

人工酸性雨が大型土壤動物に与える影響とリターの有無

古田 公人*・久保田耕平*・ムシャファ*・岩本 則長**

Effects of Artificial Acid Rain on the Abundance of Macroinvertebrates in Soil with and without Litter

Kimito FURUTA*, Kôhei KUBOTA*, MUSYAFÄ* and Norinaga IWAMOTO**

1. はじめに

土壤無脊椎動物の中で体長 1~2 mm 程度以上の大型土壤動物は、森林性土壤動物のバイオマスの中で大きい部分を占めている (伊藤, 1993)。動物の摂食量は、生理的特性の類似したもの間では体重に比例するため、バイオマスの大きい大型土壤動物はリターの破砕者として物質循環の過程で重要な役割を果たしていると考えられる。大型土壤動物ぬきで森林の持続的生産を考えるとできない。

1980 年代以降、酸性雨が森林生態系に与える影響が注目され、土壤動物に関しても、種構成と生息個体数に影響することが明らかにされてきた (Bååth *et al.*, 1980; Hågver, 1984; Hartmann *et al.*, 1988)。しかし研究対象は主として小型土壤動物であり、大型土壤動物については限られた研究しか行われておらず (Craft and Webb, 1984; Hågver, 1984)、土壤動物に与える酸性雨の影響を論じるうえで大型土壤動物についての情報が不足している。

ところで、大型土壤動物の生息密度を推定するには、通常はコドラートを設定してサンプルを採取する。しかし、森林土壤環境は地形や植生、土壤条件などによって不均質性が高く、この方法で得られる値は分散が大きく、統計処理ができない場合が多い。従って、酸性雨が大型土壤動物に与える影響についての明瞭な結果を、限られた時間と労力のなかで得るためには、森林土壤環境の不均質性を排除する実験的方法を採用する必要がある。

本研究は野外に設置した実験土壤に酸性水を定期的に給水し、酸性雨が大型土壤動物に与える影響を明らかにすることを目的とした。その際、特にリターの果たす役割を知るために、食物あるいは隠れ場として利用されるクヌギ (*Quercus acutissima*) の落葉、およびそれに加えて固形の油かすが土壤表面にある場合に大型土壤動物の個体数や種構成はどのように変わるか、また酸性雨の影響はどのように変化するかを調べた。

2. 材料と方法

実験は東京都田無市にある東京大学農学部附属演習林田無試験地で行った。人工酸性雨を散布して行う影響予測調査法として、渡辺 (1992) はフィールドの土壤への直接散布と実験室内での

* 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻
Department of Forest Science, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

** 東京大学農学部附属演習林 田無試験地
Experiment Station at Tanashi, The University Forests, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.
本研究は生研機構「森林生態系における共生関係の解明と共生機能の高度利用のための基礎研究」の一部分である。

ポット内土壌への散布の二つをあげている。その両者の持つ特徴を組み合わせ、ここではフィールドに設置したポット内土壌に給水する方法を採用した。

ポット内土壌として、素焼きの植木鉢に春に圃場で採取した黒土（砂質壤土）を入れた。この圃場は50年以上の期間苗畑としてよく管理され使用されてきたところで、除草が徹底して行われている。土壌採取時には土壌表面に植物も落葉もなかった。黒土を入れた10鉢をランダムに選び予備的にハンドソーティングによって調べたところ、アリ類以外の大型土壌動物は認められなかった。

鉢の上部の内径は20 cm、底部の内径は11 cm、深さは17 cm、底部中央には直径3.5 cmの穴が一個あいている。底から13 cmの高さのところまで土を入れ、鉢の上端が土壌面と等しくなるように、二次林から3-10 m離れた無耕起地に埋め込んだ。鉢の土壌表面積は約260 cm²である。

大型土壌動物に与える酸性雨の影響がリターの有無によって変化するかどうかを確かめるため、ガラス室内で4か月間自然乾燥させた8 gまたは5 gのクヌギの落葉を合計110鉢に、またさらにそのうち40鉢には30 gの固形の油かすを、それぞれ土壌表面にのせた。鉢の上面に1.4 cm×0.9 cmの目の金網をかけ、落葉や油かすが風で飛んだり土壌動物以外の動物に持ち去られたりすることを防いだ。油かすは種子を原料とするものであり、チッソ濃度の高いリター構成要素を模した。

酸性水の影響を確かめるため、1処理区10鉢からなる酸性水処理区と水道水処理区（対照区）、の処理群を設置した（表-1）。酸性水処理区には0.015%あるいは0.03%の硫酸水を1鉢あたり400 ml、すなわち面積あたり約15 mmを1週間に1回の割合で給水した。対照区にはpH約6.5の水道水を等量給水した。

表-1 実験の概要（A：酸性水；T：水道水；L：クヌギ落葉；O：油かす）

Table 1. Design of the experiment (A: Acidic water; T: Tap water; L: Litter; O: Oil cake)

Plot	Year	H ₂ SO ₄ (%)	Leaves (g)	Oil-cake (g)	Hand sorting (Month)	Soil pH (s.d.)
T1	1994	0	0	0	Jul.	—
LT1	1994	0	8	0	Jul.	—
LOTL	1994	0	8	30	Jul.	—
A1	1994	0.015	0	0	Jul.	—
LA1	1994	0.015	8	0	Jul.	—
LOA1	1994	0.015	8	30	Jul.	—
T2	1994	0	0	0	Sep.	5.24 (0.12)
LT2	1994	0	8	0	Sep.	5.58 (0.17)
LOT2	1994	0	8	30	Sep.	5.15 (0.10)
A2	1994	0.015	0	0	Sep.	5.10 (0.14)
LA2	1994	0.015	8	0	Sep.	4.57 (0.08)
LOA2	1994	0.015	8	30	Sep.	4.80 (0.08)
T3	1995	0	0	0	Sep.	5.83 (0.15)
LT3	1995	0	5	0	Sep.	5.69 (0.12)
A3	1995	0.015	0	0	Sep.	4.98 (0.05)
LA3	1995	0.015	5	0	Sep.	4.84 (0.08)
A3'	1995	0.03	0	0	Sep.	4.66 (0.17)
LA3'	1995	0.03	5	0	Sep.	4.45 (0.22)

