

森林の伐採が土壤に与える影響

平山良治*・有光一登**・大角泰夫**

HIRAYAMA, Ryoji*, Kazuto ARIMITSU** and Yasuo OHSUMI**:
The Influence of Clearcutting through Forest Soil

知床の天然林伐採, 秋田県白神ブナ林伐採や尾瀬, 南アルプスのスーパー林道など, 自然破壊に対する保護の要求が大きな社会問題となっている。人間がこれら自然に対して働きかけた場合, その影響は多々あるであろう。しかしながら, これら諸々の影響を調べ出すことは非常に困難である。動物植物など生態的に少しずつ研究が進められてきている。

森林を伐採した場合の土壤に与える影響についての研究は, 堤 (1964), 山谷 (1965), 有光 (1982a, b), 小林 (1982), などあまり多くはない。これらの研究は, 伐採後一定期間毎の土壤の物理化学的分析値で調査することが多かった。

有光 (1982b) は天然林下の土壤の動的状態を把握するために, 土壤中を移動する自由水の動態と, 溶存成分の変動について調査した。

本研究の目的は, 有光の方法を用いて, 伐採後の物質の移動と一定期間後の土壤の変化について, 亜高山針葉樹林での動態を調べることである。

調査地点と土壤概要

調査は, 奥秩父山塊国師岳北斜面, 標高 2,000 m の地点で行なった。植生は, 前田・宮川 (1970) の林床植生区分でコケ型に属するアオモリトドマツ-コメツガ天然林である。1971年に尾根筋から谷方向へ帯状に伐採された。試験地は斜面中腹で, 保残帯と伐採帯の相隣接する場所を設定した。

この地点の土壤は林野土壤分類の P_DI 型である。土壤断面形態を以下に示す。

L: 層厚 2 cm

F: 層厚 6 cm

H: 層厚 2 cm

A₂ (溶脱層): 層厚 3 cm, 7.5 YR 7/2, SL, 粒状構造, 腐植乏し, 小礫に富む, 軟, 小根有り, 下層との境は明瞭。

B₁ (腐植集積層): 層厚 2 cm, 10 YR 2/2, SL, 粒状構造, 腐植に富む, 小礫に富む, 軟, 小根富む, 下層との境は明瞭。

B₂ (鉄集積層): 層厚 8 cm, 7.5 YR 3/3, SL, 粒状構造, 腐植含む, 小大礫に富む, やや堅, 小根富む, 下層との境は明瞭。

* 国立科学博物館 筑波実験植物園, Tsukuba Botanical Garden, National Science Museum, Ibaraki 305.

** 農林水産省 林業試験場, 〒305 茨城県稲敷郡茎崎町, Forestry and Forest Products Research Institute, Kukizaki-cho, Inashiki-gun, Ibaraki 305.

B₃: 層厚 15 cm, 7.5 YR 4/4, SL, 亜角塊状構造, 腐植乏し, 小大礫に頗る富む。

実 験

実験は土壌水の動態と溶存成分の分析と一定期間後の土壌の理化学分析を行った。

1) 土壌水の動態についての実験

実験方法は著者の一人である有光 (1982b) の考案したテンションフリーライシメータを使用した。保残帯と伐採帯の各試験地の A₀ 層と B₂ 層下部にこのライシメータを各2連で埋設した。ライシメータにより捕集された土壌水は月始めに量を測定し, 以下の項目について分析を行った。

水溶性有機炭素 (C) … 0.1 N-NaOH でアルカリにした後, 湯浴上で蒸発乾固させ, 硫酸希釈熱法により測定した。窒素 (N) … コンウェイの微量拡散法により, NH₄⁻, NO₃⁻ を測定し, 有機態 (org-N) は, プレムナー法により無機態を放出させたのち, 濃硫酸で分解し常法によった。カルシウム (Ca) ・ マグネシウム (Mg) … 原子吸光分光分析法によった。鉄 (Fe) ・ アルミニウム (Al) … 王水分解後, Fe は O-フェナンスロリン比色法, Al は原子吸光分光分析法によった。

