

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07495

研究課題名(和文)窒素付加はスギの成長・繁殖に是か非か? - 炭素/窒素供給バランスからの検証

研究課題名(英文) Does nitrogen deposition affect positively/negatively on growth and reproduction in *Cryptomeria japonica*?

研究代表者

壁谷 大介 (Kabeya, Daisuke)

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

研究者番号：30353650

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)：都市近郊でより強い傾向を示す窒素付加が、スギの成長・繁殖に与える影響を評価するため、窒素付加の程度が異なる3つの林分においてスギの成長およびシュートの窒素濃度・貯蔵炭水化物濃度の追跡調査を行った。

その結果、スギ・シュートの窒素濃度は窒素付加が多いほど上昇していた。貯蔵炭水化物濃度は窒素付加の異なる林分間では差は無かったものの大きく季節変化し、夏場には主たる貯蔵炭水化物であるデンプンがほぼ消失していた。また幹の成長は、高窒素付加林分で最も小さくなっていた。これらの結果から、都市近郊のスギ林においては、窒素付加による窒素の供給がスギの成長における要求を上回る窒素飽和状態にあることが推察された。

研究成果の概要(英文)：Nitrogen deposition from atmosphere affects nitrogen availability of the forest ecosystem. Aiming to clarify the effect of the nitrogen deposition on the carbon/nitrogen balance in *Cryptomeria japonica*, we monitored trunk radial growth and seasonal change of nitrogen and non-structural carbohydrates (NSC) concentrations in the shoot of *C. japonica* growing in the three sites that were distinguished by the degree of nitrogen deposition.

The shoot nitrogen concentration increased with the degree of the nitrogen deposition throughout the sampling campaign. The NSC concentrations in shoots were not different between the sites. The shoot NSC concentration fluctuated seasonally, and the starch contents disappeared in August. Moreover, trunk diameter growth decreased with the degree of N deposition. These results suggest that, in *C. japonica*, nitrogen supply is relatively sufficient and the growth of *C. japonica* in the high-N deposition site might be reduced due to N saturation.

研究分野：植物生態学

キーワード：炭素/窒素バランス nitrogen deposition スギ 成長 非構造的炭水化物

1. 研究開始当初の背景

近年、人間活動を由来とする大気降下物による森林への窒素付加が深刻化している。窒素付加に伴う渓流水への窒素流出量の増加は、日本の都市近郊に多く植林されたスギ林においても報告されており、将来的にはさらに深刻な問題となりうるとされる。

一方で日本をはじめ中・高緯度地域の森林は、一般的に窒素の供給量は植物の要求量よりも低く、植物の成長速度は窒素条件の制約を受けていると考えられている。このため窒素付加は、過剰レベルに至らなければ、炭素／窒素バランスの改善および葉の窒素濃度に強く依存する光合成能力の上昇を介して、樹木の成長を促進するという正の面も持つ。実際に大気降下物由来の窒素供給量が多い地域で、樹木の成長促進が報告されている。また施肥に伴う成長量の増加も様々な樹種で報告される。では今日の都市近郊のスギ林では、スギにとって窒素資源は過剰なのだろうか、それとも未だ不足しているのだろうか？

不足しがちな窒素資源に対し、現在多くの森林では炭素資源は供給過剰であるとみなされている。植物の成長は不足する資源によって規定されるため、余剰の炭素資源は、炭水化物（デンプン・糖）として植物体内に蓄積される。従って窒素不足の環境下では、スギにおいても炭水化物を蓄積しがちになることが予想される。ところで貯蔵炭水化物は、余剰分の蓄積以外の面も持つ。たとえば炭水化物は繁殖のための資源として利用される場合があり、スギの雄花生産は貯蔵炭水化物濃度と正の相関があることも報告されている。このため、窒素付加の多寡は、貯蔵炭水化物濃度の変動を通してスギの繁殖量に影響を与える可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、窒素付加量の異なる林分のスギにおいて、個体成長・繁殖成長と貯蔵炭水化物量の追跡を同時に行う。これにより、スギにおける炭素資源／窒素資源供給バランス

