

# 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

渡 辺 弘 之

Studies on the Breakdown of Leaf Litter and Ploughing by  
Soil Macro Animals in Forest Ecosystems.

## I. Individual Numbers, Biomasses and Environmental Factors

Hiroyuki WATANABE

| 目                                    | 次                             |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 要 旨 .....                            | 4. 結果および考察..... 7             |
| 目的と意義 .....                          | 1) 温度条件の影響                    |
| 第1章 森林における土壌動物の役割 .....              | 2) 地域的な要因の影響                  |
| 第2章 大型土壌動物の個体数・現存量と<br>環境要因の影響 ..... | 3) $A_0$ 層量およびその平均分解率<br>との関連 |
| 1. 大型土壌動物の定義                         | 参考文献.....17                   |
| 2. 調査・研究の方法                          | Résumé .....19                |
| 3. 主要調査地                             |                               |

## 要 旨

大型土壌動物をほぼ体長 1 mm 以上になる動物とし、線虫、ヒメミミズ、トビムシ、ダニ類はすべて除外し、大型土壌動物の範囲を定め、各種の森林および草地において Hand sorting 法により 50 cm×50 cm のクォドラートを数カ所設定し、深さ 30~80 cm まで堀りとり、大型土壌動物の種類組成・個体数・現存量を調べた。

森林における土壌動物の役割を落葉・落枝の摂食・粉碎と土壌中を移動することによっての土壌と有機物の混合、土壌の耕耘に大別し、それによっての土壌の性質の変化（土壌に与える影響）、土壌の性質の変化にともなう動・植物への影響にまとめることができた。

森林の土壌動物として出現してくる主要なものはミミズ、ヤスデ、イシムカデ、ジムカデ、クモ、コムカデ、アリ類で、この他ハネカクシ、コガネムシ、コメツキムシ、双翅類なども共通して出現する。また、ヒメハマトビムシ、ダンゴムシ、ワラジムシ、ヒメフナムシ、カニムシ、ゴキブリ、シロアリ、セミ類などは温帯落葉広葉樹林や暖帯常緑広葉樹林では優占種であった。

個体数・現存量は亜寒帯針葉樹林、温帯落葉広葉樹林、暖帯常緑広葉樹林の順に大きくなり、シイ・ツバキ林では個体数 144~1432/m<sup>2</sup>、現存量 49.6~145.0 g/m<sup>2</sup> の大きな値を示した。この個体数・現存量と温量指数との関係をみると、温量指数に比例して大きな値を示し、マクロな

スケールでみた場合、土壤動物の個体数・現存量を支配する最も大きな環境要因は温度条件であると考えられる。しかし、同一温度条件下でも最大値と最小値の較差は大きい。これをミクロな要因、地域的な要因としてとらえてみると、動物の季節的変動よりも、地形のちがいが、地形のちがいに基づく植生、土壌、とくに水分条件の影響が大きいと認められた。

各種の森林において  $A_0$  層量およびその平均分解率と現存量との関係を見ると、現存量の大きいところほど、落葉の分解率の大きいことを示し、ミミズ類を主とする大型土壤動物の落葉分解への関与を間接的に示した。

## 目 的 と 意 義

土壌中に生活する動物—土壤動物には、きわめて多種多様なものが含まれているので、土壤動物に関する研究は Darwin, C.<sup>1)</sup> のミミズの研究以来、個々の動物については分類・形態学的研究を主にかんがりの研究があり、最近では Kühnelt, W.,<sup>2)</sup> Dungen, W.<sup>3)</sup> Kevan, D. K. McE.,<sup>4)</sup> Macfadyen, A.,<sup>5)</sup> Murphy, P. W.,<sup>6)</sup> Burges, A. & F. Raw,<sup>7)</sup> Graff, O. & J. E. Satchell,<sup>8)</sup> Jackson, R. M. & F. Raw,<sup>9)</sup> Sheals, J. G.,<sup>10)</sup> Wallwork, J. A.,<sup>11)</sup> Doeksen, J. & J. van der Drift<sup>12)</sup> などの総括的な著書があいついで出版され、土壤動物の研究に有益な指針を与えてくれる。しかし、わが国の森林の土壤動物についてみると、コガネムシ、コメツキムシ、寄生性線虫など、いわゆる害虫に関する研究が、わずかにあるだけで、わが国唯一の土壤動物に関する著書である江崎・野村<sup>13)</sup>も害虫としての土壤動物とその防除法を扱ったものである。

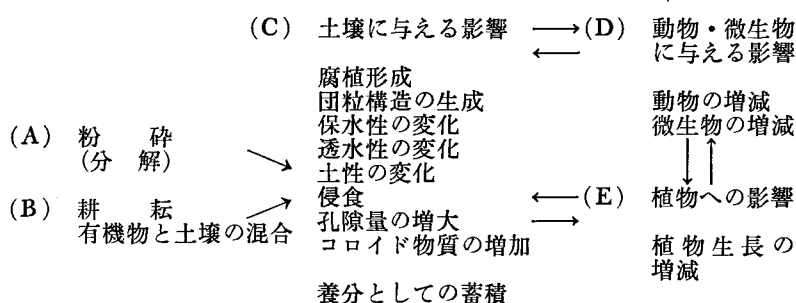
森林においては落葉層や土壌中に棲息する多種多様な土壤動物が気象・植生・土壌などの環境因子に支配されながら、落葉や枯死した根などを摂食し、また、土壌中を移動している。これは年々供給される落葉を摂食・粉碎し、土壌を耕耘・改良していることになる。すなわち、森林の土壌中に棲息する土壤動物の種類組成・個体数・現存量・食性・生活史などが森林生態系の物質循環の速度や量に大きな影響を与え、それは一次生産にも強いつながりを持つということである。このような森林生態学的な立場からの森林の土壤動物についての研究はやっと始まったばかりであって、森林の土壌中にどんな動物が、どのくらい棲息し、その落葉摂食・粉碎量、土壌耕耘量、土壤動物の二次生産量はどのくらいかといった量的な知識についてはきわめて乏しく、森林における土壤動物は今後の重要な研究課題といえる。

本研究において筆者は異なった植生、気象、土壌条件下の各種の森林および草地で、ミミズ類を主とする大型土壤動物について、種類組成・個体数・現存量と環境要因との関連について述べ、森林における大型土壤動物の総括的な把握を試みた。森林における土壤動物相はきわめて多種多様であり、多くの未知の問題が残っているが、大型土壤動物に限ってみた場合、本研究によって動物相の量的な把握を示すことができたことは、今後の土壤動物に関する研究に大きな参考になるものと考えている。

本研究には終始、京都大学農学部 四手井綱英教授、堤利夫助教授、同附属演習林 赤井竜男、古野東洲助教授にご指導を賜わった。また、京都大学農学部 内田俊郎教授、東京都立大学理学部 北沢右三助教授には有益なご教示を賜わった。記して厚くお礼申し上げる。また、個々の動物については多くの方に同定をお願いしたが、とくに、ミミズ類については函館大学故山口英二教授、上平幸好講師、草地試験場 中村好男技官にご教示をいただいた。大きな労力を要する土壌の掘りとり調査には附属演習林および森林生態学研究室の方々にご援助いただいた。ここで厚くお礼申し上げる。

## 第1章 森林における土壤動物の役割

Darwin, C.<sup>1)</sup> 以来、土壤動物の役割、機能はいろいろと認められてきたが、その役割は大きく2つに分けることができる。すなわち、1つが林冠から供給される落葉・落枝および地中の枯死した根の摂食による粉碎（分解）であり、もう1つが、土壤中を移動することによっての耕耘と有機物と鉱物質土壌の混合である。この2つの役割、機能は相互に作用しあって、 $A_0$  層や土壌にいろいろな理化学的性質の変化を与え、それは微小動物、微生物に影響を与え、それらの増減が植物生長に結びついたり、被害というかたちであらわれたりする。また、微生物の増減が土壤動物にいろいろな影響を与えているものと考えられる。土壤動物の役割として、今までに認められているものを次のように表わすことができる。



### (A) 粉 碎

土壤動物は地表に堆積する落葉・落枝や土壌中の根を直接摂食し、不消化物を排出するが、この過程において落葉・落枝は細かく粉碎される。また、摂食された部分とともに、食べ残された部分も小さくなっている。摂食のしかたも大型の動物は落葉の外部から食べるが、小さな動物は落葉の内部に潜入して嚙食する。森林においては落枝、倒木、切株、枯死根など、その重量はきわめて大きいと思われるが、これらを摂食粉碎するキクイムシ、カミキリムシ、クチキムシなどについては、材の腐植段階における動物の変遷がとり扱われているだけで、これらの粉碎・分解についての知識は乏しい。

落葉については大型のもの、マイマイ、ダンゴムシ、ヤスデ、ヒメフナムシ、ミミズ、シロアリ類はかなり新鮮なものでも摂食する。腐朽したもの、大型動物の糞などをダニ、トビムシ、ヒメミミズ類が摂食するといわれているが、新鮮なものの腐朽したものという明確な区別はできないであろう。また、ミミズは土壌を砕くことができるといわれている。すなわち、Satchell, J.E.<sup>15)16)</sup>は排出土壌は摂食土壌にくらべて、その土壌粒子が細かく、これは消化管内での摩擦作用によるものであると述べている。しかし、Lunt, H.A.<sup>17)</sup>らは摂食土と排出土の粒子組成に差をみとめていない。

