

藤森キャンパスの群集調査にもとづく土壌動物学習教材の提案

菅原 嵩¹⁾, 今井健介²⁾

1) 京都教育大学大学院 din75035@kyokyo-u.ac.jp

2) 京都教育大学理学科 imai@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：土壌動物，ハンドソーティング，群集生態学

(受付：2019年2月15日)

I. はじめに

土壌動物群集は身近に存在しておりながら，系統的，形態的，生態的多様性に富む興味深い群集である。土壌動物は，中学校理科教育第二分野（7）自然と人間（文部科学省，2017）で主に扱われ，分解者としての役割が学習されている。

分解者の学習やその他の機会において，土壌動物自体の多様な形態や生態を観察することは，「(3) 生命や地球に関する事物・現象に進んで関わり，科学的に探究しようとする態度と，生命を尊重し，自然環境の保全に寄与する態度を養うとともに，自然を総合的に見ることができるようになる。」とする中学校学習指導要領（文部科学省，2017）理科第二分野の目標に合致し，また生物分野の中心的課題である「多様性と共通性の理解」に資すると考えられる。

本研究では，中学・高校生徒が土壌動物を観察する機会を提供することを目的とし，群集生態学的調査を2018年に行い，その成果をフィードバックし，①群集生態学的な課題研究テーマを立案し，また，②分解者，食物連鎖，環境指標の学習範囲で行う実習の進め方を，模擬授業を通じて検討した。

本研究は京都教育大学藤森キャンパスで実施した。藤森キャンパスは市街にある孤立林であり，林齢が若く，都市公園的な環境である。したがって，本研究で得られた知見は，構内や近隣に同様の環境が存在する学校における実習にも応用しやすい。また，本研究の内容が学校現場でも再現できるように，簡易採土器，ハンドソーティング法と簡易型ツルグレン装置による採集，ルーペをもちいた観察，青木（2005）の検索表による同定，フリーウェアであるR（R core team，2018）の群集解析パッケージであるvegan（Oksanen，2018）等を導入した。

II. 課題研究テーマの立案

1. 基礎研究の材料と方法

1) 採集と同定法

藤森キャンパス内で，5種の樹木（ヒマラヤスギ，ケヤキ，クス，アラカシ，キンモクセイ）を各5株選定し，それぞれの樹下で土壌を採集した。採集日は2018年5月26日，27日，28日であり，深さ15cmまでの土壌約450mlを市販の採土器（浅香工業製FG球根植器；図1a）で採集した。

簡易ツルグレン装置（ヤガミ製簡易土壌動物採集器；図 1b）に採集した土壌を設置し、24 時間かけて土壌動物を抽出した。



図 1 実験に用いた (a) 採土器と (b) 簡易ツルグレン装置

装置から落下した土壌と土壌動物を含む抽出液を実体顕微鏡（Nikon SMZ-1000）で観察し、動物を採集した。採集時間はサンプルあたり 15 分間とした。

採集した動物は、検索表（青木，2005）により同定した。この検索表は触角の有無，付属肢の数などの形質を用いて，土壌動物を 43 のグループ（以下，グループと呼ぶ）に分類するものである。得られるグループの分類単位はまちまちであるが，解析の際はどれも等しく 1 グループとして解析した。

2) データの解析方法

各グループの発見個体数は Excel を用いて記録した。データシートの最初の列はグループ名，最初の行は土壌サンプル名とし，各セルに観察個体数を入力した。

このデータから，サンプルあたりの個体数，グループ数，多様度指数（シャノン＝ウィーバー指数およびシンプソン指数）を算出した。樹種によってこれらの値が異なるかを分散分析で検定した。

グループを特定の形質に基づいた群に分類し，群毎に各樹種の個体数・グループ数を解析した。分類に用いた形質は，体サイズ，生息する深さ，食性，青木（2005）による ABC 群の分類である。グループの性質は，青木（1973，2005）から読み取った。

