

令和元年6月6日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05113

研究課題名(和文) 降雨パターンの変化にたいする中国黄土高原の半乾燥地生態系の脆弱性の評価

研究課題名(英文) Evaluation for vulnerability of semi-arid ecosystem on the Loess Plateau against changing precipitation regime.

研究代表者

舘野 隆之輔 (TATEN0, Ryunosuke)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・准教授

研究者番号：60390712

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：今後、地球規模で進行すると考えられる降水の変動に対して、半乾燥地の生態系がどのように変化するかを明らかにすることを目的に、土壌養分動態とそれを担う土壌微生物に着目して研究を行った。本研究では、中国黄土高原の乾燥限界周辺森林において、降水量の傾度に沿った調査区での野外調査に加えて、野外での降雨操作実験、野外における土壌交換培養実験、実験室における水分操作培養実験など様々なスケールでの野外・室内操作実験を行うことにより、半乾燥地生態系の土壌養分動態と土壌微生物群集が、降水量や土壌水分の短期的・長期的な変化に対してどのように変化するかを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

陸地面積の約半分を占める乾燥地における植物生産量の変化が、地球スケールでの陸域の炭素収支の年変動に重要な影響を及ぼすことが指摘されている。乾燥地の植物の成長は水分だけでなく窒素などの養分の可給性により制限されるが、乾燥地での窒素の可給性を制御する要因については、未だ不明な点が多い。本研究は、将来の降水量の変化に対して半乾燥地生態系がどのように応答を予測する上で不可欠な微生物の動態に着目し、降水量や土壌水分の変化が生態系に与える影響について明らかにした点で学術的意義や社会的意義のある研究成果である。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to investigate the how semi-arid ecosystems change in response to precipitation variations under future climate change by focusing on soil nitrogen dynamics and soil microbes. In this study, we conducted several experiments such as the field survey along the precipitation gradient, the small plot scale rainfall manipulation experiment, the in-situ soil exchange incubation experiment, and the moisture manipulation laboratory soil incubation experiment on semi-arid forests near arid boundary on the Loess Plateau, China. In this study, we revealed the responses in soil nitrogen dynamics and soil microbial communities to short- and long-term changes in precipitation and soil moisture on semi-arid ecosystems.

研究分野：生態系生態学

キーワード：黄土高原 降水パターン 養分循環 土壌微生物 窒素無機化 乾燥傾度 硝化 気候変動

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

### 1. 研究開始当初の背景

陸地面積の約半分を占める乾燥地における植物生産量の変化が、地球スケールでの陸域の炭素収支の年変動に重要な影響を及ぼすことが指摘されている。乾燥地や半乾燥地などの気候区分は、主に年降水量により区分されるが、実際には年降水量だけではなく、降雨パターンも植物の生産に大きな影響を及ぼすと考えられる。例えば同じ降水量でも短時間に多くの降雨が起こる場合、降雨の多くが表面流として失われ、土壌水分は一時的には上昇するが生態系として利用可能な水分は必ずしも多くはならないだろう。また降雨後の無降雨期間が長期化すると土壌への影響だけでなく、植生にも多大な影響を及ぼすだろう。

乾燥地では、気候変動に伴い降水量が減少し、一段と乾燥化が進行することが懸念されているが、地域によっては、同程度の年降水量でも降雨パターンが大きく変化する地域が増加することも予想されている。乾燥限界付近の森林では、わずかな降雨変化に対しても、土壌中の微生物群集の構造や活性、土壌養分動態に大きな影響を及ぼし、結果として生態系全体の養分動態や植物生産、物質循環などにも大きな影響を与えることが予想される。

乾燥地に生育する樹木の成長は、水とともに窒素などの栄養塩も制限となる。樹木にとっての窒素可給性には、微生物群集による無機化や硝化などの窒素動態のプロセスが重要である。土壌の窒素形態変化には、菌類、細菌や古細菌など様々な土壌中の微生物の働きが深く関わることが知られているが、従来の研究では微生物の群集構造はブラックボックスとして扱われることが多かった。近年の分子生物学的手法の発達により、これまでの単離培養による微生物学的手法では評価出来なかった難培養な微生物も土壌に多く生息し、土壌窒素動態に影響を与えることが指摘されている。また微生物の分類群や種によって、環境要因に対する応答性が異なることも指摘されている。しかし多くの研究は、温帯や熱帯域の湿潤地域で行われており、乾燥地において窒素の可給性を制御する要因については、未だ不明な点が多い。降水量の変化に伴い土壌微生物群集の構造や活性が変化し、土壌の持つ養分供給機能が劣化することにより、乾燥地生態系の様々な生態系機能が喪失することが懸念されるが、半乾燥地における土壌-植物間の相互作用系の詳細なメカニズムに着目した研究は、ほとんど行われていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

