

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H03034

研究課題名（和文）多種樹木の窒素獲得戦略の解明とそれに基づく窒素循環プロセスモデルの構築

研究課題名（英文）Clarification of nitrogen acquisition strategy of co-existent tree species and improvement of process model for nitrogen cycling

研究代表者

鶴川 信 (Ugawa, Shin)

鹿児島大学・農水産獣医学域農学系・准教授

研究者番号：30582738

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、同所的に共存する5樹種について、窒素吸収の違いを窒素形態の観点から明らかにした。土壌表層に窒素安定同位体 ^{15}N でラベルした2種類の硝酸アンモニウム溶液（ $^{15}\text{NH}_4$ - $^{14}\text{NO}_3$ （ NH_4 区）と $^{14}\text{NH}_4$ - $^{15}\text{NO}_3$ （ NO_3 区））を散布したところ、70時間後に細根から検出された ^{15}N はいずれの樹種においても、 NH_4 区よりも NO_3 区ではらつきが大きくなった。一方で、アオキでは、 NO_3 区で採取した細根の ^{15}N が NH_4 区で採取した細根よりも高くなる傾向が検出された。これらの結果は、土壌への拡散から細根による吸収までのプロセスにおいて、樹種による窒素獲得効率の差異が存在することを示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、共存する樹種の間で、窒素形態による窒素獲得効率に違いがあることを明らかにした。とくに、細根に吸収される窒素量が硝酸態窒素を地表面に散布した処理区で大きくばらつき、細根表面から吸収するプロセスだけではなく、土壌に拡散するプロセスも考慮すべきことが示された。一方で、これら一連のプロセスにおいても、窒素形態による窒素獲得効率が樹種によって異なることが明らかとなった。これらの成果は、各種環境変動に対する各樹種の窒素獲得効率の変化および森林生態系における窒素吸収機能の脆弱性評価に繋がる材料を提供する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we elucidated the difference in nitrogen (N) acquisition among co-existent 5 tree species with a viewpoint of N form. In our experiment with spraying of 2 kinds of ammonium nitrate labeled by N stable isotope ($^{15}\text{NH}_4$ - $^{14}\text{NO}_3$ (NH_4 -labelling treatment) and $^{14}\text{NH}_4$ - $^{15}\text{NO}_3$ (NO_3 -labelling treatment)), ^{15}N of fine root showed higher variation in NO_3 -labelling treatment than NH_4 -labelling treatment irrespective of tree species when we sampled fine root 70 hours after spraying of ammonium nitrate. However, for a tree species *Aucuba japonica*, ^{15}N of fine root was higher in NO_3 -labelling treatment than NH_4 -labelling treatment. These results indicate N acquisition efficiency is different among tree species in the process from N diffusion in soil to N absorption by fine roots.

研究分野：森林生態学

キーワード：窒素獲得戦略 共生タイプ 窒素形態 窒素安定同位体

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

森林生態系の窒素吸収機能を理解することは、健全な森林生態系の維持管理に有用な情報を提供する。気候変動や窒素飽和による森林劣化が指摘されている現状を鑑みると、窒素吸収機能の更なる理解とそれによる森林生態系の変動予測の高度化、さらには、その予測を踏まえた緩和策・適応策の立案が急がれる。

多種樹木から構成される森林は窒素資源を巡る種間競争が存在し、これに合わせて各樹種に固有な窒素吸収様式(窒素獲得戦略)が進化してきた。これらの窒素獲得戦略は、根と微生物の共生タイプ(外生菌根、アーバスキュラー菌根(AM菌根)、エリコイド菌根、根粒)、窒素を吸収する土壌の深さ(表層、下層)、窒素を吸収する際の窒素形態(アンモニウム態窒素、硝酸態窒素、有機態窒素)の3つの視点から類別することができる。つまり、森林生態系の窒素吸収機能には構造(窒素獲得戦略の組み合わせ)が存在することが指摘できる。