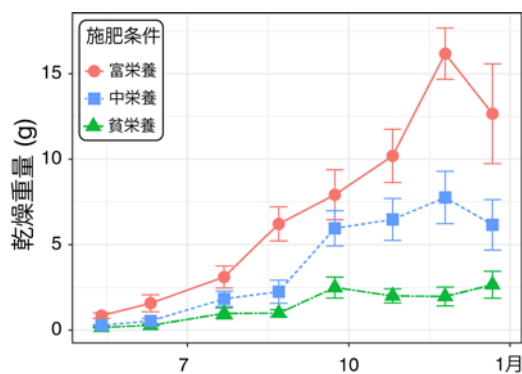


図-1 異なる施肥条件で栽培したスギ実生の乾燥重量の変化 (エラーバーは標準誤差)

の現状(窒素飽和／炭素飽和)を把握し、窒素付加の成長・繁殖への影響を定量的に明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、異なる窒素施肥条件で生育するスギにおける、貯蔵炭水化物濃度の変動幅の解明を目的とした栽培実験(1)と、関東近郊の窒素付加量の異なるスギ人工林における、個体の成長・炭水化物量・繁殖量の解明を目的とした野外調査(2)を同時に実施した。

(1) 栽培実験

利用可能な窒素資源量の違いによって、スギ・シュートの窒素濃度および貯蔵炭水化物濃度がどの程度の幅で変動するか把握するために、貧栄養・中栄養・富栄養の3つの施肥条件で1年生スギ実生を栽培した。栽培中の個体に対し成長を追跡すると共に、各施肥区から定期的に実生を採取して地上部の窒素濃度・貯蔵炭水化物濃度の定量を行った。

(2) 野外調査

窒素付加の違いがスギの炭素／窒素バランス、成長および繁殖へ与える影響を明らかにするために、既存の研究で窒素付加に伴う渓流水中の硝酸イオン濃度にちがいがみられる茨城県内の3つの林分(以下、窒素付加一高、中、低林分とする)に固定試験地を設定し、毎木調査を実施したうえで肥大成長量追跡、雄花生産量追跡を行った。またそれぞれの林分内に供試木を設定し、各個体の樹冠上部からスギのシュートを定期的に採取し、窒素濃度・炭水化物濃度の定量を行った。

4. 研究成果

(1) 栽培実験

施肥量を変えてスギ実生苗を栽培した結果、施肥処理間で成長量は大きく異なり、個体重量は富栄養処理で最大、貧栄養処理で最小となった(図1)。中栄養・貧栄養処理条件で個体

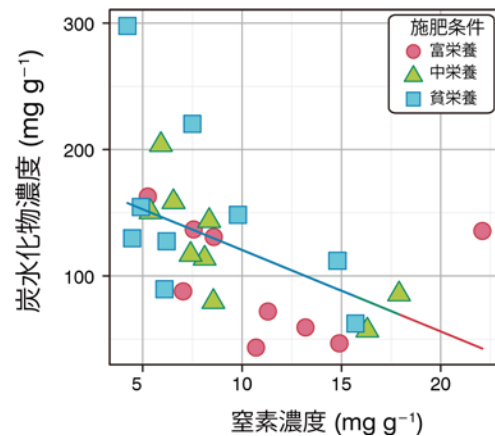


図-2 異なる施肥条件で栽培したスギ実生の地上部における窒素濃度と炭水化物濃度の関係

表1 試験地の概要

林分	窒素飽和ステージ	標高 (m)
高	2-3	332
中	1-2	258
低	1	218

(続き)	林齢	個体密度 (ha ⁻¹)	DBH (cm)
	62	1,233	27.0
	74	356	34.6
	49	889 (600)*	25.8

* カッコ内はスギのみの値 (低林分は混交林)