気候変動に伴う降水量の減少や異常乾燥などの降雨パターンの変化に対する半乾燥地生態系の土壌-植物間の相互作用系の応答に着目し、今後地球規模で進行すると考えられる降雨の大幅な変動に対して半乾燥地生態系がどのように変化するかを明らかにすることを目的として行った。

本研究では、中国黄土高原の乾燥限界周辺の森林において、降水量の傾度に沿った調査区での野外調査に加えて、野外降雨操作実験、野外における土壌交換培養実験、実験室における水分操作培養実験など様々なスケールでの野外・室内操作実験を行うことにより、半乾燥地生態系の土壌養分動態や微生物の群集組成が、降水量の短期的・長期的な変化に対してどのように変化するかに着目して研究を行った。

具体的には、以下の調査を行った。

- (1) 降水量の変化に対して、土壌窒素動態と土壌微生物の群集構造がどのように変化するかを明らかにした。
- (2) 土壌窒素動態と土壌微生物の群集構造が土壌水分の変動に対してどのように応答するかを土壌交換培養実験により明らかにした。また落葉リターの分解に降水量の変化が与える影響について、リターバッグ交換実験により明らかにした。
- (3) 野外での降雨操作実験を行い、降雨変化に対する土壌窒素動態と土壌微生物の群集構造の応答を明らかにした。また水添加培養実験を行い、土壌水分の変化が半乾燥地の土壌窒素動態に与える影響について明らかにした。

### 3. 研究の方法

調査は、中国黄土高原の在来種であるリュウトウナラの天然林および外来種であるニセアカシアの人工林で行った。海外研究協力者である中国科学院水土保持研究所の杜盛教授が管理する陝西省延安市郊外の公路山試験地を中心に、降水量の多いサイトとして、陝西省富県のリュウトウナラ天然林、陝西省乾県の永寿試験地のニセアカシア人工林、降水量の少ないサイトとして安塞県紙坊溝試験地のニセアカシア林を調査地とした。

公路山試験地では、これまでの研究で気象観測、土壌環境観測、窒素循環や生産量、有機物蓄積量などの基本データが揃っている。また公路山試験地や永寿試験地では、本研究期間を通して、気象観測や土壌水分環境測定の時系列的な観測が、中国側の海外研究協力者である杜盛教授らのグループにより行われた。

#### (1) 降水量の傾度に沿った土壌窒素動態と微生物群集組成の変化

降水量の傾度に沿って、ニセアカシアについては、降水量の多い永寿試験地、中程度の公路山試験地、降水量の少ない紙坊溝試験地で、リュウトウナラについては、公路山試験地および降水量の多い富県のリュウトウナラ天然林で、それぞれ土壌を複数回採取し、土壌中の溶存窒素量(硝酸態窒素、アンモニウム態窒素、有機態窒素)を測定し、また土壌 DNA を抽出し、真菌・原核生物の群集組成を

次世代シーケンスにより解析し、さらに細菌、古細菌、真菌に特異的な rRNA 遺伝子とアンモニア酸化に関わる amoA 遺伝子の遺伝子コピー数をリアルタイム PCR で測定した。

#### (2) 降水量の異なる地域間での交換培養実験およびリターバッグ交換実験

永寿試験地、公路山試験地、紙坊溝試験地の降水量の異なる 3 つのニセアカシア林において、土壌交換培養実験を行った。3 サイトで採取した土壌を塩ビパイプに詰め土壌コアを作成し、それぞれのサイトに埋設し、1 年後に回収し、土壌中の溶存窒素を分析し、また土壌 DNA を抽出し、真菌・原核生物の群集組成を解析した。さらに 3 サイトよりニセアカシアの落葉を採取しリターバッグを作成し、それぞれのサイトに設置し、1 年後に回収し、重量減少およびリターバッグ内の真菌群集の組成、実験前後の落葉リターの化学性を測定した。

#### (3) 降雨操作実験および室内培養実験

海外研究協力者により進行中の永寿試験地での大面積降雨遮断試験地において、降雨遮断区と対照区の土壌を採取し、土壌中の溶存窒素の現存量を測定し、さらに真菌・原核生物の群集組成を次世代シーケンスにより解析し、さらに細菌、古細菌、真菌に特異的な rRNA 遺伝子とアンモニア酸化に関わる amoA 遺伝子の遺伝子コピー数をリアルタイム PCR で測定した。

