

2005 年度成果報告書

平成 18 年 3 月 16 日

研究課題

「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-」

担当教官 原登志彦
氏 名 戸田 求

・はじめに

気候システムへ及ぼす陸域生態系の役割の解明が期待されている中、我々は北方林の森林動態と、大気-森林間の熱・水・CO₂ 交換プロセスの将来予測に焦点を当てた数値モデル研究を進めている。この研究を進める背景には、全陸域の森林面積の 30% が北方林であること、北方林(亜寒帯林と同じと仮定)の陸域生態系の炭素貯留量が陸上全体の 26% に相当 (FAO 協会, 2002) すること等が挙げられ、故に地球温暖化による陸域生態系や気候変動への影響が最も顕著に表面化する地域が北方生物圏である (Bonan et al., 1992)、と指摘されるためである。

この目的のために、これまで筆者は植生動態を加味した大気-陸面モデルの開発を続けてきた。これまで幾つかの視点から、長期的な気候変動や植生分布を議論する場合には、大気環境の変化に伴う植生動態の影響評価だけではなく、植生動態の影響もまた大気環境の変化を生じるため、後者のフィードバックプロセスを加味した上で、グローバルスケールもしくは領域スケールでの熱・水・CO₂ 循環の予測を行うことが重要になるであろう、という指摘がされてきた (Watanabe et al., 2004)。しかしながら、これまでその重要性についての明確な記述はなされていないのが現状である。

そこで筆者は、本年度よりこの点に注視し、森林動態が大気と森林間の水及び炭素交換に及ぼす影響についての数値解析研究を行っている。また、筆者は昨年度より実施している落葉樹種のフェノロジープロセスを加味した大気-陸面モデルの開発を行い、実際の林分に数値モデルを適用することによりそのパフォーマンスの検証を行った。今回の報告書でこの 2 課題

() 落葉針葉樹版 MINoSGI の開発と冷温帯カラマツ林への適用

(II) 気候変化が森林の群落動態・物質収支に及ぼす影響

について得られた結果を要約した。

なお、本研究課題で使用されている大気-森林動態モデルは MINoSGI (Multilayered Integrated Numerical model of Surface physics-Growing plants Interaction) (Hara et al. 2001, Watanabe et al., 2004 を参照) である。

() 落葉針葉樹版 MINoSGI の開発と冷温帯カラマツ林への適用

(I-1) 計算条件

開発した落葉樹版 MINoSGI の検証サイトとして、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)が用いられた。解析には同サイトで得られた 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)が使用された。落葉樹の

フェノロジーを記述する上で、着葉日・落葉日の同定が重要であることは言うまでもない。翌年の着葉日は前年の冬芽形成からのプロセスに従って決定される。先行の研究例でこれらを考慮したサブモデルが提案され(例えば Sarvas, 1974; Chuine et al., 2003)、筆者らの数値モデルでもこれらを参考にした。一方、落葉日については現在のところ、気温の関数として決定された落葉日から1ヶ月を掛けて全落葉するように設定した。これらの詳細な説明は Toda et al.(投稿中)にまとめた。

(I-2)フェノロジーモデルに於ける最大葉量の取り扱い

ここでは、落葉樹版の森林動態モデルの構築にあたり、筆者が行った最大葉量の決定法について、従来のモデルでは考慮されていなかった樹体内の炭素貯留量を葉量に反映させる取り扱いについて記載した。

一般に、落葉樹木個体の葉量の測定は難しい。Shinozaki et al.(1964)は、パイプ理論に基づき測定容易な胸高直径と葉量との関係

に関するアロメトリを導いた。しかしながら、葉量は必ずしもパイプ理論にのみ従うということではなく、その他の生理生態的要因によっても規定されていると考えられる。特に、樹木の炭素貯留量と密接な関係のある可能性が幾つかの間接的なアプローチからの報告により示唆されていた

