

令和 3 年 5 月 13 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05731

研究課題名（和文）菌類の機能形質に着目した多様性指標に基づく森林土壌の分解機能予測

研究課題名（英文）Predicting the decomposition functioning of forest soil based on the diversity index of fungal functional traits

研究代表者

大園 享司（Osono, Takashi）

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：90335307

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、分解機能を担う菌類の機能形質を集約して菌類群集の機能的多様性を評価し、菌類の機能的多様性と分解過程との関係を検討した。その結果、菌類544科の地理的分布と生態機能、69科218種の落葉分解力、菌界におけるホスファターゼ遺伝子の分布の各データを集約した。高山帯と亜北極のツンドラの菌類群集の機能的多様性を定量化し、大陸性南極ではコケの分解に伴って機能的多様性が増加する傾向を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生物多様性の変化が生態系機能に与える影響に近年注目が集まっており、なかでも生物多様性の機能的側面の重要性が指摘されてきた。本研究では、これまで研究例の少なかった菌類の機能形質や機能的多様性を実証することで、生物多様性科学において新規性の高い成果を得ることができた。この研究成果は、社会的課題となっている生物多様性保全において、これまで見過ごされてきた新たな指標の提案に繋がることを期待される。

研究成果の概要（英文）：The present study evaluated the functional diversity of fungal communities by summarizing the functional traits of fungi responsible for the decomposition and examined the relationship between the functional diversity of fungi and the decomposition process. Datasets were established on the geographical distribution and ecological function of 544 families of fungi, decomposing ability of 218 fungal species of 69 families, and the distribution of phosphatase genes in the kingdom Fungi. The functional diversity of fungi was quantified in alpine and subarctic tundra and was shown to increase with the decomposition of moss tissues in continental Antarctica.

研究分野：生態学

キーワード：菌類群集 植物リター 分解プロセス 機能的多様性

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 森林の土壌分解系は、落葉や落枝といった生物遺体の分解を通じて、栄養塩の循環や、土壌有機物の生成に深く関わっている。このため、森林生態系の物質循環や森林動態を理解する上で、物質生産や食物連鎖といった地上部における生態系プロセスのみならず、地下部の土壌分解系の構造や機能についての理解が不可欠である。土壌における分解のプロセスには、菌類などの微生物が大きく関与している。

(2) 土壌分解系の機能は、環境変動や伐採などの攪乱に直接的に影響されるだけでなく、それらにより引き起こされる菌類群集の多様性の変化にも影響されることが予想される。このような、生物多様性の変化が生態系機能に与える影響に、近年注目が集まっている。なかでも、生物多様性と生態系機能の関係を解明するための研究分野では、生物多様性の機能的な側面の重要性が指摘されている。

(3) すなわち、構成種のもつ環境との相互作用に影響する形質(すなわち、機能形質)や、機能形質の多様性(すなわち、機能的多様性)のほうが、従来から用いられてきた種多様性の指標(種数や均等度)よりも、より直接的に生態系機能に影響することが実証されている。ここでは機能的多様性を、「生物群集における構成種の機能形質の多次元性を定量化したもの」と定義する。森林土壌の菌類の種多様性に加えて、菌類の機能形質や機能的多様性を生態学的に評価することで、森林土壌の分解機能についてより詳細に評価できると考えられる。

(4) 本研究では、森林土壌における菌類の機能的多様性と分解のプロセスとの関係を実証した。森林土壌において分解機能を担う菌類に注目して、その機能形質をデータベース化し、菌類群集の機能的多様性を定量化するとともに、菌類の機能的多様性と分解プロセスとの関係を明らかにした。

2. 研究の目的

森林土壌において分解機能を担う菌類を対象に、その機能形質をデータベース化し、菌類群集の機能的多様性を定量化するとともに、菌類の機能的多様性と分解プロセスとの関係を実証的に明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 菌類の科レベルの生態特性を網羅的に集約したモノグラフ「Fungal Families of the World」(Cannon & Kirk, 2007)に掲載された機能形質をデータベース化した。次に、これまでに実施された落葉分解菌類を対象とした培養系での接種試験のデータ(Osono, 2020)を総合化し、データベース化した。さらに、菌類ゲノムデータベース MycoCosm (Grigoriev et al., 2014)の解析により、有機リン化合物の加水分解に関与する酵素であるホスファターゼの遺伝子の菌界における分布を特定した。