結 果 (1)

土壌水の採水は1972年7月から1974年11月迄の毎月月始めに行った。土壌凍結のため前年の12月から翌年の5月までは採水できなかった。

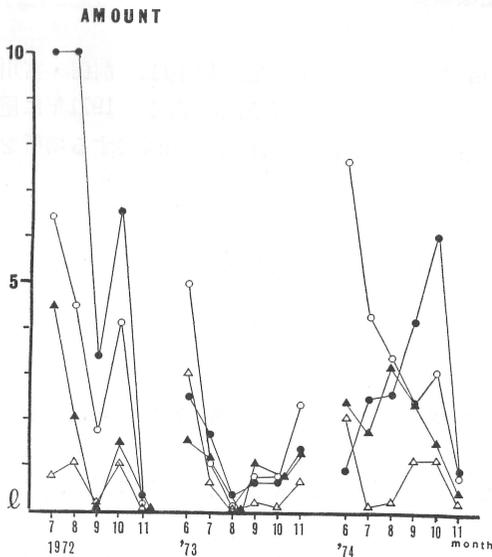


Fig. 1. Monthly fluctuation of amount of soil water.

- (○) Ao horizon of stand.
- (△) B horizon of stand.
- (●) Ao horizon of clearcutting.
- (▲) B horizon of clearcutting.

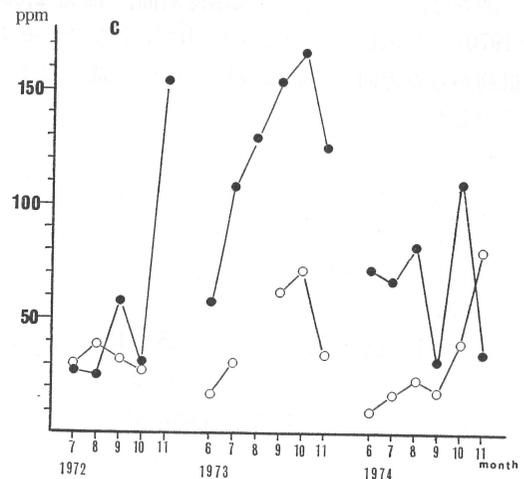


Fig. 2. Monthly fluctuation of organic carbon concentration of soil water.

- (○) Ao horizon of stand.
- (●) Ao horizon of clearcutting.

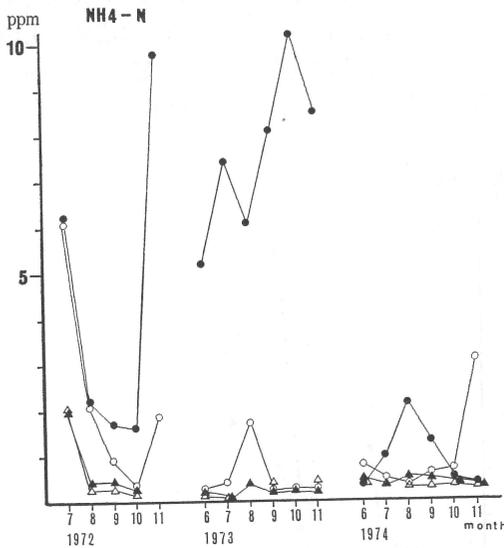


Fig. 3. Monthly fluctuation of ammonium nitrogen concentration of soil water.

- (○) Ao horizon of stand.
- (△) B horizon of stand.
- (●) Ao horizon of clearcutting.
- (▲) B horizon of clearcutting.

