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—

高崎 洋子^{*1}・竹中 千里¹・吉田 智弘²

ヒノキ人工林において、間伐が林床の土壤動物相に与える影響を調査した。間伐され下層植生の繁茂する林分（間伐区）と、間伐がほとんど行われず下層植生の衰退した林分（間伐遅れ区）において、土壤動物の群集構成と個体数密度を比較した。両調査区のリター層と土壤層からサンプルを採取し、ツルグレン装置により土壤動物を抽出・分類した。その結果、土壤動物の分類群数は、リター層・土壤層ともに間伐区よりも間伐遅れ区で有意に少なかった。また、個体数で優占していたササラダニ亜目（Oribatida）、トビムシ目（Collembola）の個体数密度は、リター層・土壤層ともに間伐区よりも間伐遅れ区で有意に低かった。以上の結果より、ヒノキ人工林では、間伐施業の不足が土壤動物の群集構成を単純化させ、個体数密度を低下させる可能性が示された。

キーワード：ヒノキ人工林、土壤動物、間伐、リター

Yoko Takasaki,^{*1} Chisato Takenaka,¹ and Tomohiro Yoshida² (2010) The Effect of Thinning on the Community Structure and Densities of Soil Animals in a *Chamaecyparis obtusa* Plantation. J. Jpn. For. Soc. 92: 167-170. In a *Chamaecyparis obtusa* plantation, we examined the effect of thinning on soil animal communities. The community composition and individual densities of soil animals were compared between a rich-understory plot with thinning management (the thinned plot) and a poor understory plot without thinning (the delayed thinning plot). Soil animals sampled from both the litter and soil layers were classified after collection by the Tullgren method. In both layers, the taxa in the delayed thinning plot were significantly poorer than those in the thinned plot. The densities of oribatida mites and collembolans, both of which were dominant taxa, were significantly lower in the delayed thinning plot than in the thinned plot for both litter and soil samples. Our results suggest that lack of management of forests such as no thinning has a negative effect on the community composition and density of soil animals in the forest floor.

Key words: *Chamaecyparis obtusa* plantation, soil animal, thinning, litter

I. は じ め に

ヒノキ人工林において適切な間伐が実施されずに放置されると、林冠が閉鎖し林内の光環境が悪化して、下層植生は種数や現存量が減少する（赤井ら, 1981b; 清野, 1988）。下層植生の衰退は、リターや表層土壌の流亡を引き起こすことが指摘されており（赤井ら, 1981a）、また、植物の種多様性の低下のみならず、昆虫や鳥類、ネズミ類など、さまざまな生物の多様性にも影響を及ぼすことが報告されている（Artman, 2003; Maleque *et al.*, 2006; 阿部, 2006; 石井・河原, 2006）。近年の日本の森林整備政策においては、木材生産、災害防止、地球温暖化防止に加え、生物多様性の保全が指針の一つとして注目されつつあり、生物多様性の保全をふまえた針葉樹人工林の管理を行うにあたって、間伐施業を主体とする管理形態の違いが生物群集に及ぼす影響を明らかにしておくことは、きわめて重要である。

森林生態系における生物群集のなかで、土壤動物はその数と種類の豊富さから、土壤微生物とともに、森林の生物多様性の大部分を占めている。また、土壤動物は、有機物

の粉碎や微生物との相互作用を通して、有機物の分解・無機化を促進し、森林生態系の物質循環に大きく寄与している（Moore *et al.*, 1988; Lavelle and Spain, 2001）。さらに、土壤動物による土壌の物理構造の改変は、土壌における水・熱エネルギー動態の変化や、植物の成長促進といった効果をもたらすことが報告されており（Anderson, 1988）、土壤動物が森林生態系において果たす機能的役割もまた多様である。土壤動物にとってリターや表層土壌は、餌資源、生息空間として最も重要な役割を果たしていることから、間伐不足のヒノキ人工林では、管理されて下層植生が存在するヒノキ人工林と比較して、林床に生息する土壤動物群集の多様性や密度が低下している可能性が考えられる。ヒノキ人工林においては、スギや広葉樹など他の植生と比較して、土壤動物相の多様性や個体数密度が低くなることが指摘されている（頭山・中越, 1994）のに加え、下層植生の存在がササラダニ群集の種数や多様性を増加させることが報告されている（菱ら, 2009）。しかし、森林管理と土壤動物群集との関連性に関する研究は少なく、とくに、間伐施業が土壤動物群集にどのような影響を及ぼしているのかを検証した例はない。

