

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01868

研究課題名(和文) 森林源流域から進行する窒素飽和メカニズムの解明と森林炭素蓄積能力への影響評価

研究課題名(英文) Mechanisms of nitrogen saturation in fragmented forest and its impact on carbon storage

研究代表者

堅田 元喜 (Genki, Katata)

茨城大学・地球変動適応科学研究機関・講師

研究者番号：00391251

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本調査地の林縁部では、隣接した農牧地から拡散した大気アンモニアの沈着により、生育期全体の全無機態窒素成分の負荷量は林内部に比べて1.5倍大きかった。その結果、樹木や下草の光合成やそれに対する窒素利用特性に変化はなかったが、林縁部における林分レベルのバイオマス生産を増加させていることが明らかになった。さらに、土壤微生物の活性を増大し、0層における土壤有機炭素の分解を促進することで、森林生態系における炭素収支バランスに影響を及ぼしうることもわかった。林縁部では、林内部よりも土壤硝化速度や硝酸態窒素現存量も大きかったことから、源流域からの窒素流出にも少なからず影響を与えたものと推察される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の最大の意義は、生物多様性や地球温暖化に関係する大気・土壌・植生・河川の複数のシステム間を移行する窒素や炭素の動きを学際的に解明した点である。人為的な窒素負荷の増大についてはその悪影響が注目を集めているが、炭素循環の観点では樹木生長と土壤炭素分解の促進という大気中CO₂濃度に対して相反する影響がみられた。これらの知見を代表・分担者が主体である分野横断型コミュニティ「Biogeochemical Linkage of Atmosphere and forest material Cycle with Key processes (BLACK)」なども利用して社会へと発信していく予定である。

研究成果の概要(英文)：Along the edge of the fragmented forest, "edge effect" caused 1.5 times high nitrogen deposition amount of atmospheric ammonia dispersed from adjacent farmlands for a growing season compared to the forest interior. This caused an increase of biomass of trees and floor plants at the edge, while no effect was found in characteristics related to photosynthetic activity and nitrogen use. Furthermore, microbial activities in litter and surface soil and subsequent organic carbon decomposition were also enhanced at the edge. Finally, the edge effect may have a certain impact on nitrogen leaching from the fragmented forest to stream water, suggested by the fact that nitrogen deposition was significantly correlated to the net nitrogen mineralization and nitrification rates.

研究分野：輸送現象論、生物環境物理学

キーワード：落葉広葉樹林 窒素飽和 大気アンモニア 窒素負荷 土壤微生物活性 植物生産 窒素流出 エッジ効果

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人間活動を通じて大気中へ放出された反応性の高い窒素(反応性窒素)の排出量は、地球全体で2050年には1993年の約2倍になり、その陸面への窒素負荷(沈着)量は、特に日本を含む東アジアで多くなることが予測されている。このような過剰な窒素負荷は、世界の様々な森林生態系が発揮する炭素蓄積機能に多大な影響を及ぼすだけでなく、湖沼・沿岸域の富栄養化等の環境悪化を招くことが危惧されており、生物多様性条約においても最重要の脅威とされている。

森林生態系への窒素負荷増大は土壌中の窒素利用性を改変し、植物バイオマス生産や土壌理化学性、土壌微生物活性などの生態系プロセスに変化をもたらす。その結果、土壌の炭素(有機炭素・有機物)の貯留および動態も大きく左右される。窒素負荷増大にともなう土壌炭素貯留・動態の変化は、森林生態系の炭素収支バランスを変化させるだけでなく、土壌に貯留する有機炭素の分解を促進する方向に作用する場合には、土壌の二酸化炭素放出が進行し、地球温暖化の進行を加速させる可能性が危惧される。

