

九州大学北海道演習林の天然落葉広葉樹林およびカラマツ人工林における斜面方位に着目した土壌と大型土壌動物の特徴

菱, 拓雄
九州大学農学部附属演習林

前田, 由香
九州大学大学院生物資源環境科学府森林資源科学専攻

田代, 直明
九州大学農学部附属演習林

<https://doi.org/10.15017/17054>

出版情報：九州大学農学部演習林報告．91，pp.1-6，2010-03-25．九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：



九州大学北海道演習林の天然落葉広葉樹林およびカラマツ人工林における
斜面方位に着目した土壌と大型土壌動物の特徴*

菱 拓雄**・前田由香***・田代直明**

尾根から谷に至る斜面上の位置や斜面方位の違いは、森林生態系の微気象要素に影響し、土壌にも重要な影響を与えることが知られている。本研究は、植生分布が詳しく調べられている九州大学北海道演習林内の天然落葉広葉樹林およびカラマツ人工林において、斜面上の位置および斜面方位の違いが土壌層位と大型土壌動物の特徴に及ぼす影響を調査した。土壌は天然林、人工林とも北向き斜面および谷部が湿潤、南向き斜面が乾燥立地の特徴を示していた。すなわち、北斜面および谷部では、南斜面と比べて、土壌表層の含水率が高く、C/N比が低く、A₀層の堆積量、厚さが少なく、A層が厚かった。また、ミミズの個体数および現存量密度が北向き斜面で高く、南向き斜面で低かった。大型土壌動物の群集構造は大きく北向き斜面および谷部と、南向き斜面に分けられ、さらに北向き斜面および谷部の群集は人工林と天然林に分けられた。ミミズの個体密度と土壌のC/N比、またツリミミズの個体数密度とA₀層の深さおよび土壌のC/N比の間には有意な負の相関が見られた。土壌および土壌動物の特徴は、斜面位置の違いよりも斜面方位の違いによる影響が大きいようであった。

キーワード：斜面方位、土壌、ミミズ、北海道演習林、冷温帯落葉樹林

1. はじめに

森林生態系の動態を理解する上で、植生と土壌の関係は重要である。森林において植生と土壌は、しばしば尾根から谷に至る斜面上の位置や斜面方位によって決定付けられ、地域内の多極相の好例となっている(Odum 1983; Barnes 1997)。岡野(1995)および前田ほか(2010)は、北海道演習林における落葉広葉樹林の植生タイプが、斜面上の位置と、斜面方位に影響されることを示した。一般に北半球における植生の違いは、北東斜面は日射が弱く、蒸散量は少なく湿潤で、極端な環境変化が起こりにくい環境であるのに対し、南西斜面は日射量が多く、乾燥し、極端な環境変化が起こりやすいといった微気象の違いに起因している(Whitterker 1960)。また、集水面積の違いなどから、斜面の下部は湿潤であり、尾根に近づくほど土壌が乾燥することも知られている(Jenny 1980)。岡野(1995)はこうしたことに加え、日本の日射量の南北差は高緯度地域ほど大きく、内陸の足寄では年降水量が少ないことを挙げ、それが本州に比べて北海道演習林における南北斜面上の植生の違いを際立たせる理由としている。したがって斜面間での植生の違いには立地の乾燥などが重要な要因として考えられる。しかし本演習林において森林土壌が斜面方位や斜面上の位置による群落の違いとどのように関係しているかについては考慮されていない。

また、温帯落葉樹林では、大型土壌動物による分解活動が土壌形成に重要な役割を果たしている(金子 2005)。特に、生態系改変者であるミミズは、種類によって土壌構造、微

生物活性、中型土壌動物の組成を変え、植生の被度にまで影響を与える能力が異なると言われている(Eisenhauerほか 2007)。大型土壌動物の斜面方位と位置における分布は、土壌形成の過程と関係しているかもしれない。

本研究では、北海道演習林の落葉広葉樹天然林およびカラマツ人工林において、斜面方位と斜面上の位置における土壌の特徴の違いを検討した。また、土壌形成に重要と考えられる大型土壌動物の斜面方位、斜面上の位置による分布の違いを検証した。

