

北海道大学 低温科学研究所 特別共同研究プロジェクト

「寒冷陸域における大気 雪氷 植生相互作用」

研究代表： 原 登志彦（北海道大学・低温科学研究所）

研究分担者：

隅田明洋（北海道大学・低温科学研究所）

小野清美（北海道大学・低温科学研究所）

加藤京子（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）

石井 吉之（北海道大学・低温科学研究所）

鯨岡啓輔（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）

小林 剛（香川大学・農学部）

西村誠一（農業環境技術研究所）

横沢 正幸（農業環境技術研究所）

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）

渡辺 力（森林総合研究所）

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）

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14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。

() 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

北方林は複雑な階層構造をもつ熱帯林とは異なり、林冠層と稚樹層からなる単純な構造であり、また林床植物が繁茂しているのが特徴である。多くの北海道の森林では、林床は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、ササと樹木の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。

当グループはこれまでにササの除去が 1) 林内における夏季の土壌水ポテンシャルを上昇させる(除去後 1~2 年目)、2) ダケカンバ林冠木の肥大成長、通導コンダクタンス、当年枝の伸長量・展葉数を増加させる(除去後 3 年目) ことなどを明らかにしてきた。特に、シュート(枝条)レベルでの変化は林冠構造そのものが変化することを示唆しており、林冠レベルの光合成生産を把握することによって、ササと樹木の競合に新たな知見が得られるものと考えられる。また、ササを除去することによって、ササとの競合が無くなり、ダケカンバ内の競争に変化をもたらすと考えられるので、ダケカンバ林冠木の成長、枯死といった動態を解析することは重要である。

本研究では、北海道北部のダケカンバ林(北海道大学 雨龍研究林)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(1) 林冠の光合成生産に与える影響を明らかにすること、(2) ダケカンバ林冠木のササ除去後 4 年の動態を明らかにすることを目的として、以下のことを調査した。(1) ダケカンバ林冠の三次元構造と林冠内の光環境を林冠アクセスタワーを使用して測定し、除去から 4 年目の林冠構造の変化をササ除去区と対照区とで比較した。また、林冠の上層・下層におけるダケカンバ個葉の光・光合成曲線を作成した。(2) 1998~2002 年の成長期後に胸高直径と生死の調査を行った。樹高測定を 2 年に一回行った。

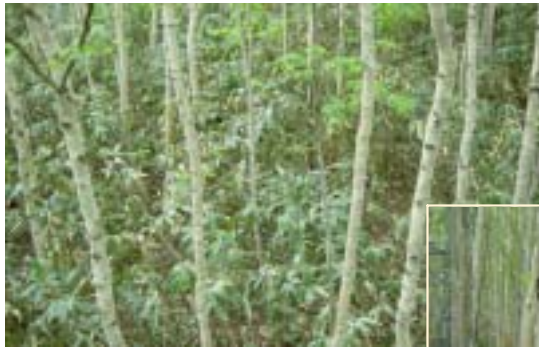
調査地

北海道大学 雨籠研究林，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

(プロットは 1998 年に設置。除去区では、1998 年 9 月にササを除去。)



雨籠研究林
母子里 神社山

北海道大学
北方生物圏フィールド科学センター
森林圏ステーション



(1) 林冠の光合成生産

プロット設定 (林冠 3 次元構造解析用)

20 年生の林分に x 軸 : 3m、y 軸 : 6m の方形区を除去区，ササ区に設置

測定項目

樹冠投影図作成

樹冠断面図作成 (x 軸 : 60cm 間隔、計 5 枚/処理区)

ダケカンバ樹冠下・ササ上 (高さ 2.4m) で葉面積指数 LAI の測定 (60cm 間隔の格子点上)

ダケカンバ樹冠内外の光環境 (光合成有効放射束密度 PFD) の測定

(地上高 2.4m 以上、x 軸 : 30cm 間隔、y 軸 : 60cm 間隔、高さ : 60cm 間隔)

ダケカンバ林冠の上層と下層の個葉の光・光合成曲線の作成

林内微気象 (光合成有効放射，温湿度，風速)