### (B) 耕耘，有機物と鉱物質土壌との混合

土壤動物の多くは地表の有機物を摂食し、その排出物を地中に糞として残したり、有機物を地中に引っ張りこんだり、深いところの土壌を地表に運ぶなど、土壌と有機物を垂直・水平方向に移動混合させる。これらにはミミズ、シロアリ、アリ類がとくに大きな役割をはたしている。ミミズについては Darwin, C.<sup>1)</sup> は 8~18 ton/acre/y., 平均 14 ton/acre/y. の土が、Evans, A.C.<sup>19)18)</sup>

は土壌や地表植生によって異なるが 2~35 ton/acre/y. の土がミミズによって動かされていると述べている。また、Kubiena, W.L.<sup>20)</sup> は有機物と土壌を混合し、土壌を耕耘することは他のどんなものでも替えられないと述べており、人為の耕耘が行なわれない森林においては耕耘はすべて土壌中に棲息する動物にまかされている。このほか、耕耘による土の物理性の改良は土壌の透水性を改良し、そのことによって水による有機物や無機物の下方への移動運動に貢献しているものともみられる。

### (C) 土壌に与える理化学的影響

**腐植形成** Kubiena, W.L.<sup>20)</sup> は動物の活動の少ないところでは腐植化が少なく、腐植形成は動物の排出物の堆積と平行し、ムル型土壌はミミズやヒメミミズの排出物で形成されていると述べている。これは土壌動物の存在が微生物による腐植形成を促進するということであろう。

**団粒構造の生成** 宮坂<sup>21)</sup> はミミズを種々の粒径の土壌で飼育したところ、1~2 mm の団粒が多くなることを報告し、団粒はミミズの糞そのものであると述べている。

**保水性の変化** 動物の不消化排出物は保水性がよく、また、水は団粒構造の中、土壌の孔道、耕耘によって増えた孔隙の中にたまるので保水性がよくなる。

**透水性の変化** 土壌中に作られたミミズの孔道、孔隙などによって透水性がよくなり、Guild, W.J. McL.<sup>22)23)</sup> はミミズの活動によって浸透する速度は著しく早くなることを述べている。

**土性の変化** 混合・耕耘などによって土壌の異なった大きさの粒子を混合、均一にする。とくに、ミミズ、アリ、シロアリ類は土壌中深くから土壌を地表にあげ、地表の有機物や土壌を地中深くまで運ぶ。また、Darwin, C.<sup>1)</sup> は畑の石がだんだん埋っていくことを述べているが、これも土性の変化の一つとみられるであろう。

**浸食** Barley, K.P.<sup>24)</sup> は地表に排出されたミミズ類の糞は雨などによって流れやすくなると述べているし、Darwin, C.<sup>1)</sup> 畑井<sup>25)</sup> はミミズが孔隙を増し、保水・透水性をよくするので、石垣がくずれることがあると述べている。

**孔隙量の増大** 土壌動物は土壌中を動きまわり地中に孔道を堀り、それを補強する。ミミズ類によるこの役割は大きく、Satchell, J.E.<sup>16)</sup> はミミズ類による孔道は牧草地で 100~300 本/m<sup>2</sup> にも及び、そのトンネルの占める量は土壌孔隙量の 2/3 にもなり、草地では 0.05 cc/cc であったと述べている。Jacot, A.J.<sup>26)</sup> は土の中に残る根などを食べ、そこにも孔隙を残すと述べている。また、Guild, W.J. McL.<sup>23)</sup> はミミズの中には 2~3 m も深くもぐるものがあると述べており、孔隙量の増大にミミズ類やセミ、コガネムシ、アリ、シロアリ類が大きな役割をはたしている。

**コロイド物質の増加** Guild, W.J. McL.<sup>23)</sup> は保水力の増加は有機物と鉱物質土壌の混合によってできたコロイド物質の増加に原因すると述べ、また、ミミズ類の排出物は保水力の大きいコロイドに転換されており、水分の蒸発を減ずることになると述べている。

**養分としての蓄積** 動物のからだ、そのものは窒素の集積体となり、その脱皮物・排出物は高い窒素含有率を示し、微生物の活動を助ける。とくに、ミミズ類の体組成の蛋白含有量は高く、乾重の 54~72% に達し、1 頭あたり 10 mg の硝酸態窒素を生ずるという (Satchell, J.E.)<sup>16)</sup> また、Barley, K.P.<sup>27)28)29)30)</sup> はミミズによって摂食された非可給態窒素の 64% が可給態なもので排出されると述べている。動物の多いことはそれだけ窒素量の多いことになり、動物・微生物の養分源として大きな意味を持っている。

#### (D) 動物、微生物に与える影響

Engelmann, M.D. <sup>31)32)</sup>などは土壤動物、とくにダニ類が菌類を食べ、菌類の population の減少をまねくといひ、一方、Kevan, D.K. McE. <sup>33)</sup>は落葉と土壤の混合は微生物の活動範囲を広げ、動物の菌糸の入った有機物を動かして新しい材料を提供するし、摂食された胞子はそのまま排出されるので、排出物は微生物のよい繁殖場所になるという。また、よく知られているように、ミミズ類の増加はモグラを呼ぶなど、微生物・動物の増減はその捕食者を増減させるなど、動物と微生物の相互関係はより複雑になる。さらに、孔隙の増加、土壤の性質の変化などによって動物の生息範囲は拡大し、動物の増加を招くことになる。

#### (E) 植物に与える影響

動物による土壤の理化学的性質の変化、改良などによって森林において林木の生長、生産力の増大が考えられる。Barley, K.P. <sup>24)</sup>はミミズを入れたポット試験および野外実験で、ミミズの存在する方が牧草の収量が多くなり、ミミズのいる草地で 4420 ポンド、ミミズのいないところで 2540 ポンド/acre であったことを述べ、ミミズ類の遺体の施肥効果が大きかったと述べている。また、ヴォロンツォフ <sup>34)</sup>はブラジエフスキーの実験結果としてミミズを入れた鉢に植えられたナラ、トネリコの苗が入れなかったものに比較して、重量で大きく増加したと述べている。しかし、森林における土壤動物と生産量との直接的な因果関係はまだ調らべられていない。

このような土壤動物の土壤の改良や施肥効果によって植物の生長速進、収量の増加が認められる一方、Ghilarov, M.S. <sup>35)</sup>は食植性動物であるコガネムシ、コメツキムシ、アリマキ類は被害というかたちで収量を減少させ、また、線虫は“いや地”の原因になると述べている。また、植物病菌をこれら土壤動物が運搬することも認められ、アリマキ、線虫、ヒメミミズ、ヤスデ、ダンゴムシなどが根ぐされ病などを運搬するともいわれている。

いろいろと認められ、推測されていた土壤動物の役割を、落葉の粉碎と土壤の耕耘に大別し、それらが土壤の性質にどんな変化を与えるかにまとめてみた。しかし、逆に植物の生長、とくに林相の変化などは土壤動物に大きな影響を与えるので、ここに示した関係は一方的なものではないといえよう。

## 第2章 大型土壤動物の個体数・現存量と環境要因の影響

### 1. 大型土壤動物の定義

土壤中に生活する動物、土壤動物の定義を Cameron, A.E. <sup>36)</sup>は一時的に、または発育過程の一時代あるいは数時代を土壤の表面に接触し、または土壤中にあって生活するものとしている。落葉層や鉱物質土壤中では1世代を過すもの、幼態期だけ土壤中を過すもの、また、越冬、営巣などのために土壤中に潜入するものなど、土壤動物には多種多様な生活史を持ったものを含んでいる。Kühnelt, W. <sup>2)3)</sup>、Kevan, D.K. McE. <sup>5)6)</sup>らは土壤動物として出現してくるものは原生動物、担輪動物、円形動物、紐形動物、軟体動物、環形動物、節足動物、脊椎動物のうちの両棲類、は虫類、鳥類、哺乳類などであると述べ、草地、海岸、マングローブなど特殊な地域の土壤をも対象とすれば、すべての無脊椎動物の phylum が出現するだろうとも述べている。

しかし、これら多種多様なものを同一の方法によって採集し取扱うことは不可能なので、動物の大きさ、生活型、近縁種、採集方法などによって研究対象が決められている。とくに、土壤動物すべてを対象とする場合、大きさによって、それら動物をいくつかに分けることが行なわれている。古くは肉眼で見えるものを macro fauna (大型土壤動物)、見えないものを micro fauna

(小型土壤動物) と区別したようであるが, Fenton, G.R.<sup>37)</sup> は  $40\mu$  以下を micro fauna,  $40\mu$  以上数 cm のものを meso fauna (中型土壤動物), トカゲ, ネズミなどを macro fauna とした。これを Murphy, P.W.<sup>8)38)</sup> は micro fauna を  $100\mu$  以下, meio fauna, meso fauna を  $100\mu\sim 1\text{cm}$ ,  $1\text{cm}$  以上のものを macro fauna とし, Wallwork, J.A.<sup>13)</sup> は micro  $20\sim 200\mu$ , meso  $200\sim 1\text{cm}$ ,  $1\text{cm}$  以上を mecro fauna とした。

わが国でも土壤動物を大きさによって mecro, meso, micro fauna と大別し, IBP<sup>39)</sup> を中心に研究が進められているが, その分け方はきわめてあいまいであって, meso fauna を Tullgren funnel 装置で抽出されるものとしている。網の目の大きさによって抽出される動物の大きさが制限されるにしても, ヒメミミズ, 線虫類はこれらの装置では採集できないので, meso fauna は大きさによるよりも抽出方法によって決められている。大型土壤動物 macro fauna についても同様で, 北沢らは吸虫管, ピンセットを用いた Hand sorting 法によって採集できるものとしている。Hand sorting 法によって採集されるトビムシ, ダニ, ヒメミミズ, 線虫類などは funnel 法, Baermann 法, O'conner 法など装置を用いた場合に比べて著しく効率は悪いので, 大きな労力を払ってこれらの動物を採集する意味は少ない。

