

日光千手ヶ原および西ノ湖地域におけるニホンジカが 土壌の無機態窒素量に及ぼす影響

古澤仁美・三浦覚・稲垣昌宏・稲垣善之・佐野哲也(森林総研)

要旨: 栃木県日光市の千手ヶ原および西ノ湖地域において、ニホンジカによる植生変化が土壌の無機態窒素動態に及ぼす影響を調査した。シカ排除柵内外で表層土壌の水抽出およびKCl抽出による無機態窒素量、土壌中に埋設したイオン交換樹脂に吸着された無機態窒素量、窒素無機化ポテンシャルを測定した。水抽出による硝酸態窒素量は、西の湖地域においてシカ排除区のほうが非排除区より有意に高かった。KCl抽出による無機態窒素量についても、西ノ湖の深さ 10-20cm 土壌においてシカ排除区のほうが非排除区より高かった。また窒素無機化ポテンシャルも西ノ湖の深さ 10-20cm 土壌においてシカ排除区のほうが非排除区より高かった。以上より、シカ排除による低木層の回復が土壌の窒素無機化や土壌の無機態窒素量に影響を及ぼしたと考えられた。一方、イオン交換樹脂に吸着された硝酸態窒素量は測定値のばらつきが大きかった。今後さらに調査を続け、1年を通じて無機態窒素の動向を調べる必要がある。

キーワード: ニホンジカ, 日光, 無機態窒素

I はじめに

森林生態系において窒素は植物成長の主要な制限因子の1つである。有蹄類の採食は森林の植生変化をとおして窒素動態に影響を及ぼすことが国内外の研究で明らかになってきた(1, 6)。

栃木県奥日光地域では1980年代からニホンジカ(*Cervus Nippon centralis*)の密度が増加し、近年は個体数管理によって個体数が抑えられている(9)。しかし、中禅寺湖西岸地域において、現在も林床に不嗜好性のシロヨメナ(*Aster ageratoides ssp. leiophyllus*)が優占する草本群落が広がっており、採食の影響を受けていることが示唆される。一方、シカ排除柵を設置して10年ほど経過した場合には、低木層が形成されるなど植生の回復が認められている。

採食に対して抵抗性の高い植物は、採食を化学的に防御するために二次代謝物質を多く含んでいることが多い。シロヨメナと同じシオン(*Aster*)属の複数の種で、二次代謝物質の1つで抗菌性のあるテルペン類を含んでいることが報告されており(2, 11)、シロヨメナもこのような二次代謝物質を含んでいる可能性がある。二次代謝物質は植物リターにも残存し、リターの分解速度を抑制するといわれている(4)。そして実際に植物の嗜好性の高さでリターの分解しやすさに正の相関が認められている(10)。シカ排除によって回復する低木類は嗜好性がより高いと考えられ、シロヨメナよりも分解の速いリターが供給されると予想される。また、低木層と不嗜好性草本群落では、リター供給量も異なる可能性がある。これら

のリター供給の量と質の違いは、土壌の窒素無機化速度と無機態窒素量の増加に寄与すると予想される。しかし、採食の有無によって林床植生タイプに違いが生じている場合に土壌の窒素動態を明らかにした研究はほとんどない。そこで、本研究ではニホンジカによる植生変化が土壌の無機態窒素動態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

II 調査地の概況および調査方法

調査は栃木県日光市の千手ヶ原(北緯 36° 44' 57", 東経 139° 5' 2", 標高 1260m)および西ノ湖(北緯 36° 44' 44", 東経 139° 24' 4", 標高 1290m)地域において行った。両地域とも中禅寺湖西岸の河川氾濫原に位置する。日光特別地域気象観測所における2009年の年降水量は1889mm、年平均気温7.3°Cであった。調査地近傍(外山沢)の土壌型は未熟土壌(Im)(8)である。植生は両地域ともハルニレ(*Ulmus davidiana var. japonica*)が優占する落葉広葉樹林で(3)、シカ排除柵内では低木層(ニフトコ(*Sambucus sieboldiana*), ウダイカンバ(*Betula maximowicziana*)など)が認められるが、柵外では低木層は存在しない。シカ柵外では林床にはシロヨメナが優占する。

シカ排除柵は日光森林管理署が設置したもので、千手ヶ原には2001年(約0.7ha)(日光森林管理署, 私信)、西ノ湖に2000年(約9.4ha)(7)に設置された。両地域において、シカ柵をはさんで対になるようにシカ排除柵の内と外に調査地点を設定した(排除区, 非排除区, それぞれ n=6)。土壌の無機態窒素量の調査は2009年の7月と10月に行った。7月に

Hitomi FURUSAWA, Satoru MIURA, Masahiro INAGAKI, Yoshiyuki INAGAKI, Tetsuya SANÔ (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687) Effects of deer on the soil nitrogen dynamics at Senjugahara and Sainoko in Nikko, Tochigi.

