

## 6. 生物間相互作用ネットワークの動態解析に基づく孤立化した森林生態系の修復技術の開発に関する研究

担当機関 農林水産省独立行政法人森林総合研究所関西支所 日野 輝明

重点強化事項 自然環境

研究期間 平成11年度 平成14年度

研究予算総額 46,771千円

### 研究の背景と目的

吉野熊野国立公園の核心部を形成する大台ヶ原は、学術的に貴重な原生的自然林が孤立化して残されていることから、環境省特別保護区に指定されているが、近年高密度化したニホンジカによる実生や樹皮の激しい食害のために更新の阻害や立ち枯れが顕著となり、森林の存続が危ぶまれている。「新環境基本計画」では、保全すべき原生的自然環境が劣化している場合には、自然的環境の回復や野生生物の保護管理などの適切な施策を早急に図り、生物多様性の高い健全な生態系を維持、回復し、自然と人間の共生を確保すべきとしている。生物多様性保全を考慮しながら自然環境や野生生物の管理を測っていくためには、生態系を構成するさまざまな生物間の相互作用を明らかにし、それにもとづいて、生態系全体の動態を予測し、制御手法についての提言を行っていく必要がある。

本研究では、ニホンジカ、野ネズミ、鳥、ミヤコザサの複合的な実験処理区(図1)での植物、節足動物、菌根、土壌等についての定量的なモニタリング調査によって生物間相互作用ネットワークを明らかにし、それに基づいて、森林生態系の動態についてのシミュレーション・モデルを構築し、多様性の高い森林生態系を維持していくために有効な生物管理技術について提案を行う(図2)。

### 研究の成果

ニホンジカ(以下シカ)と野ネズミ類(以下ネズミ)が、ミヤコザサ(以下ササ)に及ぼす影響を調べた。シカを除去した区画では、ササの地上部の乾燥重量が稈高、葉長の増加にともなって年を追うごとに増加したが、5年目で増加が止まった。この増加の停止は、稈密度の減少にともなうものと考えられた。すなわち、稈密度はシカの被食に対して補償的に反応していた。ネズミを除去した区画では稈密度が高く、ネズミによるササの稈の採食が示唆された。ササの地下部においては、シカの除去によって、総延長が有意に長くなる一方、直径が短くなった。すなわち、ササの根はシカの被食によって地上部の成長が抑えられる分を横に広がることで存続していると考えられた。

シカとネズミとササが樹木実生の発生と生存に及ぼす影響を調べた。実生の生存率に及ぼすササの効果は春先から9月までに現れる一方で、シカの効果は9月以降に現れた。この結果はどちらも、ササの成長と関係づけられた。すなわち、ササが生長している間の土壌養分の吸収および被圧の増加によってササによる影響が、また、ササの成長が止まりササに対する採食量が減少したあとにシカによる採食の影響がそれぞれ、実生の生存率に現れたのだと考えられた。発生数の多かったウラジロモミ、ブナ、アオダモ、カエデ類の実生に対するシカとササの効果も、生存時間の Log-rank 検定および生存率のパス解析により解析した。その結果、どの樹種も両要因によってマイナスの効果を受けていたが、ウラジロモミではシカの影響がより大きく、広葉樹ではササの影響がより大きかった。その結果、シカがササを食べることによる実生への有意なプラスの間接効果がアオダモとカエデ類で認められた。また、生存率ばかりではなく実生形態への影響も認められ、シカはウラジロモミの伸張成長を抑制し、ササは肥大成長を抑制していた。ネズミは生存率にはどの樹種についても影響を与えていなかったが、ウラジロモミとアオダモの発生数を減少させており、種子食の効果が示唆された。また、ウラジロモミ実生の菌根形成に及ぼすシカ、ネズミ、ササの影響を調べた結果、はシカとネズミが侵入する環境下での形成率が低下していたこと

から、菌根菌に対する被食圧が菌根形成率に影響を及ぼす可能性が示唆された。

樹木実生の生存に及ぼす植葉性昆虫と、それを捕食する鳥の効果調べた。各年度の樹冠部のイモムシ密度と実生の葉の被食量および実生の被食量と死亡率との間には、直線的な正の関係があった。鳥の実験的除去が実生の葉の被食量を減少させる効果は、樹冠のイモムシが最も少なかった年のみ認められた。これは、樹冠部で通常餌をとる鳥が、地上部に降りて実生から餌をとった可能性を示唆する。同年にはまた、ササがある場所でも実生の被食量が減少したことから、密生したササの存在が鳥の活動を制限していたことが示唆された。しかしながら、この年にはイモムシが少なく被食量も小さかったために、実生の生存率への影響はなかった。従って、鳥によるイモムシの捕食が実生の生存を増加させる効果は、どのような条件においても生じないことが分かった。

