

平成 22 年 4 月 13 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19380078

研究課題名 (和文) 環境傾度に沿った森林土壌の物質循環調節能の広域評価

研究課題名 (英文) Large-scale evaluation of biogeochemical functions in forest soil along with environmental gradient

研究代表者

柴田 英昭 (SHIBATA HIDEAKI)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授

研究者番号：70281798

研究成果の概要 (和文) : 列島スケールでの気候変化に応じた森林土壌内での窒素動態変化について、北海道北部、関東北部、近畿中部、九州南部の拠点サイトを中心に研究を行った。気温上昇は微生物による窒素代謝を高めたものの、気候変化よりも各地特有の窒素動態特性が維持される傾向があった。各地においては大気汚染による窒素沈着や、過去における里山利用による養分欠乏などの影響が現在の窒素無機化速度の地点間差に強く影響しているものと考えられた。

研究成果の概要 (英文) : This project was conducted in northern Hokkaido, northern Kanto, central Kinki and southern Kyusyu to understand the pattern and factors of the alteration in nitrogen dynamics of forest soil along with the climatic gradient in Japanese archipelago. While the warming increased soil microbial metabolisms of nitrogen, each specific characteristic of soil nitrogen dynamics in each site was relatively maintained even under the climate change. It was suggested that the much atmospheric nitrogen deposition and the previous human utilization of forest resources strongly influenced the differences among the sites.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2008 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2009 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：生物地球化学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：生物地球化学，クロス培養実験，窒素循環，生態系生態学，比較研究，土壌微生物，森林生態系，窒素無機化

1. 研究開始当初の背景

森林土壌は生態系の物質循環の「かなめ」として機能していることが知られている。土壌

と中心とした生態系の物質循環プロセスは、さまざまな環境変化と生態系応答に密接な関係がある。森林生態系の炭素固定や窒素保

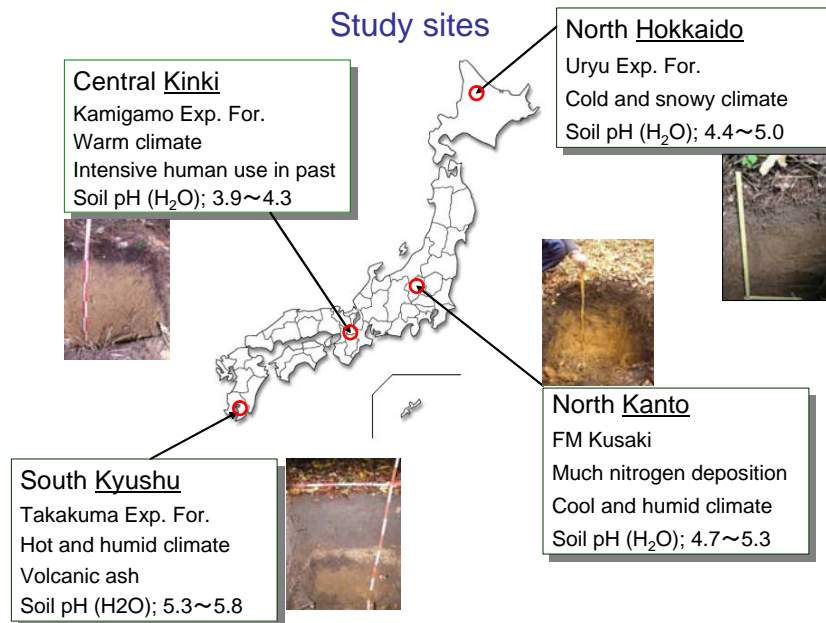


図 1. 現地培養実験の位置図

持、水質形成、酸性雨中和など、物質循環と深く関わりのある生態系機能を理解し、土壌の物質循環調節機能という観点からそのメカニズムや変動要因を解明することは、社会的にも関連研究分野でも非常に重要であると言われている。

