

課題2 鳥獣被害を受けた森林生態系の復元技術の開発

課題 2-1 ニホンジカ過密化地域における森林生態系被害にかかる総合対策技術開発
技術開発主体 神奈川県自然環境保全センター・酪農学園大学
担当責任者 山根正伸（神奈川県）・鈴木 透（酪農大）

1 目的

シカ高密度地域における植生劣化、土壌流出の対策として、丹沢山地での基礎研究情報や対策技術の試行結果の評価を行う。さらに、内外の復元技術に関する情報を加えて、森林生態系の復元技術の総合化を図りマニュアルを試作する。ここでは、対策技術の評価手法として、生態系回復状況やシカ密度の簡易指標などのモニタリング方法についても併せて検討する。

平成 22 年度は、シカ高密度地域における森林生態系復元技術として、神奈川県丹沢山地に於ける土壌保全対策について整理するとともに、シカにより劣化した森林生態系の復元技術を総合化したポータルサイト構築に向けて、既存マニュアルを含んだシカ被害対策にむけた、国内外の事例を収集した。加えて、省力的な密度推定手法開発のため、2 種類の自動撮影カメラを用いた個体数・生息密度推定法を検討した。

2 研究項目と方法

(1) シカ高密度地域に於ける森林生態系復元技術の検討

東丹沢に位置する清川村宮ヶ瀬堂平地区において、平成17～18年度に自然環境保全センター自然保護公園部の協力により試験的に施工した土壌保全対策工を対象とした。対策工の設置箇所は、標高1150～1225m、勾配12～41°の南東向きの斜面である。近傍では、平成16年度より土壌侵食量実態調査を行っている。

平成17年度（2005年12月）、平成18年度（2006年10月）にそれぞれ32個、34個施工した計53個の各種対策工について、そのうちの土壌侵食量測定施設（侵食土砂の捕捉施設）が設置されている31個（2005年16個、2006年15個）の対策工を対象に、各施工の翌年度から冬季（12月～3月）を除いて月に1回程度、土壌侵食量測定、リター被覆面積率及び林床被覆面積率を把握するための写真撮影を行った。対照区として無施工地に設置された5m×2mの調査枠、計13箇所についても同様に測定した。また、付帯情報として近傍の土壌侵食量調査地で林内雨量を測定した。現地にて回収した土砂とリターは、実験室に持ち帰り洗浄して分離し、105℃で乾燥させて絶乾重量を測定した。なお、本研究は、東京農工大学への委託研究により共同実施した。

(2) シカ被害対策ポータルサイトの試作

シカにより劣化した森林生態系を復元させていくためには、様々な復元技術の事例を取りまとめ、総合的に評価した上で、それらの情報を共有するためのポータルサイトを構築することが有用な方法である。そこでまず神奈川県で行われている土壌保全対策をはじめとした復元技術について取りまとめ、海外事例としてイギリス、ドイツの事例を収集した。さらに、それらを紹介するシカ被害対策ポータルサイト神奈川版の試作を行った。

(3) 効果的なモニタリング方法の検討

今年度は、山岳地における効果的な生息密度推定方法を検討するため、糞塊法の改良方法と自動撮影カメラによる密度方法について検討した。

ア. 糞塊法の改良に関する検討

糞塊法は、神奈川県ではシカ密度の変化指標として継続的に広域調査が行われている。しかし、調査結果の精度や、その変化についての解釈が難しく、区画法その他の調査との対応については各種の過大がある。ここでは、見通しの悪い山岳地でも一定精度でシカ密度の推定が可能で比較的省力的と考えられる英国で開発された反復プロット糞塊計測法（Combination Plot Technique）の概要をとりまとめ、適用の課題について整理した。

イ. 自動撮影カメラを用いたシカ密度推定方法の検討

ここでは、自動撮影カメラ法では、区画法などにより生息密度調査が行われている丹沢山山頂付近と松田町寄水源林とに自動撮影カメラを設置して生息するシカの撮影データを取得し、それぞれ個体識別をベースとするヤコブセンらによる方法（文献）と、個体識別の必要ないカメラトラップによるシカ生息密度推定法（ジャンほか、未発表）により、生息個体数あるいは生息密度の推定を行い、適用方法について検討した。

① 個体識別法

オス枝角個体の識別をベースとするヤコブセンの方法による個体数推定を行うため、シカの行動調査の目的で丹沢山山頂付近から竜が馬場までに設置した 20 台のうち、11 台を選んで、2010年12月24日～2011年1月3日までに撮影された画像を用いて解析を行った。

個体数推定に必要な値（表 1）を得るために、撮影データを確認しながら、個体種類別（枝角オス、1 尖オス、当歳、その他メス）の出現頻度を集計し、所定の手順で、有角雄個体数、おとな雌個体数、当歳個体数とこれらの合計頭数を算出した。枝角オスは、角の形状、体サイズなどから目視により識別を行った。当歳の識別は、体サイズと、頭から鼻先の形態（少し寸詰まりとなっている）で識別するほか、個体グループ構成も考慮して判別した。

表 1 個体数推定に必要なパラメータ

| 項目 | 推定式 | 備考 |
|-------------|--|---|
| 角有りオス個体 | $E_b = (B \times P_s) + B$ <p>ここで、</p> $P_s = N_{sa} / N_{ba}$ | E_b : 推定総オス個体数 P_s : 1 尖角個体の割合 N_{sa} : 写真に写った 1 尖角個体の合計出現回数 N_{ba} : 写真に写った枝角個体の合計出現回数 B : 個体識別した枝角オス個体数 |
| メス成獣（亜成獣含む） | $E_d = E_b \times P_d$ <p>ここで</p> $P_d = N_d / N_b$ | E_d : 推定合計メス成獣個体数 P_d : オス成獣とメス成獣の割合 N_d : 写真に写ったメス亜成獣と成獣の合計出現回数 N_b : 写真に写った有角オスの合計出現回数 |
| 当歳子 | $E_f = E_d \times P_f$ <p>ここで</p> $P_f = N_f / N_d$ | E_f : 推定合計当歳子個体数 P_f : 当歳子とメス成獣（亜成獣含む）の割合 N_f : 写真に写った当歳個体の合計出現回数 |

② カメラトラップ法

松田町寄水源林に、丹沢山で使用したものとほぼ同性能の自動撮影カメラを、シカの新しい糞や踏み跡などが確認された獣道に向け設置した。カメラは設置から9～10日経過後に、設置場所を1回移動し、再び12～13日間設置した。撮影仕様は、丹沢山と同様とした。密度評価を行うために、式1を用いた。

$$D = \frac{y}{t} \frac{\pi}{vr(2+\theta)} \quad (\text{式1})$$

ここで、 y/t はある時間内に撮影された写真の枚数（撮影率）、 v はシカの移動速度、 r はカメラの探知距離、 θ はカメラの探知角度である。この式1は、Hutchinson & Waser (2007)によって考えられたガス分子の衝突率を描写するための機構的モデルを、生物同士や生物と調査員、卵子と精子などの接触率へ応用した式2をもとに、カメラトラップの探知ゾーンを考慮したモデルが式3であり、さらにこの式3を変形させた式が、式1である。この式を用いることにより、カメラトラップによって得られるデータから、探知確率を考慮した密度評価を行うことができる（Rowcliffeら2008）。

$$y = 2rtvD \quad (\text{式2})$$

$$y = \frac{2+\theta}{\pi} rtvD \quad (\text{式3})$$

実際に得られたデータから、式1を用いて平均密度を得た。その平均密度の95%信頼区間を得るために、ばらつきのあるパラメータ (y 、 v 、 g) をノンパラメトリックブートストラップ (Efron & Tibshirani 1993) によってリサンプリングを行った。カメラに関するパラメータ r や θ の分散は0と仮定した。

式1における移動速度(v)および集団サイズ(g)は、調査地域でシカに装着したGPS発信器から得られた10ヶ月間のデータを用いて評価した。本調査は、主に2月に行われたため、今回の密度評価に使用する移動速度は、2月に得られたデータを使用することとした。平均集団サイズは、餌を撒いた20箇所に、13日間～15日間カメラトラップを設置し、撮影されたシカの平均頭数から評価した。

評価の再現性における捕獲努力の変数や空間配置の影響を調べるために、平均密度、サンプリングタイムやカメラのパラメータを固定することによりデータをシミュレーションした (Rowcliffeら2008)。シミュレーションは、試行の結果、最終的にカメラ設置台日数の合計を500カメラ日で一定とし、設置場所数を2 (250日/場所) から100 (5日/場所) の間で変化させた。

3 結果と考察

(1) シカ高密度地域に於ける土壌保全対策技術の検討

3～4年経過した先行事業地のモニタリング調査を継続して行った結果、現時点での対策工ごとの施工効果は、昨年時点までと比較すると、土嚢を使った工法の効果が相対的に下がり、植生保護柵を使った工法の効果が高くなっていた (図1・図2)。また、これまでの経年変化を踏まえると以下が明らかになった。

- 土壌侵食対策工を設置すると、施工の次年度は土壌侵食量を軽減することができる。

- 経年変化をみると、土壌侵食対策工の工種によって効果が異なり、経年によって効果が低下するものと効果が増すものがある。
- 植生保護柵内プロットでは、3年目以降に植生の回復が確認でき、土壌侵食量も減少し続けた。現段階では、土壌侵食量が最も少なく、土壌侵食軽減効果も年々増している植生保護柵とリター捕捉ネットの併用工種が最も効果が高いと考えられた。しかし、平成20年度から21年度にかけて若干の土壌侵食量の増加が見られており、今後、施設の破損や腐朽が進行すると土壌侵食量が増加する可能性もあるため、長期的には柵内の植生回復による土壌侵食軽減効果が有効となることが予想される。
- 工種ごとにその後の経年変化をみると、無処理と植生保護柵のみの試験区で土壌侵食量が年々減少しているのに対し、木製筋工・竹ネット工の併用、リターロール工A、竹袋土嚢工で土壌侵食量が増加していた（写真1）。

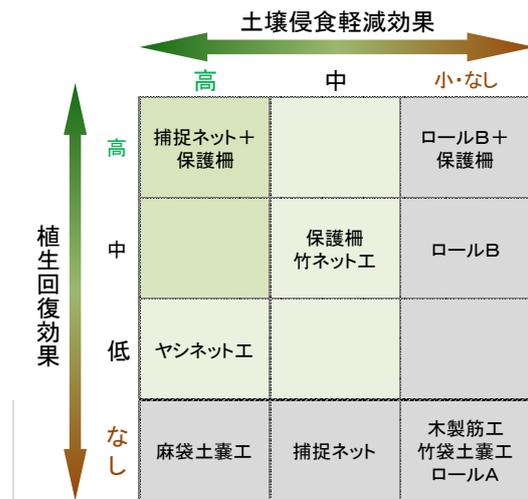


図1. 年経過後における対策工の土壌侵食軽減効果と植生回復効果の評価

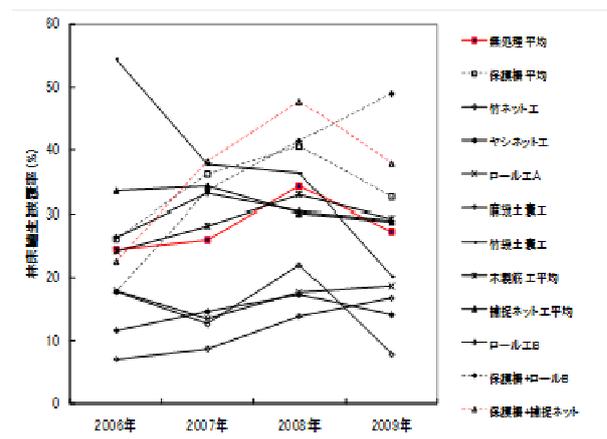


図2. 年経過後の各対策工における林床植生被覆率の経年変化



写真1. 2009年7月時点の対策工の状況

(左: 捕捉ネット工 中央: リターロール工B 右: 竹袋土嚢工)

(2) シカ被害対策ポータルサイト構築

神奈川県で行われている土壤保全対策技術について取りまとめ、海外事例としてイギリス、ドイツの事例を収集した。また、それらを紹介するシカ被害対策ポータルサイト神奈川版を試作した。

ア. 神奈川県土壤保全対策マニュアル

神奈川県の土壤保全対策マニュアルは、丹沢のブナ林の再生、県民の水がめでもある丹沢の水源環境の保全・再生を図ることを目的として下記の内容が記載されている（図3：マニュアルの表紙）。

- ・丹沢山地のブナ林における土壤侵食の問題の仕組みや対策の考え方の解説（図4）
- ・ニホンジカや植生の対策を組み合わせる統合的に土壤を保全するための計画の作り方の解説
- ・自然の力を活かした環境への負荷の少ない土壤保全対策工法とその効果的な設置方法の解説

(図5)

- ・土壤保全対策の効果を検証する方法の解説

このマニュアルは、上記のように土壤保全対策の概念から手法の選択方法、モニタリングの方法までをカバーしているマニュアルである。また一般公開もされており誰でも利用することができる。今後は(1)で取りまとめた各工法の評価結果やコスト面、使用時における課題等を整理・追加し、土壤保全対策の総合的な情報と取りまとめる予定である。

イ. 海外事例の収集

シカと森林の一体的な管理が行われているドイツ、イギリスの事例を収集した。本年度は、イギリスのシカ柵設置技術マニュアル、シカ個体数調査マニュアル、ドイツ・バーデ

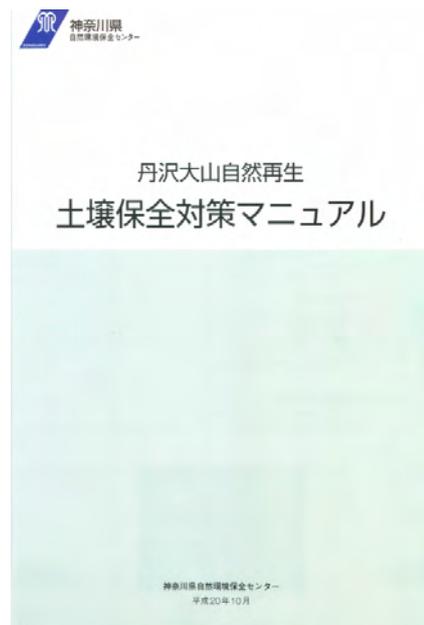


図3. 土壤保全対策マニュアル

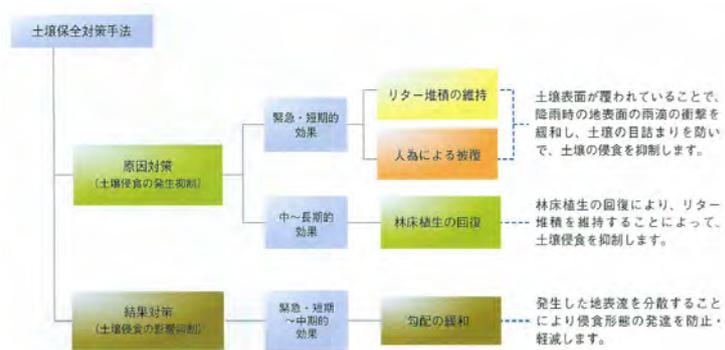


図4. 土壤保全対策手法の体系

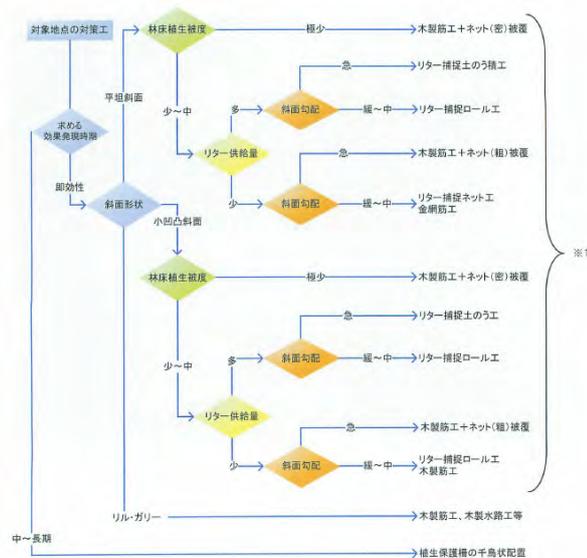


図5. 工法の選定方法

ン - ビュルテンベルク州のシカ食害影響評価マニュアル（図 6）について資料を収集し、翻訳の作成を開始しており、来年度までには要約を完成させる予定である。

さらに、英国林業試験場が行ったレビュー結果（Mayle et. al. 2008）を要約して、山岳地で省力的で一定の精度が確保できる密度推定方法について検討した。今年度は、マニュアルに示された各種調査手法の概要と、長所短所、適用範囲などを整理するとともに、英国で用いられている、シカの植生などへの影響による密度判定表を示した。

