

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20003

研究課題名(和文) 森林の落葉多様性が分解速度を促進するプロセスの解明

研究課題名(英文) Understanding the processes of the positive relationship between litter diversity and decomposition rate in forest ecosystems

研究代表者

執行 宣彦 (Shigyo, Nobuhiko)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・任期付研究員

研究者番号：70866110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、森林での落葉多様性が分解速度を促進させるプロセスを明らかにするために、野外で樹種組成と微生物群集の関係の把握し、室内での落葉混合のマイクロコズム試験を行った。その結果、コメツガやスギなどの針葉樹の落葉では、落葉多様性が増加しても分解率は促進しなかったが、カエデ属の落葉では、分解者微生物のニッチ相補性により分解が促進す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

本研究の成果は、森林土壌における「生物多様性-生態系機能」の関係の理解に大きく貢献する。また、森林では複数種の樹木によって構成されるが、気候変動に伴う森林の炭素動態の予測モデルは、通常、落葉分解に関する情報は単独状態での落葉の分解データしか組み込まれていない。そのため、本研究の成果は、森林生態系の炭素動態の予測においても重要な知見となる。さらに、人工林の広葉樹林化・針広混交林化などの多様性を考慮した森林整備での、土壌生態系への影響解明など応用的な研究への発展に貢献すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study examined the acceleration of decomposition through litter mixing in forests by conducting both field studies and microcosm experiments. The results revealed that increasing litter diversity did not lead to increased decomposition rates of coniferous species (*Tsuga diversifolia* and *Cryptomeria japonica*), but demonstrated that decomposition of maple species (*Acer rufinerve* and *A. pictum*) was promoted due to niche complementarity of decomposer microbial communities.

研究分野：微生物群集生態学

キーワード：土壌微生物 生物多様性-生態系機能 プライミング効果 ニッチ相補性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物の多様性が生態系においてどのような意味を持つのかは、「生物多様性-生態系機能」の問題として、生態学上の重要なトピックとして扱われている。地下部生態系の研究では、落葉の多様性を実験的に変化させ、土壌生物や生態系への影響を調べる研究が 1990 年代以降行われてきた。こうした研究により、混合状態での落葉分解率は、しばしば、単独での分解率よりも分解が促進する方向に逸脱することが知られるようになった。2000 年代に入ると、分解速度の予測のために植物形質を使用することで、混合状態での落葉分解プロセスを駆動する際の落葉の質に関する理解が向上した。しかしながら、落葉の中心的な分解者であるはずの微生物群集の動態を考慮し、落葉分解の促進プロセスを明らかにした研究はこれまでにない。

2. 研究の目的

樹木の生産する多様な落葉が森林土壌の生態系機能を向上させることが古くから指摘されている。しかし、落葉の多様性が土壌生態系に与える影響のメカニズムは、十分に明らかにされていない。本研究では、(1) 落葉組成と微生物群集の変化を野外調査により把握し、(2) 分解速度を促進させると考えられるプロセスを、落葉を混合させる室内実験により解明することを目標とした。具体的には、様々な形質の落葉の混合により分解速度を促進させるプロセスと考えられるプライミング効果仮説とニッチ相補性仮説を検証することを目標とした。プライミング効果仮説は、易分解性炭素濃度が高く分解の速い落葉が、分解者の活動と成長を促進させるため、難分解性の落葉が単独での分解よりも速くなるというものであり、ニッチ相補性仮説は、落葉の形質多様性が高いほど、分解者による資源の相補的な利用が高まり、分解速度が速くなるというものである。

3. 研究の方法

(1) 落葉組成と微生物群集の関係の把握

調査は、埼玉県秩父市の東京大学秩父演習林と茨城県城里町の桂試験地の二つの調査地で行った。秩父演習林は標高で植生が大きく異なり、亜高山帯域にコメツガが、山地帯にイヌブナなどの落葉広葉樹が優占している。桂試験地は 2.3ha ほどの山地小流域であり、斜面上部はコナラなどの落葉広葉樹が優占し、斜面下部はスギの人工林である。

秩父演習林では、標高に沿った 7 地点から計 70 サンプルの落葉と鉍質土壌を採取した。桂試験地では、山地小流域全体を網羅するように 53 地点から計 106 サンプルの落葉と鉍質土壌を採取した。また、落葉と土壌の pH・含水率・全炭素および全窒素量を測定した。採取した落葉と土壌から DNA を抽出し、微生物の群集構造と現存量の推定のために、真菌の rDNA ITS 領域および細菌の 16S rRNA 遺伝子領域を対象としたアンプリコンシーケンス解析と定量 PCR を行った。