森林への窒素負荷量が増加すると、窒素制限下にある植生の成長量が増加し、植物-土壌間での窒素保持が高く維持される一方で、土壌の硝化速度の上昇、硝酸態窒素現存量の増加に伴い、系外への窒素流出の増加も起こりうる。窒素負荷量が多いほど、系外への流出率が高まり、窒素飽和に至るとされている。このような「窒素飽和仮説」の下、わが国でも全国の大学演習林ネットワークを活用した森林河川の水質調査研究が行われ、窒素負荷の大きい関東地域の都市近郊の森林流域で硝酸イオン濃度が高くなることがわかっている。その進行過程における窒素保持と窒素流出の分配率の変化については地域ごとによって異なる可能性も指摘されているものの、ほとんどの研究は広大な集水域の限られた一地点での限定的なモニタリングに拠っており、窒素飽和の進行メカニズムの全容は未解明であった。

2. 研究の目的

本研究では、源流域から窒素飽和が進んでいる天然林の同一集水域において、大気・土壌・植生・河川を包括した窒素・炭素循環の多地点同時観測を行い、大気から森林への窒素負荷の空間分布を評価するとともに、窒素負荷レベルの違いが植生や土壌の炭素蓄積機能へ及ぼす影響を明らかにする。さらに、窒素負荷と渓流水質の関係から本研究林の窒素飽和の進行メカニズムを解明する。

3. 研究の方法

研究対象地域として、源流域から窒素飽和が進行している可能性がある北海道標茶町の京都大学フィールド科学教育研究センターの北海道研究林標茶区(落葉広葉樹林)の林内部(Inner)と農畜産由来の大気アンモニアの負荷の影響を受けやすい林縁部(Edge)にそれぞれ3つの調査区を設けた(図1)。研究開始年度である2017年に大気アンモニア濃度・林内雨・渓流水質の多地点予備観測を行い、林縁部では大気NH₃濃度と窒素負荷量が林内部よりも大きいことを確かめた。その結果を受けて、研究開始2年目である2018年の5月から11月を本観測期間とした。同年の積雪期には入林することができなかつたため、各プロットにポリバケツを1個設置し、積雪量を測定した。2019年には、予備データとして樹木・下草・リター(リタートラップ)・根(イングロースコア)のバイオマスを測定した。観測内容の詳細は、下記の通りである。

(1) 大気中反応性窒素とその負荷の定量評価

森林内部の大気観測として、微気象要素(風速・風向・気温・相対湿度・日射量・降水量)、大気中反応性窒素濃度(ガス状NH₃・粒子状NH₄⁺)、林外・林内雨量および林外・林内雨水中窒素濃度を観測した。NH₃濃度は、小川式パッシブサンプラーを用いて月平均濃度を測定した。また、NH₃の一部は大気中で粒子状NH₄⁺へと転換するため、フィルターパックにより粒子(直径2.5 μm未満の微小粒子(PM_{2.5})とそれ以上の粗大粒子に分粒)とガスを同時に捕集し、それらの大気中の存在割合を測定した。2018年7月および10月の2回、林冠、林内および林縁において2週間の暴露時間で観測した。得られたサンプル中の無機イオン濃度は、北海道立総合研究機構および茨城大学においてイオンクロマトグラフ法により定量した。また、窒素負荷に対する乾性沈着量の寄与推定も行った。樹幹流の寄与は小さいとして無視し、林内雨窒素沈着量から林外雨窒素沈着量(湿性沈着量)を差し引いた「正味の林内窒素沈着量(NTF)」を計算した。このNTFと樹木体に直接吸収されるNH₄⁺とNO₃⁻を含めた乾性沈着量を推計法により別途推計した。

