

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25450224

研究課題名(和文) 間伐による下層植生の導入が植栽ヒノキの窒素利用を増進する効果の検証

研究課題名(英文) Effects of thinning on development of understory vegetation and nitrogen utilization of hinoki cypress trees

研究代表者

稲垣 善之 (Inagaki, Yoshiyuki)

国立研究開発法人森林総合研究所・四国支所・主任研究員

研究者番号：00353590

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ヒノキ人工林において間伐を実施すると下層植生が発達する。下層植生は窒素濃度の高い落葉を供給して土壌の窒素資源を改善する効果が期待されるが、土壌の窒素資源に対してはヒノキと競争関係にある。高知県ヒノキ林において間伐10年後の樹冠窒素量は、間伐した林分で低く維持されていた。ヒノキの葉量回復速度が遅いため窒素吸収の増加は限定的であった。ヒノキと下層植生の土壌の窒素源を窒素安定同位体比で評価した結果、対照区ではヒノキと下層植生が異なる窒素源、間伐区では共通の窒素源を利用していた。間伐によってヒノキと下層植生の窒素をめぐる競争は緩和された。

研究成果の概要(英文)：Thinning in hinoki cypress plantations can develop understory vegetation. Understory vegetation is expected to promote nitrogen cycling of forest ecosystems and enhance nitrogen uptake of hinoki cypress trees. Nitrogen content in leaves of hinoki cypress trees thinned 10 years ago remained lower than that in the unthinned control. Increase of nitrogen uptake by hinoki cypress is not large due to limited increase of leaf biomass. Nitrogen isotope ratio in leaves was used as an indicator of soil nitrogen sources. Hinoki cypress and understory vegetation utilize similar nitrogen sources in thinned plots while they utilize different sources in the unthinned control. The competition for nitrogen sources between hinoki cypress and understory vegetation was reduced by thinning.

研究分野：森林生態学

キーワード：ヒノキ 下層植生 間伐 窒素 競争 安定同位体比

1. 研究開始当初の背景

ヒノキは、日本において主要な造林樹種であり、西日本を中心に広く植林されている。ヒノキ人工林において、間伐施業は良質な木材を利用するために必要であるばかりでなく、林床の光環境の改善により、下層植生を発達させ、表土侵食を低減する効果や種多様性を保全する効果が期待される。これらの機能を高度に発揮するためには環境条件に応じて適切な間伐を行い下層植生の存在量を管理することが求められている。

森林の生育にとって重要な土壌の窒素資源についても下層植生の存在は大きな影響を及ぼす。下層植生は落葉の窒素濃度が高いため、土壌の窒素無機化速度を促進する効果が期待される。一方で、下層植生は窒素吸収能力が高いため、土壌の窒素資源をめぐってヒノキと競争関係にある。下層植生による窒素の吸収量が多い場合にはヒノキの生育を抑制することが予想される。このようにヒノキと下層植生の窒素利用の関係は複雑であり、多様な観点から評価することが求められる。

2. 研究の目的

1) 間伐後の窒素吸収量の評価

ヒノキの間伐後の窒素吸収量を評価するためには、樹冠窒素量を定量的に評価することが必要である。近年、間伐後の樹冠葉量の変化を簡易に推定する手法が開発された。この手法は、樹冠葉量が生枝下断面積に比例するという性質と生枝下の幹直径を樹高、生枝下高、胸高直径から間接的に推定する手法を組み合わせたものである。高知県のヒノキ人工林においてこの手法の有効性が確認されている(稲垣ら 2015)。この手法を高知県の間伐率の異なるヒノキ人工林にあてはめて間伐後 10 年間の樹冠葉量の変化を明らかにする。また、間伐 10 年後における樹冠の窒素量を評価し、間伐後の窒素吸収の変化を明らかにする。

2) ヒノキと下層植生の窒素源の評価

窒素の安定同位体比は、土壌中の窒素源の指標として利用されている。ヒノキ人工林において下層植生とヒノキの窒素安定同位体比が近い値を示せば共通の窒素源を利用しており、窒素をめぐり競争関係が強いことを示す。この性質を利用して異なる間伐率に対する窒素をめぐり競争関係の変化を明らかにすることができる。土壌中の窒素源を明らかにするためには、無機態窒素の窒素安定同位体比を計測することが必要である。近年開発された微量窒素の測定手法を用いて土壌中の無機態窒素の安定同位体比を計測する。

