

船生演習林のミミズ相 Earthworm fauna in Utsunomiya University Forests at Funyu

新井 翠¹・南谷 幸雄²・逢沢 峰昭¹・大久保 達弘¹

Midori ARAI¹, Yukio MINAMIYA², Mineaki AIZAWA¹, Tatsuhiro OHKUBO¹

¹ 宇都宮大学農学部森林科学科 〒321-8505 宇都宮市峰町 350

Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University,

350 Mine-machi, Utsunomiya, Tochigi 321-8505, Japan

² 栃木県立博物館 〒320-0865 栃木県宇都宮市睦町 2-2

Tochigi Prefectural Museum, 2-2 Mutsumi-cho, Utsunomiya, Tochigi 320-0865, Japan

はじめに

土壌動物は、生物遺体の分解や土壌構造の改良に重要な役割を担っている。土壌動物群集は、同じ食性をもち同じ資源利用を行うものを機能群として捉えると、微生物食者、落葉食者、生態系改変者、捕食者の4つに分類できる。ミミズなどの生態系改変者のもつ生活史特性の多様性は土壌の物質循環などの生態系機能に大きな影響を与えると考えられている(金子2004)。

ミミズとは、環形動物門貧毛綱に属する動物の総称で、一般に大型の陸棲貧毛類を示す。ミミズは土壌中の分解者系において現存量(バイオマス)が大きく、森林生態系を含めた生態系全体の物質循環に大きな影響力をもつことが知られている(市川ら2008)。また、土壌生態系の食物網においてモグラなどの食虫類、オサムシ類、鳥類などの餌資源として大きな役割をもつ(渡辺1972)とともに、土壌中の移動や糞によって土壌構造を改変し、植物の成長に影響を与えている(Lavelle 1988)。

ミミズは、ヨーロッパでは盛んに研究されているが、日本では種の同定が困難であったため、ミミズに関する研究は進んでいない。しかし、近年、分類方法の整理にともなって、フトミミズ科(Megascolecidae)の種レベルでの群集構造の調査が可能になり(石塚2001)、栃木県のミミズ相も明らかにされつつある(上平2006)。また、ミミズを含む大型土壌動物の豊かさは森林等の自然の豊かさの指標になる(境野ら2002)と考えられることから、森林の土壌の豊かさを評価する上で、ミミズ相の多様性の把握は重要と考えられる。この点から、ミミズの多様性と針葉樹、広葉樹等の森林タイプや施

業の関係に関する研究もみられるようになってきた(例えば、安藤ら2008)。しかし、事例はまだ少ない。そこで本研究では、宇都宮大学の船生演習林の皆伐地、ヒノキ人工林、スギ人工林、広葉樹二次林において、ミミズ相を明らかにするとともに、森林タイプとの関係について考察することを目的とした。

調査地および方法

1. 調査地

本研究の調査地は、栃木県塩谷郡塩谷町にある宇都宮大学農学部附属船生演習林(以下、船生演習林)(N36°46', E139°49')である(図-1)。船生演習林は高原山(標高1,795 m)の南麓の丘陵地帯にあり、船生演習林に近い気象庁塩谷町観測所の過去30年(1981~2010年)の観測値によると、年平均気温12.3°C、年平均降水量1,624 mmである(気象庁2015)。1月から3月の間に降雪はあるものの、積雪量は少ない。森林は冷温帯と暖温帯の中間的特

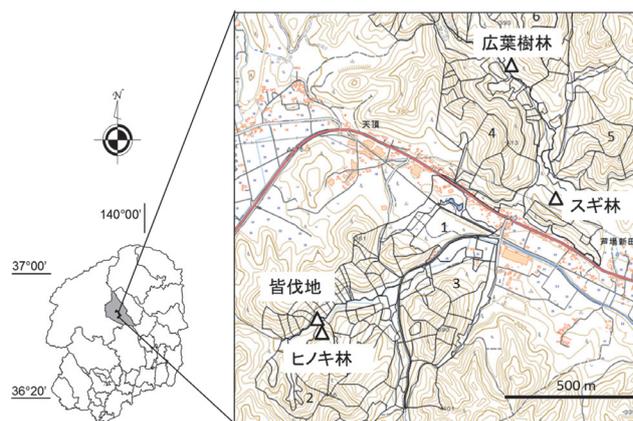


図-1 調査プロットの位置図

徴をもつ中間温帯に属する。土壌は黒ボク土、基岩は第三紀層石英粗面岩で、これを関東ロームが覆っている。土壌はこれらが風化したもので一般に不良である(酒井ら 1994)。船生演習林は総面積のうち、スギ *Cryptomeria japonica*、ヒノキ *Chamaecyparis obtusa*、アカマツ *Pinus densiflora* などの針葉樹林が 70% (397.13ha)、伐採などの人為的影響によって生じたコナラ *Quercus serrata* subsp. *serrata*、フモトミズナラ *Quercus serrata* subsp. *mongolicoides* を主とする二次林が 20% を占める(鷺見ら 2015)。

