

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：13701  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2020～2022  
課題番号：20K06144  
研究課題名（和文）冠雪害に伴う自然攪乱前後のスギ林の植生動態変化と生態系機能変動メカニズムの解明  
  
研究課題名（英文）Vegetation succession and mechanism of variation of ecosystem function in a Japanese cedar forest after natural snow disturbance  
  
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・准教授  
  
研究者番号：50420352  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、雪害による自然攪乱前後のスギ林生態系の生態系機能とその変動メカニズムをフィールド観測と生態系モデリングの統合により解明することである。2014年12月に雪害が生じた岐阜県高山市のスギ林における2006年から2022年までの17年間のタワーフラックスデータの解析により、2014年12月の雪害後、徐々に純生態系生産量が増加していることが明らかとなった。モデル解析と生態学的観測から、雪害後の落葉低木の侵入、スギ個体による幹表面呼吸量の減少、雪害によって発生した粗大有機物の呼吸量の寄与が小さいことがその要因であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
大規模な自然攪乱は、発生頻度は少ないものの、ひとたび発生すれば、林分構造や地表面環境を劇的に改変し、森林の生態系機能に甚大な影響を及ぼすことが予想される。我が国の森林を構成する主要樹種であるスギは、冷温帯地域に多く植林されており、様々な地域で不定期に、雪害による倒木、幹折れなどの攪乱被害が生じている。したがって、雪害による自然攪乱が生態系機能に及ぼす影響を定量的に評価し、かつその変動メカニズムを解明した本課題は、我が国の流域・地域・国土といった様々な空間スケールでの森林生態系機能評価に資する重要な研究と位置づけられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to examine the vegetation succession and mechanism of variation of ecosystem function in a Japanese cedar forest after natural snow disturbance. Analysis of tower flux data in the 17 years from 2006 to 2022 in a Japanese cedar forest in Takayama, Japan, revealed that annual net ecosystem production gradually increased after snow disturbance. Combined analysis by using biometric observation and ecosystem modelling revealed that increased carbon sequestration after snow disturbance events was caused by several complex factors, namely invasion by deciduous shrubs and a decrease in stem surface respiration by Japanese cedar individuals, as well as low rates of respiration from the coarse woody debris resulting from the snow damage.

研究分野：生物環境物理学、生態系生態学

キーワード：攪乱 雪害 ガス交換 スギ 遷移 生態系モデル 水 炭素

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2015年のCOP21にて採択されたパリ協定以降、「気候変動に対する森林生態系機能を地域から流域スケールで評価すること」が益々重要視されている。森林生態系機能を長期的に評価する際、林分の構成種変化をもたらす自然撓乱とその後の植生遷移は、最も考慮すべき要素である。近年、日本の森林の約18%を優占するスギ人工林において、雪害による自然撓乱の増加と、林業の担い手の少なさに起因する森林放置による自然遷移への移行が懸念されている。また、最新の研究では、地球温暖化の進行により本州内陸部において豪雪頻度が増加することが予想されており、今後益々、雪害によるスギ人工林の自然撓乱が増加する可能性がある。従って、我が国の山地流域圏の生態系機能の現状診断と変動予測の精緻化・高度化を図る上で、雪害による自然撓乱前後のスギ林生態系の生態系機能評価とその変動メカニズムを解明することが、喫緊の課題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、雪害による自然撓乱前後のスギ林生態系の生態系機能とその変動メカニズムをフィールド観測と生態系モデリングの統合により解明することである。特に、[ ]スギ個体の樹冠欠損によって生じる炭素・水循環プロセスの空間的不均一性の解明、[ ]撓乱前後の生態系機能の定量的評価と群落スケールのガス交換特性の動的変動メカニズム、に着目することで、我が国の山地流域圏の生態系機能の現状診断と変動予測の精緻化・高度化に資する科学的知見を提示する。

### 3. 研究の方法

本研究では、2014年12月に雪害による大規模自然撓乱を受けた長期複合的な観測拠点である「冷温帯常緑針葉樹林(主にスギ); AsiaFlux TKC サイト」を重点サイトに設定し、炭素・水循環に関するフィールド観測を実施した。また、生態系モデル(BiomeBGC MuSo)を利用して、モデル推定値と観測値を比較することで、雪害による撓乱が炭素固定量に及ぼす影響を推定した。主要な観測項目と生態系モデリングの概要を下記に示す。

#### (1) 渦相関法計測

2020年から2022年までスギ林内の観測塔の高度30m地点において渦相関によるフラックス観測を実施し、炭素吸収量を推定した。また、2006年から2019年のデータについても解析に供した。

#### (2) 幹表面呼吸計測

2018年の4月から12月、2019年の3月から12月のおおよそ一か月毎に、スギ健全木(H)7個体と雪害による樹冠に一部欠損を受けたスギ(樹冠一部残存木; BSc)7個体、幹折木(BS)6個体を対象に実施された幹表面呼吸計測データを整理して、幹表面呼吸の空間的不均一性の解明と林分スケールの幹表面呼吸の推定に利用した。

#### (3) 粗大有機物呼吸計測

2021年4月から11月まのおおよそ一か月毎に、立枯木0.3m、立枯木1.1m、倒伏木側面、樹皮が無い倒伏木側面、樹皮が無い倒伏木接地面の各6個体、立枯木2.7mの3個体において粗大有機物呼吸計測を計測した。また、2022年3月から12月のおおよそ一か月毎に、直径が異なる粗大有機物の倒伏木側面の16箇所において粗大有機物呼吸計測を計測した。これらのデータと環境データ(粗大有機物の内部温度および水分量)を基に、林分スケールの粗大有機物呼吸量を推定した。

#### (4) 樹液流計測

2020年にHおよびBScの各4個体に2深度計48個の樹液流センサーを設置し、解析に供した。また、2019年に実施したHおよびBScの各4個体1深度17箇所の樹液流データを年間の蒸散量推定の際に利用した。

#### (5) 毎木調査

生態系調査区内(30m×50m)において、2020年、2022年に胸高直径2cm以上の個体を対象に毎木調査を実施した。解析には、2014年、2019年に実施した毎木調査のデータも整理して利用した。

#### (6) 生態系モデリング

陸域生態系の炭素・水・窒素循環を再現可能な生態系モデルBiome-BGC MuSo(version 6.03)を利用した。本研究では、2014年12月の雪害による撓乱が生じなかったと仮定した場合の2006年から2022年の純生態系生産量を推定し、観測値との比較に供した。

#### 4. 研究成果

##### (1) スギの樹冠欠損によって生じる炭素プロセスの空間的不均一性の解明

炭素プロセスの空間的不均一性については、特に、幹表面呼吸量と粗大有機物呼吸量について検討した。幹表面呼吸量の空間的不均一性を調査するために、H、BSc、BSにおける幹表面呼吸量を比較した。その結果、いずれの樹冠状態においても幹表面呼吸は温度環境に対応した明瞭な季節変化が見られた。幹表面呼吸量は、BScにおいて、他の樹冠状態と比較して特に夏に小さい値となった。また、生態系調査区内の雪害前（2014年）と雪害5年後（2019年）の幹表面呼吸量を2019年の観測結果に基づいて推定し、両者を比較した。雪害5年後の年幹表面呼吸量は約340 g C/m<sup>2</sup>/yearであり、雪害前の幹表面呼吸量と比較して若干小さな値となった。しかし、調査区のサブプロット（10m×10m）間でその値は大きく異なり、雪害による自然攪乱を受けたスギ林における幹表面呼吸量の空間的不均一性の増加が明らかとなった。

雪害によって生じた粗大有機物（立枯木、倒伏木）からの呼吸量の空間的不均一性を調査するために、立枯木および倒伏木における粗大有機物呼吸量を調査した。立枯木では、地上高が高くなるにつれて粗大有機物呼吸量が低下した。この傾向は、粗大有機物の含水量の鉛直変動とよく一致しており、粗大有機物の乾燥が、粗大有機物呼吸量の鉛直変動の主要因として考えられた。倒伏木では地面との接触面における粗大有機物呼吸量が側面における粗大有機物呼吸量より有意に高かった。一方、倒伏木の接地面と側面における内部温度および含水量に大きな違いは見られず、接地面の粗大有機物呼吸量が側面の粗大有機物呼吸量よりも高くなった要因は粗大有機物の温度や水分量以外であることが示唆された。また、立枯木の地上高1.1 m以下の観測部位および倒伏木の全ての観測部位は、粗大有機物の内部温度変化に対応した明瞭な季節変化を示した。一方で、立枯木の地上高2.7 mの部位における粗大有機物呼吸量の季節変動は内部温度によって説明されず、粗大有機物内部の水分量による制限を受けている可能性が示唆された。本研究の結果より、雪害を受けた冷温帯スギ林において、林分スケールの粗大有機物呼吸量を精確に推定するためには、粗大有機物の地面からの距離が粗大有機物呼吸量の鉛直変動と季節変動に及ぼす影響、および粗大有機物の地面との接触が粗大有機物呼吸量の空間変動に及ぼす影響を特に考慮する必要があることが示唆された。

##### (2) スギの樹冠欠損によって生じる水循環プロセスの空間的不均一性の解明

HとBScに樹液流計測法を適用し、単木スケールの蒸散量を推定した。その結果、BScの単木蒸散量は、Hの単木蒸散量と同様に大気飽差や日射量に伴って季節変化するものの、Hの単木蒸散量と比較して年間で約10%以上小さくなった。また、BScにおける単木蒸散量の減衰の主要因は、BScの樹冠部の欠損によるものと考えられるが、複数の個体でBScの幹部の辺材が一部心材化していることから、幹部の影響も無視できないことが示唆された。さらに、生態系調査区内（30m×50m）の雪害6-7年後の樹液流計測データを利用し、雪害による自然攪乱が林分スケールでのスギ樹冠蒸散量に与える影響を評価した。その結果、スギ樹冠による年間林分蒸散量は約200 mmであり、年降水量の約13%であることが推定された。この値は、健全なスギ林における既存研究の値（14~26%程度）と比較してやや小さかった。したがって、雪害による攪乱は蒸散量の空間的不均一性を増加させ、スギ樹冠による林分蒸散量を減少させることが示唆された。

##### (3) 攪乱前後の生態系機能の定量的評価と

###### 群落スケールのガス交換特性の動的変動メカニズムの解明

高山常緑針葉樹林サイトにおける2006年から2022年までの17年間のタワーフラックスデータの解析により、2004年12月の雪害後、徐々に純生態系生産量が増加していることが明らかとなった。また、最適化した生態系モデルを用いて、当該研究サイトにおける雪害前（2006年から2014年）と2014年12月の雪害が生じなかった場合を想定した2015年から2022年の炭素循環を推定した結果、2015年以降、観測値との差が大きくなることが明らかとなった。したがって、2015年以降の純生態系生産量の増加は、気象学的要因による影響というよりは、むしろ雪害による攪乱の影響であることが示唆され、下記のような複合的な要因が考えられた。

第一に、雪害後の落葉低木の侵入が挙げられる。毎木調査の結果から、2014年の雪害以降、スギ個体数が減少しているものの、タラノキ、ハリギリ、コシアブラといった落葉低木が増加した。したがって、これらの落葉低木による炭素固定が増加したことが示唆される。第二に、スギ個体による幹表面呼吸量の減少が挙げられる。特に、樹冠を一部欠損した個体における幹表面呼吸量の減衰と雪害による倒木が、林分スケールの幹表面呼吸量の減衰に影響を及ぼした。第三に、雪害によって生じた粗大有機物呼吸量の増加が制限されていたことが挙げられる。無降雪期間における粗大有機物呼吸量は、50 gC/m<sup>2</sup>/year程度と推定され、生態系呼吸量への寄与が小さいことが示唆された。

本研究では、雪害による攪乱後8年間の生態系機能とその変動メカニズムを明らかにしたが、スギと落葉広葉樹の混交林化が進行しており、雪害による攪乱が生態系機能に及ぼす長期影響を解明するためには、さらなる長期観測が必要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 平野優・斎藤琢・武津英太郎・小林元・村岡裕由・沈昱東・安江恒	4. 巻 67
2. 論文標題 冷温帯におけるスギの肥大成長と炭素収支，気候要素との関係	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 木材学会誌	6. 最初と最後の頁 117 - 128
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2488/jwrs.67.117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 久田善純・原田守啓・斎藤琢・丸谷靖幸	4. 巻 50
2. 論文標題 農研機構メッシュ農業気象データを用いた岐阜県スギ人工林冠雪害危険度マップの作成	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 岐阜県森林研究所研究報告	6. 最初と最後の頁 1 - 9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 永井 信・丸谷靖幸・斎藤琢	4. 巻 8
2. 論文標題 中山間地域の流域における人・森林・気象災害の現状と関わり：高山市大八賀川流域における豪雨・豪雪を事例として	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 流域圏学会誌	6. 最初と最後の頁 10 - 24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shin N., Saitoh T.M., Takeuchi Y., Miura T., Aiba M., Kurokawa H., Onoda Y., Ichii K., Nasahara K.M., Suzuki R., Nakashizuka T., Muraoka H.	4. 巻 38
2. 論文標題 Review: Monitoring of land cover changes and plant phenology by remote-sensing in East Asia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 111-133
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/1440-1703.12371	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小杉朋幹・斎藤琢
2. 発表標題 冠雪害を受けた冷温帯スギ林における粗大木質リターの分解呼吸
3. 学会等名 第69回日本生態学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 斎藤琢・永井信・鳥山淳平・村山昌平・安江恒
2. 発表標題 気候変動が岐阜県の森林炭素吸収量に及ぼす影響
3. 学会等名 第69回日本生態学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 砥綿夕里花・斎藤琢・平野優・安江恒
2. 発表標題 雪害を受けたスギ林における樹冠蒸散量の推定
3. 学会等名 第69回日本生態学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 国本晴暉・斎藤琢
2. 発表標題 生物地球化学モデル「BIOME BGCMuSo」を用いた冷温帯スギ林における炭素収支の温暖化応答予測
3. 学会等名 日本農業気象学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤琢
2. 発表標題 温暖化で森林・農地雪害は増えるのか？
3. 学会等名 ぎふ気候変動適応セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤琢
2. 発表標題 気候変動下における岐阜県の森林による炭素吸収量の将来予測
3. 学会等名 名古屋大学ニューチャー・アース研究センター公開シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋春那, 齋藤琢
2. 発表標題 雪害による自然攪乱を受けたスギ林生態系における林分スケールの幹表面呼吸量の推定
3. 学会等名 第68回日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 砥綿夕里花, 齋藤琢
2. 発表標題 雪害による樹冠欠損がスギ個体内の樹液流速の空間的変動に及ぼす影響
3. 学会等名 第68回日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Saitoh T.M.
2. 発表標題 The Effect of climate change on potential forest carbon sequestration in a mountainous landscape at an administrative district scale in Japan: Implication for climate change research
3. 学会等名 The 8th International Conference on Climate Change 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 国本晴暉・斎藤琢
2. 発表標題 岐阜県のスギ林を対象とした生物地球化学モデルによる炭素吸収量の温暖化応答予測
3. 学会等名 農業気象学会東海・北陸支部、生態工学会中部支部合同研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kosugi T., Saitoh T.M.
2. 発表標題 Estimation of stand-scale coarse woody debris respiration in a cool-temperate Japanese cedar forest damaged by heavy snow
3. 学会等名 International Symposium on Agricultural Meteorology 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 安江恒・斎藤琢	4. 発行年 2021年
2. 出版社 森林総合研究所	5. 総ページ数 21
3. 書名 気候変動が人工林に及ぼす影響を予測する (第3章 スギの肥大成長と炭素収支の関係性)	

1. 著者名 Saitoh T.M., Shin N., Toriyama J., Murayama S., Yasue K.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer Singapore	5. 総ページ数 356
3. 書名 Chapter3: Forest carbon sequestration in mountainous region in Japan under ongoing climate change: implication for future research, in River basin environment: evaluation, management and conservation	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------