

# マレーシア，サバ州の森林における土壤動物研究

長谷川 元 洋

## はじめに

筆者はこれまで、ボルネオ島マレーシア、サバ州にあるキナバル山とデラマコット択伐施業林で、土壤動物の研究を行ってきた。その成果を中心に、熱帯林の土壤動物についてご紹介したい。

## 1. 熱帯と温帯の土壤動物の比較

従来、土壤動物は一括して「分解者」と見なされることが多かったが、Lavelleら<sup>7)</sup>はその生態系における機能によって土壤動物群集を以下の3つのグループに類型化した。1) 微生物食者 (Microbial grazer, Micrograzer), 2) 落葉変換者 (Litter transformer), 3) 土壤生態系改変者 (Ecosystem engineer), さらに分解者以外として根食者と捕食者を含むことになる。

機能による類型化は基本的に何を食物にしているかを反映しており、微生物食者は、細菌、菌を直接摂食し、微生物との間に現存量、成長、分散に関する相互関係を持っており、線虫、ダニ、トビムシなどが含まれる。落葉変換者にはヤスデ、ワラジムシなどが含まれ、落葉落枝や腐食物質と微生物を区別せずに摂食しており、落葉を粉碎した後、糞として排泄している。この落葉の分解の過程で微生物の役割に依存する場合が多いとされる。生態系改変者は、シロアリやミミズなどの分類群を含んでおり、土壤の物理性の変化や物質循環速度の変化を通して、植物や他の動物に影響、さらに、動物の死後も

動物によって形成された土壤中の巣や坑道などの構造が他の生物に影響を与え続ける。

熱帯林の土壤動物とって思い浮かぶのは、シロアリ (写真1) の集団や、大きな万年筆のようなヤスデや毒を持つサソリ等だろうか? 熱帯林の巨大な構造や生産量からすると、土壤動物のバイオマスや多様性も高いと推測されそうだが、森林における土壤動物全体のバイオマスの最大値は温帯林から亜熱帯林にあり、寒冷な地域や熱帯林は比較的少ないとされている<sup>6,8)</sup>。一方、熱帯では、シロアリなどのバイオマスが大きい事が知られており、Lavelleらは先の3つの機能群と緯度との関係を図1の様にまとめた。すなわち、土壤動物群集の構造の重要性は亜寒帯から温帯、熱帯へと行くにつれ、微生物食者、落葉変換者、生態系改変者の順に変化していくとした。この原因として、微生物と強い共生関係をもつ生態系改変者が、微生物の活動条件がよくなる (温度、湿度が上昇) につれ、有利になるためと推察している。

## 2. 熱帯山岳の標高に伴う土壤動物の変化

筆者らのグループは、土壤動物群集の構造の温度による変化は、同じ場所で比較すると明確であると考え、高標高でも森林がみられる熱帯山岳で各標高帯の土壤動物群集を比較する研究を行った<sup>3,5)</sup>。この研究では標高による温度要因に加えて、地質の影響も考慮して土壤動物群集の違いを評価している。調査地はマレーシアサバ州の標高 4100m を誇るキ

Motohiro Hasegawa : Researches on Soil Fauna in Tropical Forest in Sabah, Malaysia

(独) 森林総合研究所 森林昆虫研究領域



写真 1 シロアリの集団 (マレーシアサバ州デラマコット保護林にて)

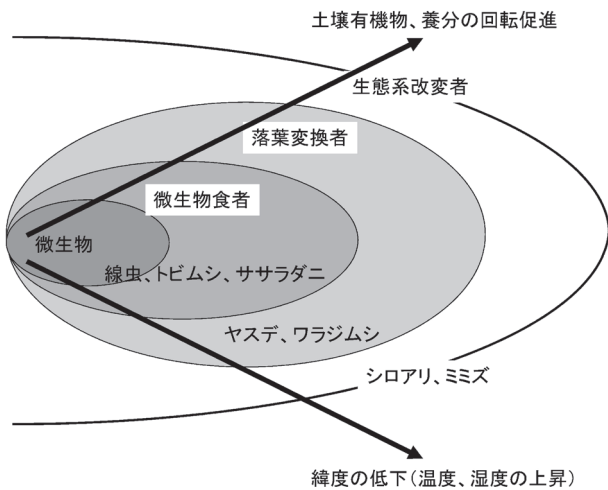


図 1 環境の変化と土壤動物・微生物の相互作用の変化

ナバル山で、異なる 4 標高 (700, 1700, 2700, 3100 m) に、2つの地質 (堆積岩と超塩基性岩) の合計 8 地点のプロットを設け土壤動物の採集を行った。生態系改変者である、シロアリとミミズの個体数の変化をみると (図 2) シロアリが気温の高い低標高で個体数が多く、標高の高いプロットではほとんど採集されないという結果が得られ Lavelle らのまとめに一致する結果となった。一方、ミミズは高標高で非常に個体数の多いプロットが見られることがわかった。このような、温度変化の一般的なパターン