さらに永寿試験地の降雨遮断試験地で採取した降雨遮断区と対照区の土壌を用いて、純水を添加し、土壌含水率を変えて恒温期内で一定温度で培養し、1、4、12 日後の土壌中の溶存窒素量を明らかにするとともに、細菌、古細菌、真菌に特異的な rRNA 遺伝子とアンモニア酸化に関わる amoA 遺伝子の遺伝子コピー数をリアルタイム PCR で測定した。

また公路山試験地において、降雨後の土壌中の溶存窒素と微生物群集の短期的な変化を明らかにするために、野外に小規模な調査区を複数設け、同地域の比較的大規模な降雨を模して土壌に散水し、散水後の 1、2、3、6、9 日目の土壌を経時的に採取し、同様に土壌中の溶存窒素の現存量を測定し、さらに土壌 DNA を抽出し、真菌・原核生物の群集組成の変化を明らかにした。

### 4. 研究成果

#### (1) 降水量の傾度に沿った土壌窒素動態と微生物群集組成の変化

ニセアカシア林とリュウノウナラ林ではパターンが異なったが、降水量が少ないサイトでは土壌中の溶存窒素が減少し、細菌や真菌、細菌の amoA 遺伝子のコピー数が減少する傾向がみられた。また細菌や真菌の群集構造も降水傾度で大きく変化した。しかし、降水量の違いよりもニセアカシア林とリュウノウナラ林の違いの方が大きい測定項目も多く、窒素動態や土壌微生物の群集構造を決定する要因として、降水傾度による違いも重要ではあるが、優占種の違いも大きいことが明らかとなった。ニセアカシアはアーバスキュラ菌根菌、リュウノウナラは外生菌根菌と共生することが知られるが、2 種の共生する菌根タイプの違いが窒素動態や土壌微生物の群集構造に大きな影響を与えているのではないかと推察される。

#### (2) 降水量の異なる地域間での交換培養実験およびリターバッグ交換実験

異なるサイトで培養しても、土壌微生物群集は、培養した場所の効果よりも、土壌の採取地の影響を受けることが明らかになった。おそらく今回のサイト間の環境の違いが比較的小さかったことや土壌の化学性などの基質の影響により新しいサイトに定着することが難しいなどの影響があると推察される。しかし、土壌を培養した場所の影響もみられ、サイトの降水量などの環境条件により、長期的には土壌微生物の群集組成が変化する可能性も示唆された。

リターバッグによる交換培養実験では、反対に分解速度はいずれのサイトから採取されたリターも降水量が多いほど分解速度が速くなる傾向がみられたが、採取した場所の影響もみられた。またリター中の真菌群集は、リターバッグを置いた場所の影響が圧倒的に大きい、採取された場所の効果も見られた。このことは、分解過程に降水量だけでなく、リターを採取した場所による葉の質の違いや葉に元々存在した内生菌などが影響していると推察される。

#### (3) 降雨操作実験および室内培養実験

降雨遮断区と対照区の土壌を用いて、室内培養実験を行った所、実験の開始時点では、遮断区では対照区と比べ細菌、古細菌、真菌、amoA 遺伝子コピー数が少なく、また無機態窒素(特に硝酸態窒素)の現存量が多かった。その後の培養期間では、対照区の土壌は水の添加の有無によらず硝酸態窒素が増加する傾向が見られたが、水添加でより増大する傾向が見られた。一方で、遮断区の土壌では水添加で無機態窒素の量に水添加当初は変化がみられなかったが、12 日後には減少する傾向が見られた。遮断区の土壌への水添加無の場合、3 日後に急激に減少し、その後徐々に増加する傾向がみられるなど、対照区土壌とは異なる水分添加に対する応答性を示した。土壌微生物の amoA 遺伝子のコピー数の変化も降雨遮断区と対照区の土壌では異なるパターンを示しており、乾燥による微生物群集の変化により、水添加に対する応答性が変化することが示唆された。

公路山試験地での降雨応答実験に関しては、降雨後の土壌含水率の増加により、両林分とも純無機化速度の増加は見られたが、硝酸態窒素の動態は両林分で異なり、ニセアカシア林では硝酸態窒素の増加がみられたが、リュウノウナラ林では見られなかった。このことから森林タイプの違いも、降雨に対する窒素動態の変化に影響を及ぼすことが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 22 件)

Tateno R, Tatsumi C, Nakayama M, Takahashi K, Kerfahi D, Adams J (2019) Temperature effects on the first three years of soil ecosystem development on volcanic ash. *Catena* 172:1-10.

