

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）

戸田 求（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）

秋林 幸男（北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター）

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 15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二次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。特に二次林は構成樹種も少なく、単純である。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の樹木に対する影響は、実生の定着を妨げることと、実生・稚樹・成木に供給されるべき水分や栄養塩を奪い取ることなどが考えられる。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実験により、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)、3) 土壌中の植物が利用可能な窒素を増加させる (除去後 4 年目) ことなどを明らかにしてきた。特に、シュート (枝条) レベルでの変化の積み重ねにより、林冠構造そのものが変化することを示唆される。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ダケカンバの個体群レベルで影響を与えているかを明らかにするために (1) ダケカンバ林冠木のササ除去後 5 年の動態、(2) 林冠構造と樹冠内外の光環境、を調査した。具体的には、(1) 1998~2003 年の成長期後に胸高直径、樹高、生死の調査を行い、成長や枯死率などの個体群動態パラメータをササあり区とササ除去区で比較した。(2) 2002、2003 年にダケカンバ林冠の 3 次元の光環境と、林冠下の光環境と PAI (Plant Area Index: 植物体面積指数) を林冠アクセスタワーを使用して測定し、除去から 4、5 年目の林冠構造をササあり区とササ除去区で比較した。

調査地

北海道大学 雨龍研究林, 母子里, 神社山: 標高 580m, N44° E142°

18 年生 (樹高約 8m; 15m × 15m 枠) ササ除去区, ササ区 (林齢は 2003 年時点のもの)

29 年生 (樹高約 10m; 20m × 30m 枠) ササ除去区, ササ区

(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。)



ササ区 (18年生)

除去区 (18年生)

(1) ダケカンバ二次林のササ除去後5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: 1998-2003 年, 毎年)
- ・樹高 (測定年: 18 年生 1998, 1999, 2002, 2003 29 年生 1998, 1999, 2001, 2003)

結果と考察

5年間で全てのプロットで密度が減少し、胸高断面積合計が増加した。全てのプロットは自然間引きをしながら、林分として成熟している最中の林分であるといえる。その減少や増加の割合は18年生林分で顕著であり、処理間の差は顕著ではなかった。5年間の直径成長と樹高成長は、大きな個体の成長が早いという、サイズ依存的な傾向が見られた(図1)。サイズの大きな個体では、除去区の方が成長が早いという結果が得られた。

平均樹高は全ての林分で増加し、特に18年生林分でサイズ構造が変化した(図2)。優占個体と被陰個体の2分化により、被陰個体の樹高成長が遅く、歪度が減少し、右よりの分布に変化したと考えられる。林分構造は、処理間の差よりも林齢の差の方が顕著であった。次に、個体群レベルでのササ除去の影響をさらに見るために、サイズ分布が劇的に変化した18年生林分で林冠構造の解析を試みた。

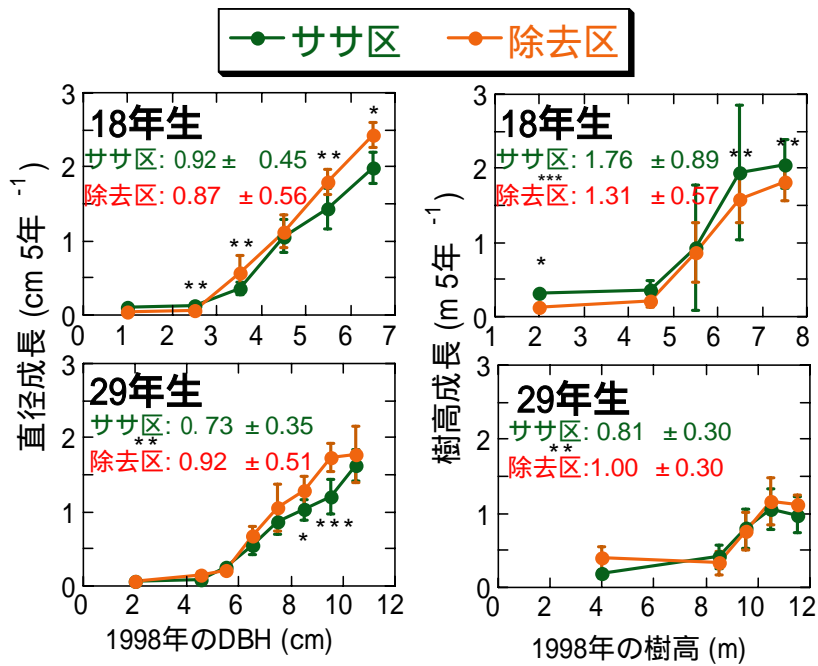


図1 ダケカンバの5年間のサイズ階級別の直径成長と樹高成長 (図中の数字は平均値 ± SD)

