

林床設置型 LAI センサーの開発

九州大学・農・北濱 久米篤, 京都大学・農 吉藤奈津子, 日本環境計測 片山博之

1. はじめに

葉面積指数 (LAI) とは、対象植生の単位地表面積当たりの葉の面積 (投影面積) の合計を示す指標値のことで、植生の放射吸収量, 光合成・蒸散量, 植生の炭素吸収能力などを示す重要な指標として広く用いられている。LAI は対象植生の葉を刈り取ること, すなわち, 対象区画に存在する全ての葉の総面積から求めることができる (刈取り法)。この方法は原理的に正確であるが, 測定対象の破壊を伴い, 人的労力の負担も大きい。そのため, 林冠の光学的性質から非破壊的に LAI を推定する様々な方法が提案されている。例えば, 魚眼レンズで撮影された映像のギャップ比率から LAI を計測する方法や, 全天を光学的にリング状に5分割して, 青色放射 (320~490nm) の強度分布を測光して LAI を推定する方法 (Li-Cor, LAI-2000), 晴天日に林内で光合成有効放射 (PAR) センサーを移動させながら測定し, PAR 強度分布から葉の密集度などを推定して LAI を推定する方法 (3rd Wave Engineering, TRAC) 等がある。また, 植生表面における分光反射放射の強度比から計算される LAI に関連した植生指数 (NDVI など) も広く用いられているが, 実際の測定には様々な制約がある。これらの方法における共通の問題点は LAI の自動的な連続測定が難しいことで, フィールドにおけるフェノロジーの自動測定を行うことなどは困難であった。そのため, いくつかの森林サイトでは, 林内と林外に PAR センサーを設置し, 植生内の PAR 減衰率の変化を LAI の季節変化に変換することも行われている。しかし, この場合には, 植生上に入射する PAR が必ず同時に測定されている必要があり, タワーなどが設置されていない森林サイトでは設置が困難であった。

2. NIR/PAR 法の原理

植物の葉は 400-700nm の波長の放射 (PAR) をほぼ吸収し, 光合成を行う。この時, 700-1000nm の近赤外放射 (NIR) は利用されず, ほとんどが透過・反射される。葉群表面からの PAR の反射率は比較的小さい (<5%) ので, 植生による PAR 吸収は植生上の入射 PAR (PAR_i) と植生下の透過 PAR (PAR_t) の差し引きとして定義できる。すると, 植物群落は PAR の吸収に応じて NIR 比率を増加させる性質を持った, 緑の微小フィルター群によって構成された 1 枚の巨大フィルターと仮定できる。すなわち, 野外環境における NIR/PAR の変化は, その上方において日射の PAR 成分がどれだけ葉によって吸収されたかを示す指標となる。天空における NIR/PAR 比は天候によらずほぼ一定であることが知られているが, 植生の構造は複雑で入射する放射特性も気象や太陽高度によって大きく変化するため, 林床における NIR/PAR は, 天候や林冠と太陽の位置関係によって大きく変化する。しかし, 1 日を通して値を積算した場合, 太陽の位置変化によって林冠の特性が平均化され, 林内でライントランセクト測定された TRCK と同様の効果が得られると考えられ, その場

所固有の光環境を安定的に示すと予想される。実際、Monsi & Saeki (1953)は、植物群落内における陽斑の面積の合計は相対照度に比例し、葉あるいは測定装置が絶えず動かされることによって陽斑を伴う光が十分に平均化されるならば、晴天日の相対照度は曇天における値とほぼ同じになると説明している。

3. NIR/PAR 法の森林への適用

このような植生と NIR/PAR の関係が LAI の推定に適用可能であるかどうかを、実際に NIR センサーと PAR センサーを作成して検証した。まず、通常の PAR センサーのフィルター構造を改造して、元の PAR センサーと同じ光学的特性を持つ NIR センサーを作成した。この二つのセンサー上に落葉広葉樹のアベマキの葉を 1~6 枚重ねて NIR/PAR 比の変化を測定した。その結果、LAI と NIR/PAR の間には $R^2=0.98$ という高い線形の関係が確認された。次に、林冠の LAI の季節変化が正確に測定されている JaLTER の高山サイトの落葉広葉樹林で NIR/PAR 測定を行い、フェノロジカルな LAI 変化との関係を出葉前から落葉後まで確認した (Kume et al. 2010)。林冠上のタワー観測では NIR/PAR は日中を通じて 0.83 程度の値を示し、天候や季節によらずほぼ一定であった。このことは、地表から上空を測定した場合、背景比率としての NIR/PAR はほぼ一定と見なせることを示している。植生下の林床における NIR/PAR の瞬時値は、1年の間では 1~8 程度までの値をとり、林冠が閉じた時期には 1日の間に 2~4 程度の幅で変動していた。季節的な NIR/PAR の変化は林冠の葉量増減にともなって生じていた。一方、1日の間の変動は樹冠構造の不均一性によって生じており、それに雲量変化が影響していると考えられた。このような NIR/PAR の日内変化の影響は、NIR と PAR の日積算値から比を求めることでほぼ解消することができた。一方、NIR/PAR 比の瞬時値を直接平均化すると、陽斑の影響が過小評価され、大きな誤差を生じる可能性があった。日積算値から求められた林床の NIR/PAR の対数と LAI の間には $R^2=0.97$ という高い相関関係があった。また、林床の NIR/PAR は PAR_i/PAR_t と $R^2=0.96$ という高い相関関係があった。

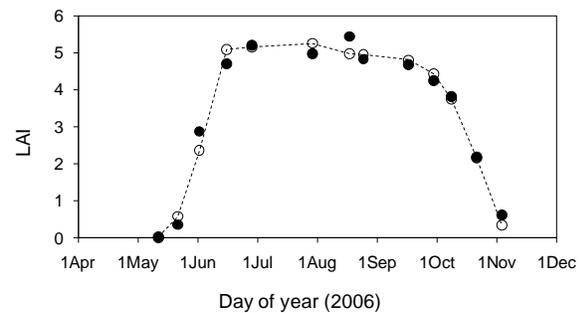


図 1 高山サイトにおける LAI の推定値●と実測値○の関係

これらの結果は、林床に NIR・PAR センサーを設置し、年間を通じて測定することで、その植生の LAI や葉による PAR の吸収率の変化を連続的に推定できることを示している (図 1)。このセンサーは MIJ-15 という商品名で日本環境計測から販売されており、現在、いくつかの衛星リモートセンシング技術開発プロジェクトの地上観測計画でも試験的に採用されて実用化の検討が行われている。

引用文献 Kume et al. (2010) J Plant Res DOI:10.1007/s10265-010-0346-1; Monsi & Saeki (1953) Jpn J Bot 14:22-52,