調査プロットとして船生演習林の皆伐地、ヒノキ人工林(以下、ヒノキ林)、スギ人工林(以下、スギ林)、広葉樹二次林(以下、広葉樹林)に各 1 プロット、合計 4 プロットを設定した(図-1, 2)。皆伐地(2林班と小班)は、元林齢 62 年(以下、林齢は 2015 年時点で示す)のヒノキ林で、2014 年に皆伐し、現在、ヒノキを新植してから林齢 1 年である。ヒノキ林(2林班か小班)は林齢 33 年、スギ林(4林班ら小班)は林齢 55 年、広葉樹林(6林班を小班)は林齢 49 年である。

2. 調査方法



図-2 調査地の様子

ミミズの採集

採集期間は 2015 年 6 月から 10 月とし、各月 1 回の採集を行った。各林分に 20 m×20 m のプロットを設置し、その中に 50 cm×50 cm のコドラートを毎月ランダムに 5 箇所設定した。各コドラートにおいて、ハンドソーティング法によりミミズを採集した。ミミズは生活型によって生息する土壌層が異なる(Ishizuka 1999) ため、リター層、土壌の 0～5 cm 層、5～15 cm 層に分けて採集した。採集したミミズは各コドラートの各層別にプラスチック容器に土壌とともに入れ、保冷して実験室に持ち帰った。ミミズは水洗して泥などを落とし、頭数のカウントと生重量(バイオマス量)の測定を各コドラートの各層別に行った。なお、バイオマス量は水洗したミミズをキムワイブの上に乗せて軽く水気をきった後、ビーカーに入れて 0.01 g 単位で測定した。

ミミズの同定

バイオマス量を測定後、ビーカーにミミズを入れ、1/4 に希釈した 80% エタノールをビーカーにミミズが浸るくらいまで少しずつ注ぎ、約 15 分間ミミズが動かなくなるまで静止して麻醉した。ドラフト内でバットにキムワイブを敷き、ミミズが浸るくらいの 10% ホルマリン溶液を注ぎ、その上に麻醉したミミズを移して固定した。この際、ミミズの太さに合わせて太さの異なる 2 種類のストローを用意し、その中にミミズを入れて固定した。ストローの上からキムワイブをかぶせ、ホルマリン溶液の蒸発を防ぐためにバットにサランラップをかけ、ドラフト内で約 24 時間静置した。固定したミミズは 5% ホルマリン溶液の入った密封性のあるプラスチック容器に入れ、コドラートの各層別に液浸標本として保存した。

固定したミミズは主に環帯の成熟度合や性徴の有無、雄性孔の有無、摂護腺の有無により、成体(亜成体も含む)と幼体に分類し、成体に関しては石塚(2014)を基にして種の同定を行った。なお、亜成体とはミミズにおいて性的な形質が出現する成長段階である。また、同定は腹面(通常は背面が一般的)の第 30 体節辺りから第 1 体節(口)までをメスを用いて開腹した後、実体顕微鏡により剛毛の配列、雄性孔の形状、受精囊の数・位置、性徴の形状・数・位置、腸盲囊の形状、摂護腺の有無、外部標徴の有無・形状、生殖腺の有無を確認した。腸盲囊の形状は、種ごとに決まっていて、4 型あり、生活史と対応している(石塚 2014)。指状型は表層種(土壌の表層に生息する)、突起状型は浅層種(地表より 30 cm 以内の地中に生息する)または深層種(地表より 30 cm～数 m の地中に生息する)の一部、鋸歯状型は深層種にみられる。この腸盲囊の形状を基に生活型を分類した。

生育環境

ミミズの生育する環境調査として、リター堆積量、草本量、土壌理化学性の測定を行った。リター堆積量および草本量は、6 月にコドラートごとにすべてのリターと草本層の植物をそれぞれ採取して実験室に持ち帰り、通風乾燥器で 80°C で 3 日以上乾燥させた後に乾燥重量を測定した。

土壌理化学性として、土壌硬度、土壌含水率、pH、電気伝導度、炭素・窒素含有率、有機物含有率を測定した。6 月に各コドラートにおいて土壌の 0～5 cm 層、5～15 cm 層から土壌試料を採取した。土壌試料はプラスチックバックに入れて実験室に持ち帰り、一部を土壌含水率測定に使い、残りをプラスチック容器にあけて 3 週間以上自然乾燥させた。乾燥させた土壌は、石や根などを除き、乳鉢、乳棒を用いて団粒を押しつぶし、2 mm メッシュの篩を通すことを 2, 3 回繰り返す、細土をとった(以下、風乾細土と呼ぶ)。風乾細土はプラスチックバックに入れて保管した。土壌硬度は現地において山中式土壌硬度計(DIK-5552, 大起理化学工業株式会社)を用いて、掘った四角い穴の 4 辺の土壌壁面を各 1ヶ所ずつ、0～5 cm 層、5～15 cm 層に分けて測定を

