

肥培処理を行ったウダイカンバ林における有機物層と 中型土壤動物群集の季節変化

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
小池 孝良

はじめに

近年、地球温暖化が世界的な問題となっている。そのような背景の中で、原因物質の一つと考えられている二酸化炭素を吸収する場として森林生態系に注目が集まっている。その吸収量を増加させる施策として林地肥培の重要性が指摘されている(3, 7)。我が国では京都の北山林業などで一部実施されているが、計画的に肥培を行っている林地は限られている。しかし、地球温暖化の防止と木材生産に対する森林の役割への国民の期待が高まっている(9)事から、高い比重を持つ銘木・ウダイカンバでは、生産立地の解析のためにも肥培管理の影響を知る必要がある。

林地肥培を行うと、森林の生産力増加、樹木から供給されるリター(落葉落枝)の分解速度低下の二つの面から、森林生態系中の炭素貯留量を増加させることが出来ると考えられている(3)。樹木が固定した炭素の大部分が最終的にリターの形で土壤中に供給される事から、生産力の増加や分解速度の低下は共に土壌表層の有機物層を増加させると考えられている(2, 6, 10)。

したがって、肥培による森林の炭素貯留機能の増加を評価するためには有機物層と、その分解に関わる分解者の種組成や応答を明らかにする必要があるが、分解者の種組成を扱った研究ですら限られている(4)。

中型土壤動物は土壤中に存在する生物のうち体幅約0.2 mm ~ 2 mmの生物の総称である(4)。直接有機物を摂食して分解を促進させるだけでなく、分解に作用する微生物群集を摂食することなどによって間接的に分解系に影響を与えると考えられている(4, 6)。中型土壤動物は有機物層を主要な生息環境としているため、肥培による有機物層の増加や化学組成、pH等の変化は個体数に影響を与えると考えられる(12)。

ウダイカンバ林における長期間の肥培を行った林分における有機物層の変化と中型土壤動物の個体数の関係を扱った末次らの研究では(10)、肥培によって有機物層の乾燥重量が増加する他に、pHの低下やN濃度の上昇といった化学的な性質も変化することが確認されたが、その中でも中型土壤動物の個体数は有機物層中の碎片(2 mm ~ 2 cm 葉リター)量の増加に強く影響されていることが指摘された。これらのことから、肥培林ではリターの分解が抑制されているものの、中型土壤動物はそのような環境においても個体数を増加さ

せる事が可能で、分解者として活動する事が出来ると考えられる。しかしながら、そもそもこの碎片量の増加がリターの分解が抑制された事によるものではなく、樹木の生産力増加に伴うリター供給力の増加が原因である可能性が残されている。さらに、有機物層中の碎片量と中型土壤動物の個体数は共に季節変化を起こすと考えられるため、季節によって碎片-中型土壤動物群集の関係が変化することも考えられる。

そこで本研究では、長期に渡って肥培処理を行っているウダイカンバ林において、リター供給量の変化と有機物層中の碎片量、中型土壤動物個体数の季節変化を追う事で、肥培林において碎片量と中型動物の個体数が増加していた理由を明らかにする事を目的とした。

材料と方法

1)調査地と材料

調査地として、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使用した。本試験地の土壌型はBl_Dの平坦地、2008年での平均気温は8℃、年降水量は700 mmとなっている(8)。人工林内の樹木個体は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。肥培処理として、NPKがそれぞれ24:16:11の割合で混入した複合肥料を用い、1986年以降施肥量がそれぞれN-110 kg/ha, P-32 kg/ha, K-41.8 kg/haになるように肥培量を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・ヤマグワを中心とする数種の木本植物がいくつか侵入している。また、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、6月、8月、10月の初めに、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、季節ごとに土壌サンプルを回収した。また、2010年8月に各林分1~2ヶ所0.6 m²のリタートラップを設置し、11月まで毎月中身をリターサンプルとして回収を行った。

2)測定項目と調査方法

各方形区から採取した土壌サンプルは直ちに上層を

Naoki SUETSUGU (Graduate School of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589), Shuhei AIZAWA (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo 062-8516), and Takayoshi KOIKE (Research Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589)

Seasonal change of organic layer and soil mesofauna in *Betula maximowicziana* stands after long-term fertilization treatment.