(2) 窒素負荷が樹木および林床植生に及ぼす影響

2018年5月および2019年9月に各調査区において胸高直径が5 cmを超えるすべての立木を対象に、胸高直径の測定を行った。それらの結果に基づき、2成長期間における胸高断面積合計(DBH)の増加量を算出した。2018年7月に調査区あたり3本のミズナラ成木(平均樹高16 m)に登はんし、樹冠内において高度の異なる5ヶ所から、当年に伸張したシュート(枝および葉)を採取した。採取したシュートの乾重量、単位葉面積あたりの葉乾重量(LMA)、葉のRubisco濃度、クロロフィル濃度および窒素濃度を測定した。2018年と2019年の10月に林床における主要な植生であるササの地上部の刈り取りを行い、バイオマスと葉面積指数を測定した。また、2018年については、ササの葉のLMA、Rubisco濃度、クロロフィル濃度および窒素濃度を測定した。上

層木の葉面積指数 (LAI) は分光式葉面積指数センサーを用いて測定した。

(3) 窒素負荷が土壌の炭素貯留及び微生物特性に及ぼす影響

窒素負荷にともなう土壌炭素貯留・動態への影響を明らかにするために、林内部と林縁部の各調査区計 6 地点において、2018 年 8 月に土壌試料 (0 層、0-5 cm、5-10 cm、10-30 cm) を採取した。採取した土壌試料の基本特性として、バルク密度、礫含有量、土壌 pH、粒度分布、リン酸吸収係数を測定した。土壌有機炭素の貯留量と動態を把握するために、炭素含有量、炭素 / 窒素比、炭素安定同位体比 (^{13}C) を測定するとともに、比重分画によって土壌有機炭素の物理的存在形態を調べた。土壌微生物特性として、0 層および土壌 0-5cm 層について、微生物量の指標である微生物バイオマス炭素量と各種微生物の DNA 含有量 (細菌 16S rRNA、糸状菌 ITS、硝化細菌 AmoA、硝化古細菌 AmoA) および活性の指標である正味の窒素無機化速度と硝化速度を測定した。また、抽出 DNA と次世代シーケンサーを用いて、土壌微生物群集構造を解析した。

(4) 窒素負荷が渓流水硝酸態窒素濃度形成に及ぼす影響

北海道研究林標茶区内の約 70 カ所の森林渓流を対象に、2017-2019 年にかけて渓流水中の硝酸態窒素濃度を測定した。採取した渓流水について、地形図から 1 次谷以下と 2 次谷以上に分類し、さらに 1 次谷以下については集水域境界が標茶研究林と隣接する放牧地との林縁を含むものと、含まないものとに分類し、水質を比較した。得られたサンプル中の無機イオン濃度は、茨城大学においてイオンクロマトグラフ法により定量した。

4. 研究成果

(1) 大気中反応性窒素とその負荷の定量評価

NH_3 の月平均濃度は、林内では 38-133 nmol m^{-3} の範囲にあったが、林縁では 101-707 nmol m^{-3} であり (図 2a) 各月の平均値は林内より 1.3-4.7 倍高かった。また、林縁部では 9 月 (409 nmol m^{-3}) および 5 月 (246 nmol m^{-3}) に高濃度となり、それぞれ液肥と堆肥の散布時期 (京都大学北海道研究林職員による聞き取り調査、私信) とも合致した。これに対して、粒子状 NH_4^+ 濃度は林縁・林冠・林外の全ての地点で NH_3 よりも小さく (図 2b) 林縁では NH_3 が総量 (ガス状 NH_3 と粒子状 NH_4 の和) の 87 % を占めていた。また、ガス状 HNO_3 および粒子状 NO_3 の濃度は NH_4^+ 濃度よりもさらに低かった。すなわち、本調査地では NH_3 の窒素負荷への寄与が支配的であった。