2. 試験地と調査方法

2. 1. 試験地

北海道足寄町の北海道演習林において研究を行った。2004年から2008年の過去5年間の年平均降水量は742mm、年平均気温は6.2℃で、2008年の最高月平均気温は8月の32.2℃、最低月平均気温は1月の-24.0℃であった。いずれも降水量が低く、気温年較差の大きい内陸性の気候条件を示している。調査期間のうち、2008年の降水量、気温は平年並みであった。2009年の気温については平年並みだったが、6月、7月の降水量、降水日数は観測を開始した1976年以降33年間のうちで最大であった(気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)。本演習林の天然林植生は、冷温帯上部の落葉広葉樹林からなる。また、人工林のほとんどはカラマツ人工林である。本研究で用いた天然林は少なくとも120年以上放置されており、人工林はおよそ50年生である。また、北海道演習林の土壌は、広く黒色森林土、あるいは黒ボク土に覆われている(岡野 1995)。

* Takuo Hishi, Yuka Maeda, Naoaki Tashiro: Characteristics of soil and soil macro-fauna in relation to slope directions in cool temperate natural forests and larch plantations of Ashoro Research Forest.

** 九州大学農学部附属演習林

*** 九州大学大学院生物資源環境科学府森林資源科学専攻
(2009年10月30日受付; 2009年12月21日受理)

19林班自然林保全区の北向き斜面に天然林北上部，天然林北下部の調査地，20林班自然林保全区の南向き斜面上に天然林南上部，天然林南下部，天然林谷部の調査地を選定した。同様に，20林班の約50年生カラマツ人工林の南斜面上に人工林南上部，人工林南下部，谷に人工林谷部の調査地，20林班北向き斜面上と21林班北向き斜面上に人工林北上部，人工林北下部の調査地を設定し，それぞれの調査地に20m四方の調査区を設置した。調査地の植生についての詳細は，前田ほか（2010）に記述されている。

2. 2. 土壌調査

20m四方の各調査区を10mごとに4分割し，9点の格子点を設けた。土壌試料は2008年の8月に各調査区の斜面上部から下部が含まれるように，3格子点において採取した。各土壌採取地点からA₀層を25cm²採取し，直下の鉱質土を断面積20cm²，深さ5cmをもつ円筒形100ccコアを用いて採取した。採取した土壌は紙袋に入れて実験室に持ち帰り，湿重を測定した後，40℃で10日以上乾燥させ，乾燥重量を測定した。2009年の7月には，各調査区の調査区の辺の直近2m以内かつ調査区の外側で，斜面に沿って10mおきに上側近くから中，下側において土壌採取を行なった。各土壌採取地点で20cm四方の枠を当て，A₀層を採取した。その直下より，断面積100cm²深さ4cmの円筒形400ccコアを用いて鉱質土を採取した。さらに，その直近の地点より4-8cmの土壌を採取した。採取したA₀層と鉱質土は，紙袋に入れ，実験室に持ち帰った。持ち帰った土壌は根を除き，大型土壌動物のハンドソーティングを行なった後，湿重を測定した。これらの土壌は70℃のオーブンで72時間以上乾燥させた後，乾燥重量を測定した。乾燥した2008年の表層（深さ0-5cm）土壌の炭素濃度と窒素濃度をCNコーダー（Yanaco CN corder MT-700, Yanaco Co.）で測定した。2008年，2009年ともに，土壌の採取地点の近くで土壌断面を30～40cm掘り，A₀層の厚さ，A層の厚さを記録した。A層とB層の境界は，南斜面上部において明瞭（Clear: 境界の厚さ1-3cm，日本ペドロロジー学会，2006）であったが，北斜面及び谷部近くでは判然（Gradual: 境界3-5cm），あるいは漸変（Diffuse: 境界5cm以上）であった。このようにB層との境界が判然である地点に関しては，黒色土壌の割合が明褐色の割合よりも小さくなった部分までをA層とした。A層とB層が複数現れる土壌については，調査した深度40cmまでの深さまで植物の根が確認されていること，ミミズなどの生物の確認ができることから，現れた有機質の鉱質土層の厚さの合計をA層の厚さとした。

2. 3. 大型土壌動物調査

2009年のA₀層と鉱質土層0-8cmの土壌を室内に持ち帰り，ハンドソーティング法で2mm以上の大きさの土壌動物（大型土壌動物：Macro fauna）をピンセット，吸虫管を用いながらアルコール瓶に移した。ミミズのみ水洗いした後，体重を測定した。得られた大型動物は，青木（2000）に従

って，外部形態から識別可能なレベルまでの分類を行なった。これらの動物は，個体数をそれぞれ記録し，ミミズとそれ以外に分けて体重を測定した。したがって，ミミズ以外の動物の現存量はアルコール湿重を用いた。30個体のミミズのアルコール湿重と，生体湿重を調べた結果，ミミズの生体湿重は，フトミミズ，ツリミミズの科に関わらずアルコール湿重の1.50±0.01倍（n=30，平均値±標準偏差）であった。

