

令和 3 年 5 月 28 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K07866

研究課題名(和文)窒素過剰による樹木の養分利用の変化プロセスの解明

研究課題名(英文)Elucidation of the process of change in nutrient use by trees due to excess nitrogen

研究代表者

長倉 淳子(Nagakura, Junko)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：70353787

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：40年以上施肥が継続されているウダイカンバ林とトドマツ林で、窒素過剰が樹体と土壌の養分状態におよぼす影響を調査した。施肥によって付加されたN、P、Kの葉中濃度は施肥2年目には高まったが、5年目以降は差が不明瞭となった。葉のMg濃度は施肥区で5年目以降から低下傾向を示し、葉のAl、Mn濃度は2年目以降に高まった。無施肥区に比べて施肥区は表層土壌の交換性CaとMgが低く、交換性Alは高かった。長期間の施肥により樹体と土壌の養分状態は変化した。樹体の成長は低下しなかった。葉の窒素安定同位体比の分析から、ウダイカンバとトドマツは窒素利用様式が異なり、トドマツの方が肥料に依存していると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間活動により森林に付加される窒素量が増加し続けた場合、ウダイカンバやトドマツにおいて初期には葉の窒素濃度が高まり乾物生産が促進されるが、長期化すると土壌が酸性化し、樹木の生育に悪影響を及ぼす可能性があることを明らかにした。外部から付加される窒素の利用やすさが樹種によって異なることや、懸念されていた水ストレスの助長はほとんど見られないという知見が炭素安定同位体比の利用により得られたことの学術的な意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：The effect of excess nitrogen (N) on the nutrient status of trees and soil and the annual change in this status was studied in stands of Monarch birch and Todo fir that have been fertilized continuously for more than 40 years. In the fertilized (F) plots, leaf concentrations of N, P, and K increased in the 2nd year of fertilization; however, such increases were less obvious after the 5th year of fertilization. Leaf Mg concentration in the F plots exhibited a decreasing trend from the 5th year, whereas leaf Al and Mn concentrations increased from the 2nd year. In the F plots, the exchangeable content of Ca and Mg in the surface soil was lower and the exchangeable Al content higher than was the case in the non-F plot. Though excess N changed the nutrient status of both the trees and the soil, it did not reduce tree growth. Analysis of leaf N stable isotope ratios indicated that birch and fir differed in their nitrogen utilization, with fir being more dependent on fertilizer.

研究分野：樹木栄養

キーワード：施肥 養分バランス 土壌酸性化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 窒素は植物の成長に不可欠な養分である。森林生態系では、窒素は系外から流入するよりも多くが内部を循環する。温帯の森林生態系では窒素は不足しがちで、窒素が樹木の成長を制限する大きな要因となっている。ところが人間の産業活動を起源として、大気から森林へ付加される窒素量が増加し、日本でも都市近郊の森林のいくつかで窒素飽和現象がみられる。

近年では森林バイオマスの利用が促進され、全木集材が導入されている。全木集材では養分濃度の高い枝葉を森林から系外に持ち出すため、収奪される養分量は全幹集材の倍であり(平井ら、2012)、地力の低下が懸念される。持続的に森林バイオマスを利用するため、施肥が検討されている。海外では温暖化対策の一環として森林の炭素固定能を高めるために施肥されることがある。日本でも拡大造林時代には広く森林へ施肥(林地肥培)が行われた。その結果、森林への窒素の施肥は、林齢や土壌型によっては成長促進効果がみられる一方で、土壌中のミネラルを流亡させ、土壌酸性化を招くおそれがあることもわかっている。

(2) 筆者らは、窒素付加が樹木の成長、生理状態におよぼす影響に関する研究に従事してきた。7年間窒素を付加したスギ林では、葉の窒素濃度は増える一方で、リンとカリウムの濃度が低下し、土壌が乾燥することを明らかにした。また、栽培試験により窒素付加でスギは蒸散量が増加することを検証した。

