

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：82105

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2021

課題番号：18H06078・19K21201

研究課題名（和文）微生物食者の食物年齢から土壤食物網の生態系機能を解き明かす

研究課題名（英文）Disentangling ecosystem functioning of soil food web by assessing diet age of microbivores

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） 2,300,000 円

研究成果の概要（和文）：分解における土壤食物網の役割を明らかにするためには、下位栄養段階に属する動物の炭素源を明らかにすることが必要不可欠である。トビムシ各種がリターや腐植に依存しているのか、リターより新しい炭素に依存しているのかを区別するために、従来の炭素・窒素安定同位体分析に加えて放射性炭素同位体分析を行った。ほとんどの種は、安定同位体比の値に関わらず、枯死有機物よりも低い ^{14}C 濃度を示した。また、腐植層に住む土壤性種は、 ^{15}N が高くなるほど新しい炭素への依存度が大きい傾向を示し、菌根菌を接種していることが示唆された。これらにより、トビムシの枯死有機物への依存が小さいことを示す強固な証拠を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

分解は物質循環を駆動する陸域生態系の主要なプロセスであり、これを担うのは土壤生物である。しかし、土壤食物網の下位栄養段階に属する微小な土壤動物の餌源を正確に評価することが困難なため、多くの土壤動物が分解者として本当に機能しているかどうかは検証が不十分であった。本研究は、トビムシと、それらの捕食者の多くが、枯死物よりも新しい炭素に依存していることを明らかにし、必ずしも分解者とは言い難いことを示した。環境変動による生物の消失を前に、生物多様性とその機能の保全の必要性が指摘されているが、本研究の成果は、生態系に対する生物の機能を十分な根拠なく判断することの危険性も提示している。

研究成果の概要（英文）：Identifying the carbon source is still challenging for tiny soil invertebrates at low trophic levels because of methodological limitations. We conducted radiocarbon analysis with stable isotope analyses. Most springtail species exhibited lower ^{14}C values than litter regardless of their ^{13}C and ^{15}N signatures, indicating their dependence on younger carbon. The significant negative correlation between ^{15}N and ^{14}C values found among the edaphic Collembola suggests that the species with higher ^{15}N values depend on C from more recent photosynthate, which suggests that soil-dwelling species generally feed on mycorrhizae to obtain root-derived C. Most predatory taxa exhibited higher ^{14}C values than Collembola, which indicates that they feed on animals with higher ^{14}C values as well. Many predatory taxa still showed a younger carbon age than litter, indicating non-negligible effects of collembolan feeding habits on the soil food web.

研究分野：土壤生態学

キーワード：土壤動物 分解 食物網 同位体 食性 トビムシ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

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、これを担うのは、土壤生物群集である。しかし、我々の足の面積下にも数万個体の動物が生息していると言われる複雑性に加えて、土中は不可視であるため容易に観察ができないという状況が重なり、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。

物質循環における動物群集の機能は、摂食活動や食物網構造を明らかにすることで評価できるが、土壤生物に関しては、それらの根拠を欠いたまま、ほぼ全ての分類群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てきた。しかし、土壤小型節足動物のうち、生きている植物から供給される根滲出物を炭素源としている種の存在が示され始めている。微生物食者である土壤小型節足動物は、多くの捕食者の餌資源であり、土壤食物網の始点に位置するため、これまで分解者と考えられてきた多くの分類群が、実は「生食連鎖」に属しているかもしれない。この問いに答えることは、環境変動下における分解プロセスの変動を予測していくために必要不可欠である。

2. 研究の目的

土壤小型節足動物が主に依存している炭素源が、枯死有機物と比較して新しいか古いかについて、放射性炭素同位体を用いた食物年齢の特定により評価することを目的とした。

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上賀茂試験地の天然ヒノキ林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。

炭素・窒素安定同位体分析は、動物の食物源や食物網の中での栄養段階を推定するために広く使われてきた分析である。土壤食物網では、腐生菌による分解が進んだ有機物ほど ^{13}C ・ ^{15}N が高い値を示すこと・菌根菌が高い ^{15}N を示すこと・栄養段階が高いほど ^{15}N が高くなることなどが知られている。

