

緑陰環境装置の試作とその適用

農業環境技術研究所 植生管理科保全植生研究室 松尾 和人

はじめに

林床植物や草地内に生育する植物にとって、太陽から放射される光の季節変化ならびに日変化は、周辺群落の特徴と相まって光環境形成に大きな影響を及ぼしている。また、葉層を通過した光は、その量と質が大きく変わるため、葉層下では、複雑な光環境が形成されている。このような葉層を通過した光はその到達の過程により以下のように区別されている。すなわち、①葉層に遮断されない直達光（光斑）、②葉層に遮断されずに到達している散乱光、③葉層を透過した光（透過光）、④葉層で吸収されずに反射した光（反射光）の4つの場合である。

このうち、透過光と反射光は葉層において特定波長の光が吸収されているため上述の「光斑」や「散乱光」など葉層に遮断されない光とは質的に異なるものとなっている。特に、葉層を透過した光はその強度が低下するばかりでなく可視領域の光の多くが吸収されるため、そのスペクトルの特徴を見ると、光合成有効放射量の減少と長波長域での光の透過性の増加、そしてそれに伴うR:F R比（赤色光：遠赤色光比）の低下などの点で、著しく異なっている。

そのため、光資源をめぐる雑草と作物の競合や植物の耐陰性、あるいは光環境の変化に対する可塑性について、人工環境下で実験的研究を行う際には、光強度と光質の変化を考慮にいれ

た研究手法の必要性が多くの研究者から指摘されている。また、同時に葉層下の光環境（緑陰環境）を人工的に模した実験装置も数多く報告されているが、基本的には(i)フィルターを使用する場合と(ii)人工光源（ランプなど）を使用する場合、両者を併用する場合に分けられる。(i)では植物の生葉を使用したり、光合成有効波長域内の特定波長を遮断する人工フィルターが使用されている。また、(ii)では、例えば自然光と特定波長域の光（特に遠赤色光）を発するランプを併用し、照射された光の中に含まれる遠赤色光の割合を増す試みがなされている。

ここでは、フィルターを用いた場合について、市販のメタクリル樹脂フィルター（三菱レイヨン製アクリルフィルター I R・L X 901）と寒冷紗を用いて試作した緑陰環境装置の有効性と野外研究に適用する場合の問題点について述べてみたい。

また、以下に紹介する調査・研究結果は農業環境技術研究所・植生管理科・保全植生研究室の根本正之室長と共同で行ったものの一部である。

(1) 緑陰環境装置の試作

ガラス温室内に緑陰環境装置としてのフィルター区とそれと比較するために対照区と寒冷紗区の3つの処理区を設置した。各処理の概要は以下の通りである。1) フィルター区（緑陰環

境装置)：木枠(縦 59 cm, 横 190 cm, 高さ 75 cm)の側面を黒色寒冷紗(クレモナ #600)3枚を重ねて覆い, 1枚で天井部分を覆う。そして, その中にアルミ製枠(縦 41 cm, 横 165 cm, 高さ 41 cm)を入れ, その天井部のみを厚さ 2 mm のメタクリル樹脂フィルターで覆った処理区(図-1)。2) 対照区：遮光処理を

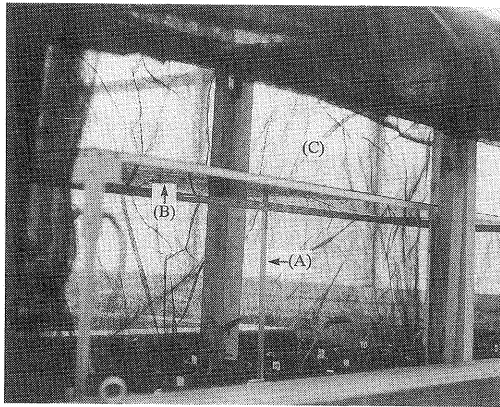


図-1 フィルター区(緑陰環境装置)の概要

(A)フィルターをのせるアルミの枠, (B)メタクリル樹脂フィルター, (C)木枠を覆った寒冷紗.