窒素吸収機能の構造を明らかにする上で有効なツールとして窒素安定同位体(^{15}N と ^{14}N)が挙げられる。とくに、 ^{15}N でラベルした各種窒素化合物を異なる深さの土壌に注入し、その後樹木から検出される ^{15}N 量をもとに、当該樹木の窒素吸収源(土壌の深さや窒素形態)を推定できる。この手法を用いることで、森林を構成する各樹種の窒素獲得戦略を解明し、その構造を紐解くことができる。

2. 研究の目的

本研究では、同所的に共存する樹種の窒素獲得戦略を3つの視点(根と微生物の共生タイプ、窒素を吸収する土壌の深さ、窒素を吸収する際の窒素形態)から類別化することを目的とする。各樹種の窒素獲得戦略を紐解くことで、各種環境変動に対する森林生態系の窒素吸収機能の脆弱性評価に繋がる材料を提供する。

3. 研究の方法

【調査概要】

本研究では、同所的に共存する樹種の窒素獲得戦略を明らかにするため、以下の2つの項目について研究を実施した。

- (1) 土壌深部への ^{15}N トレーサー注入方法の検証
- (2) ^{15}N トレーサー散布実験による多種樹木の窒素獲得戦略の解明

【調査方法】

(1) 土壌深部への ^{15}N トレーサー注入方法の検証

パイプを用いて深さ30cmの土壌に着色水を注入し、土壌に浸透する時間および土壌中への均質な拡散を検証した。2021年3月に鹿児島大学の植物園にて、塩ビパイプを土壌に差し込み、そこに着色水(水道水に白色の絵の具を溶かしたもの)を注ぎ、その浸透速度を確認した。その後、塩ビパイプ下に土壌断面を作成し、土壌への着色水の浸透状況を観察した。

(2) ^{15}N トレーサー散布実験による多種樹木の窒素獲得戦略の解明

鹿児島大学高隈演習林の常緑広葉樹林(二次林)において、2020年8月に6つの林分を任意に選定し、各林分に2つずつ調査区(縦10m×横10m)を設置した。これらの12の調査区において、2020年8月から2021年8月に毎木調査を実施し、すべての調査区に共通してみられる5樹種(外生菌根を形成する2樹種とアーバスキュラー菌根を形成する3樹種)を選定し、研究対象とした。

これらの調査区において、同位体の散布実験を2022年8月に実施した。まず、上述の対象樹種5種について、幹から辿った根系を採取した。この1日後に、各林分に設置した調査区ペアのうち、一方にアンモニウムを ^{15}N でラベルした硝酸アンモニウム($^{15}\text{NH}_4^{14}\text{NO}_3$)を、もう一方に硝酸を ^{15}N でラベルした硝酸アンモニウム($^{14}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$)を地表面に散布した(それぞれ「 NH_4 ラベル区」と「 NO_3 ラベル区」とする)。硝酸アンモニウムの散布量は調査区あたり5.401g(1 m^2 あたり10mgNの ^{15}N 散布量)とし、これを80Lの純水(RO水)に溶解させたのちジョーロで均等に散布した。さらに、これらの同位体試薬が土壌に浸透するように、追加で80LのRO水を地表面に均等に散布した。そして、同位体試薬散布の70時間後に、再度、対象樹種の根系の採取を行った。

同位体散布の前後に採取した根系は、速やかに研究室に持ち帰り、RO水で表面の土壌を洗い流したのち、直径2mm以下の細根を切り離した。これらの細根を60°C48時間で乾燥したのち、粉末化した。これらの粉末について、 $\delta^{15}\text{N}$ の測定を行い、各対象樹種について、同位体散布前と散布後の細根の $\delta^{15}\text{N}$ を明らかにした。

