ② 針葉の展開 ③ 成長停止の時期 は日長の影響なし		① 冬芽形成の時期は日長の影響なし。 ② 葉原基が40以上にならないと24時間日長でも開芽しない。 ③ 長日下で葉原基が形成されても低温のため開芽できない。 ④ 生長と葉原基形成が共存し連続生長（枝なしの変則成長）するためには年間 20～30℃の温度と20時間以上の日長が必要である。 ⑤ 針葉数は連続光下で9月迄増加									
	① 節間伸長 ② 針葉長は日長が 長いほど大											

(万木、永田の表に蓑原加筆)

図5 光に対する生物反応の分光感度特性と太陽光の分光光子量分布 (稲田)

花がつき、かつ落蕾がみられたという。その他の野菜の夜間照明による影響の概要は表3のとおりである。

4. 樹木への影響

景勝地、庭園や街路樹、さらには特定の樹木を対象として街路灯や投光器によりライトアップし、通行の安全や夜景を楽しむといった、“ゆとりとうるおいのある都市空間”が各地で見られるようになり照明学会・照明普及会でも、ライトアップマニュアルやライトアップ事例集が刊行されている。

表4は、三沢、高倉が行った街路灯の光によって落葉が遅れた東京都内の樹種を調査したものである。スズカケノキ、ユリノキ、アオギリ、ニセアカシヤの4種はいずれもその影響は大きく、緑色の健全な葉を冬遅くまで残していた。また、ケヤキ、イチヨウには夜間照明の影響はみられなかったが、これらの樹種の落葉は、光条件より温度条件の影響をより強く受けたものと推察され

表6 レタスの種子の光発芽に対する発色(R)光と遠赤色光(F R)による光可逆的効果 (Borthwick ら)

光 処 理	発 芽 率 (%)*	
	6～8℃で照射	26℃で照射
R	73	70
R-F	13	6
R-F-R	74	74
R-F-R-F	8	6
R-F-R-F-R	75	76
R-F-R-F-R-F	11	7
R-F-R-F-R-F-R	77	81
R-F-R-F-R-F-R-F	12	7

*照射後、20℃の暗所に置いた。

た。ケヤキ、イチヨウ、スダジイについては、メタルハライドランプ、1000lx、2000lx、5000lxの下で行った、真野、洞口らの実験があるが、一般に照明区の枝葉がやや密になる傾向が見られたものの、とくに障害は観察されなかった。

また、マツは日本を代表する植物であり、各地の庭園、公園や歴史的建造物の周辺に広く植栽されている。

マツの年間生育の過程は表5に示すように、他の樹木と異なっておりかなり複雑である。たとえばポプラなどの場合、春になって冬芽が出ると、日長が生長を抑制する条件として働くようになるまで生長を続けるのに対し、アカマツの場合、芽が生長するのは1年のうちわずか2ヶ月だけである。

マツの夜間照明の影響について、蓑原、吉野が松島、三保の松原など4ヶ所の現地調査を行った結果からは、葉形、葉色、着生状態、伸長の状況などの影響は観察されなかった。

5. 植物と光の関係

屋外照明が植物に与える影響を考える前に、まず、植物が光にどのように反応するかを考える必要がある。

光に対する植物の反応としては周知のように、太陽エネルギーによって大気中の二酸化炭素と、根から吸収し

た水及び無機物から、糖、澱粉、蛋白質、脂肪などの有機物を作る光合成作用と、種の発芽、茎の伸長、葉の拡大、花芽の形成、塊根形成などを行う光形態形成作用がある。そしてこの光合成作用では一般的に数万ないしは数千lxの強い光、光形態形成作用では一般的に数10ないしは数lxの弱い光で反応することが知られており、この反応は光の強さ、光の質、明期（暗期）の時間と相互に極めて強い関係をもっている。