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大气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、大气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。

4. 研究成果

トビムシのほとんどの種は、炭素・窒素安定同位体比 (^{13}C ・ ^{15}N) の値に関わらず、枯死有機物よりも低い ^{14}C 濃度 (^{14}C) を示した。これは、トビムシが、餌の種類に関わらず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す (図1)。

表層よりも深い腐植層に住む土壤性種は ^{15}N が高くなるほど新しい炭素への依存度が大きい傾向を示した。これまで土壤小型節足動物の ^{15}N が高くなる理由は、微生物による分解が進んだ有機物を食べたか、あるいは菌根菌を食べたためのどちらか判別できなかったが、 ^{14}C 分析の結果を踏まえると、その理由は後者であると推察された。これにより、トビムシの枯死有機物への依存が小さいことを示す強固な証拠を得ることができた。

また、クモやムカデなどの捕食者は、概してトビムシよりも古い炭素年齢を示したが、枯死有

機物よりは新しい場合が多く、トビムシの食性が土壌食物網全体に強く影響していることが伺えた。

本研究は、これまで押しなべて分解者と定義されてきた土壌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。環境変動による生物の消失を前に、生物多様性とその機能の保全の必要性が指摘されているが、本研究の成果は、生態系に対する生物の機能を十分な根拠なく判断することの危険性も提示している。本研究では、トビムシ以外の土壌動物は様々な種を一括して扱ったため、土壌の生物多様性と機能を正確に評価していくためには、これら他の分類群についても精密に分析する必要がある。

