

寒冷圏における大気—雪氷—植生相互作用の解明

原 登志彦 (北海道大学 低温科学研究所)
隅田 明洋 (北海道大学 低温科学研究所)
石井 吉之 (北海道大学 低温科学研究所)
兒玉 裕二 (北海道大学 低温科学研究所)
植村 滋 (北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター)
高橋 耕一 (信州大学 理学部)
江守 正多 (地球フロンティア研究システム)
高田 久美子 (地球フロンティア研究システム)
田中 隆文 (名古屋大学大学院 生命農学研究科)
小川 健一 (岡山県生物科学総合研究所)
横沢 正幸 (農業環境技術研究所)
渡辺 力 (森林総合研究所)

研究目的

寒冷陸域は、雪氷と水、寒冷圏固有のエネルギーの流れおよび寒冷地特性を持つ植生によって特徴づけられる。寒冷圏での様々な時間および空間スケールでの大気 - 陸域系の振る舞いはそれらの影響を強く受けているが、未解決な問題が多い。本共同研究では、雪氷を中心に関連する分野との統合をめざし、相互作用系の研究を行う。すなわち、「大気 - 植生 - 雪氷相互作用の解明」である。特に環境科学の研究において、生物学的観点を地球物理学・化学に取り入れる試みは、その重要性が指摘されているにもかかわらず、ほとんど行われていない状態である。特に、雪氷が存在する寒冷圏における植物の生理・生態は未解決な部分が多いので、本共同研究でこの方向の研究を進める。

寒冷圏における大気 - 植生 - 雪氷相互作用を解明するために、平成 13 年度は以下の 2 つのアプローチから研究を行った。まずは、() の野外における林内微気象の観測と樹木の生長および生理活性の季節変化の測定である。そして、() の大気 - 植生 - 雪氷相互作用のプロセスに関する理論モデルの開発である。今回は、() の結果から推定したパラメータを() で開発したモデルに取り入れてシミュレーションを行うところまではいかなかったが、それは平成 14 年度に行う予定である。

() 寒冷地の夏緑林における生物間相互作用に関する生理生態学的研究：
北海道母子里におけるダケカンバ林の水および炭素収支に対する林床のササ類の影響

はじめに

寒冷地の生物は低温や積雪だけでなく、短い好適期間という制約にさらされている。夏季に葉をつけ

る樹木が短い生育期の間効率よく炭素を獲得するためには、夏の日中の強光や乾燥といった環境条件に対して適応的な光合成反応を持たなければならない。寒冷地における環境変動に対する「落葉広葉樹林の光合成による炭素獲得 生態系における炭素収支」の変化の予測のために、落葉樹の光合成の環境応答を夏季に集中して評価することが重要である。

北海道の森林の多くは、林床をササ類におおわれている。林床に密生するササ類は樹木の新規加入を妨げることはもちろん、上層木に供給されるべき水分や栄養塩を奪い取る存在である。ササ類が樹木の実生の定着を直接左右することは数多く研究されてきたが、林床におけるササの繁茂が林冠木の生育状態にどのような影響を持っているかについては未知の点が極めて多い。とくに、ササと樹木間の水や栄養塩などの競合は、林冠木の資源獲得の機構を変化させている可能性がある。

本研究では、北海道北部（北海道大学 雨龍研究林）のダケカンバ(*Betula ermanii*)林の林床に優占するチシマザサ群落の刈取りによる除去が、ダケカンバ林冠木の個葉光合成特性（ガス交換、クロロフィル蛍光など）および当年枝の構造（葉の展開の季節性、伸長成長など）をどのように改変しているかについて、高さ約 13m の林冠アクセスタワーを活用して調べた。得られた結果から、寒冷地の夏緑性落葉広葉樹（ダケカンバ）の光合成生産および環境応答と、それらに対する生物間相互作用の関与について検討を加えた。

調査地

北海道大学 雨龍研究林，母子里，神社山

20 年生（樹高 6m；15m×15m 枠）ササ除去区，対照区

40 年生（樹高 12m；20m×30m 枠）ササ除去区，対照区

これまでの COE プロジェクト・特別共同研究の成果から、ササの除去（1999 年に実施）が土壤水分条件を改善することが示唆されてきた（高橋ほか）。ササの蒸散活動による土壤水分の消費が抑制されたためである。しかし、今回の調査ではササの除去から 2 年が経過し、ササの除去に対する植物の順化反応や生態系の水循環が平衡に達しつつある状態で調査を行うことになることが予測された。

測定項目

ダケカンバ林冠頂部の葉の機能の季節変化および日中変化

ガス交換（光合成・蒸散・気孔開度・葉内二酸化炭素濃度）

クロロフィル蛍光（光化学系の光利用効率，熱放出，電子伝達速度）

葉内成分（窒素・炭素含量，炭素安定同位対比）

林内微気象（光合成有効放射，温湿度，風速，葉温，土壤含水率・土壤水ポテンシャル）

結果と考察

ダケカンバ当年葉の展開はササ除去下でやや速くなり、生育期間内における積算着葉数も増大した。従って、ササとの資源競合がダケカンバのシュート成長を制約している可能性が示唆される。一方、サ