結果と考察

ダケカンバ林冠木の樹冠下の LAI の平均値は、ササ区で 3.91 ± 0.36 (m^2/m^2)、除去区で 3.43 ± 0.36 (m^2/m^2) であり、ササ区の方が除去区よりも LAI が高いことが明らかとなった (t 検定 $p < 0.001$)。この結果は、ササを除去した方がダケカンバ林冠の着葉量が少なくなることを示す。LAI の空間分布と樹冠の分布は一致しており、ササ区では、特に樹冠が重なっている場所で LAI が高くなっていると考えられた (図 1)。

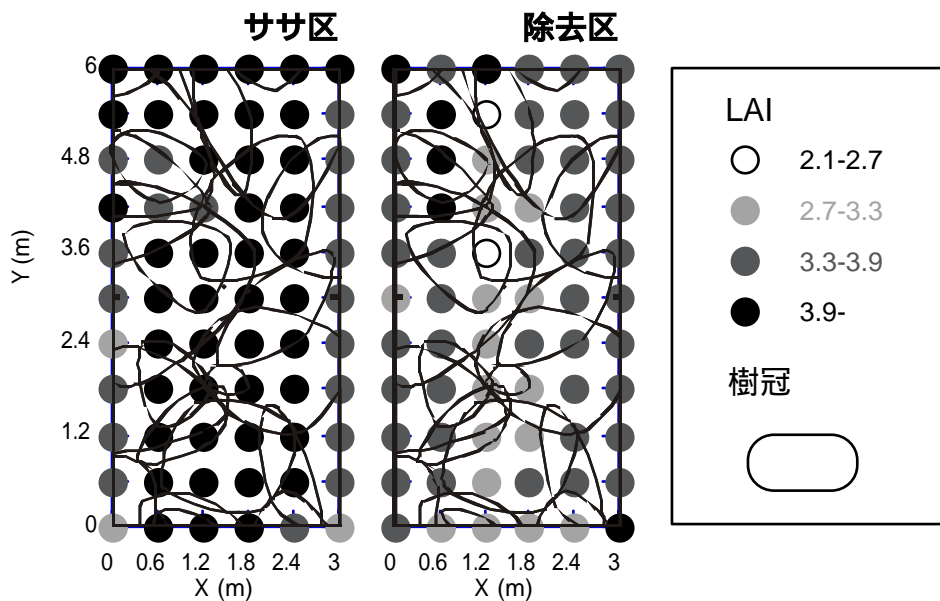


図 1. ダケカンバ林の樹冠投影図と LAI の空間分布 (水平方向)

ダケカンバ林冠木の樹冠内外の相対 PPFD の平均値は、ササ区で $30.3 \pm 33.7\%$ 、除去区で $30.6 \pm 35.1\%$ であり、処理区間で差が見られなかった (t 検定 $p > 0.05$)。両処理区とも、高さが減少するにつれて相対 PPFD の平均値が減少する傾向が得られたが、その減少の仕方は処理区間で異なった (図 2)。除去区の方が、高さが減少するにつれて相対 PPFD が急激に下がり、樹冠内を通過すると急激に暗くなる、つまり光の吸収効率が高いことが示唆された。しかしながら、ダケカンバ林冠木の樹冠下での相対 PPFD は、ササ区の方が除去区よりも有意に低かった (図 2、Mann-Whitney's U test $p < 0.001$)。これは、ササ区では樹冠内での光の減少は緩やかであるが (図 2)、樹冠が深く、2 層になっている場所もあり (図 3)、葉群が厚い (LAI が高い) からだと考えられた。ササの有無によって、林冠構造が変化し、それに伴って光の空間分布が変化することが示唆された。