(2) 分解機能に直接的に関わる植物基質の分解酵素活性を、バイオログ社のエコプレート(Biolog EcoPlate™)を用いて評価した。スタジイ落葉から分離した担子菌類と子嚢菌類の菌株52サンプルと、大陸性南極で採取したオオハリガネゴケ群落の微生物群集200サンプルについて、炭水化物、カルボン酸、アミン、アミノ酸、リン酸塩炭素など計31種の基質の分解酵素活性プロファイルを調べた。

(3) 本研究で構築した機能形質データベースと、菌類群集データの2つを組み合わせ、菌類群集の機能的多様性を定量化した。菌類群集データには、カナダの高山帯の氷河後退域における一次遷移および標高傾度に沿った植物(エンゲルマントウヒ、ヤナギ類、キバナチョウノスケソウ)の落葉における菌類遷移データと、同じくカナダ亜北極ツンドラで採取したシモフリゴケとトウヒの落葉の菌類群集データを用いた。菌類群集を調べたのと同じ落葉サンプルの化学組成データを用いて、菌類の機能的多様性と分解プロセスとの関係を検討した。

4. 研究成果

(1) 「Fungal Families of the World」に掲載された、菌界の高次分類群である担子菌類、子嚢菌類、ケカビ類、コウマクノウキン類、ツボカビ類、ネオカリマスチクス類の544科に関する機能形質(地理的分布、生態機能)のデータを集約した。次に、熱帯林、温帯林、および極域ツンドラに由来する担子菌類、子嚢菌類、ケカビ類の計69科218種を対象とした、のべ1232件の落葉分解力およびリグニン分解力のデータを集約し、分解において重要な役割を果たすリグニン分解菌の機能的多様性を定量化した。さらに、陸域生態系における物質生産の律速要因として重要なリンの土壌中での循環に関わるリン溶解菌として、担子菌類、子嚢菌類、ケカビ類に分類

される 50 属を報告し、それらの生態に関する情報を集約した。菌類ゲノムデータベースの 1679 種の菌類ゲノムを対象とした解析により、アルカリホスファターゼ、酸ホスファターゼ、ホスホジエステラーゼの遺伝子は菌類のほとんどの高次分類群で認められたが、その一方で、3-フィターゼの遺伝子はディカリア（担子菌類、子囊菌類）にほぼ限定されることが示された（図 1）。

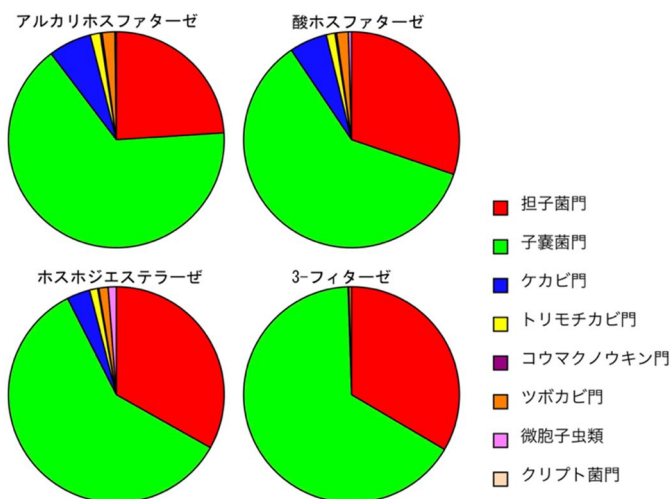


図 1 ホスファターゼ遺伝子を有する菌類の分類群組成

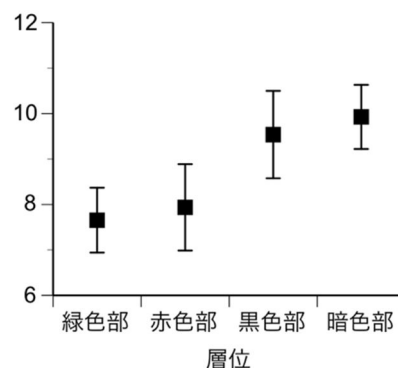


図 2 オオハリガネゴケの分解に伴う基質利用の多様性の変化。値はシンプソンの多様度指数。緑色部から暗色部に向かって分解が進行する。

(2) スダジイ落葉の分解に関わる菌類の基質利用を評価し、多様度指数を用いて定量化した。落葉分解菌類の基質利用の多様性は、担子菌類と子囊菌類で差が認められなかった。子囊菌類について詳しく解析したところ、分離菌株の産地、産地の気候条件（年平均気温、年降水量、最大積雪深）および菌類の分子系統学的な位置が、基質利用に影響することが明らかになった。大陸性南極のオオハリガネゴケ群落では、コケ組織の分解にともなって基質利用の多様性が増加する傾向が認められた（図 2）。基質利用の多様性と、コケ組織の化学組成やそこに定着する菌類の種多様性とのあいだに有意な相関関係が認められたことから、菌類種の定着に伴って利用可能な基質数が増加し、それに伴い化学組成の変化が引き起こされることが示唆された。