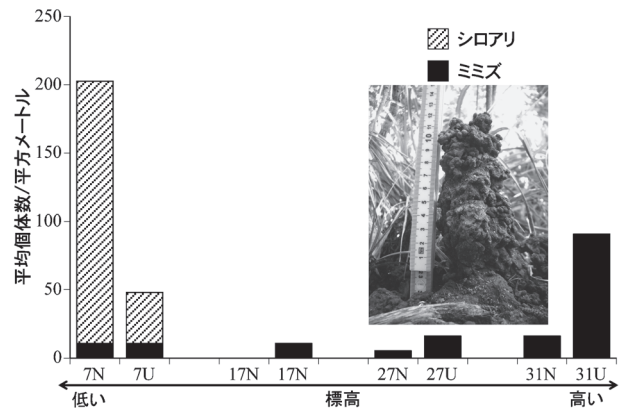


図 2 キナバル山の異なる標高、地質の森林における生態系改変者 (シロアリ, ミミズ) の個体数の変化 7, 17, 27, 31 は 700, 1700, 2700, 3100m 地点を示す。N は堆積岩, U は超塩基性岩の母材をもつ。写真は 3100m 地点で見られるミミズの糞塊 (川口達也氏提供)

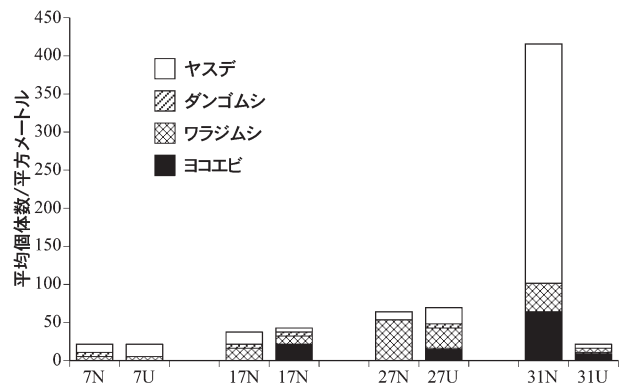


図 3 キナバル山の異なる標高、地質の森林における落葉粉碎者 (ヤスデ, ワラジムシ, ダンゴムシ, ヨコエビ) の個体数の変化

に当てはまらない分類群は気温の変化以外の別の要因が影響していると考えられる。ミミズの場合、高標高のプロットにおいて図 2 の写真に示される大きな糞塊を生産する種 (*Pheretima darnleiensis* (Fletcher, 1886)) が特に増加する傾向があり、そのような種の存在が個体数の増加に影響した可能性がある。落葉変換者は、おおむね、高標高で増加し、特にヨコエビ類は高標高でのみ出現することから、Lavelle

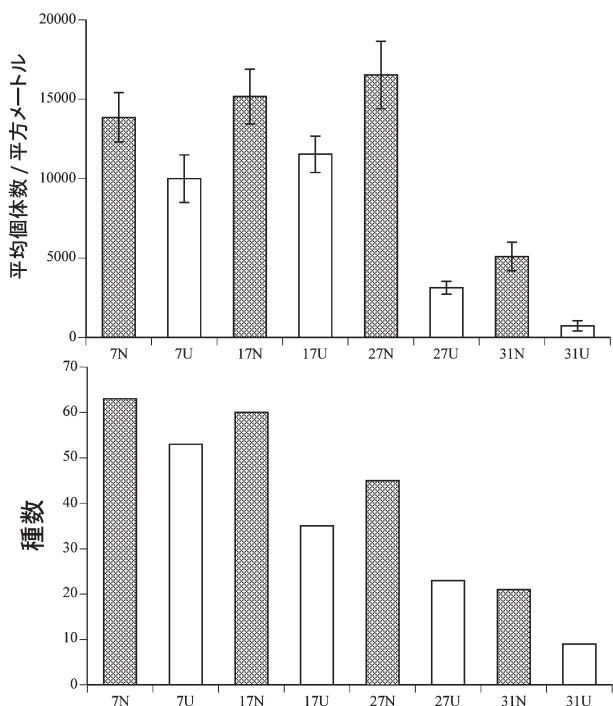


図4 キナバル山の異なる標高、地質の森林におけるササラダニの個体数(上)と種数(下)