行った。土壌の含水率は採取時の湿土重量と 105°C で 24 時間乾燥させた乾土重量を用いて以下の式より算出した。

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{\text{湿土重量} - \text{乾土重量}}{\text{湿土重量}} \times 100$$

pH は、土壌と蒸留水の質量比が 1 : 2.5 になるように風乾細土 10.0 g に蒸留水 25 ml を加え、振とう機で 1 時間振とうした後に、pH 電極 (HORIBAD-24, 9621-10D, 堀場製作所) を用いたガラス電極法により測定した。測定前に 30 秒間軽くかき混ぜて懸濁状態とした後、静置して 1 分後に 3 回測定し、その平均値を求めた。電気伝導度 (EC) は、土壌と蒸留水の質量比が 1 : 5 になるように風乾細土 7.0 g に蒸留水 35 ml を加え、振とう機で 1 時間振とうした後に白金電極 (HORIBAD-24, 9382-10D, 堀場製作所) を用いて測定した。また pH の測定と同様、測定前に 30 秒間軽くかき混ぜて懸濁状態とした後、静置して 1 分後に 3 回測定し、その平均値を求めた。電気伝導度は温度によって変化するため、中野ら (1995) を基に液温が 1°C 上昇するごとに電気伝導度が 2% 増加するものとして 25°C の値に換算した。炭素・窒素含有率は、風乾細土をさらに 0.5 mm メッシュの篩を通した後、105°C で 24 時間乾燥させて絶乾したものを、NC アナライザー (SUMIGRAPH NC-22F, 住化分析センター) により測定した。有機物含有率は、強熱減量法 (中野ら 1995) により測定した。事前に 105°C で 2 時間絶乾したるつぼの重量 (m_c) を 0.001 g 単位で測定し、0.5 mm メッシュの篩に通した風乾細土約 1 g をるつぼに入れ、110°C で 10 時間以上絶乾させた後、るつぼと絶乾細土を合わせた重量 (m_a) を 0.001 g 単位で測定した。その後、マッフル炉に入れ 600°C で 1 時間加熱 (市川・浅野 2005) し、デシケーター内で室温まで 1 時間放冷した後に試料の入ったるつぼの重量 (m_b) を測定した。そして、以下の式を用いて、有機物含有率 (L_i) を求めた。

$$L_i (\%) = \frac{m_a - m_b}{m_a - m_c} \times 100$$

3. 解析方法

ミミズ群集の多様性

各プロットにおけるミミズ群集の多様性を評価するため、林分ごとに Shannon-Wiener の多様度指数 (H') (Shannon 1948a,b) および Simpson の多様度指数 ($1-\lambda$) (Simpson 1949) を以下の式で算出した。

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

$$1-\lambda = 1 - \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

ここで、 S は種数、 N は全個体数、 n_i は i 番目の種の個体数である。

各生育環境要因の比較・総合評価

各プロットにおけるリター堆積量、草本量、土壌理化学性を比較するため、各生育環境要因の平均、標準偏差を求め、分散分析および多重比較検定 (Steel-Dwass 法) を行った。解析は統計ソフト R version 3.2.2 (R Core Team 2015) を用いた。各プロットにおけるミミズの生育環境である土壌の理化学性を総合的に評価するため、土壌 0 ~ 5 cm 深の生育環境要因の主成分分析 (Principal Component Analysis; PCA) を行った。さらに、PCA の第 1 軸および第 2 軸のスコアと生育環境要因との関係について相関解析を用いて評価した。解析は R の stats パッケージ (R Core Team 2015) を用いた。

結果

ミミズの多様性

各林分で採集されたミミズは、8 種 67 個体 (幼体・断片を含む) であった (表-1)。ヒノキ林ではミミズを採集できなかった。個体数が最も多かったのはスギ林で、種数が多かったのは広葉樹林であった (表-1)。また、Shannon-Wiener の多様度指数および Simpson の多様度指数は、両値ともスギ林より広葉樹林で高い値を示した (表-1)。ミミズバイオマス量は、スギ林、広葉樹林、皆伐地の順に多かった (表-1)。月別にみると、皆伐地は 7 月、スギ林と広葉樹林は 6 月にピークがみられた (図-3)。一方、ミミズバイオマス量は、皆伐地と広葉樹林では 7 月、スギ林では 8 月にピークがみられた (図-3)。個体数、バイオマス量は、土壌層別にみると、ミミズを採集した 3 林分において、リター層、0 ~ 5cm 層、5 ~ 15cm 層の順に少なくなった (図-4)。各林分における成体・幼体数の季節変化についてみると (図-5)、皆伐地では 7 月に幼体が多く出現した。スギ林では 6 月から 8 月にかけて幼体が減少し、8 月には成体が幼体より多く出現した。広葉樹林では幼体と成体数に同じ変化がみられた。