行わない処理区, 3) 寒冷紗区：木枠(縦 59 cm, 横 190 cm, 高さ 75 cm)の側面並びに天井部分を黒色寒冷紗(クレモナ #600)3枚を重ねて覆った処理区, ここで使用したフィル

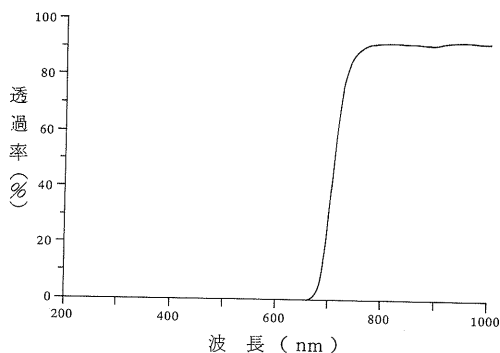


図-2 フィルター区(緑陰環境装置)に用いたメタクリル樹脂フィルターの透過率曲線

フィルターの説明書より作成.

ターの光特性は, 683 nm 及び 721 nm において, それぞれ 5%, 72% の透過率を示し, 700 nm 以下の光線のほとんどを遮断する性質を有している(図-2)。

(2) 光環境の測定

野外群落及び各処理区内の光質特性を明らかにするため, スペクトロラジオメーター(オプティカルサイエンス社製 MSR-7000-3)を用いて 300 ~ 800 nm における放射エネルギー量 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) の分布を 1 nm ごとに測定した。各測定ごとに, 最大放射量に対する波長ごとの放射量を相対光エネルギー(%)とし, 放射エネルギーの分布パターンの比較を行った。

さらに, 655 ~ 665 nm における放射エネルギー量の積算値 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) と 725 ~ 735 nm における放射エネルギー量の積算値 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) との比を R : FR 比とし, 野外群落及び緑陰環境装置の光質環境の指標として比較を行った。

野外における放射エネルギー量の測定は, 茨城県つくば市の農業環境技術研究所内において行った。直達光の R : FR 比は, 圃場地表面(裸地)での測定値より算出し, 葉層を通過した光(緑陰光)の R : FR 比は, 所内に植栽されているヒマラヤスギ林(樹高約 7 m)の樹冠内と林縁での測定結果より算出した。また, 密な草本群落内での R : FR 比は, 圃場内のリードカナリーグラス(*Phalaris arundinacea* L.; 群落高約 110 cm)及びオーチャードグラス(*Dactylis glomerata* L.; 群落高約 80 cm)群落内のギャップ(直径約 15 cm)の地表面で測定した値より算出した。

