

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25292079

研究課題名(和文)炭素フラックス観測サイトへの窒素散布実験による物質循環と生物多様性変化の解明

研究課題名(英文)Initial responses of nutrient cycling and biodiversity to a large-scale N fertilization in a carbon flux monitoring site.

研究代表者

日浦 勉 (HIURA, Tsutomu)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授

研究者番号：70250496

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)：北海道大学苫小牧研究林の冷温帯落葉広葉樹二次林において、約10ヘクタールの範囲に3年間にわたり窒素施肥を行い対照区と比較することで、窒素負荷に対する森林生態系の地下部炭素動態、窒素・リンの動態、樹木の繁殖量、植食性昆虫による食害度、の初期応答を明らかにした。これまでの多くの報告とは逆に、施肥によって細根は増加し、土壌呼吸も上昇し、若干のリン酸生成がみられた。またいくつかの樹種で繁殖量が増加する傾向にあった。施肥により2年目のミズナラとケヤマハンノキ林冠葉の形質は変化し食害度の変化はなかったが、3年目になると植食性昆虫の多様性指数が低下した。

研究成果の概要(英文)： We revealed the initial response of below-ground carbon dynamics, N and P dynamics, reproduction of trees, and herbivory by insects to N deposition in a cool temperate forest ecosystem. We fertilized 10 ha in area, and established 9 ha control site during 3 years in a secondary deciduous broad-leaved forest of Tomakomai Experimental Forest, Hokkaido University. Biomass of fine roots, soil respiration rates, and phosphoric acids were increased by N fertilization. Reproductive organs of some tree species were tended to increase by the manipulation. Leaf traits of oak and alder species were altered but herbivory rates were not changed in the second year after treatment. In third year, diversity of herbivory insects decreased in the fertilized site.

研究分野：森林生態学

キーワード：窒素負荷 冷温帯落葉広葉樹林 リン 植食性昆虫 炭素動態 繁殖量

1. 研究開始当初の背景

2012年に開かれた国連持続可能な開発会議(リオ+20)において、地球レベルでの過剰な窒素負荷と生物多様性減少の脅威はすでに限界を超えているとされ、両者の関わりを自然生態系で明らかにすることが喫緊の課題となっている。炭素ストックが大きく、生物多様性も高い森林生態系の中でも、近年大気からの窒素沈着量が急増している温帯林をその対象とすることの意義は極めて大きい。

2. 研究の目的

落葉広葉樹林生態系において、大規模長期の窒素散布操作実験を行うことで、窒素負荷に対する森林生態系の物質循環の応答や植食性昆虫、樹木の繁殖量の変化を明らかにすることを目的とする。本申請では研究期間は3年間であるため生態系の初期応答解明に絞り込む。

近年大気からの窒素負荷量が増加しており、森林生態系の物質動態への影響が懸念されている。特に、苫小牧研究林の土壌母材の火山灰はリンに対して特異的に吸着する性質などがあり、窒素負荷による窒素循環への影響のみならず、リン動態への影響も懸念される。また窒素は樹木の生育にとって多量に必要な栄養分の一つで、通常は森林生態系における物質循環過程ではその供給が限られているため、成長を制限する要因の一つとなっている。また近年の研究から、窒素は多くの樹木でみられる数年に一度の間欠的繁殖のメカニズムを説明するための重要な要因であることが分かってきた。一方、窒素沈着が植食性昆虫群集に与える効果についてのこれまでの実験的研究はポットや小規模のプロットスケールでのみ行われており、周辺との差による“ランプ効果”を排除することが出来なかった。本研究では10ヘクタールという大スケールで野外操作を行うことによりこのようなアーティファクトを排除する。

3. 研究の方法

北海道大学苫小牧研究林の冷温帯落葉広葉樹二次林において、約10ヘクタールの範囲に3年間にわたり窒素施肥を行い、9ヘクタールの対照区と(1)地下部炭素動態、(2)窒素・リンの動態、(3)樹木の繁殖量、(4)植食性昆虫による食害度について比較する。

