

令和元年6月25日現在

機関番号：16201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18720

研究課題名(和文) 森林土壌 - 植物間の資源移動における土壌動物の機能解明

研究課題名(英文) Contributions of soil animals to organic matter flow from plants to soils on forests

研究代表者

豊田 鮎 (Toyota, Ayu)

香川大学・農学部・助教

研究者番号：50730800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：土壌動物は地上の植物生態系と地下の土壌生態系をつなぐ物質循環の要であり、腐食連鎖を駆動する。本研究では土壌有機物含有量の低い土壌下層に有機物を貯留させる作用をもつキーストーン種であると予想される土壌動物に着目し、その土壌動物の操作実験から、(1)フトミズ科ミミズ幼体は土壌の下層に炭素を貯留し、(2)キジャヤステ成虫はリン含有量の高いカラマツ落葉の分解プロセスにおいて土壌の有機態リンを一時的に増加させることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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。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、さまざまな土壌において土壌動物が土壌有機物に及ぼす影響を明らかにした本研究の成果は、持続的な生産が可能な土壌の管理、保全のための対策を展開する一助となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Soil animals have key functions to link between above- and belowground ecosystems in detritus food web. This study focused on the function of organic matter retention in deeper soil layer by soil animals. From microcosm experiments, I found two results. First, earthworms conserved organic matter in not only surface but also deeper soil layer. Second, the amounts of phosphorus in soils were increased by the train millipede at adult stage on larch forest floor.

研究分野：土壌生態系における土壌動物の機能

キーワード：土壌動物 土壌炭素 落葉分解

1. 研究開始当初の背景

土壌動物は地上の植物生態系と地下の土壌生態系をつなぐ物質循環の要であり、腐食連鎖を駆動する。近年、土壌動物を考慮した土壌 - 植物間の資源分配に関する研究は世界で活発に展開されている (Bardgett and van der Putten, 2014, *Nature*)。土壌動物学の分野では、ミミズ類の研究がヨーロッパ・北米を中心として盛んに実施され、土壌有機物動態にミミズ類が多大な影響を及ぼすことが分かってきた。しかしながら、最も観測例が多いミミズ類でも、ミミズがいると土壌からの炭素放出が蓄積を上回るというメタ解析がある一方で (Lubbers et al., 2013, *Nature Climate Change*)、ミミズが炭素の蓄積を促進するという見解も示され (Zhang et al., 2013, *Nature Communications*)、一定の見解が得られていない。その原因として、未だメカニズムが特定され、検証されていない事象が多くあること、実験の多くが室内に限られることが挙げられる。

これまでに申請者らは農地において耕す頻度を操作した土壌を用いた実験から、耕した土ではミミズ類、ワラジムシ類などの土壌動物の活動によって土壌からの栄養塩流亡が増加するが、耕さない土ではミミズ類、ワラジムシ類などの土壌動物の生息が土壌からの栄養塩流亡を抑制し、地上部の植物生産量を高めることを明らかにした (Toyota et al. 2013, *Soil Biology and Biochemistry*)。

一方、森林土壌では、農地と比べて多くの有機物遺体が土壌に供給され、これらの有機物は土壌表層に堆積する。体幅が数 mm 程度の土壌動物の中では比較的大型の土壌動物は、落葉や枯死木などの摂食によって有機物遺体の物理的な構造や表面積を変化させ、初期の分解を駆動することが知られている。日本中部の広い範囲に優占種として高い密度で生息するヤスデ類であるキシヤヤスデ成虫は、林床の表層から深さ 10cm 程までを生息層とし、土壌と落葉を混食する。申請者らは、キシヤヤスデ成虫の生息密度が高い場合には落葉由来の有機物を土壌層に糞として混入し、キシヤヤスデ成虫が生息しない土壌よりも土壌有機物が多く保持されることを示している (Toyota et al. 2006, *Soil Biology and Biochemistry*)。