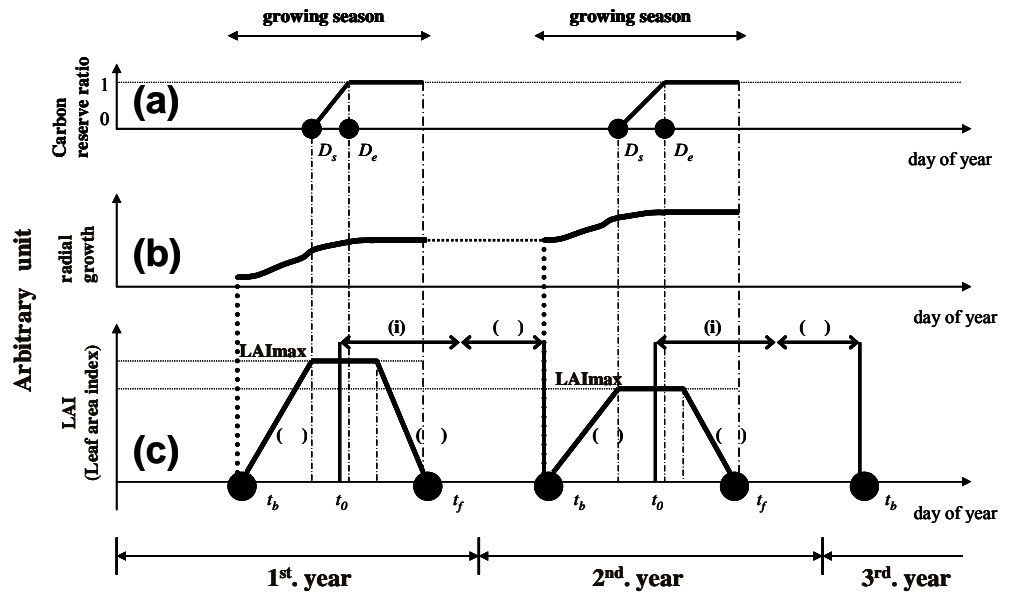


図 1: 落葉樹のフェノロジーに伴う(a)樹体内炭素貯留比(CRR), (b)胸高直径, (c)葉面積指数(LAI)の季節変化の概念図

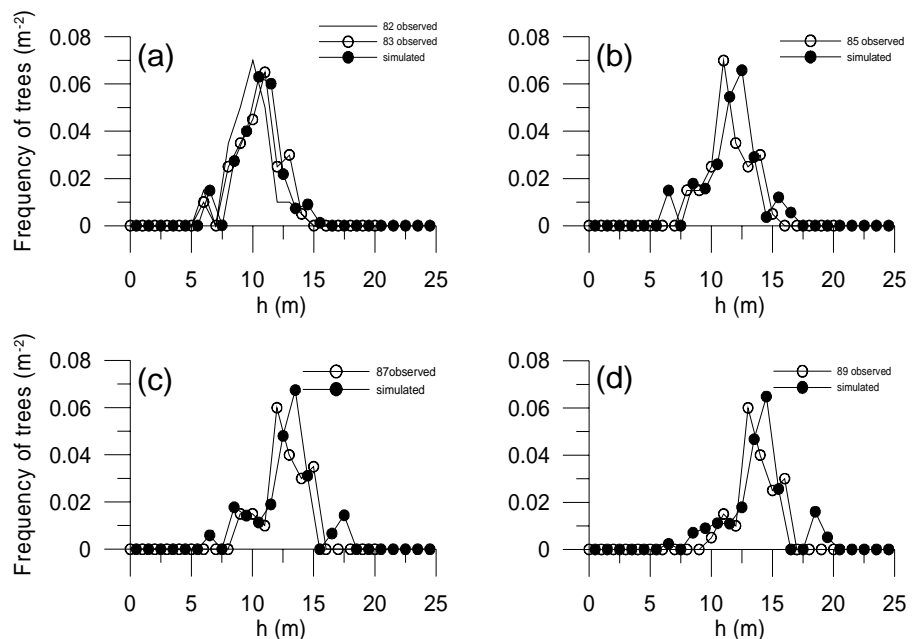


図 2: 樹木の樹高サイズ分布(a)1983, (b)1985, (c)1987, (d)1989. 測定値, モデル値を表す。

(例えば Hozumi and Kurachi, 1991)。従って、年間の最大葉量は、その年の着葉の光合成による影響と前年晩期に樹体内に蓄えておいた炭素貯留分を考慮して決定することが重要である。

