

日光千手ヶ原および西ノ湖地域においてニホンジカが表層土壌の温度に及ぼす影響

古澤仁美(森林総研)・稲垣昌宏(森林総研九州)・稲垣善之・佐野哲也・阪田匡司(森林総研)・鶴川信(鹿児島大)

要旨: 栃木県日光市の千手ヶ原および西ノ湖地域の森林では、ニホンジカの採食により、非排除区では低木層が消失している一方、排除区では低木層が回復していることが観察されている。ニホンジカの排除が地温に及ぼす効果を検討するため、約10年前に設置されたシカ排除柵の内外(排除区・非排除区)で深さ2cmの地温を2年間測定した。千手ヶ原地域では冬には一定の傾向が認められなかったが、夏の排除区の月平均地温は非排除区より0.6~1.0°C低かった。西ノ湖地域では排除区の月平均地温は非排除区より冬に高く夏に低い傾向があり、月平均地温の排除区と非排除区の差は最大0.4°Cであった。地温に影響を及ぼすと考えられる林床植物の地上部現存量についてはシカ排除による有意な差は認められなかった。このことから、シカ排除区で林床植物に加えて低木層が存在することが、排除区と非排除区の地温の違いをもたらした要因として考えられた。

キーワード: 地温, 低木層, ニホンジカ, 日光地域

Abstract: Understory have disappeared by deer grazing while understory have recovered inside deer exclosures in forests at Nikko, Tochigi. We observed the surface soil temperature inside and outside the deer exclosures established 10 years ago in forests at Senjugahara and Sainoko at Nikko to examine the effect of deer exclusion on the soil temperature. Monthly mean soil temperature in the deer-exclusion plot inside the exclosure was 0.6-1.0 degrees lower than that in the deer-intact plot outside the exclosure in summer at Senjugahara. At Sainoko, monthly mean soil temperature in the deer-exclusion plot was 0.4 degree lower in summer and 0.4 degree higher at maximum in winter than that in the deer-intact plot. The deer exclusion effect was not significant on the aboveground biomass of forest floor plants that would affect on soil temperature. These results suggest that the recovery of understory in the deer-exclusion plot induces changes in soil temperature.

Keywords: Nikko area, shika deer, soil temperature, understory

I はじめに

採食動物がリター分解や土壌窒素無機化などの微生物プロセスを変化させるメカニズムの1つとして、土壌の微気象に重要な影響を与えることが挙げられる(7)。たとえばツンドラ生態系では、有蹄類による採食は土壌中の温度・水分状態を変化させ、その結果として養分循環にも影響を及ぼすという仮説が提唱されており(12)、実際に強度採食区のほうが軽度採食区より夏季の月平均地温が高いことが報告されている(5)。また寒帯林において、トナカイが林床の地衣類を採食した場合に非採食地より地温が夏に高く冬に低くなることが観測され(1)、冬の地温低下がリター分解速度の低下に関与すると示唆されている(8)。

近年、日本各地の森林ではニホンジカ(*Cervus nippon* Temminck) (以下、シカという)が増加しており、シカによる植生変化が報告されている。奈良県大台ヶ原ではシカが林床に優占するミヤコザサを採食しており、採食を排除した場合には温度・水分状態が変化することが報告されて

いる(2)。温帯あるいは冷温帯の森林でも、微生物プロセスを変化させる要因の1つとして、採食が地温に及ぼす影響を定量的に測定することが重要である。

栃木県日光市の奥日光地域ではニホンジカが1980年代から増加したものの、近年は個体数管理により奥日光地域の平均個体数密度は10頭/km²以下に抑えられている(10)。しかし、中禅寺湖西岸地域の森林では低木層がほとんど存在せず、林床に不嗜好性草本が優占しているなど、シカの採食が植生に影響を及ぼしていると考えられる。本研究は、中禅寺湖西岸地域において、採食の排除(低木層回復)と非排除(シカ不嗜好性草本優占)の条件下で地温を測定し、シカの排除が地温に及ぼす影響について定量的に明らかにすることを目的とする。