生育環境

各林分における土壌の理化学性 9 項目の結果を表-2 に示した。リター堆積量は広葉樹林で他の林分より有意に多かった ($p < 0.05$)。草本量は、ヒノキ林とスギ林および広葉樹林で有意な差がみられ、ヒノキ林で少なかった ($p < 0.05$)。含水率は、土壌 0 ~ 5cm 深ではスギ林で他の林分より有意に高かった ($p < 0.05$)。土壌 5 ~ 15cm 深ではスギ林、皆伐地、ヒノキ林の順で有意に低くなった。土壌硬度について、土壌 0 ~ 5cm 深ではスギ林が広葉樹林より有意に高かった ($p < 0.05$)。C/N 比は、土壌 0 ~ 5cm 深ではヒノキ林およびスギ林で皆伐地および広葉樹林でより有意に高かった。また、土壌 5 ~ 15cm 深ではヒノキ林およびスギ林で有意に高く、次いで広葉樹林で高かった。炭素含有率は、土壌 0 ~ 5cm 深ではヒノキ林とスギ林で高かった。また、土壌 5 ~ 15cm 深ではスギ林で高く、次いでヒノキ林および

表-1 各林分のミミズの種組成、個体数および多様度指数

科名	種名	学名	生活型	皆伐地	ヒノキ林	スギ林	広葉樹林
成体 (亜成体を含む)							
フトミミズ科	ハタケミミズ	<i>Pheretima agresis</i> (Goto & Hatai, 1899)	表層種	・	・	2	・
Megascolecidae	フキソクミミズ	<i>P. irregularis</i> (Goto & Hatai, 1899)	表層種	・	・	2	・
	フトスジミミズ	<i>P. vittata</i> (Goto & Hatai, 1898)	表層種	・	・	・	1
	タッピミミズ	<i>P. tappensis</i> Ohfuchi, 1935	表層種	・	・	・	1
		<i>P. sp. 1</i>	表層種	・	・	2	・
		<i>P. sp. 2</i>	浅層種	・	・	・	1
		<i>P. sp. 3</i>	表層種	・	・	・	1
	同定不能			・	・	1	・
	断片			・	・	1	1
ツリミミズ科	サクラミミズ	<i>Eisenia japonica</i> (Michaelsen, 1892)	地中種	・	・	5	4
Lumbricidae	断片			・	・	・	1
幼体							
フトミミズ科	不明			7	・	25	5
ツリミミズ科	不明			4	・	・	2
不明							
合計							
				11	0	38	18
個体数 (/m ²)				1.8	0.0	6.1	2.9
種数 (/m ²)				0.0	0.0	0.6	0.8
バイオマス量 (g/m ²)				0.66	0.00	12.82	6.70
Shannon-Wiener指数 (H')				-	-	1.86	2.00
Simpsonの多様度指数 (1-λ)				-	-	0.76	0.79