30°Cに設定したマクファーデン装置 (I)に一週間かけ、サンプル中の中型土壤動物を抽出した。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。なおダニ目の幼虫及び体長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。次に、中型土壤動物の抽出が終了した土壤サンプルから有機物を、粗大有機物(>2 cmの葉リター)、碎片(2 mm~2 cm)、木質有機物、3種類ごとに取り分け、それぞれ乾燥重量を求めた。また、回収したリターサンプルから葉リターを取り分け、総リターフォール量と合わせて乾燥重量を測定、樹木のリター供給力を林分ごとに求めた。

それぞれの結果は m² 当たりの個体数及び乾燥重量に換算して扱い、季節ごと、及び処理区間の個体数・乾燥重量の差を、月を反復とした反復測定分散分析(Repeated-ANOVA)を用いて有意水準5%で解析を行った。なお、有意水準10%のデータを傾向があるとして扱う。

結果

表—1に季節ごとの中型土壤動物の総個体数を、分類群ごとに表す。6月、8月、10月全てのサンプルで中型土壤動物の総個体数が対照区と比較して肥培区で増加しており、季節による差は見られなかった。分類群ごとに見てみると、いずれの季節もササラダニ亜目、トビムシ目、トゲダニ亜目、ケダニ亜目、その他ダニ目が上位の分類群となっており、これら5分類群で全体の約9割を占めていた。トゲダニ亜目を除いて季節変化も見られなかったが、ササラダニ亜目、トゲダニ亜目、その他ダニ目、ヤスデ綱、ムカデ綱は処理により有為に個体数が増加しており、トビムシ目、ケダニ亜目は処理によって個体数が増加する傾向が見られた。また、トビムシ目は処理と季節の間に交互作用が見

れた。

図—1に土壤サンプル中から回収した有機物の総乾燥重量及びその内訳ごとの乾燥重量を示す。総有機物量は年間を通して肥培区で増加しており、その大部分は碎片量が占めていた。粗大有機物量は処理による差が見られなかったが、碎片量、木質有機物量は処理によって有為に乾燥重量が増加しており、いずれの有機物も季節変化を示していなかった。

リターフォールの結果を図—2に示す。総リターフォール量は両処理区とも10月にピークを持つ一山型の季節変化を示していたが、処理による乾燥重量の差は見られなかった。また、総リターフォール量の8割以上を占める葉リターフォールの乾燥重量は総リターフォール量と同様の季節変化を示し、処理による差も見られなかったが、処理と季節の間には相互作用が検出された。

