

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14876

研究課題名（和文）スギ人工林の広葉樹林化に対する土壌線虫を利用した地下部生物多様性評価

研究課題名（英文）Below-ground biodiversity assessment using soil nematodes for conversion of cedar plantations into broad-leaved forests

研究代表者

北上 雄大（Kitagami, Yudai）

三重大学・生物資源学研究所・助教

研究者番号：40882684

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、線虫をスギ人工林の広葉樹林化後の地下部多様性の変化を評価する生物指標として確立することを目的とした。野外調査と室内ポット実験からスギ人工林と広葉樹林の土壌線虫群集とそれを規定する環境要因の影響を把握した。線虫群集はスギ人工林と広葉樹林で異なり、スギ人工林では植物根を食べる線虫が、広葉樹林では菌糸を食べる線虫が多く見られた。さらに、線虫群集は土壌のpH、炭素や窒素量の影響を受けた。これらより、樹種の入替によって土壌環境が改変され地下部の土壌線虫群集も影響を受け、線虫は地上部環境の変化に鋭敏に反応することが考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

森林の多面的機能を発揮するために、放棄されたスギ人工林を豊かな広葉樹林に誘導する試みがある。広葉樹林の多面的機能として生物多様性の保全が期待されるが、そのためには物質循環に寄与する地下部の生物群集をモニタリングする適切な生物指標が求められる。森林土壌において線虫は環境変化に鋭敏に反応し様々な生態系における生物指標になることから、線虫は広葉樹林化後の地下部多様性の変化を適切にモニタリングできる生物指標になると考えた。本研究において、土壌線虫が森林タイプの違いに反応したことから、地上部環境の改変に対して地下部多様性の変化を評価する生物指標としての利用可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to establish nematodes as bio-indicator for evaluating changes in below-ground biodiversity by conversion of cedar plantations to broad-leaved forests. Soil nematode communities were different between cedar plantations and broad-leaved forests. Nematodes that feed on plant roots were dominant in the cedar plantations, and ones that eat fungal-mycelium were dominant in the broad-leaved forests. Moreover, nematode communities were affected by soil pH, carbon and nitrogen content. These results suggested that conversion of tree species alters the soil environment and affects below-ground nematode communities, and that nematodes respond sensitively to changes in the above-ground environment.

研究分野：森林微生物

キーワード：生物指標 スギ人工林 広葉樹林化 土壌線虫 ポット実験

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

森林面積の4割は造林樹種のスギ・ヒノキ人工林であり、それらは伐期を迎えているが、安価な外国産木材の輸入のため、国内の木材生産は衰えている。それを反映した森林管理として、森林の多面的機能の発揮という役割が強調されている。そのため、放棄された人工林を豊かな広葉樹林へ誘導する試みが行われている。広葉樹林の多面的機能として生物多様性の保全が期待される。生物多様性の保全を考慮した森林管理手法として、チョウ類など地上部昆虫類を用いた生物指標の確立が模索されてきた。しかし、森林の地下部に生息する土壌生物の情報は少なく、その群集構造と生態系機能の実態は不明である。「線虫」のバイオマスは全人類に匹敵するほど多く、微生物や植物根の摂食を通して物質循環に貢献していることから、土壌中で重要な生物群である。さらに、線虫は種によって環境変化に鋭敏に応答することから、様々な生態系における生物指標になり、欧州では、広葉樹から針葉樹への樹種転換後の地下部多様性の指標に利用されている。一方、国内の森林における線虫の研究は、マツ枯れに關与するマツノザイセンチュウに集中しており、土壌を対象にした研究は代表者が着手し始めた2014年時点で広葉樹林の1例のみと、日本の線虫群集の実態は全く未解明であった。代表者は、森林生態系に生息する線虫群集の解明の端緒として、人が造り上げた「スギ人工林」や「海岸林」に着目し、そこに住む線虫の数や種類を明らかにしてきた。なぜなら両森林タイプは全国に分布し、本研究で得られる知見が広い地域で応用できると考えたからである。実際、スギ林と海岸林は細菌類や菌類を食べる線虫種が優占的であり、微生物食性の線虫が森林土壌の物質循環を駆動していることが示された。これらから、線虫は広葉樹林化後の地下部多様性の変化を適切にモニタリングできる生物指標になると考えた。そこで、土壌線虫をスギ人工林の広葉樹林化後の地下部多様性の変化を評価する生物指標として確立することを目的とした。