の成長がほぼ安定化した9月において、スギ実生苗地上部の窒素・炭水化物濃度の関係は負の相関を示した(図-2)。この結果は炭素/窒素バランス理論からの予測と一致しており、スギにおいても栄養条件が悪くなるに伴い、成長の低下と共に貯蔵炭水化物の蓄積量が増加し、貯蔵炭水化物濃度は10 ~ 300mg・g⁻¹程度の幅の値を取り得ることが明らかとなった。

(2) 野外調査

各調査地の概要を表-1 に示す。吉永ら(2012)で示された渓流水中の硝酸イオン濃度から推定した Aber (1989)に基づく各林分の窒素飽和ステージ (値が大きくなるほど窒素飽和状態が進行) は、高林分:2-3、中林分:1-2、低林分:1 であり、窒素付加の傾向と一致していた。各林分における林齢・個体密度・平均胸高直径 (DBH) は林分毎にばらつきがみられたものの、いずれも窒素付加の傾向との対応はなかった。

スギ・シュートの窒素濃度は林分間で異な

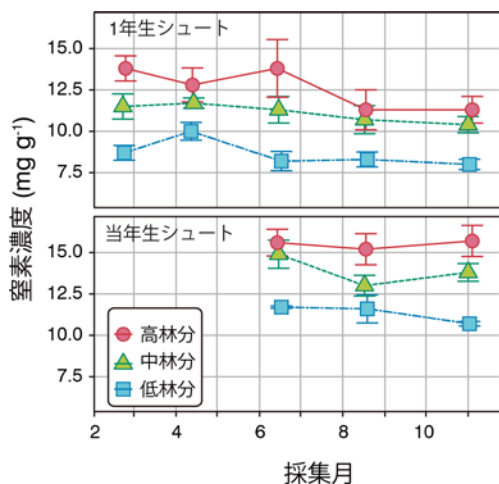


図-3 窒素付加の異なる林分に生育するスギ・シュートの窒素濃度の季節変化 (エラーバーは標準偏差)

っており、窒素付加が多いほどシュートの窒素濃度は高くなった(図-3)。この傾向はサンプル採取時期によらず維持されまた、シュートの齢の影響も受けなかった。

スギ・シュートの貯蔵炭水化物(デンプン+可溶性糖分)濃度は、林分間で明確な差はみられなかった。その一方で貯蔵炭水化物濃度は季節的に大きく変動し、新たな成長が開始される直前の4月に濃度が最大となったのに対し、8月には大きく低下し、シュート内のデンプンはほとんど消失していた(図-4)。

シュートの窒素濃度は光合成能力と密接な関係があり、窒素濃度を高く保つことは高い炭素獲得に結びつく。その一方で自然環境においては、一般的に窒素資源は炭素資源よりも不足がちであり、個体の成長に伴う希釈効果の影響を受けるため植物が窒素濃度を高めることは難しい。逆に余剰気味になる炭素資源はデンプン・可溶性糖分といった炭水化物の形で植物体内に貯蔵される。ところが本研究においては、シュート内の貯蔵炭水化物(デンプン)が、夏場にはほぼ消失するのに対し、窒素濃度は高林分で高い傾向が常に維持されていた。これらの結果は、今回対象とした林分においては、炭素資源よりも窒素資源が相対的に過剰である可能性を示唆している。

期首サイズを考慮したスギの幹肥大成長速度は、高林分で最も小さく、低林分で最大となっていた(図-5)。肥大成長は個体密度の影響も受けることを考慮して、林分あたりの肥大成長量合計を計算したところ、肥大成長量合計も高林分で最小となっていた。個体密度や林齢の影響を受ける肥大成長速度の評価には注意が必要であるが、シュートの窒素濃度が高い(すなわち、光合成能力が高い)高林分において、必ずしも肥大成長速度が速いわけではなく、窒素付加の多さが必ずしも成長にプラスに働いているわけではないことが示唆された。

