

## 間伐及び地形による光環境の変化が土壌の窒素無機化に及ぼす影響

Effects of light environmental change by thinning and topography  
on characteristics of soil nitrogen mineralization.

牧すみれ\*1・戸田浩人\*1・崔東壽\*1・内山佳美\*2

Sumire MAKI\*1, Hiroto TODA\*1, Dong-su Choi\*1, Yoshimi UCHIYAMA\*2

\*1 東京農工大学大学院農学府

Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*2 神奈川県自然環境保全センター

Kanagawa Prefecture Natural Environment Conservation Center

**要旨：**水源林での強度間伐による環境変化が土壌の窒素動態に与える影響要因を把握しておくことは、渓流水質保全において重要である。本研究では、群状伐採などを実施した水源林流域において、伐採や斜面方位による光環境の変化が月ごとの窒素無機化量に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。相模川水系相模川上流部に位置する貝沢試験地の小流域内に、群状伐採区、定性間伐区を設定し、窒素無機化量、無機態窒素移動量、土壌のC/Nおよび全窒素(TN)、下草バイオマス窒素量、地温(10cm深)、地形湿潤指数(TWI)、日射指数(SRI)、開空度を調査した。その結果、月ごとに見るとSRI×開空度の増大に伴い地温が高くなる傾向があり、地温の上昇に伴い窒素無機化量が指数関数的に増加した。さらに、その増加量は群状伐採区で定性間伐区よりも多くなる傾向が見られ、特に群状伐採区の南向き斜面で大きくなる傾向が見られた。これは、平均地温やTNの大小では説明できず、SRI×開空度の増加による地温の期間平均日較差の増加が南向き斜面の群状伐採区で大きく、それに伴って純NH<sub>4</sub>-N生成量が増大したことが原因であると考えられた。

**キーワード：**斜面方位、群状伐採、間伐、季節変化

**Abstract:** To understand the effect of environmental change by forest management on soil nitrogen dynamics in water conservation forest is important to protect of stream water quality. The purpose of this study was to clarify the effects of light environmental change by cutting and slope aspect on monthly soil nitrogen mineralization rates in water conservation forest. We established group cutting plots (G) and thinning plots (T) in the watershed of Kaisawa located in upper stream of Sagami River and investigated nitrogen mineralization, amount of moving inorganic nitrogen, C/N of soil, total nitrogen (TN), weed nitrogen, soil temperature (10cm), topographic wetness index (TWI), solar radiation index (SRI) and openness. The soil, temperature trend to increase with increasing SRI×openness per month. Also, as the soil temperature increased, the amount of nitrogen mineralization increased exponentially. In addition, the increase was larger in G plots than T plots, especially, in the southfacing slope. This phenomenon was not explained in soil temperature and TN. However, net NH<sub>4</sub>-N production were increased with the increases in mean diurnal range of temperature due to the increase in SRI×openness which were in G plots, especially on the southfacing slope.

**Key-word:** slope aspect, group cutting, thinning, seasonal variation

## I はじめに

水源林では、水質形成機能や水源涵養機能などの機能を向上させるために、複層林化・針広混交林化が推進されており(7)、定性間伐などの通常の施業の他に、群状伐採や列状間伐等による強度間伐など、従来とは異なる施業も行われている。これらの強度間伐が土壌の窒素動態に与える影響を把握しておくことは、渓流水保全の観点

からも重要である。

冷温帯の針葉樹人工林の研究において、現地培養における年間窒素無機化量は、北向き斜面の方が南向き斜面よりも多かったということが報告されている(4)。一方で、2残2伐の強度列状間伐を行った針葉樹人工林の研究において、室内培養における窒素無機化量は斜面方位及び伐採の有無での違いは見られなかったという報告もある

(3)。このように、斜面方位における窒素動態の違いについての研究はいくつか行われているが、まだ明らかにはなっていない。また、強度間伐と斜面方位の両者の影響を同時に評価している研究はほとんどない。