そこで本モデルでは葉量を決定する付随的要因として炭素貯留とパイプ理論の影響を考慮し、次のような仮定をおいた。

(a) 樹体内に十分な炭素貯留量が存在した場合には次年度の最大着葉量はアロメトリ関係から導かれる葉量に等しい。

(b) 炭素貯留量が不十分な場合、着葉量はアロメトリ関係からの葉量よりも小さくなる。

この炭素貯留量は前年の炭素貯留期間内の光合成量に依存し、光合成量は気象条件の影響によって年々変動することになる。

図 1 には(a)炭素貯留比($0 \leq CRR \leq 1$)、(b)胸高直径、(c)葉面積指数の季節変化を示す概念図が記されている。

(a)の D_s および D_e は炭素貯留の開始日および終了日を表す。展葉以降光合成で獲得した炭素量はすべて個体成長のために使用される ($CRR=0$)。期日 D_s 以降、獲得炭素分のうち樹体内へ貯留する割合が増すようになり ($CRR>0$)、 D_e に達した時点で獲得した光合成の全量を貯留することになる ($CRR=1$)。(この計算における炭素貯留量は樹体の維持呼吸量は差し引かれた正味貯留量として計算されている)

(I-3) 炭素貯留開始時と終了時 (D_s と D_e) の決定

D_s および D_e は樹種によっても多様であり、特定することが難しい。そこで D_e は樹木の成長停止の時期を指標として決定した。Kozłowski and Pallardy (1997)によると、幹の肥大成長はしばしばシュート伸長が停止した後もしばらく継続されることを指摘している。