2. 研究の目的

本研究はスギ人工林から広葉樹林へ転換後の地下部多様性の変化を示すため、線虫を用いた生物指標の確立を目指した。はじめに、スギ人工林と広葉樹林の線虫群集の特徴を把握した。次に、ミクロコズム生態系で、スギ林土壌に広葉樹を植栽し、植栽後の線虫群集やその餌資源である微生物の動態を解明した。

3. 研究の方法

・スギ人工林と広葉樹林の線虫群集構造の解明

三重県林業研究所の1haのスギ人工林と隣接する広葉樹林の土壌から線虫を収集し、光学顕微鏡による形態観察と次世代シーケンサーを用いたメタゲノム解析を通して

分類群多様性や分類群組成を推定し、網羅的に線虫群集を決定する。さらに、土壌 pH, C/N 比, 細菌量や真菌量を調べ、非類似度多次元尺度法とネットワーク解析からスギ林と広葉樹林の線虫群集を規定する環境因子を決定した。

・ミクロコズム生態系の樹種転換が線虫とその他微生物群集に及ぼす影響の解明

スギ林土壌と広葉樹林土壌をそれぞれコンテナ (50 cm×80 cm) に入れ、当年生のスギ苗区 (対照区)とコナラ苗区を 24 コンテナずつ設計した。植栽から 11 ヶ月後に線虫群集, C/N 比, 細菌量や真菌量を調べた。非類似度多次元尺度法からスギ林と広葉樹林の線虫群集を規定する環境因子を決定した。樹種の入替が地下部多様性にどのように影響するか線虫とその餌となる微生物の変化から明らかにした。

4. 研究成果

スギ人工林と広葉樹林の線虫群集の特徴を把握した。線虫群集は両林分で有意に異なり, C/N 比のような土壌化学性によって有意に強く影響されることが明らかになった。さらに, 土壌線虫とそれの食資源となる細菌・真菌類との関わりを明らかにするために, ネットワーク構造を調べた。その結果, 広葉樹林のネットワーク構造はスギ人工林に比べて複雑になった (図 1)。さらに, スギ人工林では子のう菌類が, 広葉樹林では担子菌類が優占した。菌食性線虫に着目すると, スギ人工林では *Ditylenchus* 属が広葉樹林では *Aphelenchoides* と *Filenchus* が検出された。以上の成果は第 135 回日本森林学会大会にて報告した。

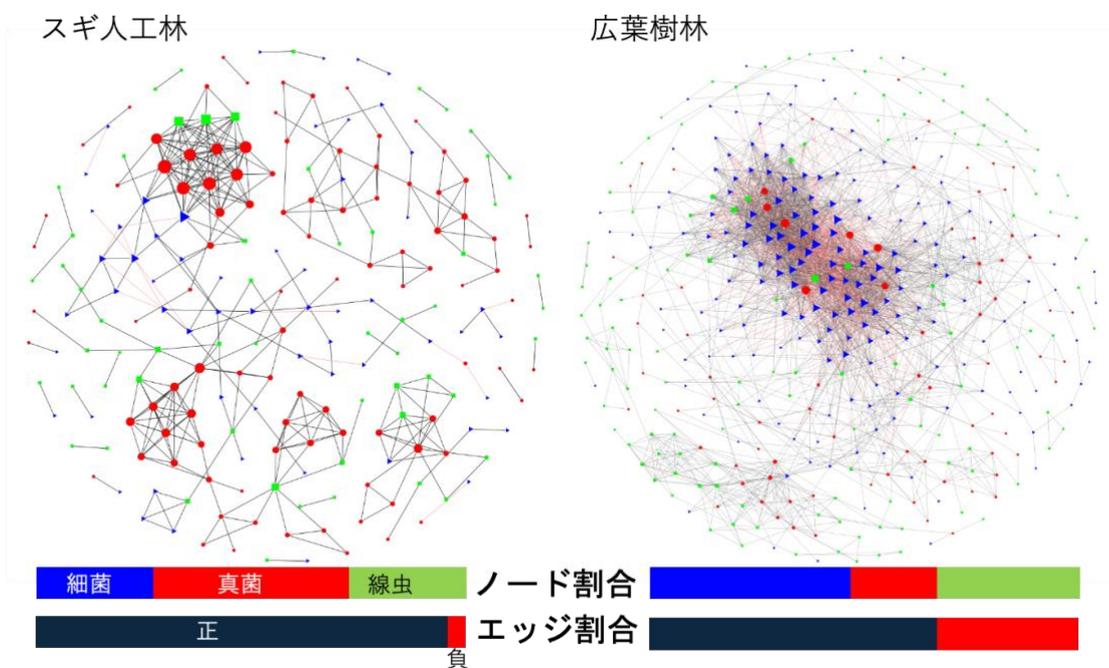


図 1 スギ人工林と広葉樹林における細菌・真菌・線虫の共生ネットワーク。ノード (点)

