

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	金子 命
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	洞爺湖中島におけるエゾシカの個体数密度の推移に伴う生態系地下部の 変遷
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 准教授 松山 周平 （地球環境保全学） 副査 准教授 伊吾田 宏正（野生動物学）

【目的】

有蹄類を含む大型草食哺乳類は、個体数密度が高まることによって、しばしば生態系の構造や機能に影響を与える。有蹄類が生態系に与える影響としては、その採食に起因する植生攪乱が主に見られ、さらに採食が長期かつ持続的になると、樹木個体群の更新阻害や林床の裸地化、草本植物種構成の単純化といった植生への劇的な変化を導くことが広く報告されている。また、有蹄類の採食は、こうした生態系地上部への影響にとどまらず、生態系地下部にも波及することが知られている。例えば、土壌の踏み付けによる土壌硬度の上昇や土壌保水性の低下、そして下層植生の食害や根圏の衰退による土壌リター供給量および炭素貯留量の減少などが地下部への影響として報告されている。また、シカの排泄物や植物残渣が土壌に供給されることで土壌の窒素無機化速度が上昇する例も数多く報告されている。さらに、シカが植物を減少させることにより、生態系外への栄養塩流出量の増加や、植物の必須元素である窒素の土壌貯留量が低下することもある。こうしたシカの生態系影響に関する研究の多くは、国内外を問わずシカの行動圏が制限されていない開放的な生態系において行われてきたが、閉鎖的な生態系で行われた事例は少ない。閉鎖的な生態系では、シカが高密度化することで生態系への影響はより明確になると考えられるが、その影響や、さらにそこからシカが減少することで影響がどのように推移するかといったことはほとんど分かっていない。そこで本研究では、閉鎖的な島嶼生態系においてエゾシカ(*Cervus nippon yesoensis*)が高密度化している洞爺湖中島を調査地とし、地下部土壌にシカが与える影響を解明することを目的とした。第1章において、シカの高密度化状態時における洞爺湖中島の土壌の物理的・化学的特性に与えるシカの影響について明らかにし、続く第2章においては、中島島内におけるシカの密度調整に伴う個体数の減少後の土壌環境の変化の把握を行い、過去の高密度状況下からの各種土壌諸特性の変化を考察する。これらを通じて、シカなどの大型草食哺乳類が増減することによる生態系地下部への影響の変遷と、そのメカニズムについて明らかにする。

【方法】

調査は、北海道南西部に位置する洞爺湖の中島（大島）において、シカの過密時(密度：47.6頭/km²)の2009年7月から10月、およびシカの密度調整によって過密状態が緩和された後(同：25.7頭/km²)の2018年8月、10月に行われた。島内には、1984年および2004年に設置された防鹿柵があり、この内1984年設置の防鹿柵2つ(A1, A2)と2004年設置の防鹿柵4つ(B1, B2, B3, B4)を研究に用いた。調査は、防鹿柵内外で土壌・植物の諸特性を比較することとした。主な比較項目は、土壌リター堆積量、土壌硬度、土壌含水率、土壌全炭素および全窒素濃度、土壌中の無機態窒素濃度、土壌の純無機化速度、土壌の純硝化速度、植物の全炭素濃度および全窒素濃度である。土壌試料の採取は、2009年は7月から10月の各月に、2018年は8月、10月に、また植物試料の採取は2009年は7月に、2019年は8月、10月に、それぞれ行われた。

【結果・考察】

1. シカ過密時におけるシカの生態系地下部への影響

シカが過密状態であった 2009 年の調査の結果，シカの侵入を排除した防鹿柵内に比べて柵外では，ほとんどの調査地域に共通して土壌硬度が高く，土壌表層のリター堆積量が少なくなっていることが明らかとなった。また，土壌の窒素無機化特性は多くの地域で硝化が卓越し，柵内外での傾向は植生タイプや調査地域によって様々であった。シカの利用性が特に高いと考えられる草原地域では，柵外において特異的に土壌の硝酸態窒素濃度や純硝化速度が高く，さらに柵外に自生するフッキソウの植物体窒素濃度が顕著に高い傾向にあり，シカの排泄物や植物残渣による施肥効果を受けた可能性が考えられた。これらのことから，閉鎖的環境である洞爺湖中島では，高密度なシカの影響が島内全域的に顕在化し，土壌の物理性や化学性に様々な変化が生じている可能性が考えられ，特にシカの利用性が高い地域においては，高密度化の影響で土壌から植物へも窒素が過度な状態が及んでいる可能性が示唆された。

2. シカ過密状態緩和後の生態系地下部の変化

シカ密度が低下した後の 2018 年の調査により，2009 年に比べ，柵外土壌の土壌硬度が島内ほぼ全域的に有意に低下していること，さらには土壌表層のリター堆積量が増加していることが明らかとなった。これらは，シカの踏み付けやリター採食の影響がシカ高密度時と比して大幅に緩和されたことによると考えられた。また，柵内よりも柵外で土壌硬度が高くリター堆積量が少ない傾向は依然として変わらなかった。土壌化学性については，2009 年時と比較して多くの調査地域で土壌の全炭素濃度や窒素無機化速度が低下しており，シカの個体数密度が低下したことによって土壌有機物含有率が減少し，これによって窒素無機化特性が低下した可能性が考えられた。一方で，一部の調査地域においては，土壌の全炭素濃度が 2009 年時と比して増加しているにもかかわらず窒素無機化速度が大きく低減しており，土壌有機物の全体量に必ずしも依存しない窒素無機化の動態を示した。これには，リターに含まれる難分解性成分が土壌微生物活動の抑制に寄与したことが考えられた。また，そうした傾向を示す地域では，土壌全炭素濃度が 2009 年時と比して低下していても，地表のリター蓄積重量が多い場合に窒素無機化が高くなる傾向もみとめられた。このことから，洞爺湖中島における窒素無機化特性は，土壌中に存在する易分解性有機物の現存量によって変動し，これは土壌表層のリター堆積量にも影響を受け得ると考えられた。