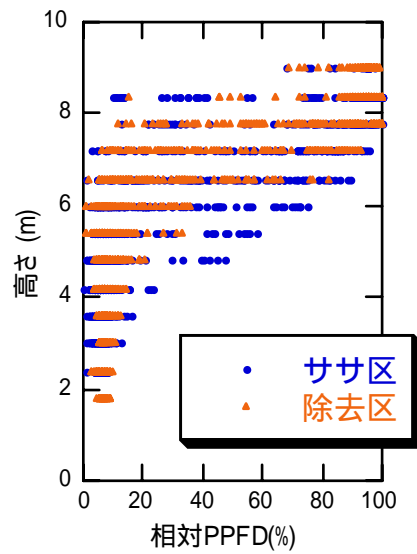


図 2. ダケカンバ若齢林における相対光量子束密度 (PPFD) と高さの関係

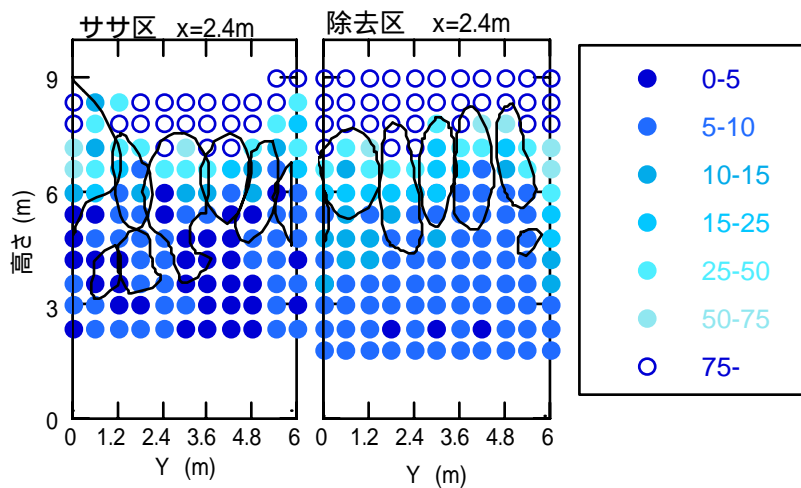


図 3. ダケカンバ若齢林における樹冠断面図と相対 PPFD の空間分布 (垂直分布) の一例

ダケカンバ林冠の個葉の光合成の能力は、上層と下層間で異なったが、処理区間では差が見られなかった(図 4)。しかしながら、ダケカンバの林冠構造と林冠内の光環境、すなわち生産構造が異なる(図 1, 2, 3)ので、林冠レベルでの光合成生産も異なることが示唆される。今後、林冠の上層・下層におけるダケカンバ個葉の光・光合成曲線と、林冠内の相対光量子密度の空間分布から、林冠の光合成生産

の概算を試みる予定である。

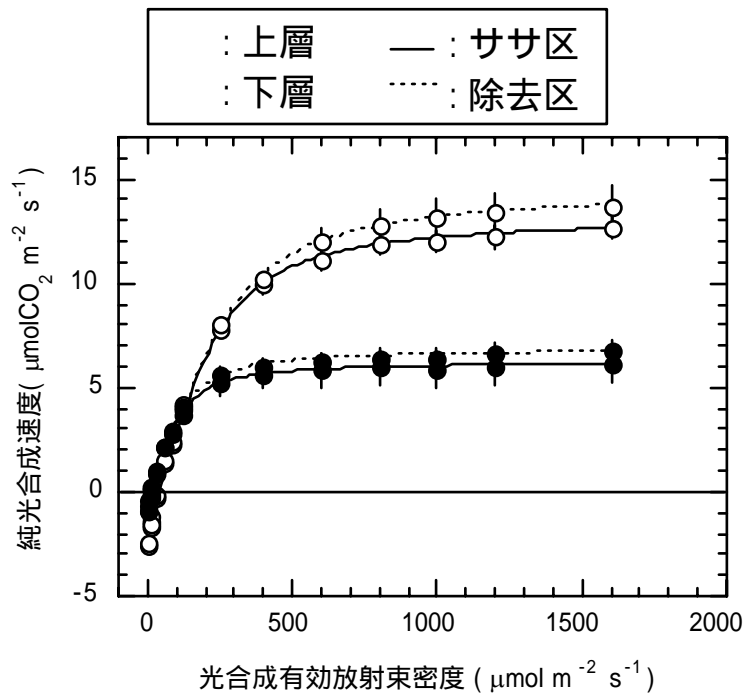


図4. ダケカンバ個葉の光-光合成曲線

(2) ダケカンバ林冠木のササ除去後4年の動態

測定項目

胸高直径(幹の高さ 1.3 m 部位)、生死(測定年:1998, 1999, 2000, 2001, 2002)

樹高(測定年:20年生 1998, 1999, 2002、40年生 1998, 1999, 2001)

