

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K14488

研究課題名(和文) 樹木根系における種の識別法の確立：生物多様性の役割の解明を目指して

研究課題名(英文) Identification of tree species by fine root traits

研究代表者

牧田 直樹 (Makita, Naoki)

信州大学・学術研究院理学系・助教

研究者番号：40723086

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：樹木根の種の識別法の確立を行うことを目的に、多様な樹種の根系の形態・化学・解剖・生理測定を統合的に行った。それぞれの根特性は、種間で有意に異なっており、特に系統学種と菌根菌タイプによって区別されることが明らかとなった。本研究の結果から、樹木根系の種特異的な性質(資源獲得能および防御機能)を特徴づけることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、根系の種の識別を可能とし、種の多様性と生態系機能の関係を評価することに寄与できる群落レベルにおける根系の種ごとの現存量・生産量が評価できるようになれば、根の成長や枯死、種の競争、住み分け、物質循環の環境応答といった現象が細根の種/形質の多様性とあわせて考察できる。このことは、土壤炭素動態のメカニズムの解明やモデル化の精緻化にも繋がり、その波及効果は大きいと期待する。

研究成果の概要(英文)：Understanding the differences in fine-root traits among different species is essential to gain a detailed understanding of resource conservation and acquisition strategies of plants. I aimed to explore whether certain root traits are consistent among subsets of species and characterize species together into meaningful community groups. Significant differences were observed in all root traits. I identified clusters of species based on their multidimensional root traits that were consistent with the different phylogenetic microbial association groups. I consider that the advances in root traits combination will make a breakthrough in our ability to differentiate the community groups rather than individual root trait.

研究分野：森林生態学

キーワード：細根 菌根菌 系統学種 根特性 資源獲得機能

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。

1. 研究開始当初の背景

水や栄養塩類などの吸収を担う細根（一般に直径 2 mm 以下）は、樹木全体の数%の現存量しかないものの、生理活性が高いことから、粗根に比べて呼吸速度が著しく高く、多くの CO₂ を放出する (Makita et al. 2009, 2012 Tree Physiology)。また細根は、成長・枯死によって炭素が入れ替わる速度（回転率）が高く、その生産量は系全体の純一次生産の約 50% を占める (Finer et al. 2011 Forest Ecology & Management)。仮に細根の寿命が一年の場合、年間の光合成産物の半分近くが細根、そして枯死根を経由して速やかに土壤有機炭素として土壤へ供給されることになる (Makita et al. 2015 Plant Soil)。このような樹木細根の性質を正確に理解することは、炭素循環プロセスを評価する上で必要不可欠な課題である。

樹木細根の機能は樹種を問わず共通のものであるが、野外で実際に根を観察してみると、その姿は実に様々である。多くの植物図鑑では、植物の種名ごとに葉や樹皮の色や形状の特徴が詳細に示されており、種の検索法は確立されている。一方、植物の根の種識別に関しては、色や形状、性質等の情報が乏しく確立には至っていない。この結果、様々な種が入り交じっている自然生態系での地下部の研究では、その識別の困難さゆえに、根の種を特定せず、「根」という区分でひとくくりに扱っているのが残念ながら現状である。近年、地下部の高い多様性が、地上部の生物多様性や陸域生態系機能の形成に大きく寄与していることを示す仮説が増加しつつある (Bardgett & Putten 2014 Nature)。しかしながら、対象とした根が野外で特定できないことには、種数を評価することができず仮説を実証することは難しい。さらに、前述の細根の炭素循環に関しても種の特定が可能になれば、樹種ごとの環境応答や多様性の意義をより正確に評価することが可能となる。根の種識別法の確立と既存の研究プロセスの融合は生態系サービスを評価する上でも今まさに求められている緊迫の課題である。

2. 研究の目的

樹木細根系の特性を表す外見・内面の形質データを統合し、種の識別法の確立を行うことを目的とする。具体的には、次の 4 つの課題を遂行した。

- ① 樹木細根の形態特性と化学特性の種間差の解明
- ② 樹木細根の解剖特性の種間差の解明
- ③ 樹木細根の滲出物の種間差の解明
- ④ 近赤外分光法を用いた樹木細根の種間差の解明