(3) 野外群落における光環境

図-3 は野外の群落地表面において測定した

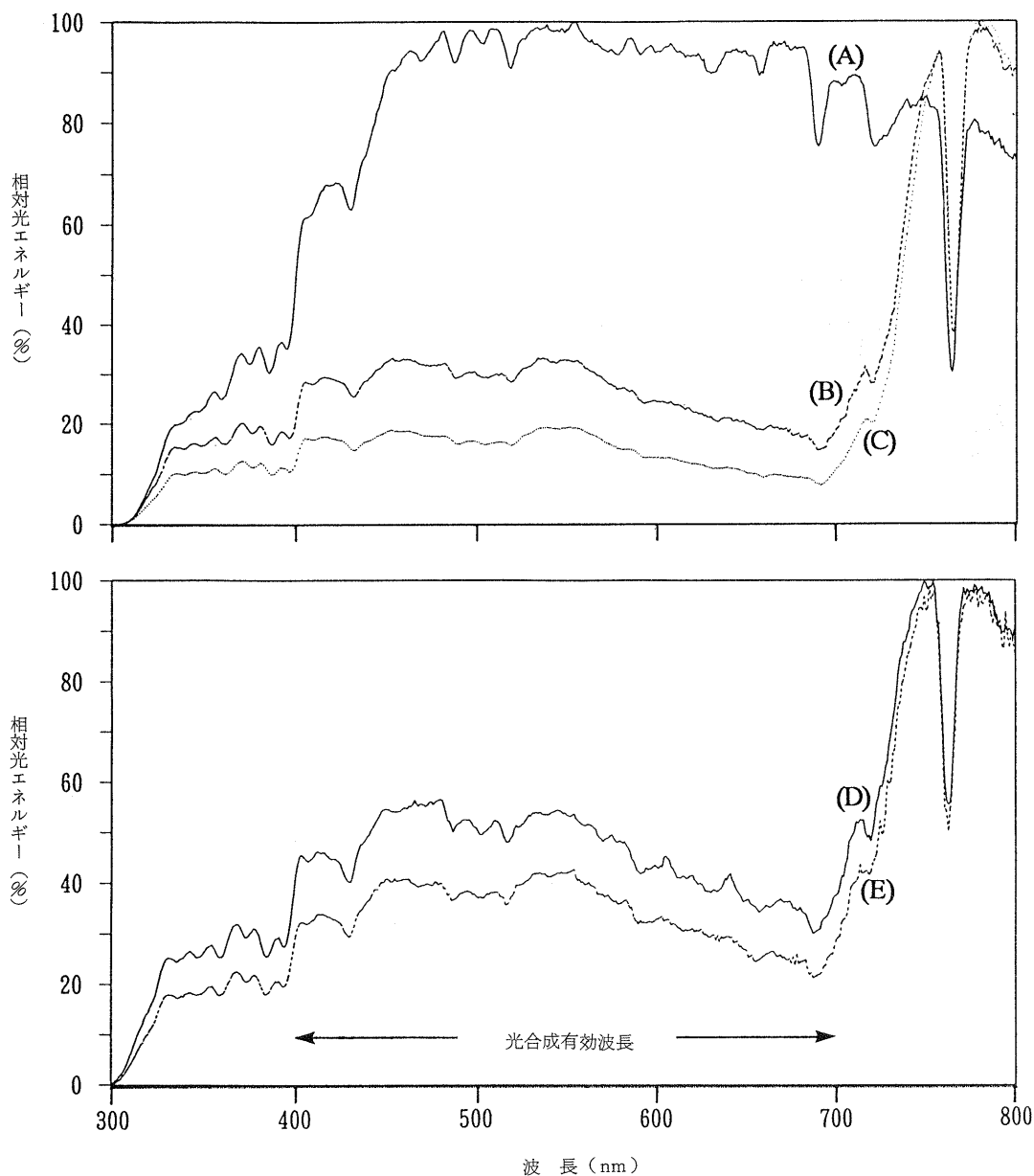


図-3 野外における群落地表面で測定した放射エネルギー量の分布（相対光エネルギーで示した）
パターンの比較

(A) 圃場地表面, (B) リードカナリーグラス群落, (C) オーチャードグラス, (D) ヒマラヤスギ林縁,
(E) ヒマラヤスギ林内.

放射エネルギーの分布パターンを比較したものである。圃場地表面には植被が無い

ため、測定された放射エネルギーの分布（図-3, A）は、直達光の特性を示している。一方、群落地表面

では多くの光が葉層で遮られるため、光合成有効波長域（400～700 nm）において著しく減少する。しかし700 nm以上の長波長域では光の透過性が急激に増加するため、R:F R比は圃場地表面での値と比べて非常に低くなる（表

