

平成21年 6月10日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18580156

研究課題名（和文） スギ林「切り捨て間伐」が森林生態系の窒素動態に及ぼす影響の解明

研究課題名（英文） Effect of thinned woody residue on nitrogen dynamics in a Japanese cedar forest

研究代表者

金子 真司 (KANEKO SHINJI)

独立行政法人森林総合研究所 立地環境研究領域・室長

研究者番号：80353647

研究成果の概要：茨城県北部の40年生スギ林では、本数率50%の切り捨て間伐によって $24\text{kg N ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ の窒素が緑葉として林内に放置されたが、リターフォール量が減少したため間伐区のリターフォールによる窒素還元量は対照区よりも $22\text{kg N ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ 少なかった。また緑葉分解による窒素供給は間伐後1年は発生せず、間伐後2年間の窒素供給量は $6.3\text{kg N ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ と推定した。以上、切り捨て間伐では多量の緑葉が林内に放置されるが、土壌の無機態窒素の上昇は起こりにくいと考えられた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	660,000	3,960,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・森林工学

キーワード：森林生態

1. 研究開始当初の背景

第二次世界大戦後に植栽された人工林の多くが間伐を必要しているが、材価低迷などの社会的背景から間伐しても材を搬出せず林地に放置するいわゆる「切り捨て間伐」されるケースが増加している。「切り捨て間伐」に関しては、林内に放置された間伐材が穿孔害虫であるキバチ類の温床となるなどの問題点が指摘されている。一方、分解の遅い林地残材は炭素貯蔵庫として、地球温暖化対策の点から関心を集めている。地力保全の観点では、「切り捨て間伐」は森林生態系からの

窒素の流出を招くことが心配されている。伐採木とともに窒素含有量の高い緑葉が立地に放置される。この緑葉が短期間に分解すると、多量の窒素が土壌に供給される。間伐によって立木密度が低下するので、樹木による吸収も十分されない。このため窒素が系外へ流出が起こる可能性がある。しかしながら、これまで「切り捨て間伐」によって林内に放置される有機物からの窒素供給についての研究はなく、植栽木による窒素吸収量の変化についてもほとんど研究されていない。

2. 研究の目的

(1) 緑葉分解に伴う林地への窒素供給

森林では通常、窒素は落葉落枝（リターフォール）として自然に落下して林地に還元供給される。落葉前に枝葉から樹体への窒素の引き戻しがおこるため、リターフォール中の窒素含有率は生育期に比べて低下する。それに対し、間伐時に材と共に供給される葉は、その多くが養分含有率の高い緑葉が大部分を占める。特に切り捨て間伐では伐採木から枝葉が切り落とされることが多く、枝葉の多くは地表に接地しない状態で放置される。そのことが枝葉の分解に影響し、通常の利用間伐とは分解に伴う養分供給の様式が異なると予想される。そこで、切り捨て間伐林における緑葉の分解とそれに伴う窒素供給プロセスの解明を目的に、スギ緑葉をスギ林内の空中と地表に設置し、分解ともなう窒素供給について検討を行った。

(2) 樹木による窒素吸収

樹木の成長ともなう窒素の吸収・蓄積作用や落葉落枝による林地への窒素還元作用は、森林の窒素動態において重要な役割を担うと考えられる。日本では森林面積の4割強が人工林であり、代表的な造林樹種であるスギについては、6-70年生林分の窒素蓄積量が約230-720 kg N ha⁻¹、窒素吸収量が約50-120 kg N ha⁻¹ yr⁻¹などの報告がある（四大学合同調査班1966）。一方、人工林では施業により樹木による窒素吸収および還元過程に変化が生じることが予想されるが、その効果についてはほとんど研究例がない。そこで本研究では、間伐がスギ人工林の窒素吸収および還元過程に与える効果について明らかにすることを目的として研究を行った。

