

野外での不かく乱土壌試料採取とその分析について

生命環境系 浅野 眞希

1) はじめに

生命環境系の土壌環境化学研究室では、農耕地および山岳、森林、草原などの自然生態系における土壌生成過程、土壌機能の解明と持続的な利用などを目的として研究を行っています。研究手法として、野外で土壌断面調査を行い、目的に応じた土壌試料を深度別に採取し、実験室に持ち帰って様々な理化学的試験を行うのですが、亜高山地域から砂漠地帯まで、様々な場所で目的に合わせて土壌を採取し実験を行うために、試料採取と実験器具に試行錯誤が必要になります。これまで、土壌試料を採取するための道具や試料の加工、実験を行うためのガラス器具、カラム、機器の部品などなど、工作部門で数々の実験器具を作成していただけてきました。本稿では、特に野外での不かく乱土壌試料採取とその分析について報告させていただこうと思います。

2) 野外での土壌断面調査と不かく乱土壌試料の採取の重要性

土壌とは「地殻の表層において岩石・気候・生物・地形ならびに土地の年代といった土壌生成因子の総合的な相互作用によって生成する岩石圏の変化生成物であり、多少とも腐植・水・空気・生きている生物を含みかつ肥沃度をもった、独立の有機-無機複合体である」と定義されています（大羽・永塚、1988）。岩石・気候・生物・地形・時間に加え、今日では人為も土壌生成因子として含められるようになり、これらの土壌生成因子が異なると、例えば、地形がなだらかで火山灰が堆積し、ススキなどの草原が維持されているような場所では、真っ黒な厚い

表層土壌が形成され（黒ボク土）、火山が無い沖縄などの亜熱帯地方には、表層は淡い褐色で、粘土に富む赤い土が分布する（赤色土）など、土壌断面形態に特徴的な違いが表れます。また、土壌は粘土鉱物や一次鉱物を主体とする土壌粒子と、土壌有機物（腐植）によって形成された土壌構造を形成しており、保水性、透水性、通気性を獲得し、土壌生物にハビタットを提供し、土壌有機物蓄積や分解作用、養分供給能などの様々な土壌機能を発揮することができます。そのため、野外で土壌断面調査を行い、土壌層位の特徴や、根の分布、土壌構造の発達、土壌水の移動に伴う物質の移動集積、酸化還元反応によってできる鉄の形態（斑紋）などを観察することが非常に重要になります（図1）。また、土壌の微細な構造や形態を分析することが、固体分析技術の進展とともに可能となり、今まで不明だった土壌機能の解明が可能になると期待されています。そのような分析のためには、その土壌の特徴を捉えられ



図1 モンゴル草原での土壌断面調査の様子

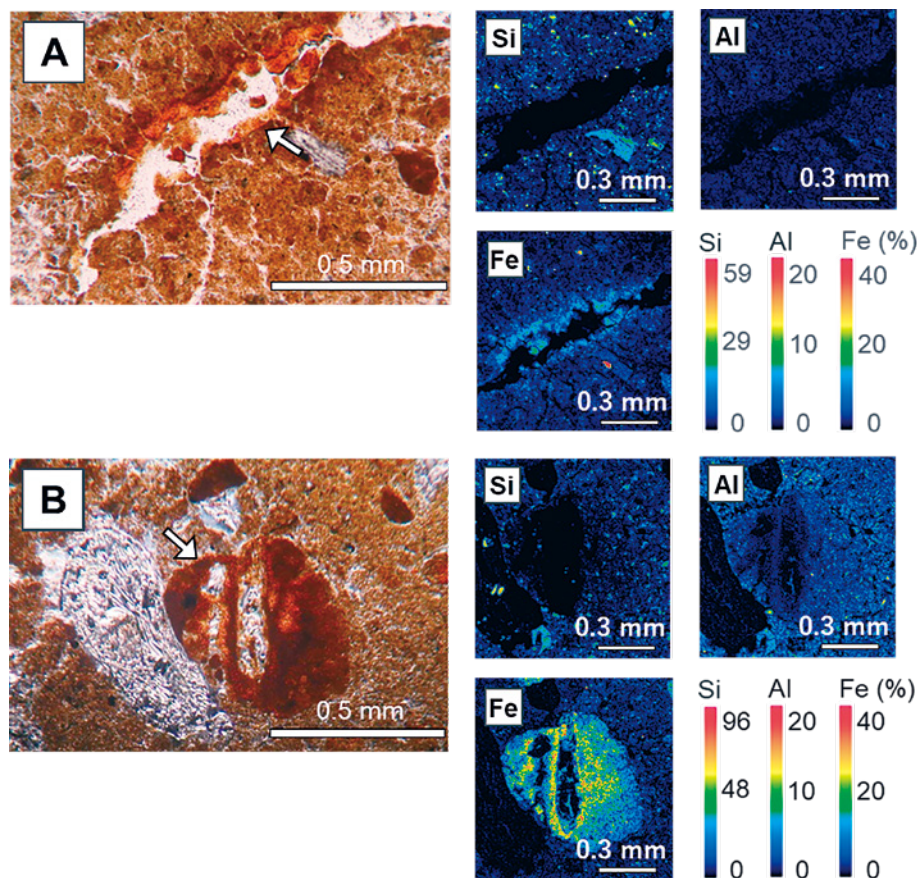


図2 斜面上部のハイマツ・ササ草原のBg1層の薄片画像と元素組成。矢印は鉄斑紋を示している。右図はEPMAで測定したSi、Al、Feの元素分布。(A) 孔隙に形成された膜状の斑紋、(B) 根の周囲に形成された斑紋。