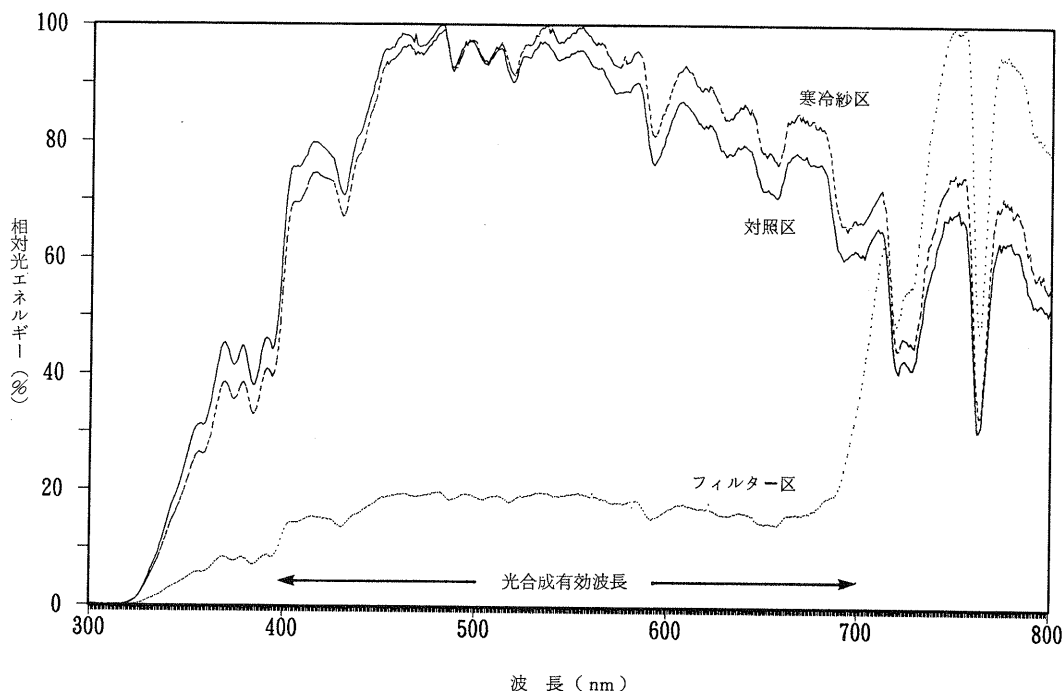
表－1 野外の群落におけるR:F R比

測定群落	R:F R 比	測定 時刻	測定日	備考
圃場地表面	1.27	14:08	1994年5月9日	図－1(A)
リードカナ リーグラス 群落地表面	0.49	14:25	1992年11月5日	図－1(B)
オーチャード グラス 群落地表面	0.31	14:14	1992年11月5日	図－1(C)
ヒマヤスギ 林縁地表面	0.52	11:38	1993年6月4日	図－1(D)
ヒマヤスギ 林内地表面	0.42	11:28	1993年6月4日	図－1(E)

－1)。

(4) 実験装置内の光環境

図－4はガラス温室内に設置した3処理区における放射エネルギーの分布パターンを比較したものである。これからわかるように、対照区と寒冷紗区の放射エネルギーの分布パターンは非常に良く類似している。また、両処理におけるR:F R比(表－2)は野外での測定で得られたR:F R比(1.27, 表－1)に近似し、また処理間においても有意な差が認められなかった。従って、放射エネルギーの分布パターンとR:F R比からみた光質環境は対照区と寒冷紗区間において非常に類似した条件に設定されたものと考えられるが、波長400～700 nmの光合成有効放射量は、両処理間で有意に異なるため($P<0.01$),



図－4 ガラス温室内に設置したフィルター区（緑陰環境装置）対照区および寒冷紗区で測定した放射エネルギー量の分布（相対光エネルギーで示した）パターンの比較。

表-2 ガラス温室内に設置した3処理区の光環境条件

(松尾・根本, 1995より作成)

処 理 区	光合成有効放射量* ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	R:F R比**	測 定 時 刻	測 定 日
対 照 区	14 923.1 ^a *** $\pm$ 7 390.6 (6)	1.36 ^a $\pm$ 0.09 (6)	13:50 ~ 15:03	1994年5月9日
寒 冷 紗 区	423.2 ^b $\pm$ 87.7 (6)	1.40 ^a $\pm$ 0.06 (6)	14:39 ~ 14:49	1994年5月9日
フィルター区 (緑陰環境装置)	326.2 ^b $\pm$ 151.1 (7)	0.22 ^b $\pm$ 0.23 (7)	14:09 ~ 14:36	1994年5月9日