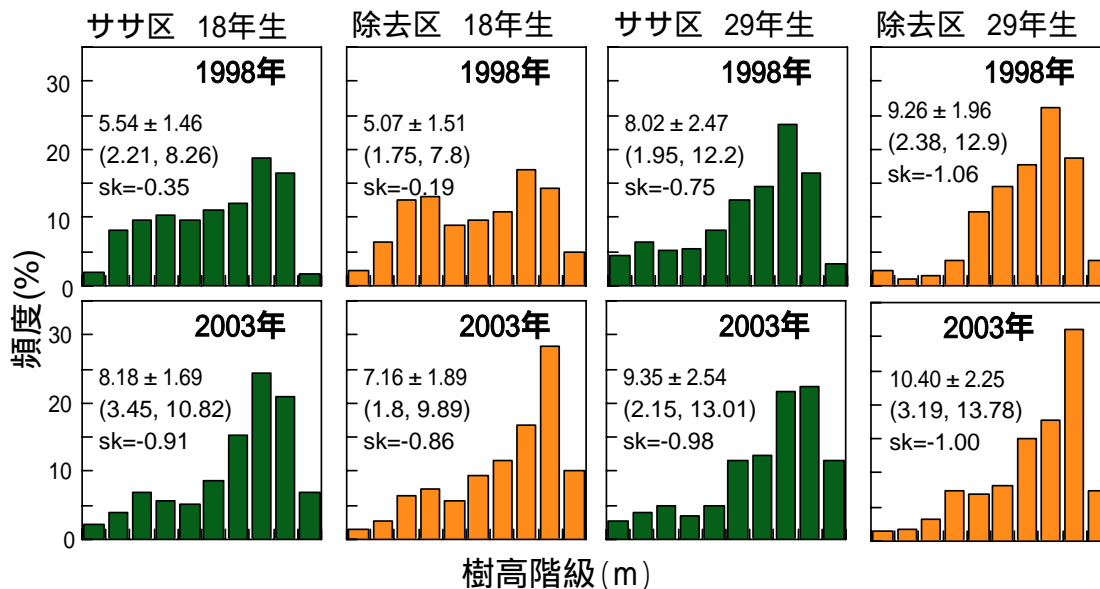


図2 1998年(上図)と2003年(下図)のダケカンバの樹高階級頻度分布図(最大値-最小値を等間隔で階級分けした)図中の数字は平均値 ± SD(最大値, 最小値) sk: 歪度

(2) ダケカンバの林冠構造

プロット設定(林冠3次元構造解析用)

18年生の林分にx軸：6m、y軸：12m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2.7m）でPAI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PPFD）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）

* 樹冠断面積と3次元の光環境はx軸：3m、y軸：6mの方形区内で測定

結果と考察

ダケカンバ林冠木の樹冠下のPAIの平均値は、ササ区で 3.6 ± 0.3 (m^2/m^2)、除去区で 3.4 ± 0.4 (m^2/m^2)であり、ササ区の方が除去区よりもPAIが高いことが明らかとなった (t 検定 $p < 0.001$)。一方、ダケカンバ林冠木の樹冠下の相対PPFDの平均値は、ササ区で $6.28 \pm 1.31\%$ 、除去区で $5.69 \pm 1.08\%$ であり、ササ区の方が明るいという結果が得られた (t 検定 $p < 0.05$)。PAIと相対PPFDの関係は異なるので（図3、ANCOVA $p < 0.001$ ）、単純におのおの平均値を比較できないと考えられた。