土壌の窒素の無機化は、地温の影響を受ける。森林土壌では、地形や施業による光環境の変化によって地温が変化し、それらが土壌化学性と相まって窒素動態に影響を与えていると考えられる。このような要因間の関係性が明らかになれば、例えば、地形などの環境要因を調査するだけで窒素動態を予測できるようになる。このような知見は、流域単位など広域での予測可能性につながり、森林施業による渓流水への影響の評価に役立つといえる。

本研究では、群状伐採などを実施した水源林流域において、伐採や斜面方位による光環境の変化が月ごとの窒素無機化量に及ぼす影響の解明を目的とした。

## II 方法

1. 調査地 神奈川県相模原市緑区与瀬にあり、相模湖の北面(相模川水系相模川上流部)に位置する貝沢試験地である。本調査地は「かながわ水源の森林づくり」事業の「水源の森林」となっている。植生は、スギ・ヒノキの針葉樹人工林が流域面積の約9割を占めている。

貝沢試験地内の小流域は、対照流域法試験地として設定されている。そのうち流域①では、2013年度に群状伐採(20m×20m)及び定性間伐(本数間伐率 16.7%)を実施し、翌年の5月に群状伐採地にはスギを植林するとともに、防鹿柵で囲っている(図-1)。図中の四角で示した箇所群状伐採を行い、その他の人工林では流域全体で定性間伐を行っている。

本研究では斜面方位を考慮し、群状伐採区(G区)4箇所(NWg, SSWg, SSEg, SEg)と定性間伐区(T区)6箇所(N, SSW, SW, S, SE1, SE2)の調査区を設けた。

### 2. 調査項目

#### (1) 窒素の無機化と移動量

表層土壌(0~10cm)の窒素無機化量をバリードバッグ法(9)で、2015年8月~2016年7月の間、約1ヶ月毎(ただし、11月~3月の冬季は5ヶ月)に現地培養を行った。また、10cm深の無機態窒素移動量をイオン交換樹脂バッグ法(2)で、2015年6月~10月、2015年11月~2016年7月の間測定し、NH<sub>4</sub>-Nをインドフェノール青法、NO<sub>3</sub>-Nをフェニールジスルフェン酸法で求めた。

#### (2) 土壌および下草の全窒素量

表層土壌(0~10cm)を2015年10月に採取し、風乾後1mmで篩別し分析に供した。群状伐採区の下草バイオマスを、0.5m×0.5mの方形区から採取して求め、風

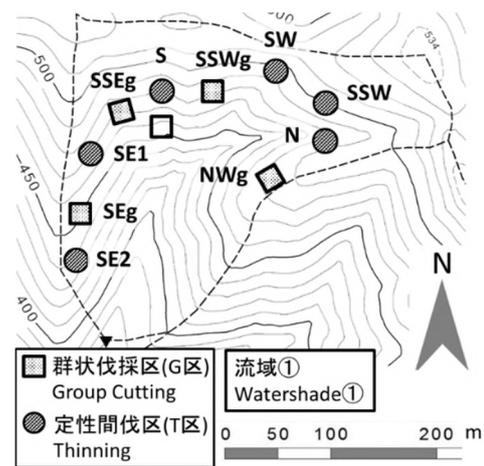


図-1. 調査区概況

Fig. 1 Location of the study plots

乾後の試料を分析に供した。ここで下草とは、草本と植栽木以外の木本である。これらの試料のC/NとTNをCNコーダー(MT-700, ヤナコ, 東京, 日本)で求めた。なお、(1)と(2)は調査区ごとに3回繰り返して行った。

#### (3) 地形および光環境

地形湿潤指数(TWI)を1mメッシュのDEMからGISを用いて算出した。TWIは地形による水の集まり易さを示す(1)が、有機物の集積や土壌肥沃度の指標にもなる(10)。光環境は、日射指数(SRI)と樹冠開空度の2つの指標を用いた。SRIは、裸地における日射量の指標であり(8)、斜面方位角、傾斜角、緯度経度から求められる太陽入射角のコサイン値を15分間隔で算出し積算した(6)。樹冠開空度は、全天写真(カメラ: Nikon D5100, 魚眼レンズ SIGMA 4.5mm F2.8 EX DC CIRCLAR FISHEYE)から解析ソフト(CanopOn2)を用いて求めた。本研究では、光環境の指標としてSRI×開空度を解析に用いた。