このような研究者によって大型土壤動物の定義, 範囲が異なることは調査結果の比較研究や動物の個体数の正確な算定を困難にしている。これらのことから筆者は Hand sorting 法で採集可能なものをほぼ  $1\text{mm}$  とし, 成体が  $1\text{mm}$  以上になる次の動物群に含まれるものを大型土壤動物としてとり扱った。

#### 大 型 土 壤 動 物

|      |      |                                                          |                                      |
|------|------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 袋形動物 | 線形虫綱 | ハリガネムシ目                                                  | ハリガネムシ科                              |
| 軟体動物 | 腹足綱  | 柄眼目                                                      | ニッポンマイマイ科, ナメクジ科<br>オナジマイマイ科, キセルガイ科 |
| 環形動物 | 蛭綱   | ヤマビル科                                                    |                                      |
|      | 貧毛類  | ツリミミズ科                                                   | フトミミズ科                               |
| 節足動物 | 蛛形綱  | カニムシ目, ヤイトムシ科, 盲蛛目, 真正蜘蛛目                                |                                      |
|      | 甲殻綱  | ワラジムシ科, ダンゴムシ科, ヒメフナムシ科<br>ヒメハマトビムシ科                     |                                      |
|      | 倍脚綱  | オビヤスデ目, ヒメヤスデ目                                           |                                      |
|      | 唇脚綱  | ゲジ目                                                      | イシムカデ目 ジムカデ目 オオムカデ目                  |
|      | 結合綱  | ナミコムカデ科                                                  |                                      |
|      | 昆虫綱  | 総尾目 直翅目 革翅目 嚙虫目 等翅目<br>総翅目 脈翅目 鱗翅目 膜翅目 鞘翅目<br>半翅目 双翅目 など |                                      |

ここに示したものを大型土壤動物として, 線虫, ヒメミミズ, トビムシ, ダニ類などは大きなものでも除外したことは野外調査, 室内での整理にきわめて实际的であった。しかし, これら大型土壤の動物の卵, 幼体などについては Hand sorting 法での採集は困難なので, 個々の種についての令構成など詳細な研究については Hand sorting 法, 浮遊法, 装置利用などいくつかの方法を組み合わせる必要がある。

## 2. 調査研究の方法

大型土壤動物の野外調査の際の最大の困難は動物が土という媒体の中に生活しているため, 土と動物を分離することである。このため大きな労力を必要とするし, Hand sorting 法による調

査者の個人差がでてくる危険性があるが、大型土壤動物はていねいな堀りとり調査でほぼ採集できるものと考えている。

大型土壤動物の採集には 50 cm×50 cm のクオドラートを森林内に 4~10 個設定し、地表の活動のはげしいクモ、ヒメフナムシなどを採集しながら、堆積する落葉をビニールシートに移し、棲息する動物をピンセット、吸虫管などを用いて採集し、つづいて土壌を深さ 10 cm ごとに、または土壌の層位ごとに堀りとり、シートの上で土を砕きながら Hand sorting 法によって採集した。採集できた動物はアルコール液に保存し、双眼顕微鏡を用いて種類分けし、個体数をかぞえ、その個体重 mg 単位で測定した。個体重は湿重量で測定したが生重—湿重—乾重の関係式を求めておいた。湿重に対する乾重量は 18~31%, 平均値は 24% で、生重に対する湿重は 72% であったので、本研究において示した動物の現存量の生重—湿重—乾重の換算はほぼ次式で求められる。

$$F=1.39W \quad D=0.24W \quad (F: \text{生重} \quad W: \text{湿重} \quad D: \text{乾重})$$

堀りとした深さは 10 cm ごと、層位ごと、いずれの場合も動物が出現しなくなるまで、または基岩に達するまでで、30~80 cm まで堀りとした。

調査に際しては主要構成樹種、立木密度、平均胸高直径、地表植生量、地表植物、 $A_0$  層量、深さ 10 cm ごとの根の量などをできるだけ記録し、乾重用のサンプルをとった。土壌調査は 400 cc 採取円筒を用い、炭素含有率はチューリン法、窒素はケルダール法で分析した。また、調査はできるだけ森林生産力測定グループを協同して行ない、落葉量などとの関連を調べた。

### 3. 主要調査地

調査は動物相と主要な構成者であるミミズ類の各種の森林における概要を知るため、森林植生の垂直、水平的な変化と対応させ、森林限界であるハイマツ群落から、亜寒帯林（ダケカンバ、アカエゾマツ、オオシラビソ・コメツガ）、温帯林（ブナ、ミズナラ、スギ、モミ・ツガ林）、暖帯林（シイ・ツバキ林）などの天然林で主として調査を行ない、このほか各種の人工林などでも調査を行なった。

調査を行なった主要な林分は次のとおりである。

ハイマツ群落、ダケカンバ林、アカエゾマツ林、アカエゾマツ・トドマツ・ダケカンバ混交林<sup>43)</sup>（北海道上川郡勇駒別、大雪山）

ダケカンバ林、オオシラビソ・コメツガ林（長野県下高井郡山の内町 志賀高原<sup>44)45)</sup>）

カラマツ人工林 ストローブ人工林（長野県下伊那郡阿智村<sup>46)</sup>）

ブナ林、ミズナラ林、ブナ・ミズナラ・スギ混交林<sup>47)</sup>、ミズナラ・ウラジロガシ林<sup>48)</sup>、ゴヨウマツ林、スギ林、トチノキ林、ススキ草原<sup>49)</sup>、スギ人工林（京都府北桑田郡美山町芦生 京都大学芦生演習林<sup>49)</sup>）

アカマツ林（広島県芦名郡協和村）

モミ・ツガ林（和歌山県有田郡清水町上湯川 京都大学和歌山演習林<sup>50)</sup>）

シイ・ツバキ林、シイ・ナギ混交林<sup>46)</sup>、テーダーマツ人工林<sup>46)</sup>、スラッシュマツ人工林（和歌山県西牟婁郡白浜町 京都大学白浜試験地）

### 4. 結果および考察

大型土壤動物の種類組成・個体数・現存量は土壤動物の働き activity を示す一つの指標であるので、各種の森林における大型土壤動物の種類組成・個体数・現存量と、その大きさ、構成を制限する環境要因との関連について述べる。環境要因、すなわち、気象条件（気温、地温、降水

量), 植生条件 (構成樹種, 地表植生), 土壌条件 (土壌の深さ, 性質) などは複雑で, それらはまたお互に独立した因子ではないので, 個々の因子との関連を把握することは困難であろうが, 大きなスケールで見た場合, 大型土壌動物の個体数・現存量は温度条件の影響を最も大きく受けていると考えたので, まず, 大きなスケールでの温度条件との関連を求め, さらに, 同一温度条件下でのいくつかの要因との関連を示した。

### 1) 温度条件の打響 (マクロな要因)

調査は寒帯 (ハイマツ群落), 亜寒帯林 (オオシラビソ・コメツガ林, ダケカンバ林, アカエゾマツ林), 温帯林 (ブナ林, ミズナラ林, スギ林, モミ・ツガ林), 暖帯林 (シイ・ツバキ林) などで行なっているので, これらを総合して材料とし, 北沢ら<sup>40)~42)</sup>, 齊藤ら<sup>51)</sup>の調査結果も参考につけ加えた。

種類組成を種の段階で比較することはきわめて困難であるので, 主要な動物を目, 科などを単位とする次のグループに分け, グループ組成として示した。

1) 軟体動物 2) ミミズ 3) ヒル 4) ヤスデ 5) イシムカデ 6) ジムカデ 7) ダンゴムシ 8) ワラジムシ 9) ヒメフナムシ 10) ヒメハマトビムシ 11) カニムシ 12) クモ 13) メクラグモ 14) コムカデ 15) バッタ・コオロギ 16) ハサミムシ 17) シロアリ 18) ハサミコムシ 19) アリズカムシ 20) ハネカクシ 21) ゾウムシ 22) ハムシ 23) コガネムシ 24) ゴミムシ 25) コメツキムシ 26) その他の鞘翅目昆虫 27) セミ 28) カメムシ, アワフキ 29) 蛾 30) アリ 31) ハチ 32) 双翅類 33) その他

このグループ分けは 26), 31), 32), 33) を除いてほぼ同じ生活型, 食性を示すものと考えられる。

また, 温度条件は温量指数 (暖かさの指数), 月平均気温の  $5^{\circ}\text{C}$  以上の月から  $5^{\circ}\text{C}$  を引いた年総計として表わした。

### 結 果

グループ数の多少が種類組成の豊富さを表わしているものとして, 各種の森林におけるグループ数をみると, 図 1 に示したように, 温量指数に比例して, グループ数は多くなる傾向を示し,

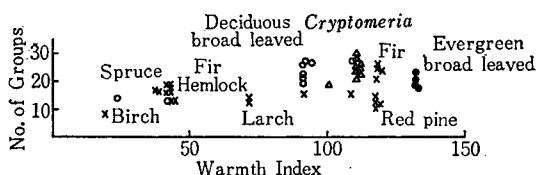


Fig. 1. Number of groups in relation to warmth index.

