

摘 要

神奈川県丹沢山地の冷温帯自然林において、シカの採食圧により退行した林床植生の回復を目指して設置された植生保護柵（以下、柵）の効果を検証するために、主に4タイプの林床植生（短茎草本型、高茎草本型、スズタケ型、ミヤマクマザサ型）を対象として群集レベルと種レベルの回復とその仕組みを生態学的な見地から論議した。

シカの採食圧が高まった時点に設置された柵内外において、設置時点と設置して10年後の林床植生の変化を調べ、シカの採食圧の高まる前の状態に柵内の植生が変化する可能性を検討した。4林床型ともに柵を設置して10年経過すると柵内で低木層の植被率と種数が増加した。草本層の種組成の変化は林床型によって異なったが、柵内では全体として直立型の多年生草本が増加する一方で、小型の多年生草本や不嗜好性植物が減少する傾向があった。また、高茎草本型ではシカの採食圧により減少したとされる神奈川県の絶滅危惧種も出現した。これらのことから、シカによって衰退した林床植生でも10年間シカの採食圧を排除すると以前の植生の状態に変化すると考えられた。

柵による植物種の回復を検討するために、多年生草本とスズタケ、木本の稚幼樹それぞれについて柵設置後の生育状況を調べた。多年生草本については丹沢山地の絶滅危惧種を対象とした。4林床型に設置された柵25基において多年生草本の種類と個体数を調べたところ、神奈川県の絶滅種と絶滅危惧種など12種、および神奈川県新産種の1種が確認された。調査地の過去の植物相と比較すると、シカの採食圧下で一度消失したと考えられる多年生草本が5種出現し、過去に未確認だった多年生草本も6種出現した。したがって、柵は絶滅が危惧される多年生草本の保護と回復に有効と考えられた。ただし、柵の設置が遅れると種によって回復しない場合もあることがわかった。絶滅が危惧される多年生草本の回復のためには早期に柵を設置することが望ましい。

スズタケが退行して10年程度経過した地域に設置された柵では、時間の経過とともにスズタケの植被率と稈高は成長していることを確認できた。一方で、退行後15年程度経過した地域に設置された柵では、スズタケの稈高は高くなっていたが、植被率は低いままであった。この要因として、シカの採食圧を5年長く受けたことで枯死した個体が多かったことと、地下茎の分断により回復が遅れていることがあげられた。

スズタケが退行して10年程度経過した地域に設置された柵の内外で、設置して7年後に高木性木本の稚幼樹の密度と樹高を比較したところ、稚幼樹の密度は柵内で高く、その差は6倍以上であった。ほとんどの樹種の樹高は柵内で40～60cmの範囲にあったが、柵外では10cm程度であった。これらのことから、柵はスズタケを回復させるとともに高木性木本の稚幼樹を定着・成長させる効果をもつことが確認された。さらに、スズタケが退行して15年程度経過した地域に設置された柵内で設置して5年後に稚幼樹の密度と樹高を調べたところ、幼樹の樹高は前に設置された柵内のものとほぼ同程度か上回っていることがわかった。これには後で設置された柵ではスズタケの回復が遅れていることが影響していると考えられ、木本の更新を目的とするなら柵の設置の早遅は関係ないと考えられた。

シカに採食された植物の反応をシカの採食後の開花のしやすさと種の生育型などの生態的特性から検討した。採食されても開花しやすい種は、一年生草本や、生育型が分枝型やほふく型、そう生型の小型から中型の多年生草本であった。これらの種は非採食個体と比較して、小さいサイズで開花したり、開花時期が遅れるという可塑性をもっていた。一方で、非開花ないし開花しにくい種は、直立型の生育型をもつ多年生草本であった。

シカの採食圧が長く持続すると、シカの採食に耐性のない種の埋土種子や地下器官が消失するという仮説を検証するために、高茎草本型林床に年をずらして設置された柵2箇所と柵外で土壌を採取して発芽試験を行った。シカの採食に耐性のないと考えられる直立型の多年生草本は、埋土種子と地下器官の種数ともに先に設置した柵で多く、次いで後に設置した柵、柵外という順であった。この結果は、仮説を支持していた。

地域の植物種多様性の保全の観点から、4林床型ごとに種数と面積の関係式(アレーニウス式)を用いて柵1基あたりの最小面積を算出した。種数がほぼ飽和する面積を求めたところ、4林床型ともに30～40 m四方という結果になり、現行の面積は適当と判断された。柵の破損の危険性と植物の生育地の分断化を避けるために、複数個の柵を連続して配置することが重要である。