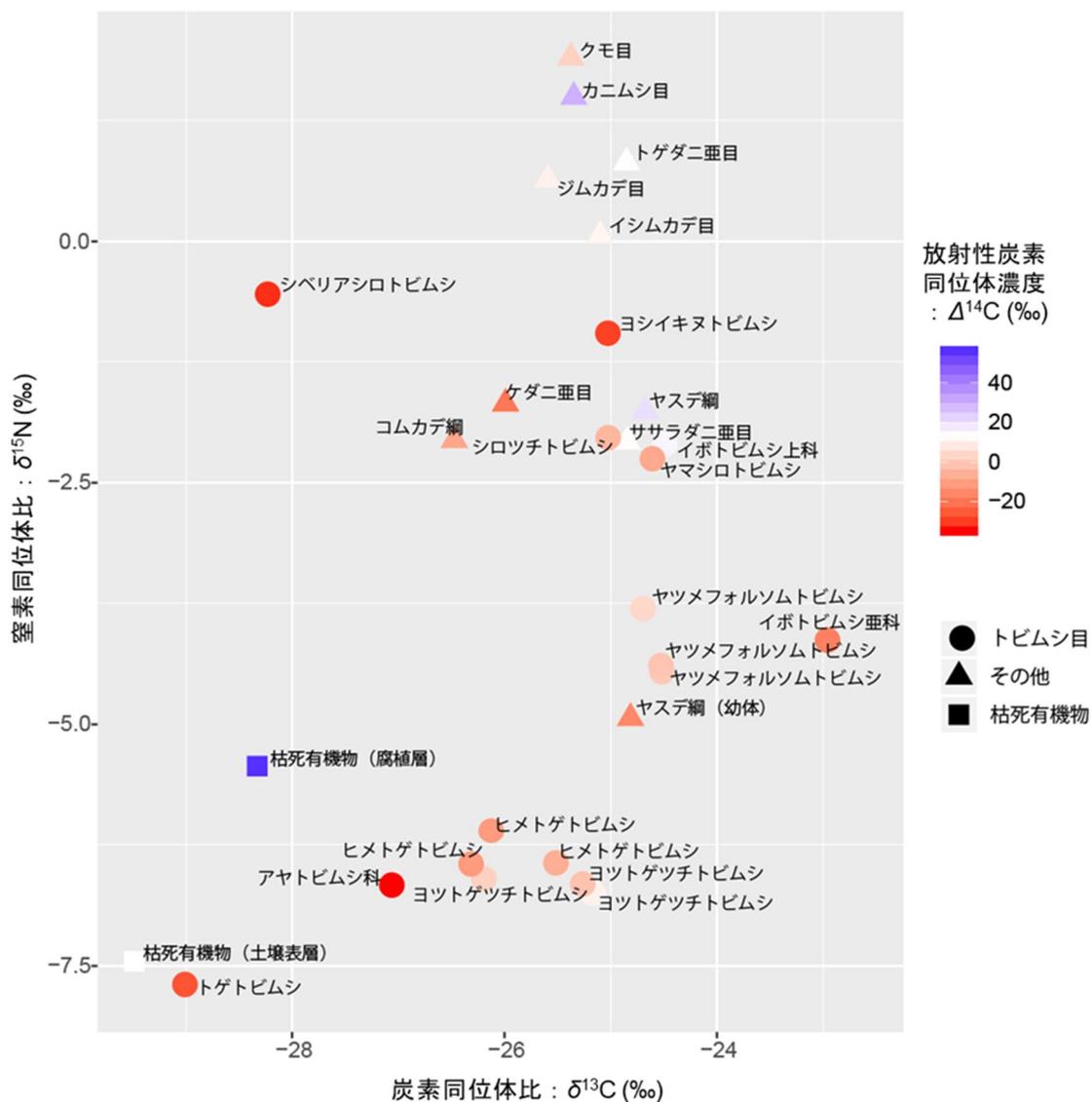


図1 土壌動物と枯死有機物の炭素同位体比 (^{13}C)・窒素同位体比 (^{15}N) に対する、放射性炭素同位体 (^{14}C) 濃度。色が ^{14}C 濃度 (^{14}C) の値を示しており、白が土壌表層の枯死有機物の値を、それより高い(古い)値を青、低い(新しい)値を赤の勾配で示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fujii Saori, Haraguchi Takashi F., Tayasu Ichiro	4. 巻 17
2. 論文標題 Radiocarbon signature reveals that most springtails depend on carbon from living plants	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 20210353
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1098/rsbl.2021.0353	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 Fujii Saori, Berg Matty P., Cornelissen Johannes H.C.	4. 巻 35
2. 論文標題 Living Litter: Dynamic Trait Spectra Predict Fauna Composition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Trends in Ecology & Evolution	6. 最初と最後の頁 886 ~ 896
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tree.2020.05.007	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7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤井佐織, 原口岳, 陀安一郎.
2. 発表標題 放射性炭素同位体分析によるトビムシの餌炭素年齢の推定
3. 学会等名 日本土壤動物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井佐織.
2. 発表標題 土壌食物網の低位栄養段階に属するトビムシの食性
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Saori Fujii, Johannes H. C. Cornelissen, Richard S. P. van Logtestijn, Jurgen van Hal, Matty P. Berg.
2. 発表標題 Habitat heterogeneity drives feeding niche diversity of Collembola: dead wood matters!
3. 学会等名 XVIII International Colloquium on Apterygota (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Saori Fujii, Matty P. Berg, Richard S. P. van Logtestijn, Johannes H. C. Cornelissen.
2. 発表標題 Plant "afterlife" effects: litter traits related to habitat environment for soil organisms
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井佐織, Matty P. Berg, Richard S. P. van Logtestijn, Jurgen van Hal, LOGLIFE Team, Johannes H. C. Cornelissen.
2. 発表標題 ハビタットの異質性がトビムシ群集の機能の多様性を高める: 枯死木分解実験サイトを用いた検証
3. 学会等名 日本土壌動物学会第42回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Saori Fujii, Matty P. Berg, Richard S. P. van Logtestijn, Johannes H. C. Cornelissen.
2. 発表標題 Plant "afterlife" effects on soil systems: temporal litter trait variability related to litter water-holding capacity.
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 平野 恭弘、野口 享太郎、大橋 瑞江	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 376
3. 書名 森の根の生態学	

〔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
---------	---------