シカとササが表層土壌中のイオン濃度に及ぼす影響を調べた。水溶性  $\text{NH}_4^+$ 濃度ではシカの負の効果が認められ、ササの効果は有意ではなかったが、2000 年以降ササあり区でササ除去区より高くなる傾向が認められた。一方、アンモニア化成速度はササ除去区でササあり区より低かった。ササ除去区ではササリターの供給がほとんどなく、そのうえ移動によって有機物層が流亡するためにアンモニア化活性が低下したと考えられた。2000 年以降の水溶性  $\text{NH}_4^+$ 濃度がササ除去区で低いのは、低いアンモニア活性の影響による可能性がある。水溶性  $\text{NO}_3^-$ 濃度ではササの負の効果が認められ、ササ除去区の方がササあり区より濃度が高かったが、2000 年以降にはその差が小さくなってきた。実験初期はササからのリター供給はわずかであり、ササが吸収して体内に蓄積する窒素量のほうがリターから分解して供給される窒素量より多かった。しかし、ササから供給されるリターは年々増加して有機物層で蓄積し、徐々に分解されて無機態窒素を供給しつつあり、ササによる吸収とササリターからの供給の差が小さくなってきたと考えられた。一方、硝化速度はシカ、ササによる有意な差は認められなかったことから、水溶性  $\text{NO}_3^-$ 濃度に硝化速度はあまり影響せず、ササの吸収と有機物層からの供給が主に影響することが明らかになった。微生物バイオマス C や全炭素・全窒素含有率については、シカとササの効果は認められなかった。ササの現存量増加は、蒸散作用によって土壌水分を減少させたが、全くないと逆に地表面蒸発によって土壌水分を減少させた。また、ササ現存量は土砂移動量と有意な負の関係があった。

シカ除去にともなうササ現存量や土壌の変化が、地表徘徊性および土壌中の節足動物群集に及ぼす影響を調べた。地表徘徊性のオサムシ科昆虫、徘徊性クモ類、および全地表性動物の個体数、種数、種多様性は、ササ乾重  $100\text{g}/\text{m}^2$ あたりでピークをもつ傾向があり、表層土壌の水分量との関係が示唆された。全土壌動物密度およびササラダニ類の密度のシカなし区とあり区における変化では、シカあり区は 1999 年を除いて低水準に留まり、両密度の変化は見られなかった。これに対し、シカなし区では 2001 年まではほぼ直線的に両密度が上昇したが、2002 年は減少に転じたことから、シカなし区では密度の面からはすでに飽和に達しつつあることが推測された。シカなし区における個体数とリター量とササ現存量の間に有意な相関が得られたことから、個体数増加の主要な原因としては、シカ捕食圧の減少、ササ現存量の増加、堆積リター量の増加という一連の変化による土壌動物の資源量、生息空間の増加が推測された。ササタマバエの面積あたりと桿あたりのゴール数はともに毎年シカあり区で多かった。また、ササにつくタマバエ（新種）は、シカによる採食を受けた丈の低いササにより多くゴールを作っていた。このタマバエに捕食寄生するハチが 2 種類観察され、ササの丈の違いによって宿主を分けていた。

大台ヶ原全体での、シカの個体数密度と森林植生および鳥群集との関係を調べた。シカの活動頻度が高いところほど、直接の採食によって下層植生（ササ）の密度と丈が低い、天然更新阻害によって低木密度が低い、樹皮の採食によって枯死木の密度が高い、という森林植生の特徴があった。このような森林植生の特徴に対応して、鳥では、シカの多いところでは樹幹で採食する種類や樹洞で営巣する種類が多く、逆にシカの少ないところでは、下層植生を利用する種類が多いために、全体的な種類数には差がなかった。

ミヤコザサは、ほぼ一年サイクルで、葉と稈の生産と枯死をくりかえす。大台ヶ原には、平均で  $20\text{--}30$  頭/ $\text{km}^2$  のニホンジカが生息しており、雪でおおわれる冬季をのぞいて、餌の大部分をミヤコザサに依存している。シカの個体数とササの地上部現存量は、現在、ともに安定していることから、両者の関係は平衡状態にあると考えられる。ところが、シカの除去区では、地上部現存量がわずか 5 年間で最大値まで回復した。シカによって食べられなかったササはリターとして、シカによ