また，樹種によって種構成が異なるかをノンパラメトリック多変量分散分析（以下 NPMANOVA）で検定した。NPMANOVA は，データを csv 形式で保存した上で，R に読み込み，vegan パッケージに含まれる adonis 関数を用いて実行した。

2. 基礎研究の結果と考察

検索表（青木，2005）に示された 43 グループのうち 19 グループが採集され，総個体数は 574 個体であった。一連の解析により，調査地点に生育している樹種によって群集が変化することが明らかとなった。以下，主要な解析結果を述べる。

1) 群集の多様性

各樹種下で観察された群集の総個体数および総グループ数は図 2a, b の通りであった。統計的に有意ではない（分散分析で $p > 0.05$ ）が，アラカシ下で採集したサ

ンプルには、他の樹種よりも若干多くの個体が含まれ、グループ数もやや多い傾向が読み取られた。

多様度指数 (図 2c, d) にも、有意ではないが、樹種によって若干異なる傾向があり (シャノン=ウィーバー指数, $F=1.99$, $P=0.14$; シンプソン指数, $F=2.11$, $P=0.12$), キンモクセイ, クスで高くなった。個体数とグループ数が最高であったアラカシは、キンモクセイやクスに比べて多様度がやや低かった。多様度指数は、種数が多く、かつそれぞれの種の個体数が均等であるほど大きくなる指数であり、アラカシ下の群集は均等性が低かったものと考察される。

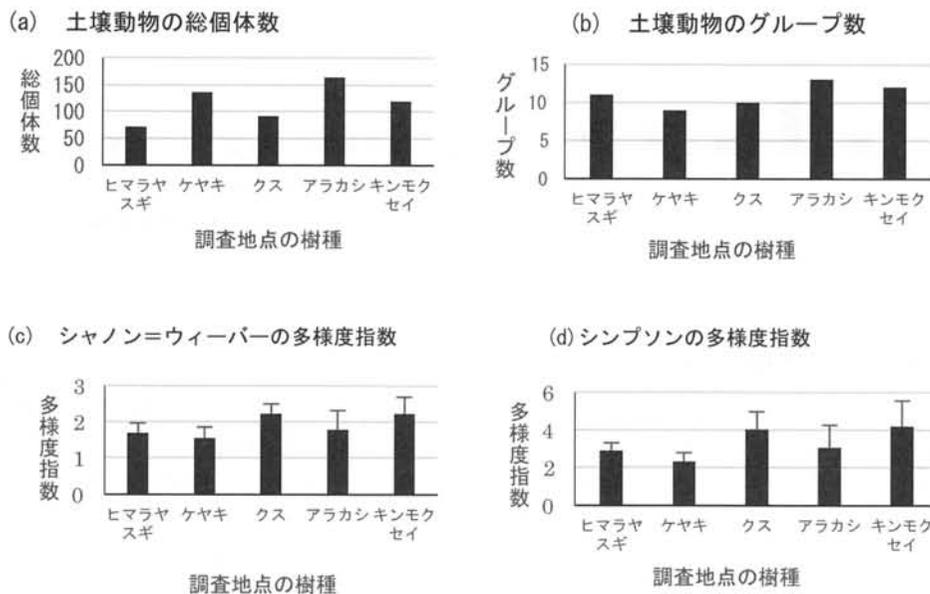


図 2 5 樹種下の土壌動物の (a) 総個体数, (b) 総観察グループ数, (c) シャノン=ウィーバーの多様度指数, (d) シンプソンの多様度指数. (エラーバー (c, d) は 95% 信頼区間)

2) 土壌動物の生態的特性を組み込んだ解析

グループを体サイズによって、大型のマクロファウナ (多くが体長 2~20mm), 小型のメソファウナ (多くが体長 0.2~2mm), 中型のメソファウナ~マクロファウナ (多くが体長 2mm 前後のもの) に分類し、個体数を比較した。

統計的には有意でなかった ($p > 0.05$) が、大型のグループは樹種を選ばずに出現し (図 3a), 中型 (図 3b)・小型 (図 3c) グループはアラカシ, クス, ケヤキなど大きな葉をつける広葉樹に出現するような若干の傾向があった (図 2)。

