

筑波共同試験地スギ・ヒノキ人工林における無機態窒素生成

稻垣昌宏・橋本 徹・古澤仁美・稻垣善之・鵜川 信・長倉淳子・金子真司・三浦 覚 (森林総研)

要旨: 窒素飽和の可能性が疑われる関東平野北東端に位置する筑波共同試験地のスギ、ヒノキ人工林の2林分において、土壤中の無機態窒素生成プロセスを明らかにするため、土壤 0-5cm 深と 20-25cm 深の2つの深さで、無機態窒素濃度の測定とレジンコア法を用いた無機態窒素生成速度の測定を行なった。スギ、ヒノキ林土壤における無機態窒素の動態は、両林分とも年間を通じて同じような傾向を示した。深さ 0-5m の表層土壤における硝酸態窒素濃度は、気温の高い8月に際立って高かった。その他の季節では、硝酸態窒素濃度は 0-5cm 深より 20-25cm 深で濃度が高かった。アンモニア態窒素濃度は4月を除けば硝酸態窒素濃度より低かった。レジンコア法によって測定した無機態窒素の生成速度は 0-5cm 深で夏期に卓越しており、20-25cm 深の生成が少なかった。以上の結果より、深さ 0-5cm の表層では植物吸収速度が大きく、夏期以外の硝酸態窒素濃度が低く保たれることが推察された。

キーワード 窒素飽和、硝酸態窒素、アンモニア態窒素、レジンコア法、季節変化

I はじめに

窒素は陸域生態系において重要な養分の一つである。自然状態では、森林の窒素は不足しているものと考えられてきたが、人為起源の窒素化合物によって大幅に搅乱を受けており、一部の地域では窒素の流出が流入を上回る窒素飽和現象が報告されている(1)。これまで、降雨等による生態系内への流入量と、溪流水等による生態系からの流出量の差し引きによって、窒素飽和現象が検討されてきた(1)。しかしながら、森林土壤中でのプロセスを詳細に研究した研究例は、我が国では少ない。欧米と降雨パターンが異なるモンスーン地域では、これまで報告されている窒素流出プロセスと異なる可能性が指摘されており(2)、生成プロセスについても検討が必要である。窒素飽和現象のプロセスを明らかにするために、無機態窒素の形態毎の季節的な分布と生成様式を調べる必要がある。

本研究では窒素飽和現象が疑われる関東平野の辺縁部の流域において、土壤中の無機態窒素(硝酸態窒素及びアンモニア態窒素)濃度の季節変化と、年間の生成量を測定し、同様の試験結果との比較を行った。

II 調査地概要と調査方法

試験は森林総合研究所筑波共同試験地(北緯 36°10'、東経 140°10'、標高約 320-390m)で行なった。同試験地は関東平野北東部の筑波山近郊に有り、試験流域は尾根部近くに位置する。年平均降水量は約 1400mm、気温は 14.1°C である(3)。試験地の母材は黒雲母片麻岩が大部分を占め、局所的に花崗岩の岩脈が見られる。母材及び風化物の上に関東ローム層が堆積している。試験地全

体の平均傾斜は約 25°である。

2007 年 10 月に試験地内の 55 年生スギ林および、40 年生ヒノキ林区にそれぞれプロットを設置した(図-1)。試験地内の土壤型は尾根に近いヒノキ林区で $B_D(d)$ 型、斜面中腹にあるスギ林区で B_D 型である。それぞれのプロットから6地点ずつ、0-5cm と 20-25cm 深から、土壤の採取を行った。冬期以外は約3ヶ月の頻度で 2007 年 10 月末から 2008 年 10 月末までの1年間行なった。