しかしながら、土壌を中心とした生態系の物質循環は個々の立地条件(気候、地質など)や内的条件(植生、土壌など)の相互作用系に強く影響されており、そこでの研究成果が他の地域に適用できず、事例研究の域を出ないことが問題とされている。さらに、温暖化や大気汚染などの外部環境変化が加わった生態系では、個別サイトでのモニタリングのみでは成果の一般化、普遍化はきわめて困難であるといえる。北米における大気窒素汚染が森林に及ぼす影響を調べた例では、地域レベルでの大気窒素沈着の地理分布や、植生種の空間分布、気象要因の年々変動などが重要なドライバーとして指摘されている。しかし、その程度や応答パターン自体も北東アメリカという環境傾度の中で明らかとなったことであり、他地域で適用できるかどうかは明らかとなっていない。

日本列島は南北に広いため気候や地形、地質などの環境傾度は大きく、その特性が植生や土壌の地理分布とも密接に関係している。そのことは生態系の物質循環に関する地理分布や差異にも強く影響していることが予想されているもの、その変動パターンと環境変動応答との関係を明らかにしている研究はほとんどなく、とりわけ土壌内でのプロセスを詳細に比較研究した事例は存在していない。

2. 研究の目的

本課題は以上のような背景のもと、土壌が持つ物質循環調節機能の中でも窒素無機化・硝化プロセスに特に注目し、列島スケールでの気候傾度に沿った地域間比較研究を行った。地域ごとの気候や地質、土壌といった立地条件の違いや大気窒素汚染の違いに着目し、各地での土壌のクロス培養実験などを通じて、気候変化に対する土壌の窒素動態変化のパターンや要因を解明することを目的とした。

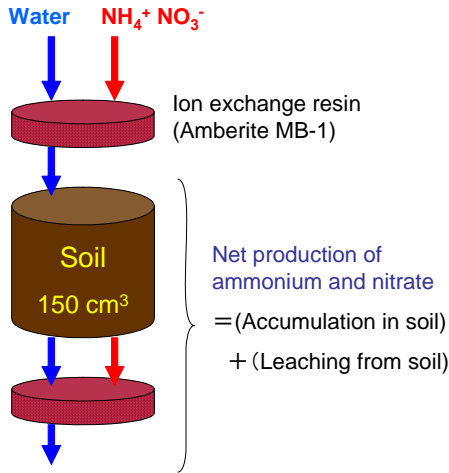
3. 研究の方法

本研究は北海道北部の北海道大学雨龍研究林、関東北部の東京農工大学 FM 草木、近畿中部の京都大学上賀茂試験地、九州南部の鹿児島大学高隈演習林で行った(図 1)。現地での培養実験は 2008 年 6 月から 2009 年 5 月にかけて実施し、成長期間として 6~7 月、8~10 月、休眠期間として 11~5 月に分けて培養した。各サイトにおいて複数ヶ所から 0~10cm 深の鉍質土壌を採取し、4mm のフルイを用いて石礫と根系を取り除いたものを培養に用いた。

約 150cc の円筒容器の上下端にイオン交換樹脂を取り付け、降水による窒素流入を防ぐと同時に、土壌からの溶脱窒素を測定した(図 2)。また、用いたイオン交換樹脂は透水性があるので、降水に応じた水分量が土壌に供給される。各地で採取した土壌は、4℃以下の低温条件下で他の 3 地点に輸送し、全ての土壌について 4 地点での交換培養実験を行った。各地における土壌培養容器の繰り返しは各 5 反復であった。培養前後に土壌とイオ

ン交換樹脂を塩化カリウムで抽出し、無機態窒素含有率を分析した。培養期間に増加した無機態窒素含有量と、容器下端で回収した土壌からの無機態窒素溶脱量の合計量を、培養期間の正味窒素無機化速度とした。

また、一部の土壌サンプルを用いて DGGE 法による土壌微生物群集の解析を行うとともに、 ^{15}N をトレーサーとして用いた室内実験からグロス窒素形態変化速度を求めた。