表 2 はレビューされている密度推定手法の概要である。これらの手法について適用できる環境や得られるデータ等について取りまとめ、図 7 で示したように、シカ密度推定手法の選択フローチャートを作成している。このように技術を開発するだけでなく、利用可能な環境、コスト、得られるデータに応じて技術を選択するための知識を集積することも総合対策技術開発の重要なテーマであると考えられた。

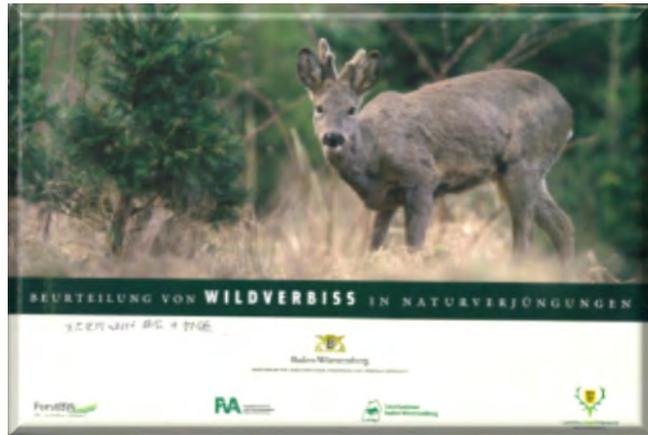


図 6. ドイツ・バーデン - ビュルテンベルク州のシカ食害影響評価マニュアル

表 2. 各種調査手法の概要

| 列 | 手法名 | 英語表記 | 方法概要 | 推定精度性 | 指標値性 | 器具等価値 | 労働コスト | アーク解明の簡便性 | アーク収集の必要性 |
|----|--------------|-----------------------------------|------|-------|------|-------|-------|-----------|------------------|
| 1 | オープンヒル法 | Open hill | | **** | **** | *** | * | **** | 1-7日 |
| 2 | 追い回しカウント法 | Drive counts | | *** | *** | *** | * | **** | 1-7日 |
| 3 | 待ち伏せカウント法 | Static census | | *** | **** | **** | * | **** | 1-3日 |
| 4 | 眺望地点カウント法 | Vantage point | | *** | **** | **** | **** | **** | 1-7日 |
| 5 | 航空センサス法 | Aerial counts | | **** | **** | * | **** | *** | 1-2日 |
| 6 | スポットライトセンサス | Spotlight counts | | ** | *** | *** | **** | *** | 1-7日 |
| 7 | 温熱画像直接カウント法 | Thermal imaging direct counts | | **** | **** | ** | **** | **** | 1-3日 |
| 8 | 温熱画像距離サンプリング | Thermal imaging distance sampling | | **** | **** | ** | **** | * | 3-5日 |
| 9 | 標識再確認法 | Mark-resighting | | **** | **** | * | * | ** | 3-24ヶ月 |
| 10 | 比率変化法 | Change-in-ratio counts | | *** | **** | *** | *** | *** | 6-9ヶ月 |
| 11 | 影響レベル評価法 | Impact levels | | * | *** | *** | *** | *** | 1-5日、6-12ヶ月（生息地） |
| 12 | 追跡個体目撃法 | Trace/slot counts | | * | *** | **** | **** | **** | 1-4日 |
| 13 | 糞粒指標法 | Fecal pellet index | | * | **** | **** | **** | **** | 1-4日 |
| 14 | 糞粒除去法 | Fecal pellet clearance | | **** | **** | **** | ** | **** | 2-3ヶ月 |
| 15 | 糞粒現存量測定法 | Fecal pellet standing crop | | **** | **** | **** | *** | *** | 4-12ヶ月 |
| 16 | 糞粒帯状カウント法 | Fecal pellet strip transects | | *** | **** | **** | *** | **** | 4-12ヶ月 |
| 17 | 糞粒ラインセンサスカウ | Fecal pellet line transects | | **** | **** | **** | *** | * | 4-12ヶ月 |
| 18 | バランスシート法 | Balance sheet | | ** | *** | *** | ** | *** | 6-9ヶ月 |
| 19 | 生命表分析法 | Life tables | | *** | **** | **** | ** | ** | 5年以上 |
| 20 | コーホート分析法 | Chohort analysis | | **** | **** | **** | ** | ** | 5年以上 |
| 21 | 個体群モデル法 | Population modeling | | **** | **** | *** | ** | ** | 1年以上 |

手法18-21は以前の捕獲情報に基づく方法
 ****: 優良、****: 良好、***: 妥当、**: 不良、*: 非常に悪い

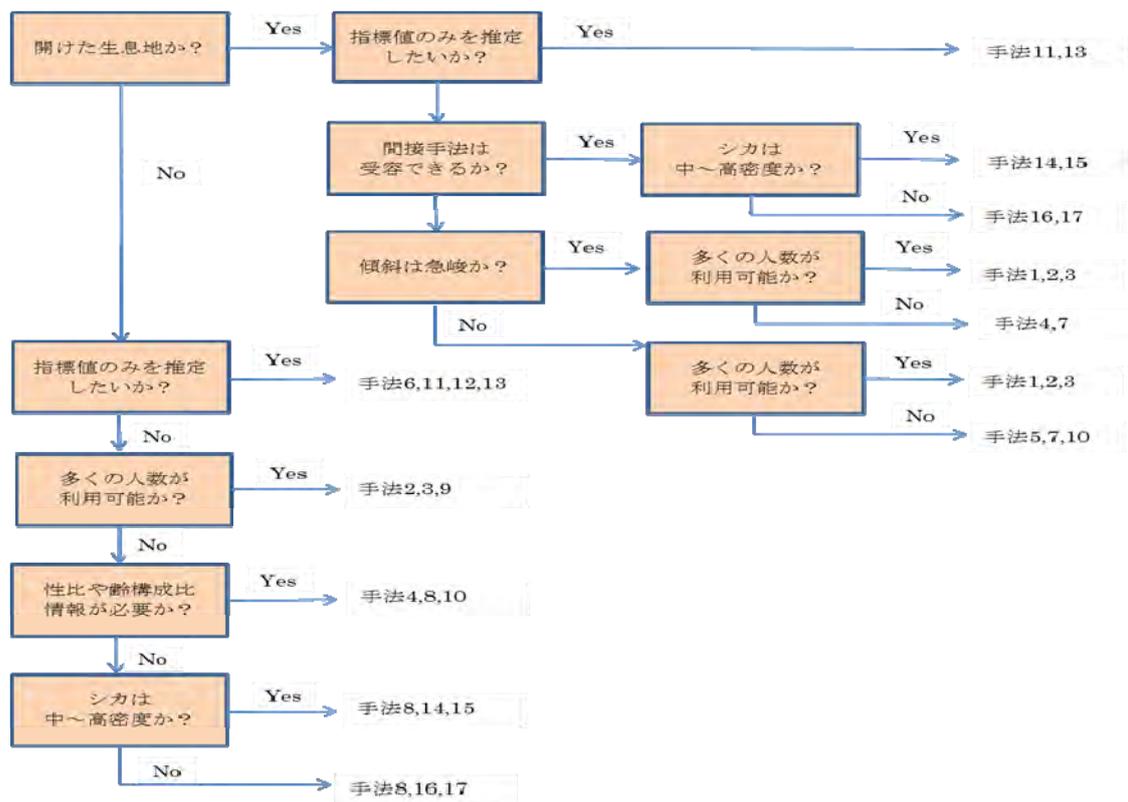


図7. シカ密度推定手法の選択フローチャート. 手法番号は、表2の手法の番号に対応している

ウ. シカ被害対策ポータルサイトの試作

英国林業試験場が行ったレビュー結果 (Mayle et. al. 2008) にもあるように、シカ被害対策に対する森林生態系の復元には技術を開発するだけでなく、利用可能な環境、コスト、得られるデータに応じて技術を選択するための知識や情報を集積し共有していくことも重要である。近年、知識や情報を共有するために IT 技術を利用したポータルサイトが利用されている。神奈川県においても丹沢大山自然再生事業における情報を共有するための e-Tanzawa (<http://e-tanzawa.jp/>) が丹沢大山に関する情報を公開し、丹沢大山自然再生に向けた取り組みのステーションとして構築されている。

そこで本年度は神奈川県におけるシカと森林の一体的管理に関するポータルサイトの試作を行った (図8)。試作したポータルサイトは、神奈川県のシカ・森林の一体的管理の目標である「計画的・継続的な森林整備」、「シカの徹底した管理」、「広域的・横断的な対策を同時に実施」を実施するために情報共有サイトとして、下記の4つのコンテンツから構成されている。

- ① 神奈川県のシカ：神奈川県におけるシカの生息状況などの現状の紹介
- ② 神奈川県の森林：神奈川県における森林の現状や現在行われている森林管理の紹介
- ③ 神奈川県のシカと森林の関係：神奈川県におけるシカと森林の関係の紹介
- ④ シカと森林管理 Best Practice：シカと森林に関する情報や現在行われている対策、マニュアル等の紹介

4 つ目のコンテンツであるベストプラクティス (Best Practice) とは、本来ある結果を得るのに最も効率的な技法・手法・プロセス・活動などがあるとする考え方であるが、これまで行われている事例や取り組み、技術を集積したものとして用いられていることが多い。例えば、電子自治体ベストプラクティス (<https://www.lasdec.or.jp/its/bestpractice/>) では、ICT を活用した住民サービスの向上、業務の効率化、地域産業の活性化など、電子自治体を積極的に推進する地方公共団体の事例を取りまとめている。シカの管理に関してもスコットランドにおいて、シカの管理に関して知識、調査方法、対策等を総合的に取りまとめた Best Practice Guidance が公開されており (<http://www.bestpracticeguides.org.uk/>)、情報の共有や効率的な対策立案に役立っている。

神奈川県で試作するシカと森林管理 Best Practice では、上記のサイトも参考にして、シカの現状・森林の現状・シカに関する調査・森林に関する調査・シカの影響評価・対策マニュアル・計画・海外事例に関する情報を集積するためのコンテンツとして試作した (図 9)。

コンテンツの中身については現在作成中であるが、本年度事業で行った神奈川県の土壌保全対策検討結果や収集した海外事例の翻訳・要約等も取りまとめ、随時公開していく予定である。



図 8. シカと森林の一体的管理に関するポータルサイトのトップ画面イメージ



図 9. シカと森林管理 Best Practice のトップ画面イメージ

(3) 効果的なモニタリング方法の検討

山岳地における効果的な生息密度推定方法を検討するため、糞塊法の改良方法と自動撮影カメラによる密度方法について検討した結果を下記に示した。

ア. 反復プロット糞塊計測法 (Combination Plot Technique) の概要

反復プロット糞塊計測法は、ノロジカの個体数推定のために英国林業試験場が協力して最近開発した手法である。

この方法では、一定期間の糞塊蓄積量を精度良く測定し推定した初期個体数サイズ EDU 値 (EFFECTIVE DEER UTILIZATION: 有効シカ利用インデックス) を求め、EDU 値を数年おきに再測定して EDU の変化をモニタリングし、測定した EDU 値とシカ個体数モデルを比較することで、シカ個体数を検証、説明、予測する。この方法は従来の糞塊法より、測定条件やプロットの配置、プロット数、EDU 値の変化の解釈などが詳しく検討が行われており、精度向上が期待できるとしている。

本手法の調査デザイン、現地調査及びデータ解析方法は以下に示すとおりである。

① 本手法の調査デザイン

1 回の排糞イベントの糞塊の中心地点をカウントする。1 回あたりの排糞量のサイズから平均的な糞粒数を念頭に置き分解消失についても考慮する (写真 2)。

プロットの大きさ、設置位置は、植生タイプにより変え、ライントランセクトの幅は精度確保のため、最低 75cm 以上とする。プロットは、シカの生息地選好を考慮し、層化して配置することが望ましい (表 3)。また、調査対象地を生息地タイプで区分し、面積割合に応じたサンプル数を割り当てる。初めての調査ではシカの利用頻度が異なり後者の糞塊密度は 1.5 から 5 倍多くなるため針葉樹閉鎖林と冠林開放林を層化して調査する。

プロット数は、より変動の大きな層には多く割り当てる。必要数は、推定平均値の 95% 信頼区間が得られるだけの数量とし、変動係数は初期調査で求める。通常、70 プロット設定で $\pm 25-50\%$ 、100 プロット設定で $\pm 20-35\%$ の信頼幅となる。プロットの配置が決定したら、位置を 1 万分の 1 の地形図に記す。

調査の日数間隔は、長いと糞塊累積が増えて精度があがるが、分解消失も起こる。また、移出入や捕獲による個体数変動の誤差が生じる。このため 60-100 日程度が適当である。

② 具体的な糞塊数のカウント方法

初回調査の内容は次のとおりである。

- 1:10000 地図上にプロットの開始地点を記入
- ランダムにサンプルプロット地点を決定

A freshly-delegated pellet group.



Figure 7

A pellet group in the early stages of decomposition.



Figure 8

A pellet group in the latter stages of decomposition.



写真 2. 糞塊の分解レベル

表 3. 望ましいプロットの特徴

| Habitat type | Description | Plot length(m) | Search width (each side of central line) (cm) | Overall plot width (cm) |
|--|---|----------------|---|-------------------------|
| Unplanted land | No trees planted. | 75* | 50 | 100 |
| Felled | Mature trees felled. Not yet re-planted. | 75 | 50 | 100 |
| Re-stock | Area felled and re-planted with new trees. Tree height too low to provide cover for deer. | 75 | 50 | 100 |
| Pre-thicket | Tree height sufficient to provide cover for deer. Branches not yet interlocked. | 50 | 50 | 100 |
| Thicket | Branches interlocked with vegetation dying underneath canopy. Branches on trees right down to the ground. | 75 | 75 | 150 |
| Pole-stage | Branches dead on trees stem above 1 m height; can walk through crop rather than crawl. | 75 | 75 | 150 |
| Mature | Trees now tall with most side branches dead to a height of well over 2 m; often thinned. | 75* | 75** | 150 |
| Native or retained woodlands including broadleaf | Deciduous or Scots pine woodlands with low disturbance. | 75* | 50 | 100 |

* Could be reduced to 50 m when searching in uniformly tall vegetation such as mature heather.

** Could be reduced to 50 cm when searching in uniformly tall vegetation.

出典: G. Swanson, D. Campbell and H. Armstrong(2008) Estimating deer abundance in woodlands: the combination plot technique.

