

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：82105

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19302

研究課題名（和文）放射性炭素同位体を用いた食物年齢測定に基づく土壌食物網の生態系機能の再定義

研究課題名（英文）Disentangling ecosystem functions of soil food web using radiocarbon signature

研究代表者

藤井 佐織（Fujii, Saori）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：50648045

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、いまだに餌資源の特定が難しい土壌動物を対象に、放射性炭素同位体を用いることで餌炭素年齢を特定し、土壌動物の生態系機能の評価につなげることを目的としている。枯死有機物蓄積の異なる2つの林分において、土壌小型節足動物を中心とする土壌動物の放射性炭素同位体濃度を比較したところ、隣接するサイトであっても植生の違いによって土壌小型節足動物の炭素年齢が異なることが示され、加えて生態系機能も大きく異なる可能性が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

枯死物分解は、炭素隔離や二酸化炭素・無機養分の放出を介して炭素循環や養分循環を駆動する陸域生態系の重要なプロセスであり、これを担っているのは、土壌生物群集といえる。しかし、様々な手法的困難により、土壌動物の餌資源を正確に評価することはできず、多くの土壌動物について果たして本当に分解者といえるかも怪しい状況にある。本研究は、土壌動物が同じ種であっても異なる植生下では異なる炭素年齢を示し、かつ異なる生態系機能をもつ可能性を示したものであり、土壌動物の生態系機能を定義することの難しさが浮き彫りになったものの今後の研究の方向性を決定づける指針を提供した。

研究成果の概要（英文）：Identifying the carbon source of soil animals is still challenging for tiny invertebrates because of methodological limitations. Our objective is to assess soil animal ecosystem functions by identifying carbon age using radiocarbon (^{14}C) analysis. We compared ^{14}C values of soil animals (mainly soil microarthropods) between two types of forests exhibiting different soil organic layers (i.e., litter accumulation). Soil microarthropods showed different carbon ages under different vegetations and might have distinct ecosystem functions between two adjacent sites.

研究分野：土壌生態学

キーワード：土壌動物 トビムシ 分解 枯死有機物 同位体

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

枯死物分解は、炭素隔離や二酸化炭素・無機養分の放出を介して炭素循環や養分循環を駆動する陸域生態系の重要なプロセスであり、これを担っているのは、土壤生物群集といえる。しかし、土壤は、人の足の面積下にも数万個体の動物が相互作用をもちながら生息していると言われる複雑性に加えて、不可視であるため容易に観察ができないという問題があり、分解プロセスと土壤生物の生態や機能は未だ関連づけられていない。

物質循環に対する動物群集の機能は、食性や食物網構造を明らかにすることで評価できるが、上記の問題より、土壤分解系においては、それらの根拠を欠いたまま、ほぼ全ての土壤動物が枯死物由来の炭素を利用する「腐食連鎖」に属する分解者であると仮定されることが多かった。しかし、実際のところ、多くの分類群について、藻類や菌根菌、根滲出物など枯死物以外の利用が確認されており、土壤動物の食性や炭素源についての詳細な検討が喫緊の課題となっている。

先行プロジェクト(科研費・研究活動スタート支援)において、我々は、多くの土壤小型節足動物、特にトビムシの多くの種が、枯死有機物よりも新しい炭素(光合成されてから間もない炭素)からできた餌を利用していることを示した。この研究は、京都大学フィールド科学教育研究センター・上賀茂試験地の天然ヒノキ林に生息する土壤動物を対象に、放射性炭素同位体(^{14}C)分析ならびに従来から食性解析に用いられてきた炭素・窒素安定同位体(^{13}C ・ ^{15}N)分析を行ったものである。そこでは、これまで押しなべて分解者と定義されてきた土壤動物の多くの分類群(多くのトビムシ種をはじめ、ケダニ、ムカデ、クモなどの捕食者も含まれる)が、むしろ消費者側に位置づけられる可能性を示したが、1つのサイトの一時期における結果であり、どれだけ一般性をもたせられるかについては疑問の余地が残っていた。

2. 研究の目的

本研究では、餌資源の特定が難しい土壤動物を対象に、放射性炭素同位体を用いることで餌炭素年齢を特定し、土壤動物の生態系機能の評価につなげることを目的としている。具体的には、異なる植生をもち、枯死有機物蓄積の異なる2林分において土壤動物、とくに土壤小型節足動物の放射性炭素同位体濃度かつ炭素・窒素安定同位体濃度の比較を行う。

