

肥培処理を行ったウダイカンバ林の有機物層と中型土壤動物群集の関係

北海道大学大学院農学院
森林総合研究所北海道支所
北海道大学大学院農学研究院

末次 直樹
相澤 州平・阪田 匡司・伊藤 江利子
小池 孝良

はじめに

林内施肥は、かつて植栽されている樹木の生産量を増加させる目的で行われてきた。しかしながら、近年肥培によって森林土壌の持つ炭素貯留機能を増加させることが出来るという、新しい役割も指摘されている(4)。森林の持つ機能に対する国民の期待においても地球温暖化の軽減は上位に位置しており(12)、肥培処理が森林の持つ炭素貯留機能に与える影響について明らかにしていく必要がある。

これまでの調査から、肥培処理を行うことによって土壌表層に蓄積されている有機物層の厚さが増加することが知られている(3, 9)。この原因として、供給されるリターの量が増加すること、分解者の活動が低下することの二つが考えられているが、特に長期に渡る肥培処理は pH の低下や N 濃度の増加によって分解に関わる微生物の活動を大きく低下させるため、分解速度の低下による影響が大きいと考えられている(9)。しかしながら、これまでの調査では分解の遅い針葉樹樹種を対象とするものが多く、また分解に関わる微生物以外の生物が受ける影響についてほとんど調査されていない。

中型土壤動物は土壌に生息する生物の中で、体長 2 ~ 5 mm 以下の範囲にある節足動物の総称である(7)。大部分がダニ目とトビムシ目によって占められており、微生物の摂食や分散などを通して微生物によるリターの分解を促進させる作用を持っている(6)。主に有機物層を生息環境としているため、施肥に伴う有機物層の発達は中型土壤動物の個体数を増加させると考えられるが、pH や微生物活動の低下は個体数に負の影響を与える可能性がある。

そこで本研究では、落葉広葉樹であるウダイカンバ人工林において、有機物層の構造とそこに生息する中型土壤動物群集の構造の関係について調査することで、肥培処理が分解系に与える影響について検討することを目的とした。

材料と方法

1)調査地と材料

本研究は、森林総合研究所北海道支所羊ヶ丘実験林における林地肥培試験地 (N42°58', E141°23', 150m asl.)におけるウダイカンバ人工林を用いて行った。土壌型は B1_D の平坦地、2008 年の平均気温は 8 °C、年降水量は 700 mm となっている (11)。1974 年に植栽され、1978 年以降毎年春に施肥を行う肥培区と、施肥を行わ

ない対象区が 3 林分ずつ設置されている。施肥は NPK がそれぞれ 24:16:11 の割合で混入した複合肥料を用いて行い、1986 年以降施肥量がそれぞれ N-110kg/ha, P-32kg/ha, K-41.8kg/ha になるように固定して行っている。現在地表面はササに覆われており、ハリギリを中心とする数種の本木植物がいくつか侵入している。2010 年調査時点における平均樹木密度±標準偏差は、対照区で 2036 ± 538 本/ha、肥培区で 1436 ± 220 本/ha となっている。

2010 年 6 月、各林分に 50 cm×50 cm の方形区を各林分 3 ~ 4 箇所設置した。その後、各方形区から 20 cm² の採土管を用いて有機物層とその下方 5 cm の土壌を採取した。また同年 8 月に観層式採土管を用い、各林分から任意に選択した 1~2 箇所の土壌断面を観察し、その中の有機物層を採集した。

2)測定項目と調査方法

各方形区から採取したサンプルを直ちに 30°C に設定したマクファーデン装置(1)に一週間かけ、サンプル中の中型土壤動物を抽出した(熱源との距離: 15 cm)。抽出された中型土壤動物は 70%のエタノールに保存し、実体顕微鏡下で分類群ごとに個体数を計測した。分類は主に目ごとに行ったが、亜目ごとに食性が大きく異なるダニ目は亜目のレベルまで、分類が困難なヤスデ、ムカデ、エダヒゲムシの仲間は綱まで行った。なおダニ目の幼虫と体長 0.2 mm 以下のダニ目は実体顕微鏡上で亜目まで分類することが出来なかったため、まとめてその他ダニ目として計測した。それぞれの個体数は全て m² あたりの密度に換算して表し、また Shannon-Wiener の関数 (H')を多様性の指標として用い、各調査区の多様度を求めた。