4. 研究成果

(1) 土壌深部への ^{15}N トレーサー注入方法の検証

土壌に塩ビパイプ(内径13mm)を打ち込み、地表面から出ている部分に着色水を注いだとこ

る、その水位はほとんど減少しなかった（写真）。そこで、塩ビパイプの上部をゴム栓で密閉し、そこに電動の空気入れ（充電式空気入れ MP100D、株式会社マキタ、安城市）で空気を入れ圧力により水位を押し下げを試みた。しかしながら、当該機器の最大圧力 830kPa に達しても水位は低下しなかった。これに代わる方法として、土壤に埋め込んだ塩ビパイプを一度抜き、その内部の土壤を取り除いたのち、再度当該パイプを同じ穴に戻し、そこから少し上部に引き抜いた状態で着色水を注いだ。この方法では、一部の着色水が土壤に浸透した。しかし、土壤断面を観察すると、浸透しやすい土壤間隙に選択的に着色水が移動していた。以上のことから、短時間で ^{15}N トレーサーを土壤深部に注入することは難しく、また、注入した ^{15}N トレーサーが土壤中に均質に拡散する可能性は低いと考えられた。これを受けて、本プロジェクトでは、土壤深部への ^{15}N トレーサーの注入は断念し、地表面への散布実験のみを実施することとした。



写真 土壤に打ち込んだ塩ビパイプに白色の着色水を注いだ様子

(2) ^{15}N トレーサー散布実験による多種樹木の窒素獲得戦略の解明

^{15}N トレーサー散布前の対象樹種の葉の $\delta^{15}\text{N}$ は $-9.38\% \sim +1.49\%$ の間であり、全体の平均 ($\pm\text{SD}$) は $-3.67 (\pm 1.88)\%$ となった。アオキでやや $\delta^{15}\text{N}$ が減少する傾向がみられたものの（図1）、各樹種において NH_4 ラベル区と NO_3 ラベル区の間で有意な差はみられなかった（対応のある t 検定: $p > 0.05$ ）。

^{15}N トレーサー散布後の対象樹種の葉の $\delta^{15}\text{N}$ は $-2.53\% \sim +356.65\%$ の間であり、全体の平均 ($\pm\text{SD}$) は $49.14 (\pm 68.42)\%$ となった。細根の $\delta^{15}\text{N}$ に大きなばらつきがみられたことから、散布した ^{15}N トレーサーが土壤中に均等に拡散しないことが窺われた。とくに、細根の $\delta^{15}\text{N}$ のばらつきは NO_3 ラベル区の方で NH_4 ラベル区よりも大きくなる傾向がみられ、土壤中の粘土粒子や腐植に吸着されない硝酸態窒素で土壤への浸透と樹木による吸収が大きくばらつき可能性が示された。

同位体散布前の細根の $\delta^{15}\text{N}$ の調査区間の違いを考慮し、 ^{15}N トレーサー散布前後の対象樹種の葉の $\delta^{15}\text{N}$ の差分（散布後の $\delta^{15}\text{N}$ から散布前の $\delta^{15}\text{N}$ を差し引いた値）を算出した。これらの差分は $+1.74\% \sim 359.60\%$ となり、全体の平均 ($\pm\text{SD}$) は $52.81 (\pm 68.55)\%$ となった。これらの差分は、 NO_3 ラベル区でばらつきが大きく、とくに、アカガシ、ヤブニッケイ、タブノキ、アオキにおいて、 NH_4 ラベル区よりも NO_3 ラベル区のばらつきが大きかった（図2）。しかしながら、アオキは、いずれの林分においても、 NH_4 ラベル区より NO_3 ラベル区の方で細根の $\delta^{15}\text{N}$ が上昇する傾向がみられ、対応のある t 検定において有意な差が確認された ($p=0.018$)。このことは、土壤表面への窒素の付与から細根による窒素吸収までのプロセスにおいて、アオキでは硝酸態窒素の方がスムーズに吸収されることを示している。今後、土壤への拡散のばらつきと細根による窒素吸収のプロセスを分離した検証が必要と考える。とくに、後者を明らかにするためには、 ^{15}N でラベルされた異なる形態の窒素を直接細根に与える実験を実施する必要がある。

