

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22444

研究課題名（和文）菌類の種間競争と有機物分解の関係を炭素配分戦略からモデル化する

研究課題名（英文）Carbon allocation model for explaining fungal interspecific interaction and decomposition

研究代表者

深澤 遊（Fukasawa, Yu）

東北大学・農学研究科・助教

研究者番号：30594808

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：炭素配分の異なる菌種間競争をエージェントベースなアプローチによって記述し、競争を伴う群集構造形成や材分解プロセスを理解するためのコンピュータシミュレーションモデルの構築に取り組んだ。構築したモデルは菌糸体をエージェントとし、生長や二次代謝物質の生産・栄養の運搬などをエージェントの行動ルールとして記述した。また、二次代謝物質が他菌種の生長に及ぼす影響を相互作用として記述したり、温度環境による行動ルールの変化などをモデルに取り入れた。このようなモデルに基づいて、これまでに2種の種間競争を再現できるグラフィカルなシミュレータを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

菌種間競争を説明する有効なモデルの構築は長年追求されてきた研究課題であるが、これまで化学分析や遺伝子解析等における技術的な限界のために明確なモデルを示すことができなかった。本研究は、複雑な菌類群集の分解機能という生態学的に極めて重要なテーマにおける有効なブレイクスルーを提案できると考えられ、挑戦する意義は大きい。その成果からは、温暖化による炭素循環への影響の予測精度向上や、効率的なバイオマスエネルギー変換法など、様々な分野への応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：To demonstrate fungal interspecific competition by computer simulation, we developed agent-based model including carbon allocation strategies of fungi. The model consists of mycelia as agents, their growth, secondary metabolites production, and nutrient transfer as behavioural tactics. Also, we described the effect of secondary metabolites on competitor's growth as interspecific interactions, and the effects of temperature stress on fungal behavioural tactics. Based on this model, we developed an computer simulator to represent fungal competition.

研究分野：菌類生態学

キーワード：菌類 競争 シミュレーション 炭素配分 トレードオフ 分解

1. 研究開始当初の背景

菌類は陸上生態系で有機物の無機化を担う主要な生物群だが、多種の菌種からなる菌類群集の有機物分解機能を、単一種の菌類の分解機能から予測することは困難である。その理由は、2種以上の菌類が存在すると有機物をめぐる競争が起こり、その結果が菌類群集の組成に影響するだけでなく、競争のコストが各菌類の分解機能自体に影響する可能性があるためである。種間競争は生物群集を形作る上で重要なメカニズムの一つだが、菌類では種間競争を説明する有効なモデルが未だ提案されていない。動物や植物と異なり、「資源空間の排他的占有によるコロニーの確立」および「細胞外酵素の分泌による有機物の分解と再吸収」を特徴とする菌類の種間競争の理解には、空間獲得競争と資源利用を基軸とした新たなモデルが必要とされている。菌糸体同士が遭遇すると、菌糸体の高密度化や二次代謝物質・酵素の生産、CO₂ 放出が活発になることから、種間競争は菌糸体にとって炭素コストになると考えられている。このコストが菌類の有機物分解にどう影響するかには2つの可能性がある。一つ目は、不足する炭素を獲得するために有機物分解を活発化させる可能性。二つ目は、炭素が競争に使われて不足するために分解に必要な酵素生産が行えず、分解が阻害される可能性。密接に関係する菌種間競争と有機物分解の関係を理解するためには、菌類が有機物分解によって得た炭素を、競争のための二次代謝物質生産、有機物分解のための酵素生産、生長、呼吸のどれに配分するかという炭素配分戦略を詳細に明らかにする必要がある。しかしこれまでは、2種以上の共存下で菌類の生産した物質とその由来を網羅的に特定することが困難であった。

2. 研究の目的

本研究では、近年発達した高解像度の分子同定法と遺伝子発現解析を併用することで、競争下での菌類の有機物分解と炭素配分戦略の関係を推定する。得られたデータを用いたシミュレーションにより、菌類の空間獲得競争、炭素配分戦略、有機物分解の3者関係を説明するモデルを構築することを目指す。