* 連絡先著者（Corresponding author）E-mail: takasaki.yoko@a.mbox.nagoya-u.ac.jp

¹ 名古屋大学大学院生命農学研究科森林環境資源学研究室 〒464-8601 名古屋千種区不老町（Laboratory of Forest Environment and Resources, Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan）

² 東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター 〒183-8509 府中市幸町 3-5-8（Field Science Center, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu 183-8509, Japan）

（2009年10月26日受付；2010年1月26日受理）

そこで本研究では、ヒノキ人工林において間伐施業が林床に生息する土壤動物群集に与える影響を明らかにすることを目的とし、同一のヒノキ人工林内で、間伐され下層植生の繁茂する林地と、間伐が行われず下層植生の衰退した林地において、リター層と土壤層に生息する土壤動物の群集構成と主要な土壤動物群の個体数密度を比較した。また、一般に腐食者の個体数は、餌資源量に応じた変動を示すことが知られていることから、リター乾燥重量とリター層の土壤動物の合計個体数・分類群数との関係を検討した。

II. 材料と方法

1. 調査地

調査は、三重県度会郡大紀町神原地区のヒノキ人工林において行った。本調査地は、東経 136 度 25 分、北緯 34 度 21 分、標高 90~260 m に位置しており、土壤は片岩を基岩とした森林褐色土壌である。温暖湿潤気候 (Cwa) に属し、調査地に最も近いアメダス観測地点 (松本市粥見) における年平均気温は 15.0℃、平均年間降水量は 2,043 mm である。1960 年ごろに雑木林が伐採された後、おもにヒノキが植林され、1975 年ごろ、1980 年ごろ、1985 年ごろに部分的に間伐が行われた。しかし計画どおりに間伐が行われている林分は少ない。

本研究では、調査林分の中で、間伐が行われシダや広葉樹の下層植生が繁茂する林地を「間伐区」、間伐がほとんど行われず下層植生としてはシダが点在する程度の林地を「間伐遅れ区」とした。間伐区と間伐遅れ区は、一つの流域内に入れ子状に存在する異なる小流域内に位置しており、これら二つの調査区の間は約 100 m 離れている。立木密度は間伐区で 1,500 本/ha、間伐遅れ区で 3,500 本/ha、平均傾斜はそれぞれ約 40°、37° であり、斜面方位はどちらも北向きである。

2. 試料採取と土壤動物の処理方法

両調査区でリター層および土壤層を採取した。本研究におけるリター層とは、ほとんど分解の行われていない落枝葉 (L 層) および土壤動物や微生物の作用によって L 層がある程度細かく破碎された層 (F 層) (河田, 2000) を合わせたものとし、土壤層はリター層を取り除いた表層から深さ 5 cm までとした。2008 年 6 月 30 日に、両調査区の斜面上部、中部、下部より、ステンレス製の円筒 (高さ 5 cm, 底面積 20 cm²) を用いて土壤層を約 2 m 間隔で各部 8 個ずつ採取した。また、同年 7 月 14 日に、両調査区の斜面上部、中部、下部の土壤コアを採取した付近より、30 × 30 cm の方形枠内に存在するリター層を約 2 m 間隔で各部 4 箇所ずつ採取した。実験室に持ち帰った試料はただちにツルグレン装置 (40W 電球, 25℃, 72 時間以上) により土壤動物を抽出した。抽出した土壤動物は 70% エタノール内で保存し、実体顕微鏡を用いて綱~亜目のレベルまで分類した。ダニ目については、ササラダニ亜目とその他のダニ目を別の分類群とした。これは、ササラダニ亜目がおもに腐食・菌食性であるのに対し、その他のダニ目がトゲ

ダニ亜目、ケダニ亜目など捕食性のものが主体であったためである。ムカデ綱、ヤスデ綱、コムカデ綱、ミミズ綱はそれぞれ一つの分類群とし、その他の土壤動物は目レベルで一つの分類群とした。また、土壤動物抽出後にリター層試料を 80℃ で 48 時間以上乾燥させ、乾燥重量を測定した。

3. 統計解析

リター乾燥重量、分類群数については、Mann-Whitney の U 検定により調査区間の違いを検定した。ササラダニ亜目・トビムシ目の個体数密度については、ポアソン分布を仮定し、調査区を固定効果、斜面位置 (上, 中, 下部) をランダム効果として、一般化線形混合モデル (GLMM) により評価した。有意水準は 5% とした。リター乾燥重量とリター層の土壤動物の合計個体数・分類群数との関係については、Spearman の順位相関により相関解析を行った。

