

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月20日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21710027

研究課題名（和文）

亜寒帯陸域の植生動態・エネルギー・物質循環の将来予測に関する数値モデル研究

研究課題名（英文）

Simulation study to evaluate changes in interannual variability in energy and carbon exchanges and vegetation dynamics in sub-boreal forest ecosystems under changing climate.

研究代表者

戸田 求 (TODA MOTOMU)

北海道大学・大学院地球環境科学研究所・特任助教

研究者番号：40374649

研究成果の概要（和文）：

将来の気候変化に対する亜寒帯陸域生態系の応答が大気-陸域生態系間のエネルギー・物質循環に及ぼす影響を定量的に評価することを目的として、北方域と冷温帯域の境界に位置する北海道の森林でえられた野外観測データと開発された数値モデルから、同地域の植生動態、エネルギー・炭素循環に関する数値解析研究を行った。この研究の結果、数値モデルは、野外観測で得られた地表面でのエネルギー収支、生態系交換量(Net ecosystem exchange, NEE)の季節変化、年々変動の他、植物個体群のサイズ構造動態、林分バイオマスの変動を適切に再現することに成功した。また、大型台風が森林接近にともなう自然撓乱が森林の炭素吸収量に大きな影響を及ぼしたが、この撓乱後の森林回復に伴う炭素動態は窒素動態と密接に関連していることを指摘し、将来の気候変化に伴う自然撓乱が北方域森林生態系の炭素動態に及ぼす影響を予測する上では、炭素とともに窒素動態についても植物生理生態的観点から定量的に評価することの重要性を示唆した。

研究成果の概要（英文）：

An atmosphere-vegetation interaction model has been developed and improved to elucidate annual variability in energy and carbon exchanges and forest dynamics in sub-boreal forest ecosystems. In several papers of mine, I have shown that the simulation model was found useful to present simultaneous simulations of forest dynamics, surface energy, and carbon exchanges of the forests. In addition, the simulation evaluated the effect of typhoon on annual variability in net ecosystem exchanges in the forests in terms of ecophysiological point of view. From my researches, hence, I have indicated the simulation could be an available tool to assess the functional and structural effects of plants on energy and carbon exchanges with stand development under dynamically changing climate in the near future.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境影響評価・環境政策

キーワード：生態系影響評価

1. 研究開始当初の背景

亜寒帯陸域は陸域面積全体の60%の炭素を貯留しているが、同域の冷涼な気候のため土壌における有機物分解が抑制されてきた。そのため、これまでの環境下において、同地域の陸域生態系は炭素吸収源としての役割を果たしてきた。しかし、近年の気候変化（温暖化）は北方域陸域生態系の炭素吸収機能に大きな変化を生じさせている。したがって、同生態系炭素循環に関わる現状とその将来予測に向けたメカニズムの解明が急がれる。一方で、将来予想される気候変化は、現在の北方域に生育する植生分布や生存可能な適応種を大きく変容させる可能性のあることが指摘されている。これらの変容により、現気候下に適応してきた植生種が他種との個体間競争の過程でどのように変化し、その変化が同陸域生態系の炭素吸収機能にどのような影響を及ぼすのか、そのメカニズムについての理解は得られていない。

2. 研究の目的

本研究では亜寒帯域（北方域）と冷温帯域の境界領域にある北海道の森林を主に対象とし、植生動態、エネルギー・炭素循環に関わる野外観測データと、これまでに筆者らが開発に携わってきた大気-植生動態モデルを用いて、森林の植生動態、エネルギー・炭素動態に関する数値解析研究を行った。特に将来の気候変化に伴いその頻度や強度の増大が懸念されている台風による自然災害が森林のサイズ構造、エネルギー、炭素・窒素動態に及ぼす影響を定量的に評価することに焦点を絞った。

3. 研究の方法

研究の対象期間は、1999年から2008年までとした。研究対象とする森林は、同じ気候帯下に位置する二つの異なる発達段階の林分（ダケカンバ林分；樹齢40年の若齢林、針広混交林林分；200年生の老齢林）であった。両林分では、上記期間中に毎木調査が定期的に行われ、林分の地上部バイオマスや平均樹高、平均胸高直径などのデータが得られた。また同期間において、大気-森林間のエネルギー・炭素交換に関わる野外観測が実施され、計測値の評価方法として超音波風速計および赤外線ガス分析計による渦相関法が用いられた。また、申請者らによって開発されて

きた大気-植生動態モデル（MINoSGI）には、森林の生理生態特徴を示す変数の情報が必要とされるが、これらの変数は野外観測と過去の文献を引用することで対処した。さらに、使用した上記モデルの土壌炭素サブモデルには微生物活動に伴う炭素窒素動態について既往の文献などを参考に挿入された（Aber et al., 1995）。これらを用いることで窒素動態のシミュレーションが可能となったが、しかし、比較対象とする野外調査データが計測上の問題で得られなかったことをうけ、5.に記載される作成論文では窒素動態に関する解析は行われなかったことを記載しておく。

4. 研究成果

1999年から2008年の期間に得られた毎木調査データ、2004年から2008年の間に得られたフラックスデータと数値モデル（MINoSGI）との比較を行った結果、数値モデルは、サイズ構造動態や密度-バイオマス関係を種ごとに適切に再現した。また、地表面における放射エネルギー収支各成分の季節変化や森林生態系による炭素吸収量の季節変化を積雪の年々変動とともに適切に表記することが示された。よって、森林動態を表記できるツールであることが確認された。