鉱質土層のコアで土壌を採取しなかった8cm以降の土壌について，40cmまでの深さまで，土壌断面を作成した面にそって，表面積100cm²の土壌を採取し，現地にてハンドソーティングでミミズを採取した。各地点で得られたミミズは，ミミズを含まない土壌とリターを入れた袋に入れて実験室に持ち帰り，個体数と生体重を測定した。つまり個体数密度と現存量密度については，ミミズは有機物層から深さ0-40cmの個体数と水湿重，他の動物は0-8cmの個体数とアルコール湿重をm²あたりの量に換算した。

2. 4. 解析

土壌含水率，A₀蓄積量，A₀層の厚さ，A層の厚さ，C濃度，N濃度，C/N比について，変数を対数変換した後，林相（天然林，人工林），斜面の立地（北上部，北下部，南上部，南下部，谷部）条件を固定効果，サンプリングの年度を変量効果とした混合線形モデル（Mixed Liner Model）を用いて解析した。ミミズの湿重に関しては，対数変換の後，一元配置の分散分析で解析し，ミミズの個体数に関しては，Poisson分布の対数モデルを用い，一般化線形分析を行った。土壌動物群集の比較に，各立地で分類群ごとにプールした密度データを用い，クラスター解析をWard法で行なった。

3. 結 果

A₀層の重量と表層土壌のN濃度は林相および立地間で有意に異なっていた（表1）。A₀層の深さ，A層の深さ，土壌の窒素濃度，C/N比，含水率は，林相によって有意な違いはなく，立地間で有意に異なっていた。土壌の炭素濃度は林相，立地要因による有意な違いはみられなかった。土壌含水率は，天然林，人工林ともに谷部でもっとも高く，

表1. 天然林，人工林の各立地区分におけるA₀重量，A₀深さ，A層深さ，表層土壌（0-5cm）の炭素，窒素濃度，C/N比，および含水率に対する混合線形モデルの林相および立地の効果に対するF値と有意確率。

	林 相	立 地	林相×立地
A ₀ 重量	26.673****	3.472*	2.185ns
A ₀ 深さ	2.947ns	23.842****	0.701ns
A層深さ	2.012ns	19.452****	1.468ns
C濃度	3.642ns	2.015ns	1.211ns
N濃度	5.561*	6.662**	0.788ns
C/N比	0.249ns	21.854****	2.858ns
含水率	0.437ns	3.963**	1.462ns

*, **, ****は，それぞれの固定効果に対する有意確率P<0.05, 0.01, 0.0001を示す。

斜面の上部にむかって増加した(表2)。また、南斜面の土壤含水率は、北斜面よりも有意に低かった。特に人工林の谷部は湿地を含んでおり、含水率が他の立地に比べて2倍近く高かった。A₀層の重量は、谷部から斜面上部に向かって増加し、南斜面で北斜面よりも堆積量が有意に多く、また人工林の方が天然林よりも多かった(表2)。A₀層の深さも立地に対して同様の傾向にあり、谷部で浅く、北斜面、南斜面の順に深かった(図1)。A層の深さはA₀層の深さとは逆のパターンを示しており、谷部から斜面上部にかけて薄くなり、南斜面で北斜面よりも薄かった。窒素濃度は南斜面で低く、北斜面で高かった。C/N比は南斜面で大きく、谷部や北斜面で小さかった。

大型土壤動物の個体数密度は、林相および立地に対して有意な違いはみられなかった(表3)。ミミズの個体数密度は林相間で有意な違いはみられず、立地間で有意に異なっていた。ミミズ個体数密度は北斜面で高く、南斜面で低かった(表4)。大型土壤動物の現存量は、立地と林相に対して有意に異ならなかった(表5)。ミミズの現存量は立地の影響を有意に受けていた。いずれの立地においても全大型土壤動物現存量に対してミミズの現存量がほとんどを占めていた(表6)。天然林、人工林ともに北斜面のミミズの現存量は南斜面よりも大きかった。谷部ではミミズの個体数密度および現存量は、天然林では高かったが、人工林では最も低い値を示した(表4, 6)。