は検土杖で深さ 0-20cm の土壌を採取し、採取後直ちに 20g の生土に 100ml の水を加えて振とうし、1晩静置後 no.6 のろ紙でろ過した。10 月には 100ml 円筒(直径 5cm, 高さ 5cm)を用いて深さ 0-10cm および 10-20cm 層の真中付近の土壌を採取した。採取した土壌(生土) 20g に 100ml の 2M-KCl を加えて振とう、1晩静置後 no.6 のろ紙でろ過した。また、土壌中の水移動に伴う無機態窒素のリーチングを評価する目的で、7 月に各土壌採取地点付近で A₀ 層の直下(0cm)と 20cm の深さにイオン交換樹脂を埋設した。イオン交換樹脂は IR120B(H) および IRA410(OH) (オルガノ)を同量混合したものを、直径 5cm, 高さ 2.5cm の塩ビ製円筒に充填し、ナイロン製ストッキングで包んで埋設した。埋設したイオン交換樹脂は 10 月に回収した。湿重で 4g のイオン交換樹脂に 100ml の 1M-KCl を加えて抽出ろ過する過程を 2 回繰り返す、全ろ液を 250ml にメスアップした。また、10 月に採取した土壌については、窒素無機化ポテンシャル速度も測定した。採取時の水分状態のまま、25℃, 8 週間培養し、終了後 20g の生土に 100ml の 2M-KCl を加えて振とう、1晩静置後 no.6 のろ紙でろ過した。

水および KCl 抽出液中の無機態窒素濃度はフローインジェクション装置(三菱化学アナリテック)を用いて、アンモニア態窒素と硝酸態窒素をそれぞれインドフェノールブルー法と銅-カドミウム還元ナフチルエチレンジアミン法で定量した。

III 結果

1. 水抽出による無機態窒素量 水抽出のアンモニア態窒素量は 0.54-2.63 mg/kgsoil, 硝酸態窒素は 0.71-2.95 mg/kgsoil の範囲にあった(図-1)。水抽出のアンモニア態窒素量については、両地域ともシカ処理による違いは明らかではなかった。一方、水抽出の硝酸態窒素量については、西ノ湖地域においてシカ排除区のほうが非排除区より有意に高かった($p < 0.05$, t-test)。水抽出の全無機態窒素量(アンモニア態窒素+硝酸態窒素)については、両地域においてシカ排除区のほうが非排除区より高い傾向にあり、西ノ湖ではシカ処理の影響は有意であった($p < 0.05$, t-test)。

2. KCl 抽出による無機態窒素量 0-10cm の深さでは、KCl 抽出のアンモニア態窒素量が 2.47-6.10mg/kgsoil, 硝酸態窒素量が 1.46-4.15 mg/kgsoil の範囲にあった(図-2a)。10-20cm の深さでは、KCl 抽出のアンモニア態窒素量が 1.11-4.38mg/kgsoil, 硝酸態窒素量が 1.14-4.01 mg/kgsoil の範囲にあった(図-2b)。0-10cm の深さでは、KCl 抽出のアンモニア態窒素量, 硝酸態窒素量, 全無機態窒素量のいずれも両地域ともシカ処理の影響は有意ではなかった。10-20cm の深さでは、KCl 抽出のアンモニア態窒素量, 硝酸態窒素量, 全無機態窒素量のいずれも千手ヶ原ではシカ処理による違いは認められなかったが、西ノ湖では、硝酸態窒素量,

全無機態窒素量についてシカ排除区のほうが非排除区より有意に高かった(いずれも $p < 0.05$, t-test)。

3. 無機態窒素吸着量 深さ 0cm, 深さ 20cm に設置したイオン交換樹脂に吸着された無機態窒素量については、両地域ともシカ処理による違いは有意ではなかったものの(図-2c,d), 西ノ湖では、シカ排除区の深さ 20cm における硝酸態窒素吸着量が増加する傾向があった。しかし、増加は局所的で測定値のばらつきが大きかった。