4. 研究成果

各地における土壌表層の地温と降水量の季節変化を図 3 に示す。地温は北から南にかけて上昇し、降水量は関東と九州で高い傾向が認められた。

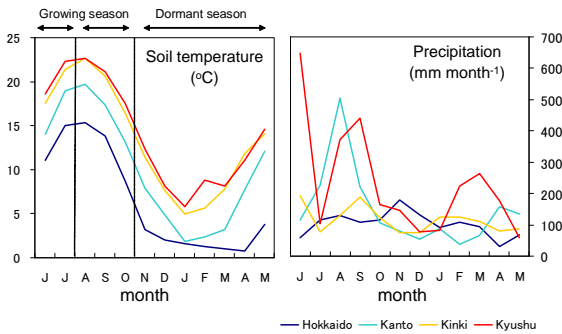


図 4 には各地における現地培養の結果を示した。北海道北部はアンモニウム生成が優占であり、特に休眠期である冬季に高い値を示した。関東北部では年間を通じて硝化速度が高いのに対し、近畿中部ではアンモニウム生成・硝酸生成ともに全地点を通じて最も低い値を示した。関東北部は大気からの窒素沈着量が他の地点より多いことが知られており、その影響により生態系内部の窒素循環量が増加したことが反映しているものと考え

られた。

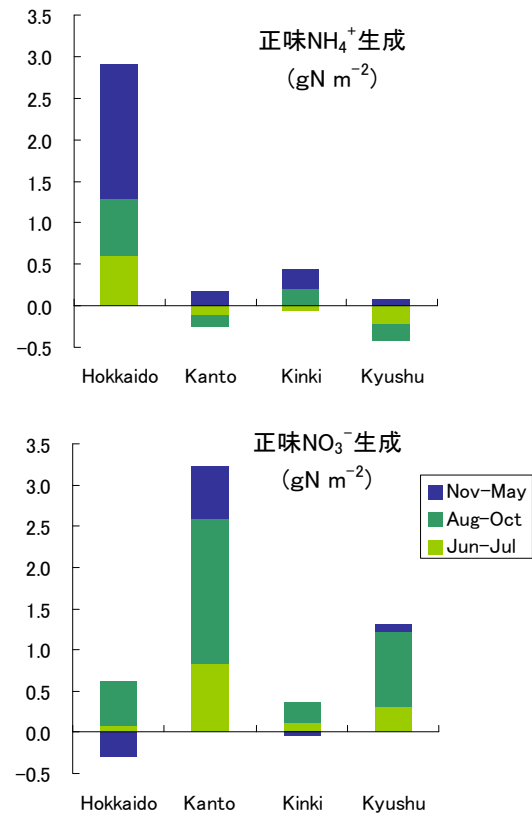


図 4. 各地における期間ごとの正味アンモニウム生成速度（上図）および正味硝化速度（下図）

京都周辺に位置する近畿中部では過去長期間にわたり里山としての森林資源利用が行われてきた。その結果として、土壌表層中の養分や有機物は乏しく、過去の森林利用の影響が現在の土壌内での窒素動態に影響していることが示唆された。

各地の土壌を 4 地点でそれぞれ現地培養した際の、正味アンモニウム生成速度と硝化速度を図 5 に示す。図 5 では土壌ごとに結果を並べ、それぞれ左から順に、北海道、関東、近畿、九州での培養結果を示している。

各地点の土壌は交換培養に伴う気候変化に応じて、それぞれ正味アンモニウム生成や硝化速度が変化しているものの、全体的な窒素動態の特性は地域ごとに維持されていることが明らかとなった。北海道では常にアンモニウム生成が優占的であり、関東では常に硝化が優占していた。一方、近畿土壌はどの気候においても低い値を示していた(図 5)。

交換培養に伴う気候変化が及ぼす影響に着目すると、北海道、関東および九州の土壌を近畿に移動することより、土壌微生物の窒素代謝、特に正味硝化速度が高まる傾向があった。近畿は温暖な地域であることから、北