#### (4) 地温

HOBO ペンダント温度データロガー(米国オンセット社製, UA-001-64)を10cm深に埋没し、1時間ごとに測定した。測定期間は、2015年6月~2016年8月である。各調査区で1箇所ずつ行った。

## III 結果と考察

月ごとで見ると、どの月もSRI×開空度が大きくなると期間平均地温が大きくなる傾向が見られた(表-1)。さらに、期間平均地温に対して、窒素無機化量は指数関数的に増加した(図-2)。

同じ平均地温でも、窒素無機化量はG区>T区となる傾向が見られ、特にSSWg, SSEg, SEgといった南向

き斜面の高い地温で多くなる傾向があった。また、T区の中ではSSWの窒素無機化量が常に多かった(図-2)。

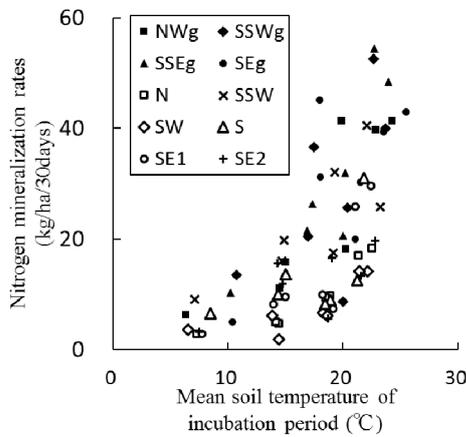


図-2. 調査区別の期間平均地温と窒素無機化量  
Fig.2 Mean soil temperature of incubation period and nitrogen mineralization rates of each site

C/Nが同程度であれば窒素無機化量はTNに比例する(5)と言われている。本研究の調査区間では、C/Nの値は14.3~17.0程度と大きくは変わらないことから(表-2)、窒素無機化量の多い順にTNが多いと予想された。しかし、T区の中で多いSSWのTNが6.63 t/haと最も多かったのに対し、SSWよりも窒素無機化量の多かったG区のSSWg, SSEg, SEgのTNは2.4~3.2 t/haと、SSWの半分以下の値であった。G区では下草が繁茂しているものの、下草バイオマスNは0.05~0.12 t/haと

少なかった。また、無機態窒素移動量はG区で0.26~1.03 kg/ha/30days, T区で0.31~1.05 kg/ha/30daysと差が見られなかった。したがって、下草と移動した窒素量を合わせて比較しても、SSWg, SSEg, SEgの窒素量がSSWを上回することはなかった。また、TNとTWIの間には正の相関があり( $r=0.737, p<0.05$ ), TWIが6.4~6.5付近でTNが2.3~3.5 t/ha程度を示しており、地形条件から見ても、SSWg, SSEg, SEgのTNは特別外れた値ではないといえる。これらのことから、同じ地温でもG区の特に南向き斜面でT区よりも窒素無機化量が多い理由は、TNでは説明できない。

G区はT区よりも樹冠開空度が大きいいためSRI×開空度が大きく、それに伴って地温の期間平均日較差も大きくなっており(全ての月で $r>0.8, p<0.005$ ),特にSSWg, SSEg, SEgで顕著であった(図-3)。また、月ごとで見ると、地温の期間平均日較差が大きくなると、純NH<sub>4</sub>-N生成量も多くなる傾向が見られ、4, 6, 9, 10月では有意な相関であった(4, 9, 10月: $r>0.800, p<0.005$ , 6月: $r>0.776, p<0.05$ )(図-4)。しかし、冬季では日較差は大きかったが、純NH<sub>4</sub>-N生成量はほとんどなく、プロット間の違いもなかった。これは、冬季では地温が低く、生成量も低かったためと考えられる。また、期間平均硝化率はG区で83~100%, T区で99~109%であり、SSWg, SSEg, SEgで低くなる傾向があった。つまり、G区の特に南向き斜面のSSWg, SSEg, SEgは他の調査区と比べて地温の期間平均日較差が大きく、硝化速度