- 最初の所定の地点に行き、テープ巻き尺などでサンプルプロット基準線を設定
- 一定間隔で竹棒などを用いて、林床植生より高い高さで、間隔をマーキング。
- プロットの一方側を歩いて、プロット内の最低糞粒数以上の糞塊の出現数を記録。
- 小さな標識用の木材棒をそれぞれの糞塊の中心に差し置く。
- トランセクトラインの位置とそこからマークした糞塊の中心までの距離を記録
- 推定される排糞したシカの種別を判別記録
- 目視により、新しさや粘り気、表面のなめらかさやつや、糞塊の 25%以下の糞粒の形が消失分解で失われているかどうか、25%以上が分解消失しているかの消失分解レベルの判定（写真 2）
- 踏みつけその他で糞塊が破壊されているかどうかの判定
- プロット基準線を示すテープを取り除く
- 次のプロットで同様な手順を行う

2 度目の調査は次のように行う。

- 調査プロット基準線の設定
- 初回と同じ方法新しい糞塊数の測定
- 前回確認した糞塊の消失状況の調査
- プロット基準線を示すテープは除去するが、各種マーカは残す。

③ 取得データの吟味方法

- 調査期間内に排糞されて消失する糞塊の割合（糞塊の消失率）は、通常調査における消失分解変化データから推定する。消失分解スピードが速い場合には、補完的な調査（観察間隔を短くした観測）により補正を行う。

- EDU 値を推定する前に調査期間を通じた全糞塊累積量を計算する。まず、それぞれの調査層に対して、プロットあたりの新しい糞塊数の平均値を求める。距離サンプル法などを適用するならば、適切なプロット面積の補正を行う。
- EDU 値はプロットあたりの平均カウント数を各抽出層位の全体面積に対応させてスケールアップして求める。最終的には、層別推定値をそれぞれ合計して全体の糞塊数推定値として求める。EDU 値の精度は標準的な統計定式により求める。
- 糞塊カウントデータの EDU 値への変換では、排糞回数をノロジカは 16.5 ± 2.9 、アカシカは 20 ± 4.0 として、総糞塊推定数/観測日数/平均排糞回数により算出する。この際、EDU 値の過大推定を招くおそれがあるのでシカ捕獲の影響を加味する。
- EDU 値変化のモニタリングでは、できる限り同じプロットを使って調査することで精度をあげる。また、EDU 値を使った個体数推移と個体群モデル（初期個体群サイズ、増加率、成獣自然死亡率、個体群年齢構成）結果と実測値の比較・解釈を行う。この場合、移入移出の影響を判定する。

④ 山岳地でのシカ密度推定への適用可能性

以上に概要を示した反復プロット糞塊計測法を用いて山岳地でのシカ密度推定に適用するには、糞塊あたりの平均糞粒数を決定後、立地環境別の出現状況などに関する事前調査を行う必要がある。また、季節や立地に応じた消失率に関するデータ収集が必要である。これらの情報が得られれば現在行われている、統計的検証がなく、反復調査が行われない、また分解消失率も考慮しない現行手法よりも、密度およびその変化に関する精度向上が図れると考えられる。

イ. 自動撮影カメラを用いた個体数・生息密度推定法の検討

① 個体識別による方法

自動撮影カメラに安定してシカが写り込むようになった、12月24日から2011年1月3日までの延べ10日間の撮影画像から、個体数推定に必要な各値を計測した。計測は、20地点のうち11地点として、地点毎と全体の個体数推定を行った。

11地点において測定期間中に、識別できた枝角雄は、4尖個体2頭、2尖個体3頭の合計5頭（写真3）であった。1尖個体は全体で2頭しか確認できなかった。この理由としては、撮影時間が夜間に集中しており、小さな角の識別が難しかったことが考えられる。また、夜間の映像は体サイズの判定が難しかったため、おとな雌のカウント数に対して当歳のカウント数が少ない地点もあった。

集計結果は、地点毎の総個体数は6~50頭の範囲で、平均は 29 ± 15.7 (s.d.) であった。全地点を込みにした集計値は、総推定個体数が70頭、有角雄が6頭、成雌が52頭、当歳が12頭と推定された（表4）。

撮影されたシカの生息範囲は、今後GPS発信器個体データなどの解析をまって検討する必要があるが、1990年代後半のテレメータ追跡データなどから類推して、カメラを設置した稜線部一帯のおおむね1平方kmを越えないと考えられる。そのように仮定すると、丹沢山一帯の生息密度は70頭/km²以上と算出でき、これまでの区画法の調査結果（09年60.9/km²）をやや上回る値であった。

以上から、個体識別法は、シカの利用頻度が高い地点に、多量記録枚数を可能とする

デジタルカメラ式の自動撮影装置を設置し、角の有無や体サイズが判別しやすいように撮影することで、生息頭数と個体群構成に関する比較的良い情報を得ることが可能と考えられた。



写真3. 丹沢山周辺で自動撮影カメラに写った枝角オスの例

表4. 識別法による丹沢山周辺のシカ生息頭数の推定結果

| | | 調査地点 | 15 | 14 | 6 | 5 | 2 | 1 | 18 | 17 | 20 | 8 | 10 | 全体 |
|------|-----|---------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|----|------|------|-----|
| 撮影頻度 | Nsa | 1p | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | Nba | 枝角♂ | 8 | 1 | 1 | 3 | 6 | 13 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 39 |
| | B | 識別枝角♂ | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 5 |
| | Nd | 雌おとな | 85 | 39 | 25 | 31 | 38 | 13 | 18 | 23 | 11 | 26 | 28 | 337 |
| | Nb | 有角雄 | 8 | 1 | 1 | 3 | 6 | 13 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 39 |
| | Nf | 当歳 | 38 | 10 | 0 | 4 | 4 | 1 | 3 | 4 | 2 | 5 | 4 | 75 |
| | Pd | 撮影成獣性比 | 10.6 | 39.0 | 25.0 | 10.3 | 6.3 | 1.0 | 18.0 | 11.5 | | 13.0 | 14.0 | 8.6 |
| 推定結果 | Eb | 推定有角雄頭数 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 2 | 1 | 6 |
| | Ed | 推定成雌頭数 | 32 | 39 | 25 | 11 | 13 | 2 | 36 | 23 | | 26 | 14 | 52 |
| | Ef | 推定当歳頭数 | 15 | 10 | 0 | 2 | 2 | 1 | 6 | 4 | | 5 | 2 | 12 |
| | | 総個体数 | 50 | 50 | 26 | 14 | 17 | 5 | 44 | 29 | | 33 | 17 | 70 |

② 個体識別の不要なカメラトラップ法の結果

ア. カメラトラップ法による密度評価

カメラトラップの合計は 264 台日であった。カメラは 12 台用い、11 日間ずつ、それぞれ 2 地点に設置した。一カ所につき 11 日間設置されたことにより蓄積された。カメラトラップによる密度評価の結果、シカの平均密度は 21.9 頭/k m² (信頼区間：16.7-57.8 頭) と推定された (表 5)。

表5. 密度推定のためのパラメータ

| | |
|-------------|--------------|
| 平均移動速度 (v) | 0.857km/日 |
| 平均集団サイズ (g) | 2.231頭/枚 |
| 探知角度 (θ) | 0.908弧度(52°) |
| 探知距離 (r) | 13.24m |

評価の再現性における捕獲努力の変数や空間配置の影響を調べるシミュレーションでは、平均密度は 21.9k m²、移動スピードは 0.857km/日、群れサイズは 2.231、r は 13.24m、θ は弧度 0.908 (52°) とした。

カメラの設置場所の適正な数から妥当な数の写真を獲得することは、このテクニックの成功のために重要である。そのため、シミュレーションを使用することで密度評価の再現性におけるサンプリング努力の増加の影響を調べた。その結果、撮影率の分散が高い場合、カメラの場所は最低でも 20 カ所設置されるべきであり、出来れば 40 カ所が好ましい。また、設置時間は最低でも 10 日間は設置されるべきであり、できれば 20 日間は望ましいことが示された。今回の調査では、カメラ台回数 (カメラ台数×設置場所) は 24 台回数であり、設置時間は 9~13 日間であったので、撮影率の分散が高い場合でも、上記の条件を概ね満たしていると考えられた。

イ. 他の調査手法との比較 (表 6)

表6. 複数シカの密度推定法による生息密度

| 年度 | 地域名 | 生息密度 (頭/km ²) | | |
|--------|------|---------------------------|------|--------|
| | | 糞粒法 | 区画法* | カメラ撮影法 |
| 平成19年度 | 寄沢左岸 | | 24.0 | |
| | 秦野峠 | | 14.9 | |
| 平成20年度 | 寄沢奥 | 63.57 | | |
| | 寄沢右岸 | 25.17 | | |
| | 寄沢左岸 | 17.45 | 19.4 | |
| | 秦野峠 | 21.39 | 37.3 | |
| 平成21年度 | 寄沢奥 | 38.10 | | |
| | 寄沢右岸 | 25.62 | | 21.9 |
| | 寄沢左岸 | 19.73 | 13.2 | |
| | 秦野峠 | 17.21 | 19.3 | |

区画法による寄沢左岸の生息密度は、平成 13 年度、15 年度は 14.0 頭/km²、14.7 頭/km²とほぼ同じだったが、平成 19 年度に 24.0 頭/km²と増加し、平成 20 年度は 19.4 頭/km²と減少している。平成 21 年度は 13.2 頭/km²とさらに減少している。これは、当地域が水源林であり積極的な森林整備が実施され、水源林整備と一体的なシカ管理のモデル地域として、平成 19 年度から管

* 平成20年度「神奈川県特定鳥獣保護管理委託業務」調査報告書と平成21年度「神奈川県ニホンジカ生息状況調査委託業務」の調査結果

理捕獲が数回にわたり実施されている効果と考えられる。一方、近隣の秦野峠地域の区画法による生息密度は、14.9 頭/km²~37.3 頭/km²と変動がみられた。これは、区画法の調査誤差あるいは管理捕獲による攪乱などの影響が考えられた。一方、対照的に糞粒密度により推測されたシカ生息密度は、寄沢奥地域以外では、安定して 20 頭/km² 内外であった。カメラ撮影法 (餌無し) で推測された生息密度は 21.9 頭/km²で、糞粒調査の密度と大きな差が無かった。なお、平成 22 年度も同様な調査を計画しているが、2 月中旬に実施予定のため、ここでは結果を示さなかった。以上から、継続的に複数の生息密度調査法を同地域で実施することで、信頼性の高い密度が推定できると考えられた。

課題 2-2 環境機能と生産性を重視した防鹿対策と森林再生技術

技術開発主体 (株)里と水辺研究所・宮川森林組合

担当責任者 辻 秀之 (株)里と水辺研究所)

1. 技術開発の目的

従来型の規則的で一様な造林手法は、一定規格の用材を一定収量得るために必要とされてきた技術であり、森林生態系の復元、生物多様性への配慮、材の用途の変化や多様化など昨今の社会的背景より、場合によっては見直す必要がある。

また、シカ食害など鳥獣被害による裸地化や特定の嗜好植物の繁茂は、森林生態系のバランスを壊し、本来有していた森林のもつ生物多様性を大きく低下させている。

そこで技術開発に当たっては、森林生態系の復元や森林の持つ生物多様性を保全し、多様化する社会ニーズに応えうる手法として、森林立地の適切な評価に基づき多様な地域性系統の苗木を用いる、適地適木型の「ランダムで集中的な配植(以下ランダム集中配植)による森林再生手法」に着目し、その開発を提案する。また、鳥獣被害地における森林再生技術は、鳥獣被害防止技術と一体の技術であり、別途宮川森林組合で取り組まれている「新たな鳥獣被害防止技術の開発＝パッチディフェンス手法」と共同し、2つの技術の組み合わせにより技術開発を行う。

本手法はいくつかの既往事例から一定の成果が上がっていると評価され、今後全国で取り扱える普遍的な森林再生技術とすることを心がける。

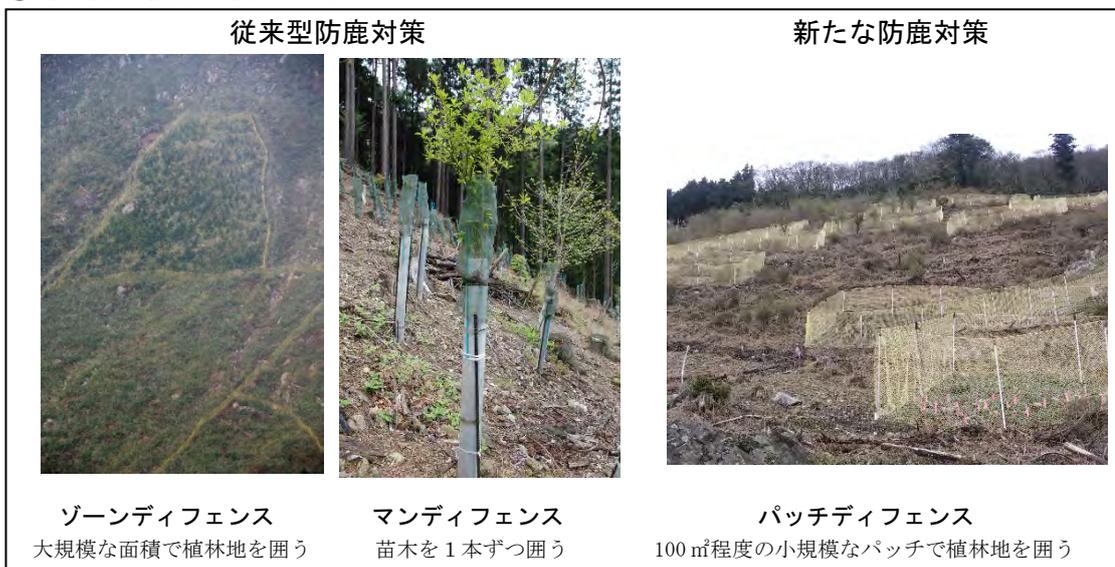
2. 森林再生にかかる手法の比較検討調査

(1) 調査の視点

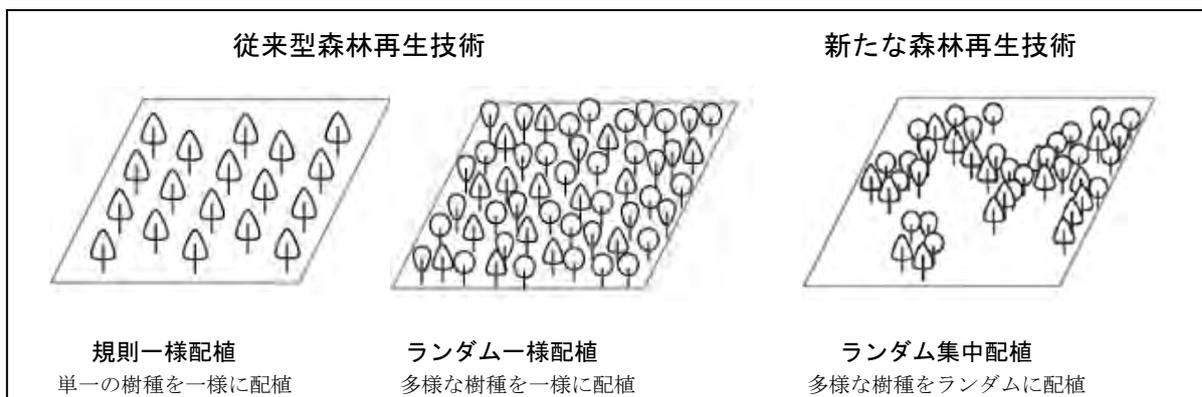
調査は、従来型の森林再生手法とランダム集中配植＋パッチディフェンス手法による森林再生手法との比較検討により実施し、その結果よりランダム集中配植およびパッチディフェンス手法の有効性、課題について明らかにする。