中型土壤動物群集の総個体数と有機物層を構成している有機物の種類との関係を見るため、中型土壤動物の抽出が終了したサンプルから、有機物をリター (>2 cm の葉リター)、碎片 (2 mm ~ 2 cm)、枯枝、根の 4 種類に取り分け、それぞれ乾燥重量を求めた。また観層式の採土管を用いて採取した有機物のサンプルを用い、含水率と N 濃度 (SMIGRAPH NC-900, Sumika Chemical Analysis Service・Shimazu, Osaka/Kyoto を使用)を測定した。

統計処理として、有機物層、中型土壤動物の結果はコルモゴロフスミルノフ検定によって等分散を確かめた後、t 検定を行って処理区間の違いを検定した。有機物の種類と中型土壤動物の総数の関係については、Pearson の積率相関係数を用いて相関解析を行った。な

お、解析には R ver. 2.10.1(10)を用い、有意水準は 5%で行なった。

結果

有機物層の構造を図-1, 2, 表-1 に示す。対照区では、有機物層があまり発達していない堆積様式を示していたのに対し、肥培区においては L 層, FH 層の厚さが増加しており、有機物が厚く堆積する堆積様式を示していることが観察された(図-1)。有機物層を構成している有機物の乾燥重量を種類ごとに見てみると、リター、枯枝、根の乾燥重量は処理間に差が見られなかったが、碎片の乾燥重量が肥培区で大きく増加していた (図-2)。また N 濃度と含水率も肥培区で高い値を示していた (表-1)。

抽出された中型土壤動物群集の分類群ごとの個体数と多様度を表-2 に示す。両処理区ともダニ目とトビムシ目で総個体数の 9 割以上を占めており、肥培処理によって中型土壤動物の総数は増加していた。分類群ごとにみても、カニムシ目、ササラダニ亜目、トゲダニ亜目、ケダニ亜目、トビムシ目が肥培処理によって増加しており、その他の分類群は処理間に差が見られなかった。抽出された分類群の出現数は処理間に差が見られなかったが、それぞれ対照区ではカニムシ目が、肥培区ではハチ目が全く抽出されなかった。また多様度指数は処理間に有意差が見られなかったものの、肥培処理によって減少する傾向が見られた ($P = 0.075$)。

対照区では有機物層を構成している有機物の乾燥重量と中型土壤動物総数の間に相関関係は見られなかった(表-3)が、肥培区では碎片量との間に弱い正の相関が見られた (図-3)。

考察

今回使用した調査地とほぼ同じ立地条件において、様々な樹種の造林地における土壤表層の有機物堆積量を調査した研究から、ウダイカンバ林は針葉樹と比較して有機物があまり堆積しないと考えられる(15)。今回の調査においても対照区では有機物層があまり発達しておらず、ウダイカンバはリターの分解が速いと推察される (図-1, 表-1)。したがって、肥培区で観察された有機物層の厚い堆積様式は、林地肥培によってリターの分解が抑制されたことが原因であると考えられる。有機物層の N 濃度は肥培区で対照区よりも高い値を示しており、肥培処理による直接的な影響が肥培区に現れていた (表-1)。

高い N 濃度は分解の初期段階において分解を促進させる作用を持つが、後期段階になるにつれて微生物による分解を抑制させると考えられている(2)。リターの乾燥重量は処理間に差が見られなかったにもかかわらず、碎片量が肥培区で大きく増加していたことから、N 濃度の上昇によりリター分解の、特に後期段階が抑制されていることが示唆される。しかしながら、本試験地において土壤 pH が年々低下していることも観察されており(14)、また低い土壤 pH は微生物の活動を低下させることから、N 濃度以外の影響も複合的に作用し

