

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 10 日現在

機関番号：13701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23710005

研究課題名（和文）山岳地域の森林生態系における炭素・水・熱循環に対する気候変動の影響評価

研究課題名（英文）Impact assessment in climate change: carbon, water and heat cycle in mountainous forest ecosystems

研究代表者

齋藤 琢（SAITOH TAKU M.）

岐阜大学・流域圏科学研究センター・特定研究補佐員

研究者番号：50420352

研究成果の概要（和文）：本研究では、炭素・水・熱交換量観測データと気候モデル・生態系モデルを有機的に組み合わせ、山岳地域の森林生態系を対象として、生態系機能の気候変動に対する環境応答を評価した。その結果、生態系機能は、温暖化に伴う群落フェノロジーの変化と根雪期間の変化に強い影響を受けることが明らかとなった。気候変動下における森林生態系機能を広域に評価するために、融雪・根雪のタイミング、群落フェノロジーの時空間分布の高精度な推定とこれらの予測型モデルの高精度化が重要であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：We assessed the environmental sensitivities of forest ecosystem functions in mountainous forest ecosystems in climate change by using field measurement data and ecosystem modeling simulations. We clarified that ecosystem functions were strongly influenced by changing canopy phenology and snow-cover period under global warming. Our analysis indicates the importance of understanding space-time distributions of canopy phenology dynamics and snow-cover and of their consideration into the mechanistic evaluation of ecosystem functions in the climate studies.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：物質循環・気候変動

1. 研究開始当初の背景

地球規模の物質循環に関する研究は、IPCC/DDC から大気－海洋結合モデル（AOGCM）の出力値が無償配布になったことで、近年、飛躍的に推進されてきた。しかし、山岳地域の生態系の気候変動応答に関しては、山岳地域で気候変動の影響が大きいという指摘（e.g., Hurber et al., 2005）があ

るにも関わらず、とくにアジア地域で十分な研究がおこなわれていない（e.g., Zierl and Bugmann 2007）。日本の国土の8割は山岳地域であり、山岳地域における環境科学研究は、日本がリードすべき課題であるが、山岳地域の複雑地形が観測の障害となり、また、モザイク状に配置された生態系は物質循環研究の際に高空間解像度の気象データを必要とすることから、山岳地域における研究推進は

精力的に行われているとは言い難い。

2. 研究の目的

炭素・水・熱交換量観測データと気候モデル・生態系モデルを有機的に組み合わせ、山岳地域を対象とした大気-生態系間の炭素・水・熱交換量を推定し、山岳地域における生態系機能の気候変動に対する環境応答を評価する。

3. 研究の方法

本研究では、岐阜県高山市の山岳地に位置する落葉広葉樹林サイト (AsiaFlux TKY) および常緑針葉樹林サイト (AsiaFlux TKC) を重点研究サイト、両サイトを含む大八賀川流域を重点研究流域と設定し、研究を実施した。下記に利用した主な観測データおよびモデルを列挙する。

(1) 重点研究サイトにおけるフィールド観測値: 炭素・水・熱タワーフラックスデータ, Biometric 法, チャンバー法に基づく炭素動態観測データなど。

(2) 気象水文生態系モデル NCAR/LSM (米国国立大気研究センター/陸面モデル): 本研究においてモデルの改良および最適化を行った。

(3) 数値気象モデル (MM5): 大八賀川流域を対象とした高解像度気象出力値を利用した。

(4) 気候モデル (CMIP3 Multi-Climade Models): 日本付近で現在の気象値の再現性が高い4つのモデルの A1B, A2, B1 シナリオの将来予測出力値を利用した。

4. 研究成果

(1) 極東アジア山岳域に優占する冷温帯常緑針葉樹林と落葉広葉樹林の炭素交換量の環境応答特性の違いを評価するために、岐阜県にある二つの冷温帯林 (スギ・ヒノキ人工林と落葉広葉樹二次林) の炭素収支に対する気象や生態学的機能の敏感度を、観測データと NCAR/LSM (米国国立大気研究センター/陸面モデル) を使って調査し、下記を明らかにした。(Saitoh *et al.* 2012, *E. J. For. Res.*)。①タワーフラックス観測, Biometric 法, チャンバー法に基づく炭素収支データを検証データとして利用することで、両生態系における炭素収支を生態系モデルにより高精度

で推定可能となった。

②常緑針葉樹林では純生態系交換量 (NEP) のピークが4-6月にあらわれ、落葉広葉樹林ではNEPのピークが7-9月にあらわれた (図1)。この両生態系における異なるNEPの季節変化は、主に4-6月のフェノロジーの違いとそれに伴う総光合成量 (GPP) の大きさの違いに起因していることが示唆された。

③年積算 GPP, 生態系呼吸量 (RE) は、落葉広葉樹林と比較して、常緑針葉樹林で大きく活発な植生活動が行われていることが明らかとなった。この両生態系の GPP, RE の年積算値の相違は、主にバイオマス量の相違の影響を反映していることが示唆された。