4. 窒素無機化ポテンシャル速度 無機化した窒素のほとんどは硝化された(図-3)。西ノ湖では日無機化速度, 日硝化速度は 0-10cm, 10-20cm の深さでいずれもシカ排除区のほうが非排除区より大きい傾向にあり、10-20cm の日無機化速度, および 0-10cm, 10-20cm の日硝化速度におけるシカ処理の影響は有意であった(いずれも $p < 0.05$, t-test)。

IV 考察

水抽出の無機態窒素は KCl 抽出より土壌への吸着が弱く、動きやすい窒素であると考えられる。これは両地域のシカ排除で増加する傾向があった。西ノ湖地域では、より土壌への吸着が強い KCl 抽出による無機態窒素量もシカ排除で増加する傾向が認められた。また、イオン交換樹脂の硝酸態窒素吸着量もばらつきが大きいもののシカ排除で局所的に増加が認められた。これらの結果から、シカ排除によって土壌中に余剰の無機態窒素が増加していることが示唆された。

採食排除による無機態窒素吸着量とばらつき増加は、北米の寒帯林でも報告されている(5)。そしてこの報告では、広葉樹が採食されて減少し、相対的にリター分解の遅い針葉樹が優占することで、余剰の無機態窒素が少ない状態になるために無機態窒素吸着量が減少することが示唆されている(5)。本研究では、低木と不嗜好性草本の対比であり、この論文と一概に扱うことはできない。しかし、本研究の結果から、我々の予想通りシカ排除によって回復した低木層のリターは非排除区の不嗜好性草本より分解しやすい可能性が示唆された。

窒素無機化ポテンシャル速度についても、シカ排除区のほうが非排除区より高い傾向が認められ、シカ排除にともなう低木層の回復によってリター供給量と質が変化し、窒素無機化ポテンシャルが促進された可能性が考えられた。そして、このことが本調査地で水抽出および KCl 抽出による無機態窒素量が高くなった要因の1つである可能性がある。ただし、窒素無機化速度は野外では地温の違いの影響を受けるが、本調査地で地温にシカ処理の影響は認められていない(古澤, 未発表)。

西ノ湖地域では、各測定項目においてシカの影響が統計的に有意と認められる場合が多かったが、千手ヶ原地域では有意差が認められなかった。おそらく、排除柵内外での植生

の回復程度に地域的な差があるためと考えられたが、詳しい植生の回復程度の違いについては今後調査が必要である。

V おわりに

本研究では、特に西ノ湖地域で無機態窒素量、そして窒素無機化ポテンシャルがシカ排除により高くなる傾向があり、シカ排除による低木層の回復が影響している可能性が示された。本研究では、夏から秋にかけての無機態窒素動態を調査したが、今後は1年間の無機態窒素の動態を調べる必要がある。また植生の回復程度の地域による違いを定量的に把握するとともに、土壌の窒素動態と植生のリター供給量やリターの分解速度、地温との関係も明らかにする必要がある。

謝辞

本研究の調査にあたり、環境省日光自然環境事務所および林野庁日光森林管理署にご協力をいただいた。現地調査にあたっては長野県林業総合センターの戸田堅一郎氏、栃木県林業センターの墨谷祐子氏にご助力いただいた。また、森林総合研究所の金指達郎氏、鈴木和次郎氏、宇都宮大学の小金澤正昭教授に貴重なご助言をいただいた。ここに深く感謝いたします。

本研究は文部科学省科学研究費補助金(課題番号21580190)の補助および文部科学省科学技術振興調整費女性研究者支援モデル育成事業による支援を受けて行った。

引用文献

(1) FURUSAWA, H., HINO, T., KANEKO, S., and ARAKI, M. (2005) Effects of dwarf bamboo (*Sasa nipponica*) and deer (*Cervus nippon centralis*) on the chemical properties of soil and microbial biomass in a forest at Ohdaigahara, central Japan. *Bull. of the FFPRI* 4:157-165

(2) MIYAZAWA, M., KAWATA, J., KOHNO, K., IMAI, M., and ONO, T. (2005) Essential oil and headspace constituents from the aerial parts of *Aster ageratoides* Turcz. var. *ovatus* Nakai. *J. Essent. Oil Res.* 20:9-11.

(3) NOMIYA, H., SUZUKI, W., KANAZASHI, T., SHIBATA, M., TANAKA, H. and NAKASHIZUKA, T. (2002) The response of forest floor vegetation and tree regeneration to deer exclusion and disturbance in a riparian deciduous forest, central Japan. *Plant Ecol.* 164: 263-276.

