

土壤動物は落葉分解者とは限らない —トビムシの放射性炭素同位体分析から判明—

藤井 佐織*¹
Fuji Saori

原口 岳*²
Haraguchi Takashi

陀安 一郎*³
Tayasu Ichiro

1. 土壤食物網におけるトビムシの位置づけ

トビムシは、土がある所ならどこにでも見られる微小な土壤動物です。トビムシという名称は、目レベル、もしくは綱レベルの総称であり、日本では約350種が記載されています。翅はありませんが、胴体の末端に跳躍器と呼ばれるバネのような役割をはたす器官がついており、この器官で飛び跳ねることが名前の由来です。世界中の陸域生態系で優占し、温帯域の森林土壌においては m^2 あたり数万個体も生息しています¹⁾。

トビムシは体が小さく、だいたいこの種の体長は1 mm 以下、最大のものでも5 mm を超えることはありません。そして同じサイズのササラダニや、コウチュウ、等脚類などに見られる固い殻を持ちません。このような体の小ささと柔らかさゆえに多くの土壤動物の餌となる下位栄養段階に属しており、土壤食物網の基盤をなす存在です。トビムシは、いわば陸域におけるプランクトンのような存在として、土壤食物網を支えているのです。

2. トビムシの食性

生態系において動物は、餌を食べたり他の動物に食べられることで、炭素や窒素等の循環を駆動しています。生態系における動物の役割を評価するためには、その動物がどのような資源に依存しているのか特定する必要があります。有機物を作り出す生産者である植物と比較して、動物の役割は、生きている生物に依存するグループを消費者、死んだ生物に

依存するグループを分解者と分けられています。土は、主に枯死物からできていますから、その中に生息する動物は基本的に分解者であると考えられてきました。

トビムシの餌はトビムシを食べた捕食者の体を作ることにもなり、上位栄養段階の捕食者らを含む土壤食物網が依存している資源と言えます。したがってトビムシが何を摂食しているのかを把握することが土壤食物網の役割の評価の決め手となります。トビムシは、落ち葉や腐植、微生物、藻類や根等、様々なものを摂食できることが知られています。しかし、トビムシがあまりに小さいことや、土の中が見えないこと等、様々な問題があり、トビムシの食性に関する観察や実験、分析は簡単ではありません。したがって、主要な餌資源を特定することは難しく、不確定要素が多いままに分解者と定義されてきました。

3. 同位体手法の発展

最近20年ほどは、土壤生態学にも様々な新しい手法が適用され、特に炭素・窒素安定同位体分析は盛んに行われ、目覚ましい成果をあげてきました。炭素安定同位体 (^{12}C , ^{13}C) の存在比である炭素安定同位体比 ($\delta^{13}C$) と、窒素安定同位体 (^{14}N , ^{15}N) の存在比である窒素安定同位体比 ($\delta^{15}N$) からは、動物の食物源や食物網中の栄養段階を推定することができます。土壤生態系においては、腐生菌による分解が進んだ有機物ほど $\delta^{13}C \cdot \delta^{15}N$ が高いことや、菌根菌の $\delta^{15}N$ が高いこと、栄養段階が上位である

ほど $\delta^{15}\text{N}$ が高いこと等が知られています²⁾。一方、同位体研究の中でも炭素安定同位体トレーサを用いた実験からは、これまで想定されていた以上にトビムシが根由来の炭素に依存していることが明らかにされてきました^{3,4)}。これは、トビムシが分解者ではなく、生きた有機物に依存する消費者である可能性を示唆しています。しかし、前述したように多くのトビムシは雑食であり、トビムシが枯死物と根のどちらの炭素源により大きく依存しているかは未だ明らかになっていません。

そこで、筆者らは、トビムシの枯死有機物への依存の程度を知るために、放射性炭素同位体 (^{14}C) 分析を用いることにしました。この分析は、1950年代から1963年にかけて起きた米ソ冷戦時代の気核実験によって大気中二酸化炭素の ^{14}C 濃度 ($\Delta^{14}\text{C}$) がそれまでの2倍に増加したことを利用しています⁵⁾。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 の濃度は年々希釈され、低下しています。この ^{14}C 濃度がその年の光合成産物に反映されること