るような土壌構造をいかに破壊せずに土壌を採取するか、が大きな課題となります。私たちの研究室では、ステンレス容器で採取した土壌を用いて土壌微細構造を顕微鏡下で観察したり、切断した塩ビ管を打ち込んで採取したコア試料でX線CT画像を取得したり、さらに分画してKEKやSPring-8などの放射光施設を用いたサブミクロスケールでの土壌構造観察を行っています。

3) 不かく乱土壌試料を用いた分析事例

100mL容のステンレス円筒コアを打ち込んで採取した不かく乱土壌試料は、凍結乾燥後、または有機溶媒での置換法により、樹脂で含浸します。ステンレスコアごと含浸し、工作部門で一次切断によ

てステンレスコアを切断していただいたあと、実験室の切断機と研磨機を利用して、土壌薄片を作成しています。土壌薄片を用いて効果的にとらえられる土壌中の物質移動として、地下水や表層水環境によって生じる酸化還元反応に伴う鉄の移動集積があります。水田などでは研究例が多くありますが、豪雪地域の山岳地域で積雪と雪解けによっておこる鉄の移動と地形や植生との関連は着目されておらず、研究事例がありませんでした。そこで、当研究室に所属する学生が修士論文として、鳥海山の垂高山帯で微地形にそって出現するハイマツ、ササ、雪田草原と、その下に分布する土壌について土壌薄片を作成して形態観察とEPMAによる元素マッピングを行いました(小林、2022)。その結果、一般的に乾燥して

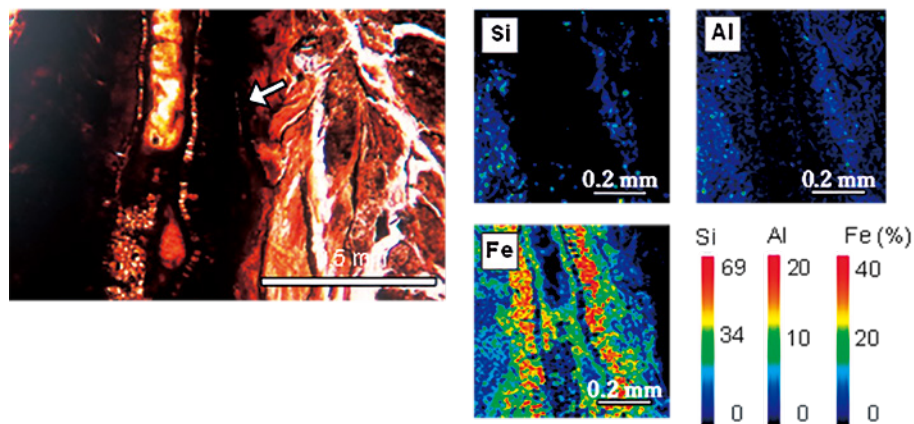


図3 斜面下部の雪田草原のABg層の薄片画像と元素組成。矢印は鉄斑紋を示している。右図はEPMAで測定したSi、Al、Feの元素分布。白い矢印根の周りに形成された糸根状の斑紋。