3. 研究の方法

- ① 樹木細根の形態特性と化学特性の種間差の解明

樹木細根は養水分吸収の主要な器官であり、植物の生産や森林の物質循環に重要である。根特性における種間差は、植物の資源の保守と獲得に基づいた生存戦略に関連すると言われている。したがって、多様な樹種の細根特性を明らかにすることは、植物の生存戦略や植物および森林の生態系機能における細根の役割を詳細に理解するために重要である。本研究は、2 つの系統学種（裸子植物、被子植物）および 3 つの共生菌タイプ（外生菌、内生菌、根粒菌）に分類できる 11 樹種の細根系が、7 項目の根特性によってどのように特徴づけられるのか調査した。長野県南部の温帯林に生育する 11 樹種の細根系を採取し、形態特性（分岐頻度、根組織密度、比根長）、化学特性（窒素、カリウム濃度）および解剖特性（中心柱、皮層体積）を測定した。

- ② 樹木細根の解剖特性の種間差の解明

縮合型タンニン (CT) は、植物の構造的な防御において、また草食動物や環境ストレスに対する耐性において重要な化合物である。しかしながら、木本植物の細根内における CT の役割と分布についての詳細は不明である。木本植物の多様な種の細根における CT の役割を理解するために、異なる共生グループ（外生菌根および内生菌根）の 20 樹種の根組織に集積した CT の局在を調べ、中心柱および皮層との関係性を評価した。20 種の成木の根系を北海道大学苫小牧研究林で採取した。根系を 1 次、2-3 次、4 次、4 次より大きい次次根に分け、凍結横断切片を作成し、CT をパラ-ジメチルアミノ桂皮酸アルデヒド溶液で染色した。顕微鏡画像から、皮層と中心柱の幅、CT の集積面積を測定した (図 1)。

