

山腹工事施工地における土壌動物を用いた環境評価手法の検証

由利森林管理署 一般職員 ○片桐崇吾
総括治山技術官 高橋健太郎

1. はじめに

治山事業における山腹工事は被災した斜面を災害前の自然な状態に戻すことを目的として施工される。この自然な状態に戻すという目的を達成するためには、山腹工事施工地において、斜面生態系の回復状態を調査し、評価する必要がある。

山腹工事における施工前後の自然環境を調査する手法として、現在は植物調査や哺乳類などの動物調査が用いられている。しかし、これらの調査は主として地上部の動植物を調査対象としており（日本治水協会 2009）、生態系の基盤となる土壌環境の機能を捉えきれていない。

開発地などの土壌環境の調査には、しばしば土壌動物が指標として用いられる（武田 2011）。土壌動物を用いた手法は（1）調査時期を問わない、（2）環境変化に対して敏感に反応する、といったメリットがあり、簡便で高度な知識を必要としないものも提案されている（青木 1995）。しかし、山腹工事における環境調査で土壌動物による指標が用いられた例は少なく（竹下・新谷 2004, 田中ほか 2009）、東北地方ではほとんど例がない。

そこで本研究では、東北地方の山腹工事施工地において、土壌動物による環境指標が施工地の土壌環境を適切に評価し得るかを検証した。

2. 調査方法

（1）調査地

本研究は秋田県南部 鳥海山麓の国有林内で行った。日本海側気候に属し、年降水量 2,185.5mm、年平均気温 11.4℃である。調査地は過去の山腹工事施工地で裸地、草地、低木林、亜高木林を 1カ所ずつ、ブナ自然林で高木林を 1カ所の計 5カ所を選定した（図 1, 表 1）。草地の施工地についてはヤマハンノキが植栽されているが、植栽木の大部分が枯死し、草原環境となっていたことから、植生は草地とした。調査地の地質は大部分が第四記の火成岩からなり、斜面傾斜は約 5～30 度である。

表 1. 調査地概要

	裸地	草地	低木林	亜高木林	高木林
施工年	2019	2011	2001	1991	-
主な工種	土留工 筋工	土留工 筋工 植栽工	土留工 筋工 種肥付伏工	柵工 植栽工	
優占種 (植被%)					
高木層	-	-	-	オノエヤナギ(55)	ブナ(80)
亜高木層	-	-	オノエヤナギ(5)	オノエヤナギ(10)	-
低木層	-	-	タニウツギ(75)	タニウツギ(20)	オオクロモジ(30)
草本層	-	ヨモギ(95)	アキタブキ(40)	オシダ(70)	チシマザサ(35)

(2) 毎木調査及び土壌調査

各調査地において5m×10mのプロットを3つ設置し、プロット内の胸高直径5cm以上の樹木に対し胸高直径を測定した。ただし、低木林のプロットについては樹高が3m前後であり、胸高での測定が困難だったため、樹高の1/10m地点の直径を測定した。

各プロットで土壌サンプラー(20cm²×5cm)を用いて土壌を採取した。採取した土壌は土壌サンプラーに密閉し、それを1サンプルとした。サンプルは保冷バックに入れて持ち帰り、由利森林管理署に到着後は直ちに冷蔵庫に入れた。サンプルは2mmメッシュふるいに通した後、湿土10gを電子レンジに入れ600Wで15分乾燥させた後に絶乾重を測定し、含水率と仮比重を算出した(地盤工学会2009)。ただし、高木林のプロットのみサンプルが燃焼を起こす危険性があったため、乾燥時間を10分とした。pHメータを用いて湿土10gと純水20gを混ぜた懸濁液のpH(H₂O)を測定した。

(3) 土壌動物調査

本研究では体長2mm以上の大型土壌動物と体長0.2mm~2mmの中型土壌動物を調査対象とし、2020年7月~9月に調査を行った。

大型土壌動物については、各調査地の植生が均質な3点で縦25cm×横25cm×深さ10cmの土壌サンプルを採取し、ハンドソーティング法により大型土壌動物を採取した。採取された土壌動物は目単位に分類し、個体数の算定を行った。ただしアリ目の個体数調査は別の調査手法によるものとし、出現の有無のみを記録した。