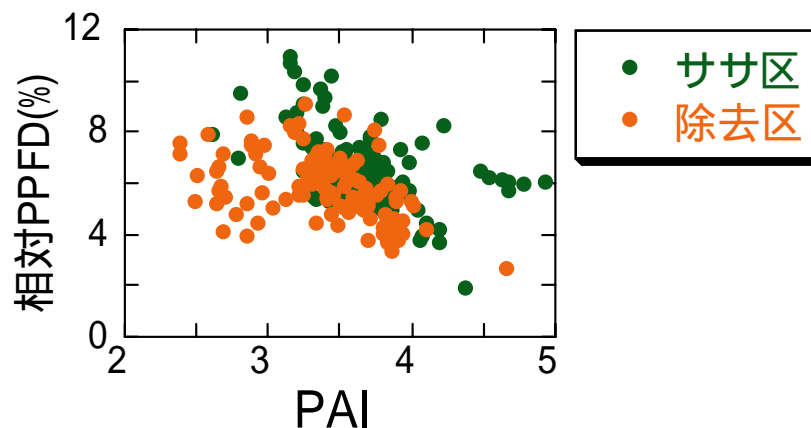


図3 PAIと相対光合成有効光量子密度（PPFD）の関係

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4）。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。ササ区では樹冠内での光の減少は緩やかであるが（図4）、樹冠が深く、2層になっている場所もあった（図5）。理論上、LAI-2000で測定したPAIの値は葉群が低いと値が大きくなる傾向にあるので、林冠構造の違いがPAIの

差に現れているのではないかと考えられた。つまり、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。

ササの除去から5年間で、林冠構造に変化が見られた。これはササの除去によってダケカンバ林冠木間の競争関係が強まったことによって、林冠木の「背ぞろい」現象が見られ、林冠構造が単純になったからだと考えられる。さらにダケカンバ林冠木間の競争が変化すれば、林分構造にも影響が見られるのではないかと考えられる。

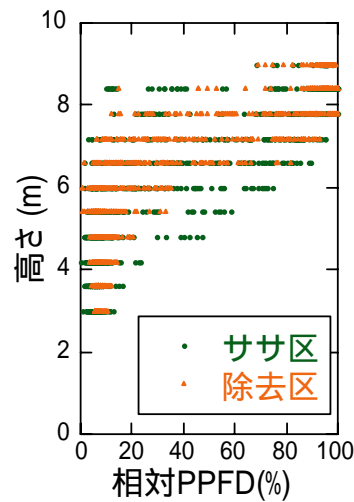


図4 ダケカンバ若齢林における相対光量子束密度 (PPFD) と高さの関係

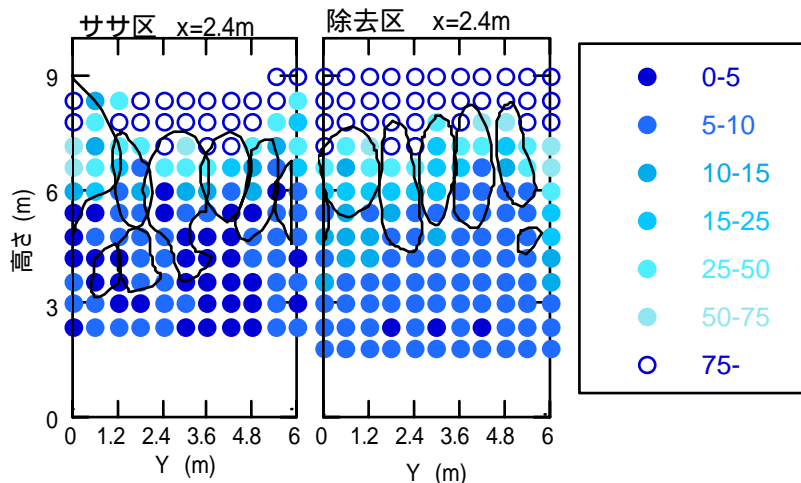


図5 ダケカンバ若齢林における樹冠断面図と相対 PPFD の空間分布 (垂直分布) の一例

() 環境変化が百年後における森林の群落動態・物質収支に及ぼす影響

はじめに

北方林は地球全土の森林面積のおよそ3割を占める。今後、激変が予想される環境変化が高緯度を中心とした陸上生態系、特に北方林の分布域に与える影響は最も深刻であると指摘されている。その一方で、環境変化による北方林の分布の変化は、大気との熱・水・物質交換を通して大気環境へ影響を与えるフィードバック要因として働くと考えられる。したがって、北方林が気候変化に与える影響を定量的に評価し将来予測を行うため、植生動態を考慮した新しい大気 陸面モデルが必要である。