2. 研究の目的

本研究では、土壌有機物濃度の低い土壌下層に有機物を貯留させる作用をもつキーストーン種となると考えられる土壌動物に着目し、(1)ワラジムシ類とミミズ類は土壌に炭素を貯留する機能をもつのか、(2)キシヤヤスデ成虫によって、どの程度の有機態リン (P) が落葉から土壌に混入するのか、その混入量は樹種や土壌の有機物含有量に依存するのかを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 落葉の分解速度を増大させることが分かっている土壌動物が土壌層に炭素を貯留する機能をもつのかを明らかにするため、落葉粉碎者として知られるオカダンゴムシ (*Armadillidium vulgare*)、土壌表層に生息するフトミミズ科 (*Megascolecidae*) のミミズ幼体を用い、マイクロコズムを用いた操作実験を行った。ミミズは幼体のため科までを同定し、種同定はできなかった。土壌と落葉を入れたプラスチック容器に体幅 2mm 以上の大型土壌動物を以下の 4 つ、オカダンゴムシのみ生息、ミミズ幼体のみ生息、オカダンゴムシとミミズ幼体が生息、オカダンゴムシとミミズ幼体不在、に操作した。これらの土壌動物の生息の有無によって土壌炭素の貯留量の変動が異なるかを評価するため、土壌動物の操作から 2 週、4 週、8 週、12 週、16 週目に土壌試料を深さ 0~1cm, 3~4cm, 5~6cm の 3 層から採取し、炭素量を測定した。土壌は香川大学付属農場の耕作放棄地から採取した有機物含有量が低い土壌、香川県高松市の林地から採取した有機物含有量の高い土壌の 2 つのタイプの土壌を用いた。フトミミズ科ミミズ幼体とオカダンゴムシは土壌を採取した場所に生息していたものを実験に用いた。落葉は香川大学付属農場の耕作放棄地に隣接する林地および香川県高松市の林地から採取した。土壌動物の操作から 16 週間培養後に落葉の重量変化および炭素量を測定した。

(2) 落葉食者であるキシヤヤスデ成虫によって、落葉の有機態 P が土壌に混入し、保持されるかを明らかにするため、筑波大学演習林にて採取した有機物含有量が異なる 2 つのタイプの土壌 (黒色土、褐色森林土) および、2 種の落葉 (ミズナラ、カラマツ) をそれぞれ用い、キシヤヤスデ (*Parafontaria laminata*) 成虫の有無を操作したマイクロコズムをおよそ 3 ヶ月間の室内培養後、落葉減少量、土壌 P 量、落葉層に混入したキシヤヤスデ成虫の糞の P 量を測定した。湿度を保つためにマイクロコズム上部から純水を霧吹きによって補給し、マイクロコズムの下部にはチューブをつけ、チューブから排水された水を回収し、土壌水に含まれる P 量を測定した。培養は 24 時間のうち 14 時間を明条件で 15、10 時間を暗条件で 12 とした。

4. 研究成果

(1) 耕作放棄地における有機物含有量が低い土壌 (以下、低 C 土壌) の炭素濃度は $0.27 \pm 0.034\%$ 、林地の有機物含有量が高い土壌 (以下、高 C 土壌) の炭素濃度は $16.3 \pm 0.60\%$ だった。低 C 土壌では落葉粉碎者のオカダンゴムシが落葉減少に有意に寄与し、オカダンゴムシのみではオカダンゴムシとミミズ幼体が不在の対照区と比較して約 1.5 倍高くなった。一方、高 C 土壌ではオ

カダンゴムシのみの落葉減少量は対照区と差がみられなかった。オカダンゴムシのみの処理では土壌表層 0~1cm の炭素貯留量が 8 週目から増加したが、深さ 3~4cm, 5~6cm の土壌炭素量に変化はみられなかった。ミミズ幼体がいる場合および、オカダンゴムシとミミズ幼体の双方がいる場合には、低 C 土壌、高 C 土壌ともに落葉消失量がオカダンゴムシとミミズ幼体が不在の対照区と比べて、約 2 倍高くなった。落葉消失量にはミミズ幼体のみの場合とオカダンゴムシとミミズ幼体の双方がいる場合の処理区間に差がみられなかったが、土壌炭素貯留量はミミズ幼体のみ生息の場合よりもオカダンゴムシとミミズ幼体の双方がいる場合に高い傾向にあり、特に低 C 土壌で高くなった。ミミズ幼体のみの場合、低 C 土壌では主に土壌表層 0~1cm の炭素量が増加し、高 C 土壌では土壌動物の操作から 12 週目には表層（深さ 0~1cm）と中層（深さ 3~4cm）、16 週目には下層（深さ 5~6cm）の炭素量が増加した。同様に、オカダンゴムシとミミズ幼体の双方がいる場合にも低 C 土壌と高 C 土壌で炭素貯留量の増加する深さは異なっていた。オカダンゴムシとミミズ幼体の双方がいる場合、低 C 土壌では、8 週目には表層（深さ 0~1cm）で対照区よりも土壌炭素量が多く、下層（深さ 5~6cm）では差がみられなかったが、16 週目には表層（深さ 0~1cm）だけでなく下層（深さ 5~6cm）においても対照区より土壌炭素量が多くなった。16 週目の低 C 土壌のオカダンゴムシとミミズ幼体の双方がいる区の炭素量は、表層において最も高く、表層 > 中層 > 下層の順であった。一方、高 C 土壌では 16 週目には下層（深さ 5~6cm）の炭素量が表層（深さ 0~1cm）よりも高い傾向があった。以上の結果から、ミミズ幼体は土壌に炭素を貯留する働きがあり、オカダンゴムシと同時に生息する場合には、土壌下層に炭素を貯留する作用が大きくなることが分かった。