て食べられたササは死体や糞尿として土壌にかえり、それが養分として、再びササに吸収される。このシカ・ササ・土壌の間の窒素循環の動態についてのシミュレーションモデルを、実際に野外で得たデータをもとに作成した(図3)。さらに、このモデルを拡張させて、シカ個体数増加にともなうササ現存量の減少や枯死木の増加が、樹木実生、鳥類、地表節足動物、土壌動物の個体数や多様性に及ぼす影響についての調査結果を組みこんだ。ササの影響は、生物群によってさまざまに異なっていた。例えば、ササ現存量の増加は、樹木実生の生存を妨げる一方で、営巣や採食にササを利用する鳥やリターを餌資源とする土壌節足動物の個体数や多様性を増加させた。また、地表徘徊性の節足動物は、ササがまばらにあるところでもっとも多様であった。枯死木の増加についても、同様に、恩恵を受ける生物とそうでない生物がいた。このように、すべての生物群にとって好ましいシカ密度やササ現存量は存在しないことから、自然環境や野生生物の管理においては、何を優先してどのような生態系の再生・維持を目指すのかを決めることが、まず大切である。

シミュレーションの結果、シカを現在の密度のまま放置すると、更新の阻害と樹木の枯死によって森林は衰退の一途をたどることが予測されるため、シカの駆除を早急に行う必要がある。ところが、駆除によってシカの個体数が減少すると、現在のササ現存量との平衡関係が崩れて、成長速度の大きいミヤコザサの現存量が最大値近くまで回復するために、天然更新が進まなくなることが予測された。また、駆除を中断すると、シカの個体数とササ現存量の間にサイクル変動が生じることや、シカを直接駆除しなくても、ササの刈り取りによってシカの個体数を抑えることができることなどが予測された(図4)。したがって、大台ヶ原の森林生態系を修復するためには、シカの個体数調整とササの刈り取りを同時にかつ継続的にいながら、それぞれを適正な密度に維持していく必要があり、本モデルによって、そのための方策を提示することが可能になった。

## 研究のまとめ

シカとネズミとササの複合的な実験的操作が、樹木実生、土壌、節足動物に及ぼす直接および間接的な影響についての本研究期間を含む6年間のモニタリング調査によって、大台ヶ原の森林における生物間相互作用のネットワークの実態とそのダイナミクスが明らかになった。とくに、シカとササは天然更新の阻害要因として、これまではマイナスの影響が強調されてきたが、どちらも適正な密度であれば、むしろ森林生態系における生物多様性にプラスの効果を与えることが分かった。生物間相互作用に基づいて構築されたシステムダイナミクス・シミュレーションモデルでは、シカとササの密接なつながりから、大台ヶ原でのシカの個体数調整はササの刈り取りを平行して行う必要があることが分かった。生態系管理についての関心が高まりつつある内外の状況において、これらの研究成果は、応用的にも学術的にも先駆的研究としての価値が高いばかりでなく、高密度化したシカによって崩壊に瀕した大台ヶ原の森林生態系の修復のために有効な指針となるであろう。

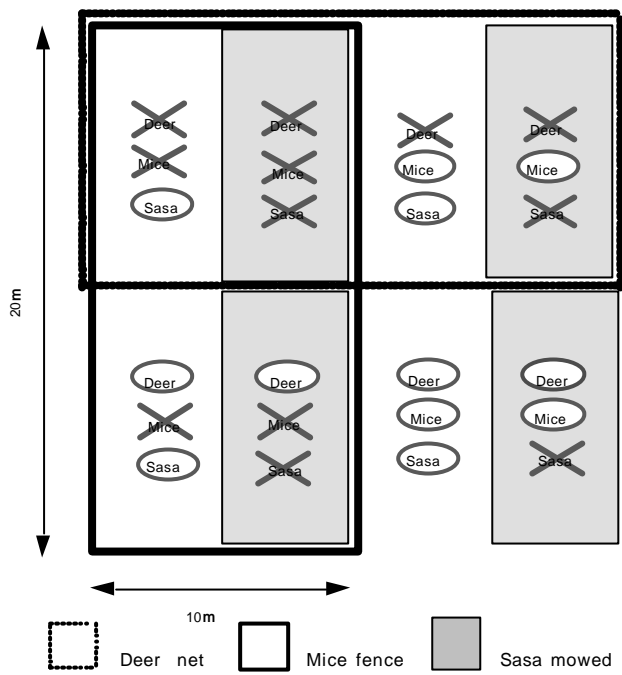


図1 森林内に設置した共同実験区の概略図。ニホンジカと野ネズミとミヤコザサの除去の有無を組み合わせた8通りの実験処理区がなる。各区画で、植物、節足動物、菌根、土壌などのモニタリング調査を行う。