II 調査方法

栃木県日光市の中禅寺湖西岸地域において調査を行った。調査地を千手ヶ原(北緯36°44'57", 東経139°

Hitomi FURUSAWA (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687), Masahiro INAGAKI (Kyushu Res. Ctr., For. and Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862), Yoshiyuki INAGAKI, Tetsuya SANO, Tadashi SAKATA (For. and Forest Prod. Res. Inst.), and Shin UGAWA (Kagoshima University, Korimoto 1-21-24, Kagoshima 890-8580) Effects of deer on the temperature of the surface soil at Senjugahara and Sainoko in Nikko, Tochigi

25°2′, 標高 1260m)および西ノ湖(北緯 36° 44′44″, 東経 139° 24′4″, 標高 1290m)に設置した。日光特別地域気象観測所における本研究の地温測定期間(2009-2011年)の年平均気温はそれぞれ 7.3, 7.5, 6.9°C, 月平均気温の最低値は約-6.4°C(2011年1月), 最高値は 20.3°C(2010年8月)であった。中禅寺湖西岸地域では個体数密度は 11-13 頭/km²である(小金澤, 私信)。植生は両調査地ともハルニレ(*Ulmus davidiana* var. *japonica*)が優占する落葉広葉樹林で, 千手ヶ原における胸高断面積合計は 29.2m²/ha である(6)。林床にはシカ不嗜好性草本のシロヨメナ(*Aster ageratoide s ssp. leiophyllus*)やキオン(*Senecio nemorensis*)が優占する。両地域に日光森林管理署が2000年頃にシカ排除柵を設置した。シカ排除柵内では低木層の回復が観察されている一方, 排除柵外では低木層がほとんど存在しない。排除柵内外における樹高 1.2m 以上の低木の根元断面積合計は2010年には千手ヶ原でそれぞれ 5.85, 0.00 (m²/ha), 西ノ湖で 5.07, 0.20 (m²/ha)であった(古澤, 未発表)。

両調査地において, シカ排除柵の内(排除区)と外(非排除区)各6地点で地温の測定を行った(全部で n=24)。各地点において, 2009年11月-2011年10月まで温度センサー内蔵のデータロガー(オンセット社 ティドビット v2)を鉦質土2cm深さに1個埋設して1時間間隔で測定した。温度センサーの計測範囲は-20°C-70°C(空气中), 精度は±0.2°C(0-50°C), 分解能は 0.02°C(25°C条件下)である。両調査地において, 排除区, 非排除区の各6地点のデータを平均し, この平均値から日平均地温, 日最高地温, 月平均地温を計算した。測定期間中に, 西ノ湖の非排除区で2010年5月11日-9月30日, 千手ヶ原の排除区で2011年5月26日-10月31日に, それぞれ1地点でデータロガー紛失による欠測があった。この場合は, 5地点の平均値を計算した。なお, 調査に用いたデータロガーで実験室にて1時間間隔で温度を測定し, 処理区ごとに平均をとると, 平均値の差は最大 0.08°Cだった。

林床植物の地上部現存量を把握するため, 2010年8月に, 千手ヶ原の排除区, 非排除区に各6個, 西ノ湖の排除区, 非排除区に各8個の方形区(1m×1m)を設置し, 樹高 1.2m 以上の樹木を除く方形区内の全ての植物を刈り取って持ち帰り, 乾燥重量を測定した(70°C, 60時間)。

III 結果と考察

測定期間中の, 千手ヶ原の排除区, 非排除区における月平均地温を図-1(a)に, および排除区と非排除区での温度差を図-1(b)に示す。千手ヶ原では冬は排除区と非排除区とで地温差に一定の傾向は認められなかった。一方,

夏には排除区では非排除区に比べて低い傾向が認められた。夏の排除区と非排除区との温度差は最大で 1.0°C(2010年6月)であった。

西ノ湖の月平均地温を図-2(a)に, および排除区と非排除区との温度差を図-2(b)に示す。西ノ湖では排除区では非排除区より冬に高く, 夏に低い傾向が認められた。排除区と非排除区との温度差は最大で冬には 0.4°C(2009年12月), 夏も 0.4°C(2010年7月)であった。

夏には, 低木層や林床植物といった植物の地表被覆率が大きくなるほど, 地表面へ届く日射量が減少して地温が低くなると考えられる。低木層や林床植物の存在は, 日射量以外の地温に影響する要因(林内の気温, 風速, 湿度など(3))にも影響を及ぼすと考えられる。林床植物の地上部現存量については, シカの排除によって有意な違いは認められなかったことから(図-3), シカ排除区で林床植物に加えて低木層が存在することが, 夏に非排除区より地温が低い要因として考えられた。