この傾向の違いは、大型種は体の容積に対する表面積の比率が小さいため乾燥に強いが、中型・小型種は乾燥を避けるために落葉等に被覆される必要がある (金子, 2007) ためと考えると納得できる。また小型のグループ (多くはダニ類) は葉が小さく薄いケヤキに多く出現したが、その理由は未解明である。

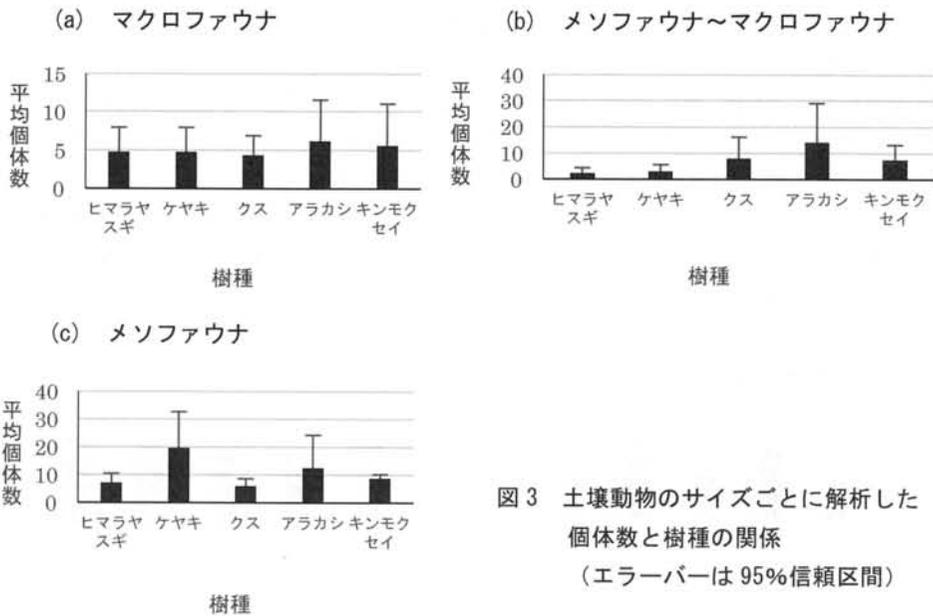


図3 土壌動物のサイズごとに解析した個体数と樹種の関係
(エラーバーは95%信頼区間)

3) 環境による種構成変化の解析

また、同じ樹種下の群集同士は種構成がよく似ていた (NPMANOVA, Jaccard 指数 $F_{model}=1.64$, $P=0.11$; Horn 指数 $F_{model}=2.58$, $P=0.09$)。

NPMANOVA のプログラムはすべてのサンプル間 (本研究では 25 サンプル×25 サンプルの組み合わせ) の種構成の類似度指数を算出し、同じ環境からのサンプルの組み合わせの方が、違う環境からの組み合わせよりも類似度が高くなるかを検定するものである (詳細は土居・岡村, 2011 など)。用いた類似度指数のうちでは、Jaccard の類似度指数は両サンプルに共通して出現する種の数だけを評価するものであり、Horn の類似度指数は個体数の比率が似ているかも評価するものである。

3. 課題研究テーマとしての活用について

上述した一連の研究方法は、課題研究に転用可能であると考えられる。

1) 技術的側面について

本研究では、青木 (2005) などの普及書にもある簡便な方法で実施している。準備品のツルグレン装置は、ペットボトルによる自作品でも代用可能と思われる。抽出時間も 1 日程度と、ごく短時間で良い (菅原, 未発表データ)。

動物の同定は、20 倍程度の倍率の実体顕微鏡でも可能であり、多様な系統と形態の土壌動物 (図 4) を採集・観察し、検索表 (青木, 2005) による同定も容易であった (筆者らは高校生対象のワークショップで同じ資料を活用している)。