林縁部の NH_4^+-N および NO_3^--N の負荷量は、それぞれ林内部の 1.2 倍 ($P < 0.05$) および 1.4 倍大きかった ($P < 0.001$)。林縁部の窒素負荷量が特に大きかった時期は春 (5 月から 6 月) および晩夏 (8 月から 9 月) であり、いずれも NH_3 濃度が高かった時期と一致した (図 2a)。林縁部での林内部に対する増加分は農牧地から拡散してきた NH_3 の乾性沈着の増幅効果 (エッジ効果) によるものと考えられる。生育期全体をみると、全無機態窒素成分の負荷量は林縁部で 3.4 kgN ha^{-1} となり、エッジ効果により林内部よりも 1 kgN ha^{-1} 大きく (図 3b) 正味林内窒素沈着量 (NTF) の内訳に示されるようにそのほとんどが NH_4 によるものであった (図 3c)。このような林縁部と林内部の大小関係は、いずれの結果で同様であったが、林縁部・林内部ともに推計法による乾性沈着量が NTF の窒素負荷量を明らかに上回っていた (図 3c)。この原因として、推計に用いているデータの解像度の粗さ (1 ヶ月単位) による誤差も考えられるが、前述した樹冠による吸収が影響している可能性もある。上述のとおり、林縁部への窒素負荷量の大きさは窒素飽和の指標としてしばしば用いられている限界負荷量 (10 kgN ha^{-1}) を下回った。

(2) 窒素負荷が樹木および林床植生に及ぼす影響

調査開始時である 2018 年 5 月における林内部および林縁部の本数密度、DBH の合計および LAI の間に有意な差は認められなかった (表略)。2018 年 5 月における立木の DBH と 2018 年 5 月 ~ 2019 年 9 月における立木の DBH 増加量の関係を解析した結果、林縁部の樹木は林内部に比べて DBH 増加量が有意に高く、林縁部の方が樹木の成長が良いことが明らかになった (図 4)。一方で、下層植生のササの地上部バイオマスは 2018 年と 2019 年の両年において、林縁部と林内部で有意な差は認められなかった。さらにササの葉の LMA、Rubisco 濃度、クロロフィル濃度および窒素濃度に関しても林縁部と林内部で有意な差は認められなかった。

ミズナラ成木の樹冠内部において林上の受光量を 100% とした相対受光量と LMA の関係を解析した結果、林内部と林縁部でその関係に違いは見られず、樹冠上部の明るい環境で高い LMA、樹冠下部の暗い環境で低い LMA というように、相対受光量と LMA の間に有意な正の相関が認められた。そこで LMA を受光量の指標として、各測定項目との関係を解析した所、シュート乾重量、Rubisco 濃度および Rubisco への窒素分配割合は樹冠下部から上部にかけて増加したのに対して、葉の窒素濃度、クロロフィル濃度およびクロロフィル濃度への窒素分配割合は樹冠下部から上部にかけて低下した (図 5)。これらの結果は樹冠上部の明るい環境では光合成における Rubisco によるカルボキシレーション反応に窒素がより多く配分されたのに対して、樹冠下部の暗い環境ではクロロフィルによる集光系に窒素が多く配分されていたことを示している。しかし、LMA と森林位置 (林内部・林縁部) を説明変数とした一般化線形モデルによる逸脱度分析の結果、いずれのパラメータについても、林内部と林縁部の間に有意な違いは認められなかった。以上から、林縁部での窒素沈着量の増加はミズナラやササの光合成やそれに対する窒素利用特性に影響を与えないが、林分レベルのバイオマス生産を増加させたと考えられる。

(3) 窒素負荷が土壌の炭素貯留及び微生物特性に及ぼす影響

窒素負荷にともなう土壌炭素貯留・動態への影響を把握するために、窒素負荷量の異なる林縁部と林内部において、土壌有機炭素の貯留量と質、および土壌微生物特性を調査した。0層における炭素貯留量は、林内部と比較して林縁部で有意 ($p < 0.05$) に低かった。0層の有機炭素のC/N比は林縁で有意 ($p < 0.05$) に低く、微生物バイオマス炭素量(土壌有機炭素あたり)は高かった。このことから、窒素負荷量の大きい林縁部の0層では、窒素負荷量の小さい林内部の0層と比べて、微生物による土壌有機炭素の分解がより活発であり、有機炭素の代謝回転が速いことが示唆された。0層以外の深さ(0-5 cm、5-10 cm、10-30 cm)では、林内部と林縁部で炭素貯留量に違いは見られなかったが、土壌0-5 cm層では、全土壌有機炭素の ^{13}C 値や鉱物との結合程度が小さい状態で存在している有機炭素画分のC/N比が林内部よりも林縁部において有意 ($p < 0.05$) に低く、有機炭素の質が林縁部と林内部の間で異なっていることが明らかになった。以上より、窒素負荷による土壌0-5 cm層の有機炭素の動態への影響が示唆された。土壌pHやリン酸吸収係数などの土壌理化学性については、林縁部と林内部で違いは見られなかった。