一方, 冬の地温の差がどのように生じるか検討するため, 冬の測定例として2010年1月の西ノ湖における排除区, 非排除区各6地点の毎時の測定値を示す(図-4)。排除区では6地点ともほとんど0°C以上で推移した一方, 非排除区では, 2地点で0°C未満で推移した。積雪やリターには断熱効果があり(9), これらによって外気と遮断されることで地温低下が抑制されると考えられる。非排除区では局地的に積雪深またはリター層厚が薄い場合があると考えられ, 実際に非排除区のリター層は排除区より薄いことが現地観察されている。排除区では, 低木層が風速を減少させて, リターや雪が飛ばされることを防いでいる可能性がある。さらに, 排除区でシカによるリター採食や踏みつけを年間排除していることも, 排除区でリター層がより厚くなる要因として考えられた。

大台ヶ原における先行研究(2)では, シカ排除区の方が非排除区より春-夏季には低く, 秋-冬季には逆に高い季節変動パターンが認められた。シカ排除区と非排除区との地温差の最大値は, 夏季に-2.2°C, 冬季に+1.4°Cであった。日光でも同様に季節変動することが明らかになり, 排除区と非排除区の地温差は大台ヶ原に比べて小さかったものの, 低木層の回復が地温に影響する可能性が示されたといえる。

人工的に土壌を加温する実験処理を行なってリター分解や窒素無機化における温度の影響を検討した既往の研究では, 地温の変化が2-3°C以下の場合, 温度がリター分解や窒素無機化におよぼす影響は顕著ではないことが報告されている(4, 11)。本研究では, 月平均地温で 1.0°C以内の違いであった。また, 日最高地温について排

除区と非排除区の差を検討すると、月平均地温よりも温度差が大きいことが認められた(図-5)。千手ヶ原で一時的に排除区で非排除区より4.0℃以上低い場合があったが、両調査地とも排除区と非排除区の差はほとんど±2℃の範囲にあった。既往の研究結果から考えると、月平均地温、日最高地温ともシカ排除による地温の変化がリター分解や窒素無機化に顕著な影響をもたらす可能性は小さいと考えられるが、今後土壤中の窒素無機化速度などを現地にて測定する必要がある。

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お世話になった。また、宇都宮大学の小金澤正昭教授、森林総合研究所の金指達郎氏、橋本徹氏、只見町ブナと川のミュージアムの鈴木和次郎館長に貴重なご助言をいただいた。現地調査にあたって宇都宮大学の伊東正文氏、岩本千鶴氏、奥田圭氏、竹田祐子氏にお世話になった。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)の補助および独立行政法人森林総合研究所エンカレッジモデルによる研究支援を受けて行った。

V 引用文献

(1) BROLL, G (2000) Influence of overgrazing by reindeer on soil organic matter and soil microclimate of well-drained soils in the Finnish Subarctic. - In: Lal, R., Kimble, J. M. and Stewart, B. A. (eds), Global climate change: cold regions ecosystems. Adv. in Soil Sci., Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 163-172.
 (2) 古澤仁美・日野輝明・金子真司・荒木誠(2006) 大台ヶ原においてニホンジカとミヤコザサが表層土壌の温度・水分状態に及ぼす影響. 森林立地 **48** : 91-98.
 (3) 近藤純正(1994)水環境の気象学. 朝倉書店, 東京, 348pp.
 (4) MCHALE, P. J., MITCHELL, M. J., and BOWLES, F. P. (1998) Soil warming in a northern hardwood forest: Trace gas fluxes and leaf litter decomposition. Can. J. For. Res. **28**:1365-1372.
 (5) OLOFSSON, J., STARK, S. and OKSANEN, L. (2004) Reindeer influence on ecosystem processes in the tundra. Oikos **105**:386-396.
 (6) SAKAI, T., TANAKA, H., SHIBATA, M., SUZUKI, W., NOMIYA, H., KANAZASHI, T., Iida, S., and NAKASHIZUKA, T. (1999) Riparian disturbance and community structure of a Quercus-Ulmus forest in central