土壌の性質およびミミズの密度、重量との相関関係を表7に示した。土壌が湿潤であるほどA₀層が少なく、乾燥するほど多くなる傾向がみられた。逆にA層は湿潤なほど厚

かった。ミミズの個体密度と土壌のC/N比に有意な負の相関がみられた。ツリミミズの個体密度とA₀層の深さおよび土壌C/N比の間に有意な負の相関がみられた。ミミズの密度とA₀層の重量および深さとの負の相関、ミミズの密度とA層の厚さとの正の相関の傾向がみられたが、これらは有意ではなかった。この傾向はミミズの現存量にも見られたが、いずれも有意ではなかった。

土壤動物群集のクラスター分析の結果を図2に示す。土壤動物群集は、大きく谷部・北斜面群集と、南斜面群集に分けられた。また、北斜面・谷部の中では、天然林と人工林の群集で分けられていた。表4から、南斜面ではアリ、ヒメフナムシなどが相対的に多く、北斜面・谷部にはナガミミズ目が相対的に多かった。また、いずれの林相、立地においてもツリミミズ科がフトミミズ科に対して多かったが、天然林では人工林に比べてフトミミズ科が多くいることが特徴的であった。

4. 考 察

本研究は、北海道演習林において植生に大きく影響を与える斜面方位、斜面上の位置と土壤層の特徴の対応関係を調べた。本調査の結果、天然林、人工林ともに、土壌は谷部 北下部 > 北上部 > 南下部 > 南上部の順に湿潤であり、表層土壌のC/N比は南斜面 > 北斜面 谷部の順に高かった(表2, 図1)。これに応じて、土壌の堆積腐植は北斜面・谷部で少なく、南斜面で多くなり、黒色のA層は北斜面・谷部で厚く、南斜面で薄くなった。これらは互いに相関性をもっており(表7)、湿潤で、C/N比の低い立地では、A₀の

表2. 林相および立地におけるA₀層重量(n=6)と表層土壌(0-5cm)の炭素濃度(n=3)、窒素濃度(n=3)、C/N比(n=3)、含水率(n=6)の平均値と標準誤差。

	A ₀ 重量(t/ha)	C(%)	N(%)	C/N	含水率(g/g)
天然林					
北上部	17.3 ± 2.5	14.6 ± 3.2	0.97 ± 0.15	14.8 ± 1.1	1.08 ± 0.10
北下部	9.8 ± 2.1	17.3 ± 4.4	1.29 ± 0.28	13.2 ± 0.6	1.26 ± 0.09
南上部	21.1 ± 4.7	12.8 ± 2.5	0.76 ± 0.14	16.8 ± 0.8	0.97 ± 0.15
南下部	19.3 ± 5.4	13.8 ± 0.4	0.83 ± 0.06	16.7 ± 0.6	1.10 ± 0.11
谷 部	11.4 ± 2.7	16.9 ± 1.2	1.22 ± 0.08	13.8 ± 0.1	1.29 ± 0.10
人工林					
北上部	28.9 ± 3.3	12.6 ± 1.8	0.85 ± 0.09	14.7 ± 0.7	1.07 ± 0.08
北下部	28.0 ± 1.4	10.7 ± 1.1	0.87 ± 0.06	12.2 ± 0.4	1.18 ± 0.28
南上部	24.8 ± 4.4	13.4 ± 2.2	0.67 ± 0.12	20.0 ± 0.3	0.94 ± 0.09
南下部	33.9 ± 10.1	8.7 ± 1.5	0.55 ± 0.09	15.7 ± 0.3	0.78 ± 0.09
谷 部	16.8 ± 2.3	17.8 ± 2.8	1.22 ± 0.14	14.4 ± 0.7	2.44 ± 1.06

表3. ミミズと大型土壤動物の個体密度に対する一般化線形モデルおよび各効果の過分散に基づく尤度比検定結果、Poisson分布を仮定し、リンク関数に対数を用いている。尤度比×二乗値と有意確率を示す。

	モデル	林相	立地	林相×立地
ミミズ個体密度	18.08*	4.24*	12.50*	4.37ns
動物個体数密度	24.4*	1.83ns	5.46ns	18.81*