測定した土壌微生物特性のうち、微生物量の指標である細菌16S rRNA量と硝化細菌AmoA量、および活性の指標である正味の窒素無機化速度と硝化速度は、林内雨法による窒素負荷量と有意な正の相関を示した(全て $p < 0.05$; 図6)。一方、細菌と糸状菌のそれぞれについて分析した土壌微生物群集構造は、0層と土壌0-5cm層では明らかに異なっていたものの、林縁部と林内部で有意な差は検出できなかった。このことから、調査地の林縁部における窒素負荷量の増大は、土壌微生物群集の全体的な種組成にまでは影響を及ぼしてはいないものの、土壌微生物の量や活性に変化を引き起こしている可能性が高いことが示唆された。以上の結果から、長期にわたる窒素負荷は、土壌微生物の活性を増大し、特に、0層における土壌有機炭素の分解を促進することで、森林生態系における炭素収支バランスに影響を及ぼしうることが明らかになった。

(4) 窒素負荷量の空間的不均質性が渓流水硝酸態窒素濃度形成に与える影響

標茶研究林内の渓流水を広域的に調査した結果、渓流間で硝酸態窒素濃度が 0.01mgN L^{-1} から 1.5mgN L^{-1} まで約150倍の差異が認められた。0-1次谷渓流の硝酸態窒素濃度について、その集水域境界に放牧地との林縁部を含まない方が、林縁部を含む集水域に比べて有意に低く、平均値で約2.5倍低かった(0.20 ± 0.27 vs. $0.48 \pm 0.40 \text{ mgN L}^{-1}$, $P < 0.01$; 図7)。また2次谷以上の渓流では硝酸態窒素濃度が平均で $0.53 \pm 0.15 \text{ mgN L}^{-1}$ と、放牧地との林縁を含まない0-1次谷渓流よりも有意に高かった。0-1次谷の渓流水質の結果から、窒素負荷の多い林縁部を集水域内に含むことで、土壌から渓流への硝酸態窒素流出が増大することが示唆された。本研究林は全国的に見ても窒素負荷量が低い地域であり、林縁部における林内雨による窒素負荷の林内部に対する増加量もそれほど大きくないものの、土壌硝化速度や硝酸態窒素現存量が増加したことから、系外への窒素流出へも少なからず影響を与えたものと推察される。

本研究林の過去研究では、渓流流下過程において、ライパリアンゾーンにおける脱窒や硝酸態窒素濃度の低い地下水の流入によって硝酸態窒素濃度が希釈される傾向にあることがわかっている。しかしながら本研究では、濃度が高いまま維持されていることが示された。既往研究では2渓流のみの結果に対して、本研究では2次谷以上の集水域を流れる渓流のうち10地点を対象にしているため、研究林内に存在する渓流水の硝酸態窒素濃度の形成プロセスをより広範に含んでいるものと考えられる。本研究で採取した渓流水サンプルのうち、硝酸態窒素濃度の高い2次谷以上の渓流では、上流から下流にかけての流下過程で濃度が急激に上昇する地点が複数存在した。これらの渓流では、河床から豊富に地下水が湧出している地点が多く見られ、硝酸態窒素濃度および塩化物イオン濃度が高い湧水も複数見られた。この地下水の起源については現在のところ不明であるが、研究林内の集水域外にある放牧・耕作地由来の硝酸態窒素が、分水嶺を越えて地下水として湧出していることが推測される。以上の結果から、放牧地に隣接した本研究林の集水域では、林縁部における窒素負荷の増大によって渓流への硝酸態窒素流出を増加させること、地下水を經由して放牧地由来の硝酸態窒素が湧出する可能性があることが示された。