ここで取り扱う鳥獣防止技術（防鹿対策）と森林再生技術を整理すれば次に示す通りである。

①鳥獣防止技術（防鹿対策）



②森林再生技術



(2) 調査位置

調査位置は、三重県大台町内における防鹿対策済み植林地とし、森林再生技術と鳥獣防止技術の組み合わせにより、次の12地点を選定した。

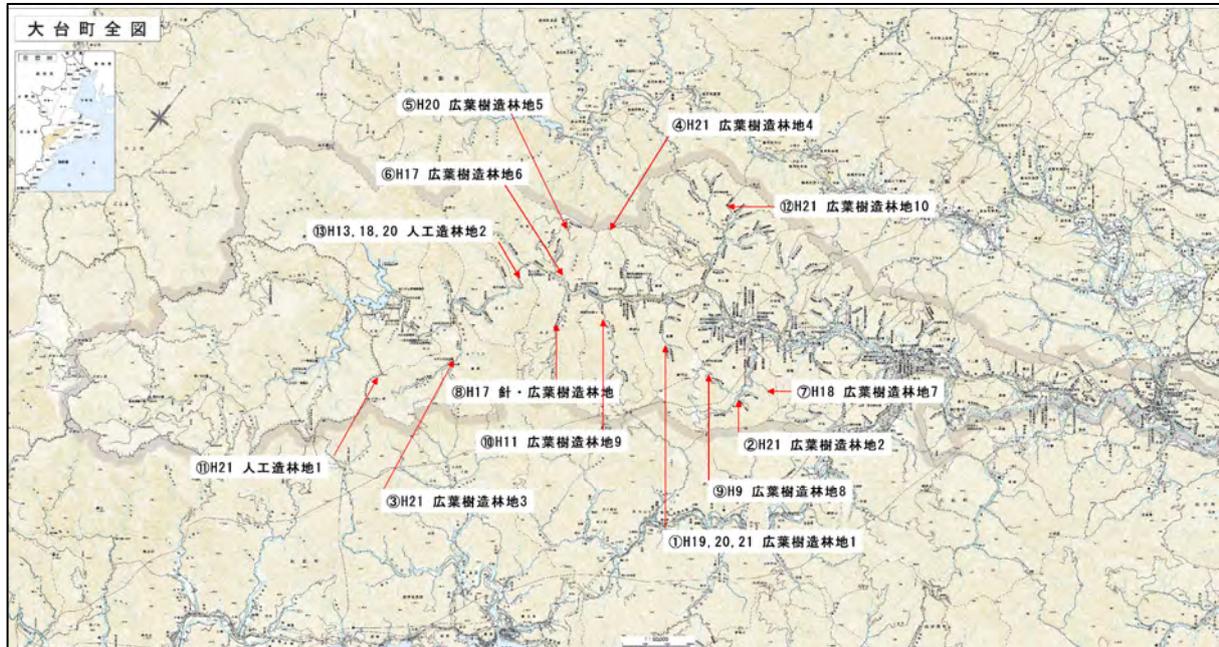


図 調査位置図

表 調査位置の概要

| 名称 | 対策 | 配植 | 標高 | 事業地面積 | 事業年次 | 目標植生 | 植栽本数 | シカ生息密度 |
|-----------|-----|--------|------------|--------------------------|------|------------|--------------------------|--|
| ①広葉樹造林地1 | パッチ | ランダム集中 | 250m~270m | 0.29ha パッチ面積438.26㎡ | H19 | 夏緑広葉樹林 | 263本(33種) 907本/ha | 15頭/km ² 以上50頭/km ² 未満 |
| | | | 270m~280m | 0.20 ha パッチ面積222.50㎡ | H20 | 夏緑広葉樹林 | 413本(47種) 2,065本/ha | |
| | | | 280m~290m | 0.15 ha パッチ面積572.57㎡ | H21 | 夏緑広葉樹林 | 604本(47種) 4,027本/ha | |
| ②広葉樹造林地2 | パッチ | ランダム集中 | 200m~250m | 0.62 ha パッチ面積1477.37㎡ | H21 | 夏緑広葉樹林 | 1461本(48種) 2,356本/ha | 中(年間目撃率2.0~3.0) |
| ③広葉樹造林地3 | パッチ | ランダム集中 | 200m | 0.14 ha パッチ面積344.81㎡ | H21 | 夏緑広葉樹林 | 353本(43種) 2,521本/ha | 15頭/km ² 以上50頭/km ² 未満 |
| ④広葉樹造林地4 | パッチ | ランダム集中 | 800m~850m | 3.76 ha パッチ面積6472.00㎡ | H21 | 夏緑広葉樹林 | 3,523本(56種) 937本/ha | 少(年間目撃率1.0~2.0) |
| ⑥広葉樹造林地6 | マン | ランダム一様 | 200 m~250m | 0.62ha | H17 | 夏緑広葉樹林 | 2000本(22種) 3,225本/ha | 5頭/km ² 以上15頭/km ² 未満 |
| ⑦広葉樹造林地7 | マン | ランダム一様 | 250m~380m | 0.93ha | H18 | 夏緑広葉樹林 | 2,800本(8種) 3,011本/ha | 中(2.0~3.0) |
| ⑧針・広葉樹造林地 | マン | 規則一様 | 200m~400m | 0.90 ha | H17 | 夏緑広葉樹林 | 270本(10種) 300本/ha | 15頭/km ² 以上50頭/km ² 未満 |
| ⑨広葉樹造林地8 | ゾーン | ランダム一様 | 100m~150m | 2.99 ha | H10 | イチヨウ林, モシ林 | 208本(1種) 6,933本/ha | 15頭/km ² 以上50頭/km ² 未満 |
| ⑩広葉樹造林地9 | ゾーン | ランダム一様 | 150m~200m | 1.16 ha | H11 | 夏緑広葉樹林 | 600本(4種) 201本/ha | 15頭/km ² 以上50頭/km ² 未満 |
| ⑪人工造林地1 | ゾーン | 規則一様 | 800m~1000m | 4.48ha | H21 | スギ・ヒノキ植林 | 2,180本(4種) 1,879本/ha | 15頭/km ² 以上50頭/km ² 未満 |
| ⑬人工造林地2 | ゾーン | 規則一様 | 500m~550m | 0.62ha | H21 | 夏緑広葉樹林 | 1,200本(14種) 8,571本/ha | 15頭/km ² 以上50頭/km ² 未満 |
| | | | 150m~250m | 1.00 ha | H13 | スギ植林 | 5,000本(1種) 5,000本/ha | |
| | | | 150m~250m | 2.00 ha | H18 | スギ・ヒノキ植林 | 7,200本(2種) 3,600本/ha | |
| | | | 150m~250m | 0.64 ha | H20 | ヒノキ植林 | 2,200本(1種) 3,438本/ha | 15頭/km ² 以上50頭/km ² 未満 |

※シカ生息密度は、三重県(2007):特定鳥獣保護管理計画(ニホンジカ・第二期)ほかによった

(3) 調査方法

調査は大きく植生調査と苗木の生育調査に分けて実施する。

①植生調査

- ・調査位置ごとに3地点、ゾーンディフェンス区、パッチディフェンス区では対照区として、未対策部分より1地点を加え、合計4地点の調査枠を設置し植生調査を実施する。
- ・出現種数比較のため、1地点の調査面積を100m²に固定する。
- ・調査枠は追跡調査のため定置枠とし、現地に境界杭でマーキングする。
- ・調査項目は以下の通りとする。

| 植生に関する項目 | 調査面積 | 調査時期 |
|----------------------|--------------------|--------|
| ・階層構造 | 100 m ² | 夏期(1回) |
| ・階層ごとの全植被度% | | |
| ・階層ごとの出現種と出現種ごとの植被度% | | |
| 森林立地に関する項目 | | |
| ・方位 | | |
| ・傾斜 | | |
| ・地質:残積土・ほこう土・崩積土 | | |
| ・土壌:石目・土目・粘土目 | | |

②苗木生育調査

- ・原則として①で設置した定置枠内に植栽された苗木について毎木調査を行う。
- ・食害や枯損により苗木植栽の痕跡をとどめない箇所については、植栽の記録より面積で割り戻して、調査面積あたりの苗木植栽本数を推定する。

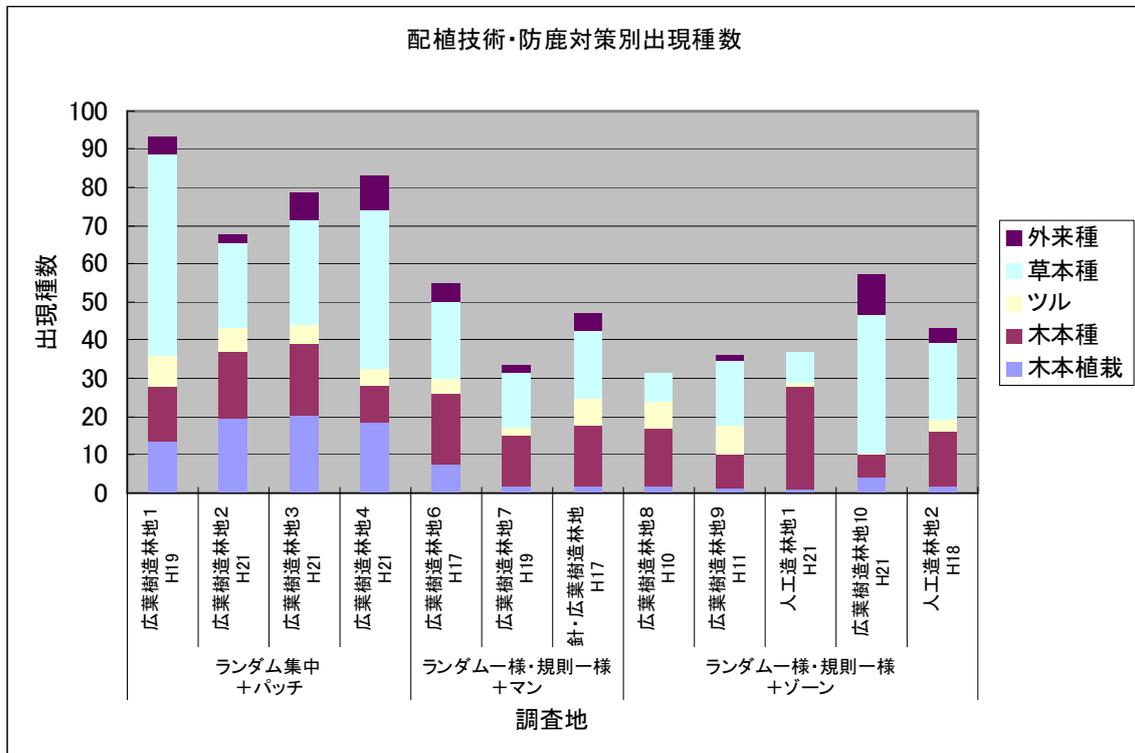
| 調査項目 | 調査本数 | 調査時期 |
|----------|-----------|--------|
| ・生残率% | ・調査枠内全数計測 | 秋期(1回) |
| ・樹高(m) | | |
| ・DBH(cm) | | |

※樹高などの関係で、DBHの計測ができない苗木については、D30等を計測し換算値を用いてDBHに変換する。

3. 調査結果と評価

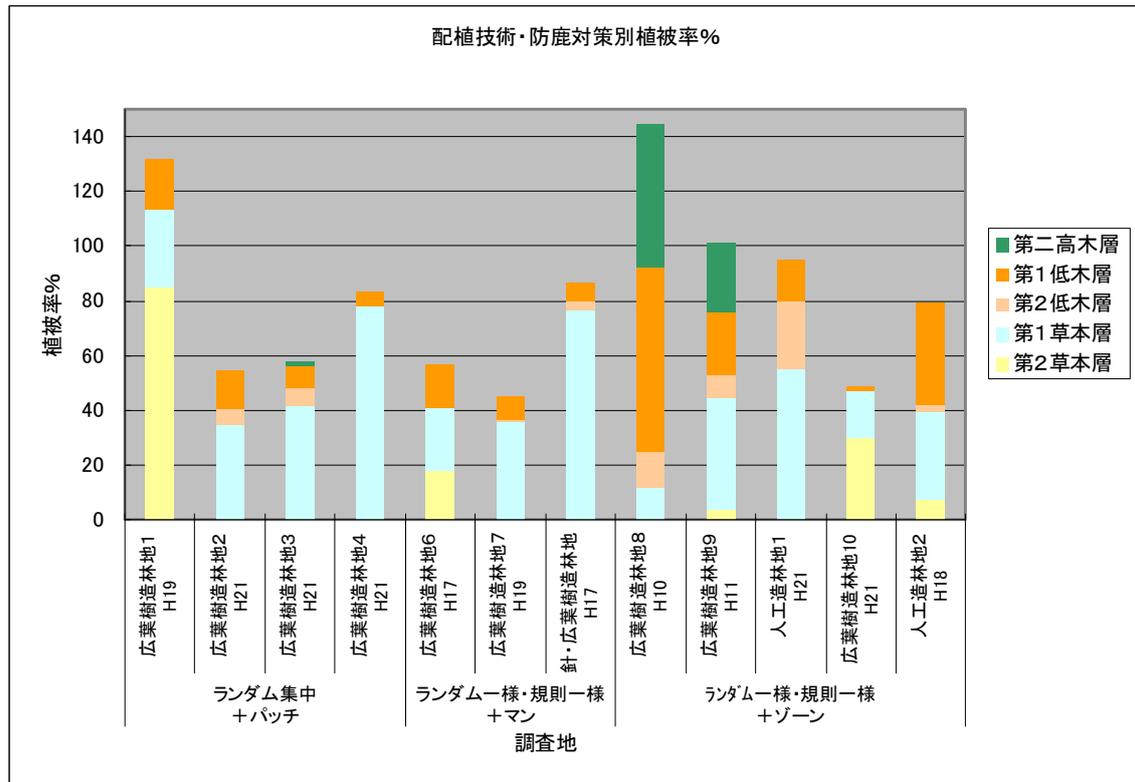
(1) 植生調査

①出現種



- ・ 定置枠あたりの平均出現種数の比較では、施工時期の違いを無視してもランダム集中配植+パッチ区において多様性が高く、その中でも植栽後3年を経過している広葉樹造林地1の多様性が最も高い。
- ・ 木本植栽種の種数では、ランダム集中配植において多様な導入種を採用している点を考慮する必要があるが、植栽後3年を経過した調査地においても導入種は欠落せずよく残っている。
- ・ 他の防鹿対策では、当初の導入種が獣害により欠落するケースが多い。
- ・ 導入種以外の出現種は、マンディフェンス区においてシカの不嗜好植物に偏り、ゾーンディフェンス区においても、シカの侵入を許した調査地では同様にシカの不嗜好植物が優占する。
- ・ ゾーンディフェンス区でもシカの侵入頻度が少なく、周辺森林ソースとの距離も近い調査地（人工造林地1）では、多様な森林要素の出現が認められている。

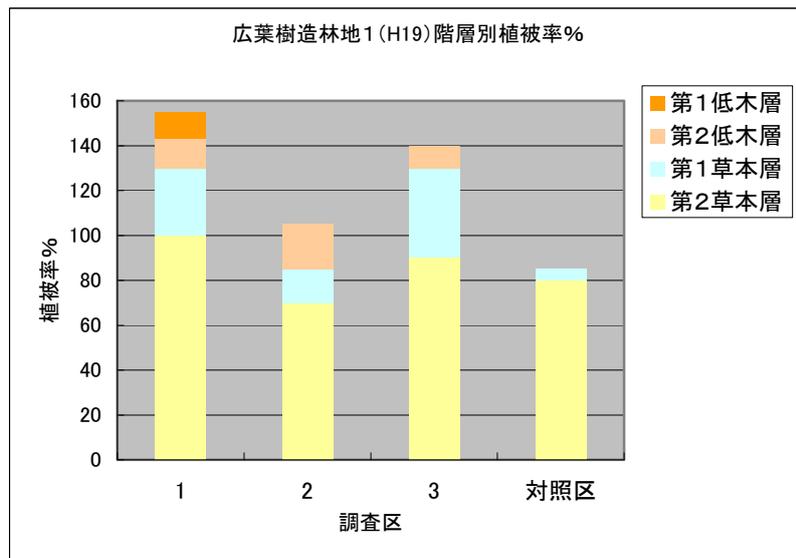
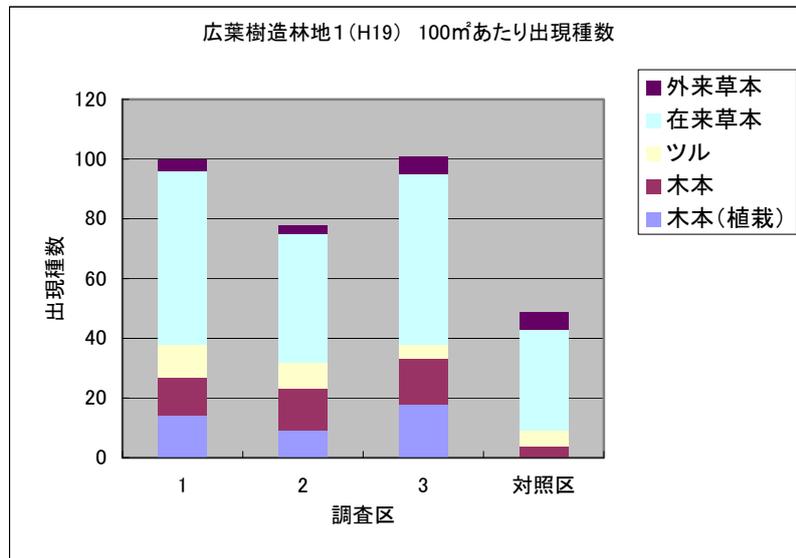
② 植被率