3. シカの密度変化に伴う生態系地下部の変遷

本研究結果より，閉鎖的生態系において，シカの高密度化が進行しそれらが長期間維持されると，生態系地上部のみならず生態系地下部である土壌の物理・化学特性が大きく改変される可能性が明らかとなった。また，そうしたシカの高密度化に伴う土壌への影響は物理特性への影響と化学特性への影響とが関係しあって生じていることや，それらの影響はシカ個体数密度の推移に伴って変動する可能性が示唆された。土壌特性の中でも，特に有機物含量の変動が多くの土壌特性に影響を及ぼすと考えられ，シカのリター採食の影響や，土壌の窒素無機化に直接的に関係する地温や分解抑制物質などの環境要因についても今後，より検討を進める必要があると考えられた。シカの高密度化は依然として日本国内外問わずみとめられ，それがもたらす生態系影響は多岐にわたる。本研究によりシカの土壌への影響には土壌有機物がキーとなっていることが明らかとなったが，土壌環境は植生や土壌生物の生態と密接な関係にあるため，本研究の知見は今後シカのそうした他の生態系影響を紐解く上で有用となろう。



図 1. 洞爺湖中島におけるシカ個体数密度の推移に伴う生態系地下部の物理・化学特性の変動

論文審査の要旨および結果

標記論文について、博士（農学）の学位に授与されるに値するかを判定するための論文審査を行った。本研究論文の概要は以下の通りである。

【背景】

シカは、しばしば個体数密度が高まることによって陸上生態系の構造や機能に影響を与え、その影響は生態系地下部にも及ぶことが知られる。こうしたシカの生態系影響に関する研究の多くは開放的な生態系において行われてきたが、シカが高密度化しやすい閉鎖的な生態系でその影響の変遷を追った例は少ない。そこで本研究では、閉鎖的な島嶼生態系においてエゾシカの高密度化している洞爺湖中島を調査地とし、地下部土壤にシカが与える影響の変遷を解明することを目的とした。第1章において、洞爺湖中島における高密度に生息するシカが土壤の物理的、化学的特性に与える影響について明らかにし、続く第2章においては、中島島内におけるシカの密度調整に伴う個体数の減少後の土壤環境の把握を行い、過去の高密度状況下からの各種土壤諸特性の変化を考察する。これらを通じて、シカなどの大型草食哺乳類が増減することによる生態系地下部への影響の変遷と、そのメカニズムについて明らかにする。

【方法】

調査は、北海道南西部に位置する洞爺湖の中島において、シカの過密時の2009年およびシカの密度調整によって過密状態が緩和された後の2018年に行われた。調査には島内の1984年および2004年に設置された防鹿柵を用い、土壤・植物の諸特性として、土壤リター堆積量、土壤硬度、土壤含水率、土壤全炭素および全窒素濃度、土壤中の無機態窒素濃度、土壤の窒素無機化特性、植物の全炭素および全窒素濃度等を調査・分析して、比較に用いた。

【結果・考察】

シカ過密時の調査の結果、シカの侵入を排除した防鹿柵では柵内に比べて柵外で土壤硬度が高く、土壤表層のリター堆積量が少ないことが明らかとなった。また、多くの地域で土壤の硝化活性が卓越しており、特にシカの利用率が高いと考えられる草原地域では硝化以外にも植物体窒素濃度が顕著に高くなるなど、シカの排泄物や植物残渣による窒素施肥効果を受けた可能性が考えられた。これらのことから、閉鎖的環境である洞爺湖中島では、シカの高密度化により島内土壤の物理性や化学性に様々な変化が生じ、島内のシカの利用率がその変化の度合いに影響していると考えられた。

また、シカ密度が低下した後の調査の結果、過密時に比べ、土壤硬度がほとんどの調査区で低下し、土壤表層のリター堆積量が増加しており、シカの土壤への物理的影響が大幅に緩和されていると考えられた。土壤化学性については、過密時と比較して多くの調査地域で純窒素無機化速度が低下し、この低下は単位土壤炭素当たりの純無機化速度の低下と関連しており、リター成分がシカの影響緩和によって変化した可能性が考えられた。これらのことから、中島のシカの過密によって土壤に与えられていた物理的および化学的影響は、シカの過密状態緩和と

ともに緩和されたと考えられた。

以上のように、閉鎖的生態系において、シカの高密度化によって土壌の物理性や化学性が変化するものの、高密度化が緩和することにより数年レベルで概ね戻ることが示された。また、草原や森林といった植生タイプやシカの利用度などによって、閉鎖的生態系内であっても、シカの影響に大きな違いが見られることも明らかになった。この違いには、特に有機物の挙動も大きく関係していると考えられ、今後土壌へのリターや糞供給の質的、量的把握が望まれた。

以上のように、本研究論文では、シカの過密とその緩和がもたらす現象とその原因について多くの新しい知見がもたらされた。こうしたシカのリターや有機物を通じての影響は、食物連鎖や物質循環を通して生態系の地下部のみならず地上部にも様々な影響を与えると予想され、本研究で得られた知見はその波及性も高いと考えられる。これらのことなどを総合して、本研究論文は生態系や自然環境の保全や野生動物との共生に大きく寄与または貢献する内容を有するものと考えられた。よって、申請者である金子命氏は、本論文をもって博士課程を修了し、博士（農学）の学位を授与されるに値するものと審査委員一同は認めた。

2020年2月12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
副査	准教授	伊吾田	宏正