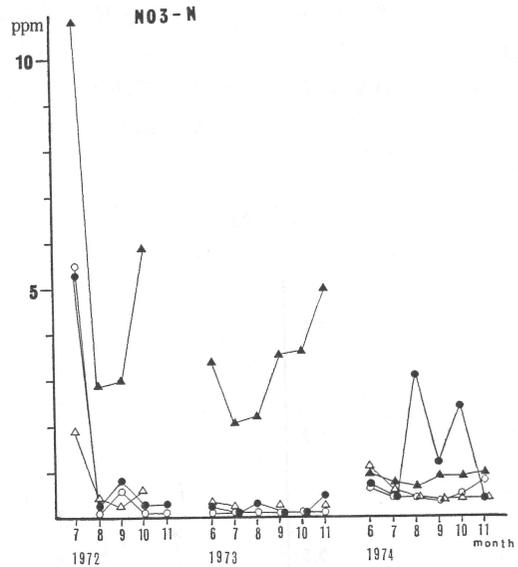


Fig. 4. Monthly fluctuation of nitrate nitrogen concentration of soil water.

- (○) Ao horizon of stand.
- (△) B horizon of stand.
- (●) Ao horizon of clearcutting.
- (▲) B horizon of clearcutting.

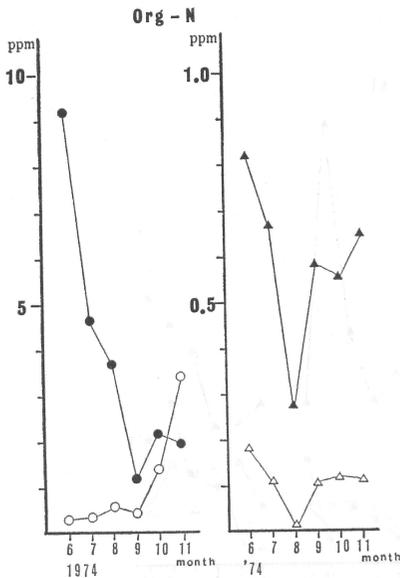


Fig. 5. Monthly fluctuation of organic nitrogen concentration of soil water.

- (○) Ao horizon of stand.
- (△) B horizon of stand.
- (●) Ao horizon of clearcutting.
- (▲) B horizon of clearcutting.

ライシメータによる土壤水の捕集量はFig. 1に示した。1年目は、伐採帯の方が保残帯よりA₀層、B層共に土壤水量は多かった。2年目以降は水量はほぼ同量であった。

水溶性有機炭素はFig. 2に示した。1年目は保残帯と伐採帯の濃度差はないが、2年目、3年目には、伐採帯の濃度が保残帯の濃度を大きく上回った。伐採帯の濃度変動幅は25~160 ppmで、保残帯の濃度10~80 ppmよりも変動幅が大きかった。

アンモニア態窒素はFig. 3に示した。1年目、2年目と伐採帯のA₀層で、保残帯のA₀層よりも高い濃度を示した。3年目は伐採帯がA₀層、B層共に保残帯よりもやや高い濃度であった。

硝酸態窒素はFig. 4に示した。アンモニア態と異なり、1年目、2年目共に伐採帯のB層が非常に高い濃度を示した。3年目は伐採帯のA₀層が保残帯のA₀層よりもやや高い濃度であった。他はほぼ同程度の濃度であった。

有機態窒素は Fig. 5 に示した。有機態窒素は3年目だけ分析を行った。A₀層では、伐採帯が春先一番高い濃度を示し、除々に濃度が下がるのに対し、保残帯は秋にかけて除々に濃度が上がっている。B層では、共に低濃度であるが、伐採帯の方が常に高濃度を示した。保残帯、伐採帯共に春に高濃度を示し8月に最低濃度を示し、9月、10月に濃度が上がる傾向を示した。

