

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20780120

研究課題名（和文）火山灰土壌に成立する森林における大規模皆伐が物質循環様式に与える影響評価

研究課題名（英文）The effects of whole watershed clearcutting on nutrient cycling in the forested watershed on volcanic immature soils.

研究代表者

館野 隆之輔 (TATENO RYUNOSUKE)

鹿児島大学・農学部・准教授

研究者番号：60390712

研究成果の概要（和文）：本研究は、土壌中の有機物含量が非常に小さい火山灰性未熟土壌に成立する森林の皆伐後の短期的・長期的な養分循環の変化を明らかにすることを目的として行った。樹木の一次生産量、土壌窒素無機化速度、樹木の窒素吸収量など窒素循環に関わるパラメーターは、人工林と常緑広葉樹林ともに未熟土以外の同一気候帯の森林と大差ないことが明らかとなった。一方で伐採に伴う硝酸流出量は、他の同一気候帯での結果に比べて小さく、このことは本調査地の特徴的な土壌特性や水文特性などを反映しているものと考えられた。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to reveal the short- and long-term changes in nutrient cycling after whole tree clearcutting of forested watershed developed on volcanic immature soil where soil organic matter contents is quite low. There were no clear differences in the parameters concerning nitrogen cycling such as net primary production, soil nitrogen mineralization and nitrogen uptake by plant between this study site and other regions. In contrast, nitrate discharge was significantly lower than other regions probably due to the unique soil properties and hydrological process of this study site.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度			
2007年度			
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：森林伐採、窒素流出、溪流水質、未熟土、火山灰、窒素循環、養分循環、物質生産

1. 研究開始当初の背景

森林伐採により内部循環系が攪乱され、伐採後植生に吸収されなくなった窒素などの養分は、溪流水中に溶け込み系外へと流出する。

一方で植生の回復に伴い、系外への流出は再び急速に減少する。これまで国内外で行われた大規模伐採試験によると、伐採後数年内に溪流水の硝酸濃度は数倍から数十倍になるこ

とが報告されている (Bormann & Likens 1979, Swank & Crossly 1988 など)。しかし、森林伐採による物質循環への影響は、気候条件や土壌条件などにより様々であり、どのようなプロセスが渓流水の流出過程に影響を与えるのか統一的な見解は得られていない (徳地ほか 2006)。さらに森林生態系を保全しつつ利用することは、地域の活性化や持続型社会を構築するために不可欠であるが、森林の伐採などの人為影響が森林や流域環境に与える長期的な影響を予測できるモデルは存在しないのが現状である。森林伐採の影響を適切に評価できることは、森林管理の上でも重要な課題である。

本課題の調査地は、桜島噴火活動による火山灰が堆積した地域である。他の黒ボク土など火山灰土壌との決定的な違いは、表層土壌が 1914 年の噴火による火山灰であるため、土壌生成作用が約 100 年程度と十分な時間を経過していない。従って、土壌には過去から蓄積した腐植有機物があまり多く含まれず、内部循環への攪乱の影響が直接的にあらわれるのではないかと考えられる。これまでの伐採試験での報告では、土壌に蓄積された有機物の分解プロセスと内部循環の攪乱・回復プロセスのどちらの影響が相対的に重要なのかを明らかに出来なかったが、本課題での成果を他地域での同様の伐採試験と比較することにより相対的な寄与率を検討できるのではないかと考えて研究を行った。

2. 研究の目的

本課題は大規模森林伐採の影響を外部循環・内部循環を定量的に評価することにより、森林伐採の長期影響評価モデルを構築することを目的とした。具体的に以下の点について明らかにすることを目的とした。

(1) 火山灰土壌 (未熟黒ボク土) に成立する森林の伐採が渓流水質に与える短期的な影響を明らかにした。

(2) 伐採後の植生-土壌相互作用形の回復過程を、有機物や養分の蓄積量・有機物生産量・物質循環量などを定量化することにより、長期的な物質循環プロセスを明らかにした。

(3) 森林の物質循環プロセスを組み込んだ、森林伐採の長期影響評価モデルを検討した。

3. 研究の方法

本課題では、森林伐採の物質循環へ与える影響を明らかにする為に、(1) 集水域単位での大規模伐採試験による伐採の短期影響評価、(2) 時系列調査区による森林の長期動態の把握、(3) 物質循環のプロセスモデ