(1) 施肥区、コントロール区、それぞれのプロットにおいて2013-2015年の間、DBH、リターフォール量(毎月)、細根バイオマス(0-30cm、2013-2015年8月、3直径階別)、リターバック法による葉と根の分解速度(ミズナラ/Mix、葉/根(3直径階別)、2014年11月埋設、2015年春と秋に回収)、土壌呼吸速度(2014年毎月、2015年夏、16地点ずつ、30cm深さトレンチ区×8地点)の測定を行っ

た。

(2) 窒素施肥区と無施肥区において、採取された土壌を培養し、培養期間中のリン動態をモニタリングした。土壌は採取したものをそのまま培養するもの(コントロール)、土壌に窒素を100mgN/kg wet soil添加したもの(以下、1Nとする)、200mgN/kg wet soil(以下、2Nとする)添加したものの3種類を準備した。培養は25度、採取時含水率を保ち、28日間暗所で培養し、培養から3, 7, 14, 28日目に土壌を抽出し、そのリン酸濃度をBray-II定量した。

(3) 開花期から種子落下時期までシードトラップをそれぞれ20基ずつ設置し、落下する全ての繁殖器官を月に1回採取した。採取した繁殖器官は乾燥させて樹種毎に数および重量を測定し、窒素施肥の影響の有無を評価した。

(4) 施肥前と施肥後の晩春と晩夏に高所作業車を用いて、施肥区と対照区に生育するミズナラ、シラカンバ、ケヤマハンノキの複数個体の林冠から直径1cmの枝を2本ずつ採取した。各枝についてシュート長、葉量、葉の形質、ギルド毎の植食性昆虫による食害度の定量を行った。

4. 研究成果

(1) 細根バイオマスに関しては、施肥2年目に微細根(直径0-0.5mm)が、3年目には細根バイオマス(0.5-2mm)が、N区で有意に高かった。一般的に施肥によって細根は減少することが報告されているが、本研究では逆の結果となった。本研究では施肥直後に、最初に微細根が、次に細根が増加するといった、サイズによる応答の違いを検出した可能性が考えられる。葉と根の分解速度は、ミズナラ細根(0-0.5mm、0.5-2mm)のみ、N区の方で高い結果となった。葉や樹種混合リターバックには有意差は検出されなかった。(リプトンティーバッグ実験にも有意差なし。)リターバックに入れる根や葉をサンプリングしたのが施肥2年目の2014年夏~秋であったため、ミズナラ細根のみが施肥に応答し形質が変化し、分解速度が速くなった可能性が考えられる。リターフォール量はN区が高く、施肥3年目に有意差を検出した。これは、細根に遅れて葉量が施肥に応答したことが考えられる。土壌呼吸は特に夏にN区が高く、また、根呼吸の割合がN区で高いことが明らかとなった。ミズナラの直径階別の重量あたり細根呼吸速度は両区で変わらなかったことから、N区では細根バイオマスが大きく、その量的要因により根呼吸が高くなり、夏季においてのみ土壌呼吸が高くなったと考えられる。一方、分解呼吸は施肥後1-2年間では量・質ともにほとんど変化しなかった。一般的に施肥を行うと土壌呼吸は低下するこ

とが報告されているが、本研究は逆の結果を示した。本研究では、有意差はなかった年もあるが、リターフォール量がN区で高かったことから、N区の光合成量が高くなり、細根生産量を含む全ての炭素配分のコンポーネントが増加した可能性が考えられる。また、窒素（あるいはリン）リミットが非常に強かったため、施肥によってまずはリミットを解除するために細根を増やしたという可能性が考えられた。今後、施肥区の細根バイオマスと地上部生産量の変化がどのように変化していくかを調べるのが課題である。

