

「全球気候モデルとの結合を視野に入れた、北方森林群動態 - 多層微気象結合陸面モデルによる陸面過程の気候システムを与える影響予測- 」

COE研究員：戸田 求
担当教官：原 登志彦

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 MINoSGI 開発を手がけている。また、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において、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、MINoSGI 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。

現在、MINoSGI グループでは全球モデルへの導入に向けた動きとプロットスケールでの MINoSGI の更なる開発・改良が並行して進められている。

本年度、筆者は上記の研究課題研究にむけて以下の2つの研究テーマを中心に行ってきた。

- () 環境変化がおよそ百年後の森林の群落動態・物質収支に及ぼす影響
- () 落葉針葉樹版 MINoSGI の開発 (Deciduous Coniferous, DC-MINoSGI)

- () 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

目的 地球温暖化が叫ばれる昨今、求められる今後の研究課題としては、気温や大気CO₂濃度上昇、乾燥や降水パターンといった環境変化が、大気と陸上植生との間の熱・水・物質収支や森林動態にどう影響するのか、といった将来予測を行うことが挙げられる。そこで、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への対処を可能とするモデル開発を行った。今回は、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 には長期計算への適用にあたり改良すべき点がなお残されており、また長期計算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とともに、今後取り組むべき検討課題について議論する。

計算条件

ここでは 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(1983~8)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(cntl,)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 cntl と同様に 1/2 乗則に従うが、現存量の増加速度は cntl 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。cntl 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。

()まとめと今後の課題

現行の 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。また、窒素動態や植生の環境要因に対する応答を考える上で馴化(順

化)などについて検討する必要がある。

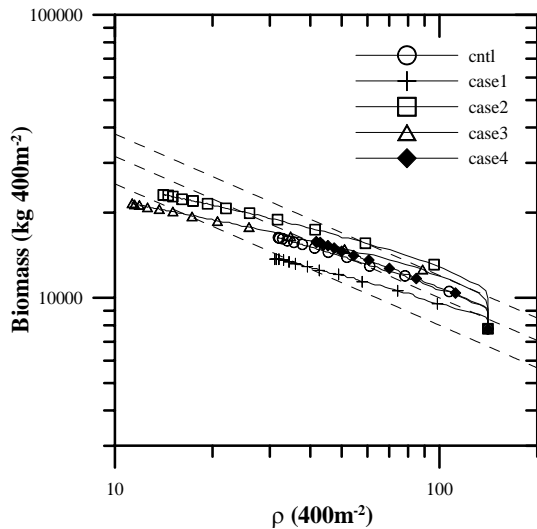


図1: 立木密度()と現存量(バイオマス)との関係

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

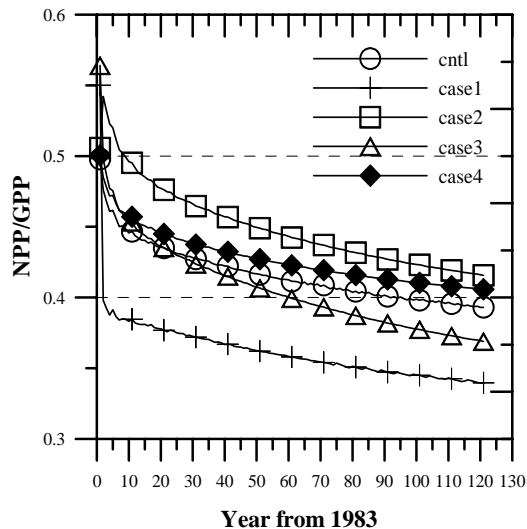


図2: NPP/GPP の時間変化 (120年間)

(各点は10年間隔)

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]

	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

() 落葉針葉樹版 MINoSGI の開発(DC-MINoSGI)

将来、プロットスケールの MINoSGI をグローバルモデルと結合させ、大気と北方林植生間の相互作用および北方林植生動態が気候システムに及ぼす影響評価を行うためには、MINoSGI が様々な機能タイプを持つ植生に適應できることが重要である。そこで、落葉樹種への適用に向けたモデル開発を行った。ここでは、現段階までの結果についての報告を行うこととする。