Japan. Plant Ecol. **140**: 99-109.
 (7) STARK, S., TOUMI, J., STOMMER, R. and HELLE, T. (2003) Non-parallel changes in soil microbial carbon and nitrogen dynamics due to reindeer grazing in northern boreal forests. Ecography **26**:51-59.
 (8) STARK, S., WARDLE, D.A., OHTONEN, R., HELLE, T., and YEATES, G.W. (2000) The effect of reindeer grazing on decomposition, mineralization and soil biota in a dry oligotrophic scots pine forest. Oikos **90**:301-310.
 (9) 高橋伸幸(2010) 大雪山中央部、高根ヶ原周辺の高山帯環境. 北海学園大学学園論集 **144**: 1-35.
 (10) 栃木県 (2007) 栃木県シカ保護管理計画(四期計画). 37pp, 栃木県
 (11) VERBURG, P.S.J., VAN LOON, W.K.P., and LÜKEWILLE, A. (1999) The CLIMEX soil-heating experiment: soil response after 2 years of treatment. Biol Fertil Soils **28**:271-276.
 (12) ZIMOV, S. A., CHUPRYNIN, V. I., ORESHKO, A. P., CHAPIN III, F. S., REYNOLDS J. F., and CHAPIN M. C. (1995) Steppe-Tundra Transition: A Herbivore-Driven Biome Shift at the End of the Pleistocene. Am. Natu. **146**: 765-794.

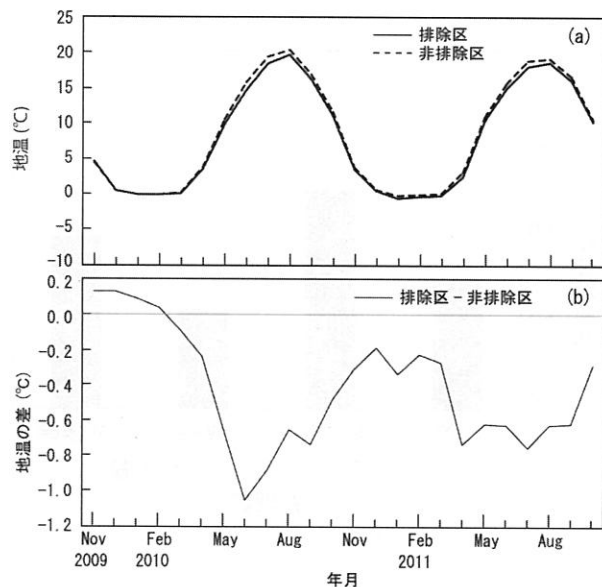


図-1. 千手ヶ原の排除区, 非排除区における(a)月平均地温と(b)排除区と非排除区の月平均地温の差
 Fig. 1 (a) Monthly mean soil temperature in the deer-exclusion treatment and deer-intact (no treatment) plots and (b) the difference in monthly mean soil temperatures between the two treatment areas at Senjugahara.

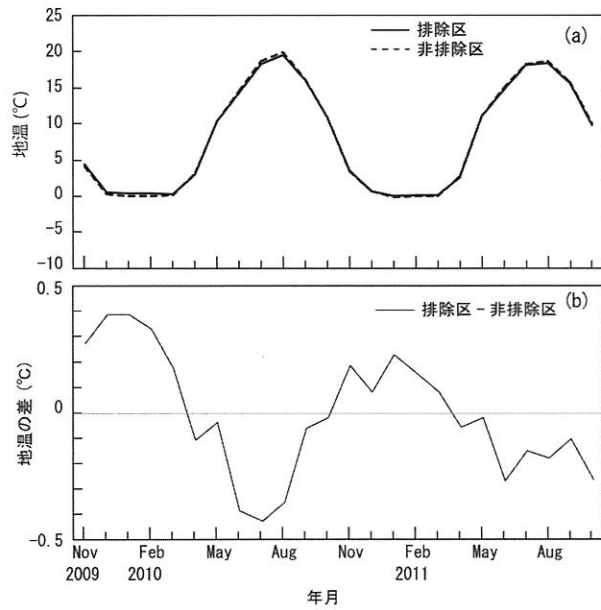


図-2. 西ノ湖の排除区, 非排除区における(a)月平均地温と(b)排除区と非排除区の月平均地温の差

Fig. 2 (a) Monthly mean soil temperature in the deer-exclusion treatment and the deer-intact (no treatment) plots and (b) the difference in the monthly mean soil temperature between the two treatments at Sainoko.