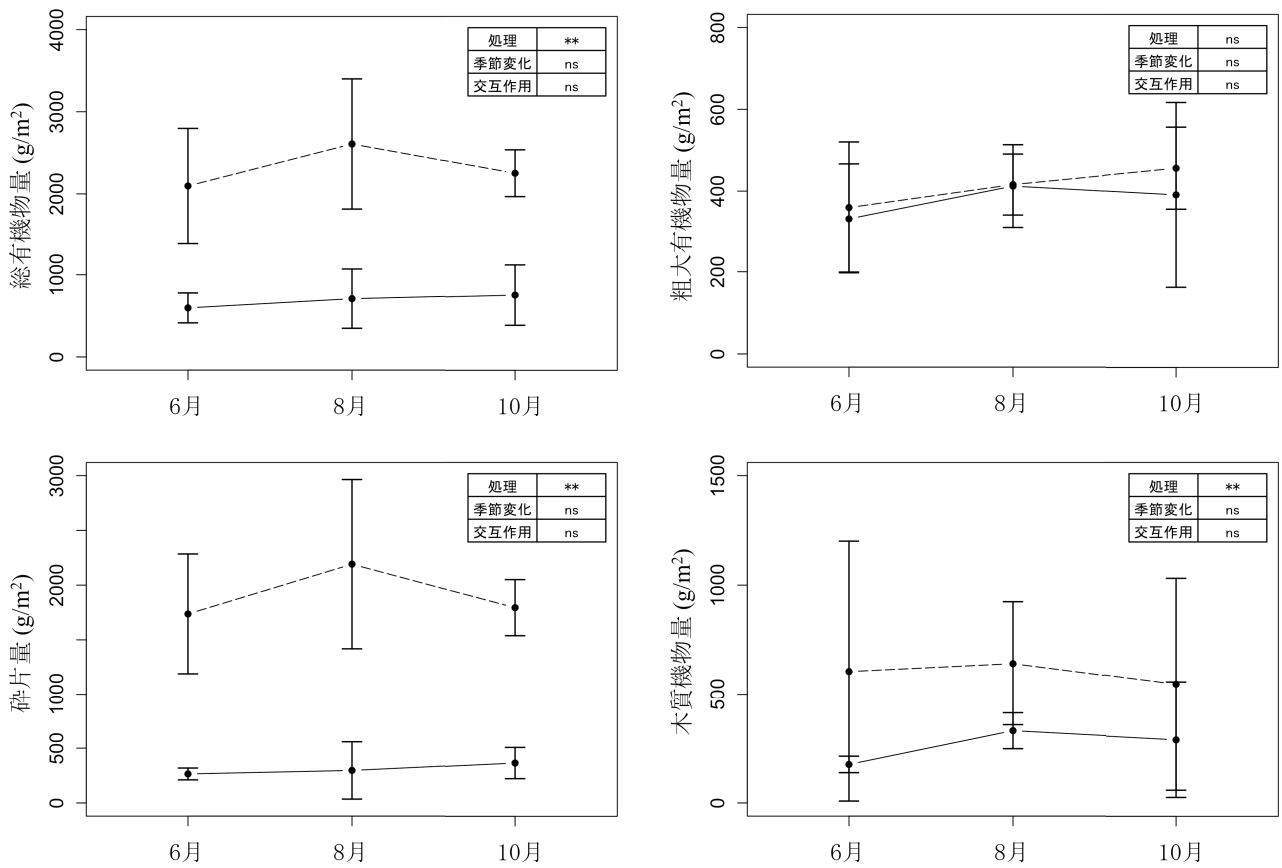
考察

今回の調査では、土壤表層の有機物の組成が季節を通してほとんど変化しておらず、年間を通して碎片量が肥培区において有為に多いことが解った(図—1)。中型土壤動物の個体数は、その生息環境、すなわち有機物層の量および組成に大きく左右されると考えられるため、中型土壤動物の総個体数がいずれの季節も肥培区で多く、また季節変化を起さなかったのは、両処理区においても有機物層が量・組成共にほとんど変化しない安定な環境となっており、かつ肥培区において生息環境が増加したためであると考えられる(表—1)。

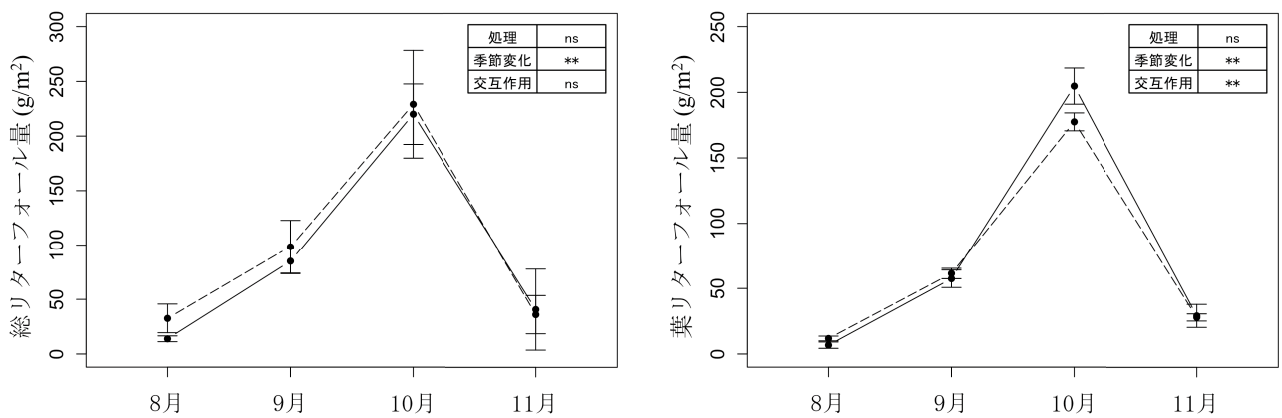
対照区において、6月から10月初めにおける有機物層中の粗大有機物量及び碎片量は、常に約300~400 g/m²の範囲であった(図—1)。この量は、8月及び9月の対照区における葉リターフォール量である計約60 g/m²と比較して非常に多い量である(図—2)。末次ら(10)は対照区において表層土壤の断面を観察した様子から、本試験地ではリターの分解がとても速いと考察した。しかしながら、今回の調査から対照区の土壤