実験土壌は1994年4月8日と1995年5月10日に設置した。大型土壤動物の採取は伊藤(1993)にならい、ハンドソーティングによって1994年6月26~27日、9月20~21日および1995年9月26~27日に実施した。採集された動物はワラジムシ類(Oniscidae)、オカダンゴムシ類(Armadillidiidae)、ミミズ類(Oligochaeta)、ムカデ類(Chilopoda)、ヤスデ類(Diplopoda)、クモ類(Araneida)、オサムシ類(Carabidae)、コメツキムシ類(Elateridae)、コガネムシ類(Scarabaeidae)、シテムシ類(Shilphidae)、ハネカクシ類(Staphylinidae)、ハサミムシ類(Dermaptera)、ツチカメムシ類(Cynidae)、ケラ類(Gryllotalpidae)の主要14分類群と、その他に分けた。その他の多くはツチカメムシ類以外のカメムシ類であったが、そのほかにチョウ目の幼虫やゾウムシ類がみられた。各分類群ごとの個体数と湿重量は処理区ごとに、ただしワラジムシ類、クモ類、オサムシ類とそれを含まれたすべての大型土壤動物の個体数のみは1鉢ごとに集計し、処理区間でt検定を行った。土壌のpH(H₂O)は1994年7月調査を除いて、各調査区からランダムに選んだ5鉢について9月のソーティング時に測定した(表-1)。

出現した動物分類群(その他を除く)について処理区間での類似性を明らかにするため、分類群を単位にMorisita(1959)の類似度(C_λ)を求めた。 C_λ は、

$$C_\lambda = \frac{2 \sum_{i=1}^{\infty} x_{1i} x_{2i}}{(\lambda_1 + \lambda_2) N_1 N_2}$$

ただし

$$\lambda_1 = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} x_{1i}(x_{1i}-1)}{N_1(N_1-1)}, N_1 = \sum_{i=1}^{\infty} x_{1i}$$

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} x_{2i}(x_{2i}-1)}{N_2(N_2-1)}, N_2 = \sum_{i=1}^{\infty} x_{2i}$$

C_λ は同一のグループの重なり程度の指数で、 x_{1i}, x_{2i} はそれぞれ*i*分類群の1および2地点の個体数である。その値が大きいほど処理区間で重なりが大きいことを意味している。

実験期間中の田無試験地での降水量と1mm以上ならびに15.1mm以上の降水日数は、1994年4~9月の6か月間は月平均でそれぞれ69.7mmと8.0日ならびに1.7日、1995年5~9月の5か月間は月平均でそれぞれ168.5mmと11.0日ならびに3.4日であった。雨水全体のpHを1994年の降水ごとに測定したが、最低は8月5日の3.8、最高は12月12日の6.8であった。6月から10月にはpH4台の雨が、その他の月にはpH5の雨が降っていた。1995年についてもそれほど大きな違いはないと思われる。

土壌表面にクヌギの落葉をおいたLT3区、LA3区およびLA3'区については落葉を9月に回収し、重量を測定したところ、平均重量(標準偏差)はそれぞれ3.49(0.11)g、3.51(0.31)g、3.37(0.28)gに減少していた。硫酸水を給水したLA3区およびLA3'区と水道水を給水したLT3区の間には減少量の差はない。

3. 結 果

3.1 酸性水が個体数、湿重量、分類群多様度に与えた影響

酸性水と水道水の処理区からなる10組の対応する処理群について大型土壤動物の1鉢あたり平均個体数を図-1に示した。10組中8組で、酸性水処理区が対応する水道水処理区よりも10~30%程度、最大で60%少なかった。そのうち2組については有意差があり($p < 0.05$)、硫酸酸性

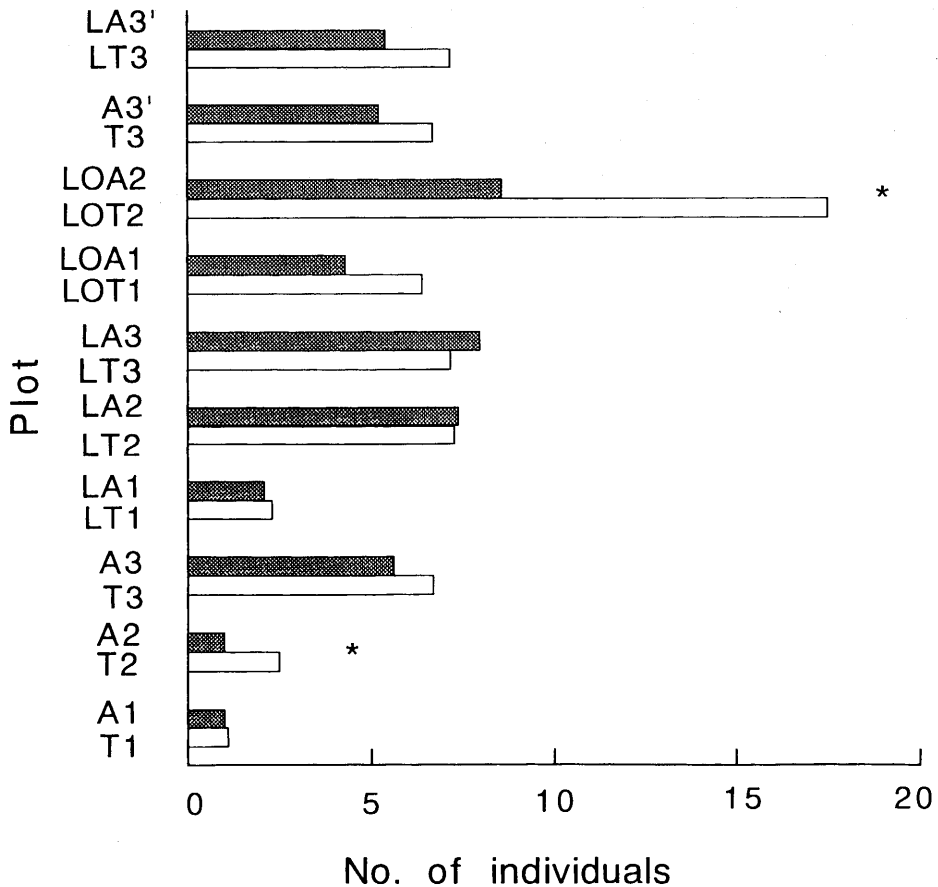


図-1 対応関係にある酸性水処理区（黒）と水道水処理区（白）の大型土壌動物ポットあたり個体数の比較。

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

Fig. 1. Mean number of soil macroinvertebrates per pot collected in the pairs of plots applied acidic water (shade) and tap water (white).