ns: P 0.05, *: P < 0.05

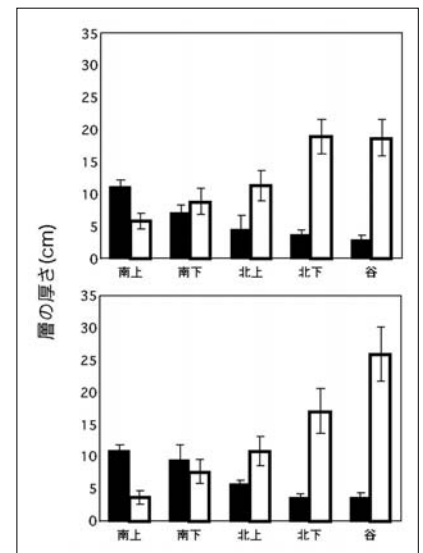


図1. 天然林と人工林のA₀層(黒棒)およびA層(白抜き棒)の厚さの平均値と標準誤差(n=6)。

表4．土壌動物の密度(個体数/m²)の平均値と標準誤差を示す(n=3)。

	北上部	北下部	南上部	南下部	谷 部
天然林					
ナガミミズ目	267 ± 120	250 ± 29	117 ± 73	108 ± 96	250 ± 95
ツリミミズ科	267 ± 120	133 ± 67	67 ± 33	100 ± 100	217 ± 65
フトミミズ科	0 ± 0	117 ± 92	17 ± 8	0 ± 0	33 ± 33
イトミミズ目	25 ± 25	8 ± 8	8 ± 8	91 ± 22	25 ± 25
イシムカデ目	33 ± 33	33 ± 33	0 ± 0	0 ± 0	117 ± 60
ジムカデ目	33 ± 2.7	125 ± 66	0 ± 0	67 ± 33	183 ± 126
ヤスデ綱	100 ± 58	25 ± 14	0 ± 0	8 ± 8	17 ± 17
クモ目	58 ± 46	75 ± 25	17 ± 17	50 ± 25	108 ± 30
アリ科	67 ± 30	33 ± 33	17 ± 17	417 ± 404	8 ± 8
ヒメフナムシ属	0 ± 0	17 ± 17	8 ± 8	75 ± 63	0 ± 0
コウチュウ目	125 ± 101	58 ± 22	42 ± 30	58 ± 22	0 ± 0
ガロアムシ目	17 ± 8	50 ± 38	0 ± 0	0 ± 0	8 ± 8
その他昆虫綱	8 ± 8	25 ± 25	25 ± 25	0 ± 0	67 ± 30
マキガイ綱	17 ± 8	8 ± 8	0 ± 0	25 ± 25	50 ± 0
天然林計	750 ± 188	708 ± 146	217 ± 65	975 ± 456	833 ± 117
人工林					
ナガミミズ目	267 ± 120	275 ± 63	50 ± 38	33 ± 33	92 ± 36
ツリミミズ科	267 ± 120	275 ± 63	50 ± 38	33 ± 33	92 ± 36
フトミミズ科	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
イトミミズ目	33 ± 33	42 ± 30	0 ± 0	0 ± 0	92 ± 58
イシムカデ目	100 ± 58	83 ± 22	83 ± 42	17 ± 8	0 ± 0
ジムカデ目	50 ± 14	42 ± 42	67 ± 33	33 ± 33	67 ± 33
ヤスデ綱	0 ± 0	33 ± 33	17 ± 8	0 ± 0	33 ± 33
クモ目	50 ± 14	58 ± 8	58 ± 30	50 ± 0	117 ± 17
アリ科	108 ± 65	25 ± 25	283 ± 145	42 ± 42	8 ± 8
ヒメフナムシ属	0 ± 0	0 ± 0	42 ± 42	33 ± 22	0 ± 0
コウチュウ目	17 ± 8	33 ± 22	25 ± 14	0 ± 0	17 ± 17
ガロアムシ目	0 ± 0	25 ± 25	0 ± 0	0 ± 0	8 ± 8
その他昆虫綱	17 ± 8	17 ± 17	8 ± 8	0 ± 0	0 ± 0
マキガイ綱	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
人工林計	642 ± 169	633 ± 145	700 ± 153	208 ± 60	425 ± 52

表5．ミミズと大型土壌動物の現存量に対する一般化線形モデルおよび各効果の過分散に基づいた尤度比検定結果，正規分布を仮定し，リンク関数に対数を用いている。尤度比×二乗値と有意確率を示す。

	モデル	林相	立地	林相×立地
ミミズ現存量	20.4*	0.54ns	14.5**	7.9ns
動物現存量	19.6*	0.26ns	10.7*	10.3*

ns : P 0.05 , * : P < 0.05 , ** : P < 0.01

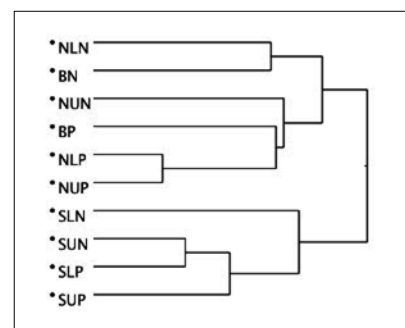


図2．大型土壌動物の個体密度による階層型クラスター分析の結果を距離スケールで示す。NUN, NLN, SUS, SLN, BNはそれぞれ天然林の北斜面上部, 北斜面株, 南斜面上部, 南斜面株, 谷部を, NUP, NLP, SUP, SLP, BPはそれぞれ人工林の北斜面上部, 北斜面株, 南斜面上部, 南斜面株, 谷部をあらわしている。