表-1. 月ごとのSRI×開空度と期間平均地温の相関関係

Table.1 Correlation of SRI×openness and mean soil temperature of incubation period per month

	Apr.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov. - Mar.
期間平均地温	0.960***	0.957***	0.928***	0.851***	0.878***	0.947***	0.922***

\*\*\*  $p<0.005$

表-2. 各調査区の方角角, 様々な形態の窒素量, TWI, C/N  
Table.2 Azimuth, various form nitrogen, TWI and C/N of each site

Plot name	azimuth angle (°)	C/N	TN (t/ha)	TWI	Mean nitrification rate (%)	Amount of weed nitrogen (t/ha)	Amount of moving inorganic nitrogen (kg/ha/30days)	
Group cutting	NWg	319	16.0 ± 0.4	6.2 ± 0.1	6.93	100 ± 6	0.05 ± 0.01	0.61 ± 0.12
	SSWg	191	14.7 ± 0.8	3.2 ± 0.0	6.52	97 ± 14	0.11 ± 0.05	1.03 ± 0.03
	SEg	154	17.0 ± 0.3	2.5 ± 0.2	6.47	91 ± 9	0.07 ± 0.01	0.26 ± 0.04
	SSEg	134	14.3 ± 1.6	2.4 ± 0.2	6.41	83 ± 12	0.12 ± 0.03	0.41 ± 0.08
Thinning	N	354	14.3 ± 0.0	3.9 ± 0.1	6.98	101 ± 9	-	0.44 ± 0.20
	SSW	201	16.3 ± 1.1	6.6 ± 0.2	6.85	102 ± 9	-	0.66 ± 0.24
	SW	216	15.1 ± 1.0	2.6 ± 0.2	6.70	109 ± 10	-	0.93 ± 0.03
	S	168	16.2 ± 1.7	3.6 ± 0.1	6.50	106 ± 6	-	1.05 ± 0.05
	SE1	121	15.7 ± 1.2	2.3 ± 0.1	6.40	105 ± 7	-	0.31 ± 0.01
	SE2	134	16.3 ± 2.8	3.6 ± 0.2	6.51	100 ± 20	-	0.43 ± 0.36

を上回る  $\text{NH}_4\text{-N}$  生成速度が生じているという特徴が得られた。この著しい  $\text{NH}_4\text{-N}$  生成速度の増大が、同程度の地温でも窒素無機化量が G 区(特に SSWg, SSEg, SEg) > T 区となる理由であると考えられる。

このような  $\text{NH}_4\text{-N}$  生成速度の増大は、南向き斜面の温度環境の激しさ(地温の日較差が大)により微生物の代謝回転速度が速まったため生じた可能性がある。また、日射が良好で、ごく表層で乾燥が起きやすかったことによる乾土効果や、下草による易分解性有機物の供給量の増大などの可能性も考えられる。しかしながら、本研究のような現場における現象のモニタリングの範囲では、より詳しい反応機構の解明に至らず、今後、さらなる検討の必要がある。

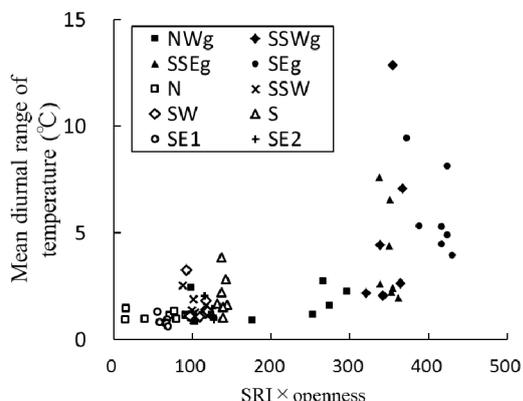


図-3. 調査区別の SRI×開空度と期間平均日較差  
Fig.3 SRI×openness and mean diurnal range of temperature of each site