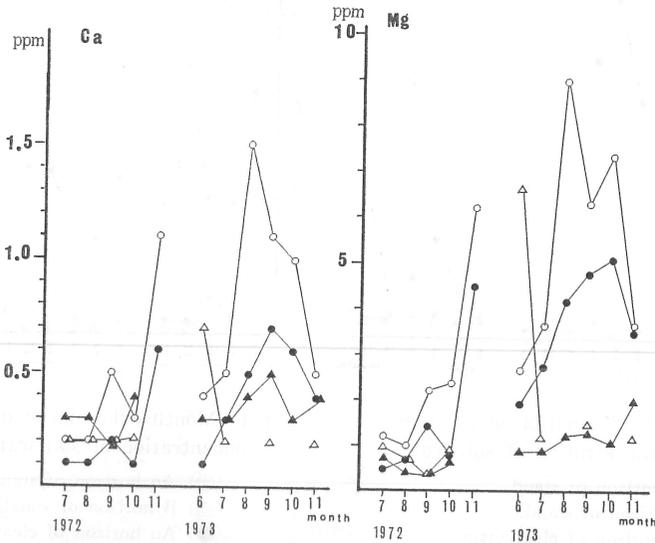


Fig. 6. Monthly fluctuation of calcium (Ca) and magnesium (Mg) concentration of soil water.

(○) Ao horizon of stand. (●) Ao horizon of clearcutting.
(△) B horizon of stand. (▲) B horizon of clearcutting.

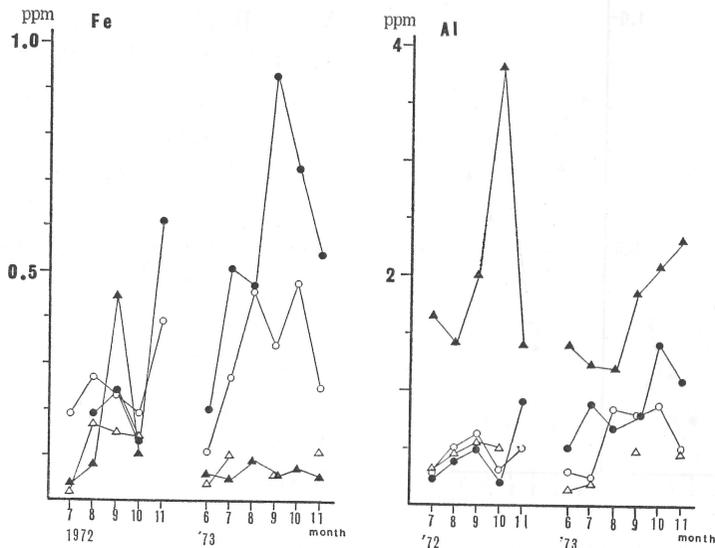


Fig. 7. Monthly fluctuation of iron (Fe) and aluminium (Al) concentration of soil water.

(○) Ao horizon of stand. (●) Ao horizon of clearcutting.
(△) B horizon of stand. (▲) B horizon of clearcutting.

マグネシウム・カルシウムは Fig. 6 に示した。保残帯の A₀ 層がマグネシウム・カルシウム共に高い濃度を示した。カルシウムで伐採帯の A₀ 層が 2 年目、保残帯、伐採帯の B 層よりも高い濃度を示した。

鉄・アルミニウムは Fig. 7 に示した。鉄は 1 年目は各帯、各層位での濃度差はあまりなかったが、2 年目伐採帯の A₀ 層で最高濃度を示し、保残帯の A₀ 層も濃度が高かった。アルミニウムは 1 年目から伐採帯の B 層が高濃度を示し、2 年目も同様な結果であった。保残帯、伐採帯の A₀ 層での濃度差は認められなかった。