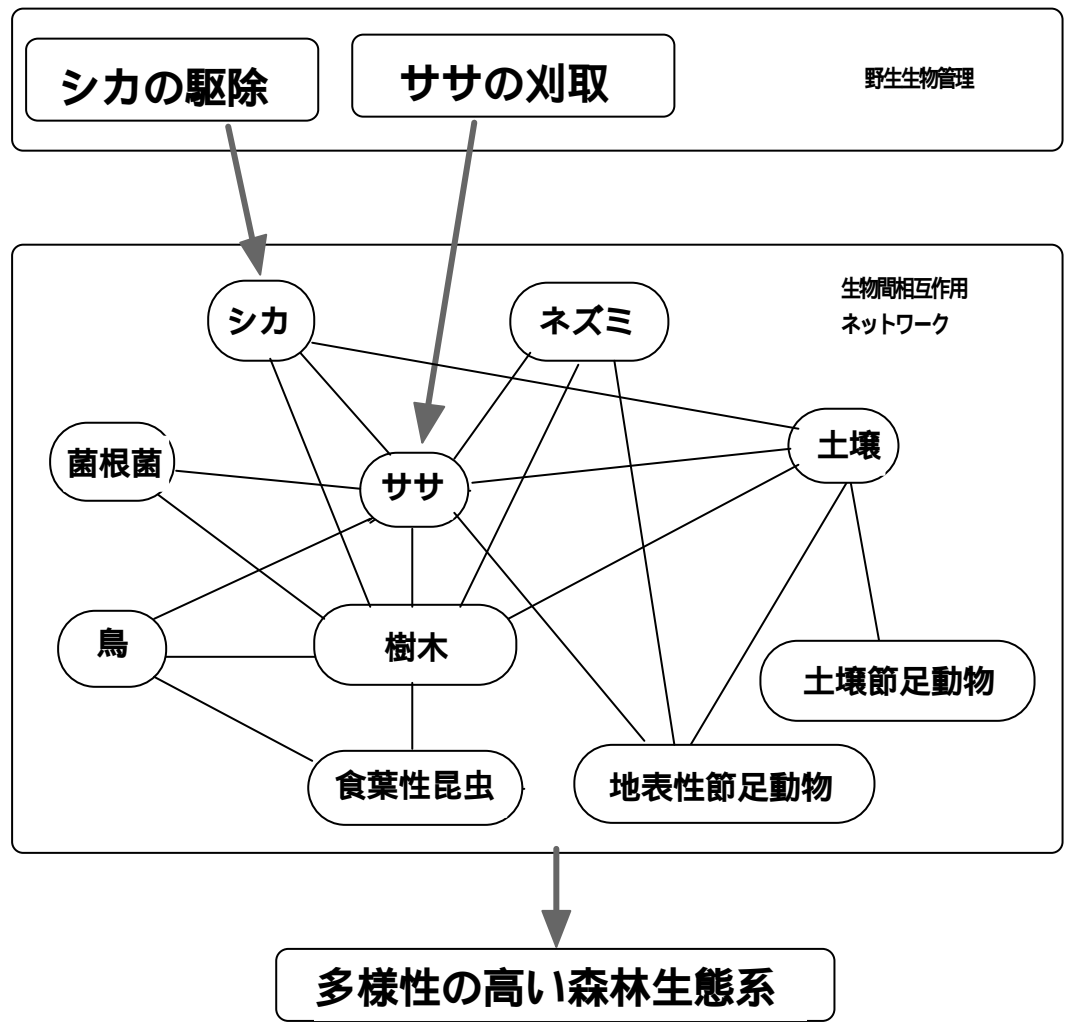


図2 本研究の目的を示すシエマ。生物間相互作用ネットワークの動態に基づいて、森林生態系を最大にすることができる野生生物管理技術を明らかにする。

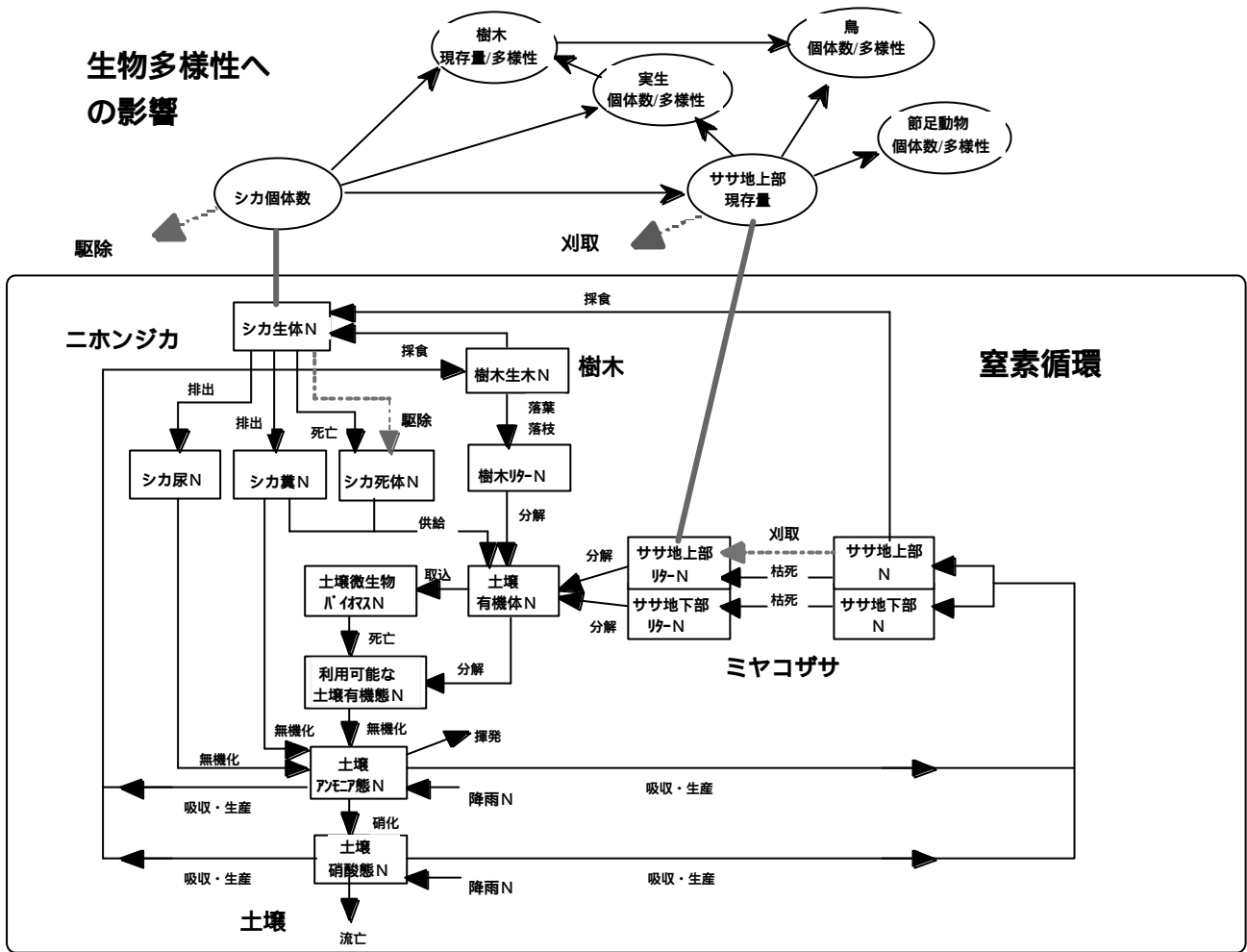


図3 シカ-ササ-土壌の窒素循環の動態、およびニホンジカとミヤコザサの管理が生物多様性に及ぼす影響を調べるために構築したシミュレーションモデルの概略図

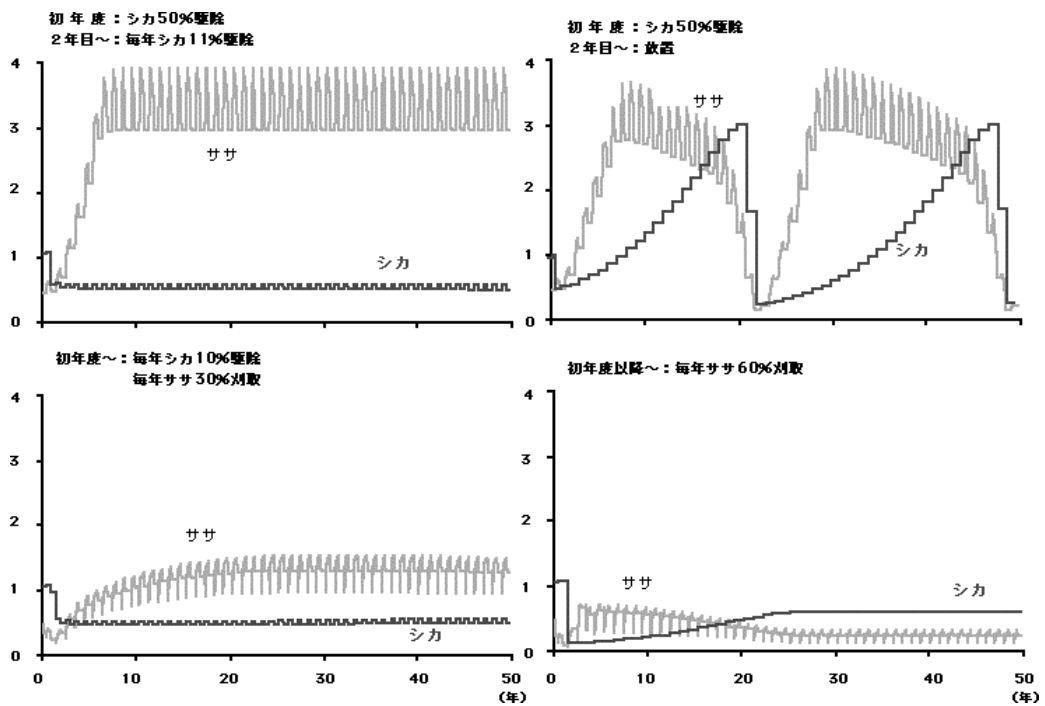


図4 シカ個体数とササ現存量の管理がそれぞれの動態に及ぼす影響についてのシミュレーション結果

研究発表

| 発表題名   | 掲載法 / 学会等                                  | 発表年月    | 発表者               |
|--|--|---------|-------------------|
| (誌上発表)<br>Breeding bird community and vegetation structure in a forest with a high density of sika deer  | Japanese Journal of Ornithology Vol.48     | 2000.2  | 日野                |
| シカとササが表層土壌の水分動態に及ぼす影響  | 森林応用研究 10 巻                                | 2001.3  | 古澤・荒木・日野          |
| 森林における鳥をめぐる生物間相互作用ネットワーク   | 日本鳥学会誌 50 巻                                | 2001.8  | 日野                |