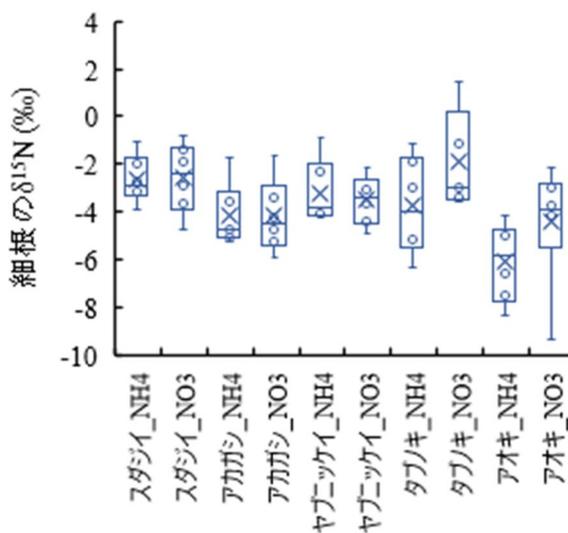


図1 NH_4 ラベル区と NO_3 ラベル区における ^{15}N 散布前の細根の $\delta^{15}\text{N}$

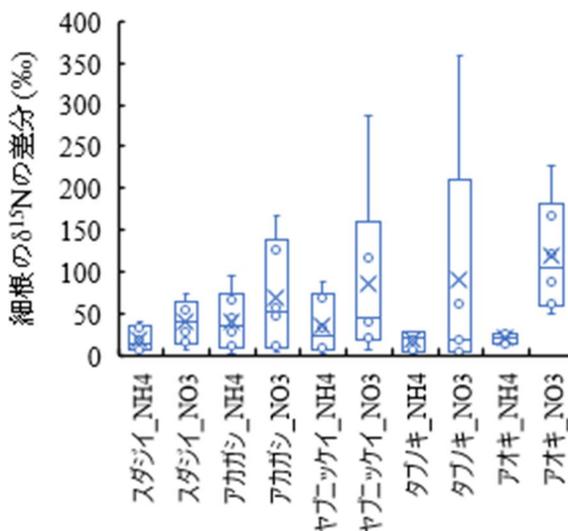


図2 NH_4 区と NO_3 区における ^{15}N 散布前後の細根の $\delta^{15}\text{N}$ の差分

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nakayama Masataka, Tateno Ryunosuke	4. 巻 18
2. 論文標題 In-situ measurement of the effect of canopy tree fine roots on nitrogen availability in forest soil	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Rhizosphere	6. 最初と最後の頁 100324 ~ 100324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rhisph.2021.100324	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 Nakayama Masataka, Imamura Shihomi, Tatsumi Chikae, Taniguchi Takeshi, Tateno Ryunosuke	4. 巻 155
2. 論文標題 Microbial functions and soil nitrogen mineralisation processes in the soil of a cool temperate forest in northern Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biogeochemistry	6. 最初と最後の頁 359 ~ 379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10533-021-00830-7	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 Tatsumi Chikae, Taniguchi Takeshi, Du Sheng, Chen Qiuwen, Yamanaka Norikazu, Otsuki Kyoichi, Tateno Ryunosuke	4. 巻 110
2. 論文標題 Differences in the short-term responses of soil nitrogen and microbial dynamics to soil moisture variation in two adjacent dryland forests	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Journal of Soil Biology	6. 最初と最後の頁 103394 ~ 103394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejsobi.2022.103394	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 Yanagawa Sanae, Fukuzawa Karibu, Takagi Kentaro, Shibata Hideaki, Satoh Fuyuki	4. 巻 Online First
2. 論文標題 Presence of understory dwarf bamboo determines ecosystem fine root production in a cool-temperate forest in northern Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2023.2169981	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 Inagaki Yoshiyuki, Miyamoto Kazuki, Sakai Atsushi	4. 巻 3
2. 論文標題 Age-Related Changes in Water and Nitrogen Utilization in Crop Trees and Understory Vegetation in a Hinoki Cypress Plantation Forest in Kochi City, Southern Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nitrogen	6. 最初と最後の頁 247 ~ 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nitrogen3020017	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 Ugawa Shin, Kuninaka Wataru, Hayata Keisuke, Maruta Naoko, Ohashi Syota, Kubota Victoria Rika, Rozita Ahmad, Wan Rasidah Kadir	4. 巻 481
2. 論文標題 Relationship between root tip morphology and growth conditions across Macaranga and Shorea species in a tropical lowland forest of Peninsula Malaysia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 621 ~ 639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-022-05665-1	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 該当する