ルを用いた長期影響評価モデルの構築を行った。

(1) 調査地の概略

調査は、鹿児島大学農学部附属高隈演習林で行った。調査地の年平均気温は 14.0°C (1999~2004)、平均年降水量は 3410mm (1999~2004) である (高隈演習林気象報告, 2005)。調査地の土壌は桜島火山の火山噴出物が数層に渡って堆積した累積性火山灰土である。表層から深さおよそ 40-50cm くらいまでは 1914 年の大正噴火による火山噴出物が被覆しているため、樹木の養分吸収にとって重要な土壌表層部は、土壌生成が約 100 年程度しか経過していない火山灰性の未熟土が広がる。

伐採試験は、高隈演習林 16 林班内の約 12ha の伐採試験地 (2005 年冬伐採) および隣接する約 50 年生の森林流域で行った。12ha の伐採集水域は約 6 ha の二つの集水域を含み、1 つにはスギを一斉植林し (2006~2007 にかけて植栽)、もう一つは植林をしないで自然に植生回復 (主に常緑広葉樹が更新) させる処理を行うことにより、伐採後の植生回復過程の違いが物質循環に与える影響のモニタリングを行った。

長期時系列調査に関しては、演習林内から施業履歴の明らかな様々な林齢の小林分を抽出し、炭素窒素蓄積量や物質循環パラメーターの測定を行った。

(2) 森林流域と伐採流域での水質評価

伐採流域 (スギ植林・放置) と森林流域の渓流水質のモニタリングを、2005 年の伐採前から 1 ヶ月に 1 回程度渓流水の採水を行っており、伐採後は 2 週間から 1 ヶ月に一度の採水を行い、伐採後の養分流出についてのモニタリングを行った。また森林流域内の常緑広葉樹林において林内雨、伐採流域内の露場において林外雨を 2 週間から 1 ヶ月に一度の採水を行った。

渓流水、林内雨、林外雨の分析項目について、pH および EC を現場で測定し、採水したサンプルを実験室に持ち帰り主要アニオン・カチオン濃度の測定を、イオンクロマトグラフを用いて行った。

(3) 時系列プロットの設置

高隈演習林において整備されている森林管理簿データベースを用いて、様々な林齢の施業履歴の明らかなスギ人工林および常緑広葉樹林を抽出した。スギ人工林については、8 年生から 92 年生の 11 プロットを調査対象

地とし、15×15mあるいは10×10mの調査区を設け、毎木調査を行った。また常緑広葉樹林については、5年生から133年生の11プロットを調査対象地とし、10×10mの調査区を設け、毎木調査を行った。

(3) 土壌-植生の相互作用系（内部循環）に関する基礎データの収集

様々な林齢のスギ林および常緑広葉樹林内に設けた調査区に、リタートラップを各4～5個設置し、1ヶ月～2ヶ月間隔でリターを採取し、乾燥後重量を測定し、リターフォール量とした。またリターは粉碎後NCアナライザーにより炭素・窒素濃度を測定し、また湿式灰化後、リン濃度をモリブデンブルー法により測定した。

生葉について、スギ人工林においては各調査区からスギ5個体について、日の当たる枝から生葉を採取し、粉碎後NCアナライザーにより炭素・窒素濃度を測定し、また湿式灰化後、リン濃度をモリブデンブルー法を用いて測定した。広葉樹林においては、優占するスダジイとシロダモを5個体ずつ選び、日の当たる枝から生葉を採取し、粉碎後NCアナライザーにより炭素・窒素濃度を測定し、また湿式灰化後、リン濃度をモリブデンブルー法により測定した。

各調査区から表層0-10cmの土壌を採取し、pH、CN含量、無機態窒素現存量を測定した。またバリードバッグ法による現地培養による窒素無機化速度についても測定を行った。

(4) 環境要因の測定

モデルのインプットデータとなる気象条件・土壌水分・地温などの環境条件の測定を行った。気象条件に関しては、鹿児島大学高隈演習林において行われたデータを一部用いた。欠測期間については、調査地付近のアメダスデータを用いた。また土壌水分に関してはECHOセンサーを、地温については温度とりJrを用いて、複数の調査区において連続観測を行った。

4. 研究成果

(1) 伐採後の渓流水質変化

伐採流域における渓流水中の硝酸イオン濃度は、伐採後直後から1年半後にかけて上昇し、その後、降水量の多い夏季に濃度減少、冬季に濃度上昇を繰り返しながら徐々に減少するというパターンを見せた。伐採流域のピーク時の硝酸イオン濃度は1.59ppmであり、森