(2) 土壌の有機物含有量は褐色森林土では $5.78 \pm 0.127\%$ 、黒色土では $15.8 \pm 0.59\%$ であった。キシヤスデ成虫なし（対照区）と比較したキシヤスデ成虫ありのマイクロコズムの落葉減少量は、およそ 3 ヶ月の培養後、有機物含有量が高い土で多く、カラマツ落葉よりミズナラ落葉で多かった。有機物含有量が低い褐色森林土にカラマツ落葉を入れた処理では落葉減少量にキシヤスデの有無による差がみられなかった。実験に用いたカラマツ落葉はミズナラ落葉より全 P の含有量がおよそ 2 倍高く、実験開始から 3 ヶ月後の土壌有機態 P 量は、カラマツ落葉を入れたマイクロコズムにおいて黒色土、褐色森林土の両方の土壌でキシヤスデ成虫によって高くなった。ミズナラ落葉を入れたマイクロコズムでは黒色土の場合のみキシヤスデによって土壌中の有機態 P 量が高くなった。一方、褐色森林土 + ミズナラ落葉のマイクロコズムは土壌層の有機態 P 量ではキシヤスデ成虫による差がみられなかったが、落葉層に混入したキシヤスデ成虫の糞において有機態 P 量が高くなった。落葉層に混入したキシヤスデ成虫の糞量は褐色森林土では、ミズナラ落葉を入れたマイクロコズムよりカラマツ落葉を入れたマイクロコズムにおいて多くなった。対照的に黒色土ではカラマツ落葉よりもミズナラ落葉において糞量が多くなった。土壌水に溶脱した P 量は褐色森林土で高く、黒色土では低かった。以上の結果から、落葉の樹種と土壌によってキシヤスデ成虫が P 動態に及ぼす影響は異なり、落葉堆積量の減少ではキシヤスデ成虫がいない場合と比較して差がみられない場合にも、リン含有量の高いカラマツ落葉の分解過程において土壌中の有機態 P 量を増加させることが明らかになった。これは、キシヤスデ成虫を介した落葉分解プロセスにおいて、落葉の P 含有量が高いなどの条件の森林林床の場合にキシヤスデ成虫が土壌層に一時的に有機態 P を保持する機能をもつことを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

豊田 鮎 (2017) 土壌生態系サービスを支える土壌動物の役割 3. 土壌動物による有機物分解速度の制御に伴う植物生産の変化, 日本土壌肥科学雑誌, 88, 559-567, 査読あり.

〔学会発表〕(計 3 件)

豊田 鮎, 末永悠里子. キシヤスデによる土壌リン動態の変化. 第 129 回日本森林学会大会. 2018 年 3 月.

豊田 鮎, 松本 唯, 井上久義. キシヤスデ終齢幼虫の脱皮室による土壌団粒サイズ分布の変化. 第 40 回日本土壌動物学会大会. 2017 年 5 月.

豊田 鮎, 石崎成美. フトミミズ科ミミズ幼体とオカダンゴムシ成体による土壌炭素貯留機能. 第 39 回日本土壌動物学会大会. 2016 年 6 月.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名：石崎成美

ローマ字氏名：ISHIZAKI, Narumi

研究協力者氏名：松本唯

ローマ字氏名：MATSUMOTO, Yui

研究協力者氏名：末永悠里子

ローマ字氏名：SUENAGA, Yuriko

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。