33年間連年施肥を受けているウダイカンバとトドマツ林で調査を行ない、植物の利用する窒素源の指標となる葉の窒素安定同位体比を調べた結果、対照区ではウダイカンバとトドマツで値が大きく異なったが、施肥区では両樹種の値がほぼ等しかった。このことからウダイカンバとトドマツは自然状態では利用している窒素源、または窒素吸収にかかわる菌根フローラが異なるが、施肥によってそれが変化すると考えられた。また、施肥区では表層土壌の交換性塩基量および微生物バイオマス窒素量が少ないこと、施肥区では水ストレスが生じ、水利用効率の指標である葉の炭素安定同位体比が高まっている可能性があることを示した。

これらの研究は、窒素の過剰によって樹体の養分バランスがくずれること、樹木が利用する養分の量と質に変化が生じること、水ストレスを受けやすくなること、を示唆している。

2. 研究の目的

本研究の目的は、窒素の過剰によって樹体の養分バランスがくずれ水ストレスを受けやすくなるという仮説を検証すると共に、樹木の養分利用の変化プロセスを明らかにすることである。

人間活動により森林生態系に付加される窒素量が増加している。窒素が過剰になると、樹木や土壌の養分バランスがくずれ、樹木の成長が低下するだけでなく、環境ストレス、特に水ストレスを助長することが懸念される。本研究では、窒素が長期間にわたり付加された林分について樹木の養分状態と水ストレスの有無を調査し、樹木の養分利用の変化や水ストレスが顕在化する窒素付加量や時期を解明する。

3. 研究の方法

(1) 調査地

窒素過剰が樹体の養分バランス、水ストレスにおよぼす影響を明らかにするため、1978年から現在まで毎年施肥(が行われているウダイカンバ林とトドマツ林を調査地とした。無施肥区、窒素・リン・カリウム施肥区(NPK区)、窒素・リン施肥区(NP区)の3処理区がある。2017~2020年秋に葉(ウダイカンバは新鮮落葉、トドマツは秋の当年葉)試料、2018年に土壌試料を採取した。

(2) 養分状態

樹体の養分バランスの変化を調べるために、2017~2020年秋に葉試料を採取した。過去(1978~1995年、2014~2016年)に採取され保存されていた葉試料と共に、葉中の窒素、リン、カリウム(K)等の各種養分濃度を測定した。土壌の養分バランスを調べるために、2018年春に各処理区から採取した表層土壌(0-10cm深)について、交換性塩基量、交換性アルミニウム(Al)量、pH、可給態リン、全炭素・全窒素量を測定した。

(3) 水ストレス

炭素安定同位体比は植物の水ストレスの指標となるため、樹体が窒素過剰によって強く水ストレスを受けたか調べるために葉の炭素安定同位体比(^{13}C)を測定した。

(4) 窒素利用の変化

植物の窒素安定同位体比は主に窒素供給源の値を反映するため、窒素源が窒素過剰によって変化するか調べるために、2017~2020年に採取した葉および葉の窒素安定同位体比(^{15}N)を測定した。また、1978~1995年の18年間にウダイカンバリンとトドマツ林で採取された葉試料、および1997~2003年の7年間窒素施肥(NH_4NO_3 区、 HNO_3 区)を受けたスギ林で採取した葉試料についても ^{15}N を測定した。

4. 研究成果

(1) 葉の養分状態

1978年の施肥開始から18年間、トマトツ当年葉では施肥区で施肥1年目から窒素、リン、Al濃度が高まったが、ウダイカンバ落葉では施肥3年後からマグネシウム(Mg)濃度が低下した(図1)。近年(2011年以降)の葉試料では、両樹種とも窒素濃度は無施肥区よりやや施肥区が高く、P濃度も施肥区(特にNP区)で高い傾向が見られ、Mg濃度が低下し(図1)、Al、マンガン濃度が高まる傾向がみられた。窒素過剰によって葉の養分バランスに変化が生じていることが明らかとなった。

(2) 土壌の養分状態

2018年(施肥40年目)に採取した土壌では、ウダイカンバ、トマトツとも無施肥区に比べ施肥区でpHが低く、可給態リンが高く(図2)交換性カルシウムとMgの含有量は低かった。交換性K含有量はウダイカンバ林ではカリウム施肥をしているNPK区でも無施肥区より低かったが、トマトツ林では施肥区が高く、応答に植栽樹種による違いがみられた。植物の生育に有害な交換性Alは両樹種とも施肥区で著しく高かった。窒素過剰により土壌の養分バランスに変化が生じ、かつ土壌が酸性化していることが明らかになった。