III. 結果と考察

リターの平均乾燥重量は、間伐区、間伐遅れ区でそれぞれ平均 840 ± 570 g dry wt m⁻², 194 ± 170 g dry wt m⁻² であり、間伐遅れ区で間伐区の約 4 分の 1 と有意に少なかった ($p < 0.001$)。両調査区のリター層、土壤層それぞれから採取された土壤動物の 1 m² 当たり換算した個体数密度を表-1 に示す。全土壤動物の個体数密度は、リター層では間伐区、間伐遅れ区それぞれ約 9,300 ± 6,200 m⁻², 880 ± 1,500 m⁻² であり、土壤層では間伐区、間伐遅れ区それぞれ約 63,300 ± 58,300 m⁻², 28,600 ± 17,400 m⁻² であった。いずれのサンプルにおいてもササラダニ亜目、トビムシ目の占める割合が大きく、この二つの分類群で全個体数の約 50~90% を占めていた。

リター層の土壤動物の分類群数は、間伐遅れ区 (累積分類群数: 12) が間伐区 (21) よりも有意に少なかった ($p < 0.001$) (図-1a, 表-1)。また、九つの分類群 (ザトウムシ目、ヨコエビ目、ヤスデ綱、ムカデ綱、バッタ目、シロアリ目、カメムシ目、コウチュウ目、チョウ目) は間伐区のみで観察され、間伐遅れ区のみで観察された分類群はなかった。ササラダニ亜目とトビムシ目の個体数密度は、間伐遅れ区で間伐区よりも有意に低かった (ともに $p < 0.001$) (図-1b, c)。捕食者であるカニムシ目・クモ目、おもに捕食性のダニ目で構成されるその他ダニ目についても同様の傾向が明らかにみられた。

土壤層の土壤動物の分類群数は、リター層と同様に、間伐遅れ区 (累積分類群数: 11) で間伐区 (15) よりも有意に少なかった ($p < 0.05$) (図-2a, 表-1)。また、五つの分類群 (ミミズ綱、カニムシ目、クモ目、ヤスデ綱、カメムシ目) は間伐区でのみ得られた。一方、シロアリ目は間伐遅れ区でのみ採集された。しかし、このシロアリ目の個体はすべて、間伐遅れ区で採取した合計 24 の土壤サンプルのうちの一つのサンプルだけから抽出されたものであった。ササラダニ亜目とトビムシ目の個体数密度は、リター層と同様、間伐遅れ区において間伐区よりも有意に低かった (ともに $p < 0.001$) (図-2b, c)。

図-1. ヒノキ人工林のリター層における分類群数 (a), ササラダニ亜目の個体数密度 (b), トビムシ目の個体数密度 (c) 箱ひげ図は、下から、最小値、第1四分点、中央値、第3四分点、最大値を、○は外れ値を示す。異なるアルファベットは有意な差を示す。有意水準は5%である。

図-2. ヒノキ人工林の土壌層における分類群数 (a), ササラダニ亜目の個体数密度 (b), トビムシ目の個体数密度 (c) 箱ひげ図は、下から、最小値、第1四分点、中央値、第3四分点、最大値を、○は外れ値を示す。異なるアルファベットは有意な差を示す。有意水準は5%である。