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

水は総個体数に負の影響を与えたと判断される。同じ10組の処理群について大型土壌動物の処理区あたり総湿重量を測定したところ（図-2）、酸性水処理区が対応する水道水処理区よりも7組で小さく、最大で80%も小さかった。酸性水は総湿重量にも負の影響を与えた。

主要14分類群について、各処理区の出現個体数を表-2に示した。このうち出現個体数が多く、かつ酸性水処理によって出現個体数に変化が生じた可能性のあるワラジムシ類、オサムシ類、クモ類の3分類群について以下に述べる。ワラジムシ類は出現個体数では他のどの分類群よりも多かった。対応関係にある10組のうち9組で、酸性水処理区の1鉢あたり平均個体数は水道水処理区のものよりも少なかった（図-3）。また、そのうち4組に有意差があった。酸性水はワラジムシに負の影響を与えていた。

オサムシ類の出現個体のほとんどは成虫であった。酸性水処理区の1鉢あたり平均個体数は

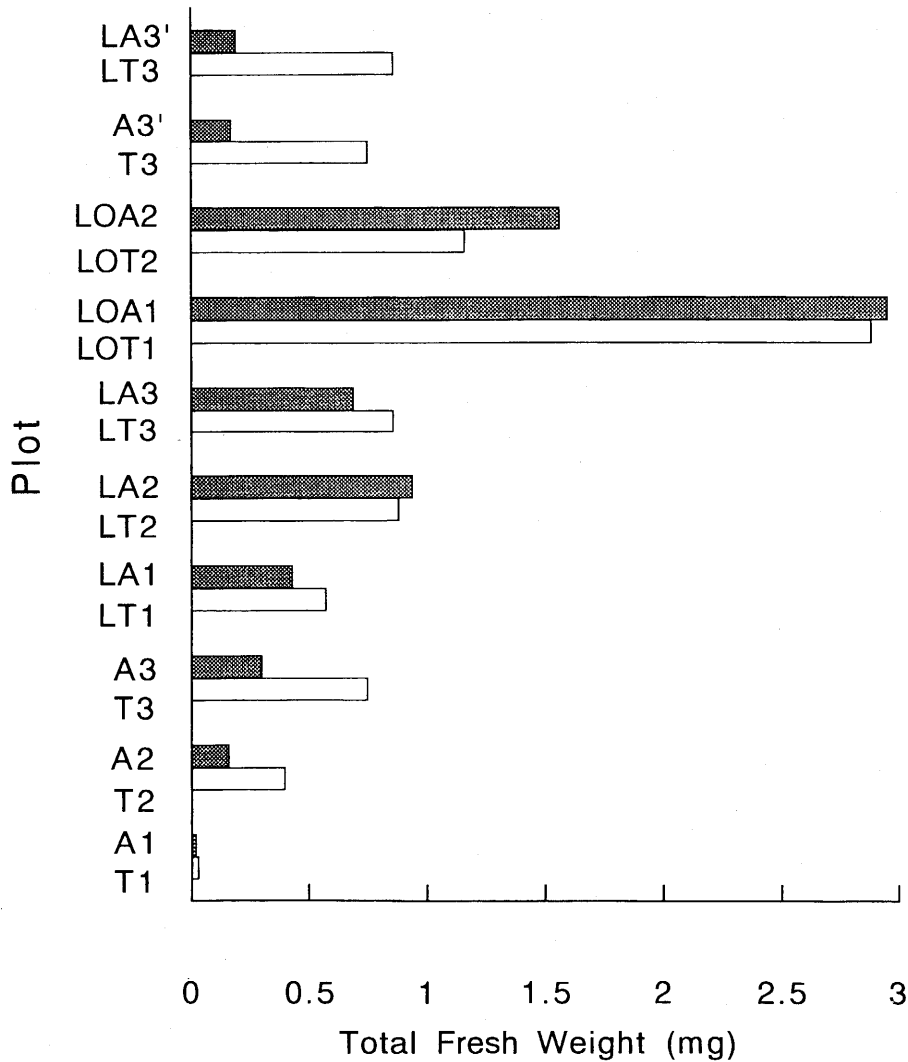


図-2 対応関係にある酸性水処理区（黒）と水道水処理区（白）の大型土壌動物の処理区あたり総重量の比較。

Fig. 2. Total fresh weight of soil macroinvertebrates per plot collected in the pairs of plots applied acidic water (shade) and tap water (white).

10 組中 5 組で対応する水道水処理区のものよりも少なく（図-4）、そのうち 1 組では 1 鉢あたり平均個体数は有意に少なかった ($p < 0.05$)。

クモ類の出現個体数は、対応する 10 組中 8 組で酸性水処理区よりも水道水処理区の方が少ないか、同数だった（図-5）。酸性水処理によって個体数が増加した可能性は否定できないが、1 鉢あたりの平均個体数に有意差はなかった。

各処理区に出現した総個体数、総湿重量、分類群数、その他以外の 14 分類群の総個体数ならびに分類群多様性にかかわるパラメータを表-3 に示した。このうち Simpson (1949) の指数 (λ) か

表 2 各処理地区に出現した大型土壌動物主要 14 分類群の処理区あたり個体数

Table 2. Number of individuals belonging to the 14 taxa of macroinvertebrates per plot

Taxon	T1	LT1	LOT1	A1	LA1	LOA1	T2	LT2	LOT2	A2	LA2	LOA2	T3	LT3	A3	LA3	A3'	LA3'	LA3'
Oniscidae	2	7	30	0	4	5	0	6	79	0	1	1	2	10	0	1	1	1	1
Armadillidiidae	0	1	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta	0	1	1	0	0	2	0	0	4	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
Chilopoda	0	2	1	0	2	1	0	10	4	0	0	3	1	0	1	0	4	1	1
Diplopoda	0	4	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carabidae	0	0	1	0	1	7	3	6	6	1	7	13	13	10	7	17	0	0	8
Elateridae	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Scarabaeidae	0	0	0	0	0	0	2	1	6	0	3	0	5	3	6	1	2	3	3
Shiphidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Staphylinidae	1	2	1	1	0	14	2	3	2	0	1	2	5	2	1	10	4	7	7
Dermoptera	0	0	8	4	0	0	5	10	13	5	11	6	1	1	0	0	0	0	0
Cynidae	0	0	0	0	0	0	5	0	9	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0
Grylotalpidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Araneida	3	3	5	3	6	1	7	7	6	3	7	12	13	10	17	19	26	21	21