亜寒帯林では 20 以下, 温帯落葉広葉樹林で 20~30 と最も多く, 暖帯常緑広葉樹林ではやや少なく 25 以下になっている。

この各グループの総個体数に占める割合 (優占度) を求め, 各森林を通じての共通グループ, 優占グループをみても

と, 表 1 に示したように, 各森林によって構成割合は異なるものの, 大型土壌動物として, いずれの森林においても共通的に現われ, その優占度の大きいものはミミズ, イシムカデ, ジムカデ, クモ, アリ類であり, また, ヤスデ, コムカデ, ハネカクシ, コガネムシ, ゴミムシ, コメツキムシ, カメムシ, 双翅類は優占度は大きくないが, いずれの森林にも共通的に出現してくるものであることを示している。しかし, ヒメハマトビムシ *Orchestia platensis japonica*, ダンゴムシ *Armadillidium vulgare*, ワラジムシ *Porcellio scaber*, ヒメフナムシ *Ligidium japonicum*, カニムシ, 直翅類のうちのゴキブリ, セミ類は温帯落葉広葉樹林や暖帯常緑広葉樹林では優占度の大きい主要な動物であることを示している。また, ヒメガロア *Galloisiana yuasai* はオオシラビソ・コメツガ林では主要な動物の一つであることを示している。



Table 1. Faunistic composition under various kinds of forests.

|                      | <i>Pinus pumila</i> | <i>Betula ermanii</i> | <i>Picea glehni</i> | <i>Abies sachalinensis</i><br><i>picea glehni</i> | <i>Abies mariesii</i><br><i>Tsuga diversifolia</i> | <i>Picea excelsa</i> | <i>Fagus crenata</i> | <i>Quercus mongolica</i> | <i>Fagus crenata</i><br><i>Quercus mongolica</i><br><i>Cryptomeria japonica</i> | <i>Cryptomeria</i><br><i>japonica</i> | <i>Quercus mongolica</i><br><i>Q. saicina</i> | <i>Pinus densiflora</i> | <i>Abies firma</i><br><i>Tsuga sieboldi</i> | <i>Castanopsis</i><br><i>cuspidata</i> |
|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
| <i>Mollusca</i>      |                     |                       |                     |                                                   | ○                                                  | ○                    | ○                    |                          | ○                                                                               | ○                                     |                                               |                         | ○                                           | ○                                      |
| <i>Lumbricidae</i>   | ○                   | ●                     | ○                   | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Hirudinea</i>     |                     | ○                     | ○                   | ○                                                 |                                                    |                      | ○                    | ○                        |                                                                                 |                                       | ○                                             |                         | ○                                           |                                        |
| <i>Diplopoda</i>     |                     | ○                     | ○                   | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Lithobiidae</i>   | ○                   | ○                     | ○                   | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Geophilidae</i>   | ○                   | ○                     | ○                   | ●                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>A. vulgare</i>    |                     |                       |                     |                                                   |                                                    | ○                    |                      | ○                        |                                                                                 | ○                                     | ○                                             |                         | ○                                           | ○                                      |
| <i>P. scaber</i>     |                     |                       |                     |                                                   |                                                    |                      |                      | ○                        |                                                                                 |                                       | ○                                             |                         | ○                                           | ○                                      |
| <i>L. japonicum</i>  |                     |                       |                     | ○                                                 |                                                    | ○                    | ○                    |                          | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             |                         | ○                                           | ○                                      |
| <i>Amphipoda</i>     |                     |                       |                     |                                                   |                                                    |                      |                      | ○                        |                                                                                 | ○                                     | ○                                             |                         |                                             | ○                                      |
| <i>Cheriferidea</i>  | ○                   | ○                     |                     |                                                   | ○                                                  |                      | ○                    |                          | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           |                                        |
| <i>Araneina</i>      | ○                   | ○                     | ○                   | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Opiliones</i>     |                     |                       |                     | ○                                                 | ○                                                  | ○                    |                      | ○                        |                                                                                 | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           |                                        |
| <i>Symphyla</i>      |                     | ○                     | ○                   |                                                   | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        |                                                                                 | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Thysanura</i>     | ○                   |                       |                     | ○                                                 |                                                    |                      | ○                    |                          | ○                                                                               |                                       |                                               | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Orthoptera</i>    |                     |                       |                     |                                                   |                                                    |                      | ○                    | ○                        | ○                                                                               |                                       | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Dermaptera</i>    |                     |                       |                     |                                                   |                                                    |                      | ○                    | ○                        |                                                                                 |                                       |                                               |                         |                                             |                                        |
| <i>Isoptera</i>      |                     |                       |                     |                                                   |                                                    |                      | ○                    |                          |                                                                                 | ○                                     |                                               | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Pselaphidae</i>   |                     |                       |                     |                                                   |                                                    | ○                    | ○                    |                          | ○                                                                               |                                       | ○                                             |                         |                                             | ○                                      |
| <i>Staphylinidae</i> | ○                   | ○                     | ○                   | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Culculionidae</i> | ○                   |                       |                     | ○                                                 |                                                    | ○                    | ○                    |                          | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             |                         |                                             |                                        |
| <i>Chrysomelidae</i> |                     | ○                     |                     |                                                   |                                                    | ○                    | ○                    |                          | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       |                                             | ○                                      |
| <i>Scarabidae</i>    |                     |                       |                     | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Carabidae</i>     | ○                   | ○                     |                     |                                                   | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Elateridae</i>    | ○                   | ○                     | ○                   | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| other Coleoptera     |                     | ○                     |                     | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Cicade</i>        |                     |                       |                     |                                                   |                                                    | ○                    | ○                    |                          |                                                                                 | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Hemiptera</i>     |                     |                       | ○                   | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Lepidoptera</i>   |                     |                       | ○                   |                                                   | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       |                                             | ○                                      |
| <i>Formicidae</i>    | ○                   |                       | ○                   | ○                                                 |                                                    | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Hymenoptera</i>   |                     |                       |                     | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    |                          | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| <i>Diptera</i>       |                     | ○                     | ○                   | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |
| others               |                     | ○                     | ○                   | ○                                                 | ○                                                  | ○                    | ○                    | ○                        | ○                                                                               | ○                                     | ○                                             | ○                       | ○                                           | ○                                      |

● &gt;50%

○ &gt;10%

○ &gt;10%

① Cookroach

② Galloisiana

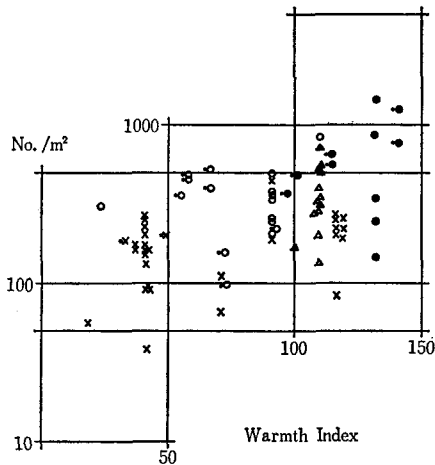


Fig. 2. Individual numbers in relation to warmth index.

× conifer △ cryptomeria ○ deciduous broad leaved ● evergreen broad leaved tree

土壤動物の現存量の大きいことを示しているが、これも図3に示したように温暖指数の大きいところほど最大値は大きくなるが、最大値と最小値の較差の大きいことを示した。

また、温暖指数に比例して個体数・現存量が大きくなる傾向を示しているが、現存量がより著しく大きくなるので、各森林における大型土壤動物の平均個体重を温暖指数との関係で示した。

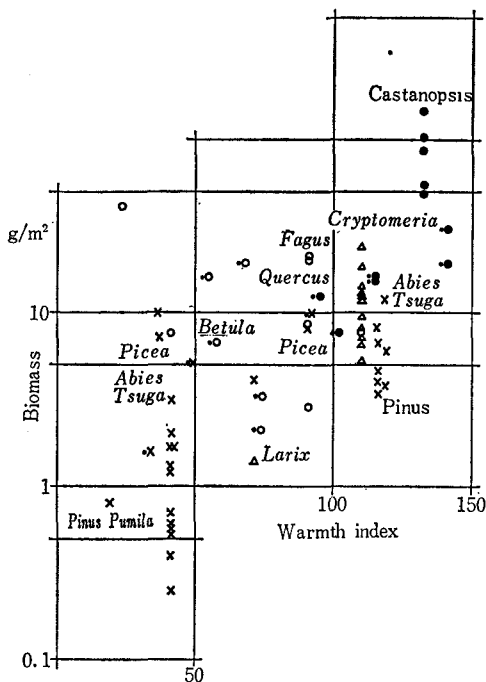


Fig. 3. Biomasses in relation to warmth index.