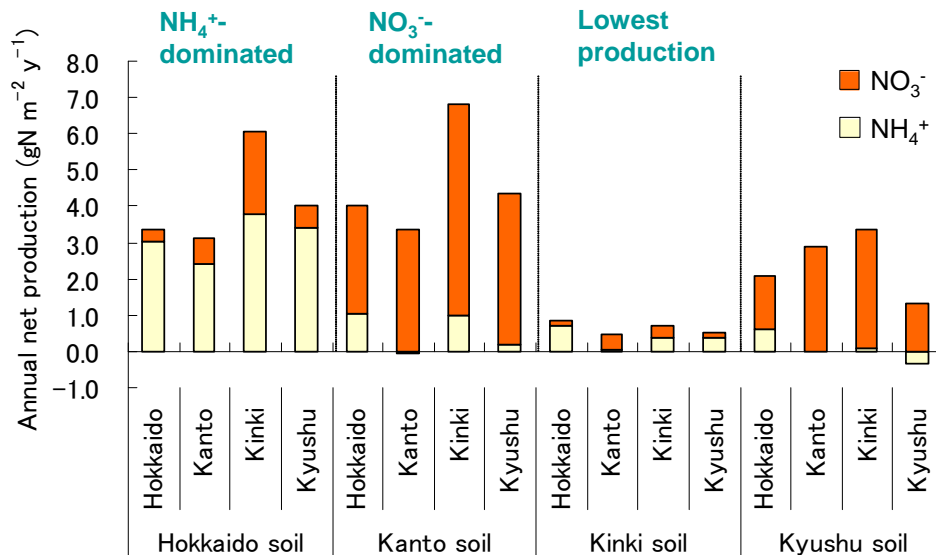


図 5. 交換培養による各地土壌の正味アンモニウム生成速度と正味硝化速度の比較

海道や関東の土壌については、温度上昇に伴う微生物活性の高まりによるものと考えられた。一方で九州土壌を近畿に北上させた場合の硝化速度上昇の原因や、最も南に位置している九州での気候下において無機化・硝化が特に高まらなかった原因については依然として不明である。夏季における九州での多雨による影響など(図 1)、今後の課題として残された。

また、関東、近畿、九州の土壌を寒冷気候である北海道に移植することで、各地土壌の正味アンモニウム生成速度が高まる傾向が認められた(図 5)。この傾向は低温環境である休眠期(11~5 月)にとりわけ顕著であった。このことは図 4 に示すように北海道という気候環境が正味硝化よりも正味アンモニウム生成に適していることを示唆するものであり、将来の温暖化によってアンモニウム生成優占のシステムから硝化優占のシステムに移行する可能性をも示唆している。しかしながら、北海道という寒冷気候に移行した際における正味アンモニウム生成の高まりが、アンモニウム生成速度そのものが高まったのか、アンモニウムを利用する硝化速度や土壌微生物によるアンモニウム有機化が低下したことによるのかどうかという点については現時点では明らかとなっていない。

DGGE 法による土壌微生物群集の解析では、各地土壌において、それぞれ異なる群集パターンが示されており、それらが各土壌における窒素無機化・硝化速度にどのように関わり、気候変化に対する応答とどのように関係しているのかを明らかにすることが今後必要である。また、室内培養によるグロス窒素形態変化速度の結果からは、土壌の炭素/窒素比が低くなるほど、総窒素無機化速度に

対する総硝化速度の割合が高くなる傾向が認められた。今後、交換培養土壌におけるグロス速度とその地点間差の要因を明らかにすることが課題として残された。

以上のように、列島スケールでの気温・水分環境の変化は土壌微生物による窒素代謝をそれぞれ変化させる傾向が明らかになり、気候変化よりも各地特有の窒素動態特性が維持される傾向があることが示された。各地の森林土壌においては関東地域における大気汚染による窒素沈着や、近畿地方における過去における里山利用による養分欠乏など、地域特有の影響が現在の窒素無機化速度の地点間差に強く影響しているものと考えられた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 24 件)

- ① Tateno, R., Takeda, H. (2010) Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency above and below ground along a topographic gradient of soil nitrogen availability. *Oecologia* (In press) 査読有
- ② Takebayashi, Y., Koba, K., Sasaki, Y., Fang, Y. and Yoh, M. (2010) Natural abundance of ¹⁵N in plant and soil available N indicate a shift of main plant N resources to NO₃⁻ from NH₄⁺ along with the N leaching gradient. *Rapid communications in Mass Spectrometry* (In press) 査読有
- ③ 柴田英昭・福澤加里部 (2010) 北海道北