は細菌 (青色の三角形), 真菌 (赤色の円), および線虫 (緑色の四角) ノードの分類群を表し, エッジ (線) はノード間の有意な正 (灰色) および負 (赤色) の相関を表す. ノードサイズは, 特定のノードに接続されているエッジの相対数を表す.

室内ポット実験からスギ人工林と広葉樹林の土壌と樹種の入替が土壌線虫群集に与える影響を把握した. その結果, 処理区ごとに線虫群集構造は有意に異なり, 由来土壌と植栽樹種が強く影響した (図 2). 以上から樹種の入替による地上部の改変は地下部の生物群集に影響を与え, 地上部環境の変化に鋭敏に応答することが考えられた. 詳細は Kitagami et al. (2024)を参照のこと.

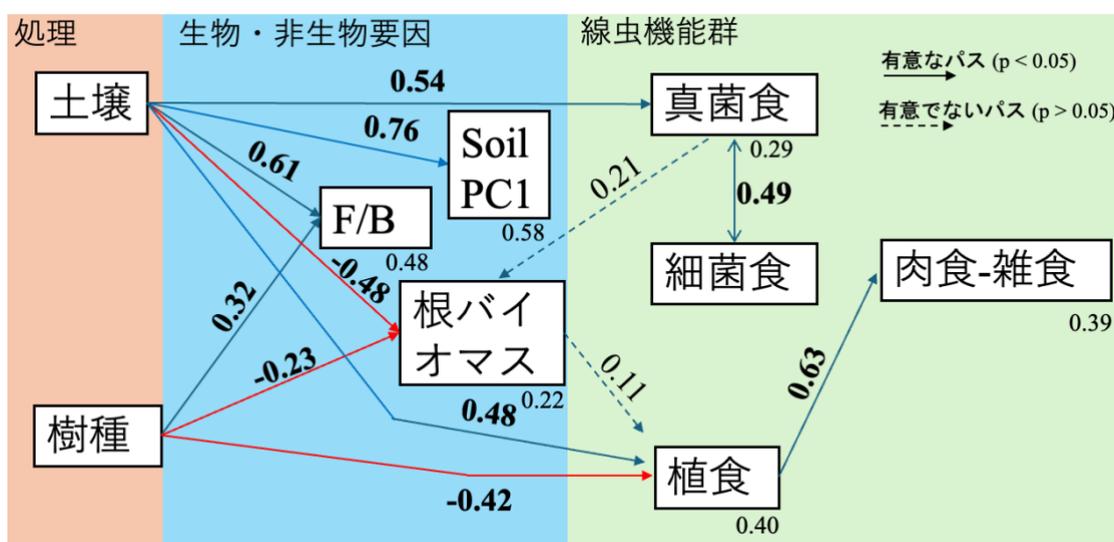


図 2 線虫の食物網への土壌と樹種の影響を表した構造方程式モデリング.

R パッケージ `piecewiseSEM` で実行. 矢印の数値はパス係数. 各ボックス下の数値は内的変数. 「土壌」と「実生」はスギを 1, コナラを 2 とダミー変数を指定. $n = 96$. Fisher's $C = 18.9$, $p = 0.538$.

引用文献

Kitagami Y, Suzuki K, Matsuda Y, (2024), Effects of tree species identity and soil origin on soil nematode communities and trophic composition in coniferous and broad-leaved forests. *Plant and Soil*, <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06599-6>