(2) 培養期間中のリン酸生成量（培養後-培養前）を図1に示す。窒素培養期間中リン酸の生成はどの処理区でも小さかったが、特に施肥区ではほとんど生成されなかった。一方、窒素を添加すると、施肥区でも対照区でも若干の生成がみられた。28日の生成量を図2にまとめた。有意ではなかったものの、施肥区で対照区より窒素添加への応答は小さい傾向がみられた。窒素・リンはともに森林生態系での制限要因になりやすい性質であるが、窒素施肥により窒素が制限要因でなくなった結果、リンの制限がより強くなる。そこで豊富にある窒素を用いてリン酸分解酵素を生成するといわれているが、施肥区ではすでに窒素が豊富にあり、培養前からリン酸の生成が生じており、さらなる窒素負荷に応答しなかったと推察された。

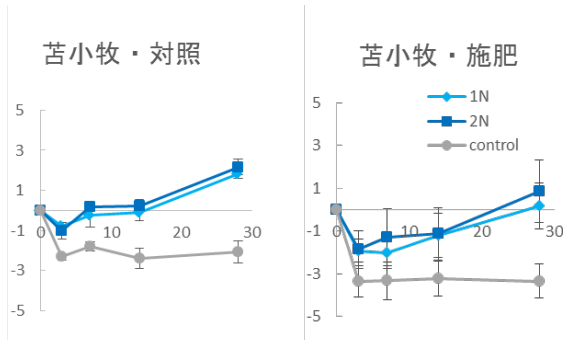


図1 培養期間中のリン酸生成量の変化

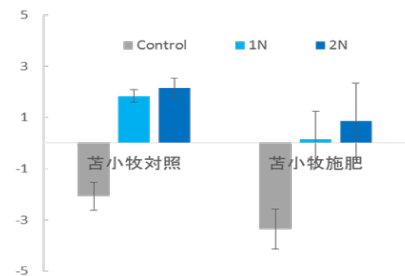
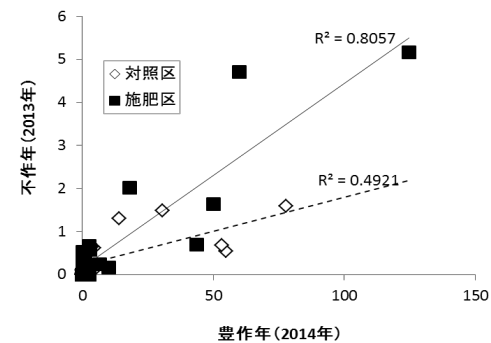


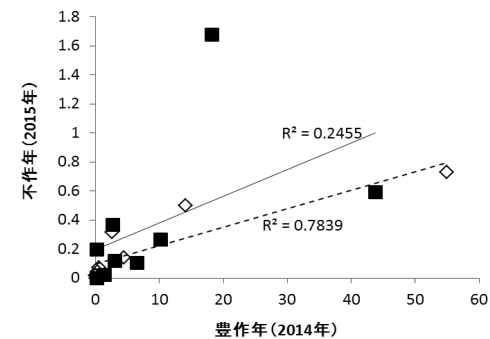
図2 28日間のリン酸生成量

(3) 2013年については採取した17種について同定および施肥区と対照区で繁殖器官の生産量の比較を行った。その結果、イタヤカエデ、ヤマモミジのカエデ属2種は統計的な有意差はないものの健全種子の割合が高い傾向がみられた。他の樹種については顕著な

差はみられなかった。また、施肥区と対照区においてそれぞれ最も胸高断面面積合計の大きいミズナラについては2013年が不作年となり単年で比較解析では不十分であると考えられた。そのため、ミズナラについては3年間における年次変化について解析を行った。その結果、繁殖器官の生産が施肥処理によって、例えば倍増するような顕著な効果はみられなかった。しかしながら、各トラップにおける期間を通じたすべての繁殖器官（雄花および雌花・堅果）の生産量を、不作年（2013年、2015年）と豊作年（2014年）とで比較したところ、施肥区においては不作年であってもより多くの繁殖器官が生産される傾向がみられた（図3）。この傾向は主に堅果の生産量の違いによってもたらされていた。このことは窒素要求量以外の繁殖器官生産量を決定づける要因（例えば気温や降水量など）が種子生産に不適切であったとしても、その効果を窒素施肥が緩和している可能性を示唆していると考えられる。この傾向は2013年との比較においても、2015年との比較においてもみられたが、2015年についてはすべてのシードトラップ内容物サンプルの選別が未完であるため、今後サンプル処理を終了させ、その傾向について再度検討する必要がある。ミズナラ以外の樹種についても2014年および2015年のサンプル処理を行い、同様の解析を行っていく必要があると考えられる。