3. 研究の方法

(1) 緑葉分解に伴う林地への窒素供給

対象とした林分は茨城県城里町(旧桂村)にある約40年生のスギおよび天然生の広葉樹からなる小流域である。ここでは本数率で約50%の切り捨て間伐が2003年12月に行われた。その際に伐採木とともに林地に還元された緑葉は、有機物として2.1tha⁻¹、窒素として23.9kgha⁻¹である。緑葉は枝についた状態のためその71% (17.0Nkg ha⁻¹) は地面から離れ空中に存在し、残りの29%(6.9 Nkg ha⁻¹) が地面に接していた。

伐採木から緑葉を採取して実験室に持ち帰った後風乾させ、長さ5cm程度に切りそろえ、乾重で10gをナイロン製のメッシュバッグ(以降リターバッグとする)に詰めた。2004年4月、リターバッグを3カ所のプロット内に地表と空中に設置した。地表への設置はリターバッグを地表に置き、針金で固定した。空中への設置は約1mの間隔に2本の支柱を立てその間を針金で結び、リターバッグの一

辺をクリップで針金に止めて地面に接地しないように設置した(写真1)。

設置後、約3ヶ月、6ヶ月、1年、2年後に各プロットから地表および空中の処理区ごとにそれぞれ5個のリターバッグを回収した。回収試料から2mm以上の残存葉を篩別し、乾燥後に重量を測定した。また残存葉の窒素固定活性をアセチレン還元法で、窒素および炭素含有率をNCアナライザーで測定した。



写真1. 空中へのリターバッグの設置状況

(2) 樹木による窒素吸収

茨城県城里町のスギ林において、サイズの異なる6本のスギ個体を伐倒し、胸高直径(DBH)と地上部乾重量を測定した(表1)。これらの伐倒試料の一部については窒素濃度を測定し、これらを併せてスギの地上部窒素蓄積量をDBHから推定するアロメトリー式を作成した。また、間伐前に間伐予定林分(間伐区)と間伐を行わない林分(対照区)に、それぞれ3つの15×15mの調査区を設置し、間伐前と間伐後の2年間にわたり毎木調査により調査区内の全てのスギ個体のDBHを測定した。得られたDBHの値から、アロメトリー式を利用して試験地のスギ地上部窒素蓄積量を推定するとともに、地上部窒素蓄積増加速度を算出した。また、リターバッグを利用して落葉落枝量を測定するとともに、採取した試料の窒素濃度を測定し、併せて落葉落枝による窒素還元速度を推定した。このようにして得られた地上部窒素蓄積増加速度と窒素還元速度の和を地上部窒素吸収速度として算出した。

4. 研究成果

(1) 緑葉分解に伴う林地への窒素供給

1) 分解速度

空中に設置した緑葉リターバッグ(空中区)と、地面に設置した緑葉リターバッグ(地表区)とも6ヶ月まで急激に重量が減少し、6ヶ月から1年までは減少速度がやや低下した(図1)。6ヶ月まで空中区と地表区の重量減少速度は等しかったが、6ヶ月から1年までは地表区の分解速度がやや大きかった。2

年後の分解率は地表区が有意に大きく、地表区のリターの分解速度が上昇した。

地表区ではリターの含水率が高くなり、微生物や土壤動物の影響を受けやすいので、空中区に比べて設置直後から分解速度が大きいと予測したが、6ヶ月間は両区の分解速度の差は見られなかった。このことは初期のリターの重量減少は生物的な要因よりも溶脱等の非生物的な要因に支配されていることを示唆する。6ヶ月を過ぎると地表区の分解速度が大きくなるので、この時期から生物の影響が強まると考えられた。