これらの結果を総合すると、本研究で対象としたスギ林分のうち、特に高林分ではスギにとっても窒素飽和状態となっており、既に

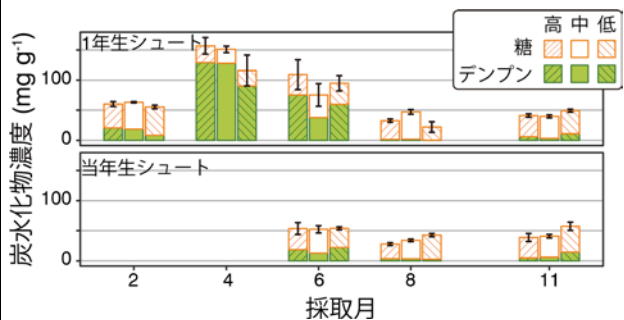


図-4 窒素付加の異なる林分に生育するスギ・シュートの貯蔵炭水化物濃度(デンプン濃度+糖濃度)の季節変化 (エラーバーは炭水化物濃度の標準偏差)

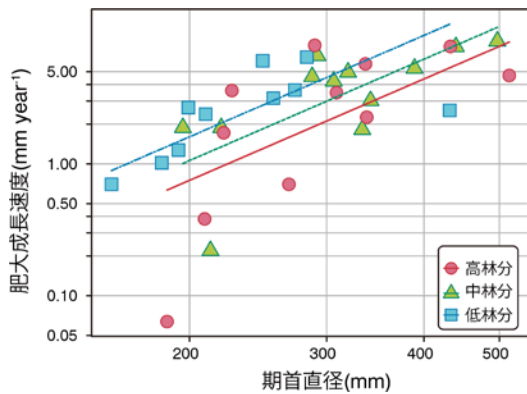


図-5 窒素付加の異なる林分に生育するスギの幹肥大成長速度。図中の直線の切片が期首の直径の影響を考慮した肥大成長速度となる。

成長に負の影響が出始めている可能性が示唆される。なお、繁殖量の指標となる雄花生産量については現在分析中であり、窒素付加がスギの繁殖量に与える影響については未だ不明のままである。このため、今後は成長・繁殖の両方への窒素付加の影響を評価する予定である。さらに、将来的な大気二酸化炭素濃度上昇に伴う炭素/窒素バランスの変化も考慮しながら、関東近郊のスギ林における窒素付加の影響を注視し続ける必要があるだろう。

<引用文献>

Aber et al. (1989) Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *Bioscience* **39**:378-386
 吉永ほか (2012) 関東平野北東部の森林流域における渓流水の NO_3^- 濃度分布と東京都心からの距離との関係. *日本林学会誌* **64**:84-91.

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 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

① KABEYA Daisuke、ARAKI G Masatake、KAWASAKI Tatsuro、SAITO Satoshi、Does nitrogen deposition result in saturation of nitrogen demands in temperate conifer tree *Cryptomeria japonica* in Japan?, *Ecology Across Borders*, 2017 年

② 壁谷大介、荒木眞岳、川崎達郎、齊藤哲、窒素付加量の異なる林分に生育するスギにおける炭水化物濃度の変動.、日本森林学会第128回大会、2017年

[図書] (計 0 件)

[産業財産権] (計 0 件)

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

壁谷 大介 (Kabeya Daisuke)

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

研究者番号：30353650

(2) 連携研究者

齊藤 哲 (Saito Satoshi)

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

研究者番号：30353692

右田 千春 (Migita Chiharu)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・研究員

研究者番号：70575274

田中 憲蔵 (Tanaka Kenzo)

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

研究者番号：30414486

(3) 研究協力者

川崎 達郎 (Kawasaki Tatsuro)

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

研究者番号：

荒木 眞岳 (Araki G Masatake)

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

研究者番号：80353564