a. 不作年（2013年）と豊作年（2014年）におけるすべての繁殖器官生産量の比較（施肥区、対照区それぞれn=20）。



b. 不作年（2015年）と豊作年（2014年）におけるすべての繁殖器官生産量の比較（施肥区、対照区それぞれn=9）。

図3 繁殖器官（雄花・雌花（堅果））生産量 (g)

(4) 施肥により 2 年目のミズナラ林冠葉の C/N 比は低下し、シュート成長を増大させたが、全てのギルドの食害度に変化はなかった。しかし 3 年目になると植食性昆虫の多様性指数が低下した。このことは種ごとの応答が異なり、群集全体として時間遅れで環境変化に応答していることを示していると考えられた。窒素固定植物であるケヤマハンノキにおいては春の葉の窒素含量が増加しただけでなく、同時にリン含量も増加した。2014 年夏には施肥区でハンノキハムシによる食害が増加した。これらの結果は現在学位論文としてまとめており、一部は国際誌に投稿中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Ueda, U. M., Tokuchi, N., and Hiura, T.
(2015) Soil nitrogen dynamics and plant uptake within frozen soil in a cool temperate forest floor: a field experiment using ¹⁵N labeling. *Plant and Soil* 392: 205-214
DOI 10.1007/s11104-015-2453-1(査読有り)

〔学会発表〕(計 4 件)

片山 歩美・牧田 直樹・高木 理恵・李 眞・安宅 未央子・中路 達郎・日浦 勉、
窒素施肥により落葉広葉樹林の土壌呼吸および地下部炭素動態はどう変化するのか？ 第 63 回日本生態学会大会、2016 年 3 月 22 日、仙台国際センター（宮城県仙台市）

Lee, J., Nakamura, M., and Hiura, T.
The effect of N fertilization on the interaction between plant and insect across tree diversity gradients. Proceedings of ESJ63, 2016 年 3 月 24 日、仙台国際センター（宮城県仙台市）

宮崎 祐子・金原 悠紀・李 眞・長田 典之・中路 達郎・日浦 勉、窒素施肥が樹木の繁殖へ与える影響。第 126 回日本森林学会大会、2015 年 3 月 28 日、北海道大学（北海道札幌市）

Lee, J., Nakamura, M., Hiura, T.
The effects of N addition on the interaction between trees and herbivore insects.

Proceedings of ESJ62, 2015 年 3 月 19 日、鹿児島大学（鹿児島県鹿児島市）

〔図書〕(計 1 件)

日浦 勉、丸善出版、長期観測の意義。
寺島 一郎・西 廣淳他編「植物学の百科事典」印刷中

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日浦 勉 (HIURA, Tsutomu)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授
研究者番号：70250496

(2) 研究分担者

徳地 直子 (TOKUCHI, Naoko)
京都大学・フィールドセンター・教授
研究者番号：60237071

宮崎 祐子 (MIYAZAKI, Yuko)
岡山大学・理学部・准教授
研究者番号：20443583

(3) 連携研究者

中路 達郎 (NAKAJI, Tatsuro)
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：40391130

片山 歩美 (KATAYAMA, Ayumi)
九州大学・農学部附属演習林・助教
研究者番号：70706845

牧田 直樹 (MAKITA, Naoki)
信州大学・理学部・准教授
研究者番号 40723086

中村 誠宏 (NAKAMURA, Masahiro)
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：80545624

(4) 研究協力者

Lee Jin
北海道大学・環境科学院・博士課程大学院生