Tateno R, Imada S, Watanabe T, Fukuzawa K, Shibata H (2019) Reduced snow cover changes nitrogen use of canopy and understory vegetation during the subsequent growing season. *Plant and Soil* 438:157-172.

Miyazawa Y, Du S, Taniguchi T, Yamanaka N, Kumagai T (2018) Gas exchange by the mesic-origin, arid land plantation species *Robinia pseudoacacia* under annual summer reduction in plant hydraulic conductance. *Tree Physiology* 38:1166-1179.

Iwaoaka C, Imada S, Taniguchi T, Du S, Yamanaka N, Tateno R (2018) The impacts of soil fertility and salinity on soil nitrogen dynamics mediated by the soil microbial community beneath the halophytic shrub tamarisk. *Microbial Ecology* 75:985-996.

Tateno R, Takeda, H. (2018) Nitrogen resorption efficiency of 13 tree species of a cool temperate deciduous forest in Central Japan. *Journal of Forest Research* 23: 91-97

Nakayama M, Tateno R (2018) Solar radiation strongly explains the quantity of forest tree root exudates. *Trees* 32:871-879.

北川陽一郎・松山周平・太田健一・岡部芳彦・勝山智憲・岸本泰典・佐藤修一・柴田泰征・中川智之・西岡裕平・林大輔・古田卓・山内隆之・吉岡歩・館野隆之輔(2017)「北海道東部におけるエゾシカの日周活動と時空間分布の季節変化」*森林立地* 59:1-11.

Tateno R, Taniguchi T, Zhang J, Shi W, Zhang JG, Du S, Yamanaka N (2017) Net primary production, nitrogen cycling, biomass allocation, and resource use efficiency along a topographical soil water and nitrogen gradient in a semi-arid forest near an arid boundary. *Plant and Soil* 420:209-222

Hosokawa N, Isobe K, Urakawa R, Tateno R, Fukuzawa K, Watanabe T, Shibata H (2017) Soil freeze-thaw with root litter alters N transformations during the dormant season in soils under two temperate forests in northern Japan. *Soil Biology and Biochemistry* 114:270-278.

Shi W, Du S, Morina J, Guan J, Wang K, Ma M, Yamanaka N, Tateno R (2017) Physical and biogeochemical controls on soil respiration along a topographical gradient in a semiarid forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 247:1-11.

Kerfahi D, Tateno R, Takahashi K, Cho H, Kim H, Adams JM (2017) Development of soil bacterial communities in volcanic ash microcosms in a range of climates. *Microbial Ecology* 73:775-790.

Tian Q, Taniguchi T, Shi WY, Li G, Yamanaka N, Du S (2017) Land-use types and soil chemical properties influence soil microbial communities in the semiarid Loess Plateau region in China. *Scientific Reports* 7:45289

Hyodo F, Haraguchi TF, Hirobe M, Tateno R (2016) Changes in aboveground and belowground properties during secondary natural succession of a cool-temperate forest in Japan. *Journal of Forest Research* 21:170-177

稲垣 善之・館野 隆之輔 (2016) 樹木の成長を支える土壌 *森林科学* 77:7-9.

Maimaiti A, Iwanaga F, Taniguchi T, Hara N, Matsuo N, Mori N, Yunus Q, Yamanaka N (2016) Inorganic and Organic Osmolytes Accumulation in Five Halophytes Growing in Saline Habitats around Aiding Lake Area in Turpan Basin, Northwest China. *Arid Land Research and Management* 30:421-431.

Yan MJ, Zhang JG, He QY, Shi WY, Otsuki K, Yamanaka N, Du S (2016) Sapflow-based stand transpiration in a semiarid watershed of natural oak forest on China's Loess Plateau. *Forests* 7: 227.

兵藤不二夫 (2016) 炭素・窒素同位体が解き明かす熱帯雨林の節足動物の食性. *日本生態学会誌* 66:421-428

Hyodo F (2015) Use of stable carbon and nitrogen isotopes in insect trophic ecology. *Entomological Science* 18: 295-312

佐井敏・増田達志・原鋭次郎・山中典和・衣笠利彦 (2015)中国における砂丘緑化用灌木 *Caragana korshinskii* Kom. (橐条)の種子サイズと発芽後の成長および乾燥耐性. *日本緑化工学会誌* 41:51-55.

Zhang JG, He QY, Shi WY, Otsuki K, Yamanaka N, Du S (2015) Radial variations in xylem sap flow and their effect on whole tree water use estimates. *Hydrol. Process.* 29: 4993-5002.