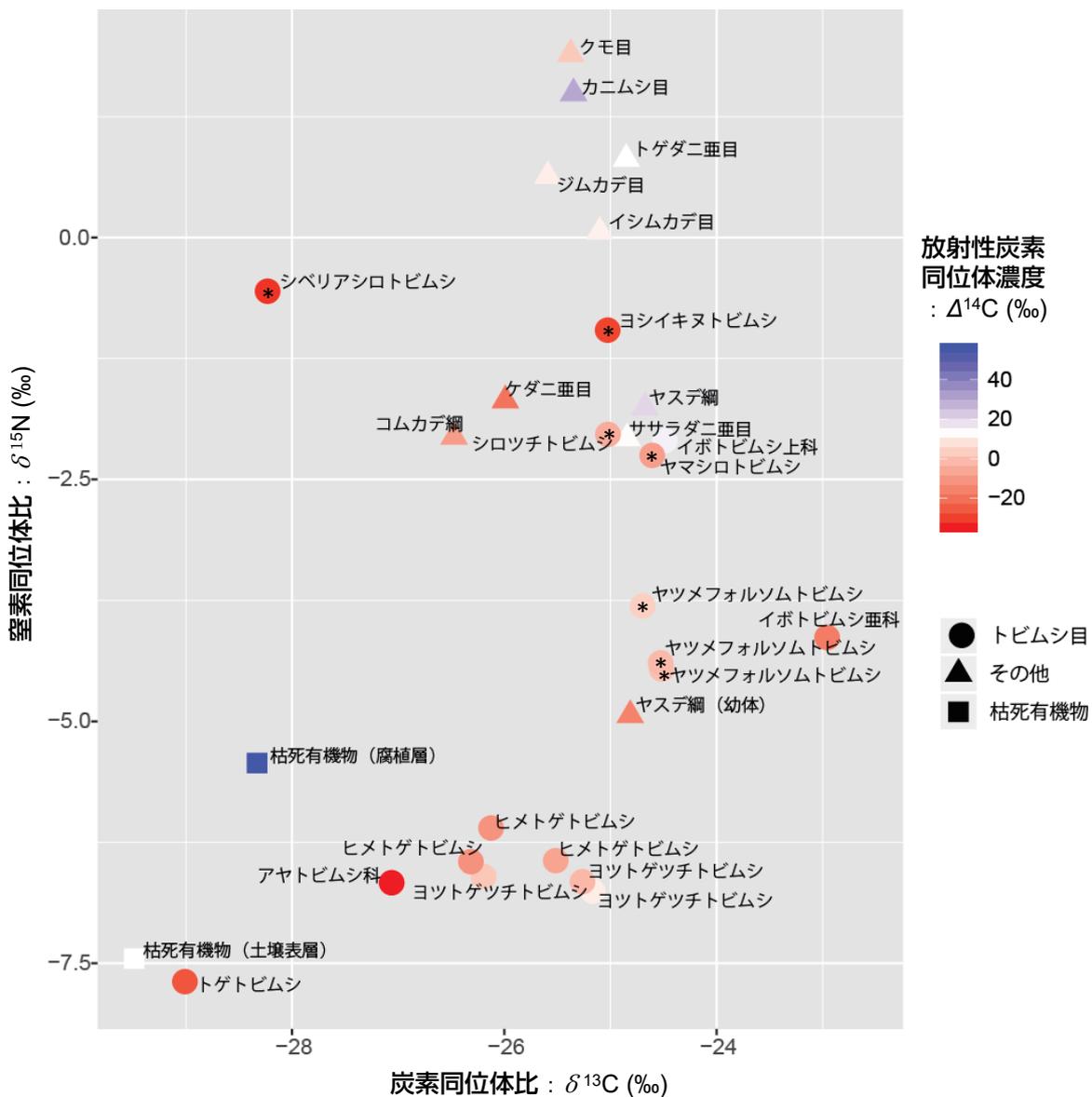


図1 土壌動物と枯死有機物の、炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$)・窒素同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) に対する放射性炭素同位体濃度 ($\Delta^{14}\text{C}$) ^{14}C 濃度が低いほど、土壌動物が新しい炭素に依存していることを示す。各点の色が $\Delta^{14}\text{C}$ の値を示しており、土壌表層 (新規落葉からなる層) の枯死有機物の値を基準 (白) にして、それより高ければ青 (古い)、低ければ赤 (新しい) で示した。腐植の多い深い層に住む土壌性のトビムシに*を付した

を利用して、動物の¹⁴C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ます。つまり、大気核実験が起きて以降は、¹⁴C濃度が低いほど、土壤動物が新しい炭素に依存していることを示します。

4. 土壤動物が依存する炭素源

京都にある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、¹⁴C分析並びに¹³C・¹⁵N分析を行いました。その結果、トビムシのほとんどの種は、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の値に関わらず、枯死有機物より低い $\Delta^{14}\text{C}$ を示しました(図1)⁶⁾。これは、トビムシが、枯死有機物よりも新しい炭素、すなわち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ます。また、腐植の多い深い層に住む土壌性のトビムシは窒素安定同位体比が高いものほど新しい炭素に依存する傾向を示しました。これまで、土壤動物の窒素安定同位体比が高くなる理由は、微生物による分解が進んだ有機物を食べたためか、菌根菌を食べたためかのいずれであるのかが判別できませんでしたが、新しい炭素を利用していたという前述の結果

を踏まえると、理由は後者であったことが推察されました。

このように、放射性炭素同位体分析を用いることで、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ました。また、クモやムカデ等の捕食者の炭素年齢は、概してトビムシよりも古いものの、枯死有機物よりは新しい場合が多く見られました。このことから、トビムシの食性が土壤食物網全体に強く影響していることがうかがえます。森林土壌中の有機物分解における土壤動物の役割に関する従来の考えは今後見直されていくこととなるでしょう。

参考文献

- 1) Petersen, H., *et al.*, *Oikos*, **39**, 288-388 (1982)
- 2) Potapov, A. M., *et al.*, *Rev. Camb. Philos. Soc.*, **94**, 37-59 (2019)
- 3) Pollierer, M. M., *et al.*, *Ecol. Lett.*, **10**, 729-736 (2007)
- 4) Fujii, S., *et al.*, *Pedobiologia*, **59**, 225-227 (2016)
- 5) Hyodo, F., *Entomol. Sci.*, **18**, 295-312 (2015)
- 6) Fujii, S., *et al.*, *Biol. Lett.*, **17**, 20210353 (2021)

(*¹(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所, *²大阪府立環境農林水産総合研究所, *³総合地球環境学研究所)