また、レジンコア法(4,5)を用いて、現地温度による窒素無機化速度の測定を行なった。本法は一定期間内に現場に埋設した採土円筒内に生成した無機態窒素の增加分を測定することによって、無機化量を測定する。円筒の上下に、イオン交換樹脂を詰めた円筒を取り付けることによって、上方からの無機態窒素の侵入を防ぎ、下方に流出する無機態窒素を捕捉することが可能となる。本法を用いる利点として、1) 円筒で採取した土壤を現地培養することによって、土壤構造の搅乱による過剰な無機態窒素の生成が抑えられる、2) 上方にイオン交換樹脂の円筒を付けることによって無機イオンが排除され、かつ上方から培養土壤に入る水の量が保証される、といった点が挙げられる。レジンコア法による窒素無機化量の測定も、土壤のサンプリングと同じ頻度で行なった。コアの容量等は、平井ら(5)と同一の条件で行なった。

サンプリング土壤およびレジンコアによる現地培養土壤とも採取日当日に 2N の KCl 溶液を用いて、乾重あたり約 1:10 の割合で無機態窒素を抽出し、ろ紙(ADVANTEC No.6)を用いて濾過した。イオン交換樹脂(IR120B(H)及び IRA410(OH)、オルガノ)は湿重で 4g 程度(円筒に詰めたう

Masahiro INAGAKI, Toru HASHIMOTO, Hitomi FURUSAWA, Yoshiyuki INAGAKI, Shin UGAWA, Junko NAGAKURA, Shinji KANEKO and Satoru MIURA (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687)
Nitrogen mineralization in soils under *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* plantations at the Tsukuba experimental forest.

ちの約 10%)を、1N の KCl 溶液を用いて2度抽出濾過を行ない、抽出液を 250ml メスフラスコを用いてメスアップした。無機態窒素を抽出した KCl 溶液は分析に供するまでの間、凍結保存した。

分析はフローインジェクション装置(TN-30NN および TN-50、ダイヤインスルメンツ)を用いて、アンモニア態窒素と硝酸態窒素をそれぞれインドフェノールブルー法と銅ーカドミウム還元ナフチルエチレンジアミン法で定量した。

III 結果

試験地内の土壤は、春先の一時期を除いて、スギ、ヒノキ両林区とも硝酸態窒素が卓越した(図-2)。深さ 0-5cm の表層土壤における硝酸態窒素濃度は、スギ、ヒノキ両林区とも、10 月から 4 月までは低く、気温の高い8月に表層 0-5cm で際立って高いピークが観察された(平均でスギ林区 33mg kg^{-1} 、ヒノキ林区で 42mg kg^{-1})。2008 年 10 月には再び濃度が低下した。8 月を除けば、特にヒノキ林において硝酸態窒素濃度は 0-5cm 深より 20-25cm 深で濃度が高かった。

1 日当たりの無機態窒素の生成は8月上旬から 10 月末(夏から秋)にかけて最も大きかった(表-2)。表層では、4月末から 7 月末(春から夏)を除き、スギ林区よりヒノキ林区の方が無機態窒素の生成量が大きかった。表層 0-5cm では、スギ林における硝酸態窒素生成を除けば、4 月末から 8 月上旬(春から夏)にかけての無機態窒素生成速度は、10 月末から 4 月末(冬期)よりも小さかった。20-25cm 深では、スギ林における硝酸態窒素生成を除けば、いずれもきわめて小さい値であった。

IV 考察

植物吸収等の無機態窒素消失の経路がない場合、無機態窒素の生成は温度に依存する(6)。一方、土壤中の無機態窒素量は、生成した量から植物が吸収したり微生物による不動化が起こった後の差となる。4月において次表層の方が表層より硝酸態窒素濃度が高い結果は、20-25cm での生成速度がきわめて低かったことから、0-5cm では無機態窒素の生成が起こっているものの植物による旺盛な吸収が推察された。直径成長の季節変化はスギ、ヒノキとも4月から6月にピークがあり、夏期は停止する(7)。また、無機態窒素の吸収に直接の影響を及ぼすと考えられる細根の生産も、スギ林の表層では7月にピークがあり、8月以降生産を落とす(8)。多量に無機態窒素が生成する一方で、植物の吸収が小さいために表層での無機態窒素のピークがおこると考えられた。同様な夏期の硝酸態窒素を主体とする無機態窒素の生成は、既往の研究からも報告されている(7, 9)。一方で、夏期以外の表層