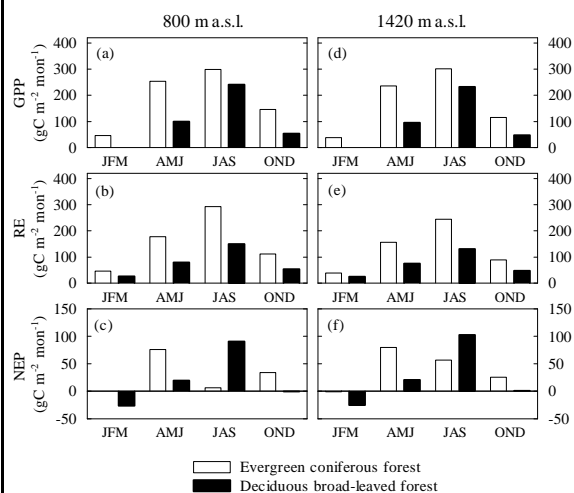


図1: 2標高 (800 m および 1420 m) における常緑針葉樹林と落葉広葉樹林における総一次生産量 (GPP), 生態系呼吸量 (RE), 純生態系生産量 (NEP) の季節変化

(2) 森林の蒸発散量は地表面の水・熱・炭素循環と密接にリンクしている。このため、森林の蒸発散量の経年変動とその環境応答特性の解明が、地表面物質循環研究における最も重要なタスクの一つとなっている。本研究では、常緑針葉樹林 (スギ・ヒノキ林) における夏季蒸発散量の経年変化について、極端気象に着目して、観測値とビックリーフモデルを用いて調査した。猛暑年 (2010年) と冷夏年 (2009年) を比較した結果、大気乾燥度 (大気飽差), 純放射といった気象要素に加え、平衡蒸発量や地表面コンダクタンスといった地表面ガス交換特性に有意な差が現れたが、両年において夏季蒸発散量はほとんど変わらなかった。また、2006年から2010年のデータを解析した結果、蒸発散量に影響を与える環境因子 (気温, 降水量, 大気乾燥度) および地表面物理パラメータ (地表面ガス交換特性) の経年変化量と比較して、夏季蒸発散量の経年変化量が小さく、夏季蒸発散量が

動的平衡を保っていることを明らかにした (図2)。この夏季蒸散量の動的平衡は、気象条件の変動に対して、森林生態系の制御 (主に気孔制御) によって保持されていることが示唆された (Saitoh et al. 2013, *Hydrological Processes*)。

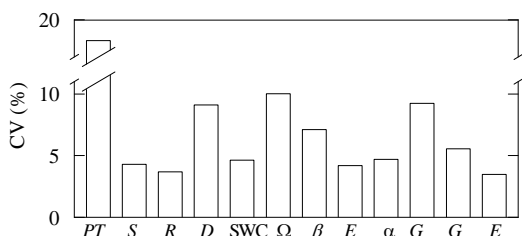


図2：蒸散量に影響を与える環境因子 (降水量, 日射量, 純放射量, 大気飽差, 土壌水分量), 地表面物理パラメータ (乖離率, ボーエン比, 平衡蒸散量, Priestley-Taylor 係数, 空気力学的コンダクタンス, 地表面コンダクタンス) および蒸散量の 2006 年～2010 年の経年変化量

(3) 気候変動に対する生態系機能の応答を高精度に評価するために、冷温帯落葉広葉樹林を対象とした、①群落フェノロジーと気温データを用いた群落フェノロジーモデルの構築を行い、②観測値に基づいた生態系モデル (改良版 NCAR/LSM) の検証・最適化、③気候モデル (CMIP3 Multi-Climate Models) 用いた生育期間および炭素収支の将来予測を行い、温暖化の影響によって延長された生育期間が落葉広葉樹林の炭素収支に与える影響について評価した。気温と群落フェノロジーの関係を気候モデルの A1B, A2, B1 シナリオの将来予測気温に適用し、展葉開始から落葉終了日 (生育期間) の将来予測 (2046-2065 年) を行い、現在 (2002-2007 年) と比較した。将来予測では現在と比較して、展葉開始が 10~13 日早まり、落葉終了は 7~9 日遅くなった。結果として、落葉広葉樹林の生育期間は 17~22 日延長した。また、融雪終了日が 8~12 日早まり、根雪開始日が 5 日遅くなった結果、下層植生を含む森林生態系全体の光合成可能期間が 13~17 日増加した。この結果、将来の生態系全体の総光合成量, 生態系呼吸量, 総生態系生産量は、現在と比較して、それぞれ 9~12%, 9~12%, 12~17% 増加した。これらの増加分は主に落葉広葉樹の寄与が主体であり、林床ササ群落の寄与率はほとんどなかった。これらの結果から、気候変動による群落フェノロジーと森林生態系の全体の光合成可能期間の変化が落葉広葉樹および森林生態系全体の炭素動態に大きな影響を与えることが明らかとな

り、気候変動下における落葉広葉樹林の炭素収支を広域に評価するために、融雪・根雪のタイミング, 群落フェノロジーの時空間分布の高精度な推定とこれらの予測型モデルの高精度化が重要であることが示唆された。

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 7 件)