北上雄大・松田陽介「針葉樹林と広葉樹林の土壌細菌・真菌・線虫群集構造と共起ネットワーク構造」『第 135 回日本森林学会大会』, 東京農業大学, 世田谷区, 2024 年 3 月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 Kitagami Yudai, Suzuki Kohei, Matsuda Yosuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of tree species identity and soil origin on soil nematode communities and trophic composition in coniferous and broad-leaved forests	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11104-024-06599-6	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 Kitagami Yudai, Matsuda Yosuke	4. 巻 102
2. 論文標題 Distribution and characterization of nematodes in above-ground microhabitats in a natural pristine cedar forest in Yakushima Island, Japan	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Canadian Journal of Zoology	6. 最初と最後の頁 264 ~ 271
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1139/cjz-2023-0107	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 Kitagami Yudai	4. 巻 105
2. 論文標題 森林生態系における線虫群集の研究動向と展望	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Forest Society	6. 最初と最後の頁 136 ~ 146
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4005/jjfs.105.136	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 Kitagami Yudai, Obase Keisuke, Chen Chien-Fan, Matsuda Yosuke	4. 巻 524
2. 論文標題 Effects of climatic and edaphic conditions on structuring patterns of soil nematode communities in Japanese cedar (<i>Cryptomeria japonica</i>) plantations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 120518 ~ 120518
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.foreco.2022.120518	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

1. 著者名 Kitagami Yudai, Matsuda Yosuke	4. 巻 112
2. 論文標題 High-throughput sequencing covers greater nematode diversity than conventional morphotyping on natural cedar forests in Yakushima Island, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Journal of Soil Biology	6. 最初と最後の頁 103432 ~ 103432
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejsobi.2022.103432	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 Kitagami Yudai, Obase Keisuke, Matsuda Yosuke	4. 巻 90
2. 論文標題 High-throughput sequencing and conventional morphotyping show different soil nematode assemblages but similar community responses to altitudinal gradients on Mt. Ibuki, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Pedobiologia	6. 最初と最後の頁 150788 ~ 150788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pedobi.2021.150788	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 Kitagami Yudai, Matsuda Yosuke	4. 巻 32
2. 論文標題 Effect of ectomycorrhizal fungal species on population growth and food preference of a fungivorous nematode	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mycorrhiza	6. 最初と最後の頁 95 ~ 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00572-021-01063-0	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 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 北上雄大・松田陽介
2. 発表標題 針葉樹林と広葉樹林の土壌細菌・真菌・線虫群集構造と共起ネットワーク構造
3. 学会等名 第135回日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 今尾陽太・北上雄大・山中豪・松田陽介
2. 発表標題 スギ人工林と広葉樹二次林の境界部の土壤線虫群集構造
3. 学会等名 第30回日本線虫学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yudai Kitagami, Keisuke Obase, Chien-Fan Chen, Yosuke Matsuda
2. 発表標題 Effects of climatic and edaphic conditions on structuring patterns of soil nematode communities in Japanese cedar (<i>Cryptomeria japonica</i>) plantations
3. 学会等名 The 10th EAFES International Congress
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北上雄大・鈴木康平・松田陽介
2. 発表標題 針葉樹人工林と広葉樹二次林の土壤と樹種の入替えが土壤線虫群集に与える影響
3. 学会等名 第45回日本土壤動物学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北上雄大・鈴木康平・松田陽介
2. 発表標題 スギ林とコナラ林の土壤と樹種の入替えが土壤生物群集に与える影響
3. 学会等名 第134回日本森林学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北上雄大・松田陽介
2. 発表標題 DNAメタバーコーディング法と形態観察法による屋久島スギ天然林の土壌線虫群集の比較
3. 学会等名 第44回日本土壌動物学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河村実紀・北上雄大・松田陽介
2. 発表標題 真菌食性線虫の増殖に関わるスギ細根由来の内生菌の餌資源特性
3. 学会等名 第12回中部森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松村龍一・北上雄大・松田陽介
2. 発表標題 異なる高さのスギ樹皮に生息する線虫の群集構造
3. 学会等名 第12回中部森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kitagami Y・Matsuda Y
2. 発表標題 Effect of ectomycorrhizal fungal species on population growth and food preference of a fungivorous nematode
3. 学会等名 The 11th International Conference on Mycorrhiza (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kitagami Y・Obase K・Tanikawa T・Chen CF・Matsuda Y
2. 発表標題 Diversity and assemblage patterns of soil nematodes in Cryptomeria japonica plantations
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北上雄大・松田陽介
2. 発表標題 外生菌根菌4種が真菌食性線虫Aphelenchoides sp.の個体数と餌選択性に及ぼす影響
3. 学会等名 第28回日本線虫学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap https://researchmap.jp/ykitagami 北上雄大 (Yudai Kitagami) ホームページ https://y-kitagami-nema.jimdofree.com 森林微生物学 - 三重大学生物資源学部 https://www.bio.mie-u.ac.jp/junkan/forest/mycology2/

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