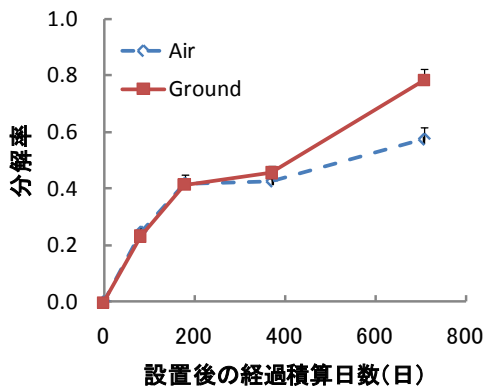


図1. 空中区と地表区の緑葉分解率の変化

2) 分解に伴う林地への窒素供給量

スギ緑葉リターの窒素濃度は、設置から6ヶ月後にかけて地表区、空中区とも増加した。6ヶ月後の窒素濃度は地表区が空中区に比べて高く、両区ともその後の窒素濃度の変化は小さかった。生物窒素活性は地表区と空中区とも6ヶ月後にピークになり、1年目には両区とも低下し、2年目には両区とも窒素固定活性はほとんど検出されなかった。両区の窒素固定活性を比べると、地表区が空中区に比べて高かった。以上より、生物窒素固定の違いが地表区で窒素の濃度上昇が大きかった一因になっていると考えられる。

残存葉中の窒素量と間伐による還元窒素量の変化から、分解に伴う窒素供給量を求めた(図2)。緑葉の分解速度に比べて、残存葉の窒素含有率の増加(取り込み)の方が大きいため、分解初期の6ヶ月間はいずれの処理区においても残存窒素量は増加していた。それ以降になると、空中区では1年後の窒素存在量が設置時に比べて減少した。生物窒素固定があるので、土壌への窒素供給の開始時期の特定は難しいが、少なくとも1年目に窒素供給が開始したといえる。一方、地表区では1年後から2年後の間の分解速度が高く、この期間に窒素が多量に土壌へ供給されることが判明した。以上の結果から2年間の窒

素供給量は 6.3kg ha^{-1} と推定され、間伐によって還元された窒素量の26%が分解によって土壌に供給されたことになる。

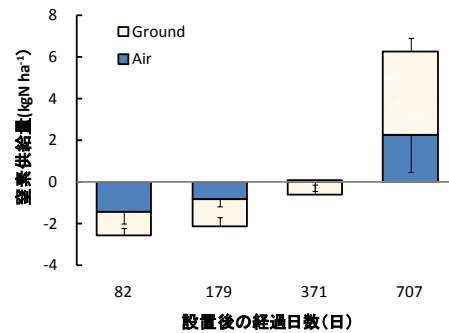


図2. 間伐後の緑葉からの窒素推定供給量

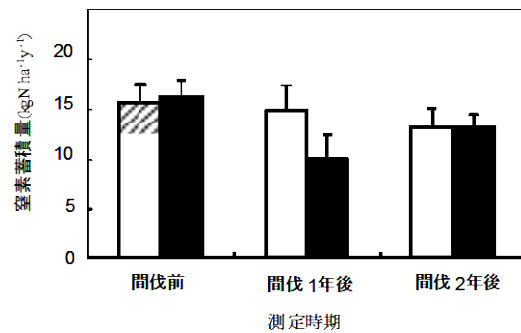


図3. 間伐前後の間伐区(□)および対照区(■)における地上部窒素蓄積量. 斜線部は間伐により林地に還元された窒素量を示す。(平均+標準誤差, N=3)

(2) 樹木による窒素吸収

伐倒調査で得られた6本の試料木のDBHは4.8-24.8 cm、地上部乾重量は4.2-201 kgであった。これらの試料を部位別に分けて見ると幹の割合が最も大きく、全体の80%-95%を占めた。また、各部位の窒素含有率(g kg^{-1})は1.2-19で、葉で高く幹や枝で低い値を示した。各試料個体の窒素含有量(g)とDBH(cm)の関係をべき乗式で表した結果、アロメトリー式「スギ個体の地上部窒素蓄積量 = $0.468 \times \text{DBH}^{2.14}$ 」が得られた。