- ・ 林床（第1・第2草本層）に着目すると、ランダム集中配植+パッチ区で植栽後3年を経過した広葉樹造林地1で最も植被率が高く、出現種の多様性も高い。
- ・ マンディフェンス区では林床の植被度が高い条件区ほど、不嗜好植物であるイワヒメワラビの優占が顕著である。
- ・ ゾーンディフェンス区では、植栽より比較的長年月を経た条件区では林冠層が発達し、林床においてイワヒメワラビなど特定の不嗜好植物の優占は見られず、植被は貧弱で裸地化する傾向にある。

③パッチディフェンス区（広葉樹造林地1）における出現種と植被率

- ランダム集中配植＋パッチディフェンス区の中で最も植栽後の時間を経過した「広葉樹造林地1」における対策区と対照区との出現種数と植被率の比較は以下の通りである。



- 出現種数、植被率共に対策区は対照区を上回っている。
- 対照区では不嗜好植物のイワヒメワラビが優占し、他の出現種の植被度が小さいのに対して、対策区の林床植生は、特定の優占種が目立つ傾向は見られない。
- 対策区では種組成の多様性が高く、構造的にも森林植生としての発達段階にあることが伺える。



広葉樹造林地 1 (H19 施工)
ランダム集中配植パッチディフェンス



広葉樹造林地 1
対照区



広葉樹造林地 7 (H19 施工)
ランダム一様配植+マンディフェンス



針・広葉樹造林地 (H17 施工)
ランダム一様配植+マンディフェンス



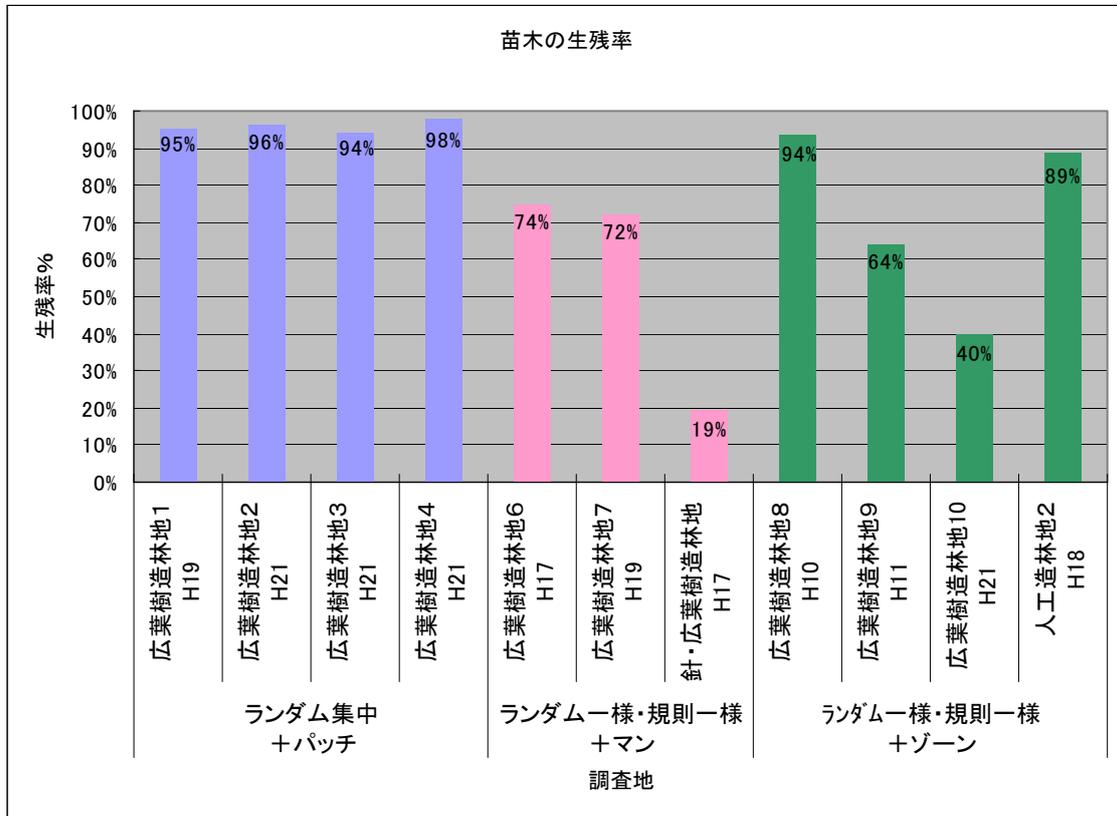
広葉樹造林地 8 (H10 施工)
ランダム一様配植+ゾーンディフェンス



広葉樹造林地 10 (H21 施工)
ランダム一様配植+ゾーンディフェンス

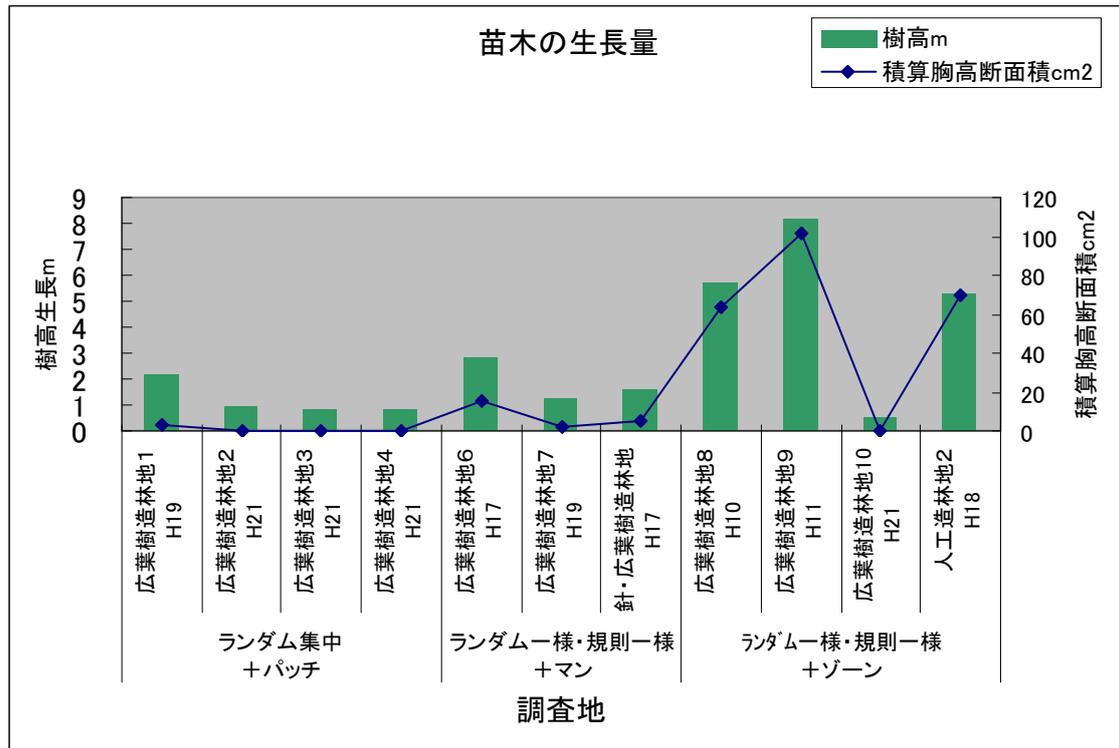
(2) 苗木調査

① 生残率



- ・ランダム集中配植+パッチ区における苗木の生残率はいずれも安定している。
- ・他条件区では苗木生残率のバラツキが大きい。
- ・苗木に対するシカによる食害が顕在化していない時期の植栽による調査地（広葉樹造林地 8）やディフェンスが機能している調査地（人工造林地 2）では、比較的高い生残率となっている。

②生長量



※ランダム集中配植+パッチディフェンス区、および広葉樹造林地 10 における導入時の苗木サイズは H0.8 m (設計規格) である。

※他の条件区における導入時の規格は不明である。

- ・苗木の樹高、および積算胸高断面積は植栽後の年数にほぼ比例する。
- ・平成 18 年以前の調査地では、苗木の導入時の規格が不明なため、生長量の比較は難しいが、平成 19 年以降の調査地で比較した場合、ランダム集中配植+パッチディフェンス区における生長が優位である。
- ・また、ランダム集中配植においては、当初より林床要素の低木種も導入しているが、他条件区では林冠要素のみであり、考慮する必要がある。

4. 試験施工の設計

(1) 試験施工の考え方

鳥獣被害地におけるランダム集中配植による森林再生技術は、鳥獣被害防止技術と一体の技術であり、別途宮川森林組合で取り組んでいる「新たな鳥獣被害防止技術の開発」と共同で技術開発を行う。

試験施工は、今回得られた知見に基づき森林再生技術と鳥獣被害防止技術を組み合わせた条件設定を行い、いくつかの条件区を設けた上で当面3年間を目処にモニタリングを行い、普遍性のある技術としての開発を目指す。

(2) 試験施工の位置

試験施工地は、大台町小滝字始神奥、標高1000m～1100mの伐採跡地で、特定鳥獣保護管理計画（三重県2007）によるとシカ生育密度は15頭/km²以上50頭/km²未満であり、伐採後25年を経過しているが、シカ食害により現在に至るまで植生が回復していない地域である。



(3) 試験施工の視点と条件区の設定

試験施工の視点より、次の3点に着目した条件区の設定を行う。

- ①ランダム集中配植の規則一様配植、ランダム一様配植に対する有効性
- ②ランダム集中配植の目標植生に対する有効性
- ③パッチディフェンスにおける適正サイズ・網高・支柱ピッチ・材質

- ・配植技術はランダム集中配植を標準として、同様の防鹿対策下でランダム一様配植、規則一様配植の条件区を設定する。
- ・目標植生については夏緑広葉樹林のほか、スギ植林の条件区を設定する。
- ・パッチディフェンスのサイズについては、これまでの施工事例で実績が多い100 m²を

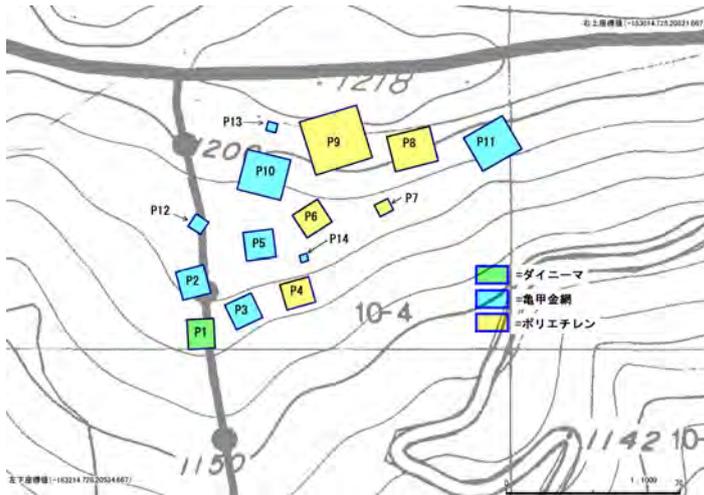
標準とし、支柱ピッチの関係で12m×12mとして、これを中心として大小のパッチによる条件区を設定する。

- パッチディフェンスの網高については、これまでの施工実績より網高1.8mを標準として、これより低い網高の条件区を設定する。
- パッチディフェンスの材質については、ポリエチレンネットを標準として、ポリエチレンに比較して高価だが軽く施工性のよいダイニーマ、安価な亀甲金網による条件区を設定する。
- 対照区は防鹿対策を行わずに植栽のみとし、また防鹿対策のみで植栽を実施しない条件区を設ける。

以上に基づき試験植栽の条件区を次のように設定する。

表 試験植栽条件区一覧（案）

| No. | サイズ | 網高 | 材質 | 目標植生 | 配植 |
|-------|---------|------|-------|------|--------|
| P 1 | 12m×12m | 1.8m | ダイニーマ | ブナ林 | ランダム集中 |
| P 2 | 12m×12m | 1.5m | 亀甲金網 | ブナ林 | ランダム集中 |
| P 3 | 12m×12m | 1.8m | 亀甲金網 | ブナ林 | ランダム一様 |
| P 4 | 12m×12m | 1.8m | PE | スギ植林 | ランダム集中 |
| P 5 | 12m×12m | 1.8m | 亀甲金網 | スギ植林 | 規則一様 |
| P 6 | 12m×12m | 1.5m | PE | なし | なし |
| P 7 | 6m×6m | 1.8m | PE | ブナ林 | ランダム集中 |
| P 8 | 18m×18m | 1.5m | PE | ブナ林 | ランダム一様 |
| P 9 | 24m×24m | 1.8m | PE | ブナ林 | ランダム集中 |
| P 1 0 | 18m×18m | 1.8m | 亀甲金網 | ブナ林 | ランダム集中 |
| P 1 1 | 18m×18m | 1.5m | 亀甲金網 | ブナ林 | ランダム集中 |
| P 1 2 | 6m×6m | 1.5m | 亀甲金網 | ブナ林 | ランダム集中 |
| P 1 3 | 4m×4m | 1.5m | 亀甲金網 | ブナ林 | ランダム集中 |
| P 1 4 | 3m×3m | 1.5m | 亀甲金網 | ブナ林 | ランダム集中 |
| 対照区 | — | — | — | ブナ林 | ランダム集中 |



条件区配置図



試験植栽地の状況 (H22.12 施工)
パッチディフェンスのみ設置、苗木植栽は未



試験植栽地の状況 (H22.12 施工)
パッチディフェンスのみ設置、苗木植栽は未



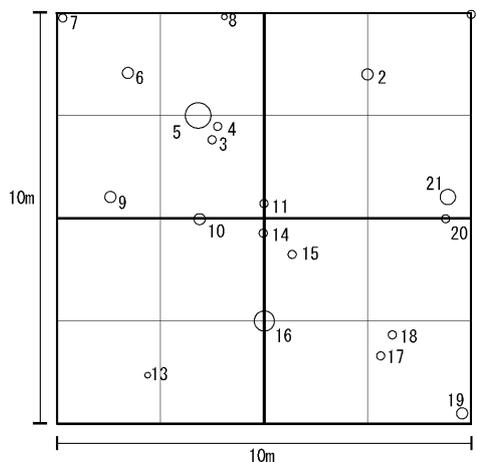
試験植栽地周辺における獣害状況 (H22.12)
伐採後 25 年を経過するが植生の回復が見られない



試験植栽地周辺における獣害状況 (H22.12)
同左

(4) モデル植生の調査

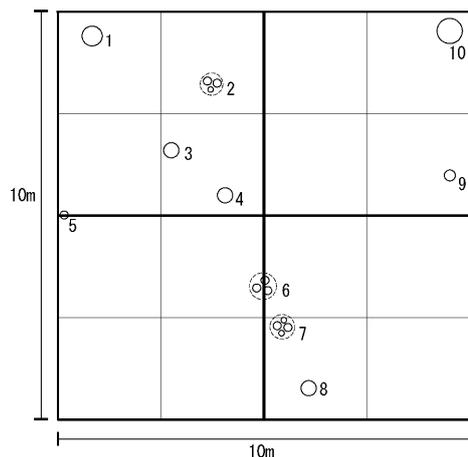
- ・試験施工における広葉樹造林の目標植生は、試験植栽地に直近のブナ群落、サワグルミ群落、ケヤキ群落を設計のモデルとした。
- ・モデル植生は、小地形的に試験植栽地と類似した斜面方位、傾斜の立地を選び、代表地点（100 m²/箇所標準）の毎木調査と分散図を作成した。
- ・モデル植生の成立している森林立地は、大きくブナ群落は残積～匍行性：土目の森林立地、サワグルミ群落、ケヤキ群落は崩積性：石目の森林立地に区分され、立地区分に従い調査を実施し、結果を設計・試験施工に反映させる。