中型土壌動物については、各調査地の植生が均質な5点で土壌サンプラー(20cm²×深さ5cm)を用いてサンプルを採取し、紙袋に封入した状態で保冷バックに入れて由利森林管理署に持ち帰った。持ち帰ったサンプルは直ちにツルグレン装置(20W 5日間)に投入し、中型土壌動物を抽出した。抽出された中型土壌動物は目単位で同定し、個体数を算定した。ただし、ササラダニ亜目については集合プレパラートにし、目レベルでの同定を行った。またトビムシ目についてはQBS-arによる形態の分類(図2)に基づき、分類ごとの個体数を算定した。

大型土壌動物について青木(1995)の手法と大久保・原田(2006)の手法の指標を算出した。

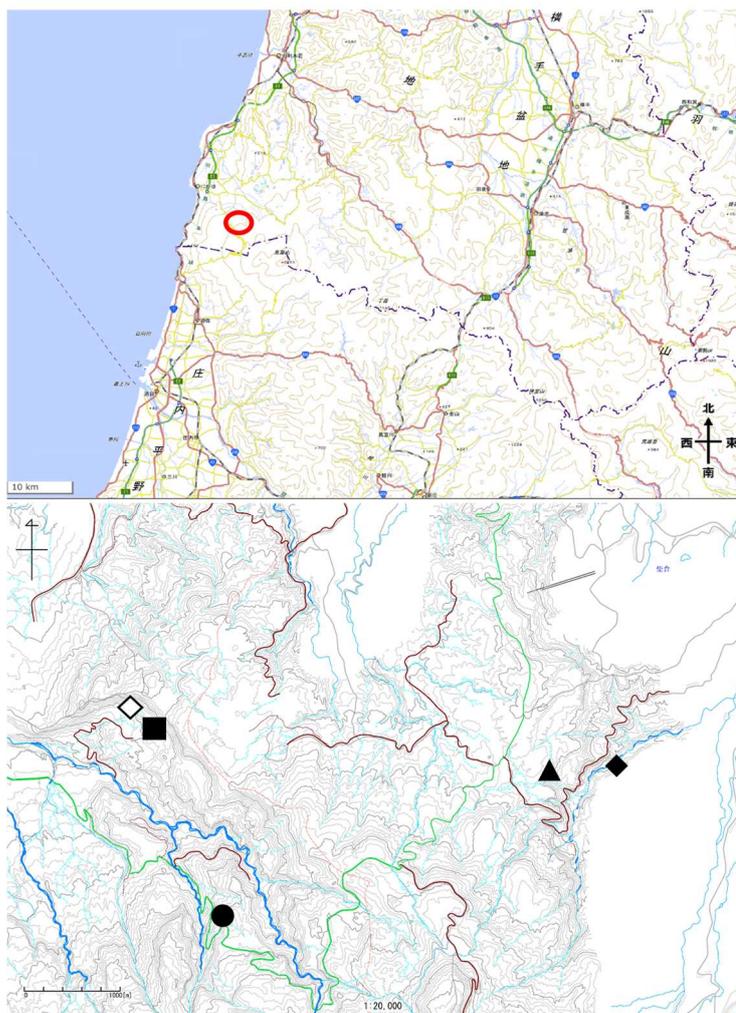


図1. 調査地位置図(上:秋田県南部及び山形県北部、下:鳥海山麓地域 上図の○は調査範囲。地図中の記号は調査地を示す。●裸地、■草地、▲低木林、◆亜高木林、◇高木林)

青木 (1995) の手法とは、土壤動物を生息環境から目レベルで3グループに分類し、人為的な攪乱による影響を受けやすいグループから順に5点、3点、1点と点数を与え、土壤動物を含む生息環境の自然性を100点満点で点数評価するものである。

大久保・原田 (2006) の手法とは、冷温帯域の大型土壤動物の中で、個体数が環境要因と対応のある10の分類群(カニムシ、ヒメフナムシ、ヤスデ綱、ジムカデ、イシムカデ、コムカデ綱、ナガコムシ、チョウ幼虫、アリヅカムシ、ゾウムシ)の出現率を10倍した合計値をもって自然環境が極相的な環境からどの程度隔たっているかを100点満点で点数評価するものである。

中型土壤動物について、青木 (1983) のMGP分析Ⅱ及びParisi et al. (2005) のQBS-arに基づく手法による指標を算出した。

MGP分析Ⅱとは、ササラダニ亜目を形態からM群、G群、P群の3つのグループに分け、その個体数割合から土壤劣化の程度を評価するものである。M群は肛門と生殖門が接合している、体が軟弱で白色という特徴を持ち、乾燥などの劣化した環境に弱いとされている。G群は肛門と生殖門が分離している、体は褐色～黒色で翼状突起を持たないといった特徴を持ち、劣悪な環境に耐性があるとされている。P群は肛門と生殖門が分離している、体は強固で翼状突起を持つといった特徴を持ち、劣悪な環境に対して強い耐性があるとされている。この3群の劣悪な環境への耐性の差を利用して、調査地の土壤劣化の程度を評価した。