1. 著者名 Tateno Ryunosuke, Nakayama Masataka, Yano Midori, Fukuzawa Karibu, Inagaki Yoshiyuki, Koba Keisuke, Ugawa Shin	4. 巻 34
2. 論文標題 Nitrogen source utilization in co-existing canopy tree and dwarf bamboo in a northern hardwood forest in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Trees	6. 最初と最後の頁 1047 ~ 1057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00468-020-01980-1	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 Fukuzawa Karibu, Tateno Ryunosuke, Ugawa Shin, Watanabe Tsunehiro, Hosokawa Nanae, Imada Shogo, Shibata Hideaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Timing of forest fine root production advances with reduced snow cover in northern Japan: Implications for climate-induced change in understory and overstory competition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Oecologia	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) 10.1007/s00442-021-04914-x	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 Fukuzawa Karibu, Satoh Fuyuki, Shibata Hideaki, Kamiura Tatsuya, Kozuka Chikara, Takanishi Toshikazu, Hayakashi Shintaro, Hirano Yuya, Mamiya Wataru, Yabuhara Yuri, Sakai Rei, Sugiyama Hiroshi, Masumoto Hiroshi, Fukuzawa Naoko, Takeda Tetsuji, Morita Hideaki, Yamanouchi Makoto, Hasegawa Junko, Yoshida Toshiya	4. 巻 35
2. 論文標題 Stream water quality in relation to watershed scale practical forest management in a cool temperate natural forest in northern Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 742 ~ 749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12094	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 Sawada Kozue, Inagaki Yoshiyuki, Toyota Koki	4. 巻 162
2. 論文標題 Priming effects induced by C and N additions in relation to microbial biomass turnover in Japanese forest soils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Soil Ecology	6. 最初と最後の頁 103884 ~ 103884
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsoil.2021.103884	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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Chikae Tatsumi, Takeshi Taniguchi, Sheng Du, Norikazu Yamanaka, Ryunosuke Tateno
2. 発表標題 Relationship between forest mycorrhizal type and nitrogen-cycling functions of soil microbial communities: Implications from the rhizosphere scale to the ecosystem scale
3. 学会等名 Annual Meeting of the Ecological Society of America (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福澤加里部、谷口武士、中山理智
2. 発表標題 北方林における林床植生の除去が土壌の無機窒素量と外生菌根菌組成に及ぼす影響
3. 学会等名 日本地球惑星連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福澤加里部、梁川紗奈江、高木健太郎、柴田英昭、佐藤冬樹
2. 発表標題 冷温帯林における林床植生の存在が細根バイオマス・生産量に及ぼす影響
3. 学会等名 第54回根研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山理智、館野隆之輔
2. 発表標題 北海道東部の森林の根圏土壌における初冬・初春および盛夏の微生物群集
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 福澤加里部、谷口武士、中山理智、野村睦
2. 発表標題 林床植生の除去は森林土壌の窒素動態と樹木根の外生菌根菌組成を変化させるか？
3. 学会等名 第70回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福澤加里部、智和正明、菱拓雄、松山周平、野村睦
2. 発表標題 林床植生除去に対する森林土壌の窒素動態の中長期的な応答
3. 学会等名 第134回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山理智、館野隆之輔
2. 発表標題 化合物組成の異なる根滲出物が森林土壌の微生物および窒素循環に与える影響
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 稲垣善之、鶴川信、木庭啓介
2. 発表標題 スギおよびヒノキの葉分解に伴う窒素炭素安定同位体比の変化
3. 学会等名 第68回日本生態学会大会
4. 発表年 2021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	稲垣 善之 (Inagaki Yoshiyuki) (00353590)	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 (82105)	
研究分担者	福澤 加里部 (Fukuzawa Karibu) (10456824)	北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授 (10101)	
研究分担者	館野 隆之輔 (Tateno Ryunosuke) (60390712)	京都大学・フィールド科学教育研究センター・教授 (14301)	

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