観測期間: 2018年春~秋、
2018年積雪期間(バケツ放置)、
2019年春~秋(樹木・ササリ
ター・イングロースコア)

- ・NH₄バツサンブラー(月毎)
- ・土壌・植物(生育期)
- ・NH₄フィルターバツク(10月単発)
- ・水質ボトル(n=7)
- ・複合気象装置(高度21m)
- ・日射計
- ・フェノロジーカメラ



図1 調査地域(北海道研究林標茶区)および本調査項目

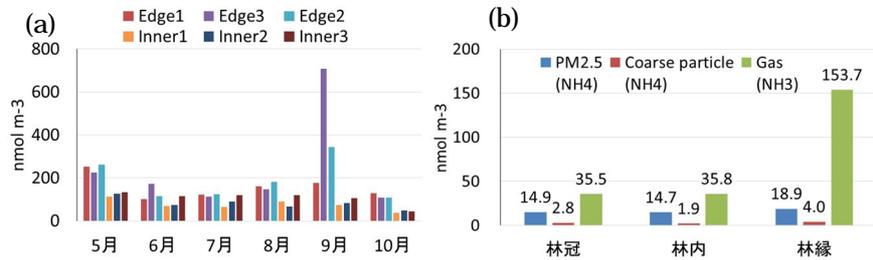


図2 2018年5月から10月における(a)NH₃濃度および(b)同年10月におけるNH₃・NH₄⁺濃度。

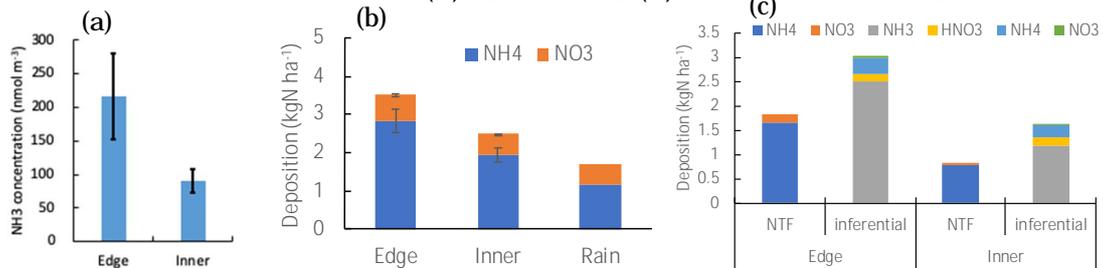


図3 2018年5月から10月における林縁・林内の(a)大気NH₃濃度、(b)林内無機態窒素沈着量および(c) NTFと各成分の乾性沈着量。エラーバー：全調査区の標準偏差。

