

博士学位論文

学位論文内容の要旨および審査結果の要旨

氏名	畑中 朋子
学位の種類	博士（農学）
学位授与の条件	酪農学園大学学位規程第3条第3項に該当
学位論文の題目	北海道における蛇紋岩土壌の化学的多様性に関する研究
審査委員	主査 教 授 保原 達 （植物資源生産学） 副査 教 授 中谷 暢丈 （動物資源生産学） 副査 教 授 松山 周平 （地球環境保全学）

学位論文要旨

【背景・目的】

蛇紋岩を母材とする土壌地帯は、特別な植生をもつことが世界的に知られている。蛇紋岩土壌地帯の植生は固有性が高く、通常では高山で見られる植物が低地でも分布しているという特徴がある。また、逆に、通常の森林や草地で見られる植物は蛇紋岩土壌では生育しにくいという特徴もある。こうした特徴を生じる原因として、蛇紋岩土壌が有するいくつかの化学的特性が植物に影響を与えることが考えられている。蛇紋岩には、元から多く含有されるニッケル (Ni)、クロム (Cr)、コバルト (Co)、マンガン (Mn) などの重金属元素が、土壌となったあとにも多く含まれる。特に土壌中の Ni は植物に致命的な影響を与える濃度であることもしばしばで、これが蛇紋岩土壌の植生を制限している最たる原因であるとする研究者も少なくない。さらに挙げられるのは、窒素、リン (P)、カリウム (K) などの植物栄養素の欠乏である。母材である蛇紋岩における含有量が少ないことに加え、極端に低い被植では有機物からの供給も困難であることから植物は直接的な栄養不足に見舞われる。さらに、蛇紋岩中に多量に含まれるマグネシウム (Mg) の影響も考えられている。過去の研究から、高濃度の Mg が直接植物に毒性を示すというより、むしろ濃度が高すぎる Mg が他の栄養元素の吸収を著しく妨げているとされる。特に、土壌中に同じ 2 価イオンとして存在するカルシウム (Ca) と Mg が競合し、間接的に植物の栄養吸収を阻害している。これらのことから、蛇紋岩土壌は植物生育にとって不利な影響も多く、これらを克服した植物のみが分布する特別な植生が維持されている。しかしながら、土壌は長い年月をかけて地形、気候、植物やその他の生物、それらの遺骸である有機物などの影響を受け、少しずつ変化し続けるものである。本研究では、同じ岩体の蛇紋岩を母材とした土壌であっても性質は多様ではないかというところに着眼した。そして、蛇紋岩土壌、そして蛇紋岩生態系の多様性を化学的特性の面から明らかにすることを目的とした。そのため、北海道における様々な蛇紋岩地域において、生態系土壌の場所による違い、植物利用可能性による違い、植生による違い、などの側面から化学的解析を展開した。

【材料・方法】

本研究では、北海道の蛇紋岩地帯で 3 つの調査研究を行った。まず、8 か所の蛇紋岩地帯（問寒別、添牛内、藤巻山、下幌加内、幌内山、近文山、奈江川、坊主山）で蛇紋岩石と、9 か所の蛇紋岩露頭（問寒別、添牛内、幌加内、温根別、和寒、鉄甲山、藤巻山、水銀山、坊主山）で層位別に土壌の採取を行った。岩石試料は、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置を用いて全分析を行った。土壌は逐次抽出法を用いて金属の形態別分析を行った (Fe, Ni, Mn, Cu, Zn)。次に、5 か所の蛇紋岩露頭（問寒別、温根別、和寒、下幌加内、坊主山）にて、固有植物を含む 13 分類群の植物を直下の土壌ごと採取を行った。植物試料は地上部と地下部により分け、それぞれ硝酸-過塩素酸湿式灰化法を用いて前処理を行い、元素分析を行った (Mg, Ca, K, Fe, Ni, Mn, Cu, Zn, P)。植物試料直下の土壌試料は交換態陽イオン (Mg, Ca, K, Ni, Mn) および希塩酸可溶性金属 (Cu, Zn) の測定を行った。最後に、2 か所の蛇紋岩地帯（問寒別、坊主山）にて、植生を「露頭」と「林縁または森林」に分類し、それぞれ層位別に土壌採取を行った。植生別の土壌試料は上記の形態別分析や交換態陽イオン分析に加え、全炭素および全窒素濃度の分析なども行った。

【結果・考察】

ここでは、蛇紋岩中に含まれる重金属類の中でも最も植物に対する影響が大きいとされる Ni に関する結果を中心に述べていく。まず、北海道の各地で採取された岩石と土壌の全分析結果を比較