また、観測期間中に生じた大規模台風が森林生態系の植生動態と炭素循環変動に及ぼす影響を調査した。特に台風かく乱後の葉群回復に伴う葉の生理生態的な環境応答変化が森林の炭素吸収量に及ぼす影響に着目した。解析の結果、2004年に北海道を通過した台風は、翌年（2005年）の若齢林の樹木葉群（葉・枝）を大きく減少させた。これに伴い森林による総一次生産量（GPP）は大きく低下し、生態系生産量（NEP）もまた大きく低下した（すなわち、樹木による炭素吸収量が低下した）。一方で、老齢林では、同程度の台風強度を受けたにもかかわらず、葉群や炭素収支の年々変動は非常に小さかった。台風発生から2年後の2006年以降、若齢林での葉群は台風前と同程度に回復し、一方で森林の炭素吸収量は年々増加し、2007～8年における成長期のGPPは台風前よりも大きく増加する傾向を示した。その結果、NEPもまた大きくなり、この傾向は若齢林で顕著であった。このことから台風による葉群かく乱は、その後の樹木葉の光合成活性を高め、森林生態系による炭素吸収機能を増大させる可能性のあることが示唆された。また、森林が異なると、台風攪乱が森林の炭素吸収量へ及ぼす影

響が異なったことから、次のようなとりまとめ、すなわち 1) 階層構造の小さい群落構造を持つ森林は、台風などの攪乱による耐性が小さいが、その後の回復過程が早いこと、2) 森林群落内に多くの空間的不均一性を持ち階層構造が複雑な森林は、攪乱などによる物理的破損の程度を押さえる構造的機能を有しており、その結果として台風によらず安定的な炭素吸収を行う、がなされた。

この現象をうけ、攪乱に伴う森林生態系の構造や機能の変化が生態系炭素吸収量の年々変動に及ぼす要因を調べるために、植生モデルとデータ同化法の一つであるベイズ統計手法を用いた要因解析研究を行った。この結果、植物の機能や構造に関わる生物変数のうち、GPP の光飽和値 (Amax) と光合成-光曲線の飽和値の半分に相当する値 (Km) に変化が見られ、植物の機能と構造を反映する二つの生物変数の双方が、攪乱後の若齢林で大きく変動し、攪乱後の生態系炭素吸収量の増加をもたすことを示した。この結果は、植物の攪乱に対する回復性 (復元性、弾力性, resilience) を、植物の生理生態的応答の観点から定量的に評価したことが重要な点である。

以上より、本研究遂行期間において、亜寒帯と冷温帯の境界に位置する森林生態系を対象として、炭素動態に関わる野外観測と数値モデルによる解析が実施された。そして、台風のような自然災害が起こった場合の植生の応答に着目し、かく乱後の樹木の生理生態的応答の変化が GPP と NEP に大きく影響することを定量的に評価することができた。本研究は、将来の気候変化に伴う陸域生態系の応答評価が重要となる環境動態分野および環境影響評価の枠組みにおいて、境界領域研究 (生理生態学と微気象学) を行うことの重要性を示したものととらえることが出来る。また、今後の生態学研究では、100 年を超える長時間スケールの物質動態予測が不可欠になると考えられる。したがって、数値モデルを用いた本研究はその複雑な生態系の振る舞い (植生動態) とエネルギー、炭素動態についての将来予測の可能性を広げる研究であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- (1) Toda, M., K. Takata and 9 others, Simulating seasonal and inter-annual variations in energy and carbon

exchanges and forest dynamics using a process-based atmosphere-vegetation dynamics model, *Ecological Research*, (査読有), 26, 105-121.

- (2) Toda, M., P. Kolari and 9 others, Photosynthetic recovery of foliage after wind disturbance activates ecosystem CO₂ uptake in cool-temperate forest of northern Japan, *Journal Geophysical Research-Biogeoscience*, (査読有), doi:10/1029/2010JG001611.

- (3) 戸田 求, 原登志彦, 北方森林群落における大気-森林動態相互作用に関する研究, *低温科学*, (査読有)68, 27-34.

- (4) Toda, M., M. Yokozawa, S. Emori, T. Hara, More asymmetric tree competition brings about more evapotranspiration and less runoff from the forest ecosystems: A simulation study. *Ecological Modelling*, 221, 2887-2898. (査読有)

- (5) Toda, M., M. Yokozawa, A. Sumida, T. Watanabe, T. Hara; Foliage profiles of individual trees determine competition, self-thinning, biomass and NPP of a *Cryptomeria japonica* forest stand: A simulation study based on a stand-scale process-based forest model, *Ecological Modelling*, (査読有) 220, 2272-2280.

- 戸田求, 大気-植生相互作用モデルによる陸域生態系の炭素収支研究、光合成研究会誌, (査読有), 20(1), 34-42.

[学会発表] (計 3 件)

- (1) Toda, M., Y. Yokozawa, A. D. Richardson, T. Kohyama, Inversion analysis of estimating interannual variability and its uncertainties in biotic and abiotic parameters of a terrestrial ecosystem model after a huge wind disturbance, *America Geophysical Union*, 2011. 12. 4, San Francisco, USA.

(2) Toda, M., P. Kolari, T. Nakai, Y. Kodama, H. Shibata, T. Yoshida, S. Uemura, A. Sumida, T. Hara, Photosynthetic recovery of foliage after wind disturbance Japan, America Geophysical Union, 2010.12.5, San Francisco, USA.

(3) Toda, M., A.D. Richardson, M. Yokozawa, T. Kohyama, Inversion analysis of estimating interannual variability and its uncertainties in biotic and abiotic parameters of a terrestrial ecosystem model after wind disturbance, iLTER conference, 2011.9.20, Sapporo, Japan.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸田 求 (TODA MOTOMU)

北海道大学・大学院地球環境科学研究所・特任助教

研究者番号：40374649

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：