林流域の硝酸イオン濃度の平均値は0.75ppmと約2倍程度であった。伐採後4年が経過した段階で、伐採流域と森林流域との硝酸イオン濃度の差はほとんど見られなくなった。伐採に伴う渓流水の硝酸イオン濃度の上昇は、これまで他地域で行われてきた伐採試験でのピーク濃度が数倍から数十倍程度に上昇という報告と比較すると大きな変動ではなかった。本調査地と同様に火山灰土壌の影響を少なからず受けている東京農工大学フィールドミュージアム大谷山での伐採試験では、風化の進んだ火山灰性の下層土壌が陰イオンを吸着しやすいため、伐採後5年を経過しても渓流水中の硝酸イオン濃度が伐採前よりも高い状態が続くことが報告されている(浦川ら、2009)。また福島・徳地(2009)では、和歌山県と奈良県の境に位置する褐色森林土壌に成立する林齢の異なるスギ林の集水域の渓流水の硝酸濃度が、伐採から約3年後の森林流域で最も高くなり、3年から15年生の流域にかけて低下し、15年生以上の流域ではほぼ一定の濃度になることを明らかにしている(福島、徳地2008)。このような他地域とのピーク濃度や濃度上昇や低減のパターンの相違は、本調査地が未熟土であるため土壌中の有機物含量が少ないことと硝酸イオンを多量に吸着・保持することが出来ないという特異的な特性を反映しているものと考えられる。

硝酸濃度の季節パターンに関して、本調査地では伐採流域と森林流域ともに、夏場に減少する傾向が見られた。本調査地の土壌は、陰イオン吸着能の低い未熟土であるため、土壌中に吸着されている硝酸態窒素量が少なく、雨量の増加と共に洗脱されたものが流出するという効果よりも雨量増加に伴う希釈効果の方が顕著に現われたものと考えられる。Ohte et al. (2001, 2010)は、日本の森林における渓流水の硝酸濃度は、夏場に高くなることが多く、北米などで報告されている夏場に植生の吸収などにより減少するパターンとは異なることを示し、我が国において硝酸流出を強く規定するのは、植物や微生物の消費よりもむしろ降雨流出という水文学的なプロセスが重要であることを示唆している。本調査地でも他の日本の森林同様に夏場に無機化の増大や植物の吸収量の増加や微生物の消費が大きくなると考えられるが、我が国の他地域とは異なる季節パターンであったことから、本調査地での硝酸吸着能や水文プロセスを明らかにすることにより、さらに一般的な硝酸流出パターンを明らかに出来ると考えられる。今後は、伐採後の土壌有機物の変化パターンや陰イオン吸着能、水文プロセスなども併せて検

討していくことにより、火山灰性未熟土壌での詳細な伐採影響評価に繋がると考えられる。

硝酸イオン以外のイオン濃度については、ほぼ森林流域と伐採流域の違いは、ほとんど見られなかった。例えばカルシウムイオンやマグネシウムイオン濃度は、他の流域と比べ高い値を示した。本調査地は、未熟土壌であることに加え、現在も噴火中の桜島火山灰の降下の影響下にあり、未風化な土壌母材が豊富にあるため、カチオン濃度が高かったと考えられる。北米などで行われた伐採試験では、伐採に伴う硝酸流出に伴い、カルシウムイオンなどのカチオンの流出が併せて起こることが報告されているが、本調査地では硝酸の流出が少なかったことに加え、カチオン濃度が全般的に高いため、森林流域と伐採流域の違いが明瞭に現れなかったものと考えられる。

(2) 物質循環の長期変化パターン

長期的な植生の回復パターンに関して、林齢変化に伴う地上部現存量増加は、若齢林から壮齢林までは他の地域で報告されていると同様のパターンを示したが、老齢林では未熟土の試験地の方がやや大きい傾向が見られた。また年間のリターフォール量に関しては、日本の他地域で示された値と大きな違いは見られなかった。

植物の養分利用に関しては、例えばスギ生葉とスギ葉リターの窒素濃度はそれぞれ 1.0～1.4%、0.78～1.0%、リン濃度はそれぞれ 0.06～0.1%、0.02～0.06%であり、これまで報告されているスギでの値と大きな違いは見られなかった。落葉前の窒素・リンの引き戻し率は林齢に沿った傾向は見られなかったが、全体として窒素よりもリンの方が高い値を示した。スギ葉リターの窒素濃度、リン濃度ともに林齢の増加に伴い低下したが、それ以外については、特に林齢に沿った傾向は見られなかった。落葉や生葉の窒素やリン濃度や引き戻し率についても、他の地域で報告されている値と比べ特に違いは見られなかった。