3. 研究の方法

1) 間伐後の窒素吸収量の評価

高知県の標高の異なる 2 地域のヒノキ林を対象とした。高標高(約 1200m)の天狗地域で

は本数間伐で 0%、25%、50%、75%の調査区、低標高(約 700m)の旧宮地域では 0%、50%間伐区を設置した。間伐実施時および間伐 10 年後の樹冠葉量を次の手順で求めた。調査区内のヒノキの樹高、枝下高、胸高直径を計測した。樹冠葉量を次の式で求めた。

$$LB = WL_F \times A1.3 (H - HB) / (H - 1.3)$$

LB: 樹冠葉量(kg)、 WL_F : 比例定数(kg/m²)、 $A1.3$: 胸高断面積(m²)、H: 樹高(m)、HB: 生枝下高(m)

WL_F については、全国 7 地域の伐倒試験地において得られた調査地の年平均気温と WL_F の関係式(稲垣ら 2015)を用いて、天狗、旧宮地域の値を求めた。調査区内のヒノキの葉量を合計して林分あたりの葉量を求めた。それぞれの調査区において、スリングショットを用いてヒノキの葉を採取した。採取した葉の窒素濃度を測定した。調査区にリターラップを設置してリターフォールを回収した。回収したリターから下層植生の葉を分別した。葉の窒素濃度を求めた。天狗地域は落葉樹が主体であったので、落葉量を樹冠窒素量とした。旧宮地域では落葉樹と常緑樹が存在したため、落葉量を 2 倍したものを樹冠窒素量とした。

2) ヒノキと下層植生の窒素源の評価

高知県の標高の異なる 2 地域のヒノキ林を対象にした。高標高(約 1200m)の天狗地域と、低標高(約 500m)の太夫畑地域である。それぞれの地域に、0%、25%、50%、75%の調査区を設定し、天狗地域は 2002 年、太夫畑地域では 2004 年に間伐を実施した。2015 年の夏にそれぞれの調査区において植物の葉を採取した。一つの調査区においてヒノキを 5 個体、下層植生は 30 個体以上を採取した。採取した葉の窒素安定同位体比を、質量分析計を用いて計測した。

土壌中の無機態窒素を集めるために、深さ 5cm にイオン交換樹脂を設置した。2 か月後に設置した樹脂を回収し、塩化ナトリウム溶液で抽出した。抽出液の硝酸態窒素、アンモニウム態窒素の濃度および窒素安定同位体比を測定した。

4. 研究成果

1) 間伐後の窒素吸収量の評価

6 か所の調査区における間伐前のヒノキ葉量は 15.1~16.8Mg/ha であり、調査区間の差は小さかった。間伐によって葉量は 3.7~10.4 Mg/ha 減少しその割合(23~69%)は本数間伐率に近かった(図 1)。間伐 10 年後では樹冠葉量は 6.9~18.1 Mg/ha であった。間伐による葉量減少に対する 10 年間の葉量増加の割合は 21~57%であり、回復期間は 18~49 年と推定された。この結果より調査区においては、ヒノキの樹冠葉量が回復するまで

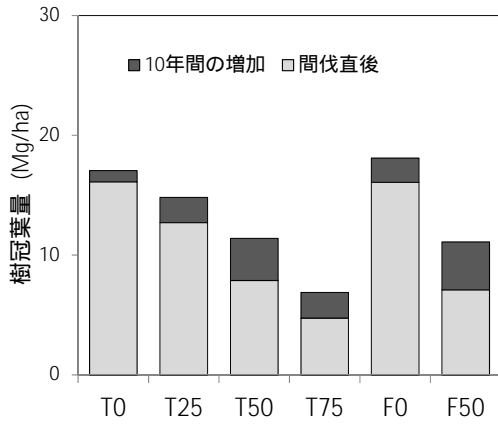


図1 間伐試験地における樹冠葉量変化
Tは天狗地域、Fは旧宮地域、数字は本数間伐率を示す。

には長期間を要することが明らかになった。間伐実施 10 年後に間伐処理による生葉窒素濃度の明瞭な変化は認められなかった。ヒノキの樹冠窒素量は 75~201kg/ha であり、無間伐区で最も多く、間伐率が大きいほど低下した(図2)。50%間伐区、75%間伐区では樹冠窒素量は無間伐区のそれぞれ 63%、37%にとどまった。下層植生の樹冠葉量は、1~12kg/ha であり、天狗地域の 50%間伐区、75%間伐区で大きかった。これらの結果より、間伐を実施すると下層植生が発達し、樹冠窒素の中で割合が大きくなった。しかし、樹冠の窒素量は無間伐区で最も大きい状態が 10 年間維持されていた。これらの結果より、下層植生の増大がヒノキの窒素吸収量を増大させる効果は限定的であることが示唆された。ヒノキは樹冠葉量の増加速度が低いことから土壌の窒素を吸収する能力が低く維持されていると考えられた。