QBS-arに基づく手法とは、トビムシ目を形態から高い攪乱頻度高い、劣化した土壤環境下で生息する地表性、安定した、健全度の高い土壤環境に生息する地中性、地表性と地中性の中間の性質を持つ半地中性の3群に分類し、割合を求めることで、土壤の健全度を評価しようと試みたものである。トビムシの分類手法はParis et al. (2005) によって提案された土壤中の小型節足動物を用いた環境評価手法であるQBS-arに基づいており、本研究ではQBS-arの中で示されたトビムシ目の外形による分類を用いた(図2)。

本研究においては、鳥海山麓における気候的極相林であるブナ高木林を施工地の生態系回復の最終的な目標に設定し、施工地の植生が森林に近づくにつれ、土壤動物による指標がブナ高木林での値に近づくかを調査することで、指標の適用性を検証した。

分類	主な特徴	EMI	
地表性	体長: 2mm以上 付属肢: 発達 体色: 有(複雑)	1	
	付属肢: 発達 視器官: 発達 体色: 有	2	
	体長: 小さい 付属肢: 平均的 体色: 薄い	4	
半地中性	付属肢: ×細長い 視器官: 発達 体色: 有	6	
	付属肢: 退化 跳躍器: 退化~消失 体色: 有	8	
地中性	視器官: 退化 跳躍器: 退化 体色: なし	10	
	付属肢: 退化 跳躍器: 消失 体色: なし	20	

図2. QBS-arに基づく手法によるトビムシ目の分類
Parisi et al. (2005)、Menta et al. (2018) をもとに作成。EMIはQBS-arにおける土壤健全度の評点を示す。

3. 結果

(1) 植生及び土壌

最大胸高直径と胸高断面積合計は低木林→亜高木林→高木林の順で増加した。樹木密度は低木林→亜高木林→高木林の順で減少した（表2）。土壌の仮比重は裸地で最も高くなり、高木林で最も低い値となった。土壌の含水率は高木林で最も高くなり、裸地で最も低い値となった。pH(H₂O) は裸地から草地にかけて増加し、草地から高木林にかけて減少した（表2）。

表2. 調査地の植生及び土壌特性

	裸地	草地	低木林	亜高木林	高木林
植生					
最大胸高直径 (cm)	-	-	15.0	37.2	42.0
樹木密度 (本/ha)	-	-	27,000	4,200	3,800
胸高断面積合計 (m ² /ha)	-	-	2,682.3	5,272.1	12,273.7
土壌					
仮比重 (g/cm ³)	0.99±0.19	0.65±0.00	0.68±0.06	0.75±0.04	0.28±0.01
含水率 (%)	31.2±1.1	41.9±1.1	42.3±4.0	33.3±5.2	47.5±6.6
pH(H ₂ O)	4.94±0.57	6.77±0.57	5.91±0.05	5.56±0.00	4.97±0.33