3. 研究の方法

(1) フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴型質量分析器 (FT-ICR MS) による二次代謝物質・酵素の網羅的な同定

本分析法は、多種の物質が混合した試料の分析において極めて分解能が高く、分子種の推定やデータベース検索による分子の特定を行うことが可能である。これにより、菌類が生産した二次代謝物質や酵素を網羅的に同定できる。実験では、既知の炭素源を含んだ液体培地に、2種の菌類を単独あるいは同時に接種する。培養中のCO₂ 放出量、培養終了後の菌糸体重量、培養濾液の成分を分析し、培養前と比較することで、培地中の炭素源の減少量がCO₂、菌糸体、および二次代謝物質・酵素に変換された内訳を計算する。これを単独培養時と競争時と比較することで、競争が菌類の炭素配分戦略と培地の炭素消費量に与えた影響を評価する。

(2) 遺伝子発現分析による菌種別の代謝活性評価

ただし、上記のCO₂、菌糸体、二次代謝物質・酵素の内訳は2種の菌由来のものが混合

した状態である。菌糸体から抽出した DNA を種特異的プライマーで定量 PCR することで、DNA 量から菌種別の菌糸体量を推定する。また、RNA を抽出してトランスクリプトーム分析を行い、各菌種の菌糸体で発現している遺伝子の定量とその機能の同定を行うことで、濾液の分析で得られた物質の由来となった菌種を推定する。

(3) マルチエージェントシミュレーション (MAS) による菌類の空間獲得競争のモデル化

菌類の炭素配分戦略に加え、基質有機物の炭素利用可能性をパラメータとして炭素基質上での菌糸体の空間獲得競争をシミュレートする。その結果示された菌類の空間占有パターンと各菌類の炭素配分戦略から、有機物分解へのフィードバックを推定する。

4. 研究成果

アカマツ枯死木に優占する菌類の中から、炭素配分が異なると期待される褐色腐朽菌マツオウジおよび白色腐朽菌シハイタケの菌株を用い、30 と 35 の温度条件下で純粋培養及び 2 種の対峙培養を 25 日間行った。培養後、菌糸体重量、CO₂ 放出量、培養液の成分、対峙培養における菌糸被覆率を調べた。結果、30 に比べ 35 で菌糸体重量が減少し、CO₂ 放出量が増加したことから 35 では両種とも高温ストレスを受けていると言えた。菌糸体重量当たりの有機酸生産量は種により異なり、特にシハイタケでは 35 で酢酸生産量の著しい減少がみられた。また、対峙培養では 35 でマツオウジが優占することが示され、一般化線形混合モデルを用いた変数選択の結果、菌糸被覆率は CO₂ 放出量、酢酸生産量で説明できた。以上から、温度変化が木材腐朽菌の物質生産量を変えることで種間競争に影響することが示唆された。