測定値を平均値と標準偏差で示した。また、括弧内の数値は測定回数である。

* : 光合成有効波長域(400~700 nm)における放射エネルギーの積算値。

** : 655~665 nmにおける放射エネルギー積算値と725~735 nmにおける放射エネルギー積算値の比。

***: 平均値右上の記号が同じ時は有意水準1%で両平均値間に有意な差がないことを示し、異なる時は両平均値間に有意な差があることを示す(シェフェの検定)。

光強度に差が生じていたと考えられる(表-2)。次に、フィルター区では、上方からの光は寒冷紗とフィルターを透過し、側方からの光は寒冷紗によって遮光された光であるため、放射エネルギー分布のパターンは前述の対照区や寒冷紗区の分布パターン及び圃場地表面での分布パターンとは明らかに異なっている。むしろ、その分布パターンは、リードカナリーグラス(図-3, B)及びオーチャードグラス(図-3, C)群落内で測定された結果に類似している。特に、光合成有効波長域(400~700 nm)における分布は両野外群落におけるパターンに極めて良く類似している。また、フィルター区におけるR:F R比(0.22, 表-2)は、野外のリードカナリーグラス群落のR:F R比(0.49)及びオーチャードグラス群落のR:F R比(0.31)に比べると低く設定された。

フィルター区と寒冷紗区におけるR:F R比には有意な差があり($P < 0.01$)、両処理間の光質には明らかな違いが認められた。しかし、光合成有効放射量については有意な差はなく、両処理間に光強度の違いは認められなかった(表-2)。

(4) 緑陰環境装置の適用

図-4で比較した対照区と寒冷紗区との相対光エネルギーの分布からわかるように、一般に行われている寒冷紗のみを用いた遮光実験での植物の反応は光強度変化に対する反応である。そのため、これらの結果を用いて野外群落における植物の特徴(特に外部形態)を説明する際には、光強度変化に対する特性と光質変化に対する特性とを区別して考察する必要があると考えられる。

また、群落の庇蔭による光強度と光質(R:F R比)の変化が関与した種子発芽や形態形成に関する生理・生態的現象については、多くの事実が明らかにされているが、Grime(1965)は、庇蔭に対して草本植物がしめす順化的反応の一つに避陰性(shade avoidance)をあげ、各々の形態的特徴と関連づけて論議している。Smith(1994)は、これをもとに、植物の避陰性を示す諸特性(Shade avoidance syndrome)をまとめたが表-3はそれらのうち外部形態を特徴づける諸形質の特性を抜きだしたものである。これらの諸特性は群落内に生育する植物の形態的特徴として経験的にすでに知られていることではあるが、その適応的意義について、定量的な研究例は少ない。Schmittと

表-3 避陰性を特徴づける形態的諸特性
(shade avoidance syndrome)

緒 特 性	庇蔭に対する反応の傾向
伸長成長	促 進 的
節間の伸長	急速に増加する
比 茎 重 (茎実: 茎長比)	減少する
葉柄の伸長	急速に増加する
葉の展開と成長	抑 制 的
葉 面 積	減少する
葉の厚さ	減少する
頂芽優勢	強 ま る
分 枝	抑制される
分 げ つ (イネ科)	抑制される

(Smith; 1992より作成)

Wulff (1993) は、光質変化、特に R:F R 比の違いに起因する植物の反応に関するレビューの中で、フィトクロームが関与した競合能力の遺伝的分化や可塑性などを解析する重要性を指摘し、光質変化に対する“適応的可塑性 (adaptive plasticity)”について研究の方向性を示唆している。根本・笹木 (1993) は、雑草防除の視点から、農耕地内に侵入する雑草の可塑性に基づく生育型戦略に関する研究のなかで、これら侵入雑草に見られる多様な形態変化と作物の生育との関係を解析する上で野外の光環境を十分に反映するような実験装置の必要性を指摘している。