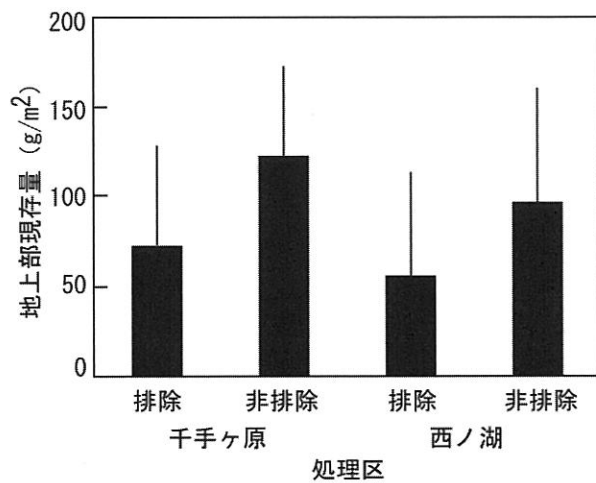


図-3. 千手ヶ原と西ノ湖の排除区, 非排除区における林床植物の地上部現存量(図中のバーは標準偏差を示す)

Fig. 3 The mean aboveground biomass of forest floor plants in the deer-exclusion treatment and deer-intact (no treatment) plots at Senjughahara and Sainoko. Vertical bars indicate the SD.

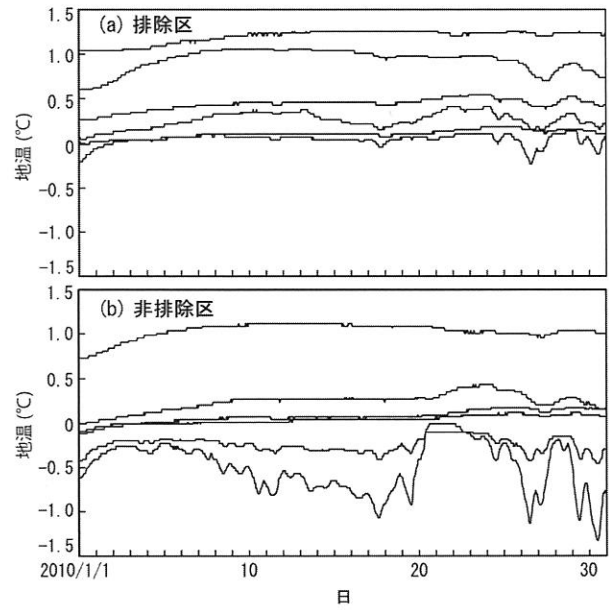


図-4. 西ノ湖における2010年1月の排除区, 非排除区各6地点の毎時の地温

Fig. 4 Soil temperature at each of the points in the deer-exclusion treatment and deer-intact (no treatment) plots at Sainoko in January 2010.

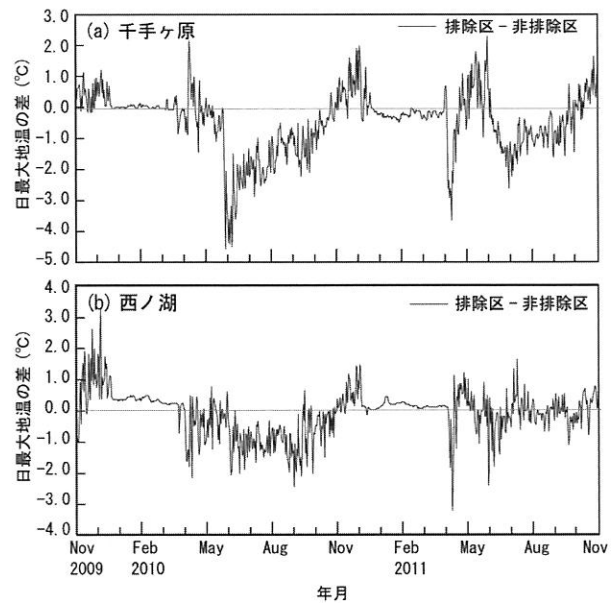


図-5. (a)千手ヶ原と(b)西ノ湖における排除区と非排除区の日最高地温の差

Fig. 5 The differences in daily maximum soil temperatures between deer-exclusion treatment and deer-intact (no treatment) plots at (a) Senjughahara and (b) Sainoko.