と次表層の濃度の逆転は、既存の報告と異なっている。現地培養による無機態窒素の生成が 20-25cm でほとんどなかったことから、2007 年 10 月の 20-25cm で硝酸態窒素が高かったのは夏期に生成した硝酸態窒素が 20-25cm に移動したものと考えられた。試験地は関東ロームが厚く堆積しており、火山灰の持つ陰イオン吸着能により、硝酸態窒素の移動が他の土壤より遅い可能性がある。

レジンコア法による無機態窒素の生成速度は、気温が低い冬よりも、春から夏にかけての方が小さい結果となった。考えられる要因として、特に表層では無機化の基質となる溶存性の有機物量の違いが挙げられる。リターフォールの供給が少ない春の時点では基質の量がかなり少なかった可能性があり、そのために 2008 年 4 月から 7 月までの生成量が少なかった可能性がある。しかし、同じ手法で測定した既存の結果(5)では、春から夏の無機化速度は、夏から秋と同程度であり、本研究の結果と異なっていた。この結果については、より詳細に検討する必要がある。

本研究では無機態窒素の現存量および生成速度とも、ヒノキ林区の方がスギ林区よりも若干大きかった。既存の結果(7, 9)ではいずれもスギ林の方がヒノキ林よりも無機態窒素の現存量が大きかった。さらにヒノキ林では、本研究の結果と異なり、特に斜面上部においてアンモニア態窒素が無機態窒素現存量の大部分を占めていた。ヒノキ林は、鱗片葉が未分解のまま鉱質土層に多く混入し、さらに斜面上部では A₀ 層が厚く堆積することが多い。ところが、本試験地の表層 0-10cm 土壤の C/N 比は 15.2 であり(未発表)、既存の結果(20.0(7), 21.2(9))と比べてかなり低かった。ヒノキ林区は尾根に近い斜面上部に位置しているにもかかわらず(図-1)、比較的有機物の分解が進んでいたため、硝酸態窒素が優占し、スギ林区よりも無機態窒素量が大きい結果になった可能性がある。

以上の結果をまとめると、深さ 0-5cm の表層では植物吸収速度が大きく、夏期以外の硝酸態窒素濃度が低く保たれること、深さ 20-25cm では、無機態窒素の生成速度、植物の窒素吸収速度が低いことが推察された。同一の手法を用いて窒素無機化速度をスギ林で測定した平井ら(5)の結果と比較すると、スギ林の 0-5cm は斜面中部に比べても低く、彼らの結果では表層 0-5cm の 1 割以上の値であった 20-25cm での生成速度が、スギ林の硝酸態窒素生成をのぞいて本試験地ではほとんどなかった。彼らの調査が行われた茨城県中部にある桂試験地は都心部から 100km 程度離れており、林内雨中の無機態窒素濃度も筑波共同試験地と比べると低い(伊藤ら、私信)。以上の結果から、本試験地の窒素無機化速度が大きい傾向は1年間の調査からは認められなかった。