らのまとめに一致すると見て良いだろう(図3)。

微生物食者の代表である、ササラダニの個体数は標高との関係が明瞭でなかったが、3100mでは減少した(図4上)。一方、種数は標高に伴って減少した(図4下)。このようなパターンが生じた原因は、種の供給源と考えられる、熱帯低地部のササラダニ群集の種構成が制限となったためかも知れない。ササラダニの熱帯の種類組成は十分に研究されていないが、手元にあるデータから東南アジアから日本にかけての群集組成をみると、熱帯林ではフリソデダニ科(Galumnidae)が多様で、その中のツノコソデダニ属(*Rostrozetes*)の個体数が増加する傾向が見られた(写真2)。ツノコソデダニ属は、植物、藻類を摂食することが知られており、落葉腐植層が発達しなくても個体数を維持できる。そのため、標高が上昇し温度の低下によって腐植層の堆積が進んでも、その個体数は連動して変化しない可能性がある。このような群集組成の緯度間の違いが制

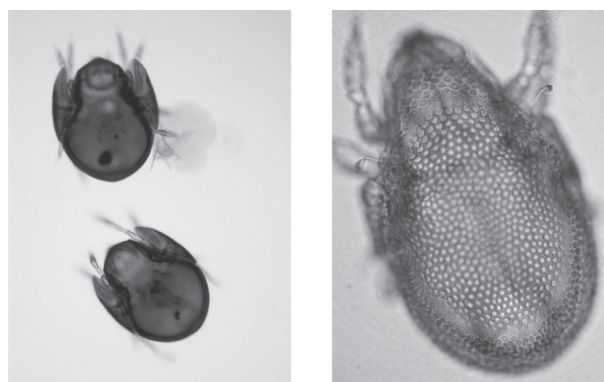


写真2 ササラダニ(右:フリソデダニ科,左:ツノコソデダニ属)



写真3 トビムシ(上:熱帯の表層菌食性種,下:温帯の腐植食性種)

限となり、高標高では個体数の増加がみられなかったのかも知れない。

同じ微生物食者であるトビムシ群集でも同様に温帯林と熱帯林では優占する機能群が異なる事が示されている。Takeda<sup>9)</sup>は、マレーシアやタイの熱帯林と京都のマツ林の土壌のトビムシ群集の比較を行い、熱帯林では表層性の菌類食のトビムシが多く温帯林では腐植食性のトビムシが増加するとしている(写真3)。Takeda<sup>9)</sup>は、このような傾向は、熱帯

林では急速な分解のために、腐植層の発達度が少なく、腐植食性の種の住み場所が温帯林に比して少なくなり、落葉表層を移動して、菌を選択的に摂食するような種が多様になるためでは無いかと考えている。

### 3. 熱帯林の攪乱と土壌動物

熱帯林では温帯に比して有機物や養分が土壌より植生に多く蓄積しているとされている。そのため、熱帯林においては温帯林よりも、森林植生の除去や攪乱が、有機物や養分の不足をより深刻にもたらしやすく、土壌動物に与える影響も大きくなるかも知れない。熱帯林に与える攪乱のうち、林業による伐採や様々な施業が大きなウエイトを占めると考えられ、東南アジア熱帯でもミミズ<sup>1)</sup>やシロアリ<sup>2)</sup>の群集に与える森林攪乱の影響について、研究が進められている。

世界の熱帯地域の中でもマレーシアのサバ州は基準・指標を適用した森林管理を始めた数少ない地域であり、基準を達成するために低インパクト伐採 (Reduced impact logging, RIL) 導入を義務づけ、森林管理区毎に国際認証機関による森林認証を受けるよう推奨している。筆者らは、マレーシアサバ州にあるデラマコット保護林において、低インパクト伐採が土壌動物群集にどのような影響を与えているかについて研究を行った。デラマコット保護林で行われている低インパクト伐採においては、事前に作成された森林計画の元に、持続可能な伐採量および樹種の実績による択伐が行われ、伐採における林地の攪乱もなるべく抑える施業が行われている。しかし、森林管理計画や認証のための監査では種や個体数等の具体的な生物指標が定められていないのが実情である。土壌動物は、養分の乏しい熱帯土壌で特に重要なプロセスである有機物分解の役割を持ち、その生態系機能に与える点を考慮しても、伐採影響のモニタリングの対象として重要であると考え、以下の様な調査を行った。