2) 伐採一定期間後の土壤変化についての実験

伐採後、5 年目の秋に伐採帯試験地の土壤調査を行い、ライシメータ設置時に行った土壤と比較をした。

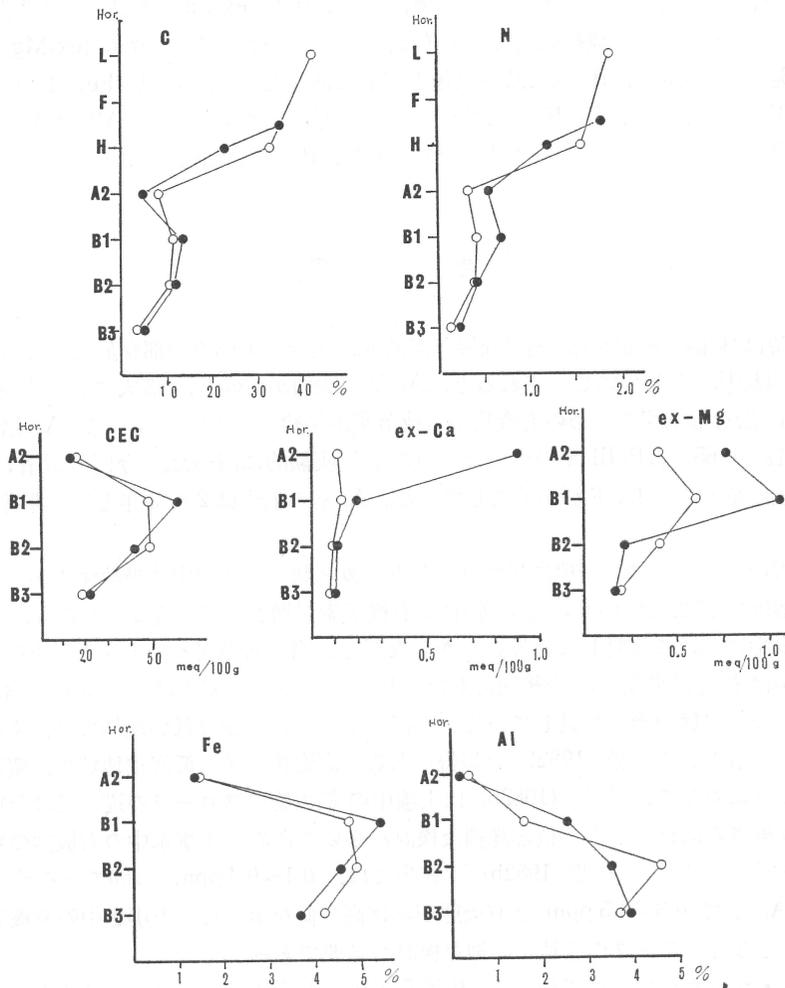


Fig. 8. The changes of chemical properties of podzolic soil after clearcutting.

(○) immediately clearcutting. (●) 5 years after clearcutting.

土壌断面調査…林野土壌調査法に準拠して行った。

土壌の理化学性の分析

有機炭素 (C)、窒素 (N) は N-C コーダ (住友化学)、陽イオン交換容量 (CEC) はショーレンベルガー法、交換性カルシウム (ex-Ca) と交換性マグネシウム (ex-Mg) は原子吸光分光分析法、遊離の鉄 (Fe) と遊離のアルミニウム (Al) は TAMM 抽出後、原子吸光分光分析法によった。

結果 (2)

土壌断面形態では、L、F層が消失した。A₂層が白色味を、B₁層が黒色味を増していた。他の層位は伐採直後とほとんど変化を認められなかった。

土壌の理化学性の比較データは Fig. 8 に示した。五年目のデータを以下に述べる。

有機炭素 (C) はH層とA₂層で減少し、B₁、B₂、B₃層で多少増加した。窒素 (N) はH層で減少したが、A₂、B₁、B₂、B₃層で増加した。陽イオン交換容量 (CEC) はB₁層で多少増加したが他の層位は差が認められなかった。交換性カルシウム (ex-Ca) はA₂層で非常に高くなり、B₁、B₂、B₃層と減少したが伐採直後よりも値は高い。交換性マグネシウム (ex-Mg) は、A₂、B₁層で高くB₂層で減少し、B₃層で伐採直後と同じであった。遊離の鉄 (Fe) はA₂層でわずかに減少し、B₁層で増加し、B₂、B₃層で減少した。遊離のアルミニウム (Al) は鉄と同様にA₂層で減少し、B₁層で増加した。さらにB₂層で減少し、B₃層では逆に増加した。

考 察

森林存在時は林床の表面は常に適当な湿気があり、土壌の生態の一部を形成していた。森林が伐採され、直接林床が外気にさらされると、A₀層は表面が乾燥し、構成する有機物の分解が進み、かつA₀層を形成するための有機物の落枝落葉が供給されない。よってA₀層は分解のみが進む。山谷 (1965) はP_DIII型の土壌でこのことを実験的に調べた。今回の調査においても、5年後の土壌断面から、L、F層が消失していた。A₀層の消失は2~3年という非常に短い期間であった。