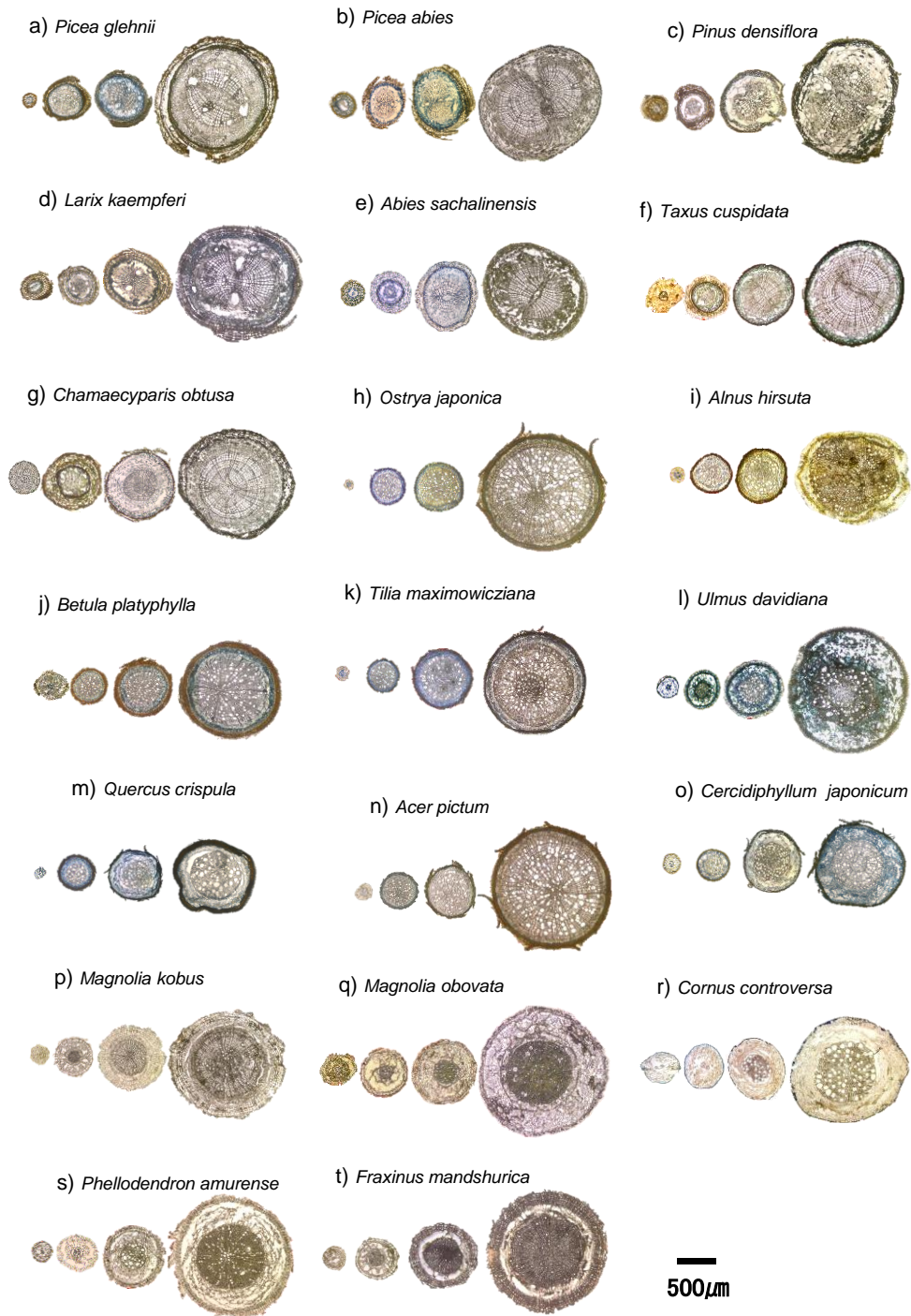


図1 20樹種の解剖用断面

③ 樹木細根の滲出物の種間差の解明

根が滲出させる多様な有機化合物は、根の栄養獲得や生存のために利用されるが、野外の樹木細根が実際どのような物質を滲出させているのか、また樹種によってどれほど異なるのかは憶測の域を出ない。本研究では、根滲出物の樹種間差を明らかにするため、菌根菌タイプと系統学的グループの異なる樹種を対象として9樹種の総炭素滲出速度および一次代謝産物であるアミノ酸・有機酸・糖を定量化した。夏季に、冷温帯森林において、裸子—外生菌のアカマツとカラマツ、裸子—内生菌のスギとヒノキ、被子—外生菌のクリとコナラとシラカバ、被子—内生菌のホオノキとクルミの成木の細根を対象に調査を行った。サンプル根にフィルターを接触させ滲出物を採取し、総炭素滲出速度はCN分析器、一次代謝産物はフィルターから水で抽出したのちLC-MSを使用して測定した。

④ 近赤外分光法を用いた樹木細根の種間差の解明

一般に可視-近赤外波長の連続分光反射率の測定は、植物体の色素や有機物などの化学組成、

細胞の成長段階を反映するため、葉や果実において非破壊かつ多角的な評価を可能にしている。本研究では、分光技術を土壌からの養水分吸収の役割を果たす樹木細根に用いた。細根の反射率に樹種間で違いがあるかを調べるとともに、寿命や生理機能を表す根特性と反射率の関係から、細根の反射率が表現する根の性質を明らかにすることを目的とした。対象樹種は、長野県南部の温帯林における針葉樹 5 種と広葉樹 7 種の計 12 種とした。対象木から根系を辿り細根系を採取し、洗浄した。根端から分岐を数えた次数分類を用いて、1 次根から 4 次根までの無傷な根系を測定サンプルとし、427-977 nm (3.6 nm 刻み、153 バンド)の連続分光反射画像を撮影した。その後、4 次根系の形態(平均根直径、比根長、根組織密度)、化学(窒素、カルシウム、カリウム濃度)および解剖(中心柱/皮層割合)を測定し、連続分光反射率との関係を解析した。