(2) 落葉多様性が分解速度を促進させるプロセスの検証

分解速度を促進させるプロセスを明らかにするために、落葉を混合させた状態で分解させるマイクロコズム実験を行なった。マイクロコズムには、秩父演習林でリタートラップを設置して採取したコメツガ・イヌブナ・ウダイカンバ・ウリハダカエデの落葉とコメツガ林下の鉍質土壌、および茨城県北山国有林(桂試験地)で同様の方法で採取したスギ・コナラ・イヌシデ・イタヤカエデの落葉とスギ人工林下の鉍質土壌を用いた。コメツガ林やスギ林での広葉樹林化を想定し、コメツガあるいはスギ 1 種に広葉樹 1 種、2 種、3 種と組み合わせた時の各樹種の落葉分解率を培養 70 日後の乾燥重量の変化から測定した。また、培養後の落葉と土壌から DNA を抽出し、微生物の群集構造と現存量の推定のために、真菌の rDNA ITS 領域および細菌の 16S rRNA 遺伝子領域を対象としたアンプリコンシーケンス解析と定量 PCR を行った。

4. 研究成果

(1) 落葉組成と微生物群集の関係の把握

東京大学秩父演習林における標高傾度に沿った落葉組成と微生物群集の変化を把握した。菌類群集を似たような資源を似たような方法で獲得するグループ(ギルド)ごとに解析した結果、腐生菌の OTU 数(操作的分類群数)は標高とともに減少するが外生菌根菌の OTU 数は標高とともに増加するという真逆の傾向があることを発見した。環境要因との関連を調べた結果、腐生菌の OTU 数は土壌特性や樹木形質と関係がある一方で、外生菌根菌の OTU 数は気候や外生菌根性樹種の優占度と強い関係があることが分かった。落葉多様性と強い関係があると考えられる樹木形質の多様性は菌類群集とは関係がなかったものの、この研究は、標高に沿った菌類多様性のパターンをより良く理解するためには、ギルドに着目することが必要であることを明らかにした(図

1)

また、桂試験地における山地小流域スケールでの落葉組成と微生物群集の関係の把握も行った。その結果、落葉層では pH が、0-5 cm 土壌では pH・含水率・森林タイプが、直接的に細菌群集に影響を及ぼすことを明らかにした。また、細菌群集を説明しているこれらの土壌特性は全て相対的な斜面位置から影響を受けていることを明らかにした。