2) ヒノキと下層植生の窒素源の評価

8 調査区におけるヒノキ葉の窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) は、 $-6.1 \sim -1.2\%$ を示した。土壌に設置したイオン交換樹脂に吸着された窒素は主に硝酸態であり、アンモニア態窒素は少なかった。硝酸態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ は $-6.4 \sim 4.4\%$ であった。樹脂に吸着した硝酸態窒素

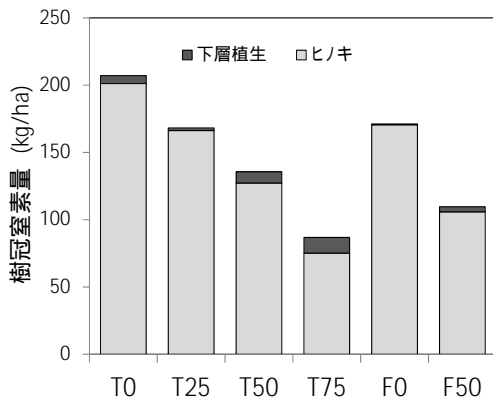


図2 間伐試験地における間伐10年後のヒノキと下層植生の樹冠窒素量。凡例は図1を参照

が少ない調査区で $\delta^{15}\text{N}$ は高い値を示した。酸素安定同位体比の値より、これは降水に由来することが示唆された。樹脂に吸着した硝酸態窒素が多い調査区では、硝酸は土壌の硝化に由来することが示唆され、これらの $\delta^{15}\text{N}$ はヒノキの葉の値と近い値を示した。

ヒノキと下層植生の $\delta^{15}\text{N}$ を比較するために、調査区毎にヒノキと下層植生の $\delta^{15}\text{N}$ を平均値が 0、標準偏差が 1 になるように標準化した。ヒノキ葉の標準化 $\delta^{15}\text{N}$ は、天狗地域で大夫畑地域よりも大きかった。天狗地域では下層植生とヒノキの $\delta^{15}\text{N}$ が近い値を示し、共通の窒素源を利用すること、大夫畑地域では、ヒノキは低い $\delta^{15}\text{N}$ を示し、下層植生と異なる窒素源を利用することが示唆された。ヒノキ葉の標準化した $\delta^{15}\text{N}$ は、天狗では無間伐区で 50%、75%間伐区よりも低い値を示した。大夫畑では無間伐区で間伐区よりも低い値を示した。この結果は、無間伐区ではヒノキと下層植生の窒素源が異なることを示す。ヒノキが下層植生よりも低い値を示す要因としては、ヒノキの細根は表層に分布しており、低い $\delta^{15}\text{N}$ をもつ有機物層の窒素を主に吸収するためであると考えられた。間伐を実施すると、ヒノキと下層植生の窒素をめぐる競争が緩和され、共通の窒素源を利用するようになると考えられた。

3) まとめ

2 つの試験の結果より、ヒノキを間伐すると、下層植生が増加すること、土壌の窒素をめぐる競争が緩和されることが明らかになった。一方で、間伐後の樹冠葉量の回復には時間がかかることや下層植生の増加量は限定的であることが示唆された。窒素に対する競争は緩和されていても、林分全体の窒素吸収は低く維持されており、他の要因が窒素吸

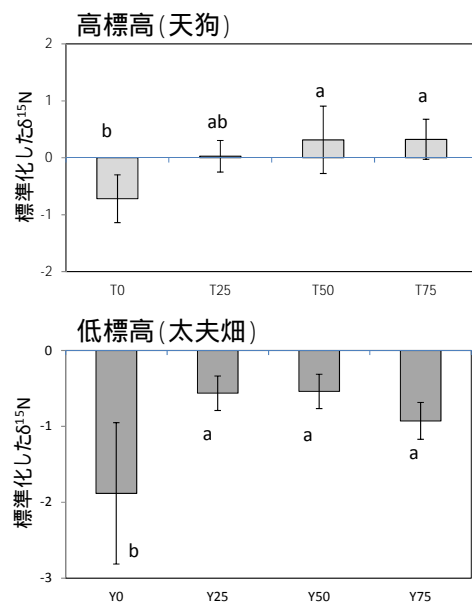


図3 間伐試験地におけるヒノキ葉の標準化した窒素安定同位体比。Tは天狗、Yは大夫畑、数字は伐採率を示す。同じ英文字は有意な差がないことを示す。平均値 \pm SD (n=5)