次に大型土壤動物の個体数であるが、ハイマツ群落ではわずかに 56 個体/m<sup>2</sup>、亜寒帯針葉樹林では 250/m<sup>2</sup> 以下であるのに、温帯落葉樹林では 200~500、暖帯常緑広葉樹林で 1400 個体/m<sup>2</sup> にも達し、土壤中にきわめて多くの大型土壤動物の生息することを示している。この個体数と温暖指数の関係を図2に示した。個体数は温暖指数に比例して大きな値を示している。すなわち、温暖指数の大きいところほど、個体数の最大値はより大きくなるが最大値と最小値の較差はかなり大きなものであることを示した。

さらに個体数とともに個体重の総和である現存量も各森林における動物の activity を示す主要な指標であるが、大型土壤動物の現存量はハイマツ群落ではわずかに 0.8 g/m<sup>2</sup>、亜寒帯針葉樹林では 0.2~10 g、温帯落葉広葉樹林で 3~20 g、スギ人工林 5~25 g、暖帯常緑広葉樹林では 50~150 g/m<sup>2</sup> にも達した。土壤中に生息する大型

図4のように温暖指数の大きいところほど平均個体重の大きくなる傾向を示している。

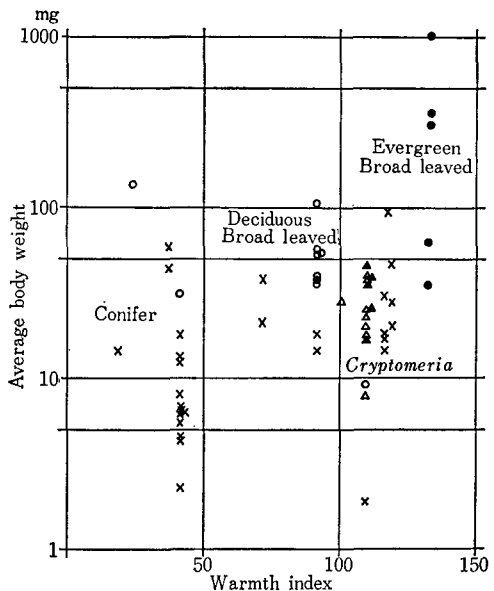


Fig. 4. Average body weight and warmth index.

## 考 察

各種の森林、それも亜寒帯、温帯、暖帯の天然林を対象に行なったが、森林帯、その構成樹種の変化は主として温度要因の影響を最も強く受けているとみてよからう。大型土壤動物も、これら森林帯の構成樹種に適応して生息しているのであるから、動物の種類組成・個体数・現存量と温度条件との関係を知ることは意味がある。平均気温の増大、温量指数の増大にともなう、より複雑な組成、より大きな個体数・現存量を示す傾向を得たことは土壤動物の各種の森林での落葉粉碎、物質循環への役割を知る上で大きな収穫であろう。しかし、タイ国の熱帯降雨林での調査の値は  $20 \text{ g/m}^2$  と、それほど大きくないので、現存量そのもののピークは暖帯常緑広葉樹林あたりかも知れないが、結論は今後待ちたい。

これはまた Bornebusch, C. H.<sup>52)</sup> のトウヒ林よりもブナ林、カシ林に大きいとか、北沢らの標高に伴って減少するといった結果をも総括的に説明できるものであろう。しかし、種類組成・個体数・現存量に影響を与える最も大きな要因は温度であるとしても、温量指数と個体数・現存量の関係はほぼ同一の温度条件下でも最大値と最小値にかなりの較差のあることを示している。これは同一温度条件下でも調査時期、地形、土壤、構成樹種、地表植生などのちがいによるものとみられる。しかし、その変動は温度条件の影響を超えておこるものではないといえそうである。

### 2) 地域的な要因の影響 (ミクロな要因)

大型土壤動物が気象条件、とくに温度条件の影響を大きく受け、温量指数の大きいところほど個体数・現存量が大きくなり、種類組成も複雑になる傾向を示したが、ほぼ同一の温量指数下でも最大値と最小値の較差の大きいことが示された。この差は動物の個体数・現存量の季節的な変動によるものか、あるいは地域的な要因によるものかを知るためスギ人工林における季節的な変動と地域的な要因として地形のちがい、地表植生のちがいによる影響を調べてみた。

#### (1) 季節的な変動

##### スギ人工林

調査したスギ人工林は京都府北桑田郡美山町芦生にある約 60 年生の林分である。

図 5 に示したように個体数・現存量は 6 月にやや大きい傾向を示すものの、夏期と冬期を比較してもそれほど大きな変動はみられず、個体数・現存量が 2 倍以上の大きさに変化することはないことを示している。この森林での個体数現存量が 6 月に大きいものの、冬期に著しく小さくなるといった一定の傾向はみられない。

## 考 察

このスギ人工林における結果あるいは地表植生の影響を調べたオオシラビソ・コメツガ林での結果は、いずれも季節的には個体数・現存量の顕著な変動を示さない。すでに報告したモミ・ツガ林で秋に現存量のみが小さくなったが、これはミミズの一種の減少と一致したことを述べた。土壤動物でも短い生活史をもつトビムシ・ダニ類などは個体数・現存量が気温、降水量などの変化に対応して変動することが Ford, J.<sup>53)</sup> Dhillon, B. S.<sup>54)</sup> などによって知られているが、大型土壤動物の多く、とくに個体重の大きなミミズ、コガネムシ、ヤスデ、セミ、ダンゴムシなど

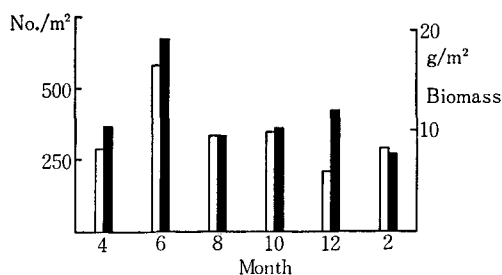


Fig. 5. Seasonal fluctuation of numbers and biomasses in a *cryptomeria* plantation.

は、いずれもその一世代は数年に及ぶので、これら大型土壌動物のすべてを総合した個体数・現存量として示した場合、明瞭な季節的な変動は土壌中においてはあらわれにくいといえる。

モミ・ツガ林の場合でも2～3倍の変動であって温量指数との関係で示した最大値と最小値の巾の中で起りうる一つの原因にすぎないといえよう。

## (2) 地形、水分条件の影響

同一地区内で標高差にともなう気温の較差が少ない対合、植生や土壌中の動物を支配する最も大きな要因は地形のちがいに基づく、土壌あるいは水分条件であると考えられる。

これはまた同一斜面に植栽された樹木などで斜面上部と下部で著しい生長の差を示すことで知られる。

天然林の生態研究グループは比較的標高差の少ない芦生演習林内で地形を尾根部、斜面上部、斜面下部、谷平坦部に大別すると、この上に生立する天然植生はそれぞれゴヨウマツ・ネジキ、スギ、ブナノキ、トチノキに対応することを述べている。これは水分環境のちがいを大まかにとらえており、尾根部は最も乾いた環境であり谷平坦部は最も湿潤な環境である。また当然、土壌の深さのちがい、性質の変化のちがいをも示しているのので、これら4つの異なった地形、植生、土壌条件下での大型土壌動物を調べ、さらに、同一斜面に植栽されたスギ人工林の斜面上部、中部、下部での生長比較との関連を水分条件のちがいとしてとらえ、大形土壌動物の個体数・現存量の変化を調べた。

### (a) 天然林における水分条件のちがいの影響

天然林における調査は1971年8月に京都大学芦生演習林内の地形のちがいを考慮して尾根部ゴヨウマツ・ネジキ林、斜面上部スギ林、斜面下部ブナ林、谷平坦部トチノキ林で行なった。調査地の植生、土壌型、 $A_0$ 層量などの概要を表2に示した。

Table 2. Description of forests researched.

| Topography          | Dominant Tree               | Soil type | Amounts of $A_0$ horizon<br>g/m <sup>2</sup> | Thickness of $A_0$ horizon<br>cm | Floor vegetation |
|---------------------|-----------------------------|-----------|----------------------------------------------|----------------------------------|------------------|
| Ridge               | <i>Pinus pentaphylla</i>    | $B_{a-d}$ | 9526                                         | 8-12                             |                  |
| Upper part of slope | <i>Cryptomeria japonica</i> | $P_d$     | 2378                                         | 3-4                              |                  |
| Lower part of slope | <i>Fagus crenata</i>        | $B_D$     | 773                                          | 2-3                              |                  |
| Bottom              | <i>Aesculus turbinata</i>   | $B_F$     | 1173                                         | 2-3                              |                  |

## 結 果

表3に示したように大型土壌動物の個体数・現存量は尾根部のゴヨウマツ林に最も小さく、わずかに33.5個体/0.25 m<sup>2</sup>、0.262 g/0.25 m<sup>2</sup>であるが、斜面上部のスギ林、斜面下部のブナ林、谷平坦部のトチノキ林の順に大きくなり、トチノキ林では124.3/0.25 m<sup>2</sup>、6.581 g/0.25 m<sup>2</sup>で、斜面下部、谷平坦部になるほど大きくなる。これは表4に示したようにミミズ類が著しく増加することを示し、斜面下部のブナ林では27/m<sup>2</sup>、7.270 g/m<sup>2</sup>、谷平坦部のトチノキ林では33, 19.832 g/m<sup>2</sup>にも達し、現存量の75.3%を占めている。

また、ゴヨウマツの生立する尾根部では土壌がきわめて浅く、20～30で母岩に達するのに、トチノキの生立する谷平坦部では深い。

Table 3. Differences of vertical distribution in important animals in related to topography.

| Depth                                | A <sub>0</sub> | 0-10          | 10-20         | 20-30        | 30-40        | 40-50        | No. $\bar{x} \pm s$<br>Biomass        |
|--------------------------------------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------------------|
| Ridge<br>( <i>Pinus</i> )            | 16.3<br>0.168  | 7.0<br>0.043  | 9.0<br>0.045  | 1.3<br>0.006 | —<br>—       | —<br>—       | 33.5 $\pm$ 11.4<br>0.262 $\pm$ 0.078  |
| Upper part<br>( <i>Cryptomeria</i> ) | 16.0<br>0.422  | 16.0<br>0.527 | 5.0<br>0.096  | 2.8<br>0.120 | 2.0<br>0.040 | 0.8<br>0.014 | 42.5 $\pm$ 15.5<br>1.218 $\pm$ 1.077  |
| Lower part<br>( <i>Fagus</i> )       | 27.0<br>0.431  | 30.3<br>1.158 | 12.3<br>0.532 | 6.8<br>0.941 | 4.8<br>0.080 | 2.8<br>0.080 | 83.8 $\pm$ 13.1<br>3.219 $\pm$ 1.373  |
| Bottom<br>( <i>Aesculus</i> )        | 61.3<br>1.505  | 36.3<br>1.379 | 14.0<br>2.303 | 6.0<br>0.531 | 5.0<br>0.846 | 1.8<br>0.018 | 124.3 $\pm$ 16.2<br>6.581 $\pm$ 1.741 |

average values from 4 plots of square 50 cm.