間伐前における立木密度(本 ha^{-1})は約1850(間伐区)、2030(対照区)であった。間伐区の調査区内では間伐により個体数にして約50%が伐採され、2004年の立木密度が約890であった。間伐区、対照区における間伐前のDBH(cm)は、平均して18.2、17.7であった。本研究において実施された間伐では、伐採対象木と残存木の平均樹高はそれぞれ15.5 mと19.4 mであり、間伐により主にサイズの大きい個体が残された。

間伐前の対照区と間伐区における地上部窒素蓄積量 (kg N ha^{-1}) はそれぞれ 511 と 494 と推定された (図 3)。対照区の地上部窒素蓄積量は増加傾向にあり、間伐 2 年後には 535 kg N ha^{-1} であったが、間伐区では間伐を行ったため減少し、間伐 2 年後の窒素蓄積量は約 371 kg N ha^{-1} であった。対照区における地上部の窒素蓄積増加速度は、 $10\text{--}16 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、間伐区における窒素蓄積増加速度は約 $15 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ で、間伐前後における差は明瞭ではなかった (図 4)。

間伐後のリターフール量 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) は、対照区で約 5.2–6.0、間伐区で 3.1–3.3 であった。リターフール試料の窒素含有率 (g kg^{-1}) は 3.2–17 であった。これらの値から求めた間伐区のリターフールによる窒素還元速度は $33 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ で、対照区 (約 $57 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) の約 60% であった。なお、間伐区では間伐の実施により無間伐林分 (対照区) における 1 年間のリターフールの 10 倍以上にあたる約 63 Mg ha^{-1} の有機物が林地に供給された。また、間伐による窒素還元量は約 150 kg N ha^{-1} で、無間伐林分 (対照区) における 1 年間のリターフールによる還元量と比較すると約 2.5 倍であった。

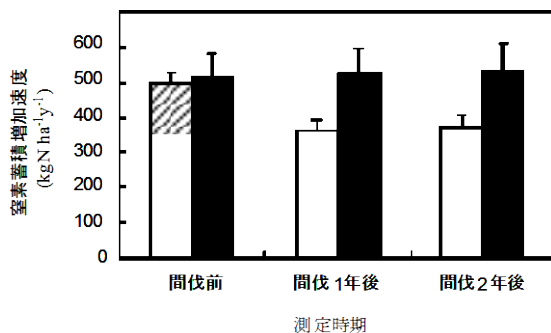


図 4. 間伐前後の間伐区 (□) および対照区 (■) における地上部窒素蓄積増加速度. 斜線部は伐採対象木の窒素蓄積増加速度を示す. (平均+標準誤差、N=3)

また、間伐後の地上部純生産速度 (NPP、 $\text{Mg DW ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) を地上部現存量増加速度とリターフール量の和として求めた結果、間伐区の NPP (10.0) は対照区 (11.4) の約 90% であった。一方、同様に求めた間伐区の窒素吸収速度 (地上部窒素蓄積増加速度+リターフール窒素還元速度) は $37 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ で、対照区 ($52 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) の約 70% であった。間伐区において窒素吸収速度が低く見積もられたのは、間伐区ではリターフール量が小さかったことと、リターの主成分である葉の窒素濃度が高かったことによる。

前述のように、本研究では主に小さいサイズの個体を伐採対象として間伐が実施された。間伐の強度はバイオマスで約 30% であったが、本研究の結果は、このような間伐を行

った場合、地上部窒素蓄積量やリターフールによる窒素還元量は減少するが、地上部窒素蓄積増加速度に対する間伐の影響は大きくないことを示唆している。

(3) 総合考察

切り捨て間伐によって $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ の窒素が林内に供給された。このうち $23.9 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ の緑葉である。緑葉は伐採後 1 年間に約 40% の分解したが、この期間窒素は緑葉内にとどまっていた。窒素供給は 1 年を過ぎてから始まり、2 年間に緑葉分解で $6.3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ が供給された。ただし、間伐区ではリターフール量が対照区 (非間伐区) の 60% と低下したので、土壌への窒素供給は大きく変化していないと考えた。2 年目以降は緑葉の分解が進み窒素の供給の増加すると予想されるが、間伐区では下層植生の量が増えているので、窒素の流亡は起きにくいと考えられる。