このような背景の下、植生動態と陸域 大気へのフィードバックプロセスを加味した新しい大気 陸面モデル (MINoSGI, Multilayered Integrated Numerical Model of Surface Physics-Growing Plants Interaction (開発者: 渡辺力、横沢正幸、江守正多、高田久美子、隅田明洋、原登志彦) が開発された。現在、当研究室ではMINoSGIの北方森林群落への適用に向け、さらなるモデル開発を手がけている。本報告書()でも記されているように、北海道大学雨龍研究林内に設置されたダケカンバ林分プロットでは、1998年より森林動態、ダケカンバの生理活性調査および気象観測が実施されている。これらの観測データを用いて、モデル中に含まれるパラメータを決定することができる。亜寒帯に特徴的な低温や乾燥などの環境条件に伴う北方森林群落の動態変化を定量的に記述し、また林床植物(ササ)が樹木の成長に及ぼす影響について評価することを目指している。

MINoSGIではまた、数百年後の森林動態や物質収支の定量的な評価を行うため、長時間スケール解析に対処可能なモデル開発が並行に行われている。今回は後者についての研究報告を行う。MINoSGIを用いて、常緑針葉樹であるスギ人工林を対象に幾つかの環境条件を想定した温暖化実験を行い、環境変化が百年後の森林群落の群落動態及び熱・物質収支に及ぼす影響についての結果・考察を記載する。しかしながら、現在開発中のMINoSGIには長期間への適用にあたり改良すべき点がなお残されており、また長期間の森林動態における未解明な生物過程についての定式化は暫定的なものである。したがって、本報告ではこれらの不確定性を認めながら上記の解析と考察を行うこととする。

計算条件

本研究ではWatanabe et al.(2004)と同様に名古屋大学稲武演習林の常緑樹(スギ)林分(対象面積400m²)を対象に120年間の数値実験を行った。その際、用いられる森林動態と気象観測データ(勝野, 1990)は6年分(1982~8)のため、このデータセットを繰り返し用いて計算を行った(20回)。また、森林は次の仮定を持つ群落を想定した。

- (a) 対象林分は同一種同齢のスギ人工林である。
- (b) 初期条件で導入された個体以外の新規実生の定着による更新は考慮されない。
- (c) スギの最大樹高は60mを上限とし、その後の成長は直径成長のみとする。

その他、MINoSGIの詳細はHara et al.(2001)・Watanabe et al.(2004)に記されている。

結果と考察

(1) 群落動態の変化

ここでは群落動態の計算結果の一例を示す。一般に森林においては、構成する各個体の成長とともに、光や水などの資源をめぐる競争が熾烈になり、競争に敗れた個体が枯死する「間引き」がおこるようになる。そのような状態のとき、同一種同齢の森林においては、森林全体の現存量（バイオマス）が立木密度（単位土地面積あたりの個体数）のおよそ-1/2 乗に比例するという一定関係が樹種によらずに見られることが知られている（Yoda et al., 1963）。

図1は異なる環境条件下で計算された立木密度 現存量関係を示す。現在の環境条件（cnt1, ）では計算開始後50年まで-1/2乗則の関係が見られた。その後、密度の低下とともに傾きは緩くなり現存量の増加速度が徐々に小さくなった。同様の傾向は、1/2×比湿条件（case4, ）を除く環境条件で見られた。120年間の時間経過の中で、+5℃気温増加時（case1, +）では気温上昇に伴い個体の呼吸速度が増加し（表1）、より高いサイズクラスの個体が枯死速度を増加させた結果、群落全体の現存量を小さくした。一方、2×CO₂濃度増加時（case2, ）ではCO₂濃度増加がサイズクラス全体にわたる森林の成長を促し現存量を増加させた。またcase3（case1+case2, ）では、これら双方の要因の影響を受けて動態変化している。さらに、case4ではcnt1と同様に-1/2乗則に従うが、現存量の増加速度はcnt1と比べて遅いことがわかる。これは樹高の高い木ほど乾燥に伴う気孔開度の低下・光合成量の低下から群落全体の現存量の減少を招いたと考えられる。このように群落動態変化は環境要因に大きく支配され、高CO₂条件下において森林は高い現存量を取ることがわかる。

(2) 物質収支・熱収支

表1は各環境条件で得られた120年後における生産量・呼吸量等の計算結果であり、環境条件による各量の違いが容易に理解できる。cnt1におけるNPP/GPPは計算開始より5年後では0.45であった（Watanabe et al., 2004）が、120年後では0.39まで減少すると予測された。この減少傾向は各計算条件において共通に見られた（図2）。時間の経過に伴い群落に占める大きい個体サイズの相対的な増加によると考えられるが、値に大きな違いが見られるのは環境条件の影響の違いが森林群落の物質収支変化に表れた結果である。