Biomass in gram.

Table 4. Differences of important animals in related to topography.

|                     | Ridge<br>( <i>Pinus</i> ) | Upper aprt<br>( <i>Cryptomeria</i> ) | Lower part<br>( <i>Fagus</i> ) | Bottom<br>( <i>Aescalus</i> ) |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| <i>Lumbricidae</i>  | —                         | — mg                                 | 7                              | 2517 mg                       |
| <i>Diplopoda</i>    | 4                         | 236                                  | 5                              | 493                           |
| <i>Lithobiidae</i>  | 14                        | 138                                  | 24                             | 221                           |
| <i>Geophilidae</i>  | 10                        | 65                                   | 15                             | 264                           |
| <i>A. vulgare</i>   | 6                         | 57                                   | 4                              | 35                            |
| <i>L. japonicum</i> | —                         | —                                    | 10                             | 186                           |
| <i>Amphipoda</i>    | —                         | —                                    | —                              | —                             |
| <i>Araneina</i>     | 13                        | 62                                   | 28                             | 190                           |
| <i>Scarabidae</i>   | —                         | —                                    | 1                              | 399                           |
| <i>Cicade</i>       | 1                         | 83                                   | —                              | —                             |
| Total               | 134                       | 1047                                 | 170                            | 4872                          |

Numbers and Biomasses  
per m<sup>2</sup>

尾根部では土壤動物は表層にのみ分布し、その個体数・現存量は小さいが、斜面下部、谷平坦部になるほど土壤動物はより深くまで分布し、その個体数・現存量も大きいことを示している（表3）。

#### (b) スギ人工林における水分条件の影響

調査は1971年6月21～24日に京都府北桑田郡美山町芦生の民有地の約60年生のスギ林で行なった。調査場所は図6に示したように河原に近い斜面下部(A)とこれに約10mの標高差をもつ斜面中部(B)および斜面下部と65mの標高差を持つ斜面上部(C)である。この調査地の立木本数、平均樹高、平均胸高直径、A<sub>0</sub>層量、地表植生量などは表5に示し、また、調査地の土壤調査の結果は表6に示した。

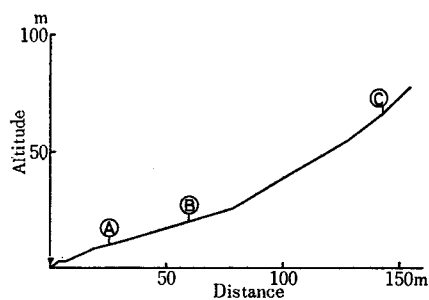


Fig. 6. Description of *cryptomeria* plantation researched.

Table 5. Description of cryptomeria plantation.

| Slope              | Tree density<br>/ha | Mean Diameter<br>cm | Mean Height<br>m | Amount of<br>ground flora<br>g/m <sup>2</sup> | Amount of<br>A <sub>0</sub> horizon<br>g/m <sup>2</sup> |
|--------------------|---------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Lower part<br>(A)  | 700                 | 37.3                | 25.0             | 128                                           | 1962                                                    |
| Middle part<br>(B) | 700                 | 30.7                | 23.0             | 44                                            | 1126                                                    |
| Upper part<br>(C)  | 1175                | 22.3                | 19.5             | 88                                            | 1640                                                    |

Table 6. Differences in properties of soils in related to the slope.

|                            | Depth | Porosity | Volume weight | Maximum<br>water<br>holding capacity | pH                     | Carbon<br>content |
|----------------------------|-------|----------|---------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------|
|                            | cm    | (P')     | (V')          | W <sub>max2</sub>                    | H <sub>2</sub> O 1:2.5 | %                 |
| Lower<br>part of<br>slope  | 0-10  | 58.1     | 73.5          | 56.4                                 | 4.9                    | 7.36              |
|                            | 10-20 | 53.0     | 93.9          | 54.4                                 | 4.9                    | 6.77              |
|                            | 20-30 | 51.2     | 94.6          | 53.4                                 | 5.0                    | 4.75              |
|                            | 30-40 | 46.5     | 101.3         | 52.9                                 | 5.0                    | 3.20              |
|                            | 40-50 | 47.8     | 102.4         | 48.9                                 | 5.0                    | 1.85              |
| Middle<br>part of<br>slope | 0-10  | 58.3     | 73.7          | 52.0                                 | 4.9                    | 10.58             |
|                            | 10-20 | 57.1     | 84.9          | 56.1                                 | 4.9                    | 4.50              |
|                            | 20-30 | 53.4     | 90.9          | 52.4                                 | 4.8                    | 2.01              |
|                            | 30-40 | 45.3     | 103.6         | 51.8                                 | 4.9                    | 1.50              |
|                            | 40-50 | 44.7     | 107.1         | 50.2                                 | 4.9                    | 0.77              |
| Upper<br>part of<br>slope  | 0-10  | 51.4     | 84.7          | 57.2                                 | 4.8                    | 7.35              |
|                            | 10-20 | 48.5     | 103.3         | 49.4                                 | 4.9                    | 4.97              |
|                            | 20-30 | 43.7     | 109.2         | 47.9                                 | 4.9                    | 3.28              |
|                            | 30-40 | 45.6     | 120.0         | 52.8                                 | 4.9                    | 1.52              |
|                            | 40-50 | 38.7     | 120.0         | 48.5                                 | 4.9                    | 0.82              |

## 結 果

表7に示したようにスギ人工林においても天然林と同様に斜面上部よりも斜面下部ほど大型土壌動物の個体数・現存量の大きいことを示し、とくに、ヤスデ、コガネムシ、セミ類など大きな個体重を持つ動物が多くなることを示している。また、表6に示したように土壌調査の結果は孔隙量、最大容水量、岩素含有率などが斜面下部ほど土壌中深くまで大きいことを示している。

## 考 察

同一温度条件下での動物の個体数・現存量に及ぼす影響の一つとして、地形のちがいを重視し、これを水分条件のちがいとしてとらえ、天然林およびスギ人工林で尾根部、斜面上部、斜面下部、谷平坦部として比較してみると谷平坦部、斜面下部に大型土壌動物の個体数・現存量の大きいことを示した。この地形のちがいは生立する植生がゴヨウマツ、スギ、ブナ、トチノキに変化し、土壌型は  $B_{D-a}$ ,  $P_a$ ,  $B_a$ ,  $B_F$  と変化するの、土壌動物が、この植生・土壌型の順に大きくなることをも示している。また、スギ人工林では同一斜面であるが、斜面下部ほどスギの生長のよいことを示している。これは水分条件の良好さによるものとされているが、水分条件とともに土壌条件の良好なことも一つの理由であり、このことと土壌動物の多いこととは大きな関連があるものと考えられよう。とくに、ミミズ類やヤスデ類など大型のものの増加することは動物の

Table 7. Individual numbers and biomasses of macro animals in relation to position of slope in a *cryptomeria* plantation.

|                               | Lower part |       | Middle part |      | Upper part |      |
|-------------------------------|------------|-------|-------------|------|------------|------|
|                               | No.        | Wt.   | No.         | Wt.  | No.        | Wt.  |
| <i>Mollusca</i>               | 3          | 20    | 17          | 178  | 9          | 163  |
| <i>Lumbricidae</i>            | 7          | 769   | 26          | 2178 | 21         | 1016 |
| <i>Diplopoda</i>              | 185        | 3559  | 143         | 1371 | 64         | 314  |
| <i>Lithobiidae</i>            | 2          | 22    | 15          | 57   | 9          | 180  |
| <i>Geophilidae</i>            | 37         | 208   | 28          | 180  | 28         | 142  |
| <i>A. vulgare</i>             | 31         | 170   | 49          | 385  | 35         | 302  |
| <i>L. japonicum</i>           | 17         | 102   | 35          | 134  | 23         | 139  |
| <i>Amphipoda</i>              | 48         | 318   | 32          | 140  | 26         | 224  |
| <i>Araneina</i>               | 56         | 357   | 59          | 260  | 50         | 215  |
| <i>Isoptera</i>               | 29         | 66    | 162         | 213  | 26         | 49   |
| <i>Chrysomelidae</i>          | 20         | 165   | 4           | 27   | 6          | 6    |
| <i>Scarabidae</i>             | 15         | 2696  | 12          | 1089 | 19         | 1014 |
| <i>Cicade</i>                 | 11         | 4006  | 1           | 17   | 2          | 42   |
| <i>Lepidoptera</i>            | 3          | 160   | 3           | 18   | 3          | 78   |
| <i>Formicidae</i>             | 34         | 103   | 27          | 105  | 19         | 33   |
| <i>Diptera</i>                | 35         | 263   | 17          | 1331 | 8          | 42   |
| Total number and biomass (mg) | 577        | 13424 | 673         | 7874 | 377        | 4236 |