土壌に関しては、土壌の炭素濃度は 1.69～2.34%であり、窒素濃度は 0.10～0.19%であった。この値は、他の地域と比較し、極めて低い値であり、本調査地が未熟土壌であることによると考えられる。一方で土壌の C/N 比は 12.6～17.8 であり、他地域と大きな違いは見られなかった。土壌の C/N 比は林齢に沿って増加する傾向が見られた。

無機態窒素現存量、年間窒素無機化量については、林齢に沿った明らかな傾向は見られなかったが、他地域で報告されている値と大きく異ならなかったため、本調査地は未熟土

壌ではあるが、土壌からの窒素の供給量は他地域に比べて著しく低いということはないと考えられた。また無機化速度の季節性は、他地域同様に樹木の生育期間の夏場に高く、冬場に低くなるパターンを示した。

以上の結果から、本調査は未熟土で土壌中の炭素・窒素含量が低いにも関わらず、樹木の生育や土壌の養分供給量は他地域と比べ特に少ない訳ではないと考えられた。

(3) まとめ

本研究により、調査流域は、未熟土であるため土壌中の炭素窒素含量が非常に小さいにも関わらず、樹木の一次生産量、土壌窒素無機化速度、樹木の窒素吸収量など窒素循環に関わるパラメーターが、人工林と広葉樹林ともに同一気候帯の未熟土ではない森林流域と大差ないことが明らかとなった。一方で伐採に伴う硝酸流出量は、ピーク時の濃度が伐採前の 2～3 倍程度であることや約 4～5 年程度で元の水準に回復することなどから、他の温帯域での結果に比べて、伐採の影響が小さいことが明らかとなった。

気候要因や伐採に伴う内部循環について、わが国の他地域と大きな違いがないため、従来の物質循環モデルでは、伐採影響を再現することが難しいことが明らかとなった。土壌中の陰イオン吸着能や水文プロセスに関して、従来のモデルも若干の考慮はしているものの本調査地における、伐採影響を評価するためには十分ではないため、今後は関連する調査や実験を行い、モデルを改良する必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

①Yamasaki, A., Tateno, R. *, Shibata, H. Effects of carbon and nitrogen amendment on soil carbon and nitrogen mineralization in volcanic immature soil in southern Kyushu, Japan. Journal of Forest Research in press, 2011 査読有

②Shi, W.Y., Tateno, R., Zhang, J.G. Wang, Y.L., Yamanaka, N., Du, S.: Response of soil respiration to precipitation during the dry season in two typical forest stands in the forest-grassland transition zone of the Loess Plateau. Agricultural and Forest Meteorology in press, 2011 査読有

③Tobari, Y., Koba, K., Fukushima, K., Tokuchi, N., Ohte, N., Tateno, R., Toyoda, S., Yoshioka, T., Yoshida, N. Contribution of atmospheric nitrate to stream-water

nitrate in Japanese coniferous forests revealed by the oxygen isotope ratio of nitrate. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 24:1281-1286, 2010 査読有

④館野隆之輔・鈴木寿仁・濱田肇次・日高謙太 「南九州のスギ人工林における斜面位置の違いが土壌窒素無機化特性に与える影響」*鹿児島大学農学部演習林研究報告* 37: 129-136., 2010 査読有

⑤Tateno, R., Takeda, H. Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency above and below ground along a topographic gradient of soil nitrogen availability. *Oecologia* 163: 793-804, 2010 査読有

⑥Tateno, R., Fukushima, K., Fujimaki, R., Shimamura, T., Ohgi, M., Arai, H., Ohte, N., Tokuchi, N., Yoshioka, T. Biomass allocation and nitrogen limitation in a *Cryptomeria japonica* plantation chronosequence. *Journal of Forest Research* 14:276-285, 2009 査読有

[学会発表] (計15件)

①Tateno, R., Du, S., Otsuki, K. and Yamanaka, N. River Water Chemistry in Forested and Non-forested Watersheds on the Loess Plateau, China. CAS-JSPS Core University Program Japan-China Joint Open Seminar on Combating Desertification and Development in Inland China of Year (20100913) Tottori