謝辞

本研究は環境省地球環境保全等試験研究費「大都市圏の森林における窒素飽和による硝酸態窒素流出に関する研究」によってとり行われた。

引用文献

- (1) Aber, J.D., Nadelhoffer, K.J., Steudler, P., Melillo, J.M. (1989) Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. BioScience **39**:378-386.
- (2) 大手信人(2006)森林流域を対象とする溪流水質予想モデルを構築する際に考慮すべき水文過程の影響について 陸水学雑誌 **67**:259-266.
- (3) 大貫靖浩・吉永秀一郎(1995)筑波共同試験地理水流域における土壤の分布とその保水・流出特性にかかる物理的特性 森林総研研報 **369**:189-207.
- (4) 平井敬三・森貞和仁(2007a)レジンコア法を適用した森林土壤における現地窒素無機化の定量 東北森林科学会誌 **12**(1):12-20.
- (5) 平井敬三・野口享太郎・溝口岳男・金子真司・高橋正通(2007b)森林土壤の現地窒素無機化における下層土及び季節別の寄与 森林立地 **49**(1):51-59.
- (6) 相澤州平・吉永秀一郎(2007)現地窒素無機化量測定における土壤試料の搅乱による影響の評価 関東森林研究 **58**:129-130.
- (7) Yamashita, T., Kasuya, N., Nishimura, S., Takeda, H., (2004) Comparison of two coniferous plantations in central Japan with respect to forest productivity, growth phenology and soil nitrogen dynamics. For Ecol Manage **200**:215-226.
- (8) Noguchi, K., Sakata, T., Mizoguchi, T., Takahashi, M., (2005) Estimating the production and mortality of fine roots in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation using a minirhizotron technique. J For Res **10**: 435-441.
- (9) 戸田浩人・鈴木美恵子・生原喜久雄(1996)森林土壤およびA₀層における無機態窒素の季節変化 森林環境資源科学 **34**:33-43.

