

令和元年6月8日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H04519

研究課題名(和文) 土壌環境に触発された細根動態が駆動する土壌酸性化のメカニズムの実証

研究課題名(英文) Understanding of the mechanism of soil acidification driven by fine root dynamics inspired by the soil environment

研究代表者

谷川 東子 (Tanikawa, Toko)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：10353765

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：土壌酸性化が進んでいるスギ林では、土壌植物間のカルシウム循環量が小さいために、土壌酸性化を抑制する交換性カルシウムが貯留しがたいと考えられた。またそのようなスギ林では細根量が高いこと、スギ・ヒノキ細根形態は土壌環境に応じて変動すること、ヒノキ細根呼吸量は形態が変わると変化することを明らかにした。これらの結果は、細根は土壌環境に敏感に反応し、形態と生理活性を変化させることを意味する。また細根が枯死した後、その分解過程で放出される酸は、葉のそれより多いことを室内実験で明らかにした。

以上の研究から、土壌酸性度に触発された細根増産は、より多くの酸を土壌にもたらす可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一連の調査を通し、土壌と植物が、互いに強く影響しあうことが明らかになった。「どの樹種がどのような土壌の環境に反応し、さらにその影響によって土壌がどのように作りがえられていくのか？」を把握することは、植栽時に樹種を選択する場面などで有用な情報である。これは林業現場で受け継がれてきた「適地適木」という叡智を、科学の面から検証し支持することを意味する。

いま世界では、土壌劣化が、食・水・エネルギーの安全を脅かすことが懸念されている。土壌植物間相互作用を見据えた適切な森林施業のあり方は、人間が如何に土壌劣化を緩和しながら持続的に森林を管理するかの指針構築に寄与し得る。

研究成果の概要(英文)：Soils with high acid buffering capacity (ABC) circulated sufficient amounts of calcium (Ca), whereas Ca circulation was tightly regulated in soils with low ABC in *C. japonica* forest stands. The lack of Ca accumulation in the surface soil might cause further reduction of ABC in the low-ABC soils. Moreover, the biomass of fine roots was significantly higher in low-ABC soils than in high-ABC soils at *C. japonica* stands. Morphology of fine roots varied among the stands in response to soil environments. Fine root respiration of *C. obtusa* might be caused by the morphology. An incubation experiment indicated that fine root litter released a greater amount of acidic materials than leaf litter during their decomposition processes. These results suggest that fine root behaviors in response to the soil environment shift soil chemistry.

研究分野：森林土壌学

キーワード：人工林 土壌劣化 土壌酸性化 適地適木 カルシウム循環 細根 分解 スギ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

先行研究において、スギ・ヒノキ人工林 15 林分の土壌の化学性を調査し、スギは酸性度の高い土壌ではますます土壌を酸性にし、肥沃で酸性度の低い土壌ではますます養分を蓄積し酸性度を弱めること、すなわち土壌酸性度に対しスギ林は正のフィードバック効果をもつこと、さらに酸性度の高い土壌の林分で細根量が有意に高いことを明らかにした。樹木が土壌を育む力に環境依存性があるのであれば、それはどのような機序によるのかを明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

この先行研究を発展させ、スギ林における土壌-植物相互作用で増産される細根が土壌酸性化の進行を促進する可能性があるかを検証する。スギ林における細根や土壌の反応を特徴づけるため、ヒノキ林における土壌-植物相互作用の研究も行う。

### 3. 研究の方法

細根の現存量・活性(呼吸量)・形態・発生活長といった動態調査、土壌の理化学性調査、落葉の回収・分析等の物質循環調査、細根と葉の純粋培養系を用いた溶脱液の回収実験を通して、細根のどの部位が土壌に反応して活性が変わるのか、痩せた土壌と肥沃な土壌で、物質循環のどの部分に差異が生じるのか、細根増によって一次生産物の葉への投資が減少し、土壌に供給される落葉と枯死根の比率が変化した場合、土壌にどのような影響が表れるのかを議論する。