②浅野 友子、丹下健、大槻恭一、智和正明、高木正博、館野隆之輔、浅井和由 山地源流域における平水時流出水の平均滞留時間 日本地球惑星科学連合 2010 年大会 (20100526) 東京

③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、福澤 加里部、浦川 梨恵子、山崎 朱夏、長谷川 由布子 温度・水分環境変動下での土壌窒素無機化速度における冬季プロセスの重要性 日本地球惑星科学連合 2010 年大会 (20100526) 東京

④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、浦川 梨恵子、福澤 加里部、妹尾 啓史、楊 宗興 4 地点の森林土壌における総硝化速度と微生物 第 121 回 森林学会大会 (20100403) 筑波

⑤日高 謙太、館野 隆之輔、鈴木 英治、Laode Alhamd、Joeni Setijo Rahajoe、Herwint Simbolon、Desy Ekawati 火山灰土壌に成立する発達段階の異なる熱帯雨林に

おける樹木の窒素・リン利用の変化 第 121 回 森林学会大会 (20100403) 筑波

⑥Hideaki Shibata, Hiroto Toda, Yoshiyuki Inagaki, Ryunosuke Tateno, Keisuke Koba, Asami Nakanishi, Karibu Fukuzawa, Rieko Urakawa, Ayaka Yamasaki and Hasegawa Yuko Regional and comparative soil incubation study on nitrogen dynamics in forest ecosystems. 第 121 回 森林学会大会 (20100403) 筑波

⑦福島慶太郎、徳地直子、館野隆之輔、勝山正則 森林の成立にともなう植物-土壌-溪流水間での窒素動態の変化とそのメカニズム 第 57 回日本生態学会大会 (20100317) 東京

⑧ Nobuhito Ohte, Ken'ichi Osaka, Ryunosuke Tateno and Naoko Tokuchi. Oxygen isotope of nitrate indicates how high the gross nitrification was in the forest floor in a temperate forest ecosystem in Japan. 6th International Symposium on Ecosystem Behavior BIOGEMON(20090629) Finland

⑨Fukushima, K., Tokuchi, N., Katsuyama, M. and Tateno, R. Factors regulating nitrogen retention in forested watershed during the development of Japanese cedar stand. 6th International Symposium on Ecosystem Behavior BIOGEMON(20090629) Finland

⑩浅野友子、大槻恭一、高木正博、館野隆之輔、丹下健、智和正明: "流出特性の流域間比較に有効な平水時の平均滞留時間の推定" 第 120 回日本森林学会大会. (20090327). 京都大学(京都)

⑪日高謙太、濱田肇次、館野隆之輔: "未熟黒ボク土に成立するスギ人工林における窒素・リン循環の林齢に沿った変化" 第 120 回日本森林学会大会. (20090327). 京都大学(京都)

⑫山崎朱夏、館野隆之輔: "未熟黒ボク土における炭素・窒素・リン添加が土壌の無機態窒素動態に与える影響" 第 120 回日本森林学会大会. (20090327). 京都大学(京都)

⑬館野隆之輔、濱田肇次、日高謙太、福島慶太郎、徳地直子: "大面積皆伐が森林生態系の物質循環に与える影響: 土壌母材の異なる 2 流域間の比較" 第 120 回日本森林学会大会. (20090327). 京都大学(京都)

⑭K. Fukushima, N. Tokuchi, R. Tateno, M. Katsuyama: "Water yield and nitrogen loss during regrowth of Japanese cedar forests after clearcutting" HydroChange2008.

(20081002). Kyoto Garden Palace, Kyoto
⑮柴田英昭・戸田浩人・稲壇善之・館野隆之輔・木庭啓介：“列島スケールの環境傾度に沿った森林土壌の物質循環調節能の比較研究” 日本地球惑星科学連合 2008 年大会. (20080529). 千葉

〔図書〕 (計 2 件)

① Fukushima K., Tokuchi N., Tateno R., Katsuyama M. (2009) Water yield and nitrogen loss during regrowth of Japanese cedar forests after clearcutting. M. Taniguchi, Y. Fukushima, W.C. Burnett, M. Haigh & Y. Umezawa (eds.) From Headwaters

to the Ocean: Hydrological Change and Watershed Management. Talor & Francis. pp. 97-104.

② 勝山正則・館野隆之輔 (2009) 「環境変動を予測し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 pp. 63-90.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

館野 隆之輔 (TATENO RYUNOSUKE)

鹿児島大学・農学部・准教授

研究者番号：60390712