(2) 大型土壌動物

青木（1995）の手法による評点は裸地から亜高木林にかけて評点は高くなり、高木林で減少する傾向を示した（図3a）。

大久保・原田（2006）の手法による評点は亜高木林で最も高い評点を示し、裸地で最も低い評点となった（図3b）。

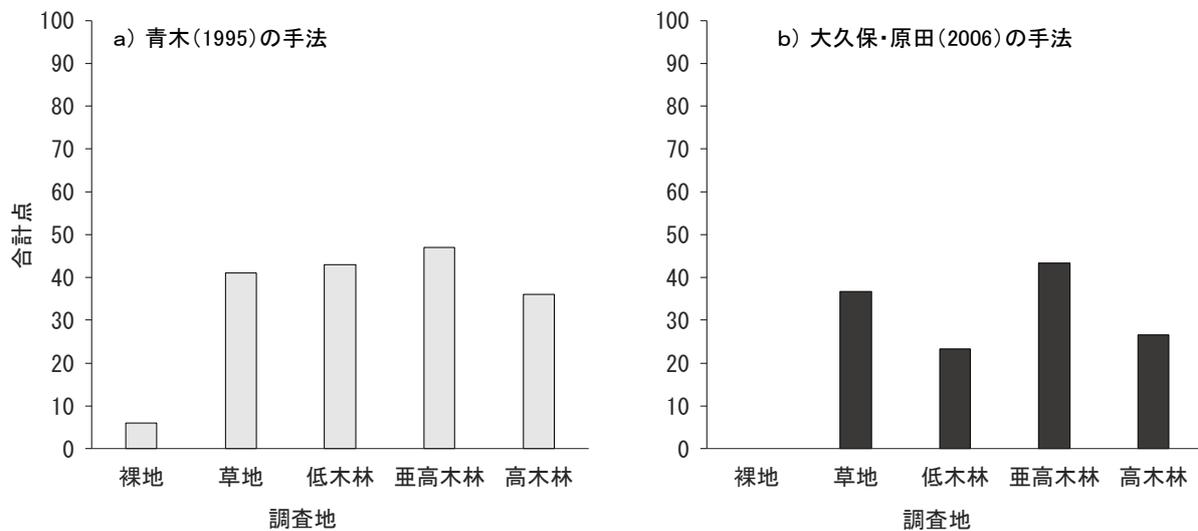


図3. 大型土壌動物による環境評価手法の結果

(3) 中型土壌動物

MGP 分析Ⅱによる指標では、概ね草地から高木林にかけて G 群の占める割合が高くなる傾向を示した (図 4a)。ただし、全ササラダニに対する G 群の個体数比率に有意な差は認められなかった。(Fisher の正確確率検定 $P>0.05$)。

QBS-ar に基づく手法は裸地から高木林にかけて地表性の割合が小さくなり、地中性の割合が大きくなる傾向を示した (図 4b)。全トビムシに対する地表性トビムシ及び地中性トビムシの個体数比率はどちらも有意な差が認められた (Fisher の正確確率検定 $P<0.05$)。

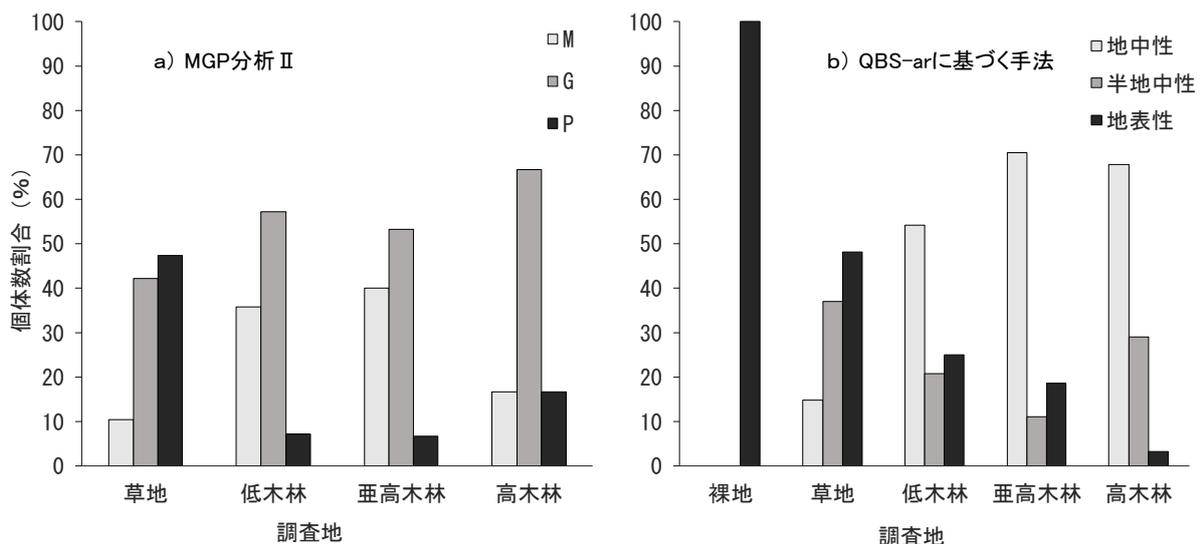


図 4. 中型土壌動物による環境評価手法の結果

4. 考察

本研究で用いた土壌動物による環境評価手法の適用性は手法毎で異なっていた。

青木 (1995) の手法は裸地から亜高木林にかけて評点が高くなる傾向を示したものの、草地と低木林、亜高木林の間に大きな差異は見いだせず、高木林では低い評点となった。大久保・原田 (2006) の手法による評点は施工地の森林の発達に伴う一定の傾向が見られなかった。