4. 研究成果

① 樹木細根の形態特性と化学特性の種間差の解明

形態特性(分岐頻度、根組織密度、比根長)、化学特性(窒素、カリウム濃度)および解剖特性(中心柱、皮層体積)の 7 項目の根特性は、11 樹種間で有意に異なった。分岐頻度は外生菌根が内生菌根よりも高く、比根長は被子植物が裸子植物よりも高い傾向があった。窒素、カリウム濃度および中心柱、皮層体積は根粒菌共生種が 11 樹種の中で最も高かった。これより 11 樹種の細根系には種特異性がみられ、この種特異性は系統学種と共生菌タイプに関連する可能性が示された。7 項目の根特性の中で最も 11 樹種間のばらつきが大きかったのは分岐頻度であり、分岐頻度が樹種間差を最も表す根特性であることが示唆された。根組織密度を除く 6 項目の根特性を用いた主成分分析の結果、11 樹種は系統学種および共生菌タイプが異なる 5 つの樹種グループにおおよそ区別された。これによって本研究で対象とした 11 樹種は、7 項目の根特性に基づいて系統学種と菌共生タイプの両方によって特徴づけられることが明らかになり、この樹種間の根特性の違いは種特異的な根の生存戦略を表していると考えられる。本研究の一部の成果は、Yahara et al. (2019 *Oecologia*)で報告している。

② 樹木細根の解剖特性の種間差の解明

縮合型タンニン (CT) の集積面積には、種全体の 2 次から 4 次根の中心柱の割合と有意な正の相関があり、皮層の割合と負の相関があった。また、内生菌根種と比べ、外生菌根種の次数の変化に応じた CT 集積面積率の変動は大きかった。これらのことから、根端から二次成長へ移行する過程において、中心柱、皮層、CT 集積の異なる発達パターンを、異なる共生グループで区別することができた。異なる共生グループにおいて、CT はコルク層形成前および中心柱および皮層の発達過程における特定の次数で、根の保護に役立つ可能性がある。本研究の一部の成果は、Endo et al. (2021 *Annals of Botany*)で報告している。

③ 樹木細根の滲出物の種間差の解明

炭素滲出速度とアミノ酸・有機酸・糖滲出速度には樹種間差が見られた。炭素滲出速度は比根表面積と種間で正の相関があり (図 2)、根窒素濃度とも弱い正の相関があった。根の表面積が大きく資源獲得に有利な形態をもつ根や、代謝活性の高い根は滲出物へ多く炭素を投資していた。アミノ酸滲出速度は比根長と、有機酸および糖滲出速度は根組織密度と種間でそれぞれ正の相関があった。資源獲得的な根はアミノ酸を多く滲出させることで微生物を介した資源獲得を促進していると考えられる。また強度はあるが資源獲得に不利である形態の根は、有機酸や糖を滲出させることで資源獲得をしていると言える。被子—内生菌の樹種は資源獲得に有利な形態の根を持ち、滲出物への炭素投資も多かった。被子—外生菌の樹種は強度のある根をもち、資源獲得のために一次代謝産物を多く利用していた。裸子植物は資源獲得には保守的な根を持ち、滲出物への炭素投資も少なかった。種を超えて根は形態・化学特性と滲出物を共変させることで生存や資源獲得をしていると考えられる。本研究の一部の成果は、Akatsuki and Makita. (2020 *Tree Physiology*)で報告している。