この指摘は筆者らのグループが行った野外測定データに基づく結果とも一致した。これらの知

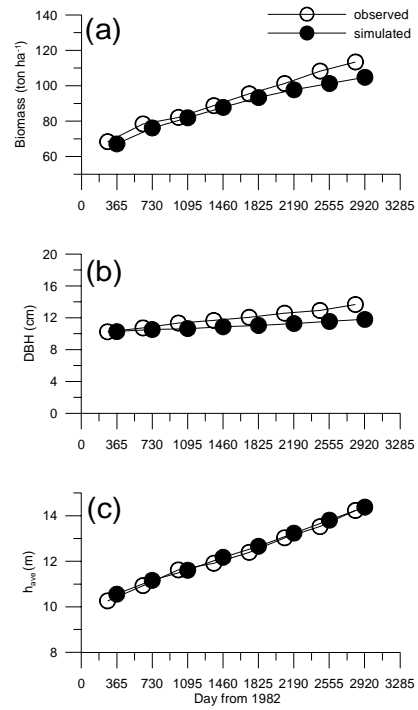


図 3: (a)バイオマス, (b)胸高直径, (c)平均樹高の年変化. 測定値, モデル値

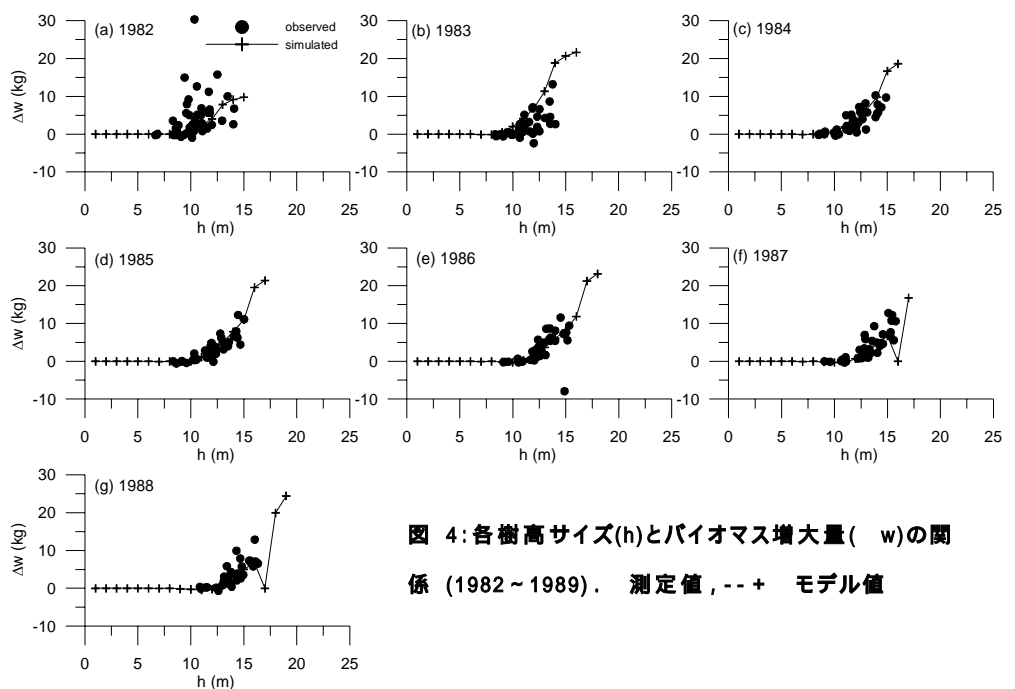


図 4: 各樹高サイズ(h)とバイオマス増大量(Δw)の関係 (1982~1989). 測定値, --+ モデル値

見では、樹木の肥大成長はおよそ8月下旬から9月上旬で停止することが指摘されている。一方、 D_s に関しては適切な資料が得られず、特定することが難しかった。従って、ここでは $D_s=D_e=D_x$ とし、 D_x を調整パラメータ(下記参照)として用いることによって決定した。

(I-4) 結果と考察

Watanabe et al.(2004)と同様に、測定によって得ることが困難な数値モデル内のパラメータの決定については、測定で得られた状態変数を再現するようにモデルパラメータを調整することによって決定する方法を採用した(本研究では D_x を含めて5つとなる)。その一例を図2に示す。図2は計算対象期間の樹高サイズ分布である。サイズ分布その他を再現するように5つの未知パラメータは決定された。これらの未知パラメータを決定した後にモデル計算で得られた林分全体のバイオマス、平均胸高直径および平均樹高は測定値とほぼ一致した(図3参照バイオマス 113(105) [ton ha⁻¹]; 平均胸高直径 13.7(11.8)[cm]; 平均樹高 14.2(14.3)[m]、括弧内はモデル値)。さらに、図4は計算期間の各年における各樹高サイズとバイオマス増大量の関係を示したものである。モデル計算による結果(各図中の +)は各個体の測定値()の中間的な値を示し、ほぼ各個体サイズの年々のバイオマス増大量を再現できている。しかしながら、図4(f),(g)で見られるように、数値モデルでは大きなサイズ個体を計算してしまっているのがわかる。これは今回対象とした林分が狭く、かつ低い林分密度であったため、林内の光環境が大個体の成長を過大に高めてしまったことが原因と考えられる。従って、今回用いた数値モデルを使用する際には、高密度な林分条件での使用が望ましいかもしれない。しかしながら、今回の結果によって落葉樹のフェノロジープロセスに伴う樹体内炭素動態を加味した大気-森林動態モデルは、実際の林分のバイオマスや平均樹高等林分状態を示す変数を良好に再現できたといえる。

我々は今後、北方林気候帯へ同モデルを適用し、同地域に於ける落葉樹林が温暖化に伴う気候変化やエネルギー・水・炭素循環に果たす役割の解明に向けた数値モデル研究を行っていきたいと考えている。