3. 研究の方法

京都大学フィールド科学教育研究センターの上賀茂試験地において、隣接し、かつ植生の異なる2林分(ヒノキ林・コナラ林)を対象サイトとした。それらサイトに生息するトビムシ各種を中心とする様々な土壤動物分類群を対象に、放射性炭素同位体(^{14}C)分析ならびに従来から食性解析に用いられてきた炭素・窒素安定同位体(^{13}C ・ ^{15}N)分析を行った。炭素源として、土壤有機物層を表層のリター層(L層)とその下の腐植層(FH層)に分けてサンプリングし、これらについても同様の同位体分析を行った。サンプリングは6月から翌年3月にかけて行い、ツルグレン装置を用いて生け捕り後、顕微鏡下でソーティングを行った。

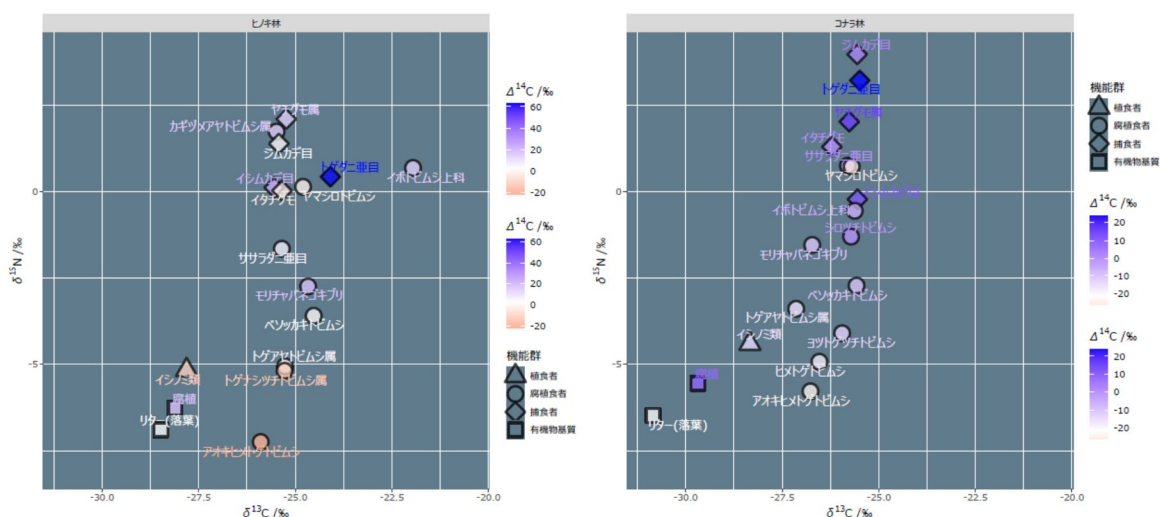
餌炭素年齢特定に用いた放射性炭素同位体分析は、1950年代から1963年にかけて米ソ冷戦時代の気核実験によってそれまでの2倍に引き上げられた大気中二酸化炭素の ^{14}C 濃度を利用している。1963年の部分的核実験禁止条約の締結後、気核実験は行われなくなったため、この核実験に由来する ^{14}C は年々減少している。この ^{14}C 濃度がその年の光合成産物に反映されることを利用して、動物の ^{14}C 濃度からその動物が何年前の光合成産物を餌資源として利用しているか特定することができる。つまり、各分類群がリター由来の炭素を利用しているか、リターよりも新しい炭素を利用しているか、判別することができ、それにより各分類群の役割が分解者であるのか消費者であるのかを分けることができる。

放射性炭素同位体分析に必要な試料は炭素量にして1-1.5mgであり、サンプリングに多大な労力がかかる微小な土壤動物に関しては、通常多数のサンプルについて必要量を集めることは不可能であった。2地点比較を目的とした本研究では、多数のサンプルについて分析することが必須だったため、放射性炭素同位体分析の前処理であるグラファイト化(酸化銅・還元銅と共に試料を石英管に封緘し、850℃で燃焼してガス化したのちに真空ライン上で分溜して CO_2 を精製した後、水素を導入して650℃で還元する作業)において下記に述べるような微量化を図り、炭素量0.5mgでの分析を可能にした。