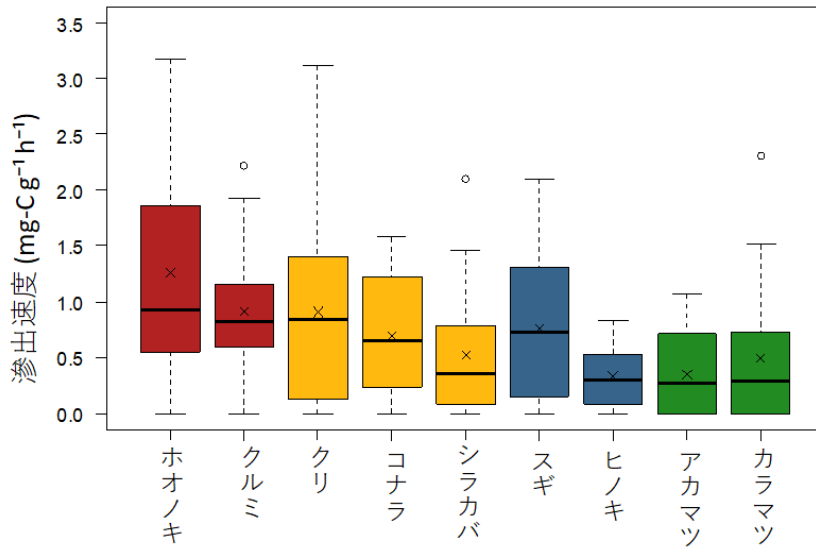


図2 多樹種における樹木細根の近赤外分光反射率

④ 赤外分光法を用いた樹木細根の種間差の解明

一般に可視-近赤外波長の連続分光反射率の測定は、植物体の色素や有機物などの化学組成、細胞の成長段階を反映するため、葉や果実において非破壊かつ多角的な評価を可能にしている。本研究では、分光技術を土壌からの養水分吸収の役割を果たす樹木細根に用いた。細根の反射率に樹種間で違いがあるかを調べるとともに、寿命や生理機能を表す根特性と反射率の関係から、細根の反射率が表現する根の性質を明らかにすることを目的とした。対象樹種は、長野県南部の温帯林における針葉樹5種と広葉樹7種の計12種とした。対象木から根系を辿り細根系を採取し、洗浄した。根端から分岐を数えた次数分類を用いて、1次根から4次根までの無傷な根系を測定サンプルとし、427-977 nm (3.6 nm 刻み、153 バンド)の連続分光反射画像を撮影した。その後、4次根系の形態(平均根直径、比根長、根組織密度)、化学(窒素、カルシウム、カリウム濃度)および解剖(中心柱/皮層割合)を測定し、連続分光反射率との関係を解析した。

12樹種の根系の連続分光反射率は、全ての樹種において920 nmをピークとする山形の曲線を示した。一方で樹種間の差が各反射率でみられた(図3)。連続分光反射率から代表的な4バンド(青:478 nm, 緑:546 nm, 赤:648 nm, 近赤外:847 nm)の反射率と根特性の関係を調べた。根特性のうちの5項目(平均直径、比根長、根組織密度、カルシウム濃度、中心柱/皮層割合)はそれぞれ特定の波長で有意な相関がみられた。この結果から、無傷の根系を測定することができる分光反射率を調べることで、根系の形態、化学、解剖的な特性を多角的に評価できることが示された。また、各樹種の根特性と分光反射率の関係を理解することで、種間を超えた根特性の一般的な評価を可能にし、土壌中の細根機能のより正確な推定を可能にすることが期待される。本研究の一部の成果は、Tanikawa et al. (2019 Plant and Soil)で報告している。

