

熱帯地方における森林土壌動物の研究について

— 東南アジアを中心に —

渡 辺 弘 之

1 はじめに

Balogh, J. (1963) は最近の土壌動物に関するおびただしい研究の状況を述べたあとで、3つの弱点をあげた。まず、熱帯の土壌動物の調査の不足、動物の同定の困難さ、そして国際協力における問題の3つなのだが、東南アジアの森林の土壌動物の調査には、これらすべてが当てはまってこよう。

東南アジアの、さらに広く中南米、アフリカを含めての熱帯森林において、動物の分類学的あるいは生物地理学的な研究は古くから非常な熱意をもって進められているが、温帯地方とくらべて、まだまだ不十分で、熱帯の魅力を失ってはいない。さらに、その魅力を増していると言えよう。土壌中の動物についても個々の種類については多くの研究があるが、森林の土壌動物が落葉・落枝などの分解に大きな役割をはたし、土壌や humus に物理、化学的な影響を与え、それは森林の生産力にも関係するであろうという森林生態学的立場からみた熱帯森林の土壌動物についての報告は極めて少ない。

東南アジアにおける森林土壌動物の量的な調査は、すべてが種類構成と個体数を対象としたもので、このような報告があるのは、Dammerman, K. W. のインドネシアと最近行なわれた Imadaté, G. & Kira, T. および Ogino, K., Pairath Saichuae & Imadaté, G. のタイにおける調査にすぎないであろう。農耕地や plantation などにおける害虫としての土壌動物およびシロアリの塔など特殊なものの調査を除いて、熱帯地方の土壌動物については、ともかく、わずかしかなかった。

熱帯地方と言っても、その植生は極めて変化のあるものであり、今後の東南アジアにおける土壌動物の調査、とくに熱帯森林の生産力を解明する場合、すなわち、熱帯森林において土壌動物が、いかなる役割を森

林生態系の物質循環にはたすかという問題の解決のため、また、わが国などの温・寒帯などの森林と比較するために、今までに東南アジアおよび広く熱帯地方で行なわれた土壌動物の量的な調査について知っておく必要があろう。

ここに、現在までに報告された土壌動物の量的な調査について紹介し、2, 3の興味ある問題、すなわち、土壌動物の個体数や現存量の植生による違いや季節による違いなどについて述べてみたい。また、今までに熱帯地方の土壌動物をとり扱った論文をリストしておいた。文献の見おとしや、調査についてご指摘をいただければありがたい。

2 東南アジア

東南アジアにおける最初の業績はインドネシアにおける Dammerman, K. W. (1925, 37) のものであろう。ジャワ海の Bawean, Karinon Java, Klein Kombuis などの島々、スンダ海峡の Verlaten, Prinsen, Krakatau の島々、ジャワ島西部の Mt. Pangerango, Mt. Gede および Pepok, Buitenzorg, スマトラ島の Lake Toba など、インドネシア各地のマングローブから、Mt. Pangerango の 3,000m まで、森林、モクマオウ植林地、moss forest、草原などのいろいろの植生のところに、たくさんのプロットをとり hand collection による大型動物の m^2 あたりの種類数・個体数を調べたが、つけられている Table は今後の調査でも参考にされよう。Corbet, A. S. (1935) は土壌動物が熱帯地方において、土壌の肥よく度に応じた影響を与えるかをマレーシアにおける観察でまとめている。データーは全くつけていないが、ゴム園におけるシロアリ・アリの働きとマングローブにおける動物の特異性についても述べている。また、ビルマにくらべて、ミミズ類が森林に少ないなどと書かれているが、データーがつけ加えられていないのは残念である。Pendleton, R. L.