以上のことから、シカの影響下において林床植生の衰退した自然林を再生する手段として柵の設置は有効であると結論づけた。植生保護柵はあくまでも緊急避難措置であり、シカの個体数管理と連動して実施することで植生回復の効果を高める必要がある。

Summary

The aim of this study was to evaluate the vegetation recovery effects of deer-proof fences, which were established in 4 types of forest floor community (short herb, tall herb, *Sasamorpha borealis*, and *Sasa hayatae* types) that had been damaged by sika deer browsing in cool temperate deciduous forests of the Tanzawa Mountains, central Japan.

Firstly, changes in understory vegetation inside and outside deer-proof fences were investigated over 10 years after the exclusion of sika deer browsing pressure in 4 types of forest floor community, and it was examined whether the understory vegetation damaged by sika deer reverted to a state showing negligible influences of sika deer inside of the deer-proof fences. As a result, each forest floor type showed increases in vegetation cover and species number in the shrub layer inside the deer-proof fences 10 years after their installment. Although changes in the species composition of the herb layer differed among the forest floor types, the areas inside the fences as a whole showed an increase in tall perennial herbs and decreases in short perennial and non-palatable herbs. In addition, species endangered in Kanagawa Prefecture due to sika deer browsing appeared in the tall herb type. Based on these results, it was concluded that understory vegetation damaged by sika deer in cool temperate deciduous forests of the Tanzawa Mountains changed to a state showing negligible influences of sika deer within 10 years after the exclusion of this browsing pressure.

Secondly, the growing situations of an endangered, perennial herb in the Tanzawa Mountains, *Sasamorpha borealis*, and seedlings and saplings of tall trees were investigated after the construction of deer-proof fences, in order to evaluate species recovery. Twelve species of locally extinct or endangered plants and 1 newly recorded species in Kanagawa Prefecture were found after the kinds and numbers of species were investigated in 25 deer-proof fenced areas established across the same 4 types of forest floor community. Compared with the past flora in the surveyed area, 5 species considered to have disappeared and 6 species undiscovered in the past were found. These results suggested that deer-proof fences are effective in the restoration of endangered perennial herbs. However, as the construction of fences was overdue, there were some species that were not recovered. Therefore, the construction of fences is needed at an early stage to recover endangered species.

It was observed that the bamboo *Sasamorphia borealis* grew taller and wider in an area with a fence constructed of dwarf bamboo on the forest floor that had been damaged previously for about 10 years by sika deer browsing. On the other hand, *Sasamorphia borealis* grew taller but not wider in a similarly fenced area that had been damaged by browsing for about 15 years. This difference was considered to reflect the condition of individual dwarf bamboo plants in the fenced areas, and recovery of the remaining plants was slower in areas that had received deer browsing pressure for 5 additional years before construction of the fences.

Regeneration of tree species was investigated inside and outside a deer-proof fence that had been constructed 7 years earlier in a cool temperate deciduous forest, where dwarf bamboo had been browsed and damaged by sika deer for about 10 years. The density of regenerated trees was higher inside the fence than outside, and the difference was more than 6-fold. The heights of almost all tree species inside the fence ranged between 40 to 60cm, but many trees outside the fence had heights of only about 10cm. Based on these findings, it was concluded that the deer-proof fence facilitated the establishment and growth of tree species as well as the recovery of dwarf bamboo. Furthermore, the regeneration of tree species was investigated inside a deer-proof fence constructed 5 years later. The height of saplings was as same as, or taller than, those of first fenced area. This result indicated that the regeneration of trees was not related to the period since the construction of deer-proof fences.

Thirdly, the response of species browsed by sika deer was investigated from the ecological characteristics of ease of blooming and growth form after sika deer browsing. Species that bloomed readily after being browsed by sika deer were annual herbs, small and medium sized herbs with branched, prostrate, and tussock growths forms. On the other hand, the species that did not bloom readily included perennial herbs, which showed erect growth forms.

Furthermore, the composition of soil seed banks were investigated within and adjacent to a deer-proof fence constructed 6 years ago and outside a fence around a tall herb forest floor, in order to verify the hypothesis that seed banks and subterranean organs of perennial plants with no tolerance to sika deer browsing readily disappeared. Twenty samples (20 cm × 20 cm × 5 cm in depth) were collected from each site. Emergent seedlings in the soil samples were counted and placed in an open space, and the composition of soil seed banks and subterranean organs was estimated. The number of perennial species in the seed banks and with subterranean organs of with no tolerance to sika browsing was highest at the site with the oldest fence. This result supported the hypothesis.