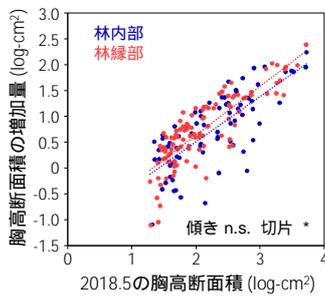


図4 2018年5月における立木の胸高断面面積と2018年5月～2019年9月の期間における胸高断面面積増加量の関係。

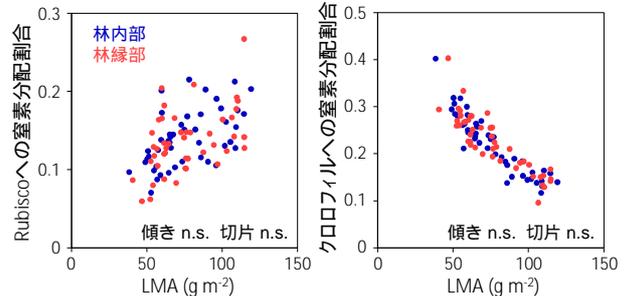


図5 2018年7月のミズナラ成木の葉面積あたりの乾重量(LMA)とRubiscoおよびクロロフィルへの窒素分配割合。

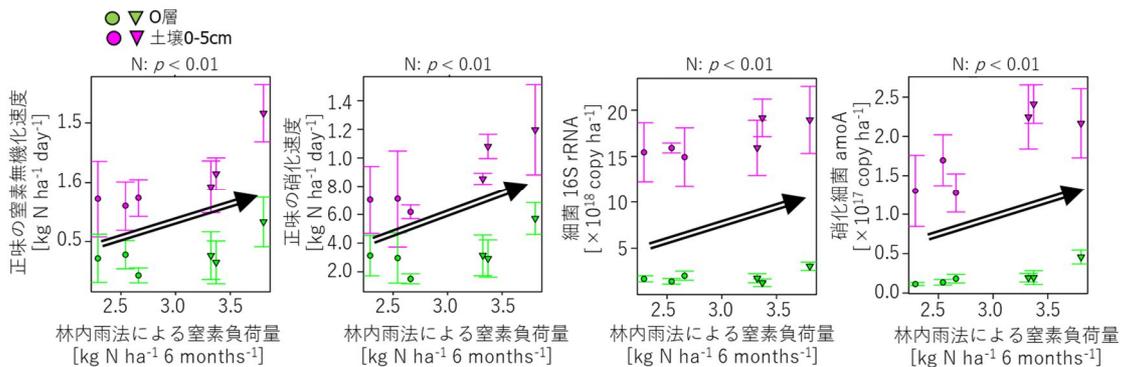


図6 窒素負荷量と有意な相関を示した土壌微生物特性。エラーバー：全調査区の標準偏差。

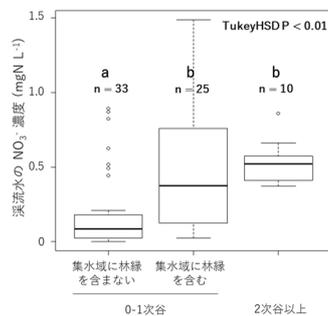


図7 研究林における放牧地との林縁を含まない0-1次谷集水域、林縁を含む0-1次谷集水域、および2次谷以上の集水域を流れる渓流水の硝酸態窒素濃度の箱ひげグラフ。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 久保田智大, 堅田元喜, 福島慶太郎, 黒田久雄	4. 巻 54
2. 論文標題 牛舎からのアンモニア揮散が近傍のヒノキ樹木への窒素沈着に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 大気環境学会誌	6. 最初と最後の頁 43-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Watanabe Makoto, Hiroshima Hiroka, Kinose Yoshiyuki, Okabe Shigeaki, Izuta Takeshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Nitrogen Use Efficiency for Growth of Fagus crenata Seedlings Under Elevated Ozone and Different Soil Nutrient Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 371 ~ 371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/f11040371	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 Benhui Zhu, Izuta Takeshi, Watanabe Makoto	4. 巻 76
2. 論文標題 Nitrogen use efficiency of Quercus serrata seedlings under different soil nitrogen and phosphorus supplies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural Meteorology	6. 最初と最後の頁 11 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2480/agrmet.D-19-00032	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 Katata Genki, Matsuda Kazuhide, Sorimachi Atsuyuki, Kajino Mizuo, Takagi Kentaro	4. 巻 20
2. 論文標題 Effects of aerosol dynamics and gas-particle conversion on dry deposition of inorganic reactive nitrogen in a temperate forest	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 4933 ~ 4949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-20-4933-2020	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12件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 堅田元喜, 福島 慶太郎, 小嵐 淳, 山口 高志, 渡辺 誠, 永野 博彦, 中山 理智, 館野 隆之輔
2. 発表標題 空間的に不均一な窒素沈着は落葉広葉樹林の窒素・炭素動態に影響するか？
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永野 博彦, 安藤 麻里子, 福島 慶太郎, 中山 理智, 堅田 元喜, 山口 高志, 渡辺 誠, 近藤 俊明, 館野 隆之輔, 小嵐 淳
2. 発表標題 落葉広葉樹林における窒素沈着量と土壤微生物特性の関係
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堅田元喜