表-1. ヒノキ人工林における土壌動物の個体数密度

	リター (m^{-2}) ($n=12$)		土壌 (m^{-2} Q) ($n=24$)	
	間伐区 平均 $\pm$ SD	間伐遅れ区 平均 $\pm$ SD	間伐区 平均 $\pm$ SD	間伐遅れ区 平均 $\pm$ SD
ミミズ綱(Oligochaeta)	32	6	188	0
カニムシ目(Pseudoscorpionida)	27	1	42	0
ザトウムシ目(Opiliones)	3	0	0	0
ダニ目(Acari)				
ササラダニ亜目(Oribatida)	2836 $\pm$ 1668	600 $\pm$ 1399	19354 $\pm$ 17169	11042 $\pm$ 10100
その他ダニ目	1518 $\pm$ 926	52 $\pm$ 79	12000 $\pm$ 10714	4188 $\pm$ 3200
クモ目(Araneae)	68 $\pm$ 44	3	21	0
ヨコエビ目(Amphipoda)	1	0	0	0
ヤスデ綱(Diplopoda)	2	0	42	0
ムカデ綱(Chilopoda)	1	0	83	83
コムカデ綱(Symphyla)	7	1	208	313
カマアシムシ目(Protura)	5	1	1063 $\pm$ 1201	1063 $\pm$ 1100
トビムシ目(Collembola)	4087 $\pm$ 3781	186 $\pm$ 267	28208 $\pm$ 36606	9563 $\pm$ 7400
コムシ目(Diplura)	0	0	83	42
バッタ目(Orthoptera)	1	0	0	0
シロアリ目(Isoptera)	2	0	0	1042 $\pm$ 5100
カメムシ目(Hemiptera)	360 $\pm$ 651	0	583 $\pm$ 2000	0
アザミウマ目(Thysanoptera)	19	7	0	0
コウチュウ目(Coleoptera)	30	0	313	104
ハエ目(Diptera)	189 $\pm$ 82	13	583 $\pm$ 525	479
ハチ目(Hymenoptera)	114 $\pm$ 333	3	417	583 $\pm$ 2100
チャタテムシ目(Psocoptera)	3	5	0	0
チョウ目(Lepidoptera)	4	0	0	0
不明	5	0	63	83
合計	9315 $\pm$ 6154	878 $\pm$ 1502	63250 $\pm$ 58313	28583 $\pm$ 17424
累積分類群数	21	12	15	11

標準偏差 (SD) はリター層土壌動物では個体数密度 50 m^{-2} 以上、土壌層土壌動物では個体数密度 500 m^{-2} 以上の場合に算出した。

図-3. ヒノキ人工林におけるリター乾燥重量とリター層土壌動物の合計個体数の関係

間伐区, $r = -0.08$, $p > 0.05$; 間伐遅れ区, $r = 0.68$, $p < 0.05$ 。

図-4. ヒノキ人工林におけるリター乾燥重量とリター層土壌動物の分類群数の関係

間伐区, $r = -0.09$, $p > 0.05$; 間伐遅れ区, $r = 0.76$, $p < 0.01$ 。

以上の結果より、間伐遅れ区では間伐区よりも、リター層、土壤層ともに土壤動物の群集構成が単純で個体数密度が低いことが示された。これは、間伐遅れ区における乏しい下層植生やリター量の少なさが原因であると考えられる。

リター層の土壤動物の合計個体数・分類群数とリター乾燥重量との関係を図-3, 4に示す。間伐区では、合計個体数、分類群数ともにリター乾燥重量との間で有意な相関関係は認められなかったが（合計個体数： $r = -0.08$, $p > 0.05$ ；分類群数： $r = -0.09$, $p > 0.05$ ），間伐遅れ区では有意な正の相関関係が認められた（合計個体数： $r = 0.68$, $p < 0.05$ ；分類群数： $r = 0.76$, $p < 0.01$ ）。これらの結果から、間伐遅れ区において個体数密度や分類群数がリター量に強く依存していることが示唆された。リターは腐食者にとって重要な餌資源および住み場所資源であるため、リター量のきわめて少ない間伐遅れ区では、その資源量が腐食者の個体数の制限要因になっているものと考えられる。また、間伐遅れ区ではリター乾燥重量と分類群数の間にも正の相関関係が認められたが、これは、腐食性動物を維持する資源量（リター量）の増加に伴って、食物網が複雑化する可能性を示唆している（Scheu and Setälä, 2002）。捕食者の生存はそれに見合う餌動物の量を必要とする（Moore *et al.*, 1988；Scheu and Setälä, 2002）。リター層・土壤層ともに、間伐遅れ区では間伐区に比べて、捕食性土壤動物であるカニムシ目・クモ目や、おもに捕食性のダニ目から成るその他ダニ目が顕著に少なかった。これは、個体数密度からみて最も主要な餌動物と考えられるササラダニ亜目やトビムシ目の個体数が、間伐遅れ区において圧倒的に少ないことが原因であると推察される。

一方間伐区では、リター層の土壤動物の合計個体数・分類群数とリター乾燥重量との間に関係性はまったくみられなかった。また、同程度のリター乾燥重量では、間伐区の方が間伐遅れ区よりも個体数密度、分類群数ともに多くなっていた。これらの結果は、間伐区では、リター量以外の要因（リターの質、下層植生のバイオマス・多様性など）によって、土壤動物の群集構成、個体数密度に何らかの正の効果が付加されている可能性を示唆している。