In addition, the minimum size of a viable area surrounded by a deer-proof fence was estimated using Arrhenius expressions (species-area curve) for 4 forest floor community types from the standpoint of species diversity in the surveyed area. The minimum size of a fenced area was calculated as 30 m × 30 m to 40 m × 40 m. This result indicated that the size of present fenced areas was appropriate. The continued establishment of more fenced areas is needed to avoid the risk of the destruction of fences and to prevent species habitats becoming isolated.

Therefore, on the basis of the above results, it was demonstrated that deer-proof fences were effective for the conservation and regeneration of natural forests that have been damaged by sika deer browsing. In order to further improve vegetation recovery in the Tanzawa Mountains, sika deer population management must also be performed.

謝 辞

本研究は、次にあげる多くの方々のご理解とご支援がなければ遂行できなかった。

東京農工大学農学部亀山 章博士には本論文の計画段階からとりまとめにあたり終始懇切な指導をいただくとともに、論文審査の主査をしていただいた。宇都宮大学農学部大久保達弘博士には本論文の草稿段階から数多くのご指摘をいただき、ご審査を賜った。宇都宮大学農学部小金澤正昭博士と東京農工大学農学部梶 光一博士、同じく星野義延博士には本論文のご審査を賜り、貴重なご指摘をいただいた。元東京農工大学農学部古林賢恒博士には1994年に丹沢で植生保護柵内外の植物を調べる機会を与えていただくとともに、1998年以降に研究職員として再び丹沢に関わるようになった際も多くの励ましをいただいた。(独)森林総合研究所の鈴木和次郎博士には常日頃から暖かい励ましの言葉をいただくとともに、本論文を構成する投稿論文の草稿について多くのご指摘をいただいた。

神奈川県立生命の星・地球博物館の勝山輝男氏と(株)野生動物保護管理事務所の羽澄俊裕氏には、2004年から2006年までに行われた丹沢大山総合調査において、丹沢や神奈川県内外における植物と動物の保全について議論を深める機会をいただき、本論文を作成するうえで大いに参考にさせていただいた。また、勝山輝男氏には本論文の植物種について標本閲覧でお世話になった。

神奈川県自然環境保全センター研究部の山根正伸博士には本研究を行うきっかけを与えていただくとともに、日頃から多くのご助言をいただいた。同じ

く研究部の越地 正氏、中川重年氏、藤澤示弘氏、藤森博英氏、齋藤央嗣氏、中嶋伸行氏、内山佳美氏、笹川裕史博士、谷脇 徹博士には、日頃の研究活動の中で、ご厚情を賜った。また、神奈川県森林研究所(現自然環境保全センター研究部)の所長だった高野 宏氏や、自然環境保全センターの歴代所長の紅葉淳一氏、石田哲夫氏、蓮場良之氏、岩崎和男氏、副所長の石井フミオ氏、歴代部長の指旗孝行氏、山本眞一氏、高橋長三郎氏、岩見光一氏には、本研究の実施の機会を与えていただくとともに、様々にご支援くださった。さらに、神奈川県自然環境保全センターの三橋正敏氏や藍原清子さんには、現地調査や研究機材の作成、埋土種子の発芽試験における植物の育成と管理で大変お世話になった。神奈川県自然環境保全センターの自然再生企画課の羽太博樹氏や、自然公園課の入野彰夫氏、野生生物課の栗林弘樹氏、永田幸志氏、小林俊元氏、森林経営課の牧三晴氏、森林整備課の中島浩一氏、杉谷祥志氏には、それぞれの担当の立場から多くのご協力をいただいた。

本論文に関する現地調査やデータ解析では、中山博子さん、長谷川雄太氏、伊藤周太氏、中村昌子さん、高石幸恵さん、本田由美さん、中西のりこさん、山本幸子さん、音谷紗絵さん、村上美奈子さん、長澤展子さん、三樹和博氏、梅木俊子さん、金井和子さん、佐々木あや子さん、山本絢子さん、酒井明子さんには数えきれないくらいのお力添えをいただいた。

以上の方々並びにこれまでご指導とご協力を賜ったすべての方々に心から感謝します。