すると、蛇紋岩中の Ni は土壌と成る段階で割合を大きく減少させていることが分かった（図 1）。土壌中の Ni の存在形態は地域差が認められ、問寒別や坊主山では土壌との結合力が 2 番目に弱い無機結合態画分の割合が非常に高かった（図 2）。この 2 地点は土層も多く観察され、土壌の厚みが比較的厚い地点であることから、土壌生成と Ni の形態の変化に土壌生成過程の関与も示唆される。

蛇紋岩地帯に生成される露頭に生育する固有種を含む多くの植物は、吸収した Ni を根に蓄積する傾向がみられた。これは、光合成の場である葉を含む地上部に毒性の強い重金属を転流させない戦略的な生態であると考えられる。クロテンシラトリオトギリなどの一部植物種は体中の Ni 濃度が土壌中の交換態陽イオン中の Ni の割合に依存していた（図 3）。逆にアポイタチツボスミレなどの植物はこの Ni の割合に関わらず、一定量の Ni を吸収蓄積していることも明らかになった（図 4）。また、植物体の Ni の濃度は Mg の濃度と強い相関関係にあることが分かった（図 5）。このことから、多量に吸収された Mg が重金属蓄積に関与している可能性が示唆された。

問寒別と坊主山における植生間の土壌特性の比較についての結果は、あらゆる項目で植生の違いが表れた。形態別分析による Ni 濃度は、坊主山では森林の土壌で遊離酸化物吸蔵態画分の割合が増加し、問寒別の林縁は無機結合態画分の割合が増加した（図 6）。無機結合態画分は土壌中の鉄や Mn などの遊離感化物の表面に配位結合で吸着している画分である。このことから、蛇紋岩土壌は森林植生で森林土壌的風化が進行し増加した非晶質の遊離酸化物により Ni の形態は左右されることが示唆された。しかしながら、Ni と同様に蛇紋岩中に多く含まれる重金属の Cr では同様の結果は得られなかった。これは、母材の蛇紋岩中で Cr がクロム鉄鉱として非常に難溶な鉱物として存在しており、森林土壌として風化が進行してもその影響を受けにくい可能性が考えられる。さらに、土壌全炭素濃度と含水率、全窒素、交換態 Mn、K、Ca それぞれの間に正の相関が認められた（いずれも $p < 0.001$ ）。特に交換態陽イオンに関しては、坊主山では交換態 Ca、問寒別では交換態 K に対して強い相関関係がみられた。土壌に植物遺骸などの有機物が供給されることで、栄養素が供給されるようになるだけではなく、保水力および保肥力が向上するなど有機物増加により蛇紋岩の貧栄養な環境が改善されたと考えられる。また、餌としての有機物が供給されることで、土壌中の微生物活性も増加し分解なども活発化されることが予想される。さらに、陽イオン中の交換態 Ni の割合も土壌全炭素が増加すると急激に低下することが分かった。有機物と重金属がキレート結合することは良く知られるが、Ni についても同様の傾向がみられることが考えられる。重金属に結合した有機物は難分解性であり、植物は簡単には利用できない。このような連鎖的な効果により、森林や林縁の表層土壌は母材である蛇紋岩の影響よりも植生から供給された有機物の影響を受けるようになると考えられる。すなわち、これらの植生を構成する植物は、蛇紋岩を母材としながらも、その影響が極めて低い土壌に生育していることが示唆された。

こうした一連の結果から、北海道の蛇紋岩地帯では多様な土壌化学特性見られ、その上に多様な植生が成立していた。そして、植物—土壌間では相互的で密接な化学的關係が様々な形で認められ、このような特性が蛇紋岩生態系の多様性につながっていると考えられた。

論文審査の要旨および結果

1. 論文評価点数

評価項目	主査 (保原教授)	副査 (中谷教授)	副査 (松山准教授)
テーマのたて方	5	5	5
研究の背景	5	5	5
研究の方法	5	3	5
研究の結果	3	5	5
考察と結論	5	5	5
参考論文	5	5	5
合 計	28	28	30