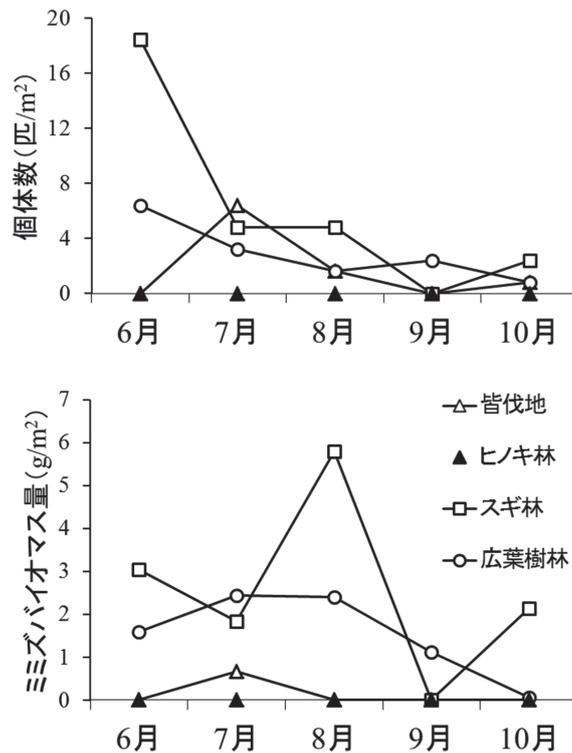


図-3 各林分のミミズ個体数とバイオマス量の季節変化

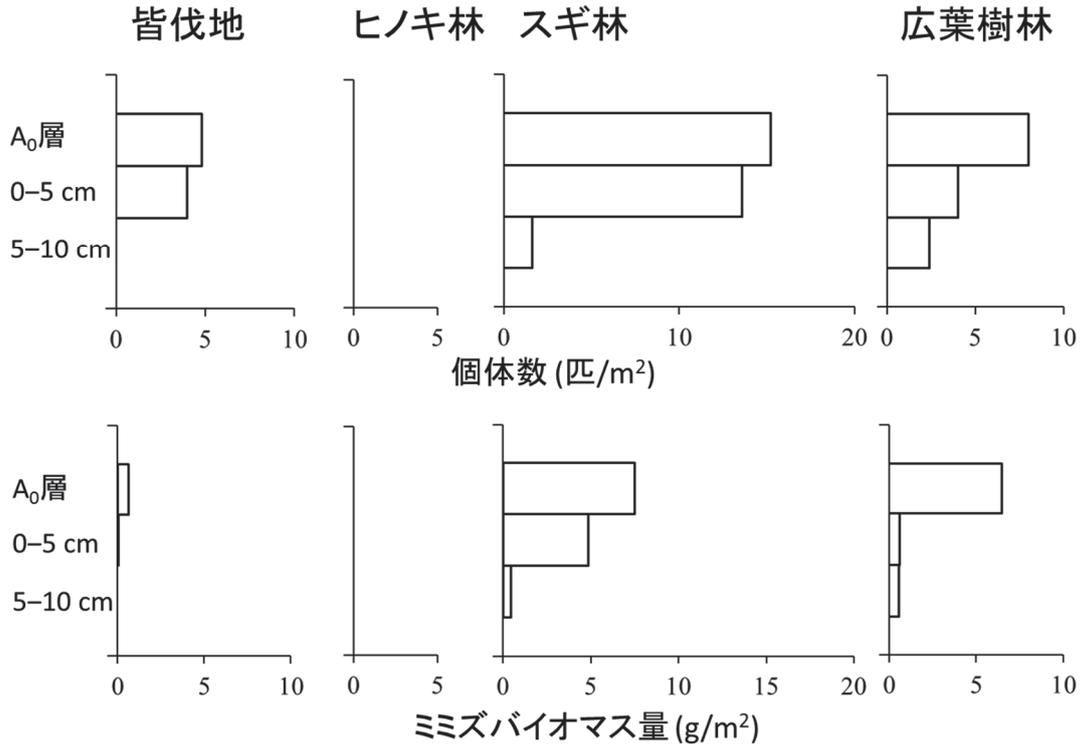


図-4 各林分における層別のミミズの個体数とバイオマス量

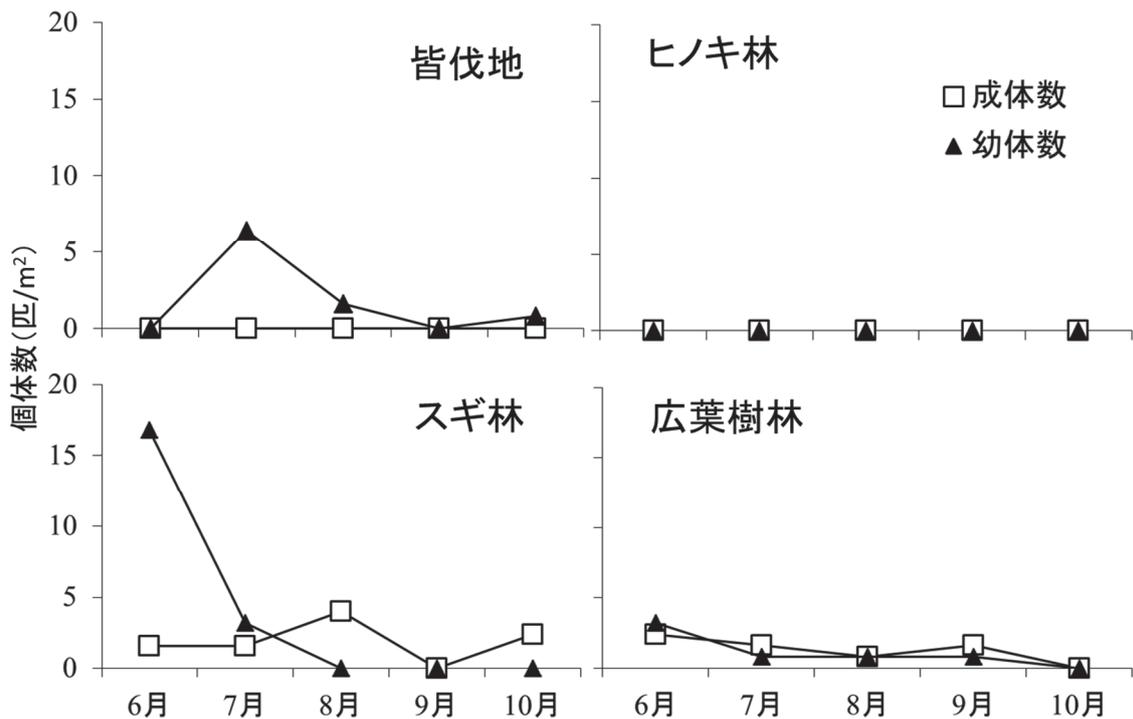


図-5 ミミズ成体・幼体の個体数の季節変化

表-2 各林分における土壌の理化学性と草本量

	深度 cm	調査林分			
		皆伐地	ヒノキ林	スギ林	広葉樹林
硬度 (kg/cm ²)	0-5	0.4 (0.20) ^{ab}	0.1 (0.33)	0.5 (0.29) ^a	0.4 (0.35) ^b
	5-15	1.3 (0.33) ^a	0.8 (0.40) ^a	1.7 (0.81) ^a	1.3 (0.53) ^a
含水率 (%)	0-5	50.6 (4.9) ^a	46.9 (2.7) ^a	67.5 (1.7) ^b	46.7 (7.2) ^a
	5-15	49.5 (1.5) ^a	45.4 (2.2) ^b	61.8 (1.3) ^c	47.0 (6.8) ^{ab}
pH (H ₂ O)	0-5	4.6 (0.27) ^{ab}	4.3 (0.37) ^a	4.6 (0.08) ^{ab}	4.9 (0.10) ^b
	5-15	4.7 (0.29) ^{ab}	4.7 (0.09) ^a	4.7 (0.13) ^{ab}	5.0 (0.06) ^b
電気伝導度 (dS/m)	0-5	1.2 (0.71) ^{ab}	1.1 (0.56) ^{ab}	3.5 (1.30) ^a	1.1 (0.25) ^b
	5-15	0.8 (0.42) ^{ab}	0.6 (0.09) ^a	1.3 (0.41) ^b	0.6 (0.08) ^a
炭素含有率 (%)	0-5	13.1 (3.57) ^a	28.9 (6.18) ^{b,c}	27.8 (2.57) ^b	19.9 (2.27) ^{ac}
	5-15	8.3 (1.52) ^a	12.9 (6.18) ^b	19.6 (1.58) ^c	13.6 (2.22) ^b
C/N	0-5	15.9 (1.58) ^a	19.8 (0.84) ^b	19.2 (0.62) ^b	16.8 (0.68) ^a
	5-15	13.8 (0.88) ^a	19.2 (0.85) ^b	19.2 (0.62) ^b	16.9 (0.53) ^c