(3) 水ストレス

施肥区で葉の炭素安定同位体比(^{13}C)が高い(水ストレスを受けている)と予想したが、ウダイカンバ、トマトツとも施肥区で炭素安定同位体比が高いとは限らず(図3)、窒素過剰によって水ストレスを受けやすくなるとはいえなかった。

(4) 窒素利用の変化

窒素過剰によって植物の利用する窒素が変化すると予想したが、ウダイカンバは無施肥区と施肥区で葉の ^{15}N に大きな違いがみられなかった。一方、トマトツは施肥当年から無施肥区と施肥区で葉の ^{15}N が異なったことから、窒素利用においてウダイカンバより肥料への依存が強いと考えられた(図4)。7年間窒素を施肥したスギでは、施肥5年目から NH_4NO_3 区は無施肥区より ^{15}N が低い状態が続き、利用している窒素源の違いが反映されたと考えられた。

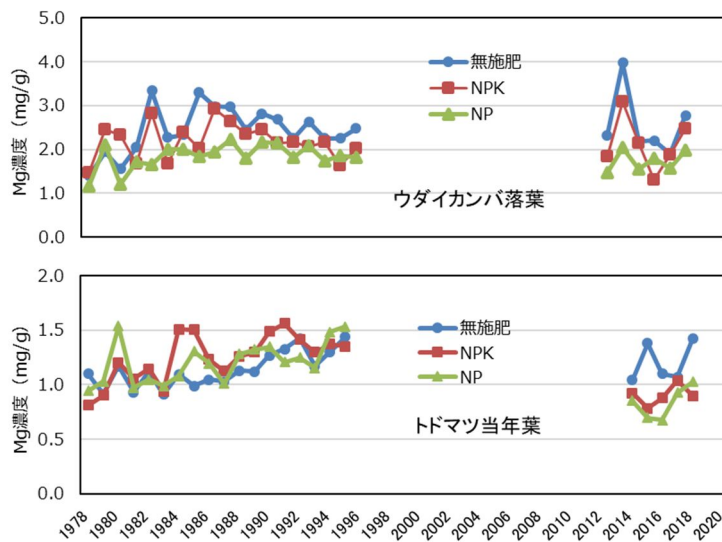


図1 ウダイカンバ落葉とトマトツ当年葉のマグネシウム(Mg)濃度

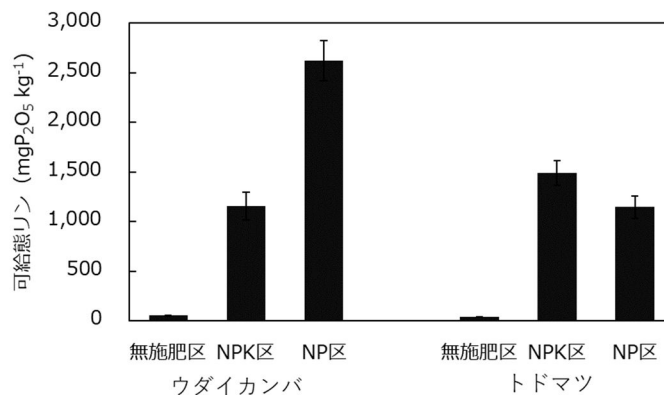


図2 ウダイカンバ林とトマトツ林の表層土壌の可給態リン量

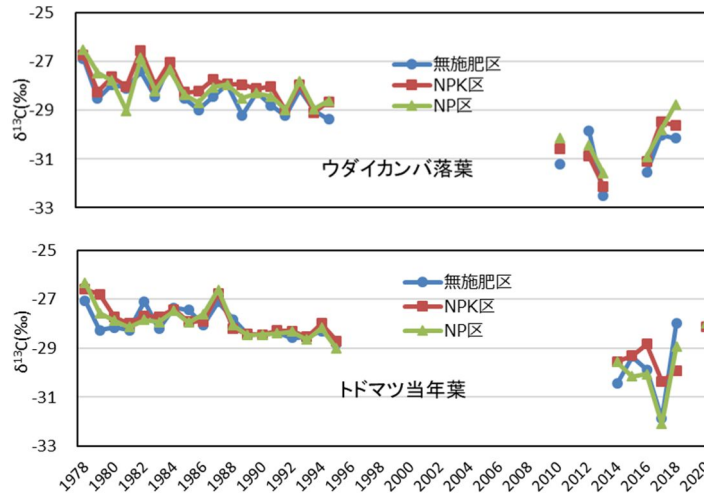


図3 ウダイカンバ落葉とトマト当年葉の炭素安定同位体比 (^{13}C)

