

ブナ天然林における大型土壌動物の密度 および現存量の推定法について*

渡辺弘之** ・ 菊沢喜八郎*** ・ 四手井綱英***

A Study on the Sampling Technique to Estimate the Density and the Biomass
of Soil Macro Animals in a Natural Beech Forest

Hiroyuki WATANABE, Kihachiro KIKUZAWA and Tsunahide SHIDEI

目	次
要 旨.....	1
はじめに.....	1
調査地および調査方法.....	2
調査結果および考察.....	3
1. 個体数・現存量	
2. 個人差の検定	
3. サンプルサイズについて	
引用文献.....	6
Résumé	6

要 旨

1967年5月、京都大学芦生演習林内のブナ天然林で、A₀層と鉋物質土壌深さ10cmに生息する大型土壌動物をhand sorting法によって、50cm×50cmの36個（6列6行）のわくから採集し、密度および現存量の推定を行なった。36個のわくのうち、4列と2列は採集者が異なっている。

個体数は1クオドラートあたり、平均31.7、現存量は538.9mg（湿重）で、個体数の多くはアリ類とクモ、ミミズ、ムカデ、甲虫類であり、現存量はミミズ類によって占められた。

採集された大型土壌動物の総個体数、アリ類を除いた個体数は列によってその差が有意であり、また、採集者の個人差も有意であったが、現存量には有意差はなかった。

これは採集者によって、小さなものがみおとされやすいこと、現存量を構成する大きなものはみおとしが少ないことによるものと考えられる。

アリ類がとくに集中的な分布をしていること、個体重5mg以上の動物はかなり均質な分布をしていることがわかった。このことから、効率的にhand sortingにより採集できる動物の大きさは5mg以上の大きなものになりそうである。

誤差の許容限界20%、信頼度95%で現存量を推定するには、50cm×50cmのクオドラートで37個が必要である。

は じ め に

森林土壌動物の二次生産力や土壌の理化学的性質の改良への役割を知るためには、生息する動物の個体数・現存量の正確な推定が必要であるが、その推定法の基準は現在のところ、まだ十分には確立

*Contributions from JIBP-PT No. 32

この研究は文部省科学研究費特定研究「生物圏の動態」によった。

**京都大学農学部附属芦生演習林

***京都大学農学部森林生態学研究室

されていない。多種多様な土壌動物を単一の方法で採集することは不可能であり、土壌動物の生活型や大きさ、発育段階に応じた採集方法をとらなければならないであろう。対象を節足動物にかぎっても、トビムシ・ダニ・カマアシムシなど体長 0.2mm くらいの微小なものから、ヤスデ・セミ類などの 50mm にも達する大型のものまでが存在する。トビムシ、ダニ類は乾式勾配ロート法 (Tullgren funnel apparatus), ヤスデ, セミ類など大型のものについては方形枠による直接採集法 (Hand Sorting method) が最も一般的に行なわれている方法である。

いずれにしても、これら多くの土壌動物すべてを対象にする場合、Funnel 法, Hand sorting 法, Floating 法などを組み合わせることが必要であるが、それらについての適当な基準はまだなく、このような点を問題にしたものも少ないようである。さらに、これら Funnel 法や Hand sorting 法にも、採集効率に多くの難問がある⁶⁾。大型土壌動物 (Macro fauna) の採集方法である Hand sorting 法の場合は、見おとしによる採集もれ、すなわち、採集者の個人差が最も問題になる。著者らが参加した高尾山の土壌動物調査でも、採集者による個人差の大きいことが述べられている¹²⁾。

さらに、土壌動物調査のために、土壌をどのくらいの深さまで掘ればよいかも問題であり、土壌動物の垂直分布もあらかじめ調べなければならない。著者らが、別に行なった調査¹⁵⁾では、すくなくとも 50cm までも掘ることが必要であった。