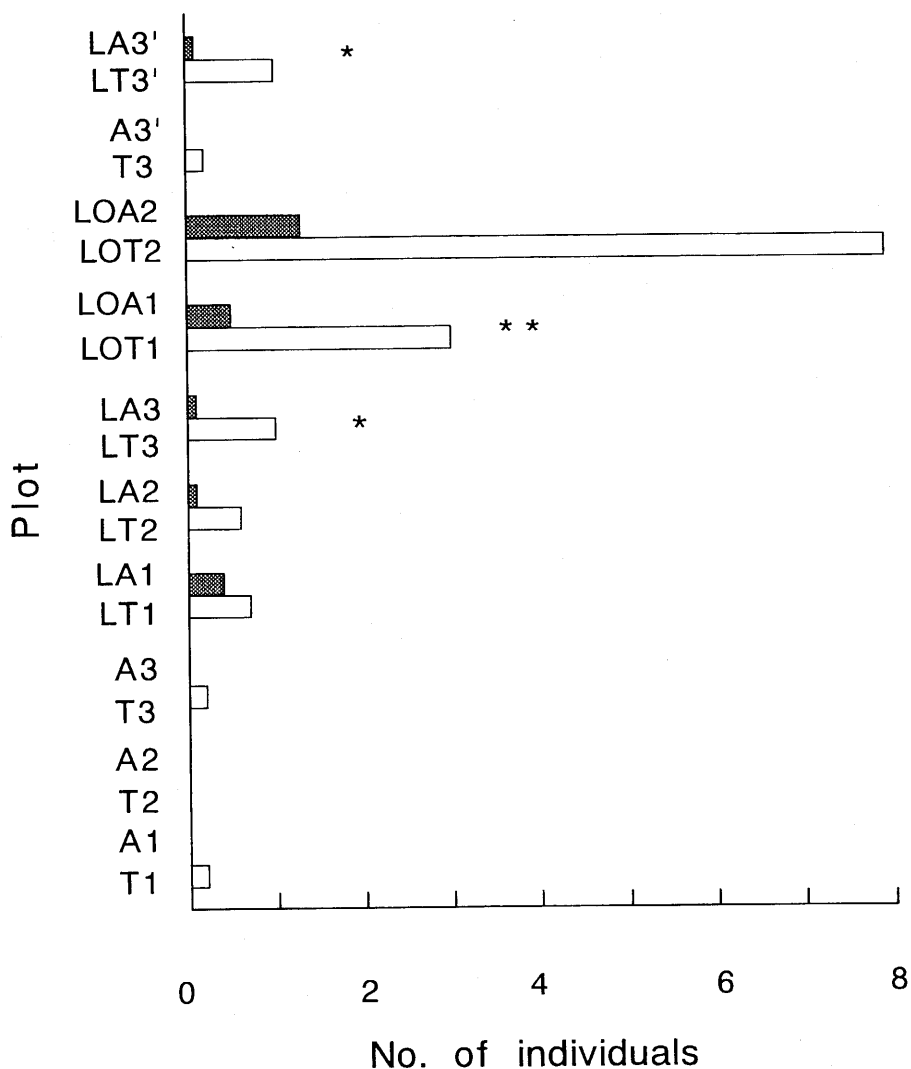


図-3 対応関係にある酸性水処理区（黒）と水道水処理区（白）のワラジムシ類ポットあたり平均個体数の比較。

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

Fig. 3. Mean number of individuals of Oniscidae per pot collected in the pairs of plots applied acidic water (shade) and tap water (white).

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

らは酸性水処理区の種類群多様度が水道水処理区よりも有意に低いとは判断できない。しかし10組の各実験群のそれぞれを比較すると、水道水処理区よりも硫酸水処理区の種類群出現数は少なく、元村(1932)の等比級数則に基づく直線の傾き(a)は急で、総個体数は少なく、森下(1967)の繁栄度指数(N'β)も小さい場合が多い。以上のように、パラメータの多くは酸性水処理区の種類群多様度が水道水処理区よりも低いことを示した。酸性水は多様度に関して負の影響を与えたものと判断される。

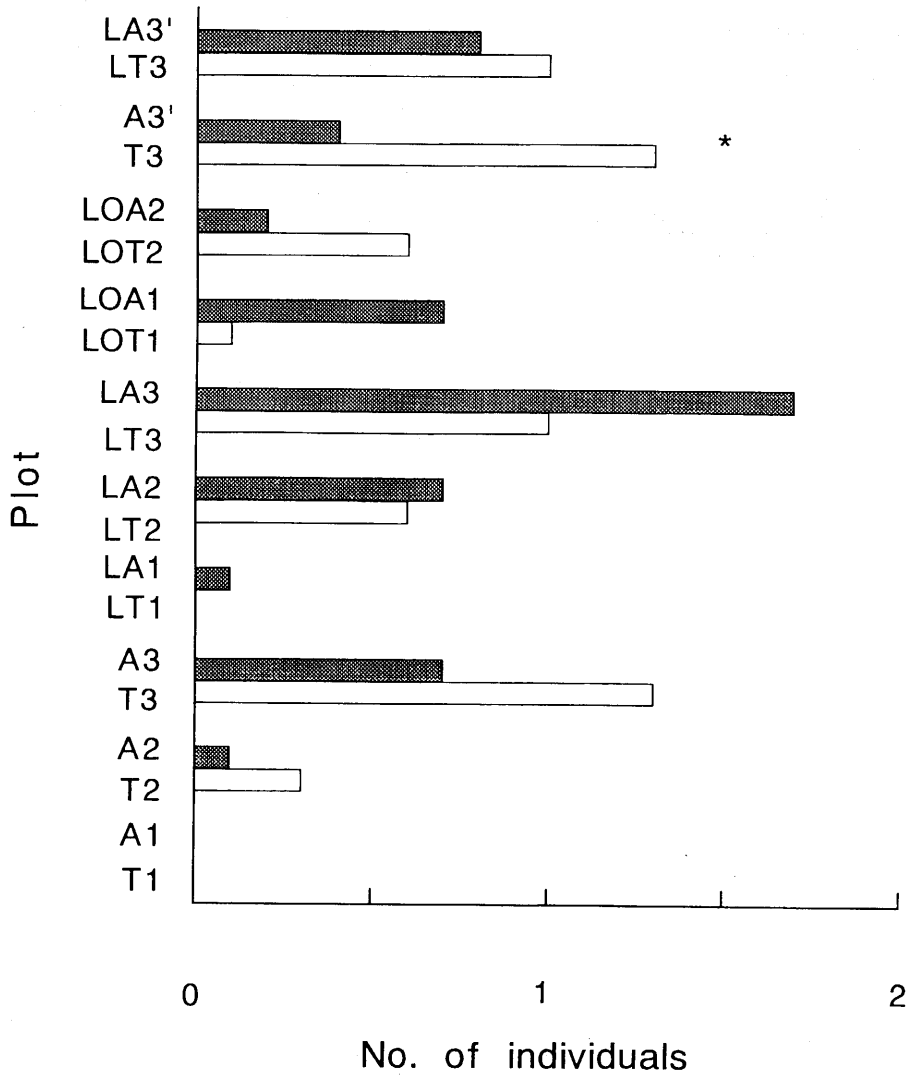


図-4 対応関係にある酸性水処理区（黒）と水道水処理区（白）のオサムシ類ポットあたり個体数の比較。

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

Fig. 4. Mean number of individuals of Carabidae (Coleoptera) per pot collected in the pairs of plots applied acidic water (shade) and tap water (white).