2. 発表標題 沈着と化学反応をつなぐ：反応性窒素の多層陸面モデル
3. 学会等名 第31回酸性雨東京講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Genki Katata, Tomohito Kubota, Hisao Kuroda, Keitaro Fukushima, Ryoji Nakazato, Syunichi Matsumoto, Keita Nakagawa, Yasuko Kitami, Tetsuro Kikuchi, Mirai Watanabe, Naohiro Imamura
2. 発表標題 Regional monitoring network in atmospheric ammonia concentration in Kasumigaura-basin in Ibaraki, Japan
3. 学会等名 17th World Lake Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堅田元喜, 久保田智大, 黒田久雄, 福島慶太郎, 中里亮治, 松本俊一, 中川圭太, 北見康子, 菊池哲郎, 渡邊未来, 今村直広, 五十嵐康人
2. 発表標題 茨城県における大気アンモニア濃度の多地点観測と排出インベントリーの関係
3. 学会等名 第59回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田智大, 堅田元喜, 福島慶太郎, 黒田久雄
2. 発表標題 畜産由来のアンモニアの局所大気拡散の解析と窒素負荷の定量化
3. 学会等名 第59回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堅田元喜, 福島慶太郎, 小嵐淳, 山口高志, 渡辺誠, 館野隆之輔
2. 発表標題 森林源流域から進行する窒素飽和メカニズムの解明と森林炭素蓄積能力への影響評価
3. 学会等名 日本生態学会第65回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口高志, 堅田元喜, 堀江洋佑, 福島慶太郎
2. 発表標題 摩周湖外輪山における景観変化の検証 - 大気環境と地域環境に着目して -
3. 学会等名 日本生態学会第65回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堅田元喜、松田和秀、反町篤行
2. 発表標題 森林における反応性窒素のガス-粒子転換に関する数値的研究
3. 学会等名 第129回日本森林学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Genki Katata, Takashi Yamaguchi, Yosuke Horie, Keitaro Fukushima, Takatoshi Hiraki
2. 発表標題 How to estimate local-scale fogwater deposition at forest stands?: multi-point observational approach
3. 学会等名 IUFRO Tokyo 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 則定優成, 伊豆田 猛, 渡辺 誠
2. 発表標題 生育環境の異なるコナラ成木の葉の特性と虫害の樹冠内における鉛直分布
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堅田元喜, 福島慶太郎, 小嵐淳, 山口高志, 渡辺誠, 永野博彦, 中山理智, 館野隆之輔, 黄瀬佳之
2. 発表標題 森林炭素・窒素循環研究: 学術分野を超えた連携は必要か?
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

堅田研究室 http://katatalab.icas.ibaraki.ac.jp
--

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	福島 慶太郎 (Fukushima Keitaro) (60549426)	京都大学・生態学研究センター・研究員 (14301)	
研究分担者	小嵐 淳 (Jun Koarashi) (30421697)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 原子力基礎工学研究センター・研究主幹 (82110)	
研究分担者	山口 高志 (Takashi Yamaguchi) (90462316)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・環境・地質研究本部環境科学研究センター・研究主任 (80122)	
研究分担者	渡辺 誠 (Makoto Watanabe) (50612256)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	
研究協力者	舘野 隆之輔 (Tateno Ryunosuke)	京都大学 (14301)	