(3) 落葉分解菌類の機能形質データと群集データを結合して、菌類群集の機能的多様性を定量化した。高山帯の氷河の後退にともなう生態系の発達段階で比較すると、氷河後退直後には厳しい環境条件への耐性を有する機能的に類似性の高い科からなる菌類群集が成立していることが示された。氷河後退にともなう生態系の一次遷移の進行にともない、機能的多様性にみられるそのような傾向は弱まっていた。菌類の分類学的多様性は、氷河後退からの年代と植物の種により有意に変化した。次に、山岳地帯の標高 800 ~ 1600 メートルの範囲で標高にともなう変化をみると、標高の違いはトウヒ類落葉上の菌類の機能的多様性および分類学的多様性に影響していなかった。亜北極ツンドラの優占植物種であるシモフリゴケとシロトウヒで比較したところ、菌類群集の機能的多様性は宿主植物間で差が認められなかった一方、分類学的多様性はシロトウヒよりシモフリゴケで高い傾向が認められた。高山帯と亜北極ツンドラのいずれにおいても、菌類群集の機能的多様性と落葉の炭素率とのあいだに関連性は認められなかった。

< 引用文献 >

Cannon, P.F., Kirk, P.M., 2007. Fungal families of the world. CABI, Wallingford.
 Osono, T., 2020 Functional diversity of ligninolytic fungi associated with leaf litter decomposition. Ecol. Res. 35, 30-43.
 Grigoriev, I.V., Nikitin, R., Haridas, S., Kuo, A., Ohm, R., Otilar, R., Riley, R., Salamov, A., Zhao, X., Korzeniewski, F., Smirnova, T., Nordberg, H., Dubchak, I., Shabalov, I. (2014) MycoCosm portal: gearing up for 1000 fungal genomes. Nucleic Acids Res. 42, D699-D704.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Matsuoka S., Iwasaki T., Sugiyama Y., Kawaguchi E., Doi H. & Osono T.	4. 巻 10
2. 論文標題 Biogeographic patterns of ectomycorrhizal fungal communities associated with <i>Castanopsis sieboldii</i> across the Japanese archipelago	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 2656
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fmicb.2019.02656	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 Matsuoka S., Ogisu Y., Sakoh S., Hobara S. & Osono T.	4. 巻 21
2. 論文標題 Taxonomic, functional, and phylogenetic diversity of fungi along primary successional and elevational gradients near Mount Robson, British Columbia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 165-171
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.polar.2018.09.004	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 Osono T.	4. 巻 35
2. 論文標題 Functional diversity of ligninolytic fungi associated with leaf litter decomposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 30-43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/1440-1703.12063	査読の有無 無
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 Matsuoka S., Suzuki Y., Hobara S. & Osono T.	4. 巻 35
2. 論文標題 Fungal succession and decomposition of composted aquatic plants applied to soil	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fungal Ecology	6. 最初と最後の頁 34-41
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.funeco.2018.06.005	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 大園享司	4. 巻 68
2. 論文標題 環境変化と菌類群集：熱帯から極域まで	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本生態学会誌	6. 最初と最後の頁 149-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18960/seitai.68.3_149	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 Tanabe Y., Hori M., Mizuno A., Osono T., Uchida M., Kudoh S. & Yamamuro M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Light quality determines primary production in nutrient-poor small lakes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-41003-9	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 Matsuoka S., Ogisu Y., Sakoh S. & Osono T.	4. 巻 19
2. 論文標題 Taxonomic, functional, and phylogenetic diversity of fungi along primary successional and elevational gradients near Mount Robson, British Columbia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polar Science	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) 10.1016/j.polar.2018.09.004	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 大園享司	4. 巻 72
2. 論文標題 過剰な養分供給に対する土壌分解系と菌類の応答：カワウ営巣林における事例	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土と微生物	6. 最初と最後の頁 73-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18946/jssm.72.2_73	査読の有無 無
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 大園享司	4. 巻 2018年10月号
2. 論文標題 生態系の中での分解菌(キノコ・カビ)の暮らしとはたらし	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 理科教室	6. 最初と最後の頁 46-53