本研究では定量的な調査を行っていないが、下層植生の被度は、間伐区と比較して間伐遅れ区において顕著に低かった。下層植生の存在が土壤動物に正の影響を与えることはしばしば報告されており、たとえば、Maleque *et al.* (2006) は、下層植生の現存量の増加に伴って、植物・土壤に生息する節足動物の現存量が増加したと報告している。また、人工林における間伐施業は、リター量や下層植生だけでなく、土壤の物理性や気温、地温、土壤水分といった、土壤動物の生息に関係するさまざまな環境因子に影響を与える可能性がある（Weng *et al.*, 2007；山田, 2003；作田ら, 2009）。これらのことから、間伐区においてリター量以外で土壤動物群集に正の効果を付加している環境要因として、下層植生の存在や林床の微気象が関係している可

能性が考えられる。

本研究によって、ヒノキ人工林では、間伐施業の不足が土壤動物の群集構成を単純化させ、個体数密度を低下させる可能性が示された。森林管理と土壤動物との関係をさらに明確にするためには、さまざまな森林管理の実施状況にある人工林において、下層植生の状態も含めた種々の環境因子と、土壤動物の群集特性や生物量との関係を調査していく必要がある。

本研究を行うにあたり、名古屋大学大学院生命農学研究科の肘井直樹教授には土壤動物の採集・分類から本原稿の執筆まで終始ご指導いただいた。この場を借りて、感謝の意を表する。なお、本研究は、独立行政法人科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業（CREST）における研究課題「森林荒廃が洪水・河川環境に及ぼす影響の解明とモデル化」（研究代表：恩田裕一）により行われたものである。

引用文献

- 阿部晃久 (2006) 針葉樹人工植林地において間伐の有無が林床性アリ類の種構成に与える影響。矢作川研究 10: 105-108.
- 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・有光一登・相場芳憲・杉浦孝蔵 (1981a) 人工降雨によるヒノキ林内の落葉、土壤等の流出移動について (Ⅱ) 下層植生の成立状態の異なる若齢林分のリター、表層土の移動量一。日林論 92: 213-214.
- 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・上田晋之助 (1981b) ヒノキ林分の構成状態と稚樹、下層植生の成立状態について。日林論 92: 221-222.
- Anderson, J.M. (1988) Invertebrate mediated transport processes in soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 24: 5-20.
- Artman, V.L. (2003) Effects of commercial thinning on breeding bird populations in western Hemlock forests. *Am. Midl. Nat.* 149: 225-232.
- 菱 拓雄・池崎翔子・榎木 勉 (2009) 福岡県御手洗流域ヒノキ不成績人工林における下層植生の違いがササラダニの種多様性に与える影響。Edaphologia 84: 11-20.
- 石井徹尚・河原輝彦 (2006) 造林地における林相の境界からの距離とアカネズミ・ヒメネズミの種構成変化。東京農大農学集報 51: 8-13.
- 河田 弘 (2000) 土壌の生成。(森林土壌学概論。博友社)。22-24.
- 清野嘉之 (1988) ヒノキ人工林の下層植物群落の被度・種数の動態に影響を及ぼす要因の解析。日林誌 70: 455-460.
- Lavelle, P. and Spain, A.V. (2001) Soil ecology. 691 pp, Kluwer Scientific Publications.
- Maleque, M.A., Ishii, H.T., Maeto, K., and Taniguchi, S. (2006) Management of insect biodiversity by line thinning in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations, central Japan. *Eur. J. For. Res.* 9: 29-36.
- Moore, J.C., Walter, D.E., and Hunt, H.W. (1988) Arthropod regulation of micro- and mesobiota in below-ground detrital food webs. *Annu. Rev. Entomol.* 33: 419-439.
- 作田耕太郎・谷口 奨・井上昭夫・溝上展也 (2009) ヒノキ人工林における帯状伐採が林床の微気象と樹木種の多様性に与える影響。日林誌 91: 86-93.
- Scheu, S. and Setälä, H. (2002) Multitrophic interactions in decomposer food-webs. In *Multitrophic level interactions*. Tscharntke, T. and Hawkins, B. A. (eds.), Cambridge Univ. Press, 223-264.
- 頭山昌郁・中越信和 (1994) 植林地と二次林における土壤動物相の比較。日生態誌 44: 21-31.
- Weng, S.H., Kuo, S.R., Guan, B.T., Chiang, T.Y., Hsu, H.W., and Shen, C.W. (2007) Microclimatic responses to different thinning intensities in a Japanese cedar plantation of northern Taiwan. *For. Ecol. Manage.* 241: 91-100.
- 山田康裕 (2003) 列状間伐林における高性能林業機械を用いた集材が林地に与える影響について。九州森林研究 56: 74-77.