表—1 季節ごとの中型土壤動物個体数 (/m²) それぞれ分類群ごとの平均値 ± 標準偏差を表し、Repeated-ANOVAの結果をP値で表す (n = 3, ns: P > 0.1)

分類群	6月		8月		10月		処理 P値	季節変化 P値	交互作用 P値
	対照区	肥培区	対照区	肥培区	対照区	肥培区			
カニムシ目	0 ± 0	208 ± 110	56 ± 96	264 ± 354	0 ± 0	56 ± 96	ns	ns	ns
ザトウムシ目	236 ± 206	111 ± 192	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	ns	ns	ns
ササラダニ亜目	9153 ± 4111	77389 ± 22278	18583 ± 6507	81319 ± 35995	15236 ± 5865	109764 ± 32436	0.002	ns	ns
トゲダニ亜目	6986 ± 313	14958 ± 1552	10056 ± 1357	22597 ± 3607	8903 ± 2905	22375 ± 6714	0.008	0.011	ns
ケダニ亜目	1958 ± 551	6181 ± 1261	4167 ± 764	6111 ± 2715	2569 ± 1272	6875 ± 4547	0.097	ns	ns
その他ダニ目	10306 ± 4838	24125 ± 4029	21889 ± 11051	37222 ± 13108	14653 ± 6439	29472 ± 13597	0.035	ns	ns
クモ目	236 ± 206	194 ± 173	153 ± 24	306 ± 173	292 ± 110	278 ± 255	ns	ns	ns
ヤスデ綱	153 ± 168	208 ± 110	0 ± 0	167 ± 167	0 ± 0	0 ± 0	0.048	ns	ns
ムカデ綱	153 ± 168	375 ± 331	167 ± 167	458 ± 72	153 ± 24	889 ± 192	0.006	ns	ns
エダヒゲムシ綱	861 ± 809	458 ± 72	4653 ± 7341	944 ± 1072	1389 ± 347	347 ± 334	ns	ns	ns
カマアシムシ目	208 ± 260	625 ± 1083	583 ± 1010	139 ± 127	389 ± 347	167 ± 289	ns	ns	ns
トビムシ目	29611 ± 4439	93333 ± 19370	35972 ± 16576	62319 ± 27587	47764 ± 17115	54250 ± 23711	0.084	ns	0.007
コムシ目	97 ± 87	361 ± 268	347 ± 24	1125 ± 1057	389 ± 347	125 ± 217	ns	ns	ns
カメムシ目	111 ± 96	111 ± 192	56 ± 96	42 ± 72	0 ± 0	0 ± 0	ns	ns	ns
甲虫目	194 ± 173	278 ± 192	222 ± 192	431 ± 168	42 ± 72	236 ± 120	ns	0.09	ns
ハエ目	403 ± 251	319 ± 188	1764 ± 2381	222 ± 255	986 ± 787	306 ± 394	ns	ns	ns
ハチ目	403 ± 442	0 ± 0	2139 ± 2925	486 ± 146	181 ± 188	56 ± 96	ns	ns	ns
チャタテムシ目	0 ± 0	0 ± 0	208 ± 361	56 ± 96	0 ± 0	56 ± 96	ns	ns	ns
総個体数	61069 ± 10453	219236 ± 30113	100806 ± 25041	214153 ± 81890	92944 ± 31409	225194 ± 68664	0.011	ns	ns



図—1 有機物層の総乾燥重量と、その内訳ごとの乾燥重量
縦軸に乾燥重量、横軸はサンプルの回収時期を表す。実線は対照区を、点線は肥培区を表し、
Repeated-ANOVA の結果を表中に示す (n = 3, ns: $P < 0.1$, **: $P < 0.01$)



図—2 総リターフォールと葉リターフォールの乾燥重量
縦軸に乾燥重量、横軸はサンプルの回収時期を表す。実線は対照区を、点線は肥培区を表し、
Repeated-ANOVA の結果を表中に示す (n = 3, ns: $P > 0.1$, **: $P < 0.01$)

