

令和元年6月18日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H04512

研究課題名(和文) 植生遷移に伴う落葉広葉樹林生態系機能の環境応答特性の変遷とその変動機構の解明

研究課題名(英文) The clarification of environmental response characteristics and variation mechanism of ecosystem function in deciduous broadleaf forests with vegetation succession

研究代表者

齋藤 琢 (SAITOH, Taku)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・助教

研究者番号：50420352

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は植生遷移に伴う落葉広葉樹林生態系機能の環境応答特性の変遷とその変動機構をフィールド観測と生態系モデルによって解明することである。ダケカンバ(遷移初期種)とミスナラ(遷移中後期種)を重点的に調査したところ、(1)両種の葉群フェノロジーの相違性が、植物生理特性や蒸散特性に影響を与えること、(2)ダケカンバ林からミスナラ林への遷移を想定した場合、水循環よりも炭素循環への影響が大きいことが示唆された。本研究により、生態系機能の現状診断と変動予測の高度化を図る上で、樹種別の葉群フェノロジーおよび水・炭素循環の環境応答特性と、優占種の変遷に着目することが重要であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本申請課題の特色は、植生遷移に伴う落葉広葉樹林生態系機能の環境応答特性の変遷とその変動機構を、生態水文学的・生理生態学的視点から、複合的なフィールド観測と生態系モデリングにより解明することである。本研究の実施により、植生遷移に伴う植生機能の量的・質的動態を考慮した生態系機能の脆弱性・復元力に関わる新しい評価軸の創生に繋がると考えられる。また、ここで得られる知見は、今後の環境変動や極端気象による攪乱要素への生態系の脆弱性や抵抗力の評価に繋がり、また生態系機能研究から生態系を基盤とした防災・減災(Eco-DRR)研究への発展にも繋がるため、本研究課題の波及効果は大きい。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify the environmental response characteristics and variation mechanism of ecosystem function in deciduous broadleaf forests with vegetation succession. By focusing the canopy phenology and water and carbon cycles of *Betula ermanii* (initial stage species) and *Quercus crispula* (middle-late stage species), we clarified that (1) different canopy phenology of both species well influenced to plant physiological and transpiration characteristics, and (2) when we assumed the succession process from *B. ermanii* forest to *Q. crispula* forest, the effect of succession process on carbon cycle, compared with water cycle, will be relatively large. Our studies emphasize the importance to focus on (1) the canopy phenology and the environmental response characteristics of water and carbon cycles of individual species and (2) the change of dominant species with vegetation succession, for the advance of the current and future prediction of ecosystem function.

研究分野：生物環境物理学

キーワード：植生遷移 炭素循環 水循環 環境応答 落葉広葉樹 葉群フェノロジー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、水涵養能、炭素固定能、熱涵養能といった森林の付加価値を生態系機能・生態系サービスとして再定義する動きが広まっており、生態系機能・生態系サービスを多面的・長期的に高精度に評価・予測し、長期的な森林管理策に繋げることが森林科学分野でも期待されている。また、IPCC 第5次評価報告書(2013)では、人為起源の地球温暖化の進行が確実視されており、急激な気候変動が我が国の森林に及ぼす影響も危惧され、気候変動に対する森林生態系機能の脆弱性、復元力を理解することが重要視されている。その中で、これらの根幹を成す生態系機能(水・炭素循環)の動的変動メカニズムと環境応答メカニズムの解明が重要な研究課題となっている。

特に、常緑針葉樹林と比較して種多様性が高い落葉広葉樹林において、生態系機能の変動メカニズムを明らかにするためには、群落を構成する樹種間の環境応答特性の相違性・特異性を解明し、植生遷移に伴う優占種の変化が、生態系機能の環境応答特性の変遷に及ぼす影響を解明する必要がある。

2. 研究の目的

本申請課題の目的は、植生遷移に伴う落葉広葉樹林生態系機能の環境応答特性の変遷とその変動機構をフィールド観測による実証研究と生態系モデル研究の統合により解明することである。特に、(1) 樹種別の量的(葉量)・質的(光合成能、気孔開閉)な葉群フェノロジーおよび生態系機能(水・炭素循環)の環境応答特性と、(2) 遷移過程に伴う林分を構成する優占種の変遷に着目することで、生態系機能の現状診断と変動予測の精緻化・高度化を図る。

