

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 熊谷 朝臣

本研究は、植生－環境間におけるエネルギー・物質交換過程における現象を記述する物理モデルの構築すること、また完成したモデルを利用して観測データの解釈を行いモデル適用上の指針を与えることを目的とした。植生としては、地球上で最も巨大なバイオマスをも有し最も強く環境に影響を与える存在として、「森林」を対象とする。交換される物質として最も重要な研究対象は水と二酸化炭素であり、現象が生起する環境は、土壌環境、樹木の内部的環境、樹冠－大気境界面を主とする大気環境である。本研究では、これら3つの環境に関するモデルとして、(1) 土壌中二酸化炭素環境モデル、(2) 樹体内水分動態モデル、(3) 樹冠－大気間熱・水・二酸化炭素交換過程モデルを構築した。

本論文は5章からなり、第1章では森林のエネルギー・物質交換過程の物理モデルによる研究の考え方をまとめ研究の方向を提示した。第2章では、森林土壌中の二酸化炭素ガス濃度分布の経時変動を表現する数理モデルを作成した。このモデルは、場に固有で緩慢に経時変動する土壌構造、微生物量や根系分布に関係する有機物量分布からなる土壌条件と、土壌中の有機物量と地中温度・土壌水分によって変わる土壌中二酸化炭素ガスの生成強度、孔隙の連結を切断したり孔隙を孤立させる土壌水による土中気相の構造の変化を反映するものである。土壌中での二酸化炭素ガスの生成強度を、有機物量、地温、土壌水分の関数として与える新たに提案したモデルを、土壌中のガス拡散モデルに組み込むことによって、森林における長期観測結果が良好に再現された。シミュレーション結果と実測値の良好な適合にいたる過程の検討から、土壌構造のような場に固有の不均質性よりも地中温度や土壌水分のような環境因子の時空間的な不均質性が土壌中 CO_2 ガス環境を支配していることが推定された。

第3章では、根系部を含まない樹木地上部の水収支を定量的にも定性的にも表現できる数理モデルを、多孔質媒体中の水移動則と植物生理学的知見を利用して構築した。この数理モデルを用いた解析により、樹体内水分特性パラメータと単木レベルでの水収支(蒸散、辺材における水分移動・貯留、吸水、水ポテンシャル分布)の関係が検討された。このモデルでは、大気側の要求量に対して蒸散が起こり、水ポテンシャル分布が樹体中で形成され、その圧力差によって吸水が生じる。また、蒸散量と吸水量の差が辺材中の貯留水量変化をもたらすものである。蒸散速度、吸水速度、水ポテンシャル、辺材中の貯留水変化量といった計算結果は、強制的に吸水を止めるという極端な条件下においてさえ観測結果に対応する応答を示した。従来の多くの SPAC モデルにおける水ポテンシャルの値は、概念的に扱われ必ずしも実際に観測される値と対応するものではないが、本モデルにおける植物中の水ポテンシャルは、明らかに物理的意味を持ち、試料木で観測される実際の水ポテンシャルと比較可能である。本モデルは、様々な樹種における水分特性を表現する様々なパラメータが蒸散速度や吸水速度に及ぼす影響の検討が可能であることが示されている。

第4章では、樹冠内外における風の質（乱流特性など）、樹冠に入射さらに樹冠内を伝達する光の質（散乱光と直達光の成分比など）、樹冠構造（葉面積密度、葉の大きさ、傾斜角とその垂直分布など）、個葉レベルの物理的物質交換特性（葉面での対流特性）・生理学的特性（電子伝達速度、RuBisCo活性やこれらを支配する葉内窒素含有量の垂直分布を含む）を考慮して樹冠内・上空での熱・水・二酸化炭素交換過程を再現するモデルを構築した。本モデルは、主に、樹冠内放射伝達モデル、個葉生理学的・物理過程モデル、樹冠内・上空乱流拡散過程モデルの3つのサブモデルから構成されている。

このモデルは、樹冠内外の二酸化炭素濃度分布の計測データから樹冠内での環境因子の分布に対する個葉光合成速度の分布の関係の推定が可能である。本研究では、本モデルが実際の現象を適正に表現できることを確認した上で、対象とする森林の条件（ここでは、葉面積密度垂直分布）が変化した時、現象がどのように変化する可能性があるのかが調べられた。また、個葉光合成特性に関する計測の樹冠内における必要データ量についても検討された。

第5章では、全体を整理し、（1）土壌中二酸化炭素環境モデル、（2）樹体内水分動態モデル、（3）樹冠-大気間熱・水・二酸化炭素交換過程モデルを統合する方向性がまとめられている。以上、本研究では、森林の微気象環境、二酸化炭素濃度環境を物理的に解析するために必要な物理則に基づくシミュレーションモデルを完成させ、それぞれのモデルの特性が明確にされた。

以上のように、本研究は学術上のみならず応用上も価値が高い。よって審査委員一同は、本論文が博士（農学）の学位を授与するにふさわしいと判断した。