炭素配分の異なる菌種間競争をエージェントベースなアプローチによって記述し、競争を伴う群集構造形成や材分解プロセスを理解するためのコンピュータシミュレーションモデルの構築に取り組んだ。構築したモデルは菌糸体をエージェントとし、生長や二次代謝物質の生産・栄養の運搬などをエージェントの行動ルールとして記述した。また、二次代謝物質が他菌種の生長に及ぼす影響を相互作用として記述したり、温度環境による行動ルールの変化などをモデルに取り入れた。このようなモデルに基づいて、これまでに 2 種の種間競争を再現できるグラフィカルなシミュレータを開発した。さらに現在、3 種間以上の競争を扱ったり、各種パラメータを連動的に変化させながら多数回のシミュレーションケースを実行できるシミュレータの開発に取り組んでいる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yu Fukasawa, Koji Kaga	4. 巻 10
2. 論文標題 Effects of wood resource size and decomposition on hyphal outgrowth of a cord-forming basidiomycete, <i>Phanerochaete velutina</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 21936
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 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 深澤遊	4. 巻 78
2. 論文標題 菌類の菌糸体ネットワークにみられる「記憶と決断」	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 B&I（バイオサイエンスとインダストリー）	6. 最初と最後の頁 406, 407
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 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 Yu Fukasawa	4. 巻 17
2. 論文標題 How does wood-inhabiting fungal community affect forest recovery after deforestation events in subalpine coniferous forest?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Integrated Field Science	6. 最初と最後の頁 12, 14
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 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 Kenji Seiwa, Yuki Negishi, YukinoEto, Masahiro Hishida, Kazuhiko Masaka, Yu Fukasawa, Kimiyo Matsukura, Masanori Suzuki	4. 巻 468
2. 論文標題 Successful seedling establishment of arbuscular mycorrhizal- compared to ectomycorrhizal-associated hardwoods in arbuscular cedar plantations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 118155
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 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 Wulantuya, Kazuhiko Masaka, Bayandala, Yu Fukasawa, Kimiyo Matsukura, Kenji Seiwa	4. 巻 192
2. 論文標題 Gap creation alters the mode of conspecific distance-dependent seedling establishment via changes in the relative influence of pathogens and mycorrhizae	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Oecologia	6. 最初と最後の頁 449, 462
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 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 Yu Fukasawa, Melanie Savoury, Lynne Boddy	4. 巻 14
2. 論文標題 Ecological memory and relocation decisions in fungal mycelial networks: responses to quality and location of new resources	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The ISME Journal	6. 最初と最後の頁 380, 388
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 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 該当する

1. 著者名 Yu Fukasawa, Yoko Ando, Satoshi Suzuki, Mineaki Aizawa, Daisuke Sakuma	4. 巻 50
2. 論文標題 Climate influences the effect of fungal decay type on regeneration of <i>Picea jezoensis</i> var. <i>hondoensis</i> seedlings on decaying logs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Canadian Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 73, 79
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 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 Fukasawa Yu, Matsukura Kimiyo	4. 巻 11
2. 論文標題 Decay stages of wood and associated fungal communities characterise diversity?decomposition relationships	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8972
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-88580-2	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 Fukasawa Yu, Kaga Koji	4. 巻 8
2. 論文標題 Surface Area of Wood Influences the Effects of Fungal Interspecific Interaction on Wood Decomposition? A Case Study Based on Pinus densiflora and Selected White Rot Fungi	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Fungi	6. 最初と最後の頁 517 ~ 517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jof8050517	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 -

[学会発表] 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Yu Fukasawa, Mark Fricker, Lynne Boddy
2. 発表標題 Behavioural responses of fungal mycelium to collembola grazing
3. 学会等名 Annual meeting of the British Ecological Society: Festival of Ecology
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yu Fukasawa, Kimiyo Matsukura
2. 発表標題 Wood decay stage and associated fungal community characterize diversity-decay relationship
3. 学会等名 Annual meeting of the Mycological Society of America: Mycology from the Cloud
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yu Fukasawa
2. 発表標題 Pine (Pinus densiflora) deadwood act as hotspots for seedling regeneration after pine dieback caused by pine wilt disease
3. 学会等名 The 17th International Symposium of Integrated Field Science
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北畠寛之・深澤遊
2. 発表標題 倒木の腐朽型が樹木実生の倒木上更新に与える影響
3. 学会等名 日本生態学会東北地区会第65回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深澤遊・松倉君予・小林真・鈴木智之・小南裕志・高木正博・田中延亮・竹本周平・衣浦晴生・岡野邦宏・上村真由子・門脇浩明・山下聡・潮雅之
2. 発表標題 コロナ枯死木の分解初期に関わる菌類群集の地理分布
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深澤遊
2. 発表標題 菌類の菌糸体に見られる「知性」
3. 学会等名 第9回東北脳科学ウィンタースクール
4. 発表年 2020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
研究 分担 者	上村 真由子 (Jomura Mayuko) (60444569)	日本大学・生物資源科学部・准教授 (32665)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	井手 淳一郎 (Ide Jun'ichirou) (70606756)	公立千歳科学技術大学・理工学部・准教授 (20106)	
研究分担者	三浦 政司 (Miura Masashi) (80623537)	鳥取大学・地域価値創造研究教育機構・准教授 (15101)	

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