堆積腐植層の分解産物は、一般に炭酸ガスなど、ガス状となり空中に飛散するか、水溶性のものは雨水に溶けて流亡していく。土壌水中の有機炭素が増加していることから、分解産物は相当量土壌水中に溶けて移動している。しかしながら、腐植層の何パーセントが土壌水中の有機炭素となるかは推定出来ない。今後検討しなければならない。窒素は、タンパク態などが分解されて、アンモニア態の形で移動しているようだ。しかし、海拔の低い地域では、窒素は硝酸態の形で動いているという有光 (1982b) の報告がある。高海拔地域と低海拔地域で、窒素の移動形態が異なることに対して、有光 (1982b) は土壌中の微生物のフローラの違いではないかと推定している。今後さらにデータの蓄積と詳細な検討が必要である。土壌水中の有機態の窒素に関するデータは非常に少ない。有光 (1982b) の報告では、0.1~0.4 ppm の間であるが、本調査では保残帯のA₀層で0.3~3.5 ppm と有機態窒素は高い値を示した。土壌水中の有機態窒素に関しては、もっと多くのデータの蓄積と詳細な検討が必要である。

カルシウム・マグネシウムに関しては、伐採5年後の土壌のA₀層で、交換性カルシウムと交換性マグネシウムは伐採直後の約2倍以上の値を示した。しかし、土壌水中のカルシウム・マグネシウムの濃度は高い値を示さず、逆に減少していた。一般的には、アルカリ金属はモビリ

ティが高いために、土壌断面垂直方向に移動していくと考えられている (Buol *et al.* 1977, 山谷 1965)。しかし、アルカリ金属類は土壌水中に溶出してこない程度かまたはもっと異なるメカニズムで動いているのであろう。

ポドゾル化作用は、一般的にはフルボ酸などの易溶性物質が、洗滌型の水分状態で、土層中の無機物 (R_2O_3) と反応し、無機物が下層へ移動し沈澱する現象である。Ponomareva (1969) によれば、鉄のフルボ酸への溶解性はアルミニウムより大きい。よって鉄はアルミニウムより移動しやすいと考えられる。鉄は土壌水のデータから見ると、伐採帯の A_0 層で動いているが、 B 層ではほとんど動いていない。アルミニウムは土壌水では、 A_0 層での動きはないが B 層で動いていた。伐採 5 年後の土壌断面では、前述のように鉄は A_2 層でわずかに減少し、 B_1 層で 1% 増加し、 B_2 , B_3 層で減少した。一方アルミニウムは A_2 層でわずかに減少し、 B_1 層で 1% 程度増加し、 B_2 層で 1% 減少し B_3 層で数%増加した。土壌水中の溶存成分の変化と土壌中の 5 年間の変化を考え合わせると、鉄とアルミニウムは A_0 層が分解して出来たフルボ酸などにより、 A_0 層、 A_2 層からわずかずつ溶出され、 B_1 層で沈澱し、アルミニウムはさらに B_1 , B_2 層より溶出され、 B_3 層さらに下層へと移動し沈澱した。以上のように推定出来る。

捕集水量は伐採帯、保残帯の差があまりない。小林 (1982) は土壌によっては土壌孔隙に他からの土壌粒子が移動し詰まってくる場合があると報告している。調査地点の砂質の土壌では、この現象は確認出来なかった。しかしながら、土壌構造自体の破壊につながるので今後、微細形態学的手法を取り入れるなどして研究を進めなければならない。