地点8 分散図

| No. | 種名 | H(m) | DBH(cm) | 株立ち |
|-----|-----------|------|---------|-------|
| 1 | ヒメシャラ | 7 | 8.6 | 27 |
| 2 | トチノキ | 8.5 | 11.8 | 37 |
| 3 | オオイタヤメイゲツ | 5 | 6.7 | 21 |
| 4 | トチノキ | 7 | 6.0 | 19 |
| 5 | ブナ | 20 | 58.3 | 183 |
| 6 | ブナ | 8 | 13.4 | 42 |
| 7 | ブナ | 6 | 8.0 | 25 |
| 8 | ミズキ | 3 | 4.8 | 15 2本 |
| | | 2.5 | 3.2 | 10 2本 |
| 9 | シラキ | 4 | 13.1 | 41 |
| 10 | ヒメシャラ | 10 | 15.9 | 50 |
| 11 | オオイタヤメイゲツ | 5 | 6.4 | 20 |
| 12 | | | 0.0 | |
| 13 | ヤマツツジ | 3.5 | 4.1 | 13 |
| 14 | シキミ | 5 | 9.6 | 30 3本 |
| | | 3.5 | 7.0 | 22 3本 |
| | | 2.5 | 4.1 | 13 3本 |
| 15 | ヤマツツジ | 2.5 | 6.0 | 19 2本 |
| | | 3 | 5.1 | 16 2本 |
| 16 | ブナ | 17 | 32.2 | 101 |
| 17 | ヤマツツジ | 4 | 6.0 | 19 |
| 18 | オオイタヤメイゲツ | 5.5 | 7.3 | 23 |
| 19 | ヤマボウシ | 8 | 13.4 | 42 |
| 20 | シキミ | 3 | 5.7 | 18 |
| 21 | ブナ | 16 | 28.7 | 90 |

ブナ群落毎木調査と分散図の例



地点1 分散図

| No. | 種名 | H(m) | DBH(cm) | 株立ち |
|-----|-----------|------|---------|-------|
| 1 | トチノキ | 15 | 34.1 | 107 |
| 2 | チドリノキ | 5 | 5.7 | 18 3本 |
| | | 5 | 5.1 | 16 3本 |
| | | 4 | 4.1 | 13 3本 |
| 3 | アサガラ | 14 | 20.7 | 65 |
| 4 | アサガラ | 15 | 29.0 | 91 |
| 5 | サワフタギ | 5 | 6.4 | 20 |
| 6 | チドリノキ | 7 | 8.3 | 26 3本 |
| | | 8 | 9.9 | 31 3本 |
| | | 5 | 8.3 | 26 3本 |
| 7 | チドリノキ | 4 | 3.2 | 10 4本 |
| | | 5.5 | 6.0 | 19 4本 |
| | | 3 | 3.5 | 11 4本 |
| | | 7 | 7.3 | 23 4本 |
| 8 | アサガラ | 10 | 23.9 | 75 |
| 9 | オオイタヤメイゲツ | 10.5 | 15.0 | 47 |
| 10 | サワグルミ | 17 | 54.1 | 170 |

サワグルミ群落毎木調査と分散図の例

(5) モニタリングの設計

①モニタリングの項目

試験施工のモニタリング項目は、試験施工の視点をふまえて、植生調査、苗木の生育調査、獣害調査について実施する。

| 調査項目 | 調査内容 | 調査数量 | 調査時期 |
|-------|---|---|--------|
| ①植生調査 | ○植生にかかる項目 ・階層構造 ・階層ごとの全植被度％ ・階層ごとの出現種 ・出現種ごとの植被度％ ○森林立地にかかる項目 ・方位 ・傾斜 ・地質：残積土・匍行土・崩積土 ・土壌：石目・土目・粘土 | ・条件区ごとに1地点定置枠を設定。 ・定置枠面積 100 m ² ・100 m ² に満たないパッチ（条件区）についてはパッチ面積を定置枠とする。 | 夏期 1 回 |
| ②苗木調査 | ・生残率％ ・樹高m ・DBHcm | ・定置枠内に植栽された苗木の全数 | 秋期 1 回 |
| ③獣害調査 | ・はみ跡調査 | ・全パッチおよび対照地 | 秋期 1 回 |
| | ・糞粒調査 | ・全パッチを含む適当な広がり のエリア | 年 4 回 |

②モニタリングのスケジュール

モニタリングは最低3年間を予定し、そのスケジュールは以下の通りとする。

平成23年 ●▶ 平成24年 ●●●●●●●●●●▶ 平成25年 ●●●●▶ ?

| | | | |
|-------------------------|-----------|---|-----------------------------|
| ①植生調査 ②苗木調査 ③獣害調査 | | | 課題を受けて必要に応じて継続してモニタリング設計、実施 |
| 1年目のとりまとめ | 2年目のとりまとめ | <ul style="list-style-type: none"> ・3年間のとりまとめと調査結果の考察評価 ・ランダム集中配植、パッチディフェンスについて、普遍的森林再生技術としてとりまとめ ・課題の整理 | |

モニタリングのスケジュール

**課題 2-3 森林生態系における生態系許容限界密度指標を用いた野生動物管理技術の開発
(復元ポテンシャルの指標化と優先性判断技術の開発)**

技術開発主体 東京農工大学、宇都宮大学、栃木県

担当責任者 戸田浩人

I 事業計画と目的

森林生態系を復元するためには広域を対象とし、かつ長期間の時間が必要であり、その達成には捕獲・防除と合わせた効率的な技術投入が必要である。本事業では森林生態系復元にむけて、生態系許容限界密度指標 (ELAC) を用いて、森林生態系へのインパクトの大きさ、脆弱性、復元の可能性とレベルの評価を行い、最終的には復元のポテンシャルマップを描き、復元優先度と手法の意思決定の手助けとなる技術を開発する (図 1)。

当面の課題として、①**奥日光での ELAC 構築**：シカによる森林・自然生態系への被害が甚大である奥日光において、シカ密度が「高」・「中」・「低」の地域で植物群落 (特に下層植生のササやシカ不嗜好性植物) の種組成と構造、シカ食性の変遷、小動物 (特にアリや土壤動物) 群集の多様性、土壌の有機物の分解や理化学性、林床被覆と土壌浸食量の相違とこれらの関連性を把握し、生態系復元への脆弱性・不可逆性を指標化する (図 2)。②**ELAC 操作実験**：奥日光から近くシカの密度が高まり森林・林業への被害が広がりつつある東京農工大フィールドミュージアム (FM) 草木 (群馬県みどり市) において、シカ防除柵の有無が森林生態系に及ぼす影響と被害拡大と復元過程での上述の指標の変化を明らかにし、復元対策の優先度・タイミングを評価する技術につなげる。

II 結果と考察

1. 奥日光での ELAC 構築

(1) 植生の指標

1) 地域的な植生構造の差異

シカ密度が「高」・「中」・「低」の地域 (以降、コアサイト) (図 3) において、樹皮剥ぎなどの被害状況とともに、森林植生の構造・種組成を比較した。3 地域で共通して樹皮剥ぎや食痕がみられ、程度の差はあっても低木層の植被率が低下した。「低～中」にかけて、樹木の葉群高が上がり、下層植生のササの桿高、草本層の植被率・種数が低下するとともに、低木と小高木の木本種数が減少した。「中～高」においては、ササが衰退し、シカの不嗜好性植物の繁茂、非森林性植物の侵入がみられた (図 4、図 5)。ササが衰退することで小型草本の被度が増加する場所と、裸地化して土壌侵食が生じる場所が出現してくる (防除技術・ハザードマップ作製を参照)。

2) 時間的变化

1990 年代前半の奥日光における植生調査プロットと同一地点を再調査し、シカの密度変化履歴との対応を検討した。さらに文献資料から、1970 年代まで遡り、種組成の変化を解析した。1990 年代から現在で目立って消失した種は少なく、多くのプロットで下層植生 (草本層) の出現種数が増加していた。長谷川 (2008) によれば 1970 年代後半から奥日光地域では、高茎草

本や低木植物が減少しており、シカ嗜好性種は 1990 年代後半の調査時点ですでに少なくなっていたと推察される。また、ササの種による減少程度を比較すると、スズタケ>クマイザサ>ミヤコザサとなり、桿の分岐高や入替り、積雪耐性などの違いにより、食害への反応が異なった。奥日光において、ササは桿高、被度、ササ衰退程度による不嗜好性草本の侵入など、シカの密度やその履歴を見る、キーストーン種であるといえる。そこで、本事業では後述のササ被度分布およびバイオマス調査を実施した。

3) 防鹿柵の効果

シカ密度「高」地域にあり、沖積地に成立したササ林床のハルニレ林で、2000 年以降に設置された防鹿柵設置のタイミングによる植生回復の違いを比較した。ミヤコザサとクマイザサ林床でササ枯死前の柵を設置したプロットでは、ササが完全に回復し、不嗜好性植物の繁茂はみられず、低木性樹種も残存していた。ササ枯死後に柵を設置したプロットでは、ササはまったく回復せず不嗜好性植物のシロヨメナが繁茂していた。これらと柵が設置されていないコアサイトのプロットでは、シロヨメナの被度も少なく裸地化が進行していた。したがって、ササが完全に衰退してから防鹿柵を設置しても、本来の自然植生の速やかな回復は困難であり、放置すればさらに土壌侵食の可能性もあることが示唆された。今後、ササが衰退する直前に小流域レベルで防鹿柵設置し、内外を比較しササ・バイオマスの増大・減少過程が森林生態系に及ぼす影響を把握し、生態系の復元を明らかにしていく必要がある。

4) シカの食性

シカ密度と植生の変化に関して、1) ~3) の関連性が見出せた。シカと植生との関係において、日光のシカにとってササは冬場の重要な餌資源であるとされているが、奥日光のように衰退が激しい場合、利用割合が低下すると指摘されている。そこで、奥日光(多雪・シカ密度「高」)および表日光(少雪・シカ密度「低」)において、1996~2009 年にかけて冬期に有害捕獲されたシカから採集された第一胃内容物をサンプルとし、シカの食性の年変化を調べた。地域と年ごとに平均の食物構成比をみると、比較的高い割合を占めたのは、ササの葉、枯葉、枝・樹皮であった。ササの葉の出現割合は奥日光で 1996 年から 1999 年にかけて著しく増加し、高い割合を保っていたが他の年度に比べて積雪量の多かった 2005 年のみ激減した。一方、表日光では 1996 年以降ゆるやかな増加傾向を示したが、奥日光と同様に 2005 年のみ一時的に激減していた(図6)。枝・樹皮については、ササの葉と相補的な変動を示した。調査期間の積雪深および個体数調査データとの関係を一般化線形モデルでみると、ササの葉の出現割合は積雪深から負の影響、枝・樹皮の出現割合はシカの生息密度と積雪深から正の影響を受けていた。以上のように、ササがかなり衰退した奥日光においても、ササの葉はシカにとって冬期の重要な餌資源となっており、ササが利用できない積雪深やシカ密度の上昇によって、枝・樹皮を代替餌としていたと考えられた。今後、さらにササのかわりにススキが繁茂し、奥日光に生息するシカの越冬地の一つである足尾地域における食性の変遷も同様の手法で明らかにしていく必要がある。

(2) 土壌の指標

1) 土壌小動物

①シカ密度と土壌小動物： 奥日光のコアサイトおよびシカが低密度である FM 草木の広葉

樹林において、アリ密度を比較した。アリ類の採集はベイトトラップ（餌誘引法）で、餌は粉チーズを用いた。アリの採集頻度・採集個体数ともに、シカ密度「高」「中」で低い値を示した。また、FM 草木においては、薪炭林として使用された履歴がある地点では個体数が少ない傾向がみられた（図7）。薪炭林跡地よりもシカ密度「高」「中」でアリの密度は低く、人為による伐採・攪乱の履歴よりも、下層植生の状況が強く影響することが示唆された。しかし、今回の調査では、コアサイト間からさらに FM 草木という広い範囲で、シカ密度だけでなく地点間の標高や温度などの環境条件も異なることから、一概にシカ密度の影響と断定はできない。なお、ベイトトラップ法によるアリ類の調査が、簡易な森林の土壌表層生態系への影響を把握する手段として使用できることがわかった。

②植生の変遷と土壌小動物： 前項の（1）の2）で調査した1990年代前半の奥日光における植生調査プロットと同一地点の17箇所について、①のベイトトラップ法を用いてアリの採集頻度を調査した。地域は奥日光のみであり、標高や温度などの環境条件は同等と考えてよい。アリの採集頻度は、1箇所で9/10と高かったものの、その他は1~6/10であった（図8）。アリの採集頻度が高い地点は、下層植生（草本層）の出現種数の増加とおおむね同じであり、ごく地上に近い植生の影響が大きいと考えられた。

2) 土壌微生物

シカによる植生への影響が、土壌表層の有機物組成や有機物分解に対してどのように反応するか、温室効果ガスでもある二酸化炭素（CO₂）の地表面フラックス（以降、土壌呼吸）をクローズド・チャンバー法で調査した。土壌呼吸は、植物の根呼吸と土壌有機物の分解にともなう土壌微生物呼吸が合計された値であるが、植物根が健全であればより土壌微生物呼吸も活発である。土壌呼吸とともに、土壌呼吸に影響する土壌温度および土壌水分の季節変化も把握した。土壌温度はシカ密度「高」と「中」が「低」よりも夏期に高く（図9）、土壌水分は「高」で「中」や「低」より低い傾向であった（図10）。下層植生の衰退により陽光が侵入し、特に夏期の地表面温度が上がるとともに、地表面からの蒸発が盛んであったためと考えられる。これらの環境変化にともない、土壌呼吸は、シカ密度「低」>「中」>「高」の順に大きく、特に夏から秋にかけて差が顕著となり、地表面温度が上昇すると土壌呼吸は活発になるという理論に反していた（図11）。これは、下層植生衰退による根呼吸および地上部・地下部リター供給の減少が、土壌呼吸のソースである易分解性有機物の供給を低下させ、夏期の土壌水分低下による活性の抑制とともに影響していると考えられた。

3) 土壌調査

①土壌断面・化学性： 奥日光の各コアサイトにおける最も典型的な土壌断面は、顕著な違いはないものの、A層厚がシカ密度「低」>「中」「高」となり、その土色も「低」で7.5YR2/1、「中」で7.5YR3/2、「高」で7.5YR3/1となり「低」で「中」「高」よりも腐食含量が富んでいた（図12）。これは、下層植生（特にササ）の衰退による有機物供給の絶対量が減少したためと考えられる。土壌の化学性を、シカ密度「高」では裸地化が進んでいる場所（A）と平地でシロヨメナが優占している場所（B）、「中」では桿高の低いササが優占している場所（C）と砂礫が多くシロヨメナが点在している場所（D）で分けて比較したところ、表層土壌のpH(H₂O)はA・Bで4.2~4.6<C・Dで5.1~5.7、それに付随して交換性塩基もA・B<C・D

となり、地域差が下層植生の有無や質の違いよりも大きかった（図 13）。しかし、土壌の全Cや全N量は、 $A \cdot D < B \cdot C$ と下層植生のバイオマスで変化し、土壌断面の土色判定の結果と一致した（図 13）。以上のような、下層植生の衰退による有機物の減少が、前述の土壌呼吸速度の低下をもたらしているといえる。