(1941) はタイにおける畑地でのシロアリの働きについて述べている。タイにおける土壌動物の量的な調査は、いずれも最近行なわれたもので、Imadaté, G. & Kira, T. (1964) は大阪市大・京大隊の調査結果で、広く東南アジア各国においてトビムシ・ダニを主とした小型動物の個体数の調査を行なっている。つけ加えられている調査地概要と各 order ごとの個体数の Table はたいへん有益である。主としてタイで植生別の調査を行なっている。また、個体数は土壌の深さとともに急激に減少することや、タイ国半島部の Khao Luang (1760m) での標高・植生との関係などについても述べている。しかし、データーは面積あたりの個体数で示されていないので、他の調査と比較できないのは残念である。Ogino, K., Pairath Saichuae & Imadaté, G. (1965) はタイの Saraburi の植物園ではじめて面積あたりの個体数とその季節的変動を調査したが、これが、ともかく東南アジアにおけるトビムシ・ダニ類の小型土壌動物の季節的な調査のはじめであろう。菊沢喜八郎, 渡辺弘之, Pairath Saichuae, 四手井綱英 (1965) は東南アジア研究センターの計画によるタイ国の森林および土壌調査の結果の一部、タイ東北部の Phu Kradung (1,300m) における土壌動物の現存量をわが国の森林と比較した。タイ国の各タイプの森林の現存量についての調査報告は、東南アジア研究センターから刊行されるはずであり、その中でくわしく報告したい。この他に、熱帯森林の土壌動物の現存量を調べたものは全くない。

3 中 南 米

最も古い熱帯における土壌動物の調査は Beebe, W. (1916) のブラジルの降雨林におけるものであるが、1 foot² にみつけられた動物をリストしているだけのようである。しかし、パナマの Barro Colorado Island で行なわれた一連の研究は高く評価されよう。Allee, W. C. (1926) はデーターは示さなかったが、地表から樹冠までの動物の観察と環境条件について述べ、Williams, E. A. (1941) は同じくこの島で、いろいろな植生のところで動物の個体数を調べており、たいへん参考になるもののようであるが、まだ入手できない。Strickland, A. H. (1945, 47) はトリニダードで、cacao plantation と森林、さらに cacao plantation とサバンナの土壌動物を比較し、くわしい Table

をつけている。シロアリなどはある特定の植生を好むことや、個体数は地下 3 cm 以下で急に少なくなること、明るい乾燥している場所では、より深くまで分布することや季節による個体数の変動についても興味ある観察を述べている。また、土壌動物は土壌型よりも植生により強い影響を受けるという。メキシコの Chiapas の rain forest における Goodnight, C. J. & Goodnight, M. L. (1956) の報告は、林床から林冠までの動物の観察であるが、土壌動物が雨期のはじまりの雨のあと急に増加することなどを述べている。最近では di Castro Liviero, F. (1963) らによる調査がチリで始められた。Wolcott, G. N. (1924) はプエルトリコの pasture で土壌動物の個体数についての調査を行なったようであるが、詳細はわからない。Golley, F., Odum, H. T. & Wilson, R. F. (1962) らはプエルトリコでマングローブの生産構造を調べた際、潮のひいた時に出現するカニ・エビ・昆虫類などの現存量を測定している。熱帯の土壌動物のうち、最も興味をそそられるシロアリについてはパナマにおける Deitz, H. F. & Snyder, T. E. (1923) などの研究があげられよう。

4 ア フ リ カ

アフリカでは主として pasture の土壌動物を対象としたものが多く、Salt, G. (1952) はケニア・タンガニーカ・ウガンダの pasture の土壌動物を調べ、また、coffee, cassava の plantation, 休閒地でもプロットをとって、イギリスでの調査と比較しているが、イギリスと比較して非常に少ないという。Hesse, P. R. (1955) は termite mound (アリの塔) の土壌の性質についてタンガニーカ・ウガンダ・ケニアで調べている。Belfield, W. (1956) は西アフリカ黄金海岸で、pasture の土壌、深さ 8 インチまでの動物の垂直分布とその季節的な変化を調べ、雨期の始まりとともに土壌表層のダニ・トビムシ類が急激にふえること、深さ 60 cm 以下ではほとんど季節の影響を受けないことなどについて述べた。さらに最近ではコンゴで Maldague, M. E. & Hilger, F. (1963) の研究があり、菌類・バクテリアと土壌動物の個体数の関連をみているが、森林に多く prairie に少なかった。また、土壌呼吸についても一部調べている。この他にも Maldague, M. E. (1957, 58) がつけ加えられる。

