

光環境計測の基礎

渋谷俊夫

植物にとって光環境はもっとも重要な環境要素のひとつである。光環境が植物におよぼす影響は大きく2つに分類される。ひとつは量的な影響, もうひとつは質的な影響である。本講義では, 植物の光環境を正しく評価する方法について, 人工光源や光センサの特性を含めて解説する。

光の量と質

光の発生源を光源という。屋外での主な光源は太陽である。地上で受ける太陽からの放射を日射, 短波放射または太陽放射という。日射の波長範囲は図1に示すように, 約 300 ~ 2500 nm で, 日射のうち, 波長 380 nm 以下を紫外線, 380 nm ~ 780 nm を可視光という。植物生育との関連では, 波長域 400 ~ 700 nm は光合成有効放射, 700 ~ 780 nm は遠赤放射と呼ばれ, 前者は植物の光合成に, 後者は植物の発芽, 節間伸長, 開花などすなわち光形態形成に関与する。波長別の光エネルギー強度の分布を示したものを, 分光スペクトル分布という。分光スペクトル分布は光源によって異なり(図2), その特性は光質と呼ばれる。光質は光が反射, 散乱, 透過することによっても変化する。植物の成長は光の質と強度の両方の影響を受ける。

波長 700 ~ 780 nm の遠赤放射は植物の形態に影響を及ぼす。葉群を太陽光が通過するとき, 遠赤色光の吸収が少ないので, 植物の葉では赤色光が多く吸収される。したがって, 森林を通過した光は遠赤色光の割合が大きくなる。このような光環境では植物の草丈が伸長することが知られている。これは赤色光と遠赤色光の比 (R/FR と呼ばれる) が影響している。一般に遠赤色の割合が大きくなる, すなわち R/FR が小さくなると草丈伸長が促進され, 逆に R/FR が大きくなると草丈伸長は抑制される。

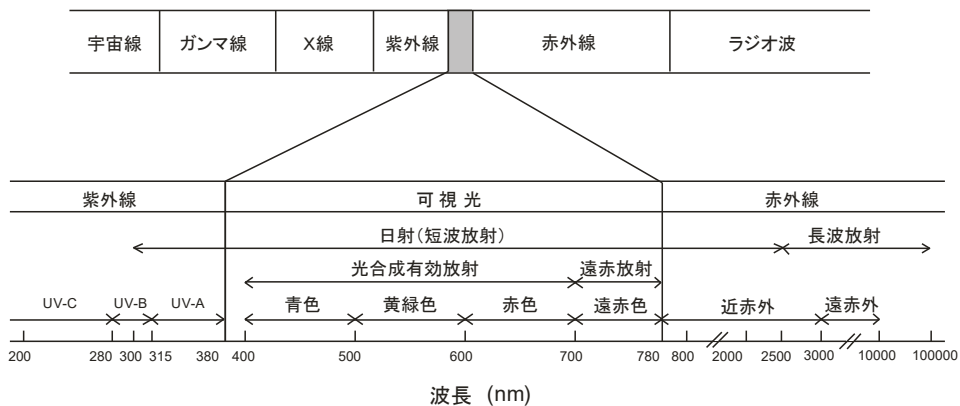


図1 放射の波長域と名称

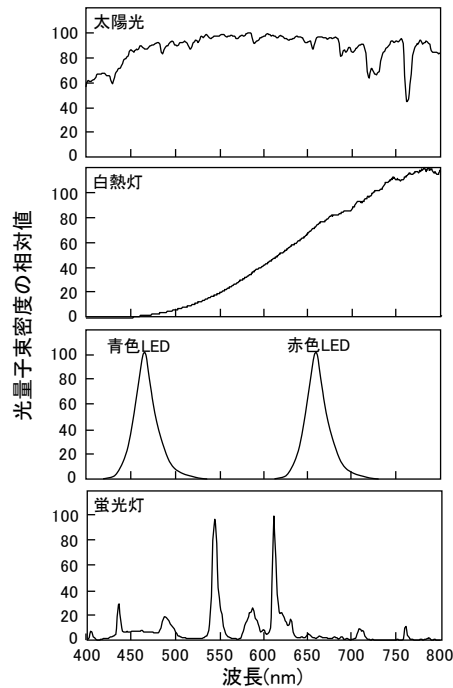


図2 光源別の分光スペクトル分布

光センサの特徴

日射、紫外放射、光合成有効放射などの放射強度は、単位時間、単位面積が受ける放射エネルギー量、すなわち放射束密度として表される。単位には W m^{-2} が用いられる。他方、植物の光合成には波長域 400～700 nm の光量子が関与することから、光合成に関する研究においては、単位時間、単位面積が受ける波長域 400～700 nm の光量子量、すなわち光合成有効光量子束密度（photosynthetic photon flux density, PPF_D と略される）を測定することが多い。単位には $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ が用いられる。照度の単位として用いられる lx（ルクス）は、人間の目が感じる明るさを示す尺度であり、エネルギー密度や光量子束密度を表すものではない。人間の目の感度は黄緑色で高く、青および赤色で低い。従って、照度と放射束密度または光合成有効光量子密度との関係は照射光の分光スペクトルの特性によって異なるので、植物を対象とした光強度の指標に照度を用いない方がよい。