群集のデータ解析は、(後述の種構成の解析をのぞいて) Microsoft Excel 単体で可能である。分散分析は Excel の標準アドインである「分析ツール」で実行でき、

多様度指数の計算式や理論は大垣（2008）などで示されており，Excel 上で十分表計算できる。R を利用可能であれば，Vegan パッケージに含まれる diversity 関数を用いて多様度指数を計算することもできる。



図 4 採集された土壌動物の例 スケール(白抜き) : 1.0mm

種構成の解析は，課題研究ではクラスター分析(Rでも実行可能)により実施し，樹形図を目視で読み取るのが望ましいと考える。NPMANOVA は，群集生態学分野で用いられる解析手法であるが，その原理の理解は難しく，また結果の視覚化も難しいので，課題研究には向かないと考察される。

2) 研究の進め方について

課題研究においては，生徒が自由に実験目的，実験方法，解析法を検討できるこ

とが望ましい。そのため、目的に応じた計画を立てることの有益さを示す必要がある。例えば、本研究では、葉の性質が群集に及ぼす影響を論じるために、針葉樹（ヒマラヤスギ）、硬い葉の広葉樹（アラカシ、キンモクセイ）、樟腦など動物の忌避物質を有する樹種（クスノキ）、葉が小さく薄い樹種（ケヤキ）を選定した。

また、本稿では土壌動物の生態的特性として体サイズを組み込んだ解析について述べたが、課題研究では、どのような特性を組み込むかを議論させることで、主体的な研究とすることができると考えられる。

3) 課題研究活動の位置づけ

本課題研究の活動が、仮説形成の活動であり、仮説検証の活動ではないことに留意して指導すべきである。仮説形成は、得られた観察データに再現性のある傾向を発見し、その傾向を説明可能で、できるだけ簡潔な、できるだけ検証に値する仮説を見いだす活動である。

生徒に対しては、得られた仮説は、あらためて操作実験やよくデザインされた野外観察で確認しなければならないことを指導するべきである。

Ⅲ. 土壌動物観察を組み込んだ実習

1. 実習の内容

中学校の学習内容と関連させた実験授業を立案し、2018年の6～11月に京都教育大学の大学生と大学院生に対して模擬授業（5回実施、のべ受講者62名、うち大学院生14名）を行った。模擬授業の内容は概ね以下の通りである。

① 導入

土壌動物の分解機能について講義を行った。第4～5回模擬授業では落葉食、捕食、排泄物食性動物の写真（各1種）を示し、それらを実習で探すことも伝えた。

② 土壌動物採集

受講者を4～5人の班に分け、土壌（1名あたり紙コップ2杯）をバットに広げ、動くものをピンセットで捕獲することを告げた（ハンドソーティング法）。捕獲した動物はエタノールを注いだシャーレに入れて固定するか、空のプラスチックカップに生きたまま捕獲するように提示した。採集時間は10～15分間とした。

③ 観察と同定

採集できた土壌動物を8倍および15倍のルーペで観察し、32の動物グループに分類するように指示した。同定には「土壌動物を用いた「自然の豊かさ」評価」（青木、2005）から抜粋した図表を用い、見つけた動物の図に○をつけるように指示した。

④ 結果の検討

観察種を班ごとに集計させ、第1～2回模擬授業では青木（2005）の自然の豊か

さ指数を算出させた。第3回では各動物の食性の資料を配付し、採集した動物の食性を調べさせた。第4回と第5回では、資料配付前に食性を予想する時間を設けた。

⑤ 事後アンケート

例として、第1回模擬授業後の質問項目を示す。

1. 土壌動物について、授業を受ける前から興味・関心はありましたか？
a. あった b. なかった
(その理由) (自由記述欄)
2. 授業を受けて、土壌動物について興味・関心は生じましたか？
a. 生じた b. 生じなかった c. むしろ興味が失せた
(その理由) (自由記述欄)
3. 授業において、最も興味・関心が喚起された内容はありますか？あれば、理由とともに記載してください。(自由記述欄)
4. 授業において、楽しいと感じたり、充実感があつたと考えられる瞬間はありましたか？あれば記載して下さい。(自由記述欄)
5. 授業を受けていて、苦勞した点やわかりにくかった点等があれば遠慮無く記載して下さい。(自由記述欄)