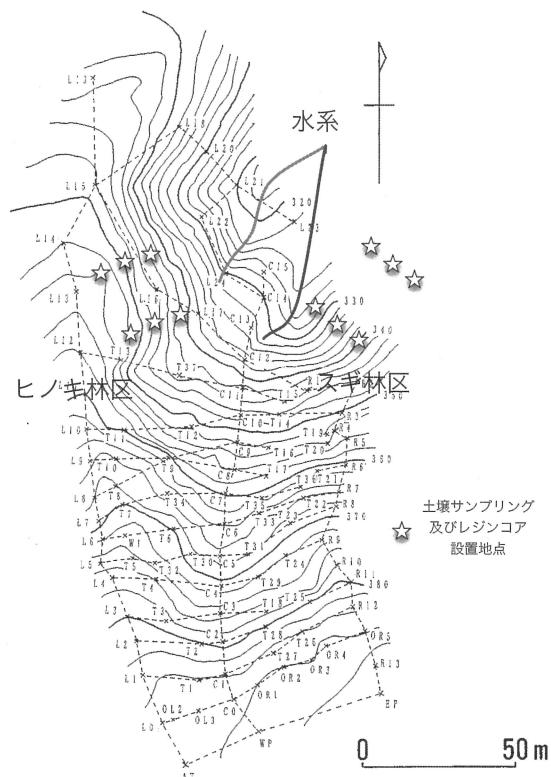


図-1. 試験地の地形図

Fig. -1. Topographical map of the research site

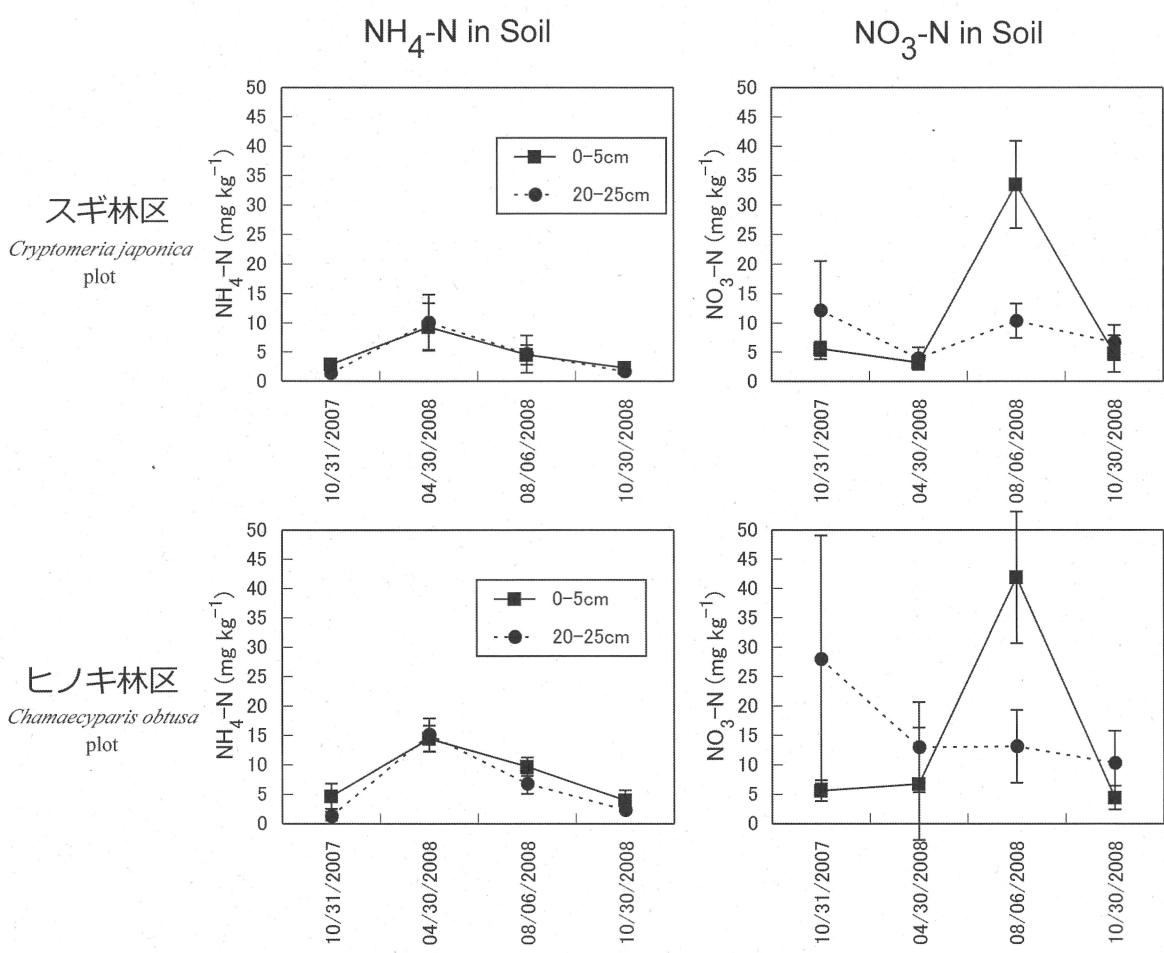


図-2. 2試験区における土壤中のアンモニア態窒素（左）及び硝酸態窒素（右）現存量の季節変化
エラーバーは標準偏差を表す

Fig.-2. Seasonal changes of ammonium-N (left) and nitrate-N (right) in soils under the two plots.
Error bars indicate standard deviation.

表-1. 現地培養期間中の1日当たりの無機態窒素生成速度 ($\text{mgN kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$; n=6)

Table-1. Nitrogen mineralization rate per day by field incubation using the resin core method ($\text{mgN kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$; n=6).

NH ₄ -N production rate	スギ林区 (Cr. japonica Plot)				ヒノキ林区 (Ch. obtusa Plot)			
	0-5cm	S.D.	20-25cm	S.D.	0-5cm	S.D.	20-25cm	S.D.
2007.10.31-2008.4.30	0.035	0.018	0.015	0.010	0.178	0.315	0.018	0.016
2008.4.30-2008.8.6	-0.009	0.046	-0.061	0.048	0.018	0.034	-0.104	0.026
2008.8.6-2008.10.30	0.015	0.035	-0.049	0.032	0.207	0.236	-0.054	0.033
NO ₃ -N production rate	スギ林区 (Cr. japonica Plot)				ヒノキ林区 (Ch. obtusa Plot)			
	0-5cm	S.D.	20-25cm	S.D.	0-5cm	S.D.	20-25cm	S.D.
2007.10.31-2008.4.30	0.146	0.071	0.005	0.032	0.427	0.795	0.029	0.077
2008.4.30-2008.8.6	0.243	0.109	0.063	0.055	0.199	0.173	-0.042	0.048
2008.8.6-2008.10.30	0.531	0.961	0.053	0.110	1.370	1.561	-0.011	0.073