対照区

肥培区

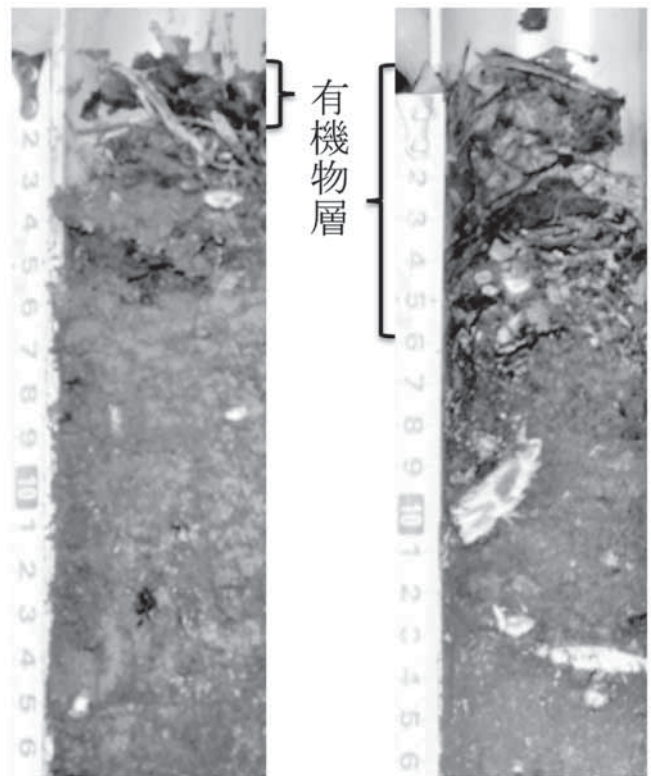


図-1 土壤表層の断面

表-1 各処理区における有機物層の性質

	対照区	肥培区
L層	1.1 cm	2.2 cm
FH層	1.6 cm	2.3 cm
含水率	39%	45%
N濃度	1.46%	2.35%

ている可能性がある。

抽出された中型土壤動物の個体数は、対照区で約 60000 匹/m²、肥培区で約 220000 匹/m² であり、肥培区で対照区の約 4 倍多い個体数が生息していた (表-2)。対照区における個体数はこれまで北海道で行われた調査とほぼ同じ値を示しており、肥培区の個体数は北海道の森林ではかなり高い値であった(5, 13)。分類群ごとに見てみると、肥培区において有意に個体数が増加していたのはカニムシ目、ササラダニ亜目、トゲダニ目、ケダニ亜目のみで、すべての分類群が一様に増加しているというわけではなかった (表-2)。このことは、それぞれの分類群が全体に占める割合が変化していることを意味しているため、肥培区で多様度が減少する傾向がみられたと考えられる (表-2)。