表 1

調査者	植 生	個体数/m ² 現存量 g/m ²	摘要(プロットの大きさ, 深さ, 抽出方法)
van Zwaluwenburg, R.H. (1926, 31)	sugar cane field	17792	1 sq. ft., 9 inch
Hawaii	fallow ground of sugar cane	14085	
Strickland, A.H. (1945)	forest reserves	27084~34587	3.6 inch dia., 9 inch,
Trinidad	cacao estate	16470~37149	flotation
Strickland, A.H. (1947)	cacao estate	26047~49745	3.6 inch dia., 9 inch,
Trinidad	savanna	9547~18849	Berlese funnel
Salt, G. (1952)	grassland	3085~48002	4 inch dia., 6 inch,
Tanganyika	coffee plantation	12952~32811	flotation
	pasture	39472~128654	
Uganda	cassava plantation	18749~35401	
	fallow ground	14802~40706	
Belfield, W. (1956)	pasture	9632~36879	4 inch dia., 18 inch,
Gold Coast			flotation
Maldague, M. Eetal. (1963)	Gilbertiodendron forest	42264	
Congo	Brachystegia	63734~75591	6 inch
	Scorodophloeus	63603	
	insular forest	60273	Berlese-Tullgren funnel
Ogino, K. et al. (1965)	botanical garden	3005~19582	50 cm sq., 10 cm,
Thailand			Berlese funnel
Kikuzawa, K. et al. (1965)	hill evergreen forest	4800, 4900	25 cm sq., 10 cm,
Thailand	pine forest	2200, 700	
	mixed deciduous forest	600	Berlese funnel
Goodnight, C.J. et al. (1956)	tropical rain forest	870~170	(大型動物のみ by hand)
Mexico			
Golley, F. et al. (1962)	mangrove	67/m ² 6.4 g (乾重)	sq. m,
Puerto Rico			by hand
Kikuzawa, K. et al. (1965)	hill evergreen forest	3.9~5.1 g	sq. m,
Thailand	pine forest	0.2~12.0 g	by hand
	mixed deciduous forest	1.9	

個体数は m² に換算, 土壌の深さはそのまま

熱帯作物を対象とした土壌動物の研究は主として、害虫としての調査であるが、van Zwaluwenburg, R. H. (1926, 31) はハワイで sugar cane plantation で土壌動物の調査を行ない、トビムシ・ダニ類をも加えた個体数を示している。この他、Soerhardjan, S. R. (1951) および Delamare-Deboutteville, C. (1951) が一部に熱帯土壌動物をとり扱っている。

5 植生と個体数・現存量

表に示したように、熱帯地方におけるトビムシ・ダニ類を含めた土壌動物の個体数は $1 \sim 13 \times 10^4/\text{m}^2$ くらいの範囲である。Salt, G. のウガンダの pasture で個体数が最も大きい、いずれにしても、これらの値は温帯地方とくらべて、ほぼ同じくらいといえそうで

ある。

しかし、各調査者ごとのデーターを比較してみると、植生によって動物相の構成や個体数が異なっている。もちろん、いずれの調査者も植生の違いによる動物相の違いを知ることを目的としている。個体数についてみると Strickland, A. H. は森林に多く、サバンナに少ないし、Salt, G. は pasture において coffee や cassava の plantation よりも多かったとしている。Imadaté, G. らはタイ国では monsoon forest に多く、savanna forest に少ないこと、tropical rain forest は monsoon forest よりも少なかったと述べている。また、われわれのタイ国での調査では hill evergreen forest は pine forest や mixed deciduous forest よりも多かった。すべての調査記録を方法や時期などを考慮しないで比較してみると pasture に最も多くなってしまう。一般に、温帯地方では森林の落葉層・土壌中に最も多いとされており、このように直射日光の直接地面にあたる pasture に最も個体数が多いという結論は承認しがたく思われる。逆にわれわれの調査（菊沢他）では個体数が $600 \sim 4900/m^2$ で最も少ない。この値は温帯地方とくらべても相当に小さい。これはあとで述べるように、動物の抽出に太陽光線を利用した funnel を使ったことや調査時期などに原因するのかも知れないと考えている。