| The impact of herbivory by deer on bird community in Japan   | Acta Zoologica Sinica                      | 印刷中     | 日野                |
| 大台ヶ原における生物間相互作用に基づく森林生態系管理   | 保全生態学研究                                    | 印刷中     | 日野・古澤・伊東・上田・高畑・伊藤 |
| Effects of herbivorous mammals and dwarf bamboos on survival and growth of <i>Abies homolepis</i> seedlings  | Ecological Research                        | 印刷中     | 伊東・日野             |
| 伊東宏樹・日野輝明  | 森林応用研究                                     | 印刷中     | 伊東・日野             |
| The effects of dwarf bamboos ( <i>Sasa nipponica</i> ) and deer ( <i>Cervus Nippon centralis</i> ) on soil chemical properties and microbial biomass in a forest at Ohdaigahara, central Japan | Journal of Forest Research                 | 印刷中     | 古澤・日野・金子・荒木       |
| ニホンジカの採食によって林床植生の劣化した針広混交林でのリターおよび土壌の移動.   | 日本林学会誌.                                    | 印刷中     | 古澤・宮西・金子・日野       |
| (口頭発表)<br>Dear and mice increase the survival of seedlings through browsing <i>Sasa</i> bamboo   | 3rd Regional Workshop of IUFRO             | 2000.8  | 日野・伊東・島田・古澤・高畑・上田 |
| Relationship between the diversity of carabid beetles and deer, mice, and dwarf bamboo in a declining alpine forest  | 21st International Congress of Entomology  | 2000.10 | 上田・日野・島田・伊東・高畑・古澤 |
| The impact of grazing by deer on bird community  | 23rd International Ornithological Congress | 2002.8  | 日野                |
| Effects of deer, mice and dwarf bamboo on survival of <i>Abies homolepis</i> in Mt. Odaigahara, Japan  | 8th International Congress of Ecology      | 2002.8  | 伊東・日野・高畑・古澤・上田    |

工業所有権

なし