

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510029

研究課題名(和文) 寒冷域に生育する森林生態系炭素循環の環境変動に対するレジリエンスの定量化

研究課題名(英文) Evaluation of resilience of carbon dynamics in cool temperate forests to changing climate

研究代表者

戸田 求 (Toda, Motomu)

広島大学・生物圏科学研究科・講師

研究者番号：40374649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：森林生態系の環境応答の解明は将来の気候変動に対する生態系の脆弱性評価及び予測に不可欠である。筆者らは北海道およびドイツの冷温帯・亜寒帯森林の炭素収支を制御する要因検出に向けたベイズ推定解析を行った。パラメータ逆推定解析の結果、期間中に見られた台風および熱波によって各生態系は一時的な構造・機能損害を受け炭素吸収機能を低下させたが、その後数年の間に回復し、特に最も激しい構造的破壊を受けた遷移初期の生態系は被害前と比べて後に高い炭素吸収機能を発揮することがわかった。

研究成果の概要(英文)：It is one of crucial issues to evaluate the structural and functional response of terrestrial forest ecosystems in changing climate in the future. We examined what factors regulated carbon balance in the representative cool temperate and sub-boreal forest ecosystems to extreme climate events by using Bayesian inversion approach. As examples we use two types of extreme events relevant for cool-temperate regions, i.e. a typhoon in Japan and a heat wave in Germany. We found that forests with moderate disturbance show substantial functional recovery, productivity, and thus ecosystem carbon exchange, although the effect of extreme climatic events varies depending on the stand successional phase and the type, intensity, and legacy of the disturbance.

研究分野：物質循環生態学

キーワード：森林生態系 炭素収支 極端気象 復元性 植生遷移 逆推定解析 数値モデル

## 1. 研究開始当初の背景

温室効果気体の吸収源として期待されている森林生態系の環境に対する応答を解明することが将来の気候変動に対する生態系の脆弱性評価及び予測には不可欠である。特に近年における最新の研究成果から、将来の気候変動には従来には稀であった極端気象のイベントが増加する可能性が指摘されている。ゆえに、この極端気象を含めた気象変動に対する生態系の応答評価の必要性が高まるようになった。従来極端気象に関する生態系研究では、常に森林の倒壊が想定され、倒壊後の新たな状態が形成される変化に伴う生態系レベルでの炭素動態に注目が置かれてきた。しかしながら、実際に起こりうる将来の極端気象は強度および頻度の点で増加することは述べられているものの、それまでの生態系が崩壊するものばかりではなく、逆に一時的に被害を与える現象が連続的に起こる状況が現実的であると指摘されている。このようなタイプの極端現象が生態系にどのような影響を及ぼすかについての研究総数は比較的少なく、近年の研究の経過を受けて関心が浸透しつつある状況である。そのため、これまでに世界中で収集されてきた生態系炭素動態の長期データを用いた極端現象に対する生態系の応答に関する十分な理解が得られているとは言いがたい状況である。

## 2. 研究の目的

筆者は、上記の研究背景を受け、極端気象に着目した生態系の環境変動解析を行い、被害後の生態系に見られた構造および機能の評価を行うことで、生態系の脆弱性、換言すれば復元性(レジリエンス)の評価を実施するに至った。様々な森林を対象として得られてきた観測データはインターネット上に公開されており、ユーザー登録することで誰でも利用でき統合的解析が可能である。

そこで、筆者らは冷温帯から亜寒帯を代表とする森林生態系の炭素収支の年々変動を制御する植生(生物)要因および環境(非生物)要因との関係性に関する不確実性評価を行い生態系のレジリエンス評価を行うため、炭素フラックスデータと簡易生態系モデルによるベイズ推定解析(Bayesian inversion method)を行った。

## 3. 研究の方法

解析対象となった森林は、北海道の代表的な遷移段階初期にある亜寒帯若齢林、遷移後期段階にある亜寒帯老齢林、そしてドイツの冷温帯に広がる老齢林であった。北海道の森林について、北海道北部に位置する北海道大学北方生物圏フィールド科学センター内のダケカンバを主とする若森林、樹齢250年を

超える樹木と更新により新規加入を果たす樹木が混在した汎針広混交林が研究サイトとして選定された。また、ドイツの森林について、樹齢300年を超えるブナを主とする落葉広葉樹林の森林サイトが解析対象とされた。

北海道の若齢林・老齢林サイトでは2003年から炭素フラックスの野外観測が行われるようになった。2004年に大型台風が上陸し、この台風に影響によって若齢林の葉群は大規模に消失、土壌面にはぎ落とされた。その2年後葉群はほぼ被害前の状態に戻った。一方、ドイツ・老齢林サイトでは2003年7月に西欧州全土で熱波現象が広がった。この影響により、同エリアの多くの生態系では植生に過度なストレスが生じ、その後の一次生産過程に大きな影響を与えた。このように、観測対象期間の中では平年に見られる現象とは異なる特徴的な極端気象現象がみられた。一方で、その過程で見られた植生の機能・構造の定量化は十分に行われてきていなかった。そのため、本研究ではこれらの期間における炭素フラックスデータを平常時と比較検討する中で、極端気象が植生機能・構造に及ぼす影響を評価するにいたった。