部の天然林生態系における窒素循環プロセスの特性. 環境科学会誌 23 (印刷中) 査読有

- ④ Inagaki, Y., Okuda, S., Sakai, A., Nakanishi, A., Shibata, S., Fukata, H. (2010) Leaf-litter nitrogen concentration in hinoki cypress forests in relation to the time of leaf-fall under different climatic conditions in Japan. Ecological Research 25:429-438. 査読有
- ⑤ Park, J.-H., Duan, L., Kim, B., Mitchell, M. J. and Shibata, H. (2010) Potential Effects of Climate Change and Variability on Watershed Biogeochemical Processes and Water Quality in Northeast Asia. Environment International 36:212-225. 査読有
- ⑥ Tateno, R. 以下 8 名 (2009) Biomass allocation and nitrogen limitation in a *Cryptomeria japonica* plantation chronosequence. Journal of Forest Research 14:276-285. 査読有
- ⑦ 柴田英昭, 戸田浩人, 福島慶太郎, 谷尾陽一, 高橋輝昌, 吉田俊也 (2009) 日本における森林生態系の物質循環と森林施業との関わり. 日本森林学会誌 91:408-420. 査読有
- ⑧ 戸田浩人・筒井 希美子・喜多 智・浦川 梨恵子・生原 喜久雄 (2009) 斜面位置の違いによる森林土壌の糸状菌と細菌のバイオマス. 日本緑化工学会誌 35:15-20. 査読有

[学会発表] (計 26 件)

- ① Shibata, H., Toda, H., Inagaki, Y., Tateno, R., Koba, K., Nakanishi, A. 以下 4 名 Regional and comparative soil incubation study on nitrogen dynamics in forest ecosystems; ReSIN project. 第 121 回 日本森林学会大会, 2010 年 4 月 3 日, つくば市, 筑波大学
- ② 黒岩 恵, 磯部 一夫, 木庭 啓介, 柴田英昭, 戸田 浩人, 稲垣 善之, 館野 隆之輔, 中西 麻美 以下 4 名, 4 地点の森林土壌における総硝化速度と微生物. 第 121 回 日本森林学会大会, 2010 年 4 月 3 日, つくば市, 筑波大学
- ③ 山崎 朱夏, 館野 隆之輔, 柴田 英昭, 火山性未熟土への炭素と窒素の添加が炭素・窒素無機化特性に与える影響, 第 121 回 日本森林学会大会, 2010 年 4 月 4 日, つくば市, 筑波大学
- ④ 柴田英昭・戸田浩人・稲垣善之・館野隆之輔・木庭啓介・中西麻美・浦川梨恵子・山崎朱夏, 列島スケールでの環境変化が森林表土の窒素無機化速度に及ぼす影響

~現地交換培養実験~, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 21 日, 千葉市, 幕張メッセ

- ⑤ 稲垣善之・倉本恵生・酒井敦・中西麻美・深田英久, ヒノキ林の窒素循環: 気象条件の影響, 第 119 回 日本森林学会大会, 2008 年 3 月 28 日, 府中市, 東京農工大学

[図書] (計 5 件)

- ① 勝山正則・館野隆之輔 (2009) 「環境変動を予測シナリオ群を作成する」 「環境意識調査法—環境シナリオと人の選好・吉岡崇仁編」, 勁草書房, 63-90
- ② 木庭啓介 (2008) 土壌と河川における微生物学的窒素除去プロセスの評価, 「流域環境評価と安定同位体 (永田俊, 宮島 利宏 編)」, 京都大学学術出版会, 199~216

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件) ○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

http://ecosystems.lab.tuat.ac.jp/Resin/Xsites_home.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴田 英昭 (SHIBATA HIDEAKI)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授

研究者番号: 70281798

(2) 研究分担者

戸田 浩人 (TODA HIROTO)

東京農工大学・共生科学技術研究院・教授
研究者番号: 00237091

稲垣 善之 (INAGAKI YOSHIYUKI)

森林総合研究所・立地環境研究領域・主任研究員

研究者番号: 00353590

館野 隆之輔 (TATENO RYUNOSUKE)

鹿児島大学・農学部・准教授

研究者番号: 60390712

木庭 啓介 (Koba KEISUKE)

東京農工大学・共生科学技術研究院・准教授

研究者番号: 90311745

(3) 連携研究者

中西 麻美 (NAKANISHI ASAMI)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・助教

研究者番号: 60273497