今回の調査では対照区において中型土壤動物の総数と有機物の間に有意な相関関係が認められなかった (表-3, 図-3)。しかしながら、肥培区では碎片量との

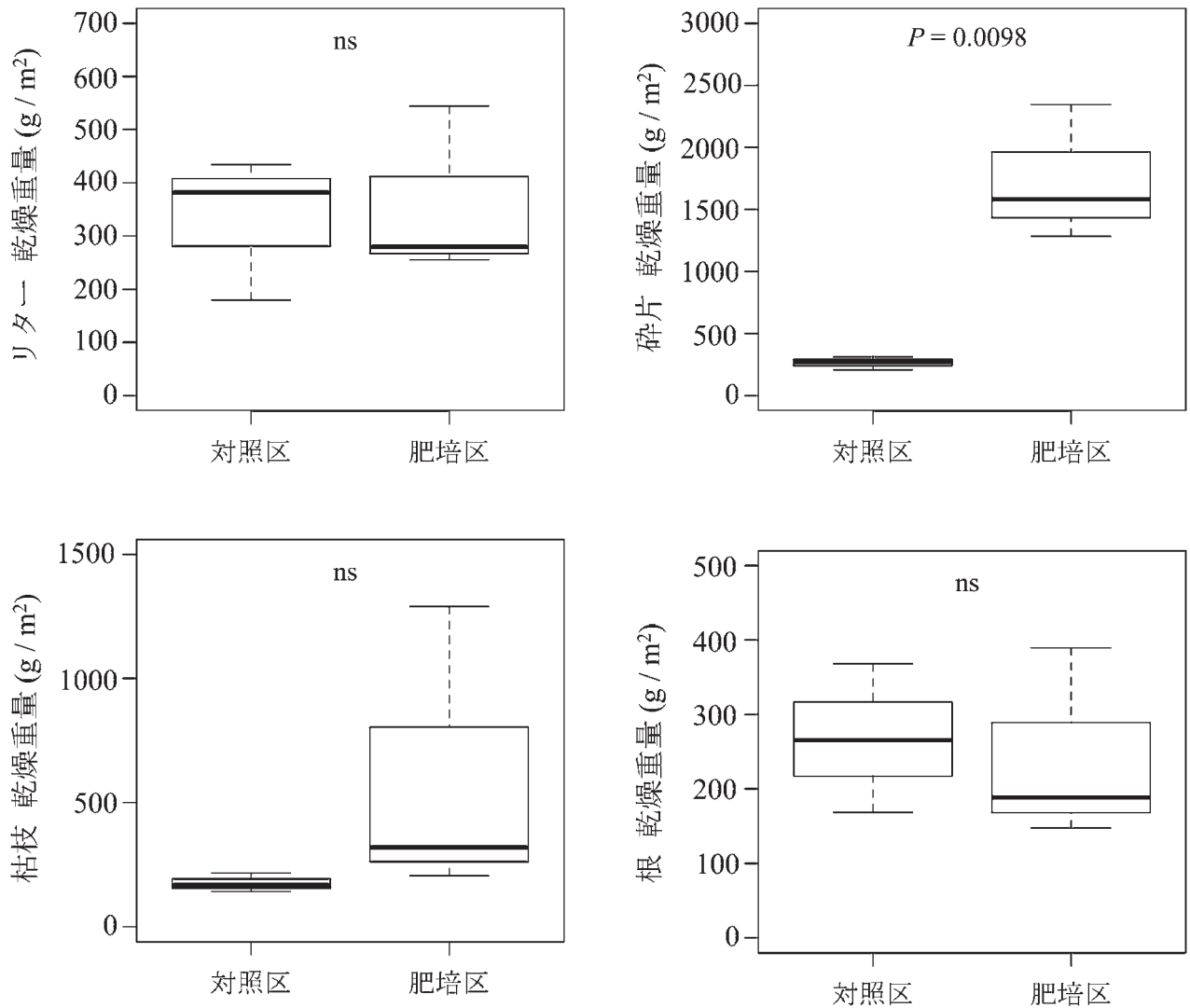


図-2 各処理区における採土管あたりの有機物量 (リター, 碎片, 枯枝, 根)

図中の上下幅はそれぞれ最大値と最小値を, 長方形と太横線はそれぞれ第一, 第三四分点と中央値を表す。スチューデントの t 検定の P 値を図中に示した (N=3)。ns は $P > 0.05$ を表す。

間に弱い正の相関が見られた (図-3)。また, 対照区では, ある一点のみ碎片量が多いが総数が少ない調査区が認められたが (図-3), この点を除外して相関分析を行なうと, 正の相関が見られた ($R^2 = 0.74, P = 0.022$)。これらのことから, 中型土壌動物の総数は有機物の碎片量と強い関係があると考えられる。碎片が厚く堆積している肥培区において, 碎片量はそのまま有機物層の量と見ることが出来る。中型土壌動物で優占する分類群の一つであるトビムシ目は, 個体数を規定する要因として, 食物ではなく住み場所が重要であるという食物-住み場所テンプレートが提唱されている (17, 18)。肥培区において増加が確認されたササラダニ亜目においても, 有機物層が厚い生態系ほど個体数が多い (8) ことから, このテンプレートが成り立つと考えられる。また, トゲダニ亜目, ケダニ亜目は捕食性であるため, 餌資源の増加が個体数に重要な影響を与えたと考えられる (16)。したがって, 中型土壌動物の総数が肥培区で増加していたのは, 肥培による分解の抑制

が中型土壌動物の生息環境を増加させたことが原因であると考えられるが, 増加しない分類群もあることから, 他の影響 (pH の低下など) も関係している可能性がある。

本研究から, 肥培処理によってリターの分解は抑制され有機物層の厚さが増えることが示唆された。これにより, 中型土壌動物は生息環境の増加の影響を受けて個体数が増加するが, 決まった分類群しか影響を受けないことから多様度は減少することが示唆された。また, 個体数が増加することから, 施肥は中型土壌動物が分解系の中で果たす役割を大きくすると示唆された。

謝辞

本研究を行なうにあたり, 濫谷正人博士, 斎藤秀之博士を初めとする北海道大学造林学研究室の諸氏には数多くの助言とご支援を頂いた。記して感謝する。

表-2 各処理区における中型土壤動物群集の平均個体数密度(/m²) ± 標準偏差とスチューデントの t 検定による P 値

	対照区 (n = 3)	肥培区 (n = 3)	P 値*
カニムシ目	0 (0)	208±110 (0.1)	P = 0.0307
ザトウムシ目	236±206 (0.4)	111±192 (0.1)	ns
ダニ目			
ササラダニ亜目	9153±4111 (15)	77388±22278 (35.3)	P = 0.0064
トゲダニ亜目	6986±313 (11.4)	14958±1552 (6.8)	P = 0.0010
ケダニ亜目	1958±551 (3.2)	6180±1261 (2.8)	P = 0.0060
その他ダニ目	10305±4838 (16.9)	24125±4029 (11)	P = 0.0191
クモ目	236±206 (0.4)	194±173 (0.1)	ns
ヤスデ綱	153±168 (0.3)	208±110 (0.1)	ns
ムカデ綱	153±168 (0.3)	375±330 (0.2)	ns
エダヒゲムシ綱	861±809 (1.4)	458±72 (0.2)	ns
カマアシムシ目	208±260 (0.3)	625±1083 (0.3)	ns
トビムシ目	29611±4439 (48.5)	93333±19370 (42.6)	P = 0.0051
コムシ目	97±87 (0.2)	361±268 (0.2)	ns
カメムシ目	111±96 (0.2)	111±192 (0.1)	ns
コウチュウ目	194±173 (0.3)	278±192 (0.1)	ns
ハエ目	403±251 (0.7)	319±188 (0.1)	ns
ハチ目	403±442 (0.7)	0 (0)	ns
総数	61069±10453	219236±30113	P = 0.0010
総分類群数	14±3	15±1	ns
多様度指数 (H')	2.05±0.09	1.885±0.07	ns

()内の数字は総数に対する割合を示す。

*ns は P > 0.05 を表す。

引用文献

(1) Benckiser, G. (1997) Fauna in soil ecosystem. Madison Avenue, New York, 414 pp.