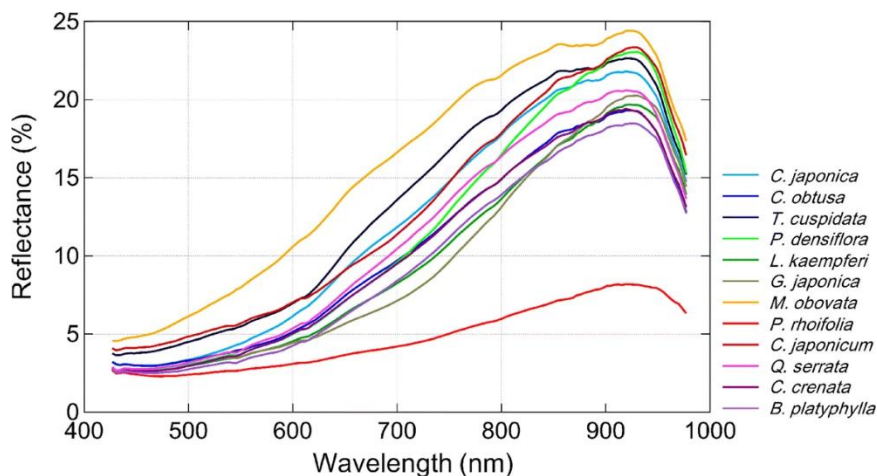


図3 多樹種における樹木細根の近赤外分光反射率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Endo Izuki, Kume Tomonori, Kho Lip Khoo, Katayama Ayumi, Makita Naoki, Ikeno Hidetoshi, Ide Jun'ichiro, Ohashi Mizue	4. 巻 443
2. 論文標題 Spatial and temporal patterns of root dynamics in a Bornean tropical rainforest monitored using the root scanner method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 323 ~ 335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-019-04203-w	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 Tanikawa Natsuko, Nakaji Tatsuro, Yahara Hikari, Makita Naoki	4. 巻 445
2. 論文標題 Exploring patterns of fine root morphological, chemical, and anatomical traits of 12 tree species from visible/near-infrared spectral reflectance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 469 ~ 481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-019-04309-1	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 Yahara Hikari, Tanikawa Natsuko, Okamoto Mizuki, Makita Naoki	4. 巻 191
2. 論文標題 Characterizing fine-root traits by species phylogeny and microbial symbiosis in 11 co-existing woody species	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Oecologia	6. 最初と最後の頁 983 ~ 993
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00442-019-04546-2	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 Ide Jun'ichiro, Ohashi Mizue, Koster Kajar, Berninger Frank, Miura Ikumi, Makita Naoki, Yamase Keitaro, Palviainen Marjo, Pumpanen Jukka	4. 巻 -
2. 論文標題 Molecular composition of soil dissolved organic matter in recently-burned and long-unburned boreal forests	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Wildland Fire	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) 10.1071/WF19085	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 Ding Yiyang, Schiestl-Aalto Pauliina, Helmisaari Helja-Sisko, Makita Naoki, Ryhti Kira, Kulmala Liisa	4. 巻 40
2. 論文標題 Temperature and moisture dependence of daily growth of Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) roots in Southern Finland	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 272 ~ 283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/treephys/tpz131	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 Akatsuki Maiko, Makita Naoki	4. 巻 40
2. 論文標題 Influence of fine root traits on in situ exudation rates in four conifers from different mycorrhizal associations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 1071 ~ 1079
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/treephys/tpaa051	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 UEYAMA Masahito, TAHARA Narumi, NAGANO Hirohiko, MAKITA Naoki, IWATA Hiroki, HARAZONO Yoshinobu	4. 巻 74
2. 論文標題 Leaf- and ecosystem-scale photosynthetic parameters for the overstory and understory of boreal forests in interior Alaska	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Meteorology	6. 最初と最後の頁 79 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2480/agrmet.D-17-00031	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 Miyatani Kouhei, Tanikawa Toko, Makita Naoki, Hirano Yasuhiro	4. 巻 423
2. 論文標題 Relationships between specific root length and respiration rate of fine roots across stands and seasons in <i>Chamaecyparis obtusa</i>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 215 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-017-3499-z	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 Palviainen Marjo, Berninger Frank, Bruckman Viktor J., K?ster Kajar, de Assump??o Christine Ribeiro Moreira, Aaltonen Heidi, Makita Naoki, Mishra Anup, Kulmala Liisa, Adamczyk Bartosz, Zhou Xuan, Heinonsalo Jussi, K?ster Egle, Pumpanen Jukka	4. 巻 425
2. 論文標題 Effects of biochar on carbon and nitrogen fluxes in boreal forest soil	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 71 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-018-3568-y	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 Makita Naoki, Kosugi Yoshiko, Sakabe Ayaka, Kanazawa Akito, Ohkubo Shinjiro, Tani Makoto	4. 巻 13
2. 論文標題 Seasonal and diurnal patterns of soil respiration in an evergreen coniferous forest: Evidence from six years of observation with automatic chambers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PLOS ONE	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) 10.1371/journal.pone.0192622	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 Tsuruta Jun, Okumura Motonori, Makita Naoki, Kosugi Yoshiko, Miyama Takafumi, Kume Tomonori, Tohno Susumu	4. 巻 23
2. 論文標題 A comparison of the biogenic volatile organic compound emissions from the fine roots of 15 tree species in Japan and Taiwan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 242 ~ 251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2018.1483129	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 Kume Tomonori, Ohashi Mizue, Makita Naoki, Kho Lip Khoon, Katayama Ayumi, Endo Izuki, Matsumoto Kazuho, Ikeno Hidetoshi	4. 巻 38
2. 論文標題 Image analysis procedure for the optical scanning of fine-root dynamics: errors depending on the observer and root-viewing window size	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 1927 ~ 1938
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/treephys/tpy124	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 Endo Izuki, Kobatake Miwa, Tanikawa Natsuko, Nakaji Tatsuro, Ohashi Mizue, Makita Naoki	4. 巻 -
2. 論文標題 Anatomical patterns of condensed tannin in fine roots of tree species from a cool-temperate forest	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annals of Botany	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) 10.1093/aob/mcab022	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 Ding Yiyang, Lepp?lammi-Kujansuu Jaana, Salemaa Maija, Schiestl-Aalto Pauliina, Kulmala Liisa, Ukonmaanaho Liisa, N?jd Pekka, Minkkinen Kari, Makita Naoki, ?eleznik Peter, Meril? P?ivi, Helmisaari Helj?-Sisko	4. 巻 489
2. 論文標題 Distinct patterns of below- and aboveground growth phenology and litter carbon inputs along a boreal site type gradient	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 119081 ~ 119081
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foreco.2021.119081	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