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

3.2 リターの効果

落葉の有無以外の条件が等しい処理7組について、1鉢あたりの大型土壌動物の平均個体数を比較したところ、7組ともに落葉のある処理区の方が多かった（表-4）。このうち3組で有意差があった（ $p < 0.01$ ）。また主要14分類群のうちクモ類以外の13分類群についても、7組ともに落葉のある処理区の方が出現個体数が多かった。また湿重量も、落葉がある場合の方が大きい。クヌ

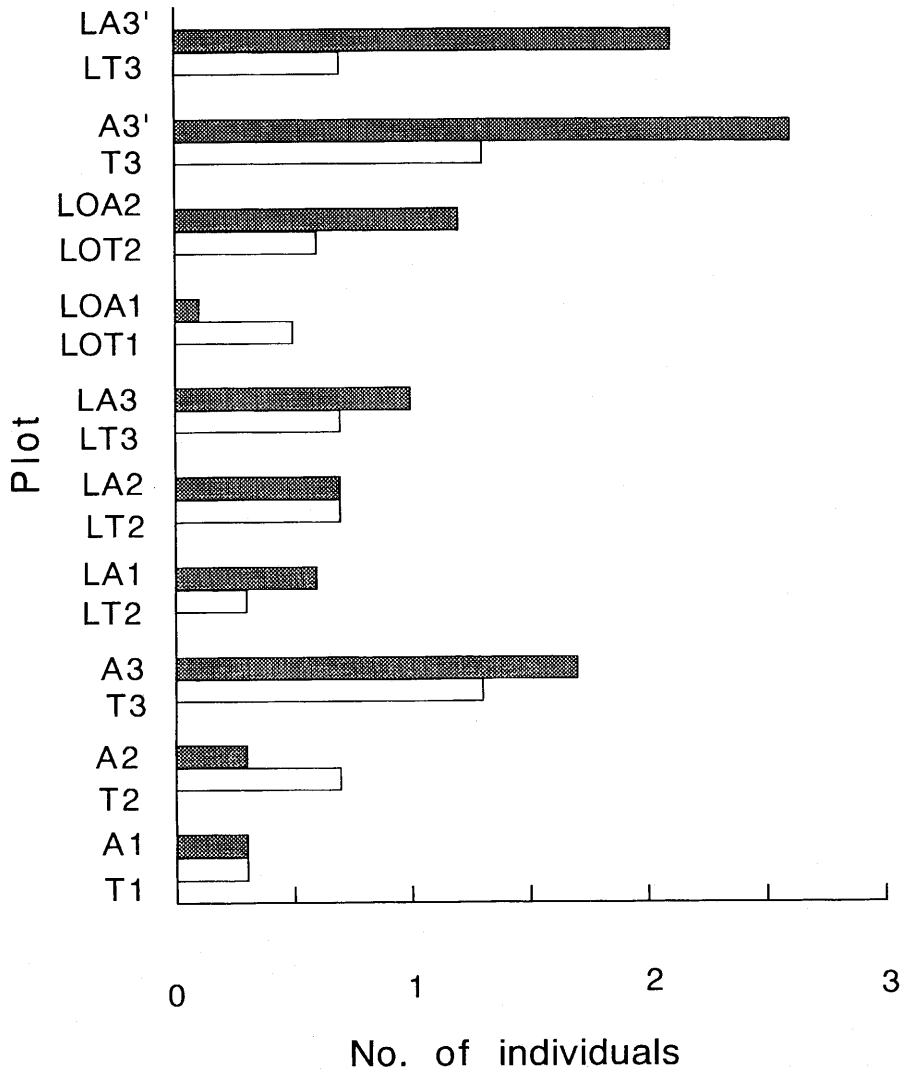


図-5 対応関係にある酸性水処理区（黒）と水道水処理区（白）のクモ類ポットあたり個体数の比較。
*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$

Fig. 5. Mean number of individuals of Araneida per pot collected in the pairs of plots applied acidic water (shade) and tap water (white).
*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$

ギの落葉のようなリターは大型土壤動物の生息個体数を高める効果がある。

酸性水の影響を落葉の有無によって比較した。まず落葉が無い場合をみると（表-3）、酸性水を給水した4処理区（A1, A2, A3, A3'区）の1鉢あたりの平均個体数は対応する水道水処理区（T1, T2, T3, T3'区）よりも少なく、そのうちの1組（A2区とT2区）では有意に少なかった（ $p < 0.05$ ）。しかし、落葉がある場合は酸性水によって個体数が少なくなるという傾向は認められなかった（ $LT1 > LA1, LT2 < LA2, LT3 < LA3, LT3 > LA3'$ ）。以上のことは、湿重量についても同

表-3 各処理地区のポットあたり平均個体数, 処理区あたり総湿重 (W), 分類群出現数 (NT), 14 分類群についてのポットあたり個体数 (N'), 分類群多様度指数 (α , λ , β) および $N'\beta$

Table 3. Mean number of individuals per pot, total fresh weight per plot (W), number of the taxa collected in the plot (NT), mean number of individuals belonging to the main 14 taxa per pot (N'), indices of the taxon diversity (α , λ , β) and $N'\beta$ for each plot