図5は、光質と生物の光反応の例を示したものである。ここでとくに興味深いのは、表6に示すレタス種子の発芽に対する赤・遠赤光可逆反応である。この実験は光がないと発芽しない光発芽種子であるレタスの種子に赤色光（R）遠赤色光（FR）を交互に照射し、暗黒下においてその発芽率を見たものである。これを見ると、レタス種子は赤色光（660nm 付近）で発芽が促進されるが、その後には与えた遠赤色光（730nm 付近）で抑制され、その反応は加逆的であり、最後に受けた光によって左右される。このようにわずか数10nmの光質の違いが植物の発芽や花芽の分化などに極めて大きな影響を与えることがわかっており、これらの点を考えると植物に対する夜間照明の影響を基本的に防止することは、現時点では極めて困難なことと思われる。

6. 植物への影響対策

植物に対する屋外照明の影響対策については、植物側から、および照明施設の両面から考える必要があろう。

作物の中には、夜間照明に対する影響が少なかったり逆にイネの出穂を促進する種や系統がある。従って品種選択に配慮するとともに、さらに、このような生態型の系統の探索と育成により影響の少ない品種の育種も考えられよう。

また、栽培面からは長日期を避ける作型を選んだり温度や肥培管理に留意することが必要であろう。

次に、光源に関しては、600nm以上の波長域の少ない光源、例えば高圧水銀ランプを選ぶこと、配光曲線や指向方向に留意することがあげられる。ただ光質を変えることによって極端に影響を軽減することは、前記したように植物と光の関係の複雑さから、現時点ではかなり困難であろう。

また、フードをつけたり、第一の目的にかなう範囲で減光したり、W数を下げたりあるいはイネの例で見られ

るように、出穂前40日位は消灯したりすることによってある程度の影響軽減は可能と考えられる。

本稿のとりまとめにあたり、貴重な写真や文献をいただいた東京都農業試験場江戸川試験場高尾保之主任、和歌山県農業試験場辻和良主査研究員、福岡県農業総合試験場原田皓二栽培部長に深謝の意を表する次第である。

（注）

本稿では照明という立場からその単位としてlxを用いた。しかし、図5に示したようにlxは人の視感度（ピークは約555nm）を中心にした値であり、植物の光質反応や植物用の光源を評価する上から必ずしも適切な単位とは言えない。

現在では光合成作用スペクトルが400～700nmの範囲の光量子束と相関が高いところから、その値を光合成有効光量子束密度（Photosynthetic photon Flux Density：PPFD $1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ ）としてフラックス密度を評価する単位として使われることが定着しつつある。

参考文献

- (1) 環境庁：平成6年度環境モニター・アンケート『光害について』の調査結果。照学誌79, 6, PP.34～39, (1995)
- (2) 河本康太郎：夜間照明の生物生態系に及ぼす影響。照学大会講演集 PP.193～194, (1993)
- (3) 井上博茂：イネの出穂期を支配する遺伝機構の開明について。遺伝生態研通信 299, PP.5～7 (1995)
- (4) 近藤晃, 太刀川洋一：水稻の終夜照明による出穂促進。農業技術 29, 12, PP.11～13, (1974)
- (5) 川村和史：水銀灯による夜間照明が水稻の生育、収量に及ぼす影響。和歌山農試技術資料42, PP.1～4 (1993)
- (6) 高尾保之：ハウレンソウおよび数種野菜類における夜間照明の影響。H 6, 東京都農試技術成果レポート PP.50～55 (1995)
- (7) 高尾保之：エダマメにおける夜間照明の影響。H 7, 東京都農試技術成果レポート PP.42,～44 (1996)
- (8) 三沢彰：夜間照明による街路樹の落葉に及ぼす影響。H 5, 照学大会講演集 PP.195～196 (1993)
- (9) 真野, 洞口, 岡田, 染郷ら：樹木のライトアップによる影響に関する照明実験。H 8, 照学大会講演集 PP.316～317 (1996)
- (10) 養原善和, 吉野昭朗：夜間照明が松の生育に及ぼす影響。H 5, 照学大会講演集 PP.197～198 (1993)
- (11) 照明学会編：光バイオインゲストリー オーム社 PP.367 (1992)