ここで問題になるのは、調査の方法や時期などの違いである。摘要に記録しておいたように、調査者により調査プロットの大きさ・数や土壌の深さがたいへん

違っている。もちろん、これは調査地の土壌動物の分布、植生や土壌条件などによって変えられるものであるが、そのプロットでその植生下の土壌動物の調査に十分であるかどうかの吟味がなされるべきであろう。もう一つ、抽出方法が違っている。最近は主として Berlese-Tullgren funnel が利用されているが、現地調査の場合、この装置に必要な電熱が利用できず、太陽光線の利用になってしまい、雨期などでは抽出の効果が落ちる恐れもある。さらに調査者によって対象とした動物の範囲が相当に異なっていることなども注意しなければならない。個体数のほとんどはトビムシ・ダニ類などの極めて小さい動物によって占められているので、これら小さな動物の抽出方法によって、個体数の過少な評価もありえよう。

現存量についての調査は全く行なわれていないが、Golley, F. らのプエルトリコのマングローブの地表のカニ・エビなどを含めた特殊な土壌動物の現存量は $6.4 \text{ g (乾重)}/m^2$ であった。タイ国でのわれわれの調査では hill evergreen forest で 3.9, 5.1 g, pine forest で 0.2, 12.0 g, mixed deciduous forest で $1.9 \text{ g}/m^2$ という値で、これは温帯地方の常緑樹林・常緑落葉混交林と比較して、やや小さな値である。現存量はミミズ、ヤスデ類など大型のものにたよっており、調査は肉眼で十分で、広い面積を調査できる（一般に $1 m^2$ のプロットが使われている）ので、他の調査と比較する場合には、それほど大きな問題はないようである。

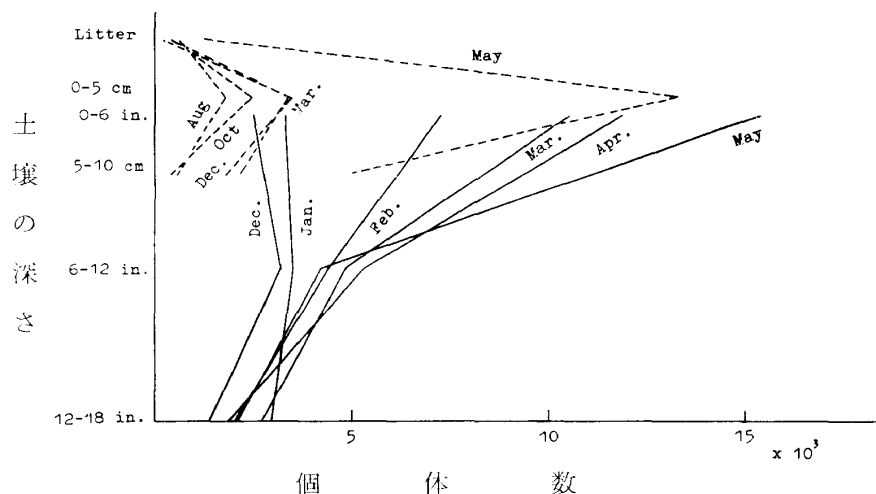


図1 個体数の季節的変動（個体数は m^2 に換算）

— 西アフリカ 牧場 Belfield, W. (1956)

--- タイ 植物園 Ogino, K. et al. (1965) から作図

6 季節による個体数の変動

先に述べたように、森林、牧場、草原、畑など植生や土壌などによって棲息する土壌動物の構成や個体数・現存量が異なることは理解できる。しかし、ここにもう一つ、調査時期という問題がある。季節、特に水分条件や温度の違いに応じて土壌動物の構成や個体数、現存量は変化する。森林に多い、草原に多いという比較は、調査が行なわれた季節をそろえなければ無意味にさえてこよう。このために、調査が一年を通じて行なわれることが必要となり、調査の困難さはさらに増してこよう。今までの調査は主として乾期に行なわれているが、雨期・乾期など季節がはっきりしている場合、雨期から乾期へ、乾期から雨期への移りかわり目、あるいは雨期・乾期の最中などで、動物相の構成、個体数がどのように保たれ変化していくか、たいへん興味ある重要な問題なのである。