Plot	Mean (s)	W (mg)	NT	N'	α	λ	β	$N'\beta$
T1	1.1 (1.1)	0.03	3	0.6	-0.239	0.267	3.745	2.247
LT1	2.3 (0.8)	0.57	7	2.0	-0.140	0.168	5.952	11.905
LOT1	6.4 (2.4)	2.88	10	5.4	-0.153	0.312	3.205	17.450
A1	1.0 (1.1)	0.02	3	0.8	-0.301	0.321	3.115	2.492
LA1	2.1 (2.3)	0.43	6	1.5	-0.171	0.210	4.762	7.143
LOA1	4.3 (2.7)	2.95	8	3.6	-0.176	0.211	4.739	17.060
T2	2.5 (1.1)	0.40	7	2.5	-0.133	0.153	6.536	16.340
LT2	7.3 (3.4)	0.88	7	4.3	-0.147	0.159	6.289	27.044
LOT2	17.5 (11.0)	1.16	10	13.0	-0.152	0.388	2.577	33.505
A2	1.0 (1.3)	0.16	4	1.0	-0.168	0.250	4.000	3.600
LA2	7.4 (4.0)	0.94	8	3.7	-0.171	0.173	5.780	21.392
LOA2	8.6 (5.2)	1.56	8	3.9	-0.187	0.209	4.785	19.139
T3	6.7 (5.4)	0.75	7	4.0	-0.213	0.227	4.405	17.621
LT3	7.2 (3.0)	0.86	8	3.8	-0.181	0.198	5.051	19.192
A3	5.6 (5.0)	0.30	5	3.2	-0.331	0.347	2.882	9.222
LA3	8.0 (3.6)	0.69	7	5.0	-0.261	0.284	3.484	17.422
A3'	5.2 (2.5)	0.17	5	3.7	-0.313	0.508	1.969	7.283
LA3'	5.4 (2.9)	0.19	6	4.1	-0.272	0.320	3.125	12.813

表-4 リターの有無と大型土壤動物個体数および湿重量の関係

Table 4. Comparison of macroinvertebrates between the pairs of plots with litter (L) and without litter

Item	T1: LT1	T2: LT2	T3: LT3	A1: LA1	A2: LA2	A3: LA3	A3': LA3'
Mean no. of individuals per plot	<	<**	<**	<	<**	<	<
Mean no. of Oniscidae per plot	<	<	<**	<	<	<	=
Total fresh weight per plot	<	<	<	<	<	<	<
Total individual no. of main 13 taxa per plot	<	<	<	<	<	<	<

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

表-5 各処理区に出現した大型土壤動物分類群間の相関係数 (○は 0.05 以下の組み合わせ)

Table 5. Correlation coefficients between taxa collected in each plot (○; $r < 0.05$)

Taxa	Carabidae	Staphylinidae	Dermaptera	Cynidae	Armadillidiidae	Oniscidae
Oligochaeta	○	○	○	○	○	0.84
Oniscidae	○	○	0.58	0.64	○	—
Armadillidiidae	○	0.66	○	○	—	—
Cynidae	○	○	0.71	—	—	—
Dermaptera	○	○	—	—	—	—
Staphylinidae	0.50	—	—	—	—	—

様であった(表-3)。落葉があれば酸性水の影響は軽減すると考えられる。

油かすを置いた場合は、水道水を給水した LOT1 区は落葉だけの LT1 区よりも 1 鉢あたり大型土壌動物が有意に多く ($p < 0.01$)、同じく LOT2 区は LT2 区よりも多かった ($p < 0.05$)。しかし酸性水を給水した場合は、油かすを置いた処理区と落葉だけの処理区には有意差はなかった。水道水を給水した場合に多かったワラジムシ類がほとんど見られなくなっていることが特徴的である。油かすがあることによってワラジムシ類のような土壌動物の生息に好適な食物環境が創造されるが、酸性水によってその効果が失われたと考えられる。

3.3 土壌動物群集の構造と酸性水の影響

主要 14 分類群のうち個体数の多い 11 分類群について、各処理区での出現頻度を単位に分類群間の相関係数を求めた(表-5)。それによれば、相関係数の値が 0.65 以上の分類群はおおよそ 3 群に分けられた。すなわち、A: ミミズ類とワラジムシ類、B: ハサミムシ類とツチカメムシ類、C: ダンゴムシ類とハネカクシ類である。このほかの分類群は一括して D: その他(コガネムシ類、オサムシ類、クモ類、ムカデ類、ヤスデ類)とする。

出現した動物分類群(その他を除く)を単位に Morisita (1959) の類似度 (C_i) を求め、値が 0.80 より大きい処理区間を結ぶと(図-6)、処理区はおおよそ 4 群に分けられることが明らかになった。第 1 群は 0.8 以上で結ばれる 9 区の内、0.9 以上の値で連結される LOA2, A3', LA3', A3, LA3, T3 の 6 区である。T3 以外は酸性水処理区である。1 区あたりの平均分類群数(標準偏差、以下同じ)は 5.5 (0.7)、平均個体数は 39.0 (2.83) である。6 区をこみにした場合に出現頻度の高いものは D 群のクモ類(45.2%)であった。これに D 群のオサムシ類(24.3%)と C 群のハネカクシ類(12.1%)とを加えた上位 3 分類群で総個体数の 81.6% を占めた。第 2 群は上記 9 区の

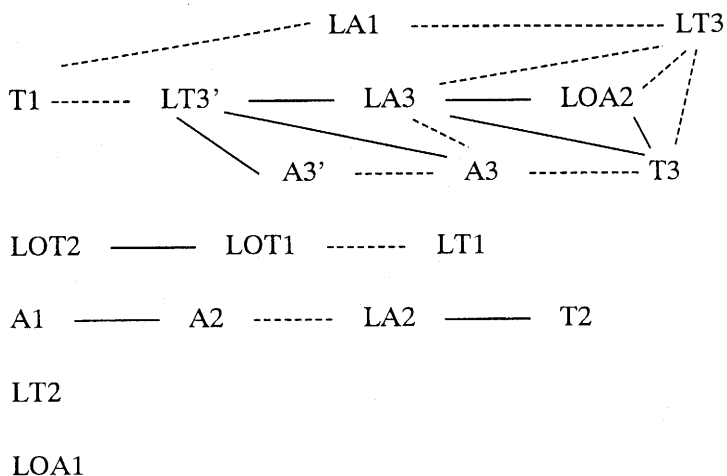


図-6 調査対象とした主要分類群の出現個体数について処理区間の Morisita の類似度指数 C_i の相互関係。

C_i : — > 0.90 , > 0.80

Fig. 6. Quantitative similarity between plots based on Morisita's index.