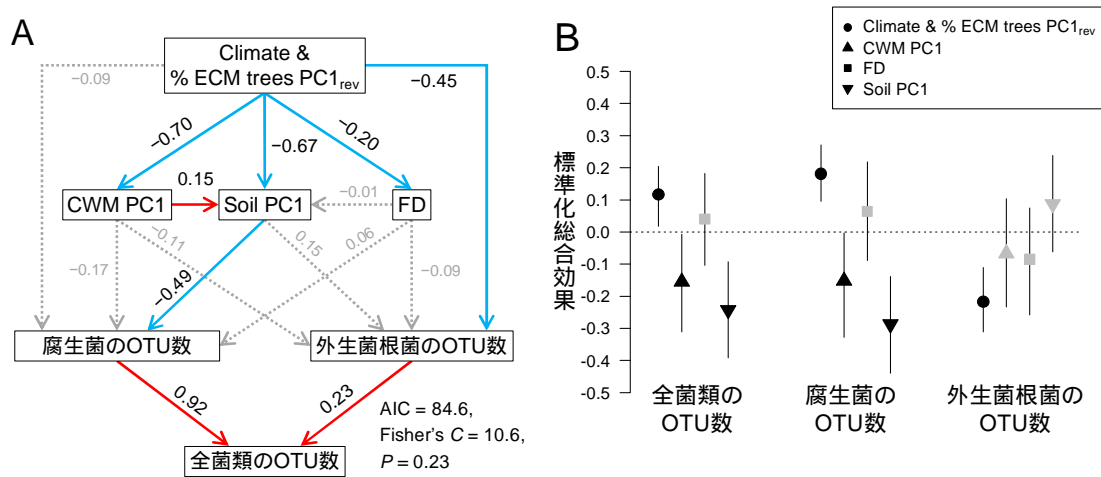


図1 (A) 土壌菌類の OTU 数と環境要因の関係を解析した構造方程式モデリングの結果。Climate & % ECM trees PC1_{rev} は気候と外生菌根性樹種の相対優占度の主成分分析の第 1 主成分軸の逆数、CWM PC1 は樹木形質 (SLA、材密度、葉の CN 比、葉の総フェノール量) の群集加重平均の第 1 主成分軸、FD は樹木形質の多様性、Soil PC1 は土壌特性 (pH、EC、含水率、CN 比) の第 1 主成分軸。(B) 各環境要因の標準化総合効果。総合効果は直接効果と間接効果の合計で表される。有意な効果は黒、有意でない効果は灰色で表している。

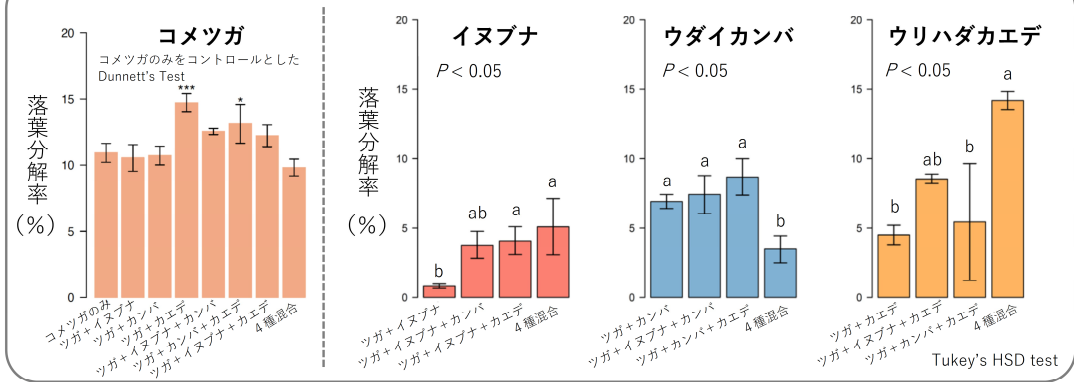
(2) 落葉多様性が分解速度を促進させるプロセスの検証

マイクロコズム試験の結果、コメツガやスギでは、落葉の多様性が増加しても分解率は促進しなかった (図 2)。つまり、これらの 2 つの樹種では、プライミング効果やニッチ相補性による落葉分解促進がないことが明らかになり、当初の想定とは異なる結果となった。また、スギ落葉では、落葉の多様性が増加すると真菌の DNA コピー数は増加するが、コメツガ落葉ではこの関係は有意ではなかった。一方で、どちらの樹種も落葉分解率と真菌の DNA コピー数・多様性は有意な負の関係を示していた。以上のことから、これらの針葉樹落葉において、落葉の多様性が増加すると微生物量は増加するが、菌類間の競争関係など負の関係性により、落葉分解が抑制されていることが示唆された。

一方で、カエデ属 (ウリハダカエデとイタヤカエデ) は、樹種の増加に伴う分解促進が認められた。カエデ属の落葉は他樹種の落葉に比べて、分解されやすいことから、カエデ落葉での落葉多様性と分解率の正の関係を説明するプロセスとして、プライミング効果は否定され、分解者微生物のニッチ相補性による分解促進効果が示唆された。

植物の落葉多様性と地下部の生態系プロセスの関係に関する研究は、大半が草地での植物を扱ったものであり、森林生態系での研究は十分に行われていなかった。したがって、本研究の成果は、森林土壌における「生物多様性-生態系機能」の関係の理解に大きく貢献する。また、森林では複数種の樹木によって構成されるのが通常であるが、気候変動に伴う森林の炭素動態の予測モデルは、通常、落葉分解に関する情報は単独状態での落葉の分解データしか組み込まれていない。そのため、本研究の成果は、森林生態系の炭素動態の予測においても重要な知見となる。さらに、人工林の広葉樹林化・針広混交林化などの多様性を考慮した森林整備での、土壌生態系への影響解明など応用的な研究への発展に貢献すると考えられる。