(II)気候変化が森林の群落動態・物質収支に及ぼす影響

(II-1) 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100年間の数値実験を行った。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。
- (d) 外部入力気象データは勝野(1990)によって測定された8年間のデータを平年値としたデータセットを作成したものを扱い、100年計算ではこのデータセットを100回繰り返し用いた。(気象要因の変動が森林動態、熱・水・CO₂交換量に及ぼす影響を排除するため)
- (e) 土壌中窒素は葉内窒素濃度と密接に関連していることに基づき、葉内窒素濃度を最大カルボキシル化速度(V_{max})の変化で表す。
- (f) 樹木の新規更新は考慮しない。

(II-2) 結果

現 CO₂ 条件における林分全体の年蒸発散量 (AET) は、個体間競争による林分構造の変化が、林内の光環境を良好にした結果、時間とともに増加した。また、V_{max} の増加は熾烈な個体間競争を促し AET を増加させた。一方で、高 CO₂ と V_{max} 条件を組み合わせた環境を想定した数値実験結果によれば、高 CO₂ も V_{max} 同様に個体間競争を加速するが、高 CO₂ による気孔開度の低下が顕著となり、過度な蒸散を抑制した(図 5)。一方で、林分レベルの純一次生産量 (NPP) は高 CO₂ 濃度とともに増加し、樹木個体の成長を高めた。これらの研究から、温暖化に伴う気候変動予測を行う際に、個体間競争に伴う森林動態を考慮することの重要性が示唆された。

まとめとして、本研究から以下のことが言える。

1. 個体間競争に伴う森林構造の変化が森林群落内の物理環境を変化させた。

2. V_{max} や高 CO₂ は個体間競争の程度に影響を及ぼし、また高 CO₂ は樹木葉の生理応答(気孔開度)に影響を及ぼした。

3. これらの影響により、森林群落内の物理環境及び気候変化に対する樹木の生理的応答の変化が大気と森林間の水・炭素交換に影響を与えた。

最後に、森林動態を加味した今回の大気 森林動態モデルの解析により、従来の微気象分野で用いられてきた地表面モデルでは記述することができない樹木個体間競争の影響を通して、環境変化が大気 森林間の水・CO₂ 交換過程に与える影響に関する定性的な見解をまとめることができた。今後は、地球温暖化に伴う気候変化が北方林に及ぼす影響についての定量的解析を行い、気候リスク評価につながるように努める。

< 2005 年度、本研究課題における研究リスト >

*1 学術論文 (投稿中)

Toda, M., M. Yokozawa, A. Sumida, T. Watanabe, T. Hara: A leaf phenology model based on seasonal carbon allocation for deciduous forest dynamics. (Submitted on 30 Nov. 2005)

*2 科学研究費取得歴及び民間助成金取得歴など

< 科学研究費 >

平成 18 年 4 月 平成 17 年度 (研究種目など: 若手研究 (B))

研究課題「流域スケールへの適用に向けた大気—森林動態モデルの開発」)