3. 研究の方法

本申請課題では、長期複合的な観測拠点である「60年生冷温帯落葉広葉樹林(ミズナラ、ダケカンバ); AsiaFlux TKY サイト」を重点サイトとして、下記の計画で研究を実施した。

- ・重点研究サイトにおける葉群フェノロジー、水・炭素循環観測および林分動態調査
- ・葉群フェノロジーの環境応答特性の解明とそのモデル化
- ・生態プロセス観測に基づいた植生遷移と林分構造の動的変化の解明とモデル化
- ・植生遷移段階毎の生態系機能の環境応答特性の解明とその影響評価

(1) 主要な観測項目

重点研究サイトである50-60年生の落葉広葉樹林(TKY サイト)において遷移初期から遷移中・後期の林分を構成するシラカンバ・ダケカンバ、ホオノキ・ミズナラ・ブナ、林床低木種であるノリウツギ・オオカメノキおよびクマイザサなど11種43個体に計69個の樹液流センサー(グラニエ法または幹熱収支法)を設置するとともに、樹冠カメラを追加し、葉群フェノロジーと樹液流の季節変化データを取得した。一部のセンサーは、動物等によりケーブルが切断され欠測となったものの、データの取得状況は概ね良好であった。林冠木(ダケカンバ、ミズナラ)の個葉生理生態調査(SPAD、LMA)、林床木、林床ササ群落の葉群フェノロジー、毎木調査、リター観測等も継続実施し、これまでに蓄積された水・炭素循環に関連するデータもあわせて解析に供した。

(2) 生態系モデル

生態系モデルは、NCAR/LSM を改良した鉛直二層モデルを利用した(Saitoh et al. 2015)。本モデルでは、上層木の葉群フェノロジーと林床ササ群落のフェノロジーを考慮でき、水・熱・炭素循環の1時間値を推定可能である。本研究では、下記(A)(B)についてTKY サイトにおける気温、降水量、日射量、長波放射量、風速、気圧等の気象データを入力値として、1時間毎の水・炭素フラックス値を推定し、解析した。

(A) 上層木の葉群フェノロジー観測値を生態系モデルに導入

(B) 2005-2014年の樹種別の要面積指数(LAI)データ(Nagai et al. 2017)から、ダケカンバ(遷移初期種)とミズナラ(遷移中・後期種)の葉面積指数(LAI)の季節変化を個別に抜粋し、これらの葉群フェノロジーを生態系モデルのサブモデルとして組み込み、ダケカンバ優占林とミズナラ優占林を仮想的に設定

4. 研究成果

(1) フィールド調査に基づいた葉群フェノロジーの樹種特性と生態系機能評価

はじめに、樹冠カメラによる展葉・黄葉・落葉状況と林冠木(ダケカンバ、ミズナラ)の個葉生理生態調査(SPAD、LMA)の関係を調査したところ、樹冠カメラによって得られた個体毎のGRVI(Green red vegetation index)は、樹種別のSPAD値およびLMA値をよく反映しており、カメラGRVIが葉群フェノロジーの指標として有用であることが示された。さらに、樹冠カメラによる展葉・黄葉・落葉状況および樹液流データを利用して、遷移初期種であるダケカンバと遷移中・後期種であるミズナラの葉群フェノロジーと樹液流速の季節変化の対応関係を気象条件で場合分けし、調査した。特に、晴天日に着目して解析した結果、(1)ダケカンバの秋季の樹液流速は、ミズナラのそれと比較して、季節的に早く減衰する傾向があること、(2)このダケカンバ・ミズナラの秋季の樹液流速の減衰の相違性は、両樹種の葉群フェノロジーの相違

性と良い対応関係があることが明らかとなり、落葉二次林分の樹種構成が林分蒸散量の季節変化に及ぼすことが示唆された。また、(3)クマイザサは林床の雪解け後から上層木の展葉開始前の期間が年間で最も樹液流速が高く、それ以外の期間の樹液流速は相対的に低いこと、(4)落葉性林床木のノリウツギやオオカメノキは、上層木の展葉前に展葉を開始するとともに上層木の落葉前にほぼ落葉を終了するため、両樹種の樹液流速の季節変化は、クマイザサのそれとは明瞭に異なることから、これらの葉群フェノロジーの種間差が、樹液流速の季節変化の種間差にも影響を及ぼしていることが示唆された。