表6．土壌動物の重量密度(g/m²)の平均値と標準誤差を示す(n=3)。

	北上部	北下部	南上部	南下部	谷 部
天然林					
ミミズ	148 ± 40	115 ± 43	29 ± 13	45 ± 25	151 ± 63
動物計	157 ± 39	117 ± 42	30 ± 13	47 ± 25	225 ± 120
人工林					
ミミズ	169 ± 72	186 ± 91	15 ± 8	35 ± 35	5.2 ± 0.9
動物計	169 ± 72	219 ± 101	16 ± 8	35 ± 35	11 ± 1.6

堆積量が少なく、かわりに鉱物と有機物が混ざり合ったA層の蓄積が増すというパターンがみられた。この結果は、水分環境と有機物堆積の関係として良く知られたパターンと一致している（例えば、金子，2005）。カラマツ人工林では、未分解の落葉からなる層が多く集積している様子が観察されたが、天然林においては未分解の落葉層は比較的未発達であり、いずれも5cmから30cm以上のA層が確認された。一般に森林における林床腐植堆積様式には、モル、モダー、ムルにタイプ分けされ、さらに腐植堆積タイプと表層土壌のC/N比には密接な関係があることが知られている。湿性地にみられるムル型のA₀層は落葉分解の速さから堆積量が少なく、A層がよく発達し、表層土壌のC/N比およそ10-15の範囲に含まれる。これに対し乾性地に見られるモル、モダー型は遅い落葉分解速度を反映し、厚い腐植層と未発達のA層をもち、表層土壌のC/N比は20を超える範囲にある(武田，2002)。これらのことから、本調査地の土壌は、谷部、北斜面から南斜面中腹にかけてムル型に近く、南斜面上部で乾性のモダー型に近い土壌型として捉えられ、この傾向はカラマツ人工林で天然林よりも強かった。南斜面が北斜面よりも土壌乾燥が強くなる傾向は、過去の研究による一般的傾向に一致している(Barnesほか，1998)。

A層はいずれの立地でも黒色で均質な団粒構造をもっており、ミミズの活動があることが示唆された。塚本(1986)によれば、日本の落葉広葉樹林におけるミミズの消化管内容物を除かない場合の湿重バイオマスは、1m²あたりおよそ1-36gである。これに対して、本調査地の南斜面がこの範囲に含まれるか、あるいは少し高い程度であったが、北斜面や天然林谷部のミミズの密度は90g/m²から200g/m²を超え、既出の日本におけるミミズの現存量密度に対して非常に高かった。これはUchida et al. (2004)の北海道苫小牧に置けるミミズの密度(47匹/m²，56g/m²)よりも高く、イギリスの針広混交林のムル型土壌(78-493匹/m²，148-162g/m²)や、スウェーデンのニレ林の森林褐色土(122-227匹/m²，63.2-89.3g/m²)における記載(塚本，1986より)に匹敵する。

ミミズ密度が今回の調査において高かった理由として、まず調査年度(2009年7月)の十勝地方では、30年ぶりの記録的な高い降水量及び長い降水日数を記録したこと(気象庁，<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)が挙げられる。新島・橋本(2008)が関東地方の常緑広葉樹天然林で調べた結果では、多雨年のミミズ現存量が少雨年の現存量に比べて4倍以上になることが記録されている。こうした長雨の影響については、今後長期観測を行い、乾燥年との比較を行なうことで、降雨とミミズ個体群の分布との関係を明らかにしていくことができると考えられる。また、前述したように本州以南と北海道の地域的なミミズ群集の違いが本演習林のミミズ密度に関係しているかもしれない。フトミミズ科の優占する日本の本州の事例では、ツリミミズ科が優占するケースが多いヨーロッパの事例に比べてミミズの個体数密度や現存量が低いことが指摘されている(新島・