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Akatsuki M, Makita N.
2. 発表標題 Tree root exudation with fine root traits under four coniferous forests in Japan
3. 学会等名 AsiaFlux Workshop2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Okamoto M, Takahashi K, Makita N.
2. 発表標題 Response of fine root respiration rate and morphological traits along the elevation gradient in Japanese subalpine forest.
3. 学会等名 AsiaFlux Workshop2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢原 ひかり, 東 若菜, 鎌倉 真依, 牧田 直樹
2. 発表標題 森林限界の樹木4種における細根系の水および炭素利用様式の解明
3. 学会等名 JpGU Meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷川 夏子, 中路 達郎, 小島 実和, 牧田 直樹
2. 発表標題 近赤外分光反射率画像を用いた樹木細根の樹種間差と根特性の評価
3. 学会等名 JpGU Meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村 梓, 小熊宏之, 藤本稜真, 栗林正俊, 牧田直樹
2. 発表標題 飯綱山カラマツ林における葉と細根のフェノロジー
3. 学会等名 日本山の科学会2019年秋季研究大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧田直樹
2. 発表標題 森の小さな根の生態
3. 学会等名 日本生態学会 中部地区会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 暁麻衣子, 牧田直樹
2. 発表標題 多樹種を対象とした樹木細根滲出速度の比較
3. 学会等名 第50回記念根研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村梓, 小熊宏之, 藤本稜真, 栗林正俊, 牧田直樹
2. 発表標題 長野県カラマツ林におけるシュートと細根の動態と色変化の關係の解明
3. 学会等名 第131回日本森林学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 暁麻衣子, 牧田直樹
2. 発表標題 冷温帯林における樹木細根の滲出速度の多樹種比較
3. 学会等名 第131回日本森林学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷川夏子, 中路達郎, 小畠実和, 小田あゆみ, 牧田直樹
2. 発表標題 分光反射率画像を用いた細根系の再定義: 吸収機能と輸送機能の境界を探る
3. 学会等名 第131回日本森林学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本瑞輝, 高橋耕一, 牧田直樹
2. 発表標題 山岳域における広葉樹と針葉樹の根生存戦略: 細根呼吸と形態特性からの探求
3. 学会等名 第131回日本森林学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢原ひかり, 東若菜, 鎌倉真依, 高木優哉, 小杉緑子, 牧田直樹
2. 発表標題 高木限界に生育する樹木4種の細根の水および炭素利用様式
3. 学会等名 第131回日本森林学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧田直樹, Semyon Bryanin, 暁麻衣子, Jiyoung An, 小林真, 高橋輝昌, 安江恒, 城田徹央, 松浦陽次郎
2. 発表標題 ロシア・カラマツ林における森林火災が細根現存量と根呼吸に与える影響
3. 学会等名 第131回日本森林学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Makita N.
2. 発表標題 Seasonal and diurnal patterns of soil respiration in an evergreen coniferous forest: Evidence from six years of observation with automatic chambers.
3. 学会等名 JpGU Meeting 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tanikawa N, Nakaji T, Yahara H, Makita N.
2. 発表標題 Visible near infrared spectral reflectance explains variations in fine root traits of 12 woody species.
3. 学会等名 The 8 th East Asian Federation of Ecological Societies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yahara H, Tanikawa N, Okamoto M, Makita N.
2. 発表標題 Evaluation of multiple fine root traits on morphology, chemistry and anatomy in 11 woody species.
3. 学会等名 The 8 th East Asian Federation of Ecological Societies (国際学会)
4. 発表年 2018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
---------	---------