光環境計測に使用するセンサは、その動作原理から熱型と量子型に大別される。熱型は放射を熱エネルギーに変換して、熱エネルギーによる温度上昇を電気信号として検出する。このタイプは広い波長域の放射を検出できるが、感度が低く、応答時間が長い。一方、量子型は入射する放射エネルギーで電気エネルギーを直接作り出して検出する。このタイプは感度が高く、応答時間が短い、使用できる波長域が限定される。以下に、日射計、光量子計および照度計の特徴を述べる。

1) 日射計

日射計は日射の放射束密度を計測する測器で、一般に熱型と量子型（太陽電池型）の2種類がある。熱型日射計は熱収支に基づいて日射のエネルギー密度を検出する。熱型日射

計はドーム状のガラスで覆われているが、これは計測器周囲の風の影響を防ぐとともに、全天および周辺からの長波放射がドーム内へ入射することを防ぐ役割を果たす。熱型は放射源の分光特性が日射計出力に影響しない。一般に測定波長は 3000 nm までである。

量子型日射計はフォトダイオードと呼ばれる半導体を検出部として、光量子束密度の大小を電流の大小に変換することによって日射のエネルギー密度を検出する。量子型は熱型に比べて感度が高く、また応答時間が短い。一般に測定波長は 1100 nm までであり、放射源の分光特性によって感度が異なるので注意が必要である。

2) 光量子計

植物に関する研究に用いられる光量子計は、光学フィルターによって波長域 400～700 nm のみの光量子をフォトダイオードによって検出するものがほとんどである。光量子あたりのエネルギーは波長の短いほど大きく、波長 400 nm における光量子あたりエネルギーは波長 700 nm における光量子あたりのエネルギーの約 1.75 倍になる。これは光量子あたりのエネルギー量が波長に逆比例するためである。したがって、同じエネルギーが入射したときに、波長 400 nm では波長 700 nm に対して 57% (=400/700) の値を出力するように感度調整されている (図 3)。

3) 照度計

照度計は人間の目が感じる明るさの尺度を測定する測器であることから、植物に関する研究に用いられることは少ない。照度計は、同じエネルギーが入射したときに、緑色 (550 nm) で照度の出力が大きくなるように感度調整されている (図 3)。これは、人間の視覚の感度に合わせているためである。

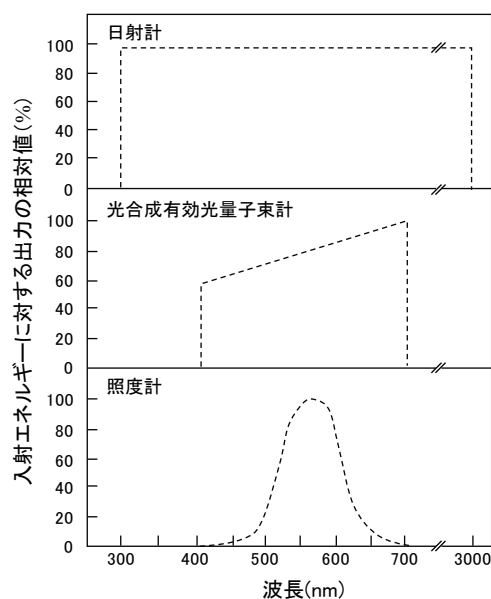


図 3 日射計，光合成有効光量子束計および照度計の感度曲線

各光センサの換算係数の算定

太陽光，白熱ランプ，赤青 LED および白色蛍光灯について，光量子（PPFD）計，日射計，照度計で光強度の測定を行う．各測器の受光面で光強度が同じになるように注意すること．測定値から，各光源について，PPFD 計，日射計，照度計の換算係数を求めよ．光源によって換算係数が異なる理由を，光源の分光スペクトル分布とセンサの感度特性から考察せよ．

表 1 各光源における光合成有効光量子束密度，日射量，照度の換算係数

換算項目	太陽光	白熱ランプ	赤青混合 LED	白色蛍光灯
PPFD から日射量 ($\text{W m}^{-2}/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				
PPFD から照度 ($\text{lx}/\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				
日射量から PPFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/\text{W m}^{-2}$)				
日射量から照度 ($\text{lx}/\text{W m}^{-2}$)				
照度から PPFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/\text{lx}$)				
照度から日射量 ($\text{W m}^{-2}/\text{lx}$)				

レポート

計測原理・計測方法を分かりやすく正確に記述すること。このテキストに書いてある内容を写すだけでは不十分である。結果は図や表にまとめ、そこから読みとれることを文章で説明すること。図や表は何を伝えたいのかをよく考えて作成すること。単位は正確に記述すること。下記の内容について算定・考察すること。他の項目について考察しても構わない。

各光センサの換算係数について（1枚）

各光センサの換算係数の傾向について光源の種類別に説明し、そのような傾向になった理由を文章で説明せよ。この結果にもとづいて、各センサを使うときの注意点を述べよ。