2008; 塚本，1986)。北海道は本州以南と異なり、林地にツリミミズ科が優占するケースが多い(中村，1972)。Uchida(2004)は北海道苫小牧のミミズの現存量及び個体数密度が関東の温帯林に比べて大きいことを示している。しかしヨーロッパや北海道演習林のようにツリミミズが優占する地域で、なぜミミズ群集の密度や現存量が高いのかについて詳しい原因はわかっていない。本州や九州などとの比較研究を今後進めていく必要があるだろう。また、土壌試料の量に関して、通常的大型土壤動物調査が2500cm²枠などを使うのに比べて、本研究は100-400cm²と土壌採取量が小さいため、体を切断しないように採取したミミズサンプルについて過大評価している可能性があることが考えられる。

北斜面においてミミズの個体密度および現存量は高く、南斜面のミミズでは低かった。これはミミズが湿潤環境やC/N比の低い土壌を好むという従来の結果と合致する(金子，2005)。ただし、含水率の最も高い谷部について天然林谷部ではミミズの密度が高く、人工林谷部では低かった。天然林谷部調査区は、河岸段丘の上の湿生林に設置されているのに対し、人工林谷部調査区は湿地を含んでおり、人工林谷部の含水率は他の立地の含水率よりもはるかに高かった(表2)。人工林谷部では過湿環境をミミズが避けたのかもしれない。

土壤動物群集は北斜面・谷部と南斜面で異なっており(図2)、その違いはミミズの密度によるものと考えられた(表4)。また、人工林においては、フトミミズが少なかった。斜面の乾燥傾度やC/N比の違い(表2)により、分解者群集の組成が異なることは一般に知られている(金子，2005；Saitohら，2007)が、今回の調査では、斜面傾度による違いよりも、南北斜面による違いが大きかった。

土壌と土壤動物の関係は、単にすみ場所の提供と居住者の一方向的な関係だけでなく、土壤動物が土壌形成を行なうというフィードバックがある。特にミミズは土壌改変に関して重要な役割を担っている(金子，2005)。ミミズは、落葉など有機物を鉱物とともに摂食することで、有機物層をA層のような腐植に富む鉱質土に変換する役割をもつことで知られる。従って、ミミズの活動性の高いところでは有機物層が少なく、A層が厚くなり、活動性の低いところでは有機物層は厚く堆積し、A層は薄くなるはずである。今回の調査では、大まかにそのような傾向が見られた(表7)が、土壌特性とミミズの量の間の関係全てが有意ではなかった。ミミズは、生活形が様々であり、それぞれの生活形を反映して、土壌形成の機能も大きく異なっている(Uchida et al., 2004; Eisenhauer, 2007)。表層種(epigeic)では、リターの微生物群集や窒素循環への影響は大きいものの、林床有機物と鉱物の攪拌作用は相対的に弱く、深層種(endogeic)や、表層採食深層種(anecic)では、有機物をより深部までの土壌を攪拌することができる。アメリカ北部のミミズによる有機物から鉱質土への変換に関する研究から、土壌形成に対する影響は、これらミミズの機能群の多様性や群集構造が、ミミズの個体数やバイオマスよりも重要で

表7. 各林分における平均値同士のスペアマンの順位相関の結果(n=10)。太字は有意確率P < 0.05で有意であることを示す。

r_s	A ₀ 層重量	A ₀ 層深さ	A層深さ	C/N比	含水率
A ₀ 層重量	1	0.7052	-0.8667	0.6606	-0.9030
A ₀ 層深さ		1	-0.9119	0.9240	-0.8389
A層深さ			1	-0.8667	0.9152
C/N比				1	-0.7333
ミミズ個体数	-0.4134	-0.5793	0.4377	-0.6565	0.3769
ツリミミズ個体数	-0.4863	-0.6646	0.5106	-0.6809	0.4742
ミミズ重量	-0.2364	-0.4559	0.2727	-0.6121	0.1879

あることが示唆されている (Eisenhauerら, 2007)。しかしながら, 今回の調査では, ミミズの生活形まで示していない。今後, ミミズの生活形を含めた詳細な調査によって, ミミズ群集の機能群構造と土壌形成の関係が明らかになることが期待される。