また、土壌中に生息する動物をとりまく環境条件はきわめて不均質で、林木の配置、根の分布、 A_0 層の堆積状態、傾斜などの局所的な変化が多く、野外における調査場所の選定は非常にむづかしい。Hand sorting 法では、とくに、方形枠の適切な大きさ、その数の決定が必要であるが、これらについて検討したものは、Guild, M. J. McL.²⁾³⁾ Stegman, L.C.¹³⁾ 北沢⁷⁾ Zicici, A.¹⁷⁾ などの報告があるが、まだ十分に討論されたとはいえない。

本報においては著者らは大型土壌動物の Hand sorting 法についての前述した問題点を検討するために、京都大学芦生演習林のブナ林で行なった調査の結果について述べる。今回の調査では深さの問題を検討することはできなかったの、採集する深さは A_0 層と鉱物質土壌 10cm に統一して、平面的な分布の問題点についてのみ検討した。また同時に、採集者の個人差についてもいくつかの考察を行なった。

本調査に協力をいただいた京都大学理学部動物学教室 西川正毅氏および芦生演習林 二村一男技官に厚くお礼申し上げる。

さらに、土壌動物調査法に関し、有益な助言を賜った京都大学理学部 森下正明教授、同農学部 堤利夫助教授ほか森林生態学研究室の各位、芦生演習林長 和田茂彦助教授に厚くお礼申し上げる。

調査地および調査方法

調査は1967年5月23~25日に、京都府北桑田郡美山町芦生にある京都大学芦生演習林内、枕谷のブナ天然林で行なった。この林はブナを主林木として、スギ、ミズナラなどの混交した林で、標高は約 650m である。

この林床に 3m×3m の方形区を設置し、これを 50cm×50cm の36個の小方形区に分け、 A_0 層および鉱物質土壌 10cm までに生息している大型土壌動物をピンセットと吸虫管で採集した。本報でいう大型土壌動物とは、体長は 2mm 以上の節足動物およびマイマイ、ミミズ類などであるが、トビムシ、ダニ類はかなり大きな個体でも、すべて除外した。この体長 2mm 以上という大きさの規準は、Kevan, D. K. McE.⁴⁾ の Macro fauna に従ったものであるが、かならずしも厳密な意味を持つのではなく、卵、幼体などは 2mm 以下でも採集されるなど、採集者によって、この範囲はある程度広がる。この採集する動物の範囲(大きさ)と採集に要した時間が個人差を生ずる大きな原因となってい

るようである。この個人差については後に述べる。

これら36個の小方形区（枠）を、1つずつ掘りおこし生息する動物を採集したが、このうち左側の4列 24個の方形区は渡辺ほか4名が担当し、右側の2列 12個は菊沢ほか3名が担当した。

採集した動物はアルコール液に保存し、種類分けして、個体数をかぞえたのち、個体重または動物群の重量を化学天秤で1mg単位で測定した。

結果および考察

1. 個体数、現存量

この5月のブナ天然林の大型土壌動物の平均個体数は31.7/50cm×50cm、平均現存量は538.9mg(湿重)/50cm×50cmで、現存量は今までに行なわれた結果と比較してきわめて小さかった。36個の各方形区内の密度、現存量および最も個体数の多いアリ類を除いた密度および現存量を図1に示した。

個体数の多くは、アリ、クモ、ミミズ、ムカデ、甲虫類（ハネカクシ、ゾウムシ、コガネムシ、コメツキムシ類を主とする）で占められるが、とくに、アリ類が著しく多い。現存量は主としてミミズ類によって占められるが、この他、クモ、甲虫類、蛾類、アリ、ムカデなどがつけ加えられる。

2. 個人差の検定

各小方形区ごとの大型土壌動物の個体数および現存量は図1に示したように、方形区間でかなり大きなばらつきがある。このばらつきを分散分析によって検討してみた。分散分析表を表1に示した。

個体数については、行間には有意差はないが、列間にはあきらかに有意な差が認められる。採集したもののうちでアリ類は個体数も多く、分布も集中していることが明らかなので、これらを除いたものについて検討してみても結果は同じく有意な差がある。(表1-1, 1-2)