伐採による影響の広がりには、Likens *et al.* (1970) や有光 (1982b) によって、伐採後流域河川水の溶存成分濃度の高まりがあることによって、相当の広さであることが確認されている。伐採後の自然の回復が早いほど他への影響は少ない。地域により自然の回復期間は異なるようだが、自然が回復したかどうかの判定は非常に困難である。小林 (1982) は地形の面から、地形面が急峻なほど回復が遅いと報告している。地表面への草生の進入の難易が回復の差となっているようだ。伐採後 5 年目の地表面への草生の進入は確認出来なかった。しかしながら、3 年目の土壌水溶存成分の濃度にあまり極端な差がなかったため、腐植等の易分解性のものはなくなったと考えられ、土壌は一応安定した状態になったと言える。ポドゾル土壌の生成つまり A_2 (漂白) 層が確認出来るようになるためには、1,000~1,500 年と言われている (Волобуев 1972)。本実験では、4 年間で土壌中の成分含有量に変化していた。伐採 5 年後の土壌中の鉄・アルミニウムの含有量の変化は、十分にポドゾル土壌の断面形態と認められるものであった。土壌中に大きな変化を残して、外面上は伐採後数年から数十年で見かけ上自然は回復したように見える。いかに森林の伐採が自然の生態に対して強い影響を与えているかということである。我々の自然に対する理解は十分ではない。特に亜高山などの自然環境の厳しい地域に対しては、まだまだ十分であるとは言えない。今後多くの調査研究がなされることを望む。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、国立科学博物館筑波実験植物園黒川追園長、同矢野義治主幹に貴重な御助言をいただいた。記して謝意を表す。

Summary

They were studied that the influence in podzolic soil by clearcutting of subalpine coniferous forest at Mt. Kobushi, Nagano Prefecture. It was that the monthly fluctuations of element concentration of soil water (amount, org-C, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, org-N, Ca, Mg, Fe and Al) at area of clearcutting treatment compared with those of remaining stand, and that the change of chemical properties of soil of immediately after clearcutting compared with those of 5 years after clearcutting.

The results were as follows.

1. Organic carbon, nitrogen ($\text{NH}_4\text{-}$, $\text{NO}_3\text{-}$ & org-), Ca, Mg, Fe and Al concentration of the soil water of clearcutting site were rather higher than those of remaining stand during most of the study period.

2. Five years after clearcutting, L and F layers (A_0 horizon) of soil were disappeared, and the concentration of Fe and Al in soil showed slightly decrease in A_2 horizon, showed increase in B_1 horizon, and the concentration of Al showed decrease in B_2 horizon and increase in B_3 horizon.

文 献

- 有光一登, 1982a. 序説森林土壌の水分動態の経時変動, 森林土壌の水分動態に関する研究 (第1報). 林業試験場研究報告 317: 67-112.
- , 1982b. 森林土壌の水分および溶存成分の動態, 森林土壌の水分動態に関する研究 (第2報). 林業試験場研究報告 318: 11-78.
- Boul, S. W., F. D. Hole and R. J. McCracken, (和田秀徳ら訳), 1977. ペドロロジー—土壌学の基礎—(Soil Genesis and Classification). 494 pp., 博友社, 東京.
- 小林繁男, 1982. 森林の皆伐に伴う土壌の変化. ペドロジスト 26: 150-163.
- Likens, G. E., F. H. Bormann, N. M. Johnson, D. W. Fisher and R. S. Pierce, 1970. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed ecosystem. Ecol. Monographs 40: 23-47.
- 前田禎三・宮川 清, 1970. 林床植生による造林適地の判定 (わかりやすい林業研究解説シリーズ 40), 90 pp., 林業技術協会, 東京.
- Ponomareva, V. V. (English translation), 1969. Theory of Podzolization. IPST, Jerusalem.
- 堤 利夫, 1964. 森林の成立にともなう土壌の性質の変化 (II), 皆伐による土壌中の諸物質質量の変化. 京大演習林報告 35: 110-126.
- 山谷孝一, 1965. ヒバ林伐採跡地土壌の経年変化について (I), 落葉層の形態変化および土壌有機物の動態. 日本林学会誌 47: 199-204.
- Волобуев, B. P., (菅野一郎監訳), 1972. 土壌の生態学, 294pp., たたら書房, 米子.