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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18件(うち招待講演 2件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Matsuoka S., Doi H., Masumoto S., Kitagawa R., Nishizawa K., Tanaka K., Hasegawa M., Osono T., Hobara S., Mori A.S., Uchida M.
2. 発表標題 Fungal diversity in a forest-tundra ecotone in Canadian Low Arctic
3. 学会等名 Sixth International Symposium on the Arctic Research (ISAR-6) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Osono T., Matsuoka S., Fujinaga S., Kobayashi Y., Hobara S.
2. 発表標題 Bacterial 16S rDNA and alkaline phosphatase gene diversity in soil applied with composted aquatic plants
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本太輝・松岡俊将・保原達・長谷川元洋・大園享司
2. 発表標題 水草堆肥が土壤微生物群集の基質利用性に与える影響
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田淵航平・松岡俊将・長谷川元洋・大園享司
2. 発表標題 スダジイ落葉の分解に関わるリグニン分解菌の基質利用性評価
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武久翔悟・松岡俊将・長谷川元洋・大園享司
2. 発表標題 クリ落葉に見られる菌類の生態調査
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秦野悠貴・上野山夏子・前川裕哉・松岡俊将・長谷川元洋・大園享司
2. 発表標題 成長度合いの異なる葉でのグラスエンドファイトの分離率と他の内生菌との拮抗作用
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永田祐大・松岡俊将・長谷川元洋・大園享司
2. 発表標題 南極大陸でのコケ植物における周辺土壌生物の活性が分解に与える影響
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山賢子・村田政穂・奈良一秀・大園享司
2. 発表標題 菌類の個体群・群集動態 - 外生菌根菌の事例より
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大園享司・広瀬大
2. 発表標題 熱帯・亜熱帯樹木の内生菌は落葉の漂白に関わるのか
3. 学会等名 第130回大会日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大園享司
2. 発表標題 過剰な養分供給に対する土壌分解系と真菌類の応答：カワウ営巣林における事例
3. 学会等名 日本土壌微生物学会2018年度広島大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大園享司
2. 発表標題 授業では役に立たないかもしれない菌類の話：系統・ライフスタイル・生態
3. 学会等名 平成30年度大阪府高等学校生物教育研究会総会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masumoto S., Kitagawa R., Kaneko R., Nishizawa K., Iimura Y., Osono T., Hasegawa M., Uchida M., Mori A.S.
2. 発表標題 Effect of plant community structure on soil respiration of tundra ecosystem through multiple ecosystem functions in Canadian Arctic
3. 学会等名 14th ArcticNet Annual Scientific Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kitagawa R., Kaneko R., Hasegawa M., Matsuoka S., Masumoto S., Nishizawa K., Osono T., Uchida M., Mori A.S.
2. 発表標題 Change in multi-taxa communities along a environmental gradient in the Canadian subarctic tundra
3. 学会等名 14th ArcticNet Annual Scientific Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osono T., Matsuoka S., Kobayashi Y., Hobara S.
2. 発表標題 Identification of microbial drivers promoting plant yield on soil amended with composted aquatic plants
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本卓也・松岡俊将・小林真・森章・大園享司
2. 発表標題 知床半島の3植生タイプにおける菌類多様性と環境要因の関連評価
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉山賢子・松岡俊将・大園享司
2. 発表標題 樹種による外生菌根菌群集の地理構造の違い
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川元洋・北川涼・増本翔太・西澤啓太・大園享司・内田雅己・森章
2. 発表標題 カナダ東部のツンドラ植生における中型土壤動物群集構造の緯度にもなう変化
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Osono T., Azuma J.I., Hirose D.
2. 発表標題 Plant species effect on the decomposition and chemical changes of leaf litter in grassland and pine and oak forest soils
3. 学会等名 第129回大会日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 Osono T., Matsuoka S., Hobara S., Hirose D. & Uchida M.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 146
3. 書名 Fungi in Polar Regions	

1. 著者名 菱拓雄・大園享司	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 184
3. 書名 森林生態学	

1. 著者名 大園享司	4. 発行年 2018年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 272
3. 書名 基礎から学べる菌類生態学	

1. 著者名 大園享司	4. 発行年 2018年
2. 出版社 ベレ出版	5. 総ページ数 205
3. 書名 生き物はどのように土にかえるのか 動植物の死骸をめぐる分解の生物学	

1. 著者名 大園享司	4. 発行年 2018年
2. 出版社 文一総合出版	5. 総ページ数 236
3. 書名 生物学者、地球を行く～まだ知らない生きものを調べに、深海から宇宙まで	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Ecology & Biodiversity, Doshisha University
<https://www1.doshisha.ac.jp/~tosono/>

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