有機物含有率 (%)	0-5	30.5 (5.97) ^a	51.6 (10.96) ^{bc}	54.7 (5.56) ^c	40.7 (4.14) ^{ab}
リター堆積量 (g/m ²)	-	775.0 (571.7) ^a	881.6 (261.1) ^a	1293.0 (356.0) ^a	2650.6 (1049.1) ^b
草本量 (g dry/m ²)	-	132.6 (55.7) ^{ab}	95.8 (2.4) ^a	123.4 (29.3) ^b	138.7 (30.0) ^b

括弧内は標準偏差、各アルファベットの違いは有意な違い ($p < 0.05$) を示す。

表-3 土壌の理化学性データに基づいた主成分分析の第1軸および第2軸のスコアと各理化学性要素との相関係数

理化学性	第1軸	第2軸
硬度	-0.558	-0.809
含水率	0.241	-0.911*
リター堆積量	-0.485	-0.251
草本量	-0.921*	-0.389
pH	-0.827	-0.393
電気伝導度	0.337	-0.919*
有機物含有率	0.847	-0.414
炭素含有率	0.897*	-0.249
C/N比	0.966**	-0.159

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

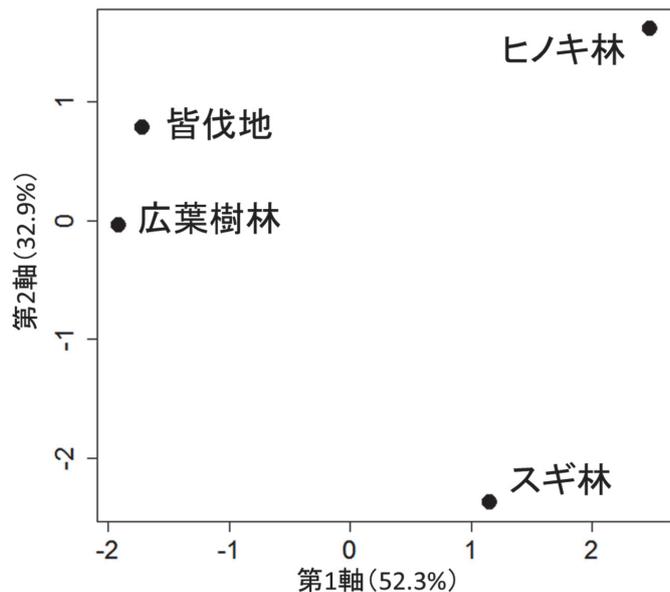


図-6 土壌の理化学性に基づいた主成分分析の結果

広葉樹林で高かった。pHと電気伝導度は、土壌深と林分間で大きな違いはみられなかった。有機物含有率は、土壌0～5cm深ではスギ林で高く、次いでヒノキ林で高かった。以上の9項目を用いて主成分分析を行った結果、第1軸の寄与率は52.3%、第2軸の寄与率は32.9%で、この2軸によってデータのばらつきの85.2%を説明できた(図-6)。主成分分析の第1軸および第2軸のスコアと各項目との相関解析の結果、第1軸は、草量と有意な強い負の相関($r = -0.921, P < 0.05$)、炭素含有率($r = 0.897, P < 0.05$)およびC/N比($r = 0.966, P < 0.01$)と有意な強い正の相関を示した(表-3)。第2軸は含水率($r = -0.911, P < 0.05$)および電気伝導度($r = -0.919, P < 0.05$)と有意な強い正の相関を示した(表-3)。