秩父演習林



桂試験地

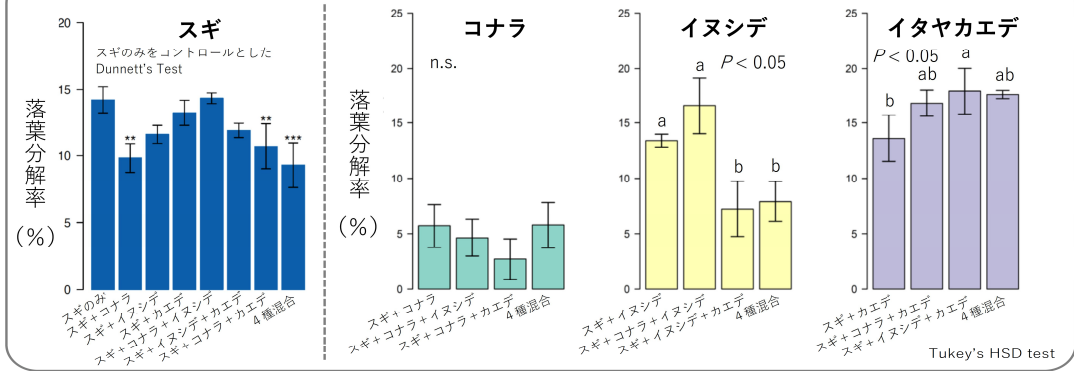


図2. 落葉混合のマイクロコスモ試験における各樹種の落葉分解率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hirao Toshihide, Fujii Masanori, Shigyo Nobuhiko, Kojima Hisaya, Fukui Manabu	4. 巻 87-88
2. 論文標題 Influence of understory vegetation on soil bacterial communities and nitrogen cycling gene abundance in cool-temperate and sub-alpine forests along an elevational gradient	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Pedobiologia	6. 最初と最後の頁 150746 ~ 150746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pedobi.2021.150746	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 Shigyo Nobuhiko, Furusawa Hitomi, Yamashita Naoyuki, Nagakura Junko, Manaka Takuya, Yamada Tsuyoshi, Hirai Keizo	4. 巻 214
2. 論文標題 Slope-induced factors shape bacterial communities in surface soils in a forested headwater catchment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CATENA	6. 最初と最後の頁 106253 ~ 106253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2022.106253	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shigyo Nobuhiko, Hirao Toshihide	4. 巻 50
2. 論文標題 Saprotrophic and ectomycorrhizal fungi exhibit contrasting richness patterns along elevational gradients in cool-temperate montane forests	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fungal Ecology	6. 最初と最後の頁 101036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.funeco.2020.101036	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7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 執行宣彦, 古澤仁美, 山下尚之, 長倉淳子, 眞中卓也, 山田毅, 平井敬三
2. 発表標題 斜面位置の変化に伴うリター層と鉱質土壌層の特性変化が山地小流域の細菌群集を形成する
3. 学会等名 日本微生物生態学会第34回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 執行宣彦, 古澤仁美, 阪田匡司, 細川奈々枝, 平井敬三
2. 発表標題 落葉の樹種による違いが鉍質土壌の硝化微生物群集に及ぼす影響
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 山田毅, 執行宣彦, 平井敬三, 佐野哲也, 長倉淳子, 西川祥子, 松岡秀尚
2. 発表標題 木質燃焼灰施用が施用4年後のスギ新植林分の土壌微生物相に及ぼす影響
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 執行宣彦, 古澤仁美, 山下尚之, 長倉淳子, 眞中卓也, 山田毅, 平井敬三
2. 発表標題 リター層と土壌層における細菌の群集と機能の小集水域スケール
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田毅, 平井敬三, 佐野哲也, 執行宣彦, 長倉淳子, 西川祥子, 松岡秀尚
2. 発表標題 木質燃焼灰施用後4年間にわたるスギ新植林分の土壌化学性の変化
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aye Myat Myat Paing, Shigyo Nobuhiko, Tsumura Yoshihiko, Yoshida Toshiya, Takagi Masahiro, Hisamoto Yoko, Goto Susumu
2. 発表標題 The relationship between fungal communities and growth of Betula ermnaii populations in five planting sites
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 Aye Myat Myat Paing, Shigyo Nobuhiko, Tsumura Yoshihiko, Takagi Masahiro, Hisamoto Yoko, Goto Susumu
2. 発表標題 Diversity of soil fungal communities associated with Betula ermanii in five transplanted sites
3. 学会等名 International Symposium of Long-term Forest Monitoring Research in Asia (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------