計算条件

DC-MINoSGI の検証サイトは、名古屋大学稲武演習林の落葉針葉樹(カラマツ)林分(対象面積200m²)である。1982年より1989年までの8年間に測定された森林動態と気象観測データ(倉地, 1989)を検証データとして用いた。落葉樹を取り扱うに当たり、開葉様式は次の手順を踏んだ。前年度の成長期後期(8月~10月)に獲得した炭素を一時貯留する。冬季に呼吸で消費される炭素を差し引いた残り分を翌年の葉の展開に用いる。落葉樹は、前年に翌年のための冬芽を形成し、低温を経験した後に休眠解除を行う。Sarvas[1974]は、休眠解除後の冬芽を用いて個体成

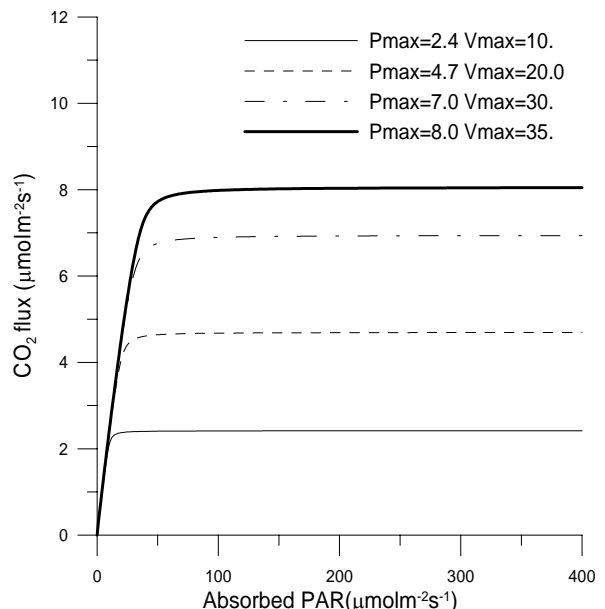


図3 葉の光 光合成曲線

長と温度との関係を関数化した。本研究では樹種で異なる個体成長指数値を超えた日を開葉日と定義する。また、落葉については現在のところ、気温の関数として与え、決定された落葉日から約1ヶ月かけて全ての葉が落葉するようにした。

結果

(1)パラメータの決定

MINoSGI は観測データを用いて調整される幾つかのパラメータを含む。その例として、図 1 は観測より得た光-光合成曲線の関係である。観測から最大光合成(P_{max})は $8 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であるのでこれに等しくなるような V_{max} ($=35 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) が調整された。クラウンの形状を現すパラメータ F_c は相対光強度と積算葉面積指数との関係から決定した(図 4, $F_c=20$)。これは地際でのクラウン直径が地際の幹直径の 20 倍に相当する、言い換えれば展開した葉を $F_c=20$ の空間に着葉できることを示している。

図5は調整されたパラメータを用いて計算されたバイオマスの積算値である。その結果、計算開始より8年後のバイオマス総量は観測値と計算値でほぼ一致した(観測値 45.0 、計算値 43.2 [tonha^{-1}]; 図では $[\text{kgm}^{-2}]$ 表示)。図6はWatanabe et al.[2004]で行われた常緑針葉樹種(スギ)と落葉針葉樹(カラマツ)の純一次生産(NPP, Net Primary Production)の比較である。同図にはLAIの年変化も記載した。スギ、カラマツ双方において春・秋に2つのピークを持つNPPの季節変化を示した。これはGPPに含まれる呼吸成分の夏季の増加がNPPを低下させるためである(Watanabe et al., 2004)が、夏季カラマツのNPPはスギに比べて減少量大きい。また、開葉時における光合成は活発であった。表2には、観測期間を対象に各樹種の生産量・呼吸量の計算結果をまとめた。表より、