考察

1. ミミズの種組成

船生演習林では8種のミミズが採集された。上平(2006)は栃木県全域の42箇所においてミミズ相を調査した。そして、船生演習林のある塩谷町でハタケミミズ *Pheretima agrestis* (Goto & Hatai, 1899)、アオキミミズ *P. aokii* (Ishizuka, 1999)、ヘンイセイミミズ *P. heteropoda* (Goto & Hatai, 1898) およびフトスジミミズ *P. vittata* (Goto & Hatai, 1898) の分布を報告している。本調査と上平(2006)を比較すると、ともに採集された種は、広域に分布するハタケミミズ、フトスジミミズであった。ヘンイセイミミズは、本調査で採集されなかったが、山地から平野、市街地の落葉下や草地の土壌中で最も普通に生息する(石塚2014)ことや、アオキミミズは、山林、雑木林、植え込み等の落葉下・糞中に生息する(石塚2014)ことから、今後、船生演習林において調査回数と調査場所を増やすことで出現する可能性がある。

本調査では、船生演習林において、フキソクミミズ *P. irregularis* (Goto & Hatai, 1899)、タツピミミズ *P. tappensis* (Ohfuchi, 1935) およびサクラミミズ *Eisenia japonica* (Michaelsen, 1892) を採集した。フキソクミミズは、全国に分布している種(石塚2014)で、上平(2006)の研究においては塩谷町では採集されていないが、その周辺地域(西那須野、矢板、氏家、今市など)では記載されていた。本調査により船生演習林でも採集されたことから、フキソクミミズは塩谷町にも分布することが明らかとなった。タツピミミズは、地域分布種で、上平(2006)の研究では、帝釈山地の藤原、八方ヶ原および鹿沼の3地点においてのみ採集されている。タツピミミズは東北地方北部では低地に、南部では比較的高地に出現する傾向があるとされる(上平2004)。採集された藤原および八方ヶ原は山間部である。船生演習林でも採集されたことから、上平(2004)が指摘しているようにタツピミミズは冷涼な気候に生育する種と考えられる。ツリミミズ科のサクラミミズは、全国に分布する種で、上平(2006)の研究において、那須湯本、宇都宮、日光市の五十里の3地点においてのみ採集されている。サクラミミズは、草地、林、緑地公園等に生息する(石塚2014)。船生演習林で

はスギ林および広葉樹林において採集されたことから、本研究によって栃木県に新たな分布地を追加することができた。

2. ミミズの多様性と林相の関係

船生演習林では、スギ人工林、広葉樹林、皆伐地の順にミミズの個体数が多かった。安藤ら(2008)は、東京農大奥多摩試験地と東京農大富士農場内の広葉樹林、スギ人工林、ヒノキ人工林でミミズの多様性を比較し、広葉樹林で最も高く、ヒノキ林で最も低く、スギ人工林はその中間かあるいはヒノキ人工林と同程度であったことを報告している。本研究では個体数はスギ人工林で最も多かったが、種数や多様指数は広葉樹林で最も高かったことから、ミミズの多様性は、地域に関わらず広葉樹林で高いといえるだろう。これは、広葉樹林ではリターを生産する木本や草本が多様であるため、ミミズの餌の多様性も高くなるため(安藤ら2008)と考えられる。また、本研究において、広葉樹林で最もリター量が多かったが、多量のリターはミミズに多数の生育環境を提供する(安藤ら2008)とされており、これも広葉樹林でミミズの多様性が高い要因の一つであろう。

本研究において、最も個体数が多かったのはスギ人工林であった。スギ林でミミズが多いことは市川ら(2008)でも報告されている。主成分分析の結果、ミミズの個体数の順位と第2軸が明瞭な対応関係にあった(図-6)。したがって、船生演習林において、スギ人工林でミミズの個体数が多かったのは、主成分分析の第2軸で説明されるように、含水率が高いためと考えられる。ミミズ量が土壌水分の多い林分が多いといわれており(猪俣ら2015)、一方でミミズは団粒構造を形成し、土壌の保水性を高めることが示唆されている(伊藤・森1976)。したがって、含水率とミミズの個体数の対応関係は、両者の相互作用によって成り立っているものと考えられる。また、含水率に加えて、電気伝導度も主成分分析の第2軸と明瞭な対応関係がみられた。電気伝導度は、土壌の塩類濃度の目安となり、特に硝酸イオンとの相関が高いとされる。土壌中のアンモニウムイオンが硝酸イオンに変換され、水が生成される反応を硝酸化成といい、ミミズにより土壌の硝酸化成が促進されることが示唆されている(切替・波多野2001)。このことから、ミミズ量と電気伝導度に正の対応関係がみられた理由として、ミミズによる硝酸化作用の促進が考えられ、ミミズが電気伝導度の高い土壌を好むというよりは、ミミズが生育することで電気伝導度が高まっている可能性が示唆される。

スギ林とは対照的に、本研究ではヒノキ人工林において、ミミズを全く採集することができなかった。ミミズは、餌として落葉や土壌有機物の質に対して明瞭な嗜好性をもつ(内田2004)。最も好まれるのは、腐った草本植物や動物の糞で、次いで広葉樹の落葉が好まれ、枯枝・針葉・落果穂などは不嗜好性をもつ(青木1973)。タンパク含量や糖含量の多い葉ほど好まれ、タンニンやポリフェノール物質の多い葉ほど不嗜好な傾向がある(長谷川2004)。ヒノキは