岡野 (1995) は, 北海道演習林の植生分布の特徴を明らかにした上で, 天然林, 人工林の時空間配置を決定する要因の解明が大学演習林としての森林管理に重要であることを提言している。本研究は, 植生の大きく異なる北海道演習林の南北斜面及び斜面上の位置において, 生産者群落の規定要因の一つと考えられる土壌の特徴について記述した。本研究の結果より, 北海道演習林では天然林, 人工林に関わらず, 土壌の性質および大型土壌動物に対して, 斜面上部ほど乾性の性質を持ち, その傾向は南斜面で強いことを示した。これは, 岡野 (1995) によって示された乾性傾度に沿った群落構造という観点に対応している。今後, 本研究における土壌分解系の特徴と岡野 (1995) および前田 (2010) の生産者群落の量的な対応関係を明らかにすることで, 北海道東部の天然性落葉広葉樹林および周辺地域で重要なカラマツ造林地を含む本演習林全体の森林生態系の特性をより詳細に示すことが期待される。

謝 辞

本研究の一部は日本学術振興会より若手研究 (B) (課題番号19780118) および九州大学教育研究プログラム・研究拠点形成プロジェクト (代表, 榎木勉: 森林における長期生態研究を核とした教育研究基盤の整備) の助成を受けて行なわれた。

引用文献

- 青木淳一 (1999) 日本産土壌動物. 東海大学出版会
 Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R., Spurr, S.H. (1998) Forest Ecology 4th Ed. Wiley, New York.
 岡野哲郎 (1995) 立地環境による森林群落の分布と種組成の推定に関する生態学的研究. 九州大学博士論文
 Eisenhauer, N., Partsch, S., Parkinson, D., Scheu, S. (2007) Invasion of a deciduous forest by earthworms: Changes in soil chemistry, microflora, microarthropods and vegetation. Soil Biology and Biochemistry 39, 1099-1110
 金子信博 (2005) 土壌生態学入門. 東海大学出版会
 Jenny, H. (1980) The soil resources: Origin and Behavior. Springer-Verlag, New York.
 中村好男 (1972) 北海道産ツリミミズ類の生態に関する研究. 1.

生態的分布. 日本応用動物昆虫学会誌 16, 18-23

新島淳子・橋本みのり (2008) 多摩森林科学園の土壌動物に関する研究2. 常緑樹天然林における大型土壌動物. 森林総合研究所研究報告 7, 1-8

日本ペドロロジー学会 (2006) 土壌断面の記載. 土壌調査ハンドブック改訂版. pp.51-99. 博友社.

Odum, E.P. (1960) Basic Ecology, CBS College Publishing (オダム, EP著, 三島次郎 (訳) (1991) 基礎生態学. 培風館)

Saitoh, S., Mizuta, H., Hishi, T., Tsukamoto, J., Kaneko, N., Takeda, H. (2008) Impacts of deer overabundance on soil macro-invertebrates in a cool temperate forest in Japan: a long-term study. 森林研究 77:63-75

塚本次郎 (1986) 我国の森林の落葉消失に果たすミミズの役割評価について. ヨーロッパとの比較を中心に. 森林立地 28, 1-10.

Uchida, T., Kaneko, N., Ito, M.T., Futagami, K., Sasaki, K., Sugimoto, A. (2004) Analysis of the feeding ecology of earthworms (Megascopidae) in Japanese forests using gut content fractionation and $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ stable isotope natural abundances. Applied Soil Ecology 27, 153-163.

Whittaker, R. H. (1960) Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. Ecological Monographs 30: 279-338.

前田由香・菱拓雄・田代直明・馬淵哲也・井上幸子・長慶一郎・山内康平・緒方健人・久米篤 (2010) 九州大学北海道演習林のカラマツ人工林及び落葉広葉樹天然林における斜面方位と斜面上の位置による植生の特徴. 九州大学演習林報告91, 1-7

Summary

Slope positions and slope directions are important factors for micro-climates of forest ecosystems and should affect soil conditions. This study demonstrates characteristics of soil and soil-macrofauna communities in relation to slope positions and directions in natural cool-temperate deciduous broad leaved forests and in plantations of deciduous conifer, Japanese larch of ARF (Ashoro Research Forest) where vegetation patterns have been well surveyed. Soil characteristics of north-facing slopes and bottom valley were mesic with high water content and A depth, and low C/N ratio and A₀ accumulation relative to those of south-facing slopes in both natural and plantation forests. Density and biomass of earthworms was higher in north-slopes and bottom of valley than south-slopes. Community structure of macro-fauna in northern-slopes and bottom of valley were different from that of southern-slopes. They were different between in plantation and in natural forests within north-slopes and bottom of valley. Population density of earthworms was negatively correlated with A₀ thickness and C/N ratio. Both soil properties and soil macro-fauna community were quite different between slope directions.

Keywords: Slope direction, soil, Earthworm, Ashoro Research Forest (ARF), Cool-temperate deciduous forest.