Total individual numbers

14	9	14	5	23	50
9	20	20	20	21	236
10	9	10	8	16	111
14	4	14	24	30	36
14	12	6	29	151	38
22	11	22	14	54	42

Total weights in mg

727	781	1104	1022	641	297
283	351	844	226	516	426
490	328	743	199	605	880
199	44	504	877	284	580
178	50	212	496	587	1644
754	563	323	278	599	766

Individual numbers except ants

13	8	12	5	21	21
7	16	13	18	11	20
8	8	10	7	12	26
13	4	14	23	27	33
8	11	6	26	34	34
18	11	18	14	20	15

Weights except ants in mg

723	776	1094	1022	639	263
269	329	823	222	505	136
478	325	743	191	599	762
192	44	504	873	273	576
111	47	212	493	101	1636
736	563	300	278	523	682

Figure 1 Numbers and Weights of soil animals in 36 units

Table 1 The Tables of Variance Analysis
1-1 Variance Analysis for Total Individual Number

Source of Variation	d.f.	S.S.	M.S.	F
Raw	5	5608	1121.5	1.418
Columns	5	26890	5378.1	3.383**
Error	25	39749	1590.0	
Total	35	72247	2064.2	

1-2 Variance Analysis for Individual Number except
Ants

Source of Variation	d.f.	S.S.	M.S.	F
Raws	5	306	61.2	1.563
Columns	5	1075	215.1	5.500**
Error	25	978	39.1	
Total	35	2360	67.4	

1-3 Variance Analysis for Biomass

Source of Variation	d.f.	S.S.	M.S.	F
Raws	5	449919	89984	1.216
Columns	5	620449	124090	1.130
Error	25	2736025	109441	
Total	35	3806393	108754	

1-4 Variance Analysis for Collectors

Source of Variation	d.f.	S.S.	M.S.	F
Collectors	1	22827	22827	15.7 **
Columns in each Collector	4	4064	1016	1.488
Unit in Columns	30	45357	1512	
Total	35	72247	2064	

** Significant at 5% level

すでに述べたように、左側 4 列と右側 2 列は採集者が異なっている。この採集者の個人差が、列間の有意差としてあらわれているのではないかと考えられる。このことは個人差を検定するための分散分析表 (表 1-4) から明らかである。

現存量については行、列とも有意差は認められない (表 1-3)。これは各級内においてすら現存量のばらつきが大きく、有意差として現われないものとも考えられるが、採集者の個人差が少ないものとも考えられる。すなわち、個体重量の大きなものについては、見落とされることは少なく、採集の効率が高いのに対して、小さなものは見落としやすいことや採集する動物の範囲が各個人によってかなり異なるということを意味しているものと考えられる。

3. サンプル サイズについて

すでに述べたように、採集者の個人差が、各方形ごとの個体数のばらつきの大きな原因となっているので、全体をこみにした個体数の統計量を計算するのは必ずしも適当ではない。しかし、現存量については有意な個人差は認められていないので、まず、現存量の各方形区ごとのばらつきを検討してみた。

50cm×50cm の方形区 36 個、これらを 4 個ずつ組合わせた 1m×1m の方形区 9 個および 1.5m×1.5m の方形区を 4 個とした場合のそれぞれについて、現存量およびアリ類を除いた現存量の平均値 ($\bar{x}$)、標準偏差 (u)、変動係数 ($C.V.$)、均質度係数 ($C.H.$)、 $I\delta$ -指数を計算して、表 2 に示した、

Tab. 2 Average, standard deviation, coefficient of variation, coefficient of homogeneity and $I\delta$ index of the density and biomass

Total individual number and biomass

	unit area	$\bar{x}$	u	$C.V.$	$C.H.$	$I\delta$
Density	1	31.7	45.3	1.43	0.48	2.95
	4	126.9	112.7	0.84	0.67	1.69
	9	285.5	170.4	0.60	0.81	1.35
Biomass	1	538.9	329.8	0.61	0.21	1.36
	4	2155.7	835.6	0.39	0.29	1.13
	9	4850.3	1452.1	0.30	0.42	1.06