2. 分析と考察

授業1～3の後に実施したアンケートにおける「土壌動物について、授業を受ける前から興味・関心はありましたか？」(実践4-5は同等の設問なし)については、「あつた」と回答したのは受講者の38.2% (13/34)にとどまつた。

第1-2回模擬授業のみ実施した回答理由の自由記述の例は以下の通りである。

「あつた」理由

- ・アリなどの存在は認知していたが調べる機会が無かつたから
- ・地面の下に何かいないのか気になっていた
- ・純粹に未知の世界だから知りたかつた

「なかつた」理由

- ・興味が無い
- ・暗くて気持ち悪いと感じてしまう
- ・そもそも土に触りたくない

一方、全授業の後で質問した「土壌動物について、授業を受ける前に比べて興味・関心はわきましたか？」には、87.1% (54/62)が「生じた」と回答しており、事前に興味があつたかを問わず、興味・関心の高まりが生じたことが読み取れる。

第1-2回のみ実施した自由記述の例を示す。

「生じた」理由

- ・普段見られない物を見られたことで新鮮さを感じた
- ・じっくり観察することが面白かつた
- ・宝探しみたいで楽しい

「生じなかった」理由

- ・探す手間がしんどい
- ・途中で飽きる
- ・そもそもムシが嫌いな人には苦痛

これらから、実物の土壌動物の採集・観察経験の後に、受講者の興味・関心が高まることが確認できた。自由記述からは、授業後も興味を持てなかった理由は、多くが作業負荷であり、土壌動物への嫌悪感でないことが示唆された。ただし、理由の自由記述は、第1回と第2回以外で実施しておらず、再現性を確かめる必要がある。

また、第1～3回で質問した「授業において、楽しいと感じたり、充実感があったと考えられる瞬間はありましたか？あれば記載して下さい。」に対しては、自分の手で土壌動物を採集したことを挙げる生徒が多く、生きた土壌動物を用いた活動の重要性があらためて示唆された。

IV. まとめ

本研究では、藤森キャンパスの土壌動物群集の調査を行い、調査地点に生育する樹種と土壌動物群集の関係を分析した。また、その研究手法が学校における課題研究テーマとして活用可能であることを示した。研究で得た知見と経験を活用し、観察実習の考案、模擬授業実践を行い、実物の観察により土壌動物への興味・関心が高まることを確認した。

本研究や模擬授業の経験を通じて、著者ら自身、土壌動物への興味・関心を一層深めることができた。本研究の模擬授業に協力していただいた本学学部生・大学院生に深く感謝する。本稿を通じ、ますます多くの児童・生徒が土壌動物の世界に親しむことを願う。

文献

- 青木淳一 2005. だれでもできるやさしい土壌動物のしらべかた 採集・標本・分解の基礎知識. 合同出版, 102pp.
- 青木淳一 1973. 土壌動物学—分類・生態・環境との関係を中心に. 北隆館, 814pp.
- 土居秀幸・岡村寛 2011. 生物群集解析のための類似度とその応用：Rを使った類似度の算出, グラフ化, 検定. 日本生態学会誌, 61, 3-20.
- 金子信博 2007. 土壌生態学入門 土壌動物の多様性と機能. 東海大学出版会, 199pp.
- 文部科学省 2017. 中学校学習指導要領解説 理科編.
- 大垣俊一 2008. 多様度と類似度, 分類学的新指標. Argonauta, 15, 10-22.

Oksanen, J. • Blanchet, F.G. • Friendly, M. • Kindt, R. • Legendre, P. • McGlinn, D. • Minchin, P.R. • O'Hara, R.B. • Simpson, G.L. • Solymos, P. • Henry, M. • Stevens, H. and Wagner, H. 2016. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-1. URL : <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

R Core Team 2016. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
<http://www.R-project.org/>.