収を抑制することが示唆された。

ヒノキの樹冠回復が遅い要因としてはヒノキの葉量の増加は樹高成長に依存することが明らかにされている。本調査地の天狗では、間伐をすると樹高成長が低下することが報告されており(深田ら 2009) 葉量回復を抑制する要因となっている。下層植生の葉量が低い水準である要因として、間伐後に、林床の光環境が低下することが推察される。

今回の新たな手法を用いて、ヒノキの樹冠窒素量の正確な定量と同位体を用いた窒素源による下層植生とヒノキの競争関係を評価することが可能になった。今後、気象条件や土壌条件の異なるヒノキ林において下層植生との競争関係をさらに明らかにすることによって、ヒノキ林の管理手法を決定する際の重要な判断基準を提供することが期待される。

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4件)

稲垣善之、倉本恵生、深田英久(2016) 高知県のヒノキ人工林における豊作年の雄花・球果生産。森林応用研究 25(2):5-11 (査読有)

稲垣善之、宮本和樹、伊藤武治、北原文章、酒井寿夫、奥田史郎、野口麻穂子、光田靖(2015) 高知県のヒノキ人工林における樹冠葉量の推定。森林応用研究 24(2):11-18 (査読有)

Inagaki Y, Inagaki M, Hashimoto T, Kaneko S (2015) Stable nitrogen and carbon isotope ratios and related leaf traits of four tree species at high and low nitrogen-deposition sites in the Kanto district of Japan. Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute 14: 201-208 (査読有) <https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/437/documents/437.pdf>

稲垣善之、篠宮佳樹、野口享太郎、平井敬三、金子真司(2014) 間伐がスギ人工林におけるリターフォール供給と土壌の炭素窒素蓄積量に及ぼす影響。関東森林研究 65: 115-118 (査読有)

[学会発表](計7件)

稲垣善之、宮本和樹、奥田史郎、野口麻穂子、伊藤武治: 地形の異なるヒノキ林における樹冠葉量の推定。第64回日本生態学会大会 2017年3月16日 早稲田大学(東京都・新宿区)

稲垣善之、野口享太郎、倉本恵生、中西麻

美、深田英久: ヒノキ人工林における間伐後の樹冠葉量と窒素利用の変化。第67回応用森林学会 2016年10月22日 愛媛大学(愛媛県・松山市)

Inagaki Y, Fukata H: Effects of thinning on leaf carbon isotope composition and stem growth in hinoki cypress plantation forests in Japan. The 10th International Conference on the Applications of Stable Isotopes to Ecological Studies 2016年4月5日 東京大学(東京都・文京区)

稲垣善之、野口享太郎、宮本和樹、奥田史郎、野口麻穂子、伊藤武治: 間伐がヒノキ葉の窒素濃度および炭素・窒素安定同位体比に及ぼす影響 地球惑星科学連合大会 2015年5月28日 幕張国際会議場(千葉県・千葉市)

稲垣善之、野口享太郎、三浦覚、中西麻美、館野隆之輔、福島慶太郎、大浦典子、市川貴大、戸田浩人: 下層植生が針葉樹人工林の窒素循環に及ぼす影響 第126回日本森林学会 2015年3月28日 北海道大学(北海道・札幌市)

Inagaki Y, Noguchi K, Fukata H: Effects of thinning on nitrogen utilization of hinoki cypress and understory vegetation in Shikoku Island, southern Japan. 20th World Congress of Soil Science 2014年6月9日 (韓国・済州)

Inagaki Y, Fukata H, Koba K: Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil in Japanese cedar and hinoki cypress plantation along a precipitation gradient in Shikoku district, southern Japan. International Symposium of Forest Soils 2012年9月17日 (中国・瀋陽)

[その他]

ホームページ等

<http://researchmap.jp/hinokilitter/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲垣 善之 (INAGAKI YOSHIYUKI)

国立緩急開発法人森林総合研究所・四国支所・主任研究員

研究者番号: 00353590

(2) 研究分担者

木庭 啓介 (Koba Keisuke)

京都大学・生態学研究センター・教授

研究者番号: 90311745