なお、10年に渡る樹種毎(ミズナラ・ダケカンバなど落葉樹14種)のリターとLAIデータ整備し、Ecological Researchのデータペーパーとして出版し、Ecological Research Paper Award 2017を受賞した(Nagai et al. 2017)。また、本研究サイトの炭素収支データについては、論文発表されている情報を収集し、他のサイト情報とあわせてThe compilation data set of ecosystem functions in Asia (version 1.1)として公開した。

(2) 葉群フェノロジーの樹種特性が水・炭素循環へ及ぼす影響について

観測により明らかになった葉群フェノロジーの相違性が水・炭素循環へ及ぼす影響について生態系モデルを用いて調査した。生態系モデルは、NCAR/LSMを改良した鉛直二層モデルを利用した(Saitoh et al. 2015)。重点研究サイト(AsiaFlux TKY サイト)における上層木の葉群フェノロジー観測値を生態系モデルに導入し、水・炭素循環に関する観測値を利用して生態系モデルを最適化し、水・炭素循環を再現した。その結果、水循環については、夏季に蒸散のピークがある一山型の上層木の蒸散量季節変化と、春先にピークを持つ林床ササ群落の蒸散量季節変化をよく再現していた。炭素循環に関しては、総一次生産量(GPP)、生態系呼吸量(RE)、純生態系生産量(NEP)の季節変化およびGPP、RE、NEP、純一次生産量、土壌呼吸量、根呼吸、微生物分解呼吸の年積算値についても概ねよく再現していた。

次に、2005-2014年の樹種別の要面積指数(LAI)データ(Nagai et al. 2017)から、ダケカンバ(遷移初期種)とミズナラ(遷移中・後期種)のLAIの季節変化を個別に抜粋し、これらの葉群フェノロジーを生態系モデルのサブモデルとして組み込み、ダケカンバ優占林とミズナラ優占林を仮想的に設定した。両生態系の水・炭素循環の比較は非生育期(12-3月)展葉期(4-5月)成熟期(6-9月)落葉期(10-11月)毎に行なった。その結果、落葉期において、仮想ダケカンバ林の上層木蒸散量は、仮想ミズナラ林のそれと比較して、約40%減少していた。ただし、年積算蒸散量に対する落葉期の寄与は5%程度であり、年積算の蒸散量および蒸発散量に与える影響は小さかった。他方、炭素循環では、落葉期において、仮想ダケカンバ林の上層木総一次生産量(GPP)は、仮想ミズナラ林のそれと比較して、約43%減少していた。その影響で、下層植生(クマイザサ)を含めた生態系全体の年積算GPP、年積算純生態系生産量はそれぞれ約6%、18%減少していた。これらの結果、ダケカンバ林からミズナラ林への遷移を想定した場合、蒸散量や蒸発量よりもむしろ、炭素循環への影響が大きいことが示唆された。本研究により、生態系機能の現状診断と変動予測の高度化を図る上で、樹種別の葉群フェノロジーおよび水・炭素循環の環境応答特性と、優占種の変遷に着目することが重要であることが示された。

表1 仮想ダケカンバ林および仮想ミズナラ林における根雪期(12-3月)、展葉期(4-5月)、成熟期(6-9月)、落葉期(10-11月)、年間の総一次生産量(GPP)および純生態系生産量(NEP)

	期間	GPP (gC/m ² /period)		NEP (gC/m ² /period)	
		ダケカンバ林	ミズナラ林	ダケカンバ林	ミズナラ林
		生態系全体			
	根雪期	3.2	3.3	-62.0	-61.7
	展葉期	83.1	88.2	-14.6	-10.2
	成熟期	799.4	817.8	261.8	275.0
	落葉期	99.1	129.3	-0.8	20.6
	年積算	984.8	1038.7	184.3	223.6
落葉上層木					
	根雪期	0.0	0	-	-
	展葉期	14.0	21.4	-	-
	成熟期	778.8	802	-	-
	落葉期	62.9	108.8	-	-
	年積算	855.8	932.1	-	-

表1つづき

林床ササ群落	根雪期	3.2	3.3	-	-
	展葉期	69.1	66.8	-	-
	成熟期	20.5	15.8	-	-
	落葉期	36.2	20.5	-	-
	年積算	129.0	106.4	-	-