まとめ

MINoSGIを用いて、想定されるいくつかの環境条件の違いが百年後の群落動態変化に及ぼす影響について記した。また、林分全体の生産量や蒸発散量の相互比較を行い、それらの違いが大気・森林群落間の熱・水・二酸化炭素交換量に及ぼす影響を定量的に評価できた。

今後の課題として、より長い時間スケールを対象とした森林動態や物質収支を議論する場合には、新規実生の定着による更新を数値モデル内で表現する必要がある。

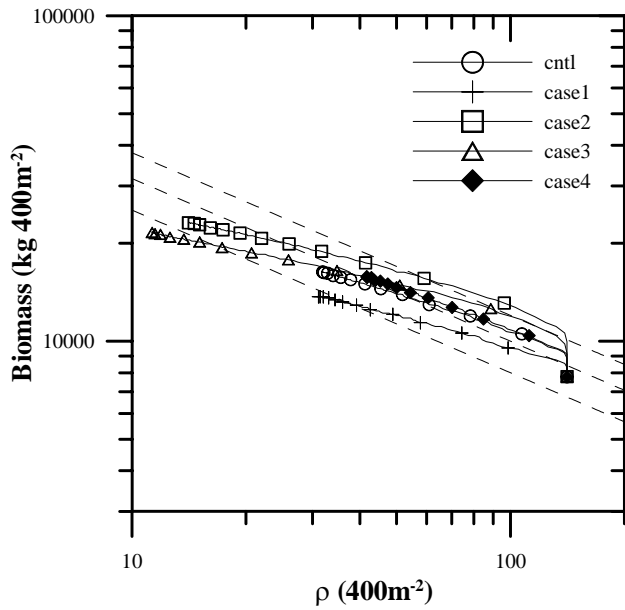


図1: 立木密度()と現存量(バイオマス)との関係

(各点は10年間隔、破線はlog-log scale での傾き-1/2の直線)

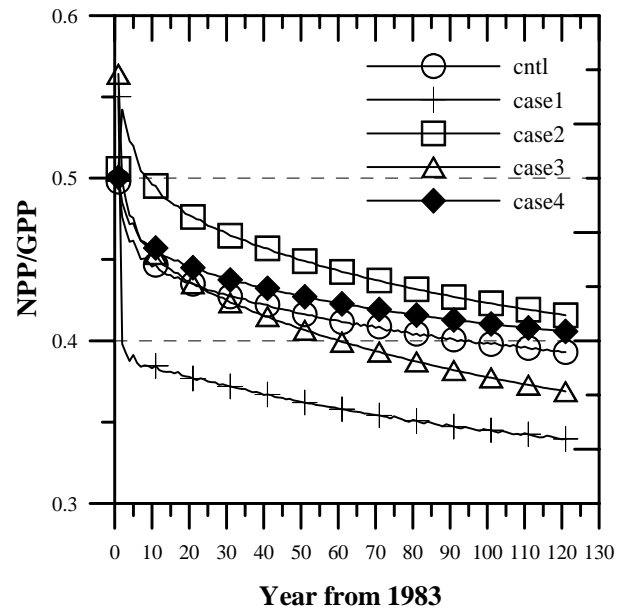


図2: NPP/GPP の時間変化 (120年間) (各点は10年間隔)

	GPP ^a	NPP ^a	Rall ^a	Rleaf ^a	Biomass ^a	NPP/GPP	Rall/GPP	Evapo. ^b
cntl	4605	1810	2795	1020	214	0.39	0.61	748.1
case1	4593	1560	3033	1170	149	0.34	0.66	855.6
case2	6069	2520	3549	1100	384	0.30	0.42	695.1
case3	6454	2381	4073	1278	342	0.37	0.67	838.3
case4	4346	1764	2582	985	200	0.41	0.59	878.8

表1: 120年後の各変量の比較 (GPP: 総一次生産、NPP: 純一次生産、Rall: 総呼吸量、Rleaf: 葉呼吸、

Biomass 現存量(バイオマス)、Evapo.: 総蒸発散量)、単位は ^a[ton]、^b[m]