本研究解析に使用された炭素フラックスデータは各森林内に設置された森林樹冠を超える高層タワーを利用して行われた。タワー頂部に風速および二酸化炭素変動を高速でモニタする機器を取り付け、渦相関法からフラックスデータが算出された。このデータと併せて日射量、光合成有効放射量、大気温度、土壌水分、地中温度、などの一般気象データが計測された。

植生の機能評価を行う解析では、生態系モデルが用いられた。この生態系モデルにおいて、生態系生産量(NEP)は光合成同化量(GPP)と生態系呼吸量(Reco)から計算され、さらにGPPとRecoはそれぞれ気象データから決定される。この定式化されたGPPおよびRecoの式中には、光合成および呼吸に及ぼす生物要因の挙動を反映したパラメータ変数が複数入っており、これらを算出することが本研究の解析で行われることである。実際の手続きにおいて、GPPおよびRecoを計算する際に必要なモデルパラメータ変数を代入し、計算されたNEPと観測されたNEPが一致するような最適のパラメータ変数の組み合わせを抽出する作業となる。この計算過程で用いられる解析法がデータ同化法であり、本研究においてはBayesian inversion methodが用いられた。

## 4. 研究成果

解析の結果、台風により構造的破壊が見られた若齢林では被害後の翌年には葉量の減少に伴い生態系炭素収支が大きく減少した。しかし、その後に葉量は被害前と同様まで回復

し、一方で、光合成機能は高まり続ける結果となった。老齢林では若齢林同様の強度の台風を受けながらも構造的被害はなく、炭素収支変動も小さく推移した。さらに、異なる気候災害の一つである熱波の影響を受けたドイツ老齢林の炭素収支変動から、熱波による高温乾燥が生育期間を通じてみられ、熱波後のそれ以降の生育期における光合成機能が大きく低下した。しかし、翌年には熱波における影響が見られず、平年時同様の炭素収支変動を示した。

これらから、一斉倒壊をもたらす大規模攪乱でない場合、植生は一定の復元力を示すことで、攪乱前の状態まで光合成機能を回復することが明らかとなった。特に、攪乱被害後の遷移初期の先駆種森林生態系では被害前を上回る以上に光合成機能の向上が確認され、機能を高めるための様々な炭素動態戦略を呈していることが示唆された。一方で、老齢林は同程度の攪乱に対して比較的頑強で構造的被害は大きな頻度では見られないことが考えられた(このメカニズムについては現在研究継続中)。一方で、老齢林においても極端気象に見舞われたのちの機能の回復が確認され、遷移によらず森林は環境応答を行っていることがわかった。

将来の気候変化に伴い、自然攪乱の頻度および急変現象の増加が予測されるが、これらに対し、森林の炭素吸収源機能は攪乱被害後の数年で回復し、生態系によっては攪乱を契機に光合成機能を向上させる可能性があることが本研究から示唆され、自然攪乱、植生遷移、炭素収支変動との間には密接な関係性のあることがわかった。一方で、生態系の振る舞いは依然として複雑であることから、さらに様々な極端気象を対象とした生態系環境影響評価が実施される必要があると思われる。また、将来予測評価に向けてはこれらの観測データに基づく解析知見を生かし、様々な遷移段階にある生態系の炭素収支に及ぼす極端気象現象による影響予測を行うための数値モデル開発を進める研究に着手することも重要である。

なお、本研究によって得られた知見は現在、国際雑誌に投稿中である。

#### 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 1 件)(査読有)

戸田 求, 福澤加里部, 中村誠広, 田中幹展, 吉田俊也, 柴田英昭, 王新, 石田祐宣, 宮田理恵 (2015) 台風攪乱が北方森林の生理・生態および生態系炭素動態へ及ぼす影響, 低温科学, 73, 21-29.

〔学会発表〕(計 1 件)

(1) Toda, M., A. Knohl, H. Mathias, A.D. Richardson, T.F. Keenan, M. Yokozawa (2014) Detection of factors regulating ecosystem carbon sequestration in northern cool temperate and sub-boreal forests using a Bayesian inversion approach, BIOGEOMON, Bayreuth, Germany (10-17/July/2015).

〔図書〕(計 2 件)

(1) 戸田 求, 横沢正幸, 原登志彦 (2014) 環境変動と北方林生態系応答, 気象研究ノート, 230, 159-167.

(2) 戸田 求 (2014) 地域スケールにおける大気と陸域生態系の相互作用『現代生態学講座 2 巻 地球環境変動の生態学』日本生態学会編, 共立出版, 80-104.

〔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:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等 下記参照  
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/todam/index.html>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者 戸田 求  
広島大学・生物圏科学研究科・講師  
研究者番号: 40374649

(2)研究分担者 無し  
( )

研究者番号：

(3)連携研究者 無し  
( )

研究者番号：