サ除去によって、ダケカンバ夏葉のサイズ（面積や LMA）は季節を通して小さくなる傾向にあった。

同じ出現順位にある夏葉の二酸化炭素固定速度・気孔コンダクタンス・蒸散速度および窒素濃度は、葉面積ベースではいずれもササ除去の下で低かったが、葉重ベースではササ除去の影響は不明瞭であった。ササとの競合下におけるダケカンバ個葉の光合成特性や窒素濃度の変化は、主に葉の形態（LMA）の変化によって説明できる。また、光化学系 II の光利用効率や電子伝達速度にもササ除去による変化は無かった。

以上の結果から、ササとの競合下にあるダケカンバは、出葉数に制限を受ける一方で個葉のサイズを大きくするとともに、葉面積ベースでの光合成能力を高めていることが示唆された。これに対して、ササの除去下では重量ベースでの葉の生産性を維持しながら、開葉数の増加とともに当年枝の長さの増加を実現させていると言える。いずれの場合でも、葉の機能に顕著なストレス（ダメージ）は検出されず、ダケカンバは形態や機能の可塑性によってササの有・無のそれぞれの条件下で適応的に振る舞っていることが分かった。

本研究によって、1) 寒冷地の夏緑樹の光合成特性、2) 下層植生の除去による上層林冠木の機能の改善、そして 3) 下層植生と上層林冠木の共存メカニズムが明らかにされつつある。

（ ）陸面物理過程と植物生長動態の相互作用に関する多層統合モデルの開発

はじめに

植物は、大気および土壌と相互作用を行いその結果、エネルギー・水・物質の循環が行われ陸上生態系が形成される。今日、人口増加や工業化などの人間活動および環境変化が陸上生態系に及ぼす影響が重大な問題となっている。陸上生態系の変化は、陸面における熱・水収支や微気象に影響を与え、気候システムの変化をもたらす。本研究の目的は、陸上生態系と気候システムのこれらのフィードバック過程を地域およびグローバルなスケールで解明することである。

モデル

まず、プロット・スケールにおいて植生動態と物理環境（気象）の変動を記述する統合モデル MINoSGI (Multi-layered Integrated Numerical Model of Surface Physics ? Growing Plants Interaction) を開発した。このモデルでは、植物群落における微気象モデルと植物群落のサイズ構造動態モデルが統合されている。実際の樹木群落のデータを用いてこの統合モデルの有効性について検討を行った。我々の最終目標は、この統合モデルと GCM を結合し、グローバル・スケールに展開することである。

（ 1 ）植物群落における微気象モデル

このモデルは、垂直一次元多層キャノピー・モデルであり、土壌 - 植物 - 大気系における微気象を記述する。このモデルは以下のようなプロセスを考慮している：

土壌：熱・水輸送、土壌呼吸

植物：熱・水収支、光合成、呼吸、気孔の開閉、

大気：熱・水・二酸化炭素収支、乱流

放射：可視、近赤、長波

(2) 植物群落におけるサイズ構造動態モデル

このモデルは、植物個体の生長と枯死の結果としての植物群落のサイズ構造の変化を記述する。サイズ構造の変化は「連続の式」で与えられ、実生の新規加入の過程はその境界条件として与えられる。植物群落微気象モデルは、気象データから各サイズクラスの植物個体の光合成速度を計算する。これらの結果は、植物群落サイズ構造動態モデルに取り込まれ、次の時間ステップでの植物群落のサイズ構造が計算される。この新しいサイズ構造は再び植物群落微気象モデルに取り込まれ、植物群落における次の時間ステップでの物理環境およびそれらに対応する植物個体の光合成速度が計算される。以上のプロセスにより、植生動態と気候変動の相互作用が記述される。

結果と考察

我々の統合モデルを検証するために、まずは常緑針葉樹であるスギ (*Cryptomeria japonica*) 林のデータ (名古屋大学演習林) を用いた。これは、1982年から1988年 (樹齢、20から26年) までのスギ個体の生長のデータである。このデータの詳細は、勝野氏の名古屋大学農学部・博士論文 (1990) に与えられている。樹木個体のアロメトリー関係、光合成速度、呼吸速度、個体の生長速度など必要なデータはすべてこの学位論文から採用した。また、このスギ林の近くの気象データも入手した。

1983年のサイズ構造を初期値として、我々の統合モデルに基づき5年間におけるスギ林のサイズ構造の変化をシミュレートした。植物群落微気象モデルにおいては、数値解析の時間ステップは1時間とし、植物群落サイズ構造動態モデルにおいては1日とした。シミュレーションの結果は、実際に観測されたスギ樹高のサイズ分布を非常によく再現していた。我々の統合モデルは、このように植物群落における生長動態と陸面物理過程の相互作用をよく記述しているモデルであると言える。

上記()で観測・調査しているダケカンバ林すなわち落葉広葉樹林にこのモデルを適用するために、落葉および開葉のプロセスを取り入れたMINoSGIを現在開発中である。