

Ⅱ 個別技術開発報告

課題 1 新たな鳥獣被害防止技術の開発

課題 1－1 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
共同開発団体 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）

神奈川県丹沢山地のブナなど落葉広葉樹を主体とする森林生態系は、1990年代以降、各種の複合要因によりシカが過密化し下層植生の劣化、土壌流出の拡大などが発生し問題化している。神奈川県は2003年より生態系劣化を食い止めるためニホンジカ管理事業を刷新し、さらに2007年には総合的な自然環境調査の結果を踏まえて自然再生を旗印にシカ保護管理事業と連動した森林生態系復元事業のさらなる強化を進めている。その結果、森林生態系の復元の兆しは一部の地域で見られる一方、山岳地における過密化の解消や中標高域における森林管理とシカ管理の一体化の必要性等の課題も明らかになってきている。このため、各種事業におけるモニタリングデータなどを活用して、早期に的確な対策実施のための判断材料を開発するとともに、試験段階の植生・土壌などの各種再生復元技術の評価と総合化が求められている。また、シカ過密化の早期解消には、現行の組猟によるシカ捕獲に加えて急峻でアクセスの悪い山岳地の過密化地区における効率的なシカ捕獲技術開発が求められている（図1）。そこで本事業では、森林とシカの一体的管理を行うためのハザードマップや意思決定支援システムの試作を行った。

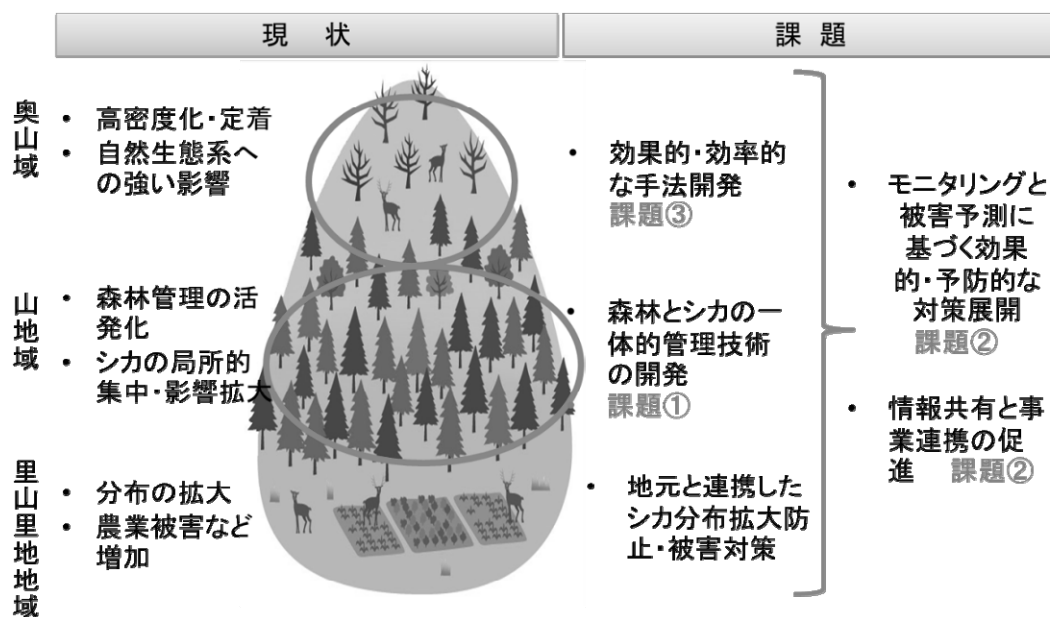


図1. 神奈川県の現状と課題

結果

丹沢山地のシカ保護管理など各種事業におけるモニタリングