

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K06147

研究課題名（和文）地表攪乱が引き起こす土壌炭素貯留能の低下プロセスに土壌動物が与える影響の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the role of soil animals on the process of decline in soil carbon sequestration caused by soil bioturbation

研究代表者

豊田 鮎（Toyota, Ayu）

香川大学・農学部・准教授

研究者番号：50730800

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：森林土壌において、ニホンイノシシの掘り返し行動の季節変化と表層堆積物の喪失の関係、その掘り返しと喪失に対する土壌動物の応答、土壌炭素の動態を評価した。ニホンイノシシによる掘り返しは秋から春にかけて観測され、とくに冬に掘り返し頻度、表層堆積層の喪失割合が高いことが示された。ニホンイノシシ等の土壌掘り返しによって、葉リター堆積量と土壌動物の生息個体数は減少した。哺乳類による土壌掘り返しの有無によって土壌動物の炭素貯留機能が異なるかを検証した結果、掘り返しがあった土壌および掘り返しが2年間なかった土壌、どちらの土壌においても同様に、土壌動物は表層の土壌炭素を増加させることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機物に富み、生物活動の多い表土を保全することは生態系機能の維持に不可欠である。本研究では個体数が増加した哺乳類によって森林の表土を覆う堆積層の喪失が進行している地域において、土壌動物を考慮した土壌機能の維持プロセスの解明を試みた。この研究で得られた知見は土壌動物の機能を高めつつ、土壌炭素の貯留機能の大幅な損失を未然に防ぐ一助になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We evaluated how wild boar rooting changes litter accumulation, soil carbon dynamics, and soil fauna abundance on an evergreen broad-leaved forest. Litter accumulation and soil fauna abundance were high inside the fences, where wild boars rooting was prevented. Soil carbon content tended to reduce outside the fences, where wild boar rooting occurred.

研究分野：土壌生態学

キーワード：土壌動物 土壌炭素 ニホンイノシシ

## 1. 研究開始当初の背景

温帯林の土壌は巨大な炭素の貯蔵庫として機能し、その炭素動態は地球全体の炭素循環に影響を及ぼす。IPCC 第4次評価報告書では2030年までの短・中期的な対策として土壌の炭素固定促進が挙げられている。炭素が極端に少ない土壌では、植物生産、土壌生物の生息が制限されるため、有機物生産の低下に伴う新たな炭素蓄積の減少によって、さらに土壌中の炭素が減少する負のフィードバックがみられる。温暖化緩和策として適切な土壌管理による炭素貯留能の向上が期待される中、さまざまな環境下において土壌炭素量の変動要因を明らかにすることは緊急の課題である。

九州、中四国、近畿、東海、中部地方の限られた地域に生息していたニホンイノシシは西日本の全域、さらに北陸、東北地方へと分布域を急速に拡大し(野生動物保護管理事務所, 2015)、個体数の増加に伴い、農作物被害だけでなく森林における土壌流亡や植栽林の実生枯死を引き起こしている。ニホンイノシシは土壌層を耕すように掘り返すので表層の堆積層が攪乱され、土壌炭素貯留能を低下させると考えられる。さらに、ニホンイノシシの直接的な採食によって表層に生息する土壌動物を減少させることが予想される。

## 2. 研究の目的

本研究では土壌機能の損失プロセスに地表の攪乱がどのように関係するかを解明する第一歩として、地表攪乱と土壌動物を操作する野外実験から物理的、生物的に炭素貯留能を低下させるプロセスを制御する要因を明らかにした。一般に土壌の炭素濃度は表層ほど高い。地表攪乱は(1)土壌炭素の貯留機能を低下させ、(2)土壌動物の多様性を減少させるというパターンが農地において報告されている。一方、森林では知見が少なく、どのような種類、どの程度の規模や頻度の攪乱が土壌炭素を減少させ、土壌動物の多様性を減少させるかは不明である。ここ10年ほどで、土壌動物は土壌に炭素を蓄積する機能(炭素貯留能)をもつことが実証されてきた。このことは、土壌動物の多様性の減少が攪乱による土壌炭素貯留能の低下プロセスを加速する可能性を示している。そこで、2003年の環境省自然環境保全調査によってニホンイノシシの分布が新たに確認された区画に位置する高知県南西部の天然林においてニホンイノシシによる掘り返し、表土流亡が観測された地域を対象とし、ニホンイノシシによる掘り返しが炭素貯留能を低下させるか、そのプロセスに土壌動物が影響するかを明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### 3-1. ニホンイノシシの探索行動による堆積層と土壌炭素現存量の変化

野外の地表攪乱の変化を追跡するため試験地内の1haプロットに4m<sup>2</sup>の区画を20地点設定し、地表攪乱の痕跡、葉リター堆積層の喪失面積、土壌表層掘り返しの深さを測定した。ニホンイノシシが森林のリター堆積層および土壌表層を掘り返す探索行動の時期と頻度を評価するため、赤外線センサーカメラを用いたカメラトラップを上記の4m<sup>2</sup>調査区画を含む土壌表層が撮影されるように角度を調整して設置した。地表攪乱を調査した20区画にそれぞれ1つの格子枠を用いて40cm×38cmの範囲の林床において、中型、大型の哺乳類による地表攪乱を物理的に排除した。格子枠を設置前と設置後、20地点のうち10地点においてリター堆積量を測定した。リター堆積層(F層を含む)を取り除いた地表を0cmとした深さ5cmまでの土壌を採取し、炭素現存量を測定した。

### 3-2. 土壌メソコズムを用いた土壌動物の機能評価

ニホンイノシシ等による土壌の掘り返しによって土壌炭素貯留能に土壌動物の及ぼす影響が異なるかを評価するため、(1)ニホンイノシシ等の哺乳類による土壌の掘り返しを排除する格子枠を設置した林床土壌(排除区)、(2)ニホンイノシシ等の掘り返しを排除しない林床土壌(対照区)、それぞれの土壌をメッシュで覆った開口部がついた容器に入れ、メッシュの網目サイズの違い(0.1mm, 5mm)によって土壌を入れた容器(メソコズム)内に入出りが可能な土壌動物の体サイズを制御し、埋設した。この土壌メソコズムは2年間、野外培養後に回収し、土壌炭素量の変化を比較した。

### 3-3. 土壌掘り返しに対する土壌動物の応答

ニホンイノシシの活動が観測された森林土壌において大型および中型哺乳類のアクセスを物理的に排除することによって哺乳類が地表を掘り返し、リター堆積層を水平および垂直に移動させる哺乳類の活動を一定期間、排除する格子枠を新たに2021年に設置し、設置から2年後に、排除区および隣接する対照区においてリター堆積層の組成、土壌動物の生息数を比較した。

#### 4. 研究成果

##### 4 - 1. ニホンイノシシの掘り返し探索行動によるリター堆積量と土壤炭素現存量の変化

ニホンイノシシが地表を掘り返す探索行動の頻度は季節によって変動し、例外として初夏に掘り返し頻度が高い地点を除き、夏に少なく、冬に多かった。ニホンイノシシ以外の哺乳類としてニホンアナグマによる試験区の林床土壌の掘り返しが観測された。

林床のリター堆積量は、排除区設置前には排除区 (In) と対照区 (Out) において差がみられず、設置から2年後では掘り返し行動の排除区より対照区において少なかった (図1)。

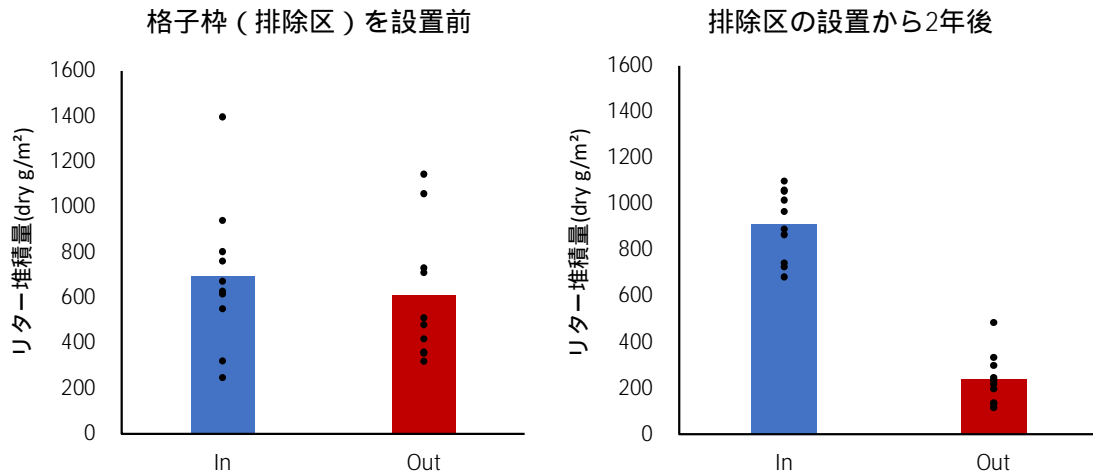


図1. 排除区 (In) および対照区 (Out) におけるリター堆積量 (n = 10).

排除区の設置から2年後のリター堆積層を除く土壌の炭素濃度は対照区 (掘り返し区) において排除区より低い傾向があった (図2)。

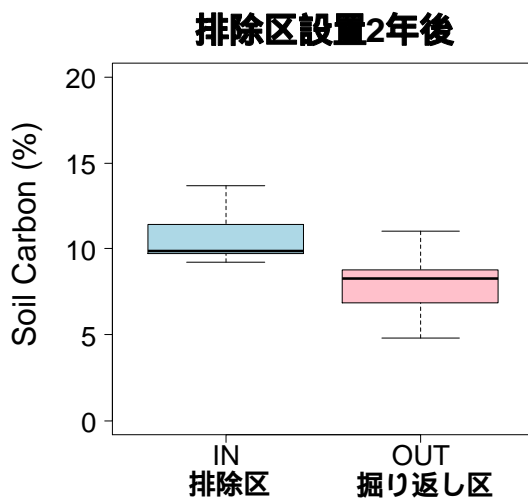


図2. 排除区 (In) および対照区 (掘り返し区 Out) における土壌の炭素濃度 (n = 10).

##### 4 - 2. 土壤メソコズムを用いた土壤動物の機能評価

土壤動物が炭素を土壤層に貯留させる機能が土壤の掘り返しの履歴によって異なるかを検証するために土壤動物のアクセスできる体サイズを制御したメソコズムを用いて2年間培養した結果、体幅0.1 mmよりも大きく5 mmより小さな土壤動物がアクセス可能なメソコズムでは土壤の深さ0 ~ 3 cm (リター堆積層を除く) の炭素濃度が掘り返しを排除しない対照区、掘り返しを排除した排除区の両方の土壌において増加する傾向が示された。一方、メソコズム土壌の深さ3 ~ 6 cmではアクセス可能な土壤動物の体サイズによって土壤炭素濃度の増減はみられなかった。したがって、土壤動物は表層の浅い層においてのみ炭素貯留機能を向上させ、その機能は掘り返しがあった場合にも発揮されると考えられる。ただし、今回の実験では5 mmのメッ

シュで実験土壌を覆ったため、体幅 5 mm より大きな土壌動物はメソコズム土壌内に入ることができず、さらに実験に用いたメソコズム土壌の深さは 6 cm までに限定された。試験プロット内では体幅 1 cm ほどのシーボルトミミズが観察され、ニホンイノシシの探索行動が頻繁な地点の土壌掘り返しの深さは 10 ~ 15 cm に及んだ。このような野外の状況から、今後は、より大型の土壌動物も対象とし、土壌のより深層を含めた系において、土壌炭素動態を評価する手法を確立する必要がある。