(2) Berg, B. and McClaugherty, C. (2004) 森林生態系の落葉分解と腐植の形成. シュプリンガー・ジャパン, 東京, 285 pp.

(3) Franklin, O., Hogberg, P., Ekblad, A., and Agren, G.I. (2003) Pine forest floor carbon accumulation in response to N and PK additions: Bomb ¹⁴C modeling and respiration studies. *Ecosystems* 6: 644-658.

(4) Johnson, DW. and Curtis, PS. (2001) Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecol. Manag.* 140: 227-238.

(5) 北沢右三・田村弘忠・山内克典・新島溪子・遠藤文枝 (1985) 北海道の森林における土壤動物の研究. *Edaphologia* 33: 40-47.

(6) 金子信博・伊藤雅道 (2004) 土壤動物の生物多様性と生態系機能. *日本生態学会誌* 54: 201-207.

(7) 金子信博 (2007) 土壤生態学入門. 東海大学出版

(8) Maraun, M. and Scheu, S. (2000) The structure of Oribatid mite communities (Acari, Oribatida): patterns, mechanisms and implications for future research. *Ecography* 23: 374-383.

(9) Olsson, P., Linder, S., Giesler, R., and Högberg, P. (2005) Fertilization of boreal forest reduces both autotrophic and heterotrophic soil respiration. *Global Change Biol.* 11: 1745-1753.

表-3 有機物の種類と中型土壤動物総数の Pearson の積率相関係数 (R²)

	対照区	肥培区
全有機物	-0.09	0.40
リター	-0.12	0.03
枯枝	-0.18	-0.03
根	-0.20	0.12

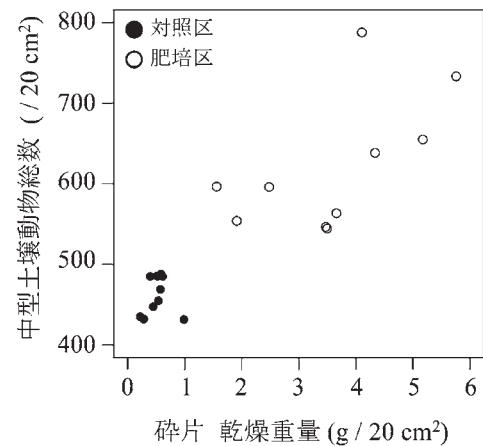


図-3 採土管あたりの碎片乾燥重量と中型土壤動物総数の関係 対照区: R² = 0.07, P = 0.837 肥培区: R² = 0.59, P = 0.070 (n = 10)

(10) R development Core Team (2009) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, <http://www.R-project.org>.

(11) 森林総合研究所北海道支所 (2009) 森林総合研究所北海道支所年報. H21 年度版: 95-96.

(12) 末次直樹 (2008) 森林の教育の場としての機能～「森林」を用いた教育の事例～. *北方林業* 60: 157-159.

(13) 末次直樹・澁谷正人・斎藤秀之・小池孝良 (2010) アカエゾマツ林とカラマツ林における中型土壤動物群集の比較. *日林北支論* 58: 35-36.

(14) 真田悦子・高橋正通・真田 勝・大友玲子・松浦陽次郎 (1997) 針葉樹 5 種とカンパの若齢造林地における土壤酸性化傾向の比較. *日林北支論* 45: 133-135.

(15) 真田 勝・大友玲子・真田悦子 (1997) 林地肥培林における表層土壌の変化-植栽から 20 年のモニタリング-. *日林論* 108: 201-202.

(16) 高崎洋子・竹中千里・吉田智弘 (2010) ヒノキ人工林において間伐施業が土壤動物の群集構成と個体数密度に与える影響-三重県度会郡大紀町における事例-. *日林誌* 92: 167-170.

(17) Takeda, H. (1987) Dynamics and maintenance of collembolan community structure in a forest soil system. *Res. Pop. Ecol.* 29: 291-346.

(18) 武田 博 (2002) トビムシの住む森. 京都大学出版, 京都, 266 pp.