結果と考察

ダケカンバ林冠木の林分全体の直径成長の平均は、処理間で異ならなかった。しかしながら、サイズクラス別で見ると、中間のサイズで除去区の方がササ区よりも有意に直径成長が大きかった(図5)。ササを除去することによって林分全体の成長量は増加しないが、一部のサイズ階での成長が改善されたため、サイズ構造が変化することが示唆された。ダケカンバ林の死亡率は、年により様々であり、一定の傾向は見られなかった(図6)。20年生の林分で除去後2年後(2000年)に、40年生の林分で除去後3年後(2001年)に、ササ区よりも除去区の方が枯死率が高かった。

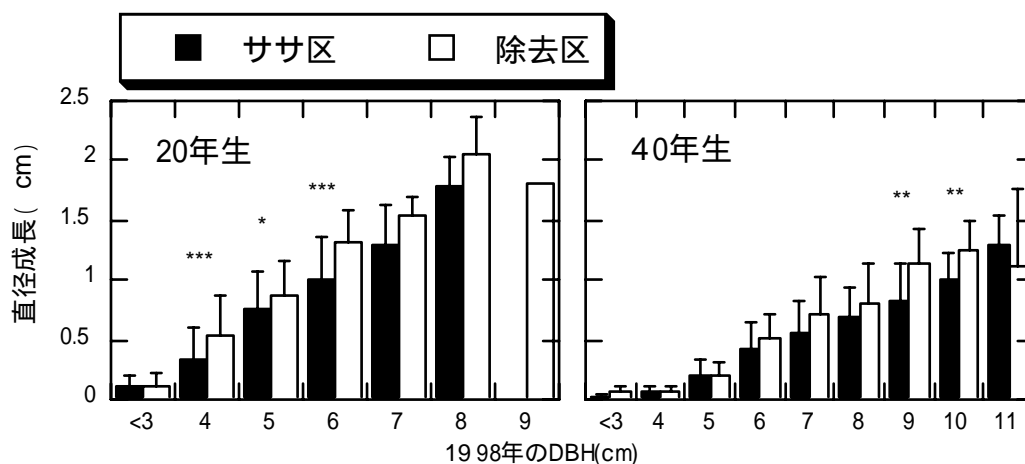


図5 ダケカンバ林における胸高直径(DBH)階級別直径成長

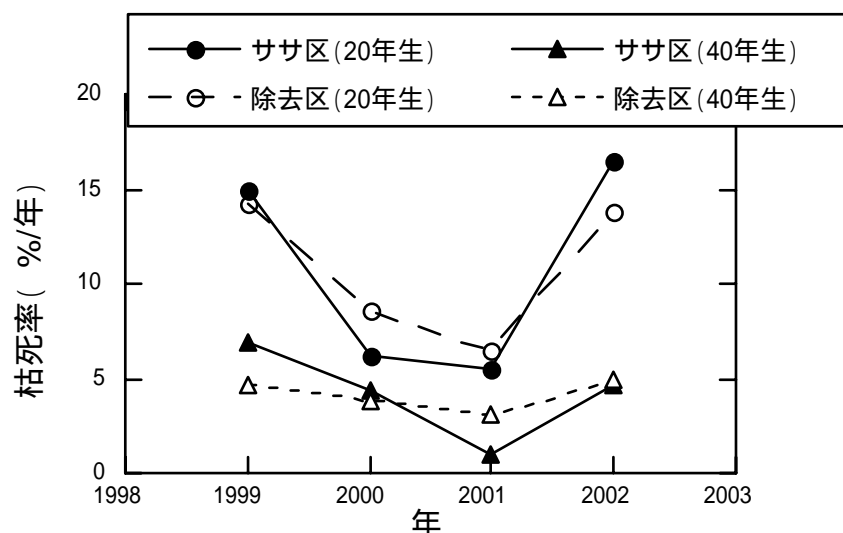


図6 ダケカンバ林の枯死率の年変動

除去後4年間で、小さいサイズの個体が枯死し、サイズの大きい個体は成長し、サイズ分布は右にシフトしたが、サイズ構造は処理区間で明瞭な差は見られなかった(図7)。今後はどのような個体が枯死したのかとサイズ階級別の成長をさらに解析し、なぜ(1)林冠の光合成生産で得られた結果である、異なる林冠構造が形成されたのかを解明したいと考えている。