大型土壌動物による手法 2 つが評価手法として適切に機能しなかったことは、大型土壌動物の種組成及び体サイズの地域性が原因と考えられる。東北地方のような寒冷地の大型土壌動物は一般的に体サイズが小さく、本研究で用いたハンドソーティング法のような目視による拾い取りでは取りこぼしが生じやすい (大久保・原田 2006)。また青木 (1995) の手法が対象とする 32 種中 11 種と大久保・原田 (2006) の手法で対象としている 10 種中 5 種が全ての調査地で出現しなかったことから、2 つの手法の対象種についても検討の余地があると考えられる。

MGP 分析Ⅱによる指標は概ね草地から高木林にかけて傾向を示しており、本研究の調査地における評価手法としてはある程度機能しているといえる。QBS-ar に基づく手法による指標は裸地から高木林にかけて、健全な土壌環境下に少ない地表性トビムシの割合が減少し、健全な土壌環境下に多い地中性トビムシの割合が増加する傾向が明瞭に現れており、本研究の調査地における評価手法としてはかなり有効であったと考えられる。

この中型土壌動物による手法 2 つが評価手法として有効であった要因は、対象種の構成と採集手法により説明が出来る。MGP 分析Ⅱ及び QBS-ar に基づく手法で対象種としているササラダニ亜

目とトビムシ目は様々な土壌環境下で普遍的に存在しており（青木 2010）、環境要因による偏りが少ない。また本研究で用いたツルグレン装置は機械的な採集方法であり、ハンドソーティング法で生じる土壌動物の見落としが少ない。

ただし MGP 分析Ⅱはササラダニの詳細な観察が必要なため難易度が高いこと、QBS-ar に基づく手法についてはトビムシを外形だけで分類するため、付属肢や跳躍器の発達しきっていない幼体が出現したときなど、特徴の判断が難しい場合に分類があいまいになるという問題点が残る。

本研究では土壌動物による環境評価手法が極相林の土壌環境からの隔たり度合いを適切に評価できるかを検証したが、実際に環境評価を行う場合、極相林の土壌環境からの隔たり度合いはあくまで土壌環境を評価する 1 つの視点であることに留意する必要がある。

既存の治山事業における環境評価手法は地表部の動植物を調査の主な対象としているが、本研究では土壌動物を用いることで、地下部の土壌環境についても治山事業における環境評価の対象として評価出来ることを明らかにした。また本研究では、東北地方の山腹工事施工地で土壌動物による環境評価手法を用いる場合、中型土壌動物を調査対象種とすることが有効であることを明らかにした。

5. 引用文献

- 青木淳一（1983）三つの分類群の種数および個体数の割合によるササラダニ群集の比較（MGP 分析），横浜国大環境研紀要，10:171-176
- 青木淳一（1995）土壌動物を用いた環境診断。（沼田真 編）自然環境への影響予測-結果と調査マニュアル-，197-271. 千葉県環境部環境調整課，千葉県
- 青木淳一（2010）土壌動物学. 北隆館，東京都
- 地盤工学会（2009）電子レンジを用いた土の含水比試験法。（地盤調査法改定編集委員会 編）地盤材料試験の方法と解説-二分冊の 1-，106-107. 地盤工学会，東京都
- Menta C, Conti F.D, Pinto S, Bondini A（2018）Soil Biological Quality index (QBS-ar) :15 years of application at global scale. *Ecological Indicators* 85:773-780
- 日本治水協会（2009）平成 21 年版治山技術基準解説総則・山地治山編. 地盤工学会，東京都
- 大久保慎二，原田 洋（2006）大型土壌動物による冷温帯域の自然性の評価. *生物環境研究*, 13 (1) :1-12
- Parisi V, Menta C, Gardi C, Jacomini C, Mozzanica E (2005) Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105:323-333
- 武田美恵（2011）建設廃棄土の利用が貧栄養湿地の生物生態系に及ぼす影響. 財団法人日比科学技術振興財団平成 22 年度研究開発助成研究報告書:1-5
- 竹下正哲，新谷 融（2004）山腹工施工地における土壌動物相の回復過程，*日本緑化工学会誌*, 30 (2) : 415-420
- 田中秀基，八木沢和人，小島 隆，薄井道則，中田 慎，秋山怜子，小川紀一郎（2009）ササラダニによる山腹工の総合的評価手法の検討. 平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集:221-222