タンニンやフェノールを含む(吉田2012)ことから、ヒノキ人工林でミミズが採集できなかった要因の1つとして、このようは不嗜好物質の存在が考えられる。しかし、安藤ら(2008)では、ヒノキ人工林でスギ人工林と同程度かやや少ない程度のミミズが採集されていることから、餌の質だけでは説明は難しい。船生演習林では、土壌の含水率がヒノキ人工林で最も低かった(表-2)。このことが餌の質に加えてミミズの出現を制限した要因と考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、横浜国立大学・金子信博教授には、ミミズの研究をはじめに当たり、アドバイスをいただいた。宇都宮大学農学部生物資源科学科の平井英明教授、星野幸一氏より、土壌の理化学性の測定機器をお借りした。また、土壌分析についてご助言をいただいた。とちぎ農林倶楽部の市川貴大博士より分析に際して、ご助言をいただいた。宇都宮大学農学部附属演習林の職員の方には、調査に際し、便宜をはかっていただいた。同学部森林科学科森林生態学・育林学研究室の皆さんには現地調査に際して、ご協力をいただいた。以上の方々よりお礼申し上げます。

引用文献

- 安藤麻菜・喜多知代・河原輝彦・菅原 泉(2008) 針葉樹人工林と広葉樹二次林とのミミズ群集の比較. 東京農大農学集報 53:144-151.
- 青木淳一(1973)(II) 大型ミミズ類(=後生殖門目:ナガミミズ亜目・ツリミミズ亜目・フトミミズ亜目). (土壌動物学-分類・生態・環境との関係を中心に-. 北隆館). 111-118.
- 長谷川元洋(2004) 植物の多様性が分解者およびその機能に与える影響. 日本生態学会誌 54:209-216.
- 伊藤 実・森 海人(1976) 生成条件の異なる土壌団粒の粒度組成について. 農業土木学論文集 68:9-13.
- 市川貴大・浅野義人(2005) 緑地土壌の有機物含有量の簡易測定. 土木学会論文集 797:95-100.
- 市川隆子・高橋輝昌・小林達明(2008) ミミズ個体数と植生および土壌環境との関係. 日緑工誌 34:15-20.
- 猪俣麻美・菅原 泉・上原 巖・田中 恵(2015) 林床植生の有無によるミミズ類の個体数と種組成. 第5回関東森林学会大会講演要旨集:21.
- Ishizuka K(1999) A review of the genus *Pheretima* s. lat. (Megascolecidae) from Japan. *Edaphologia* (62):55-80.
- 石塚小太郎(2001) 日本産フトミミズ属(Genus *Pheretimas* lat.)の分類学的研究. 成蹊大研報 33:1-125.
- 石塚小太郎(2014) ミミズ図鑑. 全国農村教育協会.
- 金子信博(2004) 森林土壌生態系における生物多様性(機能群)と生態系機能との関係. タクサ(日本動物分類学会誌) 16:11-12.
- 切替眞智子・波多野隆介(2001) ミミズが森林土壌表層の硝酸化成およびプロトン生成に及ぼす影響. 日本土壌肥科学雑誌 72:790-792.
- 気象庁(2015) <http://www.data.jma.go.jp>
- Lavelle P(1988) Earthworm activities and the soil system. *Biology and Fertility of Soils* 6:237-251.
- 中野政詩・宮崎 毅・塩沢 昌・西村 拓(1995) 土壌物理環境測定法. 東京大学出版会.
- R Core Team(2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (URL <https://www.R-project.org/>)(2016.9.23 アクセス)
- Shannon CE(1948a) A mathematical theory of communication. *The Bell Syst Tech J* 27:379-423.
- Shannon CE(1948b) A mathematical theory of communication. *The Bell Syst Tech J* 27:623-656.
- Simpson EH(1949) Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
- 境野光寿・原田 洋・裴 康雄(2002) 土壌動物からみた環境保全林の自然性の評価. 生態環境研究 9:119-127.
- 酒井 敦・大久保達弘・谷本丈夫(1994) 宇都宮大学船生演習林の高等植物目録. 宇大演報 30:27-58.
- 上平幸好(2004) 東北地方における陸棲貧毛類の分布に関する考察. 函館短期大学紀要 30:23-32.
- 上平幸好(2006) 関東地方における陸棲貧毛類の調査報告 II - 栃木県で採集された種類と分布 -. 函館短期大学紀要 32:39-45.
- 内田智子(2004) 日本産フトミミズ類による餌資源利用戦略. 日本生態学会誌 54:235-243.
- 吉田清司(2012) ヒノキに含まれる植物生育阻害物質の除去および阻害物質の微生物への影響. 第一工業大学研究報告 24:49-54.
- 鷲見勇貴・逢沢峰昭・久保田耕平・渋谷園実・大久保達弘(2015) 宇都宮大学船生演習林のオサムシ科甲虫群集の多様性. 宇大演報 51:1-8.
- 渡辺弘之(1972) 森林における大型土壌動物の落葉粉碎と土壌耕耘に関する研究 1. 個体数・現存量と環境要因. 京大演報 44:1-19.