表層に堆積している有機物量は樹木からの供給量に比べて非常に多く、また季節を通してほとんど変化しないことが明らかになった。このことは、6月から10月にかけて対照区ではほとんど有機物の分解が進んでいない事を意味しており、分解速度は決して速くはないと考えられる。一方、10月中には対照区において約 200 g/m²の葉リターが土壌表層に供給されていることから、11月以降の冬期間に大きく有機物層が量、組成共に変化する可能性がある。

総リターフォール量、及び葉リターフォール量は共に処理による差が見られなかった (図—2)。さらに、肥培区で観察された有機物層中の碎片量約 1500 ~ 2000 g/m²は、対照区の約 5 倍と膨大な量である (図—1)。これらのことから、肥培区において碎片量が増加した原因は、樹木の生産力の増加に伴うリター供給量の増加ではなく、リターの分解の抑制である可能性が高いと考えた。本調査林分は植栽から 30 年以上が経過し、林内は樹冠が閉鎖している。完全に閉鎖した林分における単位面積当たりの葉量は樹種ごとにほぼ一定となることから、既に閉鎖の完了している本林分では肥培による生産力の増加が葉量の増加に繋がらなかったと考えられる (11)。

今回の結果から、長期に渡って肥培処理を行っているウダイカンバ人工林の本林分は、肥培によってリターの供給力は変化していないが、リターの分解が抑制されている事によって有機物層中の碎片量が増加、そして、そこを生息環境としている中型土壌動物の総個体数を増加させていることが示唆された。さらに、有機物層に堆積している有機物は量・組成ともに季節を通して安定しており、そのことが中型土壌動物の総個体数の季節変動を抑えていると考えられる。しかしながら、今回トビムシ目の個体数に処理と季節変化の交互作用が見られたように (表—1)、分類群、あるいは種によっては肥培がその中型土壌動物群集の繁殖などの生活史の一部分に季節変化などに強い影響を与える可能性が示唆された。そこで、今後より細かい分類群を対象として調査する必要がある。

謝辞

本研究を行なうにあたり、科学研究費補助金 (新学術領域) を一部使用した。また、澁谷正人博士、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。

引用文献

- (1) Benckiser, G. (1997) Fauna in soil ecosystem. Madison Avenue, New York, 414 pp.
- (2) Franklin, O., Hogberg, P., Ekblad, A., and Agren, GI. (2003) Pine forest floor carbon accumulation in response to N and PK additions: Bomb ¹⁴C modeling and respiration studies. *Ecosystems* **6**: 644-658.
- (3) Johnson, DW. and Curtis, PS. (2001) Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecol. Manag.* **140**: 227-238.
- (4) 金子信博・伊藤雅道 (2004) 土壌動物の生物多様性と生態系機能. *日本生態学会誌* **54**: 201-207.
- (5) 金子信博 (2007) 土壌生態学入門. 東海大学出版
- (6) Olsson, P., Linder, S., Giesler, R., and Högborg, P. (2005) Fertilization of boreal forest reduces both autotrophic and heterotrophic soil respiration. *Global Change Biol.* **11**: 1745-1753.
- (7) Oren, R., Ellsworth, DS., Johnsen, KH., Phillips, N., Ewers, BE., Maier, C., Schäfer, K.V.R., McCarthy, H., Hendrey, G., McNulty, SG., and Katul, GG. (2001) Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO₂-enriched atmosphere. *Nature* **411**: 469-472.
- (8) 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.
- (9) 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.
- (10) 末次直樹・相澤州平・阪田匡司・伊藤江利子・小池孝良 (2011) 肥培処理を行ったウダイカンバ林の有機物層と中型土壌動物群集の関係. *日林北支部論* **59**: 75-78.
- (11) 只木良也 (1963) 森林の生産構造に関する研究 (IV) 林分および単木の葉量についての若干の考察. *日本林學會誌* **45**: 249-256.
- (12) Takeda, H. (1987) Dynamics and maintenance of collembolan community structure in a forest soil system. *Res. Pop. Ecol.* **29**: 291-346.
- (13) 武田 博 (2002) トビムシの住む森. 京都大学出版, 京都, 266 pp.