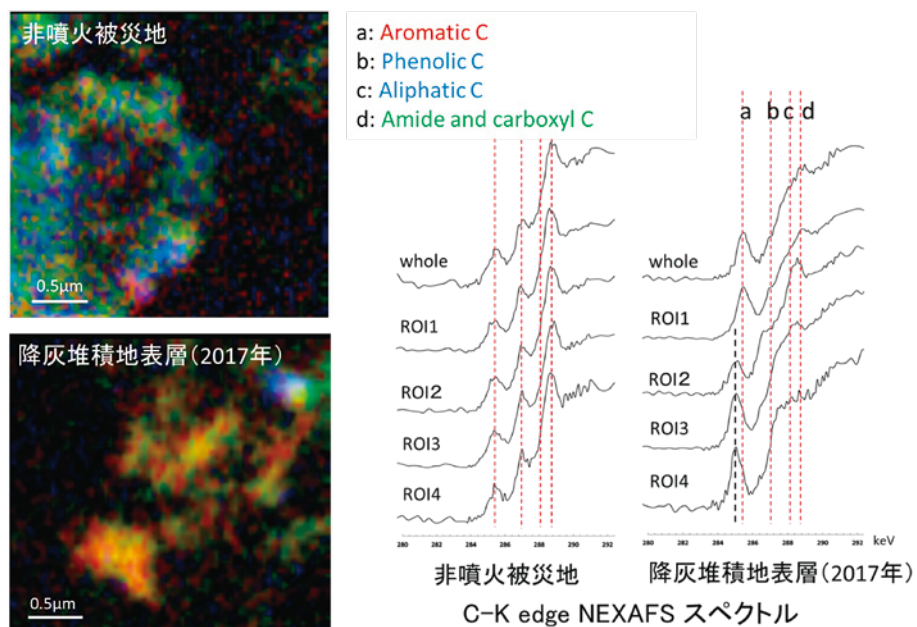


図4 三宅島2000年噴火降灰堆積地と非被災地の表層土壌における<2μm粒子のSTXM-NEXAFS分析の結果

いると考えられる尾根部に近いハイマツ・ササ群落であっても、膜状斑（図2A）や糸根状の鉄斑紋（図2B）が存在することが明らかとなりました（小林ら、2022）。膜状斑（図2A）は酸化的な土壌孔隙に土壌鉱物から溶解した Fe^{2+} が土壌水とともに移動し、 Fe^{3+} に酸化されて析出したと考えられます。一方、根の周りの斑紋（図2B）は植物根から供給される

酸素や、根が枯死した後にできた孔隙に通気される酸素によって、周辺の Fe^{2+} が Fe^{3+} に酸化されて形成されたと考えられました。また、斜面下部の雪田草原では、斜面上部より発達した糸根状の斑紋が観察され（図3）、より強い還元環境下にあることが示唆されました（小林ら、2022）。このような研究は、これまで注目されていなかった高山帯の土壌生

成過程や新たな土壌分類システム構築に寄与するほか、気候環境変動によって影響を受けやすい生態系応答や物質循環の変化解明に貢献すると期待されます。

また、そのほか、土壌構造を形成している土壌の有機無機集合体を、土壌構造のサイズによって分画し、どのような鉱物と有機物が集合体を形成しているのかなどを、固体分析によって明らかにしようとしています。土壌構造を超音波で完全に分散させた土壌懸濁液を作成し、土壌構造の接着物質として働いていると考えられる $2\mu\text{m}$ 以下の有機無機集合体について、KEKの軟X線顕微鏡(STXM)とX線吸収微細構造(NEXAFS)スペクトルの解析により、炭素分布マップ取得と炭素官能基組成の分析を行っています。三宅島2000年噴火後、17年経過して土壌構造が発達した土壌を用いた実験結果では、火山被害を受けていない場所と比較して、土壌有機炭素含量は同程度に回復していましたが、有機無機集合体の大きさが大きく、官能基分布に不均一性が多いなどの結果が認められ、土壌有機物の物理的隔離などが不十分な状態にあることが示唆されました(図4(浅野、2018))。現在博士課程および修士課程の学生が、塩び管で採取したコア試料を用いたX-CT分析を行い、三宅島2000年噴火以降の土壌構造の発達について研究を進めています。土壌構造が作り出すマイクロハビタットという視点から、土壌の生成や、生態系の回復過程における土壌-植物-土壌動物の相互関係について、研究を進展させることができると期待されます。

4) 終わりに

不かく乱土壌試料の採取容器について、一般的な土壌物理性試験用以外には市販品はありません。測定に必要なサイズと測定機器に合わせて、いつでも工作部門に依頼できる、という安心感は非常に大きく、私たちの実験を支えていただいています。また、採取したい試料の大きさや、容器の素材を、土壌タ

イプや分析手法によって変更したいことが多々あり、野外調査前にドタバタで時間に余裕がない中で駆け込んでも、工作部門のみなさんに「大丈夫、これなら間に合いますよ。」と材料を加工していただき何度救われたかわかりません。また、試料を採取した後の含浸操作や土壌粒経サイズ分画でも、微妙に市販品では適合しないサイフォンや、ガラス器具、通常より長時間の超音波処理を行うため、試料溶液を効果的に冷却できるように特注したステンレスチャンバーなど、工作部門で作成を依頼した器具を数多く利用しています。また、土壌カラム試験についても、試行錯誤をしていただきました。試料採取計画、実験計画の段階で生じる、「こういうものがあつたらなあ。」に答えていただける工作部門の存在は、研究の遂行になくてはならない存在です。心から、センターの技術職員のみなさま、先生方にお礼を申し上げます。そして、これからも、何卒よろしく願います。

引用文献

- 浅野眞希ほか(2018)三宅島2000年噴火火山灰堆積地における有機物集積の経時変化. 日本土壤肥料学会講演要旨集, 64巻, p80
- 小林耕野・浅野眞希・田村憲司(2022)鳥海山の高山生態系に発達する土壌の鉄斑紋の形態と元素分布. 日本土壤肥料学会講演要旨集, 68巻, p68
- 小林耕野(2022)鳥海山西部の森林限界以上に分布する土壌の特性. 筑波大学大学院理工情報生命学術院生命地球科学研究群山岳科学学位プログラム修士(山岳科学)学位論文, pp61
- 大羽裕・永塚鎮男(1988)土壌生成分類学. 養賢堂, pp338