### 4. 研究成果

(1) 土壌酸性化が進んでいる痩せた土壌のスギ林では、進んでいない肥沃な土壌のスギ林に比べて細根バイオマスが有意に高く(図 1. Hirano et al. 2017)。土壌-植物間におけるカルシウム循環量が小さく、スギのカルシウム要求量のぎりぎりを満たすような、タイトなカルシウム循環が営まれていた(図 2. Tanikawa et al. 2017)。

(2) 酸性度の高いスギ林土壌で増産された細根は主に直径 0.5mm 以下の極細根であったこと(Hirano et al., 2017)から、細根の形態変動を調査地間・季節間で比較した。その結果、スギ(4 林分)・ヒノキ細根(7 林分)は末端に近い低次根の形態変動が大きかった(ヒノキは Doi et al., 2017)。ヒノキ細根呼吸量を調査地間で 2 年間測定したところ、形態が変わると呼吸速度も変化した(Miyatani et al. 2016, 2018)。従って、細根系は土壌環境に敏感に反応し、とくに末端の根の形態と生理活性が変化し、土壌の化学性や森林生態系の炭素循環に影響を及ぼすと考えられた。

(3) 細根と葉の分解過程で放出される酸の量を、2 年半の培養実験により比較し、半減期手前までの分解で細根は葉の 13-18 倍の酸を生産することを明らかにした。その理由は、葉より細根に多く含まれるリグニンの分解が腐植酸の生成に関わっているためであると推察された(図 3. Tanikawa et al., 2018)。

(4) 以上の研究から、土壌-植物間のカルシウム循環量がごく低く保たれているような系において、土壌酸性度に触発された細根増産が、より多くの酸を土壌にもたらすことでますます

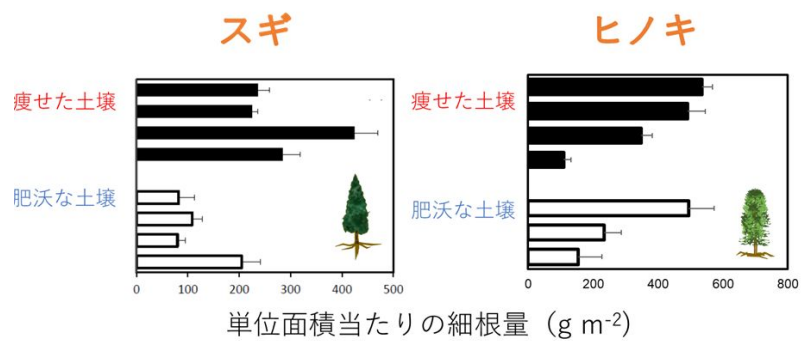


図1 スギ・ヒノキ林における細根バイオマス

痩せて酸性度の高い土壌のスギ細根バイオマスは、肥沃で酸性度の低い土壌に比べ優位に低かった。ヒノキではそのような傾向はみられなかった(スギ Hirano et al., 2017; ヒノキ Miyatani et al., 2016 をそれぞれ改変)。

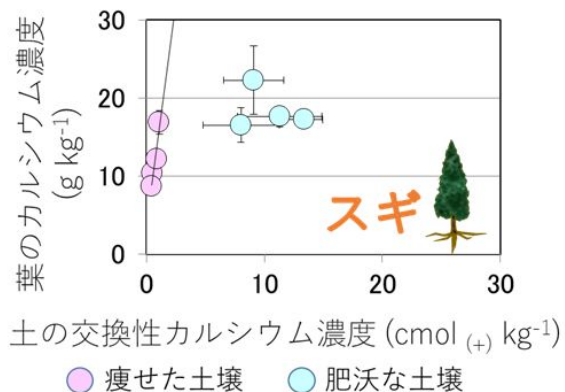


図2 スギ林における土壌と葉のカルシウム濃度

痩せて酸性度の高い土壌には植物が利用可能なカルシウムが少ないから、葉にもカルシウムが少ない、葉にも少ないから土壌にもカルシウムが蓄積しないという量的に小さなカルシウム循環が営まれていた(Tanikawa et al., 2017 を改変)。