常緑スギは光合成期間が落葉カラマツに比べて長く、個葉レベルでの V_{max} は小さい(スギ 19.4 、カラマツ 35.0 、単位は $\mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)が、6年間でのGPPに対するNPPの比は大きくなった(NPP/GPP: スギ $0.45 >$ カラマツ 0.40)。

()まとめと今後の課題

本年度は、主に DC-MINoSGI のプログラム開発に取り組み、その結果落葉樹種への適用の見通しもある程度目処がついた。しかし、モデル中のパラメータの決定については今後さ

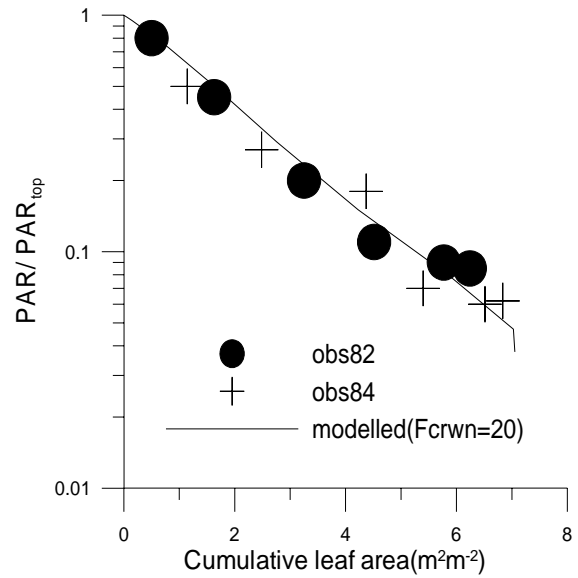


図4 積算葉面積指数と相対光強度との関係

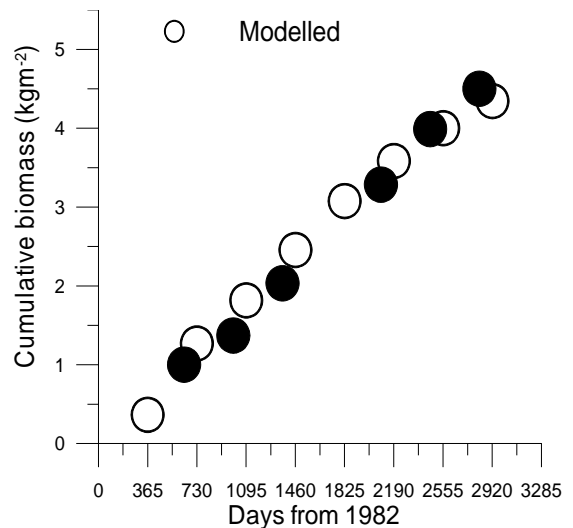


図5 バイオマス積算値 (1982~1989)