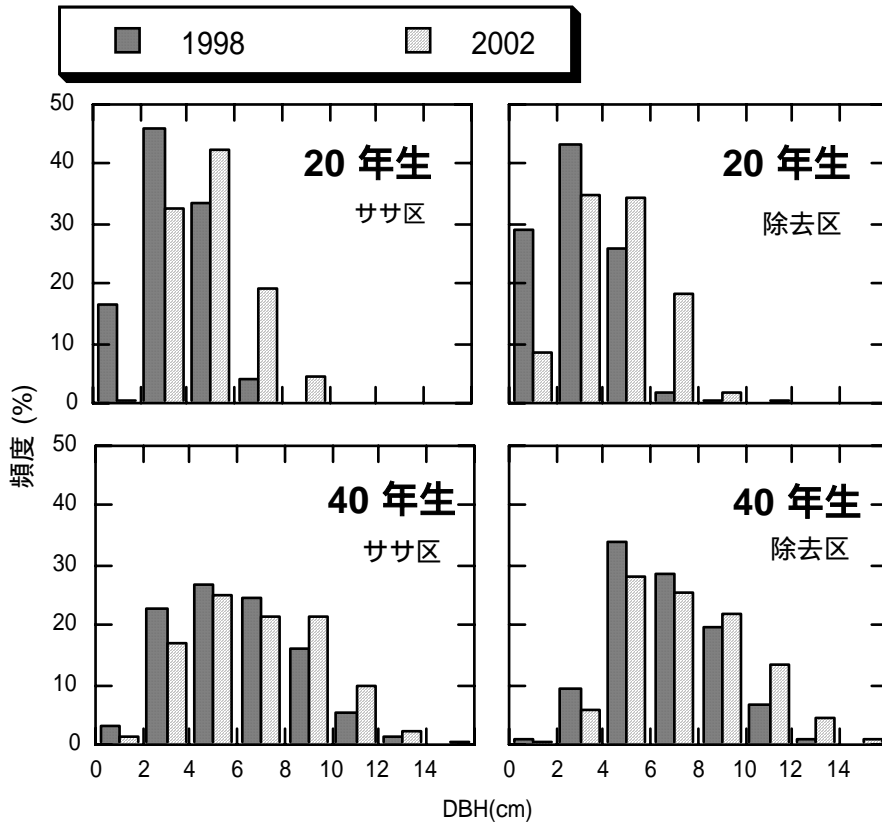


図7. ダケカンバ林の4年間の胸高直径(DBH)分布の変化

() 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 MINoSGI 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、乱流拡散

放射伝達：可視(直達、散乱)、近赤外(直達、散乱)、長波放射

(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

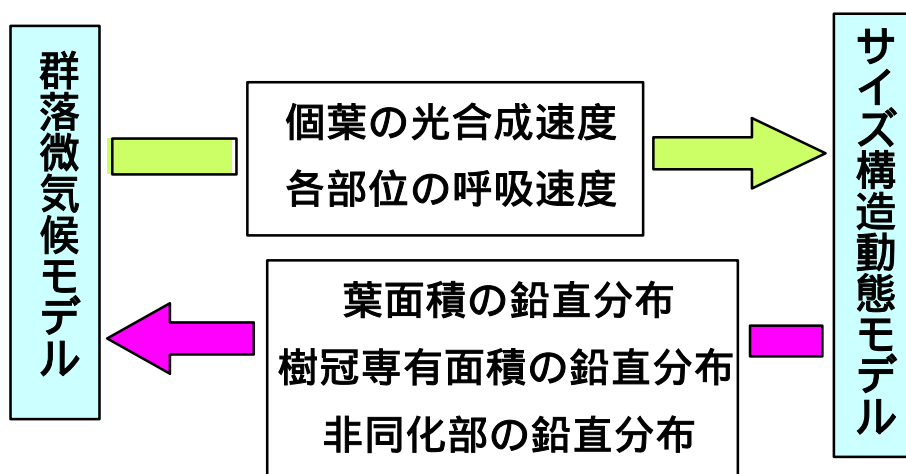
前年度は、まずは常緑針葉樹であるスギ (*Cryptomeria japonica*) 林のデータ (名古屋大学稲武演習