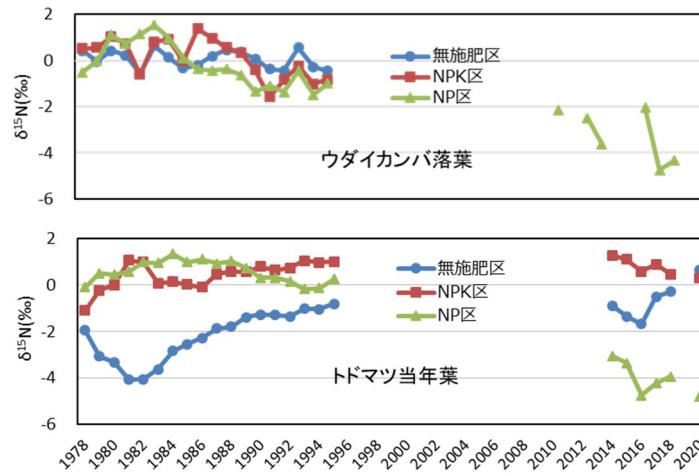


図4 ウダイカンバ落葉とトマト当年葉の窒素安定同位体比 (^{15}N)。ウダイカンバの無施肥区とNPK区には2011年に重窒素が撒かれたため値を表示していない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 長倉 淳子, 古澤 仁美, 相澤 州平, 伊藤 江利子, 橋本 徹	4. 巻 70
2. 論文標題 施肥開始から18年間のトドマツ針葉とウダイカンバ落葉の養分濃度変化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 関東森林研究	6. 最初と最後の頁 73 - 76
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 FURUSAWA Hitomi, NAGAKURA Junko, AIZAWA Shuhei, ITO Eriko	4. 巻 15
2. 論文標題 Effects of repeated fertilization and liming on soil microbial biomass in <i>Betula maximowicziana</i> Regel and <i>Abies sachalinensis</i> Fr. Schmidt stands in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Landscape and Ecological Engineering	6. 最初と最後の頁 101-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11355-018-0366-x	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 長倉淳子, 古澤仁美, 伊藤江利子, 橋本徹, 梅村光俊	4. 巻 72
2. 論文標題 連年施肥40年目のウダイカンバ林とトドマツ林の土壌養分状態	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 関東森林研究	6. 最初と最後の頁 未定
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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長倉淳子, 古澤仁美, 相澤州平, 伊藤江利子, 橋本徹
2. 発表標題 施肥開始から18年間のトドマツ針葉とウダイカンバ落葉の養分濃度変化
3. 学会等名 第8回関東森林学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長倉淳子、古澤仁美、伊藤江利子、橋本徹、相澤州平
2. 発表標題 ウダイカンバ連年施肥林の落葉の養分濃度 -施肥開始から17年間の変化-
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 長倉淳子、古澤仁美、伊藤江利子、橋本徹、中下留美子
2. 発表標題 連年施肥がウダイカンバとトドマツの葉の窒素安定同位体比におよぼす影響
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長倉淳子、古澤仁美、伊藤江利子、橋本徹、梅村光俊
2. 発表標題 連年施肥40年目のウダイカンバ林とトドマツ林の土壌養分状態
3. 学会等名 第10回関東森林学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
連携研究者	古澤 仁美 (Furusawa Hitomi) (40353841)	国立研究開発法人森林総合研究所・立地環境研究領域・室長 (82105)	

6. 研究組織（つづき）

	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
連携研究者	伊藤 江利子 (Itoh Eriko) (20353584)	国立研究開発法人森林総合研究所・北海道支所・主任研究員 (82105)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関