季節を通じて個体数の変動を調べたアフリカでの Belfield, W. とタイ国での Ogino, K. らの調査を図 1 に示した。Belfield, W. は 3 月から 5 月に個体数が急激にふえるが、これは雨量とよく一致することを述べ、個体数が増加する場合は土壌表層 6 インチにおいて特に顕著で、地中深いところではほとんどかわらない。Ogino, K. らは 8 月から 3 月に少なく、5 月に急激な個体数の増加を記録している。個体数は表層 5 cm において増加し、落葉層と土壌 5 cm 以下ではあまり増減がない。しかし、雨期の 8 月に極めて少ないのは意外に思われる。

このほか、トリニダードでの Strickland, A. H. は乾期に入ると個体数が少なくなり、また土壌中深いところへ移動するという。雨期の終りには落葉層の中に全個体数の 79% がいたのに、乾期には 41% しかいなかったとも述べている。Goodnight, C. J. らは雨期の始まりのたった 1 回の雨のあと、大型動物の個体数が急に多くなったという。現存量についての季節的な調査は全く行なわれていないが、個体数と同じように季節の影響を大きく受けていることは確かであり、落葉の分解、動物の摂食量を知るためには、ぜひとも必要な調査であろう。

表に示したように、われわれの調査では個体数が他に比較して著しく少なかった。funnel に太陽光線を利用したため、電熱を利用した場合にくらべて乾燥が不

十分で、このことが抽出個体数を少なくしたということとは考慮しておくべきだが、乾期であって毎日使用が可能であったこと、落葉層量は少なく、mixed deciduous forest などでは非常に乾燥がはげしかったことなどから、われわれの結果が抽出方法の不備によるというより、実際に極めて少なかったことを示すもので、この少ない個体数で妥当であろうと考えている。今後、雨期における状態などを知ることができれば結論もでてこよう。

7 む す び

このように東南アジアにおいても、さらに中南米、アフリカを含めた熱帯においても、土壌動物に関する研究は極めて少なく、それも調査者によって目的や調査方法あるいは対象とした動物の範囲、抽出方法などが異なっている。さらに調査時期が違い、気候、土壌・植生など調査地の多様さがあり、おのおのの簡単な調査地の記載だけで、お互のデーターを比較することは困難かも知れない。早く熱帯森林の土壌動物相を解明し、落葉の分解への働きを知るために、お互に比較できるような統一方法をとることも要求されてこよう。

さらに、多くの地点で、種類構成・個体数と同時に現存量が調査されるべきであり、また棲息している動物の生活史、摂食量などについての調査が同時に年を通じて進められなければならない。

同定の困難さを打開するために分類学者との協同、現地調査のためには現地の研究者との協同はぜひとも必要なことであり、調査も植生・土壌・森林生産力などの調査と同時に行なうことは、土壌動物との関連を知るためにより早い、よりよい解決を与えてくれよう。

参 考 文 献

- A. S. Corbet: *Biological processes in tropical soils with special reference to Malaysia*. Cambridge. 1953. 156 p.
- A. H. Strickland: "A survey of the arthropod soil and litter fauna of some forest reserves and cacao estates in Trinidad, British West Indies" *Jour. Anim. Eco.* 14. 1945. pp. 1-11.
- A. H. Strickland: "The soil fauna of two contrasted plots of land in Trinidad, British West Indies"