Taniguchi T, Imada S, Acharya K, Iwanaga F, Yamanaka N (2015) Effect of soil salinity and nutrient levels on the community structure of the root-associated bacteria of the facultative halophyte, *Tamarix ramosissima*, in southwestern United States. *The Journal of General and Applied Microbiology*.61(5):193-202

Tripathi BM, Kim M, Tateno R, Kim W, Wang J, Lai-Hoe A, Shukor NAA, Rahim RA, Go R, Adams JM (2015) Soil pH and biome are both key determinants of soil archaeal community structure. *Soil Biology and Biochemistry* 88:1-8.

(学会発表) (計 9 件)

- Tatsumi (Iwaoka) C, Taniguchi T, Du S, Yamanaka N, Tateno R (2018) Does the response of soil nitrogen dynamics and microbial community to an artificial rainfall differ depending on the forest type, especially the mycorrhizal type? Ecological Society of America 2018 Annual Meeting.
- Tatsumi C, Taniguchi T, Du S, Yamanaka N, Tateno R (2018) Soil nitrogen cycling is more strongly determined by forest type due to the difference in mycorrhizal type than by geographical distance along the aridity gradient. American Geophysical Union 2018 Fall Meeting
- Iwaoka C, Imada S, Taniguchi T, Du S, Yamanaka N, Tateno R (2018) The soil prokaryotic community under halophytic tamarisk shrubs compared to barren areas and herbaceous patches in drylands. The 8th East Asian Federation of Ecological Societies
- Iwaoka C, Taniguchi T, Du S, Yamanaka N, Tateno R (2018) Soil microbial communities associated with each step in nitrogen transformation along a rainfall gradient in semiarid forests. 第65回日本生態学会大会
- 兵藤不二夫, 田中洋, 原口岳, 館野隆之輔, 廣部宗, 陀安一郎 (2018) 冷温帯林の二次遷移に伴う地上部 - 地下部の生態特性とアリ群集の食性の变化 第65回日本生態学会大会
- Iwaoka C, Hyodo F, Taniguchi T, Shi W, Du S, Yamanaka N, Tateno R (2017) The symbiotic relationship between dominant canopy trees and soil microbes affects the nitrogen source utilization of co-existing understory trees. American Geophysical Union 2017 Fall Meeting
- 岩岡史恵, 谷口武士, 山中典和, 杜盛, 館野隆之輔 (2017) 半乾燥地の森林土壌における真菌・原核生物機能群組成と窒素動態 第64回日本生態学会
- 岩岡史恵, 谷口武士, 山中典和, 杜盛, 館野隆之輔 (2016) 半乾燥地の菌根菌タイプの異なる2つの森林における窒素動態と微生物動態 第127回日本森林学会大会
- 岩岡史恵, 今田省吾, 谷口武士, 山中典和, 杜盛, 館野隆之輔 (2016) 中国黄土高原の草原植生において塩生植物タマリスク個体が土壌窒素動態および微生物群集に与える影響 第63回日本生態学会

[図書] (計 1 件)

- 山中典和・山本福壽 (2016) 「3-3-2 中国における生態系修復」、鳥取大学乾燥地研究センター監修 黒崎泰典・黒沢洋一・篠田雅人・山中典和編『黄砂 健康・生活環境への影響と対策』丸善 (ISBN978-4-621-30029-9)p.133-138

[その他] (受賞報告 計 3 件)

- <http://fserc.kyoto-u.ac.jp/wp/blog/archives/24881>  
<http://fserc.kyoto-u.ac.jp/wp/blog/archives/22952>  
<http://fserc.kyoto-u.ac.jp/wp/blog/archives/22104>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 山中典和

ローマ字氏名: YAMANAKA, Norikazu

所属研究機関名: 鳥取大学

部局名: 乾燥地研究センター

職名: 教授

研究者番号(8桁): 20202385

研究分担者氏名: 谷口武士

ローマ字氏名: TANIGUCHI, Takeshi

所属研究機関名: 鳥取大学

部局名: 乾燥地研究センター

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 10524275

研究分担者氏名: 兵藤不二夫

ローマ字氏名: HYODO, Fujio

所属研究機関名: 岡山大学

部局名: 異分野融合先端研究コア

職名: 准教授

研究者番号(8桁):70435535

(2)研究協力者

研究協力者氏名:龍見史恵

ローマ字氏名:TATSUMI, Chikae

研究協力者氏名:杜盛

ローマ字氏名:DU, Sheng

研究協力者氏名:時偉宇

ローマ字氏名:SHI, Weiyu

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。