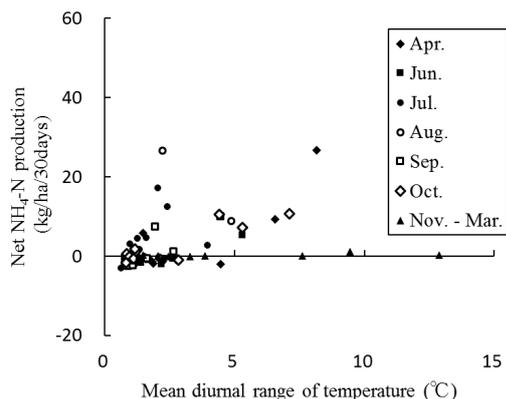


図-4. 月ごとの期間平均日較差と純  $\text{NH}_4\text{-N}$  生成量  
Fig.4 Mean diurnal range of temperature and net ammonium production per month

#### IV まとめ

SRI×開空度(光環境の指標)が大きくなると、月ごとの期間平均地温が上昇し、窒素無機化量が増大するため、群状伐採地(G 区)の特に南向き斜面(SSWg, SSEg, SEg)

で、定性間伐地(T 区)よりも窒素無機化量が大きくなるという関係性がわかった。

しかし、同じ平均地温でも、G 区の特に南向き斜面の窒素無機化量が他の区よりも大きく、その理由は土壌の C/N や TN, TWI などでも説明できなかった。これらの区の特徴として、地温の日較差が大きく、純  $\text{NH}_4\text{-N}$  生成量が大きいことが挙げられる。今後その反応機構の解明のために群状伐採による環境変化が微生物の代謝回転速度を増大させる要因を検証していく必要がある。

#### 引用文献

- (1) BEVEN, K., WOOD, E.F. (1983) Catchment Geomorphology and the Dynamics of Runoff Contributing Areas. *J. Hydrol.* 65 : 139-158.
- (2) 生原喜久雄・相場芳憲・川島裕 (1990) イオン交換樹脂による森林土壌浸透水の移動イオン量の測定. *日生態会誌* 40 : 19-25
- (3) 廣部宗・糸原まりな・近藤順治・音田高志・赤路康朗・牧本卓史・坂本圭児 (2013) 列状間伐 4 年後のヒノキ人工林における下層木本群落構造と立地環境—斜面方位による比較—. *森林応用研究* 22(3) : 7-14.
- (4) HISHI, T., URAKAWA, R., TASHIRO, N., MAEDA, Y., SHIBATA, H. (2014) Seasonality of factors controlling N mineralization rates among slope positions and aspects in cool-temperate deciduous natural forests and larch plantations. *Biol Fertil Soils* 50: 343-356
- (5) 河原輝彦 (1970) 森林土壌中の無機態チッ素量に関する研究(II): チッ素の無機化量と全チッ素量, C/N および炭素の無機化量との関係. *日林誌* 52(3) : 71-79
- (6) MITSUDA, Y., ITO, S., SAKAMOTO, S (2007) Predicting the site index of sugi plantations from GIS-derived environmental factors in Miyazaki Prefecture. *J For Res* 12 : 177-186
- (7) 林野庁 (2014) 森林・林業白書.
- (8) SMITH, J, A., LIN, T, L., RANSON, K, J. (1980) The Lambertian Assumption and Landsat Data. *Photogramm Eng Remote S* 46 : 1183-1189.
- (9) 高橋輝昌 (1999) 窒素の無機化. 森林立地調査法編集委員会. 森林立地調査法 : 201-204. 博友社.
- (10) ZUSHI, K. (2003) Topographic Variation of Soil Nitrogen Mineralization and Microbial Biomass in Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) Stands at Myogodani Watershed, Toyama, Japan. *Soil Sci. Plant Nutr* 49 : 843-851