Individual number and biomass except ants

	unit area	$\bar{x}$	u	$C.V.$	$C.H.$	$I\delta$
Density	1	15.7	8.2	0.52	0.19	1.20
	4	62.8	24.3	0.39	0.29	1.12
	9	141.3	60.0	0.42	0.59	1.13
Biomass	1	501.2	340.5	0.68	0.23	1.45
	4	2004.7	735.4	0.37	0.28	1.12
	9	4510.8	1320.5	0.29	0.41	1.06

$$\bar{x} = \sum x_i / n_i \quad (n: \text{わく数}) \quad u = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$$

$$C.V. = u / \bar{x} \quad C.H. = d / \bar{x} \quad d = u + 0.05 / \sqrt{n}$$

$$I\delta = n \frac{\sum x_i (x_i - 1)}{N(N-1)}$$

表に示したように、変動係数、均質度係数ともに大きいことを示している。また、 $I\delta$ -指数はランダムな分布では 1、集中分布では >1 、規則的な分布では <1 となるとされているが、この大型土壌

動物の調査では、方形枠（区）の面積を大きくすれば1に近づく、すなわち、ランダムな分布に近づくようであり、森下^{8)~10)}の分類からみれば、母集団は小集団をもつ集中型分布に相当するものと思われる。

次に、サンプリングに必要なわく数を、前記の3通りのわくについて検討してみた。 $I\delta$ -指数による必要わく数の計算は次式で求められる¹¹⁾。

$$N = \left(\frac{t}{\varepsilon} \right)^2 \left(I\delta - 1 + \frac{1}{\bar{x}} \right)$$

$I\delta$ -指数を利用して求めた必要わく数は表3に示したように、 $\varepsilon=0.2$ としたとき、現存量調査に必要なわく数は、50cm×50cmのわくで37個、1m×1mのわくで14個、実面積で9.1m²、13.1m²がそれぞれ必要となった。

Tab. 3 The sampling size to estimate the density and the biomass on given accuracy

unit area	Ind. no.		Biomass	
	0.1	0.2	0.1	0.2
fiducial limit				
1	392.6	98.2	144.7	36.2
4	279.2	69.8	52.2	13.1
9	141.4	35.4	24.1	6.0

Tab. 4 Average, standard deviation, coefficient of variation and $I\delta$ index of individual number and biomass of ants, and of individual number of macro animals weighing more than 5mg

	$\bar{x}$	σ	C.V.	$I\delta$
Ind. no.	16.0	41.8	2.61	7.59
Biomass	34.9	80.1	2.29	6.08
Ind. no. of large animals	12.0	3.95	0.33	1.02

個体数については、このような計算を行なうことはあまり意味がないけれども参考のために示すと、表2のようになり、当然予想されるように必要わく数は大きい。このように個体数のばらつきが大きいのは、採集者の個人差によるものであるが、その他に、とくに個体数の多いアリ類が集中的な分布を示していることも一因となっている。われわれの調査した方形わく内に出現したのは、トビイロケアリ (*Lasius niger*)、カドフシアリ (*Myrmecina graminicola*)、テラニシハリアリ (*Ponera scabra*)、アシナガアリ (*Aphaenogaster famelia*)、*Myrmica* sp. の5種であったが、とくに個体数の多かったのはトビイロケアリであった。

アリ類をすべてこみにして $I\delta$ 指数を計算してみると、表4に示したように、個体数では7.59、現存量では6.08といずれも非常に大きい。この結果からも、われわれの行なったような方形わく（区）法で、アリ類をサンプリングするのは、非常に多くの労力を必要とすることを示している。

個体数については、すでに述べたように、小さなものをみおとすことがかなりあるようなので、見おとすことの少ないもの、すなわち、個体重の大きいもののみをとりあげて検討する方がよいであろう。ここでは個体重を測定してあった右側2列の個体重（湿重）5mg以上のものについて計算してみた。