C_i : — > 0.90 , > 0.80

うち第1群以外のT1, LA1, LT3の3区である。このグループは第1群と類似度が高いことはいうまでもない。1区あたりの平均分類群数5.7(2.5), 平均個体数は19.7(16.5)である。3区をこみにした場合に出現頻度の高いものはD群のクモ類(32.2%), A群のワラジムシ類(27.1%)であり, それにD群のオサムシ類(18.7%)を加えた上位3分類群で総個体数の78.0%を占めた。

第3群はA1, T2, A2, LA2の4処理区からなり, 酸性水を処理し, リターのない区が中心となっている。1区あたりの平均分類群数は5.3(2.6), 平均個体数は19.8(13.9)である。4区をこみにした場合に出現頻度の高いものはB群のハサミムシ類(31.6%)とD群のクモ類(25.2%)であり, B群のツチカメムシ類とD群のオサムシ類はそれぞれ13.9%であった。これら上位3分類群で総個体数の70.7%を占めた。

最後はLOT1, LOT2, LT1の第4群である。いずれも水道水を処理した場合で, 油かすを置いた区が中心となっている。1区あたりの平均分類群数は9.0(1.7), 平均個体数は68.0(56.3)である。3区をこみにした場合に出現頻度の高いものはA群のワラジムシ類(56.9%)であった。これにB群のハサミムシ類(10.3%)とD群のクモ類(6.9%)を加えた上位3分類群で総個体数の74.1%を占めた。このグループは出現分類群数の多いことが特徴で, しかも他のグループよりもワラジムシ類, ミミズ類, ヤスデ類, コメツキムシ類, シデムシ類などの分類群において1処理区あたりで多数の個体が出現した。

以上のように, 分類群数は油かすを置いて水道水を処理した区が中心となっている第4群のみが大きく, 第1~3群の間には差はない。平均個体数では酸性水を処理し, クモ類が多く出現した第1群とワラジムシ類が多く出現した第4群が大きい。優占する3種が出現総数に占める割合が最も高いのは酸性水処理で特徴づけられる第1群である。また, リターを置いた第4群ではワラジムシ類が最優占種で, 第2群でもワラジムシ類は多かった。しかし, リターのない第3群と第1群ではワラジムシ類は少なかった。油かすを含むリターと酸性水が大型土壤動物群集に重要な影響を及ぼしたことがわかる。

4. 考 察

酸性雨が与える影響は分類群によって異なる(Hågvar, 1984)。ミミズ類は酸性土壌では生息しにくく(青木, 1973), オカダンゴムシ類やヤスデ類は酸性土壌であるモル型土壌よりもムル型土壌を選択するといわれているように(Schaefer and Schauer mann, 1990), 今回の実験でもこれらの動物は酸性水給水区で少ない傾向があった。他方, クモ類とハネカクシ類はモル型土壌を選択することが知られているが(Schaefer and Schauer mann, 1990), これらは酸性水の給水環境にも多く出現した。

実験では0.03%と0.015%の硫酸水を施用したが, 1鉢あたり平均個体数は濃度の異なるA3'区とA3区, あるいはLA3'区とLA3区に有意な差はなかった。雨のpHが低下することは水素イオンの量だけでは評価できない影響を与えると思なされるため(Craft and Webb, 1984), 今後の検討課題である。

リターは酸性水処理が大型土壤動物の個体数に与える負の影響を軽減した。しかし, 油かすがある場合には酸性水の影響がむしろ顕著にでた。この理由は明らかではないが, 固形の油かすは保水力が大きく, 酸性水の影響が持続したためではないかと思われる。

ワラジムシ類個体数を落葉の有無で比較したところ, 落葉のあるLT3区がT3区よりも有意

に多かった ($p < 0.01$)。すでに指摘されているように (Watanabe, 1980), ワラジムシ類には落葉の存在が重要な役割を果たしていることが明らかである。それ以外の大型土壤動物ではミミズ類, オカダンゴムシ類, ヤスデ類, コメツキムシ類などが落葉, とりわけ落葉と油かすのある環境下に多かった。クヌギの落葉にはチッソが 1.1%, リン酸が 0.16%, カリが 0.28% 含まれている (奥田ほか, 1960)。落葉だけでも大型土壤動物の食物として, また複雑な生息空間を形成する素材として, あるいは土壤水分の保持を通じて生息に適した環境を創造したものと考えられる。

油かすは肥料として使用される以外には野外には存在しないが, 本実験では種子や動物の糞のようにチッソを多量に含む有機物を想定して使用した。油かすは素材によって種々あるが, チッソ, リン酸などの含有率にはあまり大きな違いはない。およそチッソ 4.5~7.2%, リン酸 1.4~2.8% で, このチッソの値はクヌギ落葉はいうまでもなく, 鶏糞や蚕の糞よりも高く (奥田ほか, 1960), 腐食性の土壤動物にとって好適な食物となることはいうまでもない。油かすを置くことによりミミズ類, ヤスデ類, 陸生甲殻類など裸地や草地に少なく, 森林に多い動物 (渡辺, 1981) が多く出現したことは, これらの動物の生息にとって食物となる有機物の存在が重要であることを示している。

調査対象とした大型土壤動物の分類群は相関関係からおおよそ 3 ないし 4 群に分けられた。A 群のミミズ類とワラジムシ類はどちらもリター食者でムル型土壤に多いことが知られているように (Schaefer and Schauer mann, 1990), 生息環境の選択に共通的な性質を持つと考えられる。B 群のハサミムシ類とツチカメムシ類, あるいは C 群のハネカクシ類は捕食性の昆虫類である。前者が甲虫以外のものであるのに対し後者は甲虫類である。捕食性のものはムル型土壤とモル型土壤に関しては強い選択性を持たないといわれる (Schaefer and Schauer mann, 1990)。またオサムシ類とハネカクシ類は森林には少なく裸地に多いように (渡辺, 1981), 類似した環境選択をするものである。D 群は他種との間に低い相関しかないもので, ムカデ類, ヤスデ類, クモ類, オサムシ類などが含まれる。個体数の少ないコガネムシ類以外は大型で移動力が大きいという特徴がある。このように, 同じような環境を選択するものあるいは生活様式の似た分類群は今回の実験下でも同じような環境を選択した。こうして群集の類似度に示されたように酸性水処理区, 水道水処理区にそれぞれ特徴的な群集が形成された。しかし, 土壤動物の分類群の類似度からみた第 1 群から第 4 群のグループにおいて, A~C 群のうち同じ群に属するものが出現頻度の 1 位と 2 位を占めることはなかった。D 群以外の同じ群に属するものは同じような環境を選びながらも相互に棲み分けている可能性が高い。

大型土壤動物に与える酸性雨の影響を論じるために, 森林土壤環境の不均質性に影響されることの少ない実験的方法として, 野外に設置した均質な実験土壤に酸性水と水道水を定期的に給水する方法を採用した。この方法で, 特定の分類群について個体数や湿重量, 群集構造に与える酸性水の影響を明らかにすることができた。均質な実験土壤を野外に設置して行う研究方法は, 土壤条件や野外に置く期間, 処理の内容を変化させることによってさまざまな目的に使用できると考えられる。