土壌を酸性化させるという正のフィードバックについての仮説を支持する結果が得られた。

一連の調査を通し、土壌と植物が、互いに強く影響しあうことが明らかになった。「どの樹種がどのような土壌の環境に反応し、さらにその影響によって土壌がどのように作りかえられていくのか？」を把握することは、植栽時に樹種を選択する場面などで有用な情報である。これは林業現場で受け継がれてきた「適地適木」という叡智を、科学の面から検証し支持することを意味する。

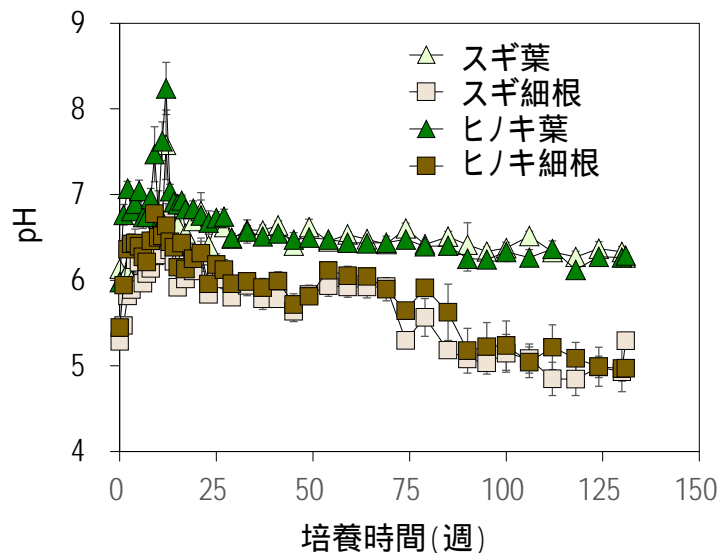


図 3 細根と葉の分解中に接触させた人工雨の pH の時間変化

細根は葉より分解初期より pH が低く、分解が進むにつれてますます pH が低下した (Tanikawa et al., 2018 を改変)。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

1. [Tanikawa, T.](#), [Fujii, S.](#), [Sun L.](#), [Hirano, Y.](#), [Matsuda, Y.](#), [Miyatani, K.](#), [Doi, R.](#), [Mizoguchi, T.](#), [Maie, N.](#) (2018) Leachate from fine root litter is more acidic than leaf litter leachate: A 2.5-year laboratory incubation. *Science of the Total Environment* 645, 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.038> 査読有
2. [Kitagami, Y.](#), [Tanikawa, T.](#), [Mizoguchi, T.](#), [Matsuda, Y.](#) (2018) Nematode communities in pine forests are shaped by environmental filtering of habitat conditions. *Journal of Forest Research* 23, 346–353. [10.1080/13416979.2018.1516920](https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1516920) 査読有
3. [Miyatani, K.](#), [Tanikawa, T.](#), [Makita, N.](#), [Hirano, Y.](#) (2018) Relationships between specific root length and respiration rate of fine roots across stands and seasons in *Chamaecyparis obtusa*. *Plant and Soil* 423, 215–227. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3499-z> 査読有
4. [Tanikawa, T.](#), [Ito, Y.](#), [Fukushima, S.](#), [Yamashita, M.](#), [Sugiyama, A.](#), [Mizoguchi, T.](#), [Okamoto, T.](#), [Hirano, Y.](#) (2017) Calcium is cycled tightly in *Cryptomeria japonica* stands on soils with low acid buffering capacity. *Forest Ecology and Management* 399, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.022> 査読有
5. [Doi, R.](#), [Tanikawa, T.](#), [Miyatani, K.](#), [Hirano, Y.](#) (2017) Intraspecific variation in morphological traits of root branch orders in *Chamaecyparis obtusa*. *Plant and Soil* 416, 503–513. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3230-0> 査読有
6. [Hirano, Y.](#), [Tanikawa, T.](#), [Makita, N.](#) (2017) Biomass and morphology of fine roots in eight *Cryptomeria japonica* stands in soils with different acid-buffering capacities. *Forest Ecology and Management* 384, 122-131. [10.1016/j.foreco.2016.10.043](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.043) 査読有
7. [Miyatani, K.](#), [Mizusawa, Y.](#), [Okada, K.](#), [Tanikawa, T.](#), [Makita, N.](#), [Hirano, Y.](#) (2016). Fine root traits in *Chamaecyparis obtusa* forest soils with different acid buffering capacities. *Trees* 30, 415-429. [10.1007/s00468-015-1291-3](https://doi.org/10.1007/s00468-015-1291-3) 査読有