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 5 件)

- ① 山中高史、岡部宏秋、わが国に生育する放線菌根性植物とフランキア菌. 森林総合研究所研究報告、7、67–81、2008、査読有
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kanko/406-4.pdf>
- ② 平井敬三、金子真司、高橋正通、森林土壌における気候帯別の窒素無機化—土壌理化学性、気温、土壌型による現地窒素無機化速度の推定—森林立地、49、123–131、2007、査読有
- ③ 平井敬三、野口享太郎、溝口岳男、金子真司、高橋正通、森林土壌の現地窒素無機化における下層土および季節別の寄与、森林立地、49、51–59、2007、査読有
- ④ 平井敬三、森貞和仁、レジソコア法を適用した森林土壌における現地窒素無機化の定量、東北森林科学会誌、12、12–20、2007、査読有
- ⑤ 平井敬三、阪田匡司、森下智陽、高橋正通、スギ林土壌の窒素無機化特性とそれに及ぼす環境変動や施業の影響、日本森林学会誌、88、302–311、2006、査読有

[学会発表] (計 8 件)

- ① 平井敬三、野口享太郎、高橋正通、金子真司、土壌中の移動窒素量からみた樹木による窒素吸収量の評価. 第 120 回森林学会大会、2009 年 3 月、京都大学、京都
- ② 平井敬三、小野賢二、金子智紀、山中高史、金子真司、高橋正通、野口享太郎、スギ緑葉の分解における窒素固定の役割—間伐による林内環境変化の影響—、日本生態学

会 56 回大会、2009 年 3 月、岩手県立大、盛岡

- ③ Hirai, K.、Kaneko, S. and Takahashi, M.、
Estimation of nitrogen mineralization of forest soil by temperature, nitrogen contents and soil type, and its application in Japan、EUROSOIL 2008、2008 年 8 月、Vienna University of Technology、Austria
- ④ Hirai, K.、Yamanaka, T.、Noguchi, K.、Kaneko, S. and Takahashi, M.、
A contribution of asymbiotical nitrogen fixation activity to nitrogen immobilization in decomposing green needles of Japanese cedar at a site of non-commercial thinning、11th North American Forest Soil Conference、2008 年 6 月、Virginia Tech、VA、USA
- ⑤ 平井敬三、森林土壌における現地窒素無機化の発現に関わる要因-対象スケールによる重みの違い-、日本ペドロロジー学会 2008 年度大会、2008 年 4 月、筑波大学、つくば
- ⑥ 平井敬三、小林 元、稲垣善之、森林生態系における窒素動態-セッションの開始にあたって-、第 119 回日本森林学会大会、2008 年 3 月、東京農工大学、府中
- ⑦ 平井敬三、金子真司、高橋正通、森林土壌の窒素無機化ポテンシャルの評価と現地窒素無機化の発現に関わる制限要因、第 118 回日本森林学会大会、2007 年 4 月、九州大学、福岡
- ⑧ 平井敬三、山中高史、野口享太郎、金子真司、高橋正通、北関東低山帯の森林小流域における間伐による窒素動態の変化、第 117 回日本森林学会大会、2006 年 4 月、東京農大、東京

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 真司 (KANeko SHINJI)

独立行政法人森林総合研究所・立地環境研究領域・室長

研究者番号：80353647

(2) 研究分担者

平井 敬三 (HIRAI KEIZO)

独立行政法人森林総合研究所・東北支所・グループ長

研究者番号：80370287

山中 高史 (YAMANAKA TAKASHI)

独立行政法人森林総合研究所・森林微生物研究領域・チーム長

研究者番号：00343799

野口 享太郎 (NOGUCHI KYOTARO)

独立行政法人森林総合研究所・四国支所・主任研究員

研究者番号：70353802

(3) 連携研究者

なし