②土壌硬度： 長谷川式の土壌貫入計で表層土壌の硬さを、シカ密度「高」の比較的平坦な地域において防鹿柵の内外で比較した。防鹿柵の内が外よりも柔らかく、柵外ではシカの踏圧によって土壌表層が固くなっていた。しかし、柵外であっても植物根の成長が阻害されるほど固結していることはなかった。また、斜面においては、シカが移動することによって表層土壌を攪乱している場合も観察され、土壌硬度をシカ密度の指標とするには、いくつかの条件設定が必要であると考えられる。今後、さまざまな立地条件において、シカによる植生の衰退地に防鹿柵を設置する前後の土壌硬度を追跡する必要がある。

4) 土壌侵食

土壌侵食は森林生態系にとって、極限に値する破壊であり、そのハザードマップを描くことが防除技術の第一歩であるため、土壌侵食調査の詳細は本事業の第1課題「防除技術」で詳述する。

(3) ELACの統合

植生と土壌のそれぞれで現在までに得られた指標に基づき、ELACを統合した模式図を描いた（図 14：抜粋）。奥日光周辺の生態系復元が比較的容易な、すなわち可逆的な破壊である範囲として、最もわかりやすい指標はササ消滅の有無である。したがって、初歩的な生態系復元ポテンシャル・マップとして、キーストーン種のササのバイオマスを地図化する必要がある。また、図 14 は過去の状態と照らした指標も含まれるが、ほとんどが現状の指標となりうるものから判断しており、生態系のある断面を切り取っているにすぎず、物質循環などの相互関係や、影響の履歴効果（時間の軸）が明確ではない。今後、技術開発で生態系要素の相互関係や復元時間について明らかにする、中・長期的なモニタリング試験の設計が不可欠である。

2. ELAC操作実験

奥日光でのELAC構築を受け、FM草木の落葉広葉樹の小流域全体を防鹿柵で囲い、隣接する外部と比較できる生態系復元のモニタリングサイトを設置した（図 15）。このモニタリングサイトの初期的状態を奥日光のELACと比較するため、キーストーン種であるササ類のバイオマスを求める推定式を以下のように構築した。

日光からFM草木にかけて、さまざまな食害状態のミヤコザサの立地で試料を採取した。各地で $1 \times 1 \text{m}$ コドラートのササ桿数 n を測定、無作為に10本抽出し平均桿長 L を求め、総桿長を nL として算出した。コドラート内 $50 \times 50 \text{cm}$ のササ地上部を全て刈り取り、部位別に分け、さらにその縦 $20 \times$ 横 $20 \times$ 深 20cm のササ地下部を掘り取って乾重量を測定し、 1m^2 あたりのバイオマスを算出した。総桿長とササ葉バイオマス、桿バイオマス、これらを合わせたササ地上部バイオマスとの間には、強い相関が得られ累乗回帰式で推定が可能であった（図 16）。地下部を含めたササ全体のバイオマスでは決定係数が下がり、地下部のバイオマス推定は、地

上部の情報だけでは困難で、根層厚などを加味する必要があると思われる。ELACの指標としては、ササ地上部バイオマスが桿密度と平均桿長を測ることで、非破壊でも精度よく推定可能となった。

上述の方法で、奥日光コアサイトのうちシカ密度「高」の地域を中心に、道周りを中心として約100mごとに周辺部の代表的地点でコドラート調査を行い、ササ・バイオマスの分布図を描いた(図17)。これは、初歩的段階であるが、生態系復元のポテンシャル・マップとなる。ササが消失したエリアでは防鹿柵などでシカ密度が低下しても、自然にまかせた元の生態系復元は困難である。シカ密度の低下のみで生態系復元を図るとき、ササがわずかでもあれば($0 < DW \leq 1.0 \text{Mg/ha}$)可能性があるものの復元時間は不明であり、 $DW > 1.0 \text{Mg/ha}$ では比較的早期に復元可能なエリアであると考えられる。なお、FM草木のモニタリングサイトは、およそ 0.2Mg/ha であり、柵の設置でササの回復が起きると予測され、中・長期的なモニタリング試験地として適している。

III 今後の展開

本事業の捕獲技術における奥日光のシカ移動から、ELACの適用範囲を拡大し足尾地域での植生・食性を加味する。本事業の防除技術のハザード・マップと合わせ、現時点の状況図のみならず、捕獲によるシカ密度の低下や防鹿柵などの対策で、シカの動きや下層植生および生態系への影響が時空間的にどう変動するか、シミュレーションモデルの構築をELACのパラメータから検討する。そのパラメータの精度を上げるため、FM草木の操作実験モニタリングサイトで、シカ食害による生態系の物質循環など要素の相互関係への影響を明らかにして、対策の科学的根拠を蓄積していく。



図1 森林生態系における生態系許容限界密度指標（ELAC）を用いた野生動物管理技術の開発 <全体像>

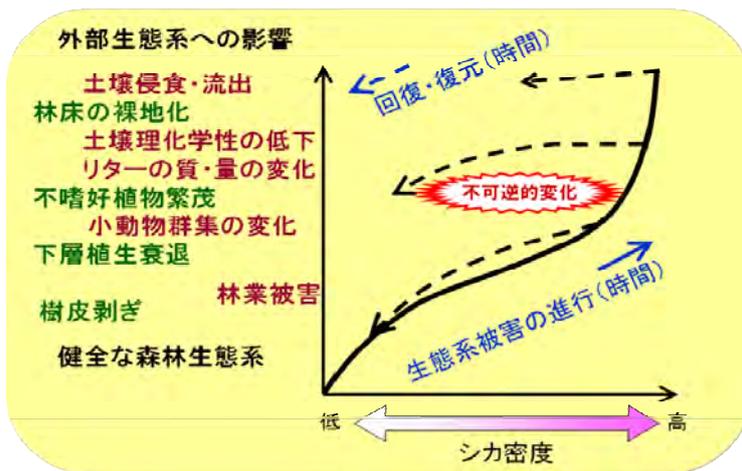


図2 森林生態系復元ポテンシャルの模式図

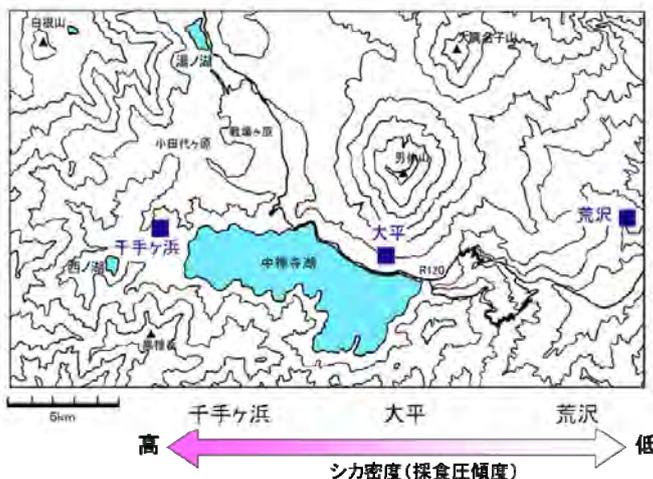


図3 奥日光の調査コアサイト

千手ヶ浜付近：

シカ密度・高 7～8 頭/km²

大平付近：

シカ密度・中 5～6 頭/km²

荒沢付近：

シカ密度・低 3～4 頭/km²

※シカ頭数は2009年夏秋期における区画法データからの推定図による

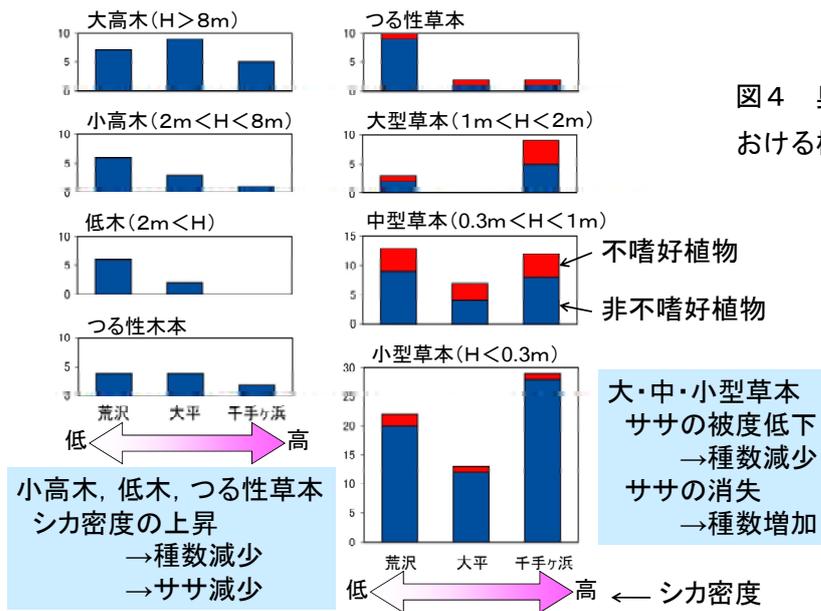


図4 奥日光の調査コアサイトにおける植生構造の変化

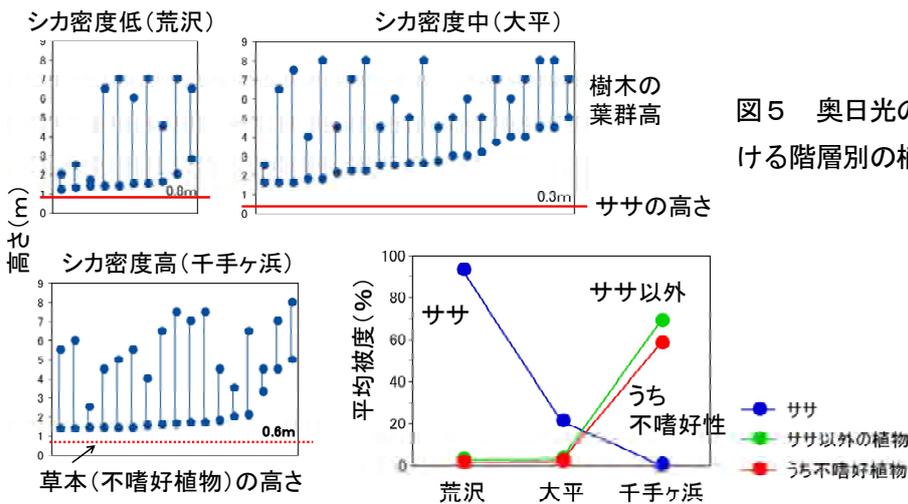


図5 奥日光の調査コアサイトにおける階層別の植生の変化

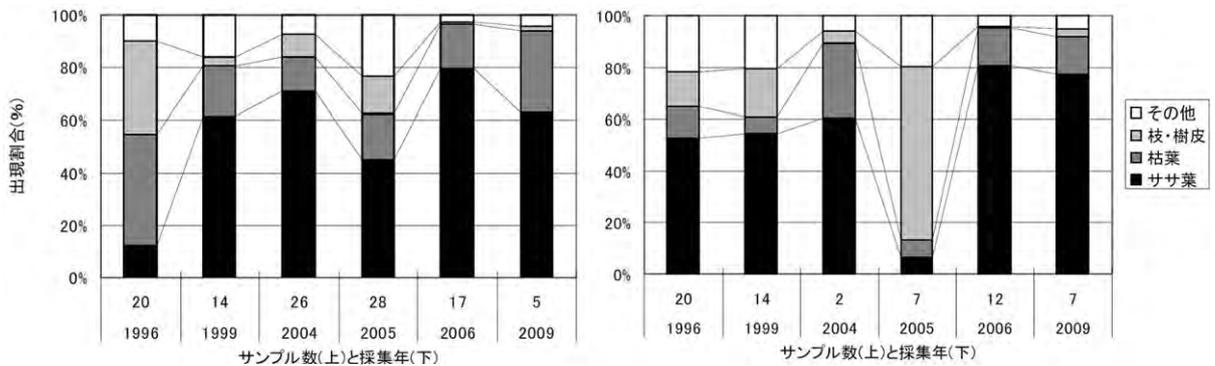


図6 奥日光(左)および表日光(右)の冬期におけるシカの主要な第一胃内容物構成の変遷

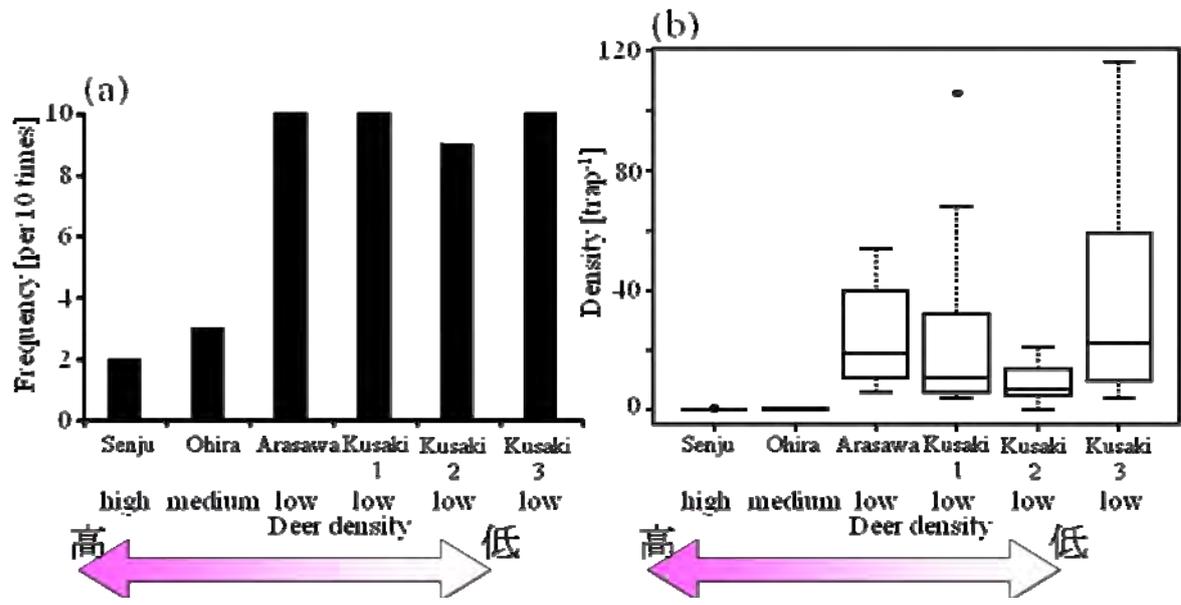


図7 奥日光コアサイトおよびFM 草木におけるアリ採集頻度 (a) と個体数密度 (b)