土壌改良への働きを示すものともみられる。このようにほぼ同一の温度条件下でも地形に基づく、水分・土壌条件のちがいによって植生は変化し、それに対応して動物の種類組成、個体数・現存量の異なることを示したが、これら地形に基づく変動も、温度条件の影響で示された較差の範囲内での変動要因の一つであるといえよう。

### 3) $A_0$ 層量およびその平均分解率との関連

地表に堆積する落葉・落枝量 ( $A_0$  層量) は土壌動物に対して生活空間を与えることともに、それ自体主要な食物源になっている。この  $A_0$  層の構成物は主として高木の落葉・落枝であるが、球果、花卉、地表植物の枯死したもの、地表・樹上の動物の遺体、排出物なども含まれている。この  $A_0$  層量はトドマツ林 53 ton/ha、ブナ林 7.5 ton、シイ林 5.7 ton/ha くらいで、温量指数の低いところほど堆積量が多く、その平均分解率は温量指数の低いところほど小さくなり、落葉の分解には長年月かかるといわれている。<sup>56)</sup>(四手井ほか)

土壌動物はこの落葉を摂食・粉碎し、初期段階の落葉の分解に大きな役割をはたしているから、大型土壌動物の個体数・現存量と  $A_0$  層量およびその平均分解率とは大きな関連があるはずである。各調査林分の  $A_0$  層量およびその平均分解率を大型土壌動物の現存量との関連を調べてみた。 $A_0$  層量は各林分での実測値であるが、落葉量は同一林分での調査が行なわれていないところがあるので、これらについては既知のデーターを利用した。

また、 $A_0$  層量との関連を考える場合、 $A_0$  層量と  $A_0$  層中の動物との関連がより大きいと考えられるが、ミズズ、ヤスデ、ダンゴムシなど多くのものが、 $A_0$  層と土壌中に共通して生息しているので、すべての動物の現存量との関連を求めた。

### 結果および考察

調査林分の  $A_0$  層量は表 8 に示した。この量はまた図 7 に示したように、温量指数に反比例し、亜寒帯針葉樹林、温帯落葉樹林、暖帯常緑広葉樹林の順に  $A_0$  層量は少なくなり、この値は四手井・堤とほぼ一致する。<sup>56)</sup>

この  $A_0$  層量と大型土壌動物の現存量との関係を図 8 に示した。大型土壌動物の現存量は  $A_0$  層量に反比例し、堆積量の多いところに現存量の小さいことを示している。 $A_0$  層量の多いことは土壌動物にとって生活空間を広くし、食物源の豊富さを示すものであるが、寒冷な環境条件は動物の生息に適さず、また、微生物の活動の小さいことを示しているのであろう。また逆に、堆積量の少ないところに現存量の大きいことが、落葉の堆積の少ない一原因とも考えられ、このことは動物の落葉摂食への activity の大きさを示しているとも考えられる。

Table 8. Amounts of  $A_0$  horizon and its average decomposition rates under various kinds of forest.

| Forest Vegetation                  | Warmth Index | Amount of fallen leaves (A) ton/ha | Amount of $A_0$ horizon (B) ton/ha | Average Decomposition A/B rate % |
|------------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Pinus pumila</i>                | 18.7         |                                    | 75.1                               | 13.3                             |
| <i>Betula</i>                      | 23.7         | (2.4)                              | 18.0                               | 13.3                             |
| "                                  | 41.2         | (2.4)                              | 52.5                               | 4.6                              |
| <i>Picea</i>                       | 37.0         | (4.1)                              | 26.0                               | 15.8                             |
| <i>Picea &amp; Abies</i>           | 37.0         | (4.1)                              | 23.5                               | 17.4                             |
| <i>Abies &amp; Tsuga</i>           | 41.2         | (4.0)                              | 40.8–114.4                         | 3.5–9.8                          |
| <i>Larix</i>                       | 70.7         | (3.8)                              | 8.7                                | 43.7                             |
| <i>Pinus strobus</i>               | 70.7         |                                    | 12.4                               |                                  |
| <i>Picea abies</i>                 | 90.9         | (4.1)                              | 30.8                               | 13.3                             |
| <i>Fagus</i>                       | "            | 3.2                                | 11.7                               | 27.4                             |
| <i>Quercus</i>                     | "            | 3.0                                | 10.5                               | 28.6                             |
| <i>Fagus, Quercus, Cryptomeria</i> | "            | 3.5                                | 6.9–31.9                           | 11.0–50.7                        |
| <i>Cryptomeria</i>                 | 109.9        | 3.5                                | 11.8–12.7                          | 27.5–29.6                        |
| <i>Quercus &amp; Carpinus</i>      | "            | 3.0                                | 4.4                                | 68.4                             |
| <i>Pinus densiflora</i>            | 115.9        | (3.3)                              | 9.4–14.9                           | 22.1–35.1                        |
| <i>Abies &amp; Tsuga</i>           | 118.2        | 2.5                                | 22.1–26.9                          | 9.3–11.3                         |
| <i>Castanopsis &amp; Camelia</i>   | 132.4        | (4.6)                              | 3.6–7.3                            | 63.0–127.8                       |

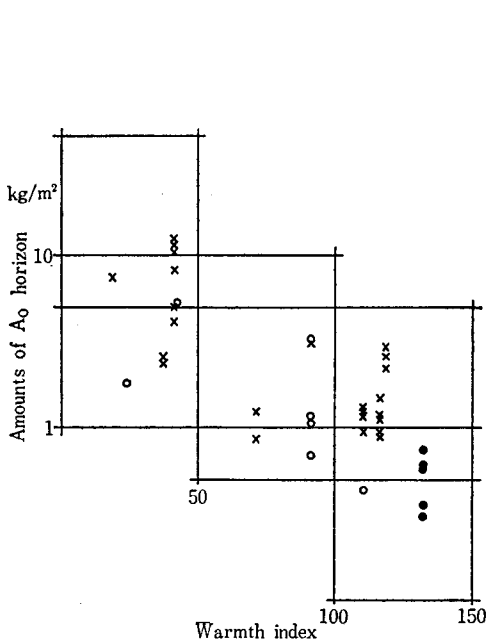


Fig. 7. Relationship between warmth index and amounts of  $A_0$  horizon.

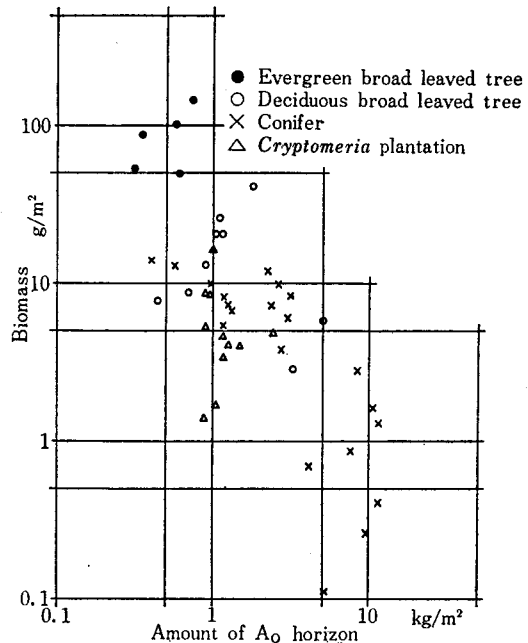


Fig. 8. Relation between amount of  $A_0$  horizon and biomasses of macro soil animals.



また、堆積量とともに、落葉量と堆積量の比、分解率との関連がより大きな意味を持ってこよう。このため  $A_0$  層の平均分解率と大型土壤動物の現存量との関連をも調べてみた。

$A_0$  層の平均分解率は次式によって求めた

$$\text{平均分解率} = \frac{\text{落葉量}}{A_0 \text{層量}}$$

表8および図9に示したように、平均分解率は温量指数に比例して大きくなり、この分解率の大きいところほど大型土壤動物の現存量の大きいことを示している。

これはミミズ、ヤスデ、ダンゴムシ、ヒメフナムシ、ワラジムシ、マイマイ、双翅類など現存量を構成する主要な動物たちが、落葉を摂食し、粉碎にはたしている大きな役割を示しているものといえよう。とくに、現存量の大きな割合をミミズ類が占めていることが強調される。

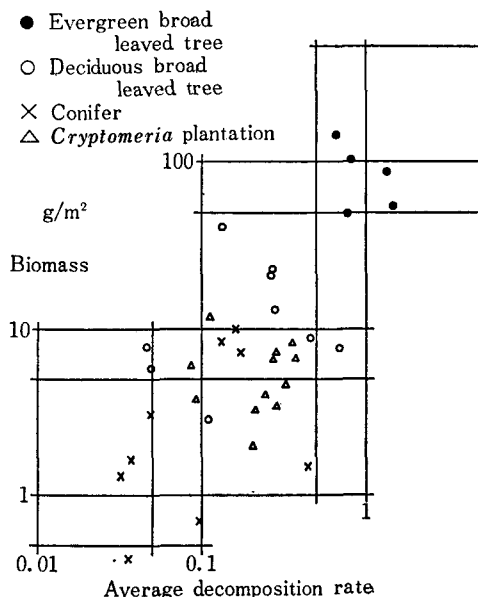


Fig. 9. Relation between average decomposition rates and biomasses of macro animals.