(4) PALKOVA, K., and LEPS, J. (2008) Positive relationship between plant palatability and litter decomposition in meadow plants. *Community Ecol.* 9:17-27.

(5) PASTOR, J., DEWEY, B., MOEN, R., MLADENOFF, D. J., WHITE, M., and COHEN, Y. (1998) Spatial patterns in the moose-forest-soil ecosystem on Isle Royale, Michigan, USA. *Ecol. Appl.* 8: 411-424.

(6) PASTOR, J., DEWEY, B., NAIMAN, R.J., MCINNES, P.F., and COHEN, Y. (1993) Moose browsing and soil fertility in the boreal forests of Isle Royale National Park. *Ecology* 74:467-480.

(7) 鈴木和次郎・石田香織・由田幸雄・小島幸彦(2006)シカ防護柵が樹木の更新に及ぼす影響.日本生態学会第53回大会講演要旨集. 212.

(8) 谷川東子・高橋正通・野口享太郎・重永英年・長倉淳子・酒井寿夫・石塚和裕・赤間亮夫(2009)奥日光の森林衰退地域の樹木生葉と土壌の養分特性-他の亜高山地域との比較から-.*環境科学会誌* 22: 401-414.

(9) 栃木県(2006)栃木県シカ保護管理計画(第4期計画) 37pp.

(10) WARDLE, D. A., BONNER, K. I., and BARKER, G. M. (2002) Linkages between plant litter decomposition, litter quality, and vegetation responses to herbivores. *Funct. Ecol.* 16:585-595.

(11) YAN, F. L., YAO, S. M., and ZHOU, Y. (2007) Two new tetracyclic triterpenoids and other constituents from *Aster ageratoides* var. *oophyllus*. *J. the Chinese Chem. Soc.* 54:1321-1324.