- ・通常 9mm としている反応管を 6 mm に変更し、容積を削減する。
- ・精製する炭素量の半減に伴い、従来は 9 mm 外管の内部に 6 mm の内管を挿入し内管内に鉄触媒を入れることとしていたものを、6mm 管を外管とし、内管を使用せず、直接鉄触媒を入れる仕様に変更する。
- ・精製する試料の量に併せて鉄触媒および導入する水素量をそれぞれ従来法の半分に変更する。
- ・精製された分析試料はターゲットカソード詰めし、プレスした状態(直径 1mm の円筒内にグラファイトと鉄触媒の混合物が充填された状態)で供試されるが、グラファイトと鉄量の減少に伴ってプレス試料の物理的な強度が低下することから、サポート剤として鉄粉で裏打ちすることにより試料の補強を図った。

4. 研究成果

トビムシの放射性炭素同位体濃度は、概してヒノキ林よりもコナラ林で低い値をとった。これは、コナラ林のトビムシが相対的に新しい炭素に依存していることを示す。それぞれの林分のL層の放射性炭素同位体濃度の値は、ヒノキ林の2.44‰に対して、コナラ林においては-21.6‰と大幅に低く、コナラ林はシステム全体が比較的新しい炭素に支えられていると考えられる。一方、下図において、各林分に生息する土壌動物の放射性炭素同位体濃度を、それぞれの林分のL層と比較する形で表示(L層の値を白とし、それよりも高い値を青、低い値を赤の勾配で表示)したところ、ヒノキ林では、先行研究と同様、リターよりも新しい炭素を利用する分類群が多く観測されたが、コナラ林ではほとんどの分類群が、放射性炭素同位体濃度が低いとはいえずリターよりも古い炭素を利用していることが示された。この結果は、有機物蓄積が多く、枯死物分解に伴う炭素循環の遅いヒノキ林においては、土壌動物が新しい炭素に依存する傾向にあるのに対して、有機物蓄積の少ない炭素循環の速い系においては、土壌動物は分解者としてリター由来の炭素を消費しているということを示唆しているのかもしれない。しかし、コナラ林のL層の放射性炭素同位体濃度の低さから、コナラ林においては炭素源を放射性炭素同位体濃度から枯死物と非枯死物(藻類や菌根菌、根渗出物など)に分離することが難しいという問題点が残った。今後、落葉樹林において土壌動物の炭素源を特定するには、根を排除するなどの野外実験など別の手法を組み合わせることが必要となるのかもしれない。本研究より、隣接するサイトであっても植生の違いによって土壌小型節足動物の炭素年齢が異なること、加えて、土壌動物の生態系機能も大きく異なる可能性があることが示された。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 0件）

1. 著者名 Fujii Saori, Cornelissen Johannes H.C., van Logtestijn Richard S.P., Hal Jurgen van, Berg Matty P.	4. 巻 187
2. 論文標題 Downed deadwood habitat heterogeneity drives trophic niche diversity of soil-dwelling animals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Soil Biology and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 109193 ~ 109193
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.soilbio.2023.109193	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2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大原秀斗, 原口岳, 藤井佐織, 陀安一郎, 大園享司, 長谷川元洋
2. 発表標題 炭素・窒素安定同位体を用いた落葉広葉樹林と針葉樹林におけるトビムシ・ダニ類の食性・機能の評価
3. 学会等名 日本土壤動物学会第45回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大原秀斗, 原口岳, 藤井佐織, 陀安一郎, 長谷川元洋
2. 発表標題 14C, 13C, 15Nを用いたトビムシの食性評価：ヒノキ林とコナラ林の比較
3. 学会等名 日本生態学会第71回全国大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 藤井 佐織	4. 発行年 2023年
2. 出版社 瀬谷出版	5. 総ページ数 156
3. 書名 はたらく土の虫	

〔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	陀安 一郎 (Tayasu Ichiro) (80353449)	総合地球環境学研究所・研究基盤国際センター・教授 (64303)	
研究分担者	原口 岳 (Haraguchi Takashi) (90721407)	地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所(環境研究部、食と農の研究部及び水産研究部)・その他部局等・研究員 (84410)	

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