林)を用いて我々の統合モデルを検証した。本年度は、落葉針葉樹であるカラマツ(*Larix leptolepis*)のデータ(名古屋大学稲武演習林;倉地、1989)を用いて、展葉と落葉のプロセスをモデルに組み込む試みを行った。これは、1982年から1987年までのカラマツ個体の生長のデータである。このデータの詳細は、倉地氏の名古屋大学農学部・博士論文(1989)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、このカラマツ林の近くの気象データも入手した。

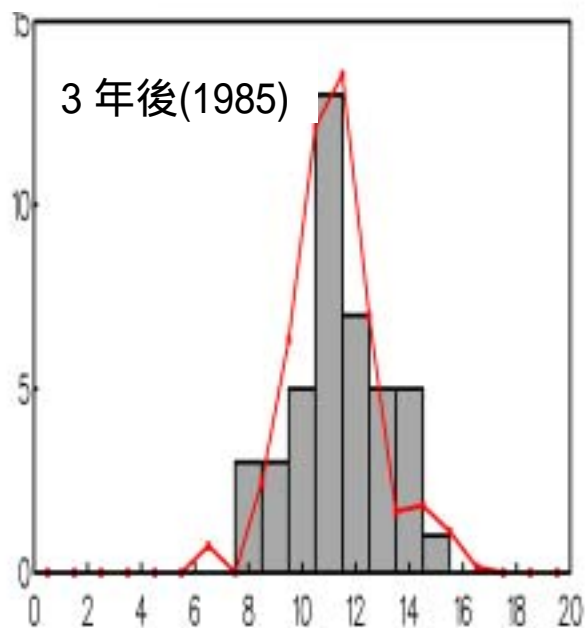
1982年6月のサイズ構造を初期値として、我々の統合モデルに基づき5年間におけるカラマツ林のサイズ構造の変化をシミュレートした。植物群落微気象モデルにおいては、数値解析の時間ステップは1時間とし、植物群落サイズ構造動態モデルにおいては1日とした。シミュレーションの結果は、実際に観測されたカラマツ樹高のサイズ分布を非常によく再現していた。我々の統合モデルは、このように落葉樹の植物群落における生長動態と陸面物理過程の相互作用をもよく記述しているモデルであると言える。

現在、積雪・融雪のプロセスをMINoSGIに取り入れるべく開発を続けており、今後は、上記()で観測・調査しているダケカンバ林すなわち寒冷圏の落葉広葉樹林にこの雪&落葉MINoSGIモデルを適用し、寒冷圏における大気 植生 雪氷相互作用の解明を目指したい。

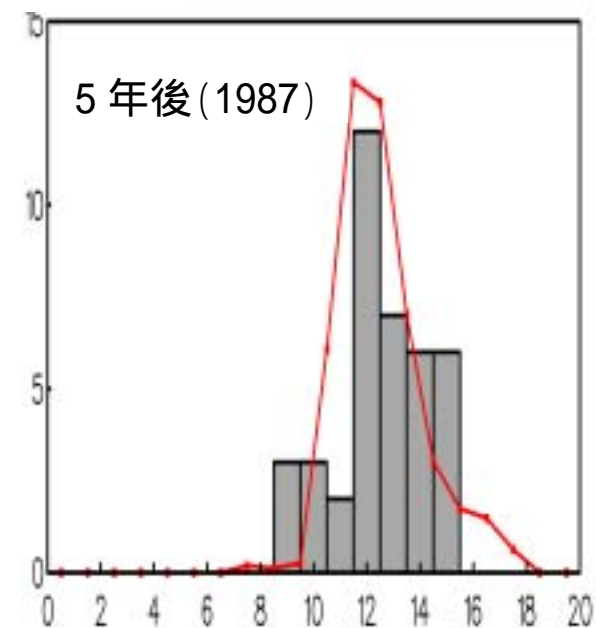
MINoSGIモデルの構造



頻度



頻度



樹高のサイズクラス (m)

図8. 樹高のサイズ頻度分布の変化で表されたカラマツ林の5年間の生長の実測値(ヒストグラム)と落葉MINoSGIによってシミュレートされた結果(実線)。