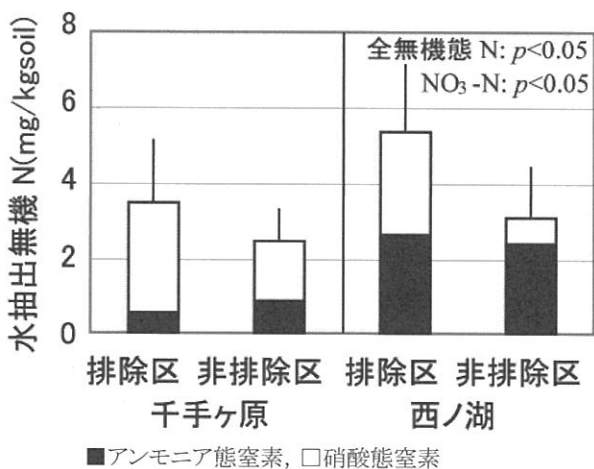


図-1. 深さ 0-20cm の土壌における水抽出無機態窒素量
図中のバーは標準偏差を示す

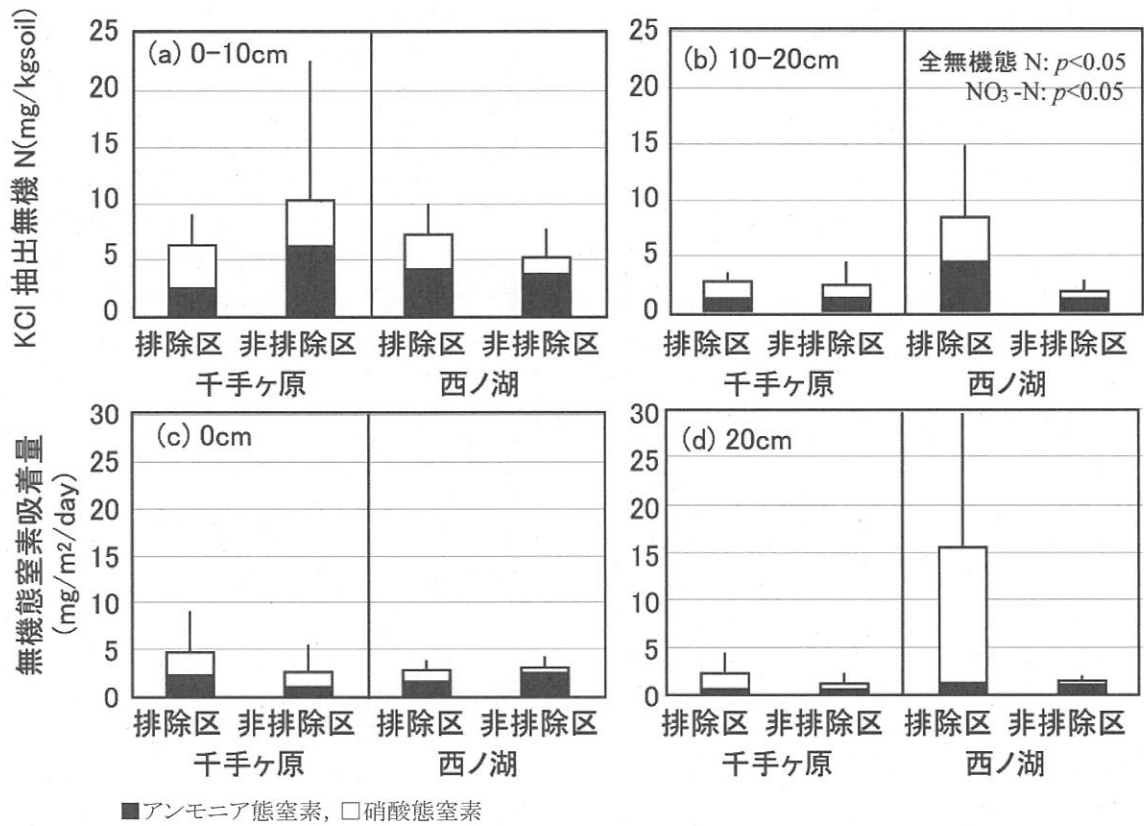


図-2. 各深さ別の土壌における KCl 抽出無機態窒素量およびイオン交換樹脂に吸着された窒素量
図中のバーは標準偏差を示す

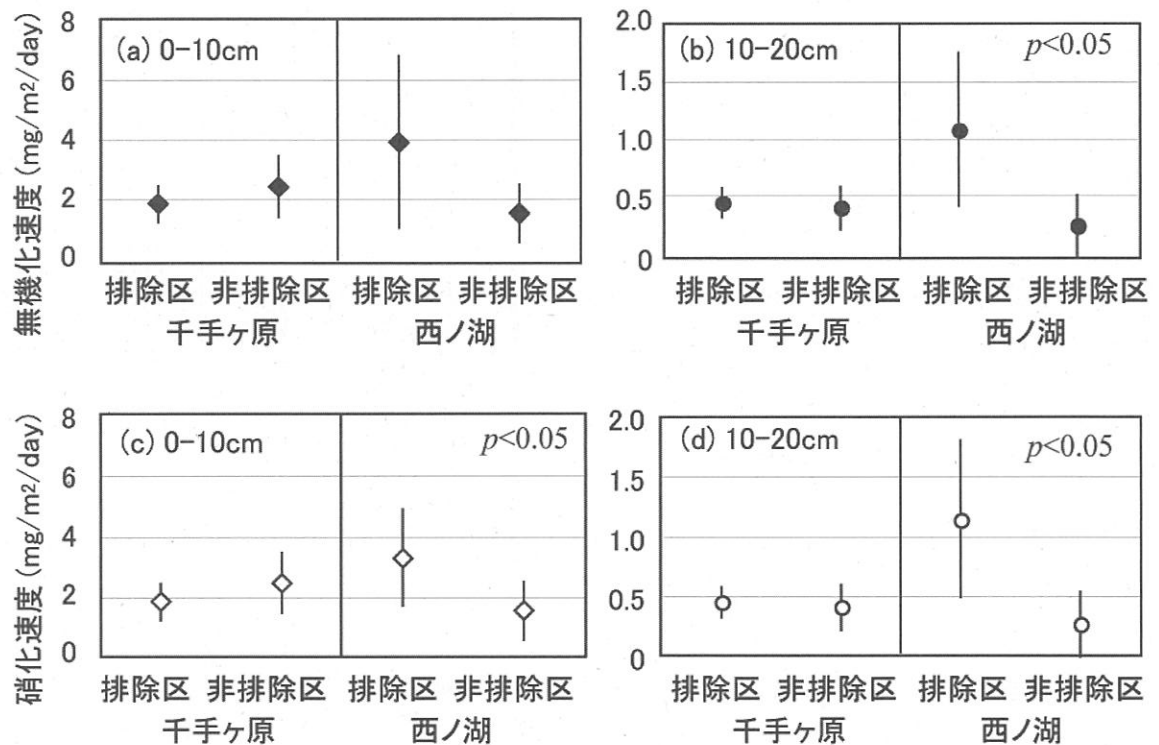


図-3. 各深さ別の土壌における窒素無機化速度および硝化速度
図中のバーは標準偏差を示す