ここで使用したメタクリル樹脂フィルターは材質が安定し、厚さが均一であるため透過率にむらが少ないことなどから、高い再現性を得ることができる。従って、上述した設定条件を基に、フィルターの厚さ、寒冷紗の枚数、フィルター設置の位置 (高さ) などを調節し、野外群落下の様々な光環境に近似した光強度並びに R:F R 比を設定することが可能である。このようにして、作物群落内の緑陰下に類似した光環境を人工的に作りだし、雑草の発生や生育特性

を解明することができると考えられる。

しかし、これらの有効性に対し、以下の点について今後の改良ならびに検討が必要と考えられる。

ひとつは、野外群落では、周辺植物の成長にもなって光強度と光質が関連性をもって変化するため、動的な光環境が形成されている。これらをほぼ完全にシュミレートすることは不可能であるが、群落内における光強度と光質の変化を経時的に測定することにより、試作した装置によって得られた光環境が野外群落の、どのような状況に近似しているのかを推定することができると考えられる。

次に、近年、表-3 で示されたような植物の形態形成とその適応的な意義を考察する際、植物が光質変化、特に周辺植物から反射される低 R:F R 比光をシグナルとして利用し、微環境変化を察知していると考えられている。

従って、例えば、今後草地内に侵入する雑草種の形態的特徴と生育地の光環境との関連性を解析する場合、光の強度や質ばかりでなく、照射する方向性も加味した調査・研究手法や実験装置の開発が必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) Fitter, A. H. and Hay, R. K. 1987. Environmental physiology of plants-2nd Edition. Academic Press.
- 2) Grime, J. P. and Jeffrey, D. W. 1965. Seedling establishment in vertical gradients of sunlight. *Journal of Ecology*, **53**, 621-642.
- 3) 原田二郎・伊藤十四英・小山懸雄・田中孝幸 1981. 水田多年生雑草の生育に及ぼす遮光処理の影響. 北陸農試報 **23**, 81-86.

- 4) Inada, K. and Nishiyama F. 1987. Growth responses of sun and shade plants in simulated vegetation shade and neutral shade. Japan Jour. Crop Sci. **56** (1), 99-108.
- 5) 松尾和人・根本正之 1995. メタクリル樹脂フィルターを用いた緑陰環境装置の試作. 雑草研究 **40** (2), 110-113.
- 6) 根本正之・笹木義雄 1993. 異なる光環境下におけるツクサの生育型戦略. 雑草研究 **38** (1), 20-29.
- 7) 野口勝可・中山兼徳 1978. 畑作物と雑草の競合に関する研究. 第3報 遮光処理が雑草の生育に及ぼす影響. 日作記 **47** (1), 56-62.
- 8) Novoplansky, A., Cohen, D. and Sachs, T. 1990. How portulaca seedlings avoid their neighbours. Oecologia **82**, 490-493.
- 9) Schmitt, J. and R. D. Wulff 1993. Light spectral quality, phytochrome and plant competition. Tree **8** (2), 47-51.
- 10) Smith, H. 1994. Sensing the light environment: the functions of the phytochrome family. In: Photomorphogenesis in Plants -2nd Edition, pp. 337-416, Kendrick R. E. and Kronenberg G. H. M (eds.) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

芝生の造成と管理 — 芝草管理者のために —

眞木芳助／編集

B5判 定価20,000円(税込)

環境保全のための資源として芝生の需要が増している。本書は芝生の造成から管理にいたる芝生づくりのすべてをゴルフ場の例を中心に分かりやすく解説。

全国農村教育協会

〒110 東京都台東区台東1-26-6(植調会館)
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665

作物ウイルス病事典

土崎常男・栃原比呂志・亀谷満朗・柳瀬春夫／編集

A5判 定価12,500円(税込)

作物ごとにすべてのウイルス病を取り上げた病害事典。病徴、被害、ウイルスの性質、伝染方法、防除法などを解説。口絵にはウイルス病徴写真を掲載。

全国農村教育協会

〒110 東京都台東区台東1-26-6(植調会館)
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665