#### 4 - 3 . 土壌掘り返しに対する土壌動物の応答

大型・中型哺乳類の排除区では、地表掘り返しが可能な対照区と比較してリター堆積層が多く、とくにアカガシ堅果および葉リターが細片化した F 層の含有率が高かった。さらに、排除区では体幅 2 mm 以上の大型土壌動物の生息数・分類群数が多い傾向があった。これらの結果から、哺乳類による土壌掘り返しに対して大型土壌動物が減少する可能性が高いことが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 脇 悠太, 豊田 鮎	4. 巻 9
2. 論文標題 香川県におけるニホンフサヤスデ属3 種の記録	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ニッチェライフ	6. 最初と最後の頁 88 - 90
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ito Fuminori, Nguyen Duc Anh, Eguchi Katsuyuki, Toyota Ayu, Billen Johan	4. 巻 23
2. 論文標題 Colony composition, queen behavior, specialized predation on millipedes, and exocrine glands in the ponerine ant <i>Myopias conicara</i> Xu, 1998 (Hymenoptera: Formicidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Entomological Science	6. 最初と最後の頁 142 ~ 151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ens.12406	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10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 豊田鮎, 長谷川元洋, 原口岳, 佐藤重穂
2. 発表標題 林床を掘り返すニホンイノシシによる土壌有機物の損失に対する土壌動物の機能の検証
3. 学会等名 日本生態学会 第70回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原口岳, 大原秀斗, 佐藤重穂, 長谷川元洋, 豊田鮎
2. 発表標題 イノシシ・大型土壌動物の排除実験による、増えすぎたイノシシが表層土壌への有機物加入に及ぼす影響の評価 -炭素窒素安定同位体天然存在比を土壌有機物分解の指標とした分析-
3. 学会等名 第12回 同位体環境学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大原秀斗, 原口岳, 豊田鮎, 佐藤重穂, 大園享司, 長谷川元洋
2. 発表標題 照葉樹林でのイノシシの攪乱がトビムシ・ダニ類の群集構造や食性に与える影響
3. 学会等名 日本土壤動物学会 第44回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土屋駿介, 豊田鮎
2. 発表標題 山道がリター堆積量と大型土壤動物群集に与える影響
3. 学会等名 日本土壤動物学会 第44回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川元洋, 豊田鮎, 原口岳, 佐藤重穂
2. 発表標題 照葉樹林におけるイノシシの攪乱が ササラダニ群集に与える影響
3. 学会等名 日本生態学会 第69回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大原秀斗, 長谷川元洋, 原口岳, 豊田鮎, 佐藤重穂, 大園享司
2. 発表標題 イノシシの攪乱が照葉樹林の土壤動物群集に与える影響: 安定同位体比を用いた評価
3. 学会等名 日本生態学会 第69回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊田 鮎, 山口 慶, 門木大河
2. 発表標題 二ホンイノシシの土壤生態系への依存度の季節変化
3. 学会等名 日本土壤動物学会 第42回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川元洋, 豊田 鮎, 原口 岳, 佐藤重穂
2. 発表標題 照葉樹林におけるイノシシの攪乱が森林の土壤動物群集に与える影響
3. 学会等名 日本生態学会 第67回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原直誉, 豊田鮎, 一見和彦
2. 発表標題 砂浜海岸に生息するイソミミズの個体群密度とバイオマスの季節変動
3. 学会等名 日本土壤動物学会 第43回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤重穂, 豊田鮎, 長谷川元洋
2. 発表標題 佐田山保護林における地表徘徊性甲虫の種構成の12年間の推移
3. 学会等名 日本生態学会中四国地区会 第64回大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 島野 智之、長谷川 元洋、萩原 康夫	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 168
3. 書名 土の中の生き物たちのはなし	

1. 著者名 金子信博, 金田 哲, 豊田 鮎 (著), 占部 城太郎, 日浦 勉, 辻 和希 (編)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 140
3. 書名 土壌動物の多様性と機能解析	

〔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
研究 分 担 者	長谷川 元洋  (Hasegawa Motohiro)  (70343811)	同志社大学・理工学部・教授   (34310)	

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
---------	---------