要 旨

素焼きの植木鉢に黒土 (砂質壤土) を入れて野外に設置した実験土壤に人工的に調整した硫酸酸性水を定期的に給水し, 大型土壤動物に与える酸性雨の影響を明らかにすることを試みた。

硫酸酸性水は処理区あたりの総個体数、総湿重量、分類群多様度に関して明らかに負の影響を与えた。しかし、硫酸の濃度 (0.03% と 0.015%) による個体数の有意な差は検出されなかった。主要な分類群についてみるとワラジムシ類には酸性水は負の影響を与え、クモ類には正の影響を与えた可能性がある。

土壌表面にクヌギの落葉があると個体数、湿重量は大きくなった。しかも酸性水の個体数に与える影響が軽減した。落葉に加えて固形の油かすがあることは土壌動物に好適な環境を創造したが、この場合には酸性水はその効果を失わせた。

同じような環境を選択することが知られているもの、あるいは生活様式の似た分類群は、設定された条件の中で同じような環境選択をした。均質な実験土壌を野外に設置して行う研究方法は大型土壌動物の研究法としてさまざまな形で利用可能であると考えられる。

キーワード：リター、ワラジムシ類、オサムシ類、クモ類、油かす

引用文献

- 青木淳一(1973) 土壌動物学. 814 pp., 北隆館, 東京.
- Bååth, E., Berg, B., Lohm, U., Lundkvist, H., Rosswall, T., Sönderström, B. and Wiren, A. (1980) Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in a scots pine forest. *Pedobiologia*, **20**, 85-100.
- Craft, C. B. and Webb, J. W. (1984) Effects of acidic and neutral sulfate salt solutions on forest floor arthropods. *J. Environ. Qual.*, **13**, 436-440.
- Hågvar, S. (1984) Effects of liming and artificial acid rain on Collembola and Protura in coniferous forest. *Pedobiologia*, **27**, 341-354.
- Hartmann, P., Scheitler, M. and Fischer, R. (1988) Soil fauna comparisons in healthy and declining Norway spruce stands. In *Forest decline and air pollution*. Schulze, E.-D., Lange, O. L. and Oren, R. (eds.), 475 pp., Springer-Verlag, Berlin, 137-150.
- 伊藤雅道(1993) 森林の土壌動物. 林業と薬剤, **126**, 1-10.
- Morisita, M. (1959) Measuring of interspecific association and similarity between communities. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., ser. E (biol.)*, **3**, 65-80.
- 森下正明(1967) 京都附近における蝶の季節分布. (自然生態学的研究. 森下正明・吉良龍男編, 479 pp., 中央公論社, 東京, 95-132.
- 元村 勲(1932) 群集の統計的取扱に就いて. *動物学雑誌*, **44**, 379-383.
- 奥田 東・川口桂三郎・五島善秋・小林 章・塚本洋太郎(1960) 土壌・肥料ハンドブック. 664 pp., 養賢堂, 東京.
- Schaefer, M. and Schauerermann, J. (1990) The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and a moder soil. *Pedobiologia*, **34**, 299-314.
- Simpson, E. H. (1949) Measurement of diversity. *Nature*, **163**, 688.
- Watanabe, H. (1980) A study of the three species of Isopods in an evergreen broad-leaved forest in southwest Japan. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **17**, 229-239.
- 渡辺弘之(1981) 高瀬川流域におけるダム及び道路建設が土壌動物に及ぼした影響. 高瀬川流域自然総合追跡調査報告書, 307-322.
- 渡辺弘之(1992) 酸性降下物が土壌動物に与える影響. *環境と測定技術*, **19**, 52-58.
- (1997年2月25日受付)
(1997年7月22日受理)

Summary

Well-mixed fine black soil was put into unglazed pots and these were sunk into the ground. The soil in the pots was perfused with either 15 mm 0.015% or 0.03% H₂SO₄

solution or tap water once a week. After three or four months, macroinvertebrates in the soil were collected by hand sorting. Samples were divided into 14 taxa and others. The 14 taxa were Oniscidae, Armadillidiidae, Oligochaeta, Chilopoda, Diplopoda, Araneida, Carabidae, Elateridae, Scarabaeidae, Shilphidae, Staphylinidae, Dermaptera, Cynidae and Gryllotalpidae.

Acidic water apparently had adverse effects on total individual numbers, total fresh weight and taxon diversity of soil macroinvertebrates. There was no significant difference in the total number of individuals found in the pots with two dosages (0.03% and 0.015%) of acidic water. Acidic water significantly decreased the individual numbers of Oniscidae (Isopoda) but increased those of Araneida. In soil covered with a litter of *Quercus acutissima*, both the total number of individuals and fresh weight of soil macroinvertebrates increased. The adverse effects of acidic water on macroinvertebrates were relieved by the presence of litter. With dried oil cakes and litter, both macroinvertebrate numbers and fresh weight increased further, but acidic water counteracted the effects.

Macroinvertebrates belonging to the taxa which have been known to select similar environments or have similar life style selected similar environments even in this experiment.

Key words: Litter, Oniscidae (Isopoda), Carabidae, Araneida, Oilcake

Abstract

Review of Techniques for Establishing Mixed Forests of Planted Coniferous and Natural-regenerated Broad-leaved Trees in the Forest Region of Northeast China

Hailong SHEN and Yuji IDE

Techniques for establishing mixed forests of planted coniferous trees and naturally regenerated broad-leaved trees were reviewed. There are three methods for establishing mixed forests: partly planting coniferous trees and partly reserving broad-leaved trees on sites with naturally regenerated and/or ready-grown broad-leaved trees; partly planting coniferous trees and introducing broad-leaved trees into the planted stand by natural regeneration on sites without broad-leaved trees but with nearby seed sources; and thinning coniferous plantations and introducing broad-leaved trees into the thinned stand by natural regeneration.

Effects of Artificial Acid Rain on the Abundance of Macroinvertebrates in Soil with and without Litter

Kimito FURUTA, Kôhei KUBOTA, MUSYAFU and Norinaga IWAMOTO

Well-mixed fine black soil in pots, sunk into the ground, was perfused with either H₂SO₄ (0.015% or 0.03%) or tap water. Acidic water had adverse effects on total individual numbers, total fresh weight and diversity of soil macroinvertebrates. Remarkable adverse effects of acidic water were found on Oniscidae. The presence of litter on the surface of soil had the effect of increasing both the individual numbers and fresh weight of soil macroinvertebrates, relieving acidic water effects.