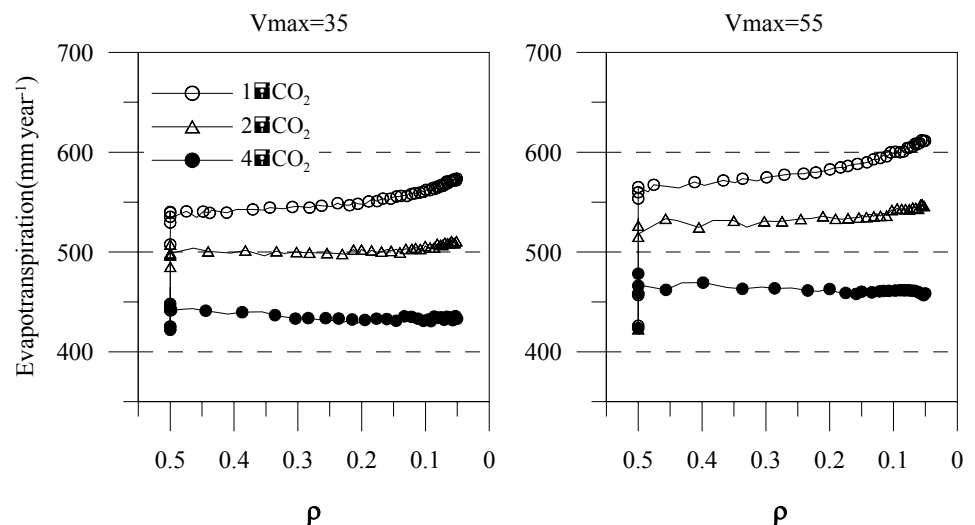


図 5: 林分密度の時間変化に伴う年間蒸発散量の年々変化 3 段階の CO₂ 濃度、2 段階の V_{max} を想定した計算)

*3 国際ワークショップ、学会活動など（申請者の発表のみ記載）

< 国際学会・国際ワークショップ >

1. Toda, M., M. Yokozawa, A. Sumida, T. Watanabe, T. Hara: A leaf phenology model based on seasonal carbon allocation for deciduous forest dynamics, Asia flux workshop , Fujiyosida, Japan, 2005.
2. Toda, M.: Effects of climate change on forest dynamics, water and carbon balances: a long-term simulation study, Global Land Project joint symposium, Sapporo, Japan, 2006.
3. Toda, M.: Effects of climate change on forest dynamics and carbon cycle: a long-term simulation study, The Second Scientific Congress of East Asian Federation of Ecological Societies (EAFES2), Niigata, Japan, 2006.
4. Toda, M., M. Yokozawa,, T. Hara: Effects of climate change on forest dynamics, and carbon cycle: a long-term simulation study, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, 2006.

< 国内学会・国内ワークショップなど >

1. 戸田求、渡辺力、横沢正幸、江守正多、高田久美子、隅田明洋、原登志彦：第52回日本生態学会大会，環境変化が森林動態や競争過程に及ぼす影響についてのシミュレーション研究，大阪国際会議場（大阪市北区），2005.
2. 戸田求：北方森林動態の将来予測に向けた陸面モデルの開発.北海道大学 21世紀 COEプログラム主催一般講演会，北海道大学，2005.
3. 戸田求、渡辺力、横沢正幸、隅田明洋、原登志彦：環境変化が森林動態や競争過程に及ぼす影響のシミュレーション研究，農業気象学会，金沢大学，2005.
4. Toda, M., M. Yokozawa, T. Hara: How does long-term elevated CO2 alter size structure and competition in forest stands?, Proceedings of 2nd Symposium on Water Cycle in Northern Eurasia, Hokkaido Univ., 2005.

< 本紙面で用いた引用文献 >

1. Bonan et al., *Nature*, **359**, 716-718, 1992.
2. Chuine, I., *J. Theoretical Biol.*, **207**, 337-347, 2002.
3. Hara et al., In: Present and Future of Modeling Global Environment Change: Toward Integrated Modeling, pp. 173-185, TERRAPUB, Tokyo.
4. Hozumi, K. and Kurachi, N., *Bot. Mag. Tokyo*, **104**, 25-36, 1991.
5. 勝野真澄，博士論文，名古屋大学
6. Kozlowski, T. T. and Pallardy, S. G., *Physiology of woody plants*. Academic Press.
7. 倉地奈保子，博士論文，名古屋大学
8. Sarvas, R., *Comm. Linst. Fore. Fenn.*, **84**, 1-101, 1974.
9. Shinozaki et al., *Jap. J. Ecol.*, **14**, 97-105, 1964.
10. Watanabe et al., *Global Change Biol.*, **10**, 963-982, 2004.
11. 2002年版世界森林白書 FAO協会，2001.