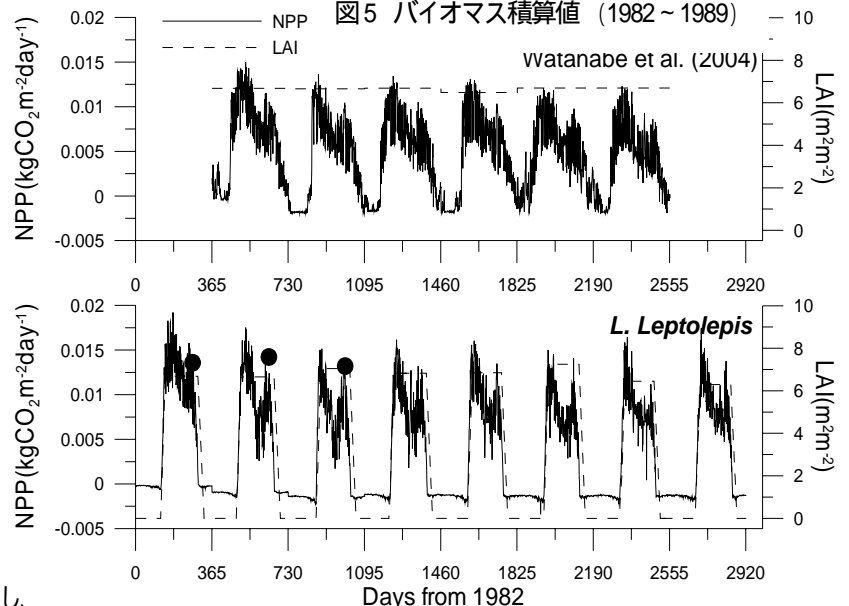


図6 スギ(上図)・カラマツ(下図)のNPP(左軸)・LAI(右軸)の年変化(1982 - 1989) はLAI観測値(1982~1984のみ)を表す

らに検討を加える必要がある。今後、北方林のモデル化に際し、開葉・落葉のメカニズムに低温・乾燥および葉への過剰な光エネルギー（光ストレス）を考慮する必要があることが室内実験の結果から明らかになりつつある。このような植物生理プロセスを反映した更なるモデル開発に着手したい。

表2 スギ(1983～1988, 6年間)・カラマツ(1982～1989, 8年間)の生産量・呼吸量

	GPP	NPP	Rall	Rleaf	Biomass	NPP/GPP	Rall/GPP
<i>C. Japonica</i>	200.2	90.2	110.0	50.2	40.1	0.45	0.56
<i>L. Leptolepis</i>	232.8	92.1	140.6	60.9	43.4	0.40	0.60
	[174.5]	[69.1]	[105.5]	[45.6]	[32.5]	[0.40]	[0.60]

* 単位は NPP/GPP, Rall/GPP を除いて tonha⁻¹、Rall には葉呼吸 Rleaf は含まれない。[]内はカラマツの値をスギと同じく6年間に換算した量

< 2003 年度、本研究課題における研究リスト >

論文 なし

学会発表

- ・戸田求, 渡辺力, 横沢正幸, 江守正多, 高田久美子, 隅田昭洋, 原登志彦: 環境変化が 100 年後における森林の群落動態・物質収支に及ぼす影響, 気象学会春季大会, 2004 年 5 月。(エントリー済)
- ・戸田求, 渡辺力, 横沢正幸, 江守正多, 高田久美子, 隅田昭洋, 原登志彦: 落葉針葉樹への MINoSGI の適用, 日本生態学会, 2004 年 8 月。(エントリー予定)

研究会・紀要・その他

- ・Toda, M., T. Watanabe, M. Yokozawa, S. Emori, K. Takata, A. Sumida and T. Hara, A numerical model of the atmosphere-vegetation dynamics interaction, 北海道大学 ソウル大学合同シンポジウム、ソウル大学, 2003 年 10 月.
- ・戸田求, 2003 年秋号, MINoSGI が目指すもの. 北海道大学 21 世紀 COE プログラム NEWSLETTER3 号, 2003.

研究費獲得実績

平成 15 年 10 月 2003 年度(財)住友財団環境研究助成金 受賞 (研究代表者 戸田 求)

研究採択課題「植生動態を加味した大気 陸面モデル(MINoSGI)の開発と北方林への適用」

< その他の研究内容における業績 >

論文

- ・Toda, M. and Sugita, M.: Single level turbulence measurements to determine roughness parameters of complex terrain, *J. Geophysical Res.---Atmosphere*, 2003, 108, ACL8-1 to 8-9.
- ・石田祐宣, 松島大, 樋口篤志, 檜山哲哉, 戸田求, 浅沼順, 玉川一郎, 宮崎真, 田中賢治, 杉田倫明, 永井秀幸, 田中久則, 飯田真一, 小林菜花子: 2001 年筑波大学陸域環境研究センター(TERC)における乱流計測機集中観測: 機器比較と校正による誤差解析, 水文・水資源学会誌, 2003, 17, 43-60.

学会発表

戸田求, 渡辺力: 地表面の不均一性が対流境界層の乱流輸送に及ぼす影響, 2003 年度気象学会春季大会, エポカル国際会議場(茨城県つくば市), 2003 年 5 月.

上記のとおり相違ありません 平成 16 年 4 月 15 日