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. Nagai S., Akitsu T., Saitoh T.M., Busey R.C., Fukuzawa K., Honda Y., Ichie T., Ide R., Ikawa H., Iwasaki A., Iwao K., Kajiwara K., Kang S., Kim Y., Khoon K.-L., Kononov A.V., Kosugi Y., Maeda T., Mamiya W., Matsuoka M., Maximov T.C., Menzel A., Miura T., Mizunuma T., Morozumi T., Motohka T., Muraoka H., Nagano H., Nakai T., Nakaji T., Oguma H., Ohta T., Ono K., Pungga R.A.S., Petrov R.E., Sakai R., Schunk C., Sekikawa S., Shakhmatov R., Son Y., Sugimoto A., Suzuki R., Takagi K., Takanashi S., Tei S., Tsuchida S., Yamamoto H., Yamasaki E., Yamashita M., Yoon T.-K., Yoshida T., Yoshimura M., Yoshitake S., Wilkinson M., Wingate L., Nasahara K.N. (2018) 8 million phenological and sky images from 29 ecosystems from the Arctic to the tropics: the Phenological Eyes Network, *Ecological Research*, 33, 1091-1092. <https://doi.org/10.1007/s11284-018-1633-x> (査読有り)
2. Nagai S.*, Saitoh T.M.*, Kajiwara K., Yoshitake S., Honda Y. (2018) Investigation of the potential of drone observations for detection of forest disturbance caused by heavy snow damage in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) forest, *Journal of Agricultural Meteorology*, 74, 123-127 <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-17-00038> (*co-first author) (査読有り)
3. Nagai S., Nasahara K.N., Yoshitake S., Saitoh T.M. (2017) Seasonality of leaf litter and leaf area index data for various tree species in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest, Japan, 2005-2014, *Ecological Research*, 32, 297. DOI 10.1007/s11284-017-1452-5 (Ecological Research Award 2018) (査読有り)
4. Kondo M., Saitoh T.M., Sato H., Ichii K. (2017) Comprehensive synthesis of spatial variability in carbon flux across monsoon Asian forests, *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 623-634, DOI 10.1016/j.agrformet.2016.10.020 (査読有り)
5. Saitoh T.M., Nagai S., Yoshino J., Kondo H., Tamagawa I., Muraoka H. (2015) Effects of canopy phenology on deciduous overstory and evergreen understory carbon budgets in a cool-temperate forest ecosystem under ongoing climate change, *Ecological Research*, 30, 267-277, DOI 10.1007/s11284-014-1229-z (査読有り)

〔学会発表〕(計 4 件)

1. Saitoh T.M., Nagai S., Yasue K., Muraoka H. (2017) The different responses of carbon cycle to climate change in evergreen coniferous and deciduous broad-leaf forests in a cool-temperate region, Japan, Joint conference of AsiaFlux workshop 2017 and the 15th anniversary celebration of ChinaFlux, Beijing, China, 16-19 August, 2017
2. Nagai S., Saitoh T.M., Suzuki R. (2016) Utility of leaf-colouring information published on web sites for evaluation of spatial-temporal variability of autumn leaf phenology in Japan, AGU Fall Meeting 2016, Moscone Center, San Francisco, USA, 12-16 December, 2016
3. Muraoka H., Nagao A., Saitoh T.M. (2016) Effects of increasing air temperature on leaf phenology and photosynthetic characteristics in cool-temperate deciduous canopy trees, AGU Fall Meeting 2016, Moscone Center, San Francisco, USA, 12-16 December, 2016
4. Muraoka H., Noh N. - J., Saitoh T.M., Nagao A., Noda H.M., Kuribayashi M., Nagai S. (2015) Seasonal and inter-annual changes in photosynthetic and soil respiratory processes in a cool-temperate deciduous forest on a mountainous landscape in Japan, AGU Fall Meeting 2015, Moscone Center, San Francisco, USA, 14-18 December 2015

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：永井 信

ローマ字氏名：Shin Nagai

所属研究機関名：海洋研究開発機構

部局名：地球環境観測研究開発センター

職名：主任研究員

研究者番号（8桁）：70452167

研究分担者氏名：村岡 裕由

ローマ字氏名：Hiroyuki Muraoka

所属研究機関名：岐阜大学

部局名：流域圏科学研究センター

職名：教授

研究者番号（8桁）：20397318

研究分担者氏名：吉竹 晋平

ローマ字氏名：Shinpei Yoshitake

所属研究機関名：岐阜大学

部局名：流域圏科学研究センター

職名：助手

研究者番号（8桁）：50643649

(2)研究協力者

研究協力者氏名：大塚 俊之

ローマ字氏名：Toshiyuki Otsuka

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。