

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 宇都木 玄

地球温暖化の予測精度を向上させるため、全球気候モデルと陸域生態系炭素循環モデルとの統合化が進められている。陸域生態系炭素循環モデルは、これまで光合成を行う葉層を単層あるいは陽葉・陰葉の2層として扱っている。一方、陸域面積の30%を占める森林生態系の林冠は垂直的な階層構造を示すことが特徴であり、光条件や個葉の生理機能は垂直的に変化する。このことから、近年、個別の森林生態系の炭素循環モデリングに多層モデルが用いられるようになってきた。しかし各階層のパラメータが必要なことが広域への拡張に大きな障害となっている。そのため、森林生態系の炭素循環モデル、とくに林冠光合成モデルにおける林冠の単層的扱いが、総光合成生産量(GPP)の推定にどの程度の不確実性をもたらすか検証する必要がある。とくに、葉傾角(水平面からの仰角)については実測が困難なため、多層モデルにおいても一般に球面体角度分布(平均葉傾角として57度)が仮定されている。

そこで本研究ではGPPの推定に際して単層的に取り扱われてきた葉傾角に注目し、その頻度分布や垂直分布を考慮することの有効性を、タイプの異なる森林で検討することとした。論文の中では、第一章で研究の背景と目的を明らかにした後、第二章では葉量と葉量の垂直分布構造、葉傾角の林冠内頻度分布と垂直分布構造を明らかにした。第三章では直達光と散乱光を分離する手法を検討し、葉面積の季節変化と林冠構造から、直達光と散乱光別に林内の光透過確率を推定した。第四章では個葉の光合成能力を解析し、ヒノキ人工林では光-光合成曲線を、また落葉広葉樹林では光合成の生化学モデルの変数を明らかにした。第五章では第四章まで測定した林冠構造と個葉光合成速度を組み合わせた林冠光合成生産量(GPP)推定モデル(V-CProd 多層モデル)を開発し、葉傾角がGPPに与える影響を明らかにした。

ヒノキ人工林及び落葉広葉樹林において、林冠内の葉傾角頻度分布は楕円体角度分布を用いて近似できることができた。葉傾角の垂直分布は林分毎に異なるが、基本的に林冠梢端で急な葉傾角を示し、林冠下部に向けて水平に近づくことがわかった。これらの生態的な意義は、森林全体として光を効率的に獲得するための構造であると考えられた。

ヒノキ人工林では単葉の光-光合成速度の関係を表す最大光合成速度(A_{maxA})、見かけの光量子収率、葉呼吸量(R_d)を調べた。 A_{maxA} と R_d の林冠内の垂直変化及び季節変化は、葉面積重(LMA)及び気温から推定することができた。また見かけの量子収率は、LMAや環境条件と相関関係を示さなかった。LMAは林冠内で明瞭な垂直分布を示し、林冠下部にかけてLMAは小さくなった。このLMAの垂直分布は季節変動を示し、春先から秋にかけてLMAは増加し、冬にかけて減少した。

落葉広葉樹林では、林冠梢端から下部にかけてLMAや単位葉面積あたりの窒素濃度が減少した。その垂直分布は高さを変数とした漸近回帰関数で表すことができ、飛田ら(2007)

によって発表された Farquhar タイプの光合成生化学モデルのパラメータ (Farquhar *et al.* 1980) の垂直分布を明らかにする事ができた。

以上の研究成果に基づき、林冠総光合成生産量推定モデル (V-CProd 多層モデル) を開発した。このモデルは、林冠層別に直達光を受光する葉面積及び散乱光を受光する葉面積を分離し、林冠総光合成生産量を推定できることが特徴である。このモデルを用い、林冠光合成モデルにおける葉傾角の単層的取り扱い、及び葉傾角頻度分布の球面体角度分布の仮定が、林冠総光合成生産量の推定値にどの程度不確実性を与えるのか検討した。

葉傾角の楕円体角度分布モデルが短期間 (秒レベル) の林冠総光合成生産量 (CGPP) に及ぼす影響を解析した。林冠を一層として単層化した楕円体角度分布モデルの場合、葉傾角頻度分布の差異が高太陽高度かつ強光条件下において CGPP に大きな影響を及ぼした。一方弱光条件ではその影響が低下した。また林冠を多層化した楕円体角度分布モデルによる CGPP と、林冠を単層化した楕円体角度分布モデルによる CGPP の差は僅か (2%) であった。

次に年間の林冠総光合成生産量 (GPP) に及ぼす葉傾角の楕円体角度分布モデルの影響を解析した。林冠を一層として単層化した楕円体角度分布モデルの場合、平均葉傾角を 9~71 度まで変化させても、GPP の差異は最大で 11% しか見られなかった。これらのことから、本研究で調査した場所の平均的な光環境条件を前提にした場合、林冠総光合成生産量推定モデルに葉傾角の詳細な選択や多層化は必要ないと考えられた。

一方、強光条件が長期間続くと考えられる乾燥地 (西オーストラリア内陸部) において、葉傾角の GPP に与える影響を計算した。ユーカリ林の場合、平均葉傾角を 9-71 度まで変化させた場合、楕円体角度分布モデルによる GPP 推定値の差異は 20% まで増大した。

これらのことから地球環境変動によって光環境条件が好転する (光が強くなる) と予想される森林生態系では、葉傾角の生産量に与える影響が大きくなる事を示唆した。また乾燥地や熱帯林のように強光条件が予想され、平均葉傾角が小さい (水平葉が多い) 植物群落では、既存のモデルによる GPP の推定値は過大評価になり、林冠光合成量を推定する場合に葉傾角を考慮すべき場合があることを明らかにした。

以上、申請者は現行の光合成推定モデルに対して、葉傾角の重要性を指摘し、葉の空間分布より新たな林冠光合成モデルを開発した。これによって、葉傾角が GPP (総光合成生産量) に及ぼす影響を解析し、湿潤温帯域では現行モデルでも精度的に問題がないことを確認したが、低緯度地帯や乾燥地域では、葉傾角を考慮したモデルが有効であることを示した。本研究は、森林の炭素固定量 (光合成量) を推定する際の問題点を抽出し、より高精度なモデルを提示したもので、これは今後温暖化・沙漠化による大きな環境変動が予測される条件下において、より有効な推定モデルの開発という点で科学の進歩に寄与したと言える。よって、審査委員一同は、本論文が博士 (農学) の学位論文として十分に価値があるものと認定した。