〔学会発表〕(計 24 件)

1. 谷川東子、松田陽介、平野恭弘、溝口岳男、藤井佐織、眞家永光. スギとヒノキの葉と細根から分解過程で放出される有機・無機の窒素とリン. 第 130 回日本森林学会大会. 140. 2019.
2. 和田竜征、谷川東子、土居龍成、平野恭弘. スギ次数根特性の季節変化. 第 130 回日本森林学会大会 468. 2019.
3. [Tanikawa, T.](#), [Ito, Y.](#), [Fukushima, S.](#), [Yamashita, M.](#), [Sugiyama, A.](#), [Mizoguchi, T.](#), [Okamoto, T.](#), [Hirano, Y.](#)

- Calcium speciation in forest soils by a double-crystal High resolution x-ray fluorescence spectroscopy. The 8th EAFES (East Asian Federation of Ecological Societies) Abstract book 168. 2018.
4. 谷川東子, 松田陽介, 平野恭弘, 溝口岳男, 藤井佐織, 眞家永光. 葉と細根の分解過程で基質から吸収・放出される窒素成分 日本土壤肥料学会講演要旨集 64, 10. 2018.
  5. Wada, R., Tanikawa, T., Doi, R., Hirano, Y. Morphological traits of fine roots in *Cryptomeria japonica* by branch order classification compared with other tree species. The 8th EAFES (East Asian Federation of Ecological Societies) Abstract book 140. 2018.
  6. Doi, R., Tanikawa, T., Wada, R., Hirano, Y. Morphological variations in branch order-based roots in *Chamaecyparis obtusa*. The 8th EAFES (East Asian Federation of Ecological Societies) Abstract book 28. 2018.
  7. 宮谷紘平, 谷川東子, 牧田直樹, 平野恭弘. ヒノキ細根呼吸は比根長 SRL でよく説明できる. 第48回根研究集会 56. 2018.
  8. 土居龍成, 谷川東子, 和田竜征, 平野恭弘. 酸緩衝能の異なる土壤に生育するヒノキ細根系の次数形態特性. 第49回根研究集会 30. 2018.
  9. 和田竜征, 谷川東子, 土居龍成, 平野恭弘. 樹木 1 次根の直径変動とその要因 スギを含むヒノキ科に着目して. 第49回根研究集会 15. 2018.
  10. 谷川東子. スギが土をはぐくむ力は土しだい. 第362回生存圏シンポジウム 大気・森林・土壌循環ワークショップ 2017.
  11. Tanikawa, T., Maie, N., Hirano, Y., Miyatani, K., Doi, R., Sun, L., Mastuda, Y., Mizoguchi T., Fujii, S. Temporal changes in nutrient elements leached from leaf and root litters during decomposition process - Carbon, Phosphorous, Nitrogen-. 7th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants 108. 2017.
  12. Kawai, S., Tanikawa, T., Uesugi, T., Matsuo, N., Selosse, MA., Matsuda Y. The effect of nutritional limitation by fungicide treatment on growth of mixotrophic *Pyrola japonica*. 9th International Conference on Mycorrhiza (ICOM9) 309. 2017.
  13. Wada, R., Tanikawa, T., Doi, R., Hirano, Y. Morphological traits on first to fourth branch orders in intact fine root systems at four *Cryptomeria japonica* stands 7th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants 72. 2017.
  14. Doi, R., Tanikawa, T., Wada, R., Hirano, Y. Variation in morphological traits of branch orders within whole intact fine root systems up to 2 mm in *Chamaecyparis obtuse*. 7th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants. 97. 2017.
  15. 谷川東子, 藤井佐織, 孫麗娟, 平野恭弘, 宮谷紘平, 土居龍成, 松田陽介, 溝口岳男, 眞家永光. スギ・ヒノキの葉と細根の分解過程で溶出する溶存有機物: 蛍光成分組成に着目して. 日本土壤肥料学会講演要旨集 63,9, 2017.
  16. 北上雄大, 谷川東子, 松田陽介. 中日本のスギ人工林に生息する線虫の分類属性と生態的特徴. 第7回中部森林学会大会プログラム・講演要旨集 312, 2017.
  17. 喜多晃平, 谷川東子, 松田陽介. 異なる土壤環境に生育するスギの細根で検出されたアーバスキュラー菌根菌と Dark Septate endophyte の定着. 第7回中部森林学会大会プログラム・講演要旨集 311. 2017.
  18. 和田竜征, 谷川東子, 土居龍成, 平野恭弘. スギ林における土壤無機態窒素濃度と細根次数形態. 第7回中部森林学会大会プログラム・講演要旨集 203. 2017.
  19. 土居龍成, 谷川東子, 和田竜征, 平野恭弘. 根端から直径2mmに至るまでの細根系に着目したヒノキ次数根形態特性. 第46回根研究集会プログラム・要旨集 9, 2017.
  20. 和田竜征, 谷川東子, 土居龍成, 平野恭弘. 土壤環境の異なるスギ林における細根次数形態特性. 第46回根研究集会プログラム・要旨集 16. 2017.
  21. 谷川東子, 山下尚之, 山下満, 福島整, 杉山暁史, 石井弘明, 溝口岳男, 平野恭弘, 伊藤嘉昭. スギ・ヒノキ混交林における土壤塩基養分の空間分布特性の解明. 第250回生存圏シンポジウム 2016.
  22. 宮谷紘平, 谷川東子, 牧田直樹, 平野恭弘. ヒノキ細根系の呼吸速度の変動要因 東海地方7林分の調査より. 第127回日本森林学会大会. 2016.
  23. 土居龍成, 宮谷紘平, 谷川東子, 所千恵, 平野恭弘. ヒノキ細根の直径2mm以下に着目した次数別形態特性. 第127回日本森林学会大会 2016.
  24. 谷川東子, 平野恭弘, 山下満, 福島整, 杉山暁史, 岡本透, 伊藤嘉昭. カルシウムが蓄積されていないスギ林土壤の化学性. 日本土壤肥料学会 2015年度京都大会講演要旨集 61, 12. 2015.