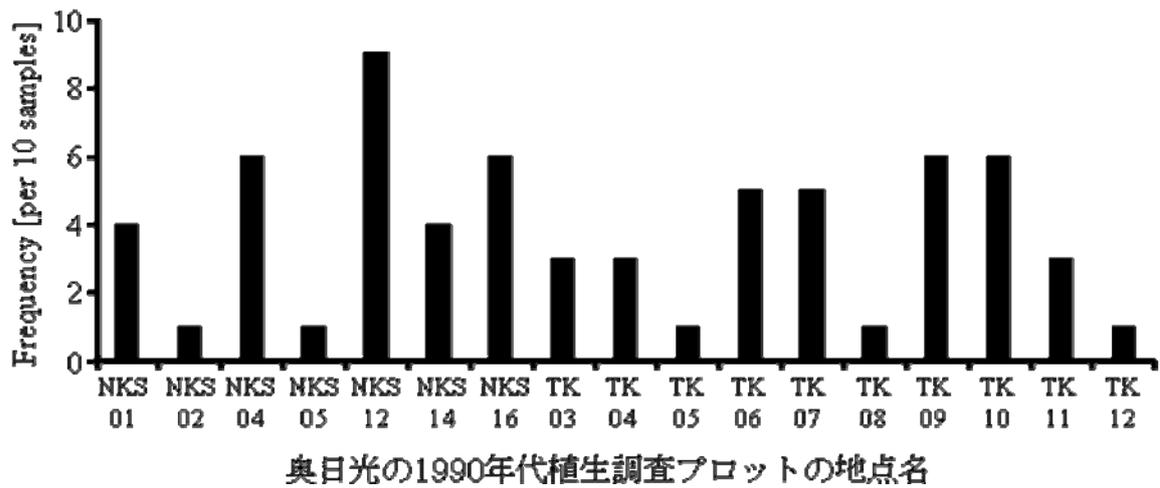


図8 奥日光の植生調査プロットにおけるアリ採集頻度

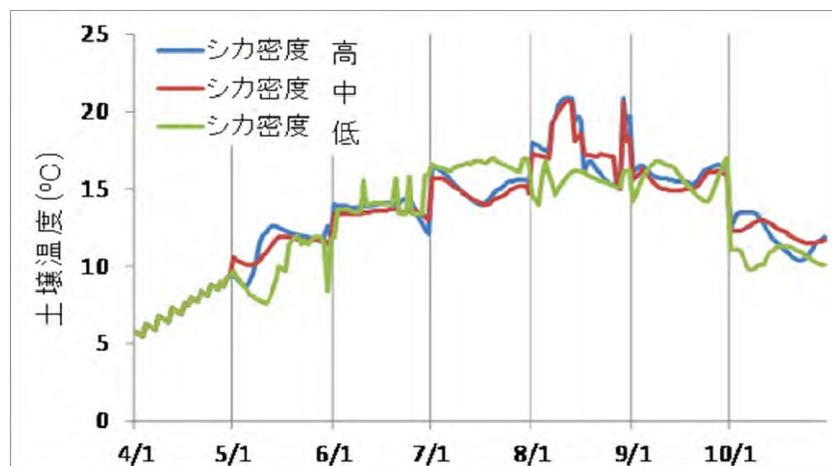


図9 奥日光コアサイトにおける土壌温度の季節変化

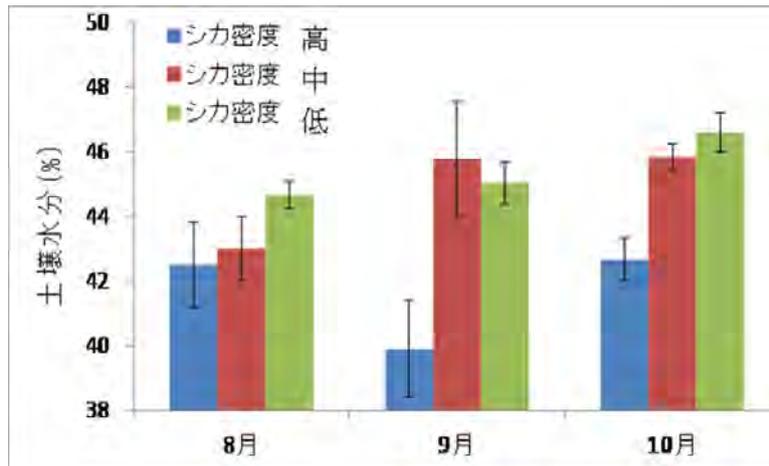


図10 奥日光コアサイトの夏期における土壌水分の変化

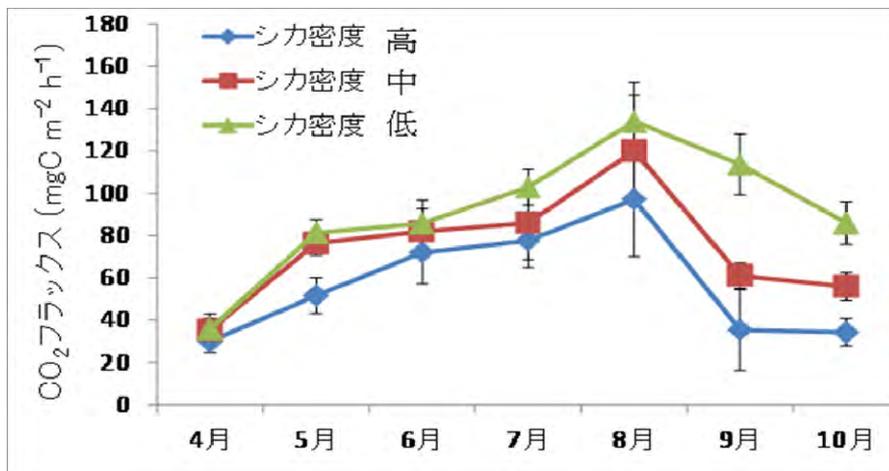


図11 奥日光コアサイトにおける土壌呼吸の季節変化



シカ密度「高」 (千手ヶ浜)

「中」 (大平)

「低」 (荒沢)

図12 奥日光コアサイトにおける土壌断面

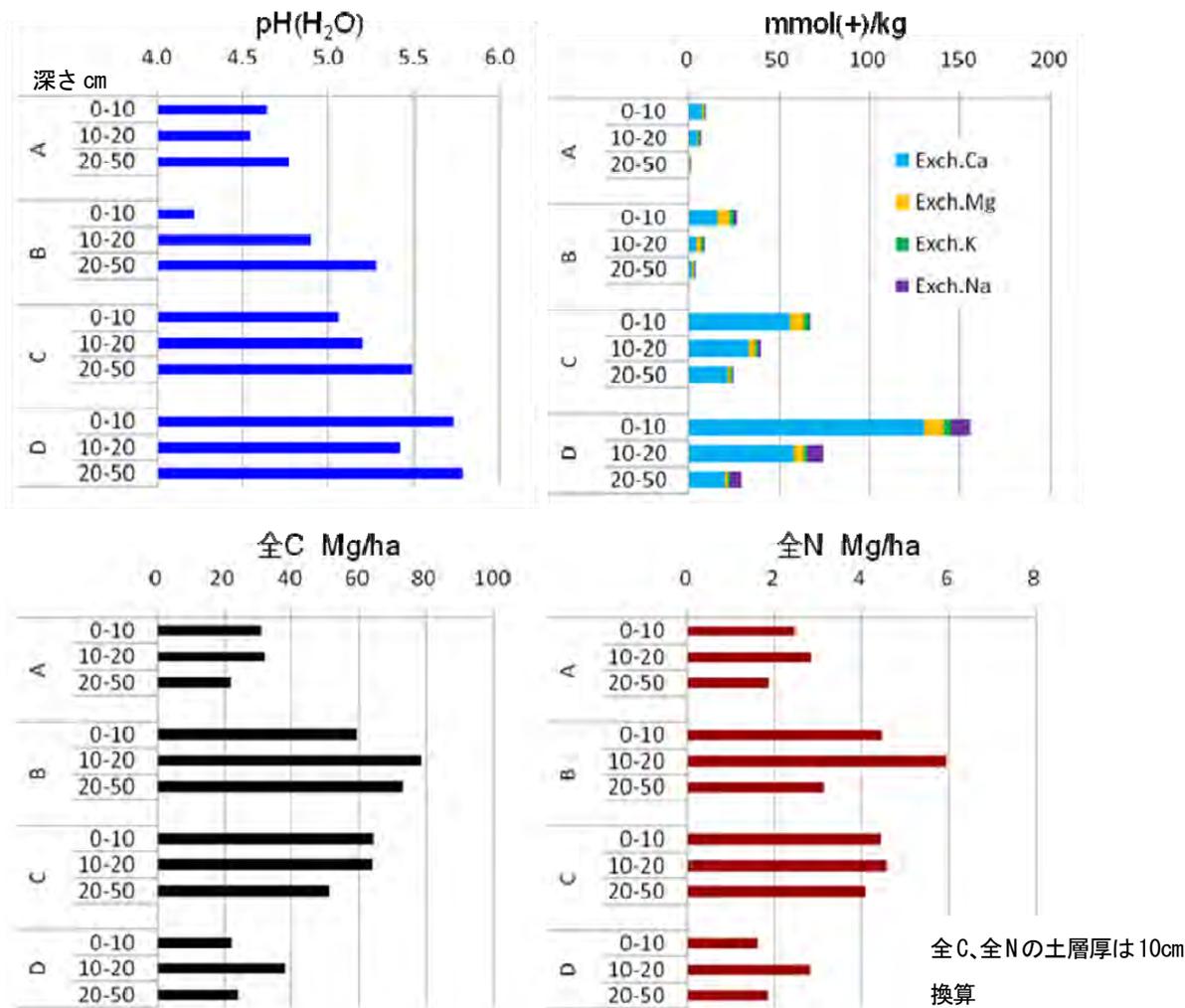


図 13 奥日光コアサイトにおける土壌化学性

シカ密度「高」：裸地 (A)、シロヨメナ優占 (B) 「中」：ササ優占 (C)、シロヨメナ点在 (D)

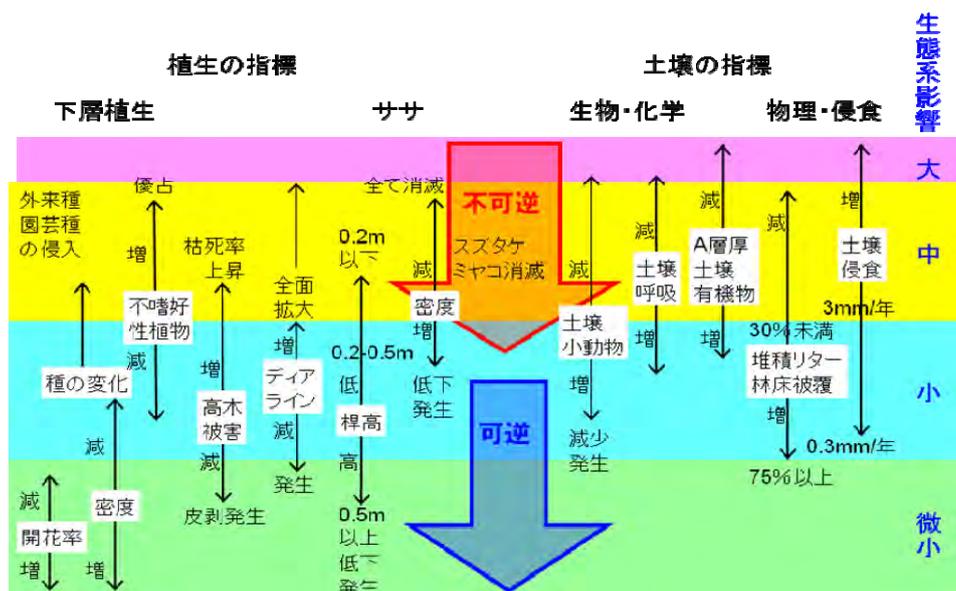


図 14 奥日光におけるELACの模式図 (抜粋)

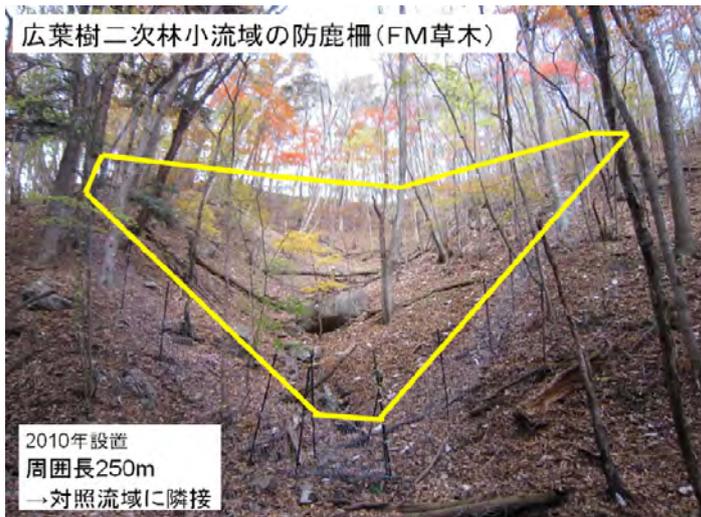


図15 FM草木の防鹿柵を設置した広葉樹二次林の小流域試験地

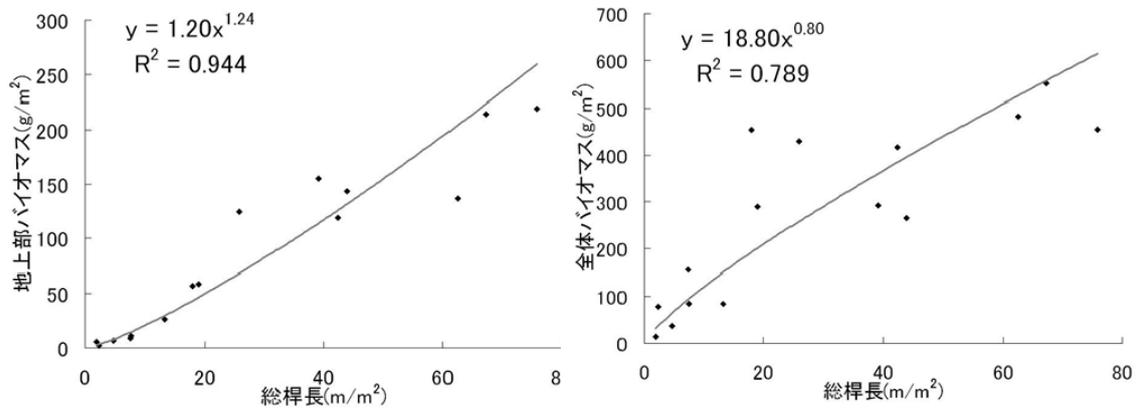


図16 ササの地上部バイオマス (左) および全体バイオマス (右) と総桿長の関係

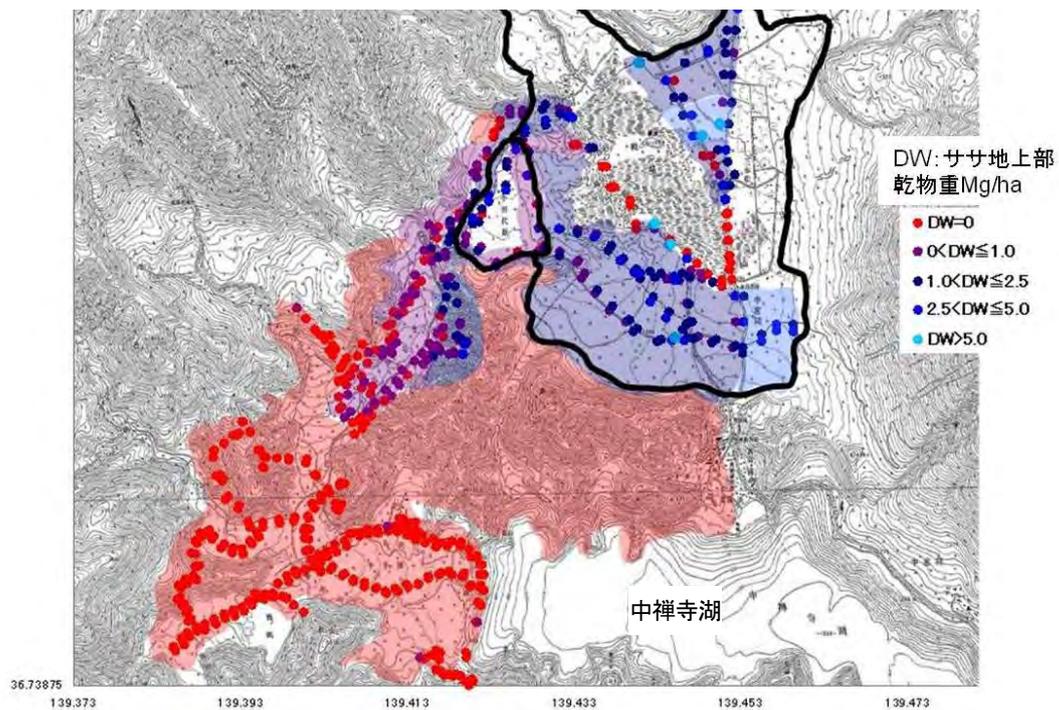


図17 奥日光のシカ密度「高」地域におけるササ地上部バイオマスの分布図