従来型の択伐林、低インパクト伐採林、非伐採林の土壌動物群集 (大型土壌動物, トビムシ, ササラ

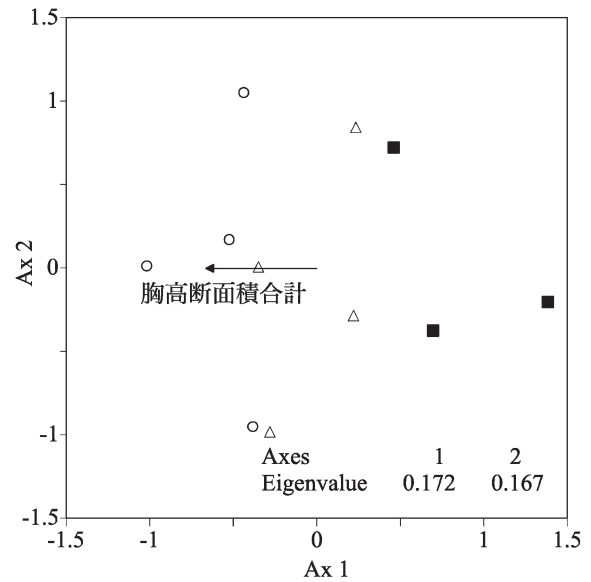


図 5 デラマコット保護林周辺のササラダニ群集の冗長分析 (Redundancy Analysis) による座標付け  
○：非伐採林, △：低インパクト伐採林, ■：従来型伐採林のササラダニ群集の座標。矢印：群集の地点間の違いを有意に説明する環境要因 (樹木の胸高断面積合計) の値が増加する方向

ダニ群集) の構造を比較したところ、異なる施業を施した林分間で土壌動物の個体数や分類群数 (あるいは種数) には大きな差がみられなかったものの、それぞれの群集の組成には差がみられ、低インパクト伐採林、非伐採林の土壌動物群集は比較的類似度が高い一方、従来型伐採を行った林分の土壌動物群集はその他の林分の組成と異なる傾向を持った<sup>4)</sup>。図5はササラダニ群集の多変量解析の結果を示すが、低インパクト伐採林、非伐採林は従来型伐採林の群集が離れて位置づけられている。また、各地点のササラダニ群集の違いを説明する有意な環境要因として、樹木の胸高断面積合計が選択されている。この結果は、低インパクト伐採が土壌動物群集の組成の維持を促進する可能性があることを示し、植物群集の構造が土壌動物群集の構造に影響を与えることを示唆している。また、土壌動物群集への攪乱の影響を見る際に、単に分類群の個体数、バイオマス、種数だけで判断するだけで無く、その組成に着目す

ることが重要であることを示唆している。

### おわりに

熱帯林における土壌動物群集の研究では特に種レベルでの分類学的研究およびその知識の普及が不十分であることがしばしば問題となる。筆者らが研究を始めるにあたり、吉井良三氏等による先人の業績が大変役だった。今後、着実に研究を続けるとともに、現地でのセミナーや人事交流を通して知識の移転を行うことが期待される。

〔引用文献〕 1) Blanchart, E., Julka, M., 1997. Influence of forest disturbance on earthworm (Oligochaeta) communities in the Western Ghats (South India). *Soil Biology and Biochemistry*. 29, 303-306. 2) Eggleton, P., Homathevi, R., Jones, D.T., MacDonald, J.A., Jeeva, D., Bignell, D.E., Davies, R.G., Maryati, M., 2000. Termite assemblages, forest disturbance and greenhouse gas fluxes in Sabah, East Malaysia. In : Newbery, D.M., Clutton-Brock, D.H., Prance, G.T. (Eds.), *Changes and Disturbance in Tropical Rainforest in South-East Asia*. Imperial College Press, London, pp. 67-78. 3) Hasegawa, M., Ito, M.T., Kitayama, K., 2006. Community

structure of oribatid mites in relation to elevation and geology on the slope of Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. *European Journal of Soil Biology* 42 (Supplement) : 191-196. 4) Hasegawa, M., Chung, A.Y.C., Yoshida, T., Hattori, T., Sueyoshi, M., Ito, M. T., Kita, S., 2013. Effects of Reduced-Impact Logging on Decomposers in the Deramakot Forest Reserve. Pages 63-87 in K. Kitayama, editor. *Co-benefits of Sustainable Forestry : Ecological Studies of a Certified Bornean Tropical Rain Forest*. Springer, Tokyo. 5) Ito, M. T., Hasegawa, M., Iwamoto, K., Kitayama, K., 2002. Patterns of soil macrofauna in relation to elevation and geology on the slope of Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. *Sabah Parks Nature Journal* 5 : 153-163. 6) 金子信博. 2007. 土壌生態学入門. 東海大学出版会, 東京, 199 pp. 7) Lavelle, P., C. Lattaud, D. Trigo, and I. Barois. 1995. Mutualism and biodiversity in soils. *Plant and Soil*, 170 : 20-33. 8) Petersen, H., Luxton, M., 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *OIKOS* 39 : 288-388. 9) Takeda, H. 1995. Templates for the organization of collembolan communities. 1-18. in Edwards, C.A., Abe, T. and Striganova, B.R. ed.) *Structure and function of soil communities*. Kyoto University Press, Kyoto.