## 参 考 文 献

- 1) Darwin, C.: The formation of vegetable mould through the action of worms with observations on their habits. John. Murray, London, (1881)
- 2) Kühnelt, W.: Boden biologie. Wien (1950)
- 3) ———: Soil biology. Faber and Faber, London, (1961)
- 4) Dunger, W.: Tiere im boden. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, (1964)
- 5) Kevan, D. K. McE.: Soil zoology, London, (1955)
- 6) ———: Soil animals. H. F. & G. Witherby, London, (1962)
- 7) Macfadyen, A.: Animal ecology, aims and methods. Pitman, London, (1963)
- 8) Murphy, P. W.: Progress in soil zoology. Butterworths, London, (1962)
- 9) Burges, A & F. Faw: Soil biology. Academic Press, London, (1967)
- 10) Graff, O. & J. E. Satchell: Progress in soil biology. Amsterdam (1967)
- 11) Jackson, R. M. & F. Raw: Life in the soil. Edward Arnold London, (1967)
- 12) Sheals, J. G.: The soil ecosystem. E. W. Classey, London, (1969)
- 13) Wallwork, J. A.: Ecology of soil animals. McGraw Hill, London, (1970)
- 14) 江崎第三・野村健一: 土壤昆虫の生態と防除, 養賢堂, 東京, (143)
- 15) Satchell, J. E.: Some aspects of earthworm ecology. Soil zoology edited by Murphy, P.W. 180–201, (1955)
- 16) ———: Lumbricidae. Soil biology edited by Burges, A. & F. Raw 259–322, (1967)
- 17) Lunt, H. A. & A. G. Jacobson: The chemical composition of earthworm casts. Soil Sci. **58**, 468–475, (1944)
- 18) Evans, E. C. & W. J. McL. Guild: Studies on the relationships between earthworms and soil fertility 1. Biological studies in the field. Ann. Appl. Bio. **34**, 307–330, (1947)
- 19) ———: Studies on the relationship between earthworms and soil fertility 2. Some effects of earthworms on soil structure. Ann. Appl. Bio. **35**, 1–13, (1948)
- 20) Kubiena, W. L.: Animal activity in soil as a decisive factor in establishment of humus forms. Soil

- zoology edited by Kevan, D. K. McE. 73-83, (1955)
- 21) 宮坂増穂：ミミズの団粒構造形成について，農業土木研究，**26** (4), 190-194, (1961)
  - 22) Guild, W. J. McL.: Variation in earthworm numbers within field population J. Anim. Eco. **21**, (2), 169-181, (1952)
  - 23) ———: Earthworms and soil structure. Soil zoology edited by P. W. Murphy, 83-98, (1955)
  - 24) Barley, K. P.: The abundance of earthworms in agricultural land and their possible significance in agriculture. Adv. Agronomy **13**, 249-268, (1961)
  - 25) 畑井新喜司：みみず，改造社，(1931)
  - 26) Jacot, A. P.: The fauna of the soil. Quar. Rev. Biol. **15**, 28-58, (1940)
  - 27) Barley, K. P.: The influence of earthworms on soil fertility 1. Earthworm populations found in agricultural land near Adelaide. Austral. Jour. Agr. Res. **10**, (2), 171-178, (1959)
  - 28) ———: The influence of earthworms on soil fertility 2. Consumption of soil and organic matter by the earthworm *Allolobophora caliginosa*. Austral. Jour. Agr. Res. **10**, (2), 179-185, (1959)
  - 29) ——— & A. C. Jennings: Earthworms and soil fertility 3. The influence of earthworms on the availability of nitrogen. Austral. Jour. Agr. Res. **10** (3), 364-370, (1959)
  - 30) ———: Earthworms and soil fertility 4. the influence of earthworms on physical properties of a red brown earth. Austral. Jour. Agr. Res. **10** (3), 371-376, (1959)
  - 31) Engelmann, M. D.: The role of soil arthropods in the energetics of an old field community. Eco. Mon. **31**, 221-228, (1961)
  - 32) ———: Energetics, terrestrial field studies and animal productivity. Adv. Eco. Res. **3**, 73-115, (1966)
  - 33) Kevan, D. K. McE: The soil fauna, its nature and biology. Ecology of soil borne plant pathogens, prelude to biological control. edited by K. F. Baker 33-51, (1965)
  - 34) ヴオロンツォフ, A. N.: 森林保護の生態学的基礎，(高橋清訳)，(1960)
  - 35) Ghilarov, M. S.: Some practical problems of soil zoology. Pedobiologia **5**, 189-204, (1965)
  - 36) Cameron, A. E.: Soil insects. Sci. Progr. **20**, 92-108, (1925)
  - 37) Fenton, G. R.: The soil fauna with special reference to the ecosystems of forest soil. Jour. Anim. Eco. **16**, 76-93, (1947)
  - 38) Murphy, P. W.: Ecology of the fauna of forest soils. Soil zoology edited by D. K. McE. Kevan. 99-124, (1955)
  - 39) 青木淳一ほか：Tullgren 法による志賀高原の土壤メソファウナ調査結果，北沢右三編，陸上動物群集の2次生産力測定法，113-124, (1968)
  - 40) 北沢右三ほか：尾瀬カ原地方の動物生態学的研究，尾瀬カ原，625-668, (1954)
  - 41) ———：大隅半島南部の地中動物の生態学的研究，資源研彙報，52/53, 57-67, (1960)
  - 42) ———：高隈山と霧島山の原生林における地中動物の生態学的研究，資源研彙報，54/55, 110-120, (1961)
  - 43) 渡辺弘之：大雪山の主要森林植生下における大型土壤動物相について，加藤陸奥雄編，陸上生態系における動物群集の調査と自然保護の研究，119-128, (1970)
  - 44) ——— ほか：志賀高原の亜高山針葉樹林における大型土壤動物の調査，北沢右三編，亜寒帯および温帯林生態系の生物生産力，昭和43年度研究報告，48-53, (1969)
  - 45) 上平幸好ほか：志賀高原の亜高山帯針葉樹林における大型土壤動物の調査，II，同上昭和44年度研究報告，70-80, (1970)
  - 46) 渡辺弘之・テーター，スラッシュおよびストローブマツ林の大型土壤動物について，京大演報，**42**, 37-43, (1971)
  - 47) ——— ほか：ブナ天然林における大型土壤動物の密度および現存量の推定法について，京大演報，**40**, 11-16, (1968)
  - 48) ———：大型土壤動物の垂直的分布について，日林誌，**50** (7), 204-120, (1968)
  - 49) Watanabe, H.: A study of the vertical distribution of soil macro animals in a cryptomeria plantation, a natural mixed forest of cryptomeria, beech and deciduous oak; and a grassland of different soil types. Jap. J. Ecol. **2**, 56-62, (1969)
  - 50) 渡辺弘之・吉野東洲：和歌山県下のモミ・ツガ天然林の大型土壤動物相，京大演報，**42**, 44-50, (1971)
  - 51) 斉藤晋ほか：丹沢山塊の原生生態系と動物群集，丹沢大山学術報告書，255-288, (1964)
  - 52) Bornbusch, C. H.: Das Tierlebens der Wäld böden. Forstwiss. Cent. **54**, 8, 253-266, (1932)

- 53) Ford, J.: Flucutation in natural populations of Collembola and Acarina J. Anim. Ecol. **6**, 98-111, (1937)
- 54) Dhillon, B. S. & N. H. E. Gibson: A study of the acarina and collembola of agricultural soils. Pedobiologia **1** (3), 181-209, (1962)
- 55) 天然林の生態研究グループ: 京都大学芦生演習林における天然生林の植生について, 京大演報, **43**, 33-52, (1972)
- 56) 四手井綱英・堤 利夫: 林地の有機物集積量とその年分解率と気候との関係, 日林誌, **44** (11), 297-303, (1962)
- 57) Doeksen, J. & J. van der Drift: Soil organisms. North Holland Publishing Co. Amsterdam. (1960)
- 58) Watanabe, H. et al.: On the biomass of soil animals found in various types of forests in Thailand. 東南アジア研究, **4** (1), 133-139

## Résumé

The faunistic composition, individual numbers and biomasses of soil macro animals exceeding 1 mm in body length excluding nematodes, enchytraeds, springtails and mites were investigated in various types of forests and grasslands in different environmental conditions. The collections of macro animals were carried out by hand sorting method.

The important components encountered were mainly earthworms, millipedes, centipedes, spiders, symphyllas and ants. Further, staphylinids, maybeetles, wireworms, dipteran larvae were common in the all soils of the investigated forest vegetations.

In deciduous broad leaved forests in warm temperate zone and in evergreen broad leaved forests in warm temperate zone, *Orchestia platensis*, *Armadillidium vulgare*, *Porcellio scaber*, *Ligidium japonicum*, false scorpions, termites and cicadas were dominant. On the other hand, they were found scarcely in coniferous forests in subarctic zone.

The numbers and biomasses were the smallest in the subarctic coniferous forests and the largest in the warm evergreen broad leaved forests and the values in the deciduous broad leaved forests were between them. The largest value was recorded in the mixed forest of *Castanopsis cuspidata* and *Cameria japonica*, and it amounted to 144-1432 individuals/m<sup>2</sup> and 49.6-145.0 g/m<sup>2</sup>. They were composed mainly of earthworms.

Because of the fact that the numbers and the biomasses increased in parallel with the index of warmth, the temperature seemed to be the most important factor effecting the values of the numbers and biomasses. Under the same temperature condition, the number and the biomass were larger at the bottom or lower part of slopes than at the upper part. Because the vegetations, properties of soil, water condition in soil etc. were closely related to the slopes or the topography, the number and the biomass of soil animals seemed to be affected by their conditions.

As the numbers and biomasses of macro animals became larger in proportion to the average decomposition rate of leaf litter, the macro soil animals seemed to play an important role in breakdown of leaf litter.