(1) Saitoh T.M., Tamagawa I., Muraoka H., and Kondo H. (2013) An analysis of summer evapotranspiration based on multi-year observations including extreme climatic conditions over a cool-temperate evergreen coniferous forest, Takayama, Japan. *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.9834 (査読あり)

(2) Saitoh T.M., Nagai S., Noda H.M., Muraoka H. and Nasahara K.N. (2012) Examination of the extinction coefficient in the Beer-Lambert law for an accurate estimation of the forest canopy leaf area index. *Forest Science and Technology*, 8(2), 67-76. DOI:10.1080/21580103.2012.673744 (査読あり)

(3) Nagai S., Saitoh T.M., Kobayashi H., Ishihara M., Suzuki R., Motohka T., Nasahara K.N. and Muraoka H. (2012) In situ examination of the relationship between various vegetation indices and canopy phenology in an evergreen coniferous forest, Japan. *International Journal of Remote Sensing*, 33(19), 6202-6214, doi: 10.1080/01431161.2012.682660. (査読あり)

(4) Saitoh T.M., Nagai S., Yoshino J., Muraoka H., Saigusa N., and Tamagawa I. (2012) Functional consequences of differences in canopy phenology for the carbon budgets of two cool-temperate forest types: simulations using the NCAR/LSM model and validation using tower flux and biometric data. *Eurasian Journal of Forest Research*. 15(1), 19-30. http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/49966/1/EJFR15-1_003.pdf (査読あり)

(5) Saitoh T.M., Nagai S., Saigusa N., Kobayashi H., Suzuki R., Nasahara K.N., and Muraoka H. (2012) Assessing the use of

camera-based indices for characterizing canopy phenology in relation to gross primary production in a deciduous broad-leaved and an evergreen coniferous forest in Japan. *Ecological Informatics*, 11, 45-54, doi: 10.1016/j.ecoinf.2012.05.001. (査読あり)

(6) Nagai S., Nakai T., Saitoh T.M., Busey R. C., Kobayashi H., Suzuki R., Muraoka H., Kim Y. (2012) Seasonal changes in camera-based indices from an open canopy black spruce forest in Alaska, and comparison with indices from a closed canopy evergreen coniferous forest in Japan. *Polar Science* DOI: 10.1016/j.polar.2012.12.001 (査読あり)

(7) 齋藤琢・坂部綾香・吉澤景介・鎌倉真依・安立美奈子・平田竜一 (2012) AsiaFlux Workshop 2011 “Bridging Ecosystem Science to Services and Stewardship” の報告. 生物と気象, 12, D3-9. (査読なし)

[学会発表] (計 6 件)

(1) 齋藤琢 (2013) リモートセンシングを利用した落葉広葉樹林の炭素収支に及ぼす温暖化の広域影響評価, 第 60 回日本生態学会, 静岡県コンベンションアーツセンター, 静岡, 2013 年 3 月 5 日~9 日 (口頭; S04-6)

(2) Saitoh T.M., Noh N.-J., Nagai S., Son Y. and Muraoka H. (2012) Carbon partitioning and budget in forest ecosystems in East Asia: combined meta-analysis of tower-flux and biometric data.. *The 55th Symposium of the International Association for Vegetation Science, Climate Change and Vegetation Science*, Hotel Hyundai, Mokpo, Republic of Korea, 23-28 July, 2012 (Oral; SS 4-1, pp56)

(3) Saitoh T.M., Naga S., Yoshino J., Saigusa N., Tamagawa I., and Muraoka H. (2012) Carbon budget in a deciduous broad-leaved forest considering the expanded growing period length by global warming. *Japan Geoscience Union Meeting 2012*, Makuhari, Chiba, Japan, May 20-25, 2012 (Poster; AHW28-P20).

(4) Saitoh T.M., Nagai S., Yoshino J., Muraoka H., Saigusa N., Tamagawa I. (2012) Functional consequences of differences in

canopy phenology for the carbon budgets of two cool-temperate forest types: simulations using the NCAR/LSM model and validation using tower flux and biometric data. *Joint meeting of the 59th annual meeting of ESJ and the 5th EAFES international congress*, Ryukoku University, Otsu, Japan, March 17-21, 2012 (Poster; P3-299J).

(5) Saitoh T.M., Tamagawa I., Muraoka H., and Kondo H. (2011) Summer evapotranspiration based on multi-year observations including extreme climatic conditions over a cool-temperate evergreen coniferous forest, Takayama, Japan. *AsiaFlux Workshop 2011 “Bridging Ecosystem Science to Services and Stewardship”* Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, Malaysia, November 9-11, 2011 (Poster; WP065).

(6) Saitoh T.M., Yoshino J., Muraoka H., Saigusa N., and Tamagawa I. (2011) Comparison study in carbon budget over two different cool-temperate forests in Takayama, Japan, using an ecosystem model. *International Long-Term Research Network (ILTER) Annual Meeting 2011*, Hokkaido University, Sapporo, Japan, September 5-9 (Poster; P1-07).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋藤 琢 (SAITOH TAKU M.)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・特定
研究補佐員

研究者番号: 50420352