〔その他〕

ホームページ等

1. 谷川東子. 微生物が分解してつくる細根ジュースは、葉ジュースよりすっぱい. 森林総合研究所関西支所研究情報 130: 2-3. 2018  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/fsm/research/pubs/joho/documents/research-information130.pdf>
2. 谷川東子. スギが土をはぐくむ力は土しだい. 森林と林業, 2017年11月号, 14-15, 2017.
3. 谷川東子. スギ林、ヒノキ林の土壌は20年でどう変わる? 森林総合研究所関西支所平成28年度関西支所公開講演会. 2016.  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/fsm/research/event/2016/20161031koukaikouen-report.html>
4. 谷川東子. スギ、ヒノキ林の土壌 - 20年経つと、肥沃さはどう変わる? -. 森林総合研究所関西支所研究情報, 117: 2. 2015  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/fsm/research/pubs/joho/documents/research-information117.pdf>

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：平野 恭弘

ローマ字氏名：HIRANO Yasuhiro

所属研究機関名：名古屋大学大学院

部局名：環境学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁): 60353827

研究分担者氏名：松田 陽介

ローマ字氏名：MATSUDA Yosuke

所属研究機関名：三重大学大学院

部局名：生物資源学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁): 30324552

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：真家 永光

ローマ字氏名：Maie Nagamitsu

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、研究者個人に帰属されます。