表4に示したように、個体重5mg以上の個体については、 $I\delta$ は1.023となり、全体をこみにしたものよりかなり均質になる。

以上の結果から、われわれの行なったような小方形わく法では、アリ類などを効率的に採集することは不可能である。また、採集方法が、ハンドソーテング法によっているため採集もれ、採集者の個人差が、個体重の小さなものに大きくあらわれる。したがって、このような方法で効率的に採集できるのは個体重5mg以上のかかなり大きなものに限られそうである。

引用文献

- 1) Cochran, W. G. : Sampling techniques, John Wiley & Sons, New York, (1953)
- 2) Guild, W. J. Mcl. : Variation in earthworms number within field populations, J. Anim. Ecol., 21, 169~181, (1952)
- 3) ————— : The distribution and population density of earthworms in Scottish pasture field, J. Anim. Ecol., 88, (1951)
- 4) Kevan, D. K. McE. : Soil animals. London, (1962)
- 5) 菊沢喜八郎, 四手井綱英 : 森林節足動物の密度および現存量の推定方法について, 日生態誌, 16, 1 24~28, (1966)
- 6) Kikuzawa, K. et al. : On the sampling and extracting technique for soil micro-arthropods, Jap. J. Ecol., 17, 20~28, (1967)
- 7) 北沢右三 : 日本森林土壌動物の生産力測定法とその問題点. サンプリングおよび抽出法, JIBP PT Section 土壌動物研究グループ報告, 55~63, (1966)
- 8) 宮地伝三郎ほか : 動物生態学, 朝倉書店, 東京, (1961)
- 9) Morishita, M. : Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns, Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E (Biol.), 2, 215~235, (1959)
- 10) ————— : $I\delta$ -index, a measure of dispersion of individuals, Res. Popul. Ecol., 4, 1~7, (1962)
- 11) 小野勇一 : 動物の個体数調査法, 生態学実習懇話会編「生態学実習書」, 朝倉書店, 東京, (1967)
- 12) 斎藤晋 : 高尾のスギ林の土壌動物個体数, JIBP PT Section 土壌動物研究グループ報告, 80~82, (1966)
- 13) Stegman, L. C. : A preliminary survey of earthworms of the Tully forest in Central New York, Ecol., 41, 779~782, (1960)
- 14) 渡辺弘之 : ブナ, マダケ林およびドイツウヒ林の土壌動物の現存量と落葉の分解 (粉碎) にはたす役割, 日林誌, 49 (8), 311~315, (1967)
- 15) 渡辺弘之 : 大型土壌動物の垂直的分布について, 日林誌, 50 (7), 197~203, (1968)
- 16) Weigert, R. G. : The selection of and optimum quadrat size for sampling the standing crop of grasses and herbs, Ecol., 43, 125~129, (1968)
- 17) Zicsi, A. : Determination of number and size of sampling unit for estimating Lumbricid population of arable land soils, Psohress in soil Zoology, edited by P.W. Murphy, 68~71, (1863)

Résumé

The density and biomass of forest soil macro-animals were investigated by the hand sorting sampling method in a natural beech stand in Ashiu School Forest of Kyoto University, Kyoto, in May of 1967.

The sample quadrat was three meters square consisting of 36 units (6 rows×6 columns) each 50 square cm in size. 24 units (4 columns) and 12 units (2 columns) were examined separately by the different collectors. The variance analysis of total individual numbers in each 36-units showed significant differences between the columns a probable indication of differences in the collectors, i.e., overlooking small animals. Significant differences could not found in the variance analysis of biomass in each 36-units. That is to say, large animals which constitute the major part of biomass might be collected rather carefully by collectors, whereas the small animals might not. From the results mentioned above, it seems that animals of 5mg or more in body weight can be collected efficiently by the hand sorting method.

The unit area and sample size need to give proper estimates of biomass of soil macro-animals were calculated. 37 units of 50cm square would be necessary for estimation of biomass within a limit of 20% intervals with the mean on a 95% confidence.