- ・各評価項目を 5 点、3 点、1 点で評価
- ・全ての審査委員が 20 点以上（30 点満点）をつけたことをもって、本審査終了

2. 論文審査の要旨および結果

（1）論文の概要について

本論文では、北海道内の様々な蛇紋岩地域において、場所による岩石および生態系土壤の違い、そこに生育する様々な植物種における植物と土壤の関係、さらに植生による土壤発達の度合い、などを化学分析などにより調べた。その結果、まず蛇紋岩土壤の生成過程には地域や生態系によって大きな差があることが示された。また、植物と土壤の関係については、重金属濃度の高い土壤に生育する植物において特に根への重金属蓄積などが認められた。さらに、植生による土壤発達については、植生が密になるにつれ土壤の重金属濃度が軽減し、これには土壤有機物の蓄積の関与が示唆された。このように、本論文により蛇紋岩地の多様な生態系の構成やそれを形成する要因などが明らかにされた。

（2）研究の背景と目的

蛇紋岩を母材とする土壤地帯は、特別な植生をもつことが世界的に知られている。この特徴を生じる要因として、蛇紋岩土壤が有するいくつかの化学的特性が植物に影響を与えることが考えられている。蛇紋岩には、元からニッケル（Ni）、クロム、コバルト、マンガンなどの重金属元素が多く含まれ、これは土壤となったあとにも多く含まれる。特に土壤中の Ni は、植物に致命的な影響を与えることがしばしばある。また、蛇紋岩中に多量に含まれるマグネシウム（Mg）の影響も大きいと考えられている。これらのことから、蛇紋岩土壤は植物生育にとって不利な場合が多く、こうした環境に適応できた植物のみが分布する特別な植生が成立しやすい。しかしながら、土壤は長い年月をかけて地形、気候、植物やその他の生物、それらの遺骸である有機物などの影響を受けて、異なるものが生じたり、あるいは変化すると考えられる。そこで本研究では、同じ岩体の蛇紋岩を母材とした土壤にどのような性質の多様性があるのかということに着眼した。そして、蛇紋岩土壤、そしてそこに成立する植生を含めた蛇紋岩生態系の多様性を化学的特性の面から明らかにすることを

目的とした。

(3) 研究の成果

本研究では、北海道内の様々な蛇紋岩地域において、場所による岩石および生態系土壌の違い、様々な植物種における植物と土壌の関係、植生による土壌発達、などを化学分析などにより調べた。その結果、蛇紋岩中の重金属、特に Ni は、土壌となる段階で濃度を大きく減少させていることなどが分かった。また、土壌中の Ni などの重金属の存在形態には地点差があり、蛇紋岩土壌の生成過程に大きな地域差があることが示唆された。植物と土壌の関係については、蛇紋岩露頭にて、固有植物を含む様々な植物を直下の土壌ごと採取し、それらの化学性を調べた。その結果、蛇紋岩地帯の露頭に生育する固有種を含む多くの植物は、吸収した Ni を葉よりも根に蓄積する傾向がみられた。さらに、植物体の Ni の濃度は Mg の濃度と強い相関関係にあり、多量に吸収された Mg が重金属蓄積に関与している可能性が示唆された。植生による土壌発達については、2 か所の蛇紋岩地帯にて植生を複数に分類し、それぞれ層位別に土壌採取を行い、化学分析を行った。その結果、土壌の化学性に植生による様々な違いが見られ、特に土壌中の交換態 Ni 濃度は露頭で高く、森林で低く、反対に炭素濃度は露頭で低く、森林で高くなる傾向が見られた。これらの結果から、北海道の蛇紋岩地帯では多様な土壌化学特性が見られ、その上に、その影響を多分に受けた多様な植生が成立していることが明らかとなった。そして、植物—土壌間では相互的で密接な化学的關係が様々な形で認められ、こうした特性が蛇紋岩生態系の多様性につながっていると考えられた。また、本研究結果の一部は、海外の英文査読誌である *Geoderma Regional* (IF=4.201) に掲載された。

(4) 研究の評価

本研究は、これまで露頭での研究のみが突出していた蛇紋岩生態系について、様々な植生の生態系に枠を広げてその多様性や特殊性を明らかにしたという点で新規性があると認められた。また本研究では、蛇紋岩生態系の研究を植物や土壌のみならず、岩石や地形にまで遡り、広く関係性を論じているという点で独創性があると認められた。博士論文発表会においては、そのような点について適切に発表を行い、質問などに関しても概ね答えられていた。また、研究の一部が海外の査読誌にも掲載されており、客観的にも認められている。これらを総じて、本論文は博士論文として十分な内容を含んでいるものと判断されるに至った。

以上のことから、畑中朋子氏は博士（農学）の学位を授与されるに十分な資格を有すると審査委員一同は認めた。

3. 最終試験の結果

審査委員 3 名が最終試験を行った結果、合格と認める。

2023年 2 月 8 日

審査員

主査	教授	保原	達
副査	教授	中谷	暢丈
副査	准教授	松山	周平