- Jour. Anim. Eco.* 16. 1947. pp. 1-10.
- C. Delamare-Deboutteville: "Microfauna du sol des pays tempérés et tropicaux" *Vie et Milieu, suppl.* 1. Paris, 360 p.
- C. J. Goodnight and M. L. Goodnight: "Some observations in a tropical rain forest in Chiapas, Mexico" *Eco.* 37. 1956. pp. 136-150.
- E. A. Williams: "An ecological study of the floor fauna of the Panama rain forest," *Bull. Chicago Acad. Sci.* 6. 1941. pp. 63-124.
- F. di Castro Liviero: "Etat de nos connaissances sur les biocoenoses edaphiques du Chili," *Soil organisms* edited by J. Doeksen and J. van der Drift. 1963. pp. 375-385.
- F. Golley, H. T. Odum and R. F. Wilson: "The structure and metabolism of Puerto Rican red mangrove in May," *Eco.* 43. 1962. pp. 9-19.
- G. Imadaté and T. Kira: "Notes on the soil microarthropod collection made by the Thai-Japanese Biological Expedition 1961-62," *Nature and Life in Southeast Asia.* 3. 1964. pp. 81-111.
- G. Salt: "The arthropod population of the soil in some East African pastures," *Bull. Ent. Res.* 43. 1952. pp. 203-220.
- G. N. Wolcott: "Hormigas," *Circ. P. R. Agr. Exp. Stat.* 75. 1924. pp. 1-11.
- H. Balogh: "Summary and conclusions on synecological aspects," *Soil organisms* edited by J. Doeksen and J. van der Drift. Amsterdam, 1963. pp. 446-453.
- H. F. Deitz and T. E. Snyder: "Biological notes on the termites of the Canal zone and adjoining parts of the Republic of Panama," *Jour. Agr. Res.* 24. 1923. pp. 279-303.
- J. Meyer and M. E. Maldague: "Observations simultanées sur la microflore et microfauna de certains sols du Congo belge," *Pedologie.* 7. 1957. pp. 110-118.
- K. W. Dammerman: "First contribution to a study of the tropical soil and surface fauna," *Treubia.* 6. 1925. pp. 107-139.
- K. W. Dammerman: "Second contribution to a study of the tropical soil and surface fauna," *Treubia.* 16. 1937. pp. 121-147.
- K. Kikuzawa, H. Watanabe, P. Saichuae and T. Shidei: "On the biomass of invertebrates in forest floor," *Bull. Kyoto Univ. Forests.* 37. 1965. pp. 29-43. (in Japanese with English summary)
- K. Ogino, P. Saichuae and G. Imadaté: "Seasonal changes of soil microarthropod populations in central Thailand," *Nature and Life in Southeast Asia.* 4. 1965. pp. 303-315.
- M. E. Maldague: "Relations entre microfauna et microflore du sol dans la région de Yangambi (Congo belge)," *Agricultura.* 2. 1958. pp. 339-351.
- M. E. Maldague and F. Hilger: "Observations faunistiques et microbiologiques dans quelques biotopes forestiers équatoriaux," *Soil organisms.* edited by J. Doeksen and J. van der Drift. Amsterdam, 1963. pp. 368-374.
- P. R. Hesse: "A chemical and physical study of the soils of termite mound in East Africa," *Jour. Eco.* 43. 1955. pp. 449-461.
- R. L. Pendleton: "Some result of termite activity in Thailand soils," *Thai. Sci. Bull.* 3. 1941.
- R. H. van Zwaluwenburg: "The soil fauna of Hawaiian sugar cane fields," *Hawaii Plant. Rec.* 30. 1926. pp. 250-255.
- R. H. van Zwaluwenburg: "The soil fauna of sugar cane fields," *Handbook of the insects and other invertebrates of Hawaiian sugar cane fields.* edited by F. X. Williams. Honolulu, 1931. pp. 339-252.
- S. R. Soerhardjan: "Contribution and further researches on the true surface and soil fauna in tropical conditions," *Idea.* 10. 1957. pp. 17-27.
- W. C. Allee: "Distribution of animals in a tropical rain forest with relation to environmental factors," *Eco.* 7. 1926. pp. 445-468.
- W. Beebe: "Fauna of four square feet of jungle debris," *Zoologica.* 2. 1916. pp. 107-119.
- W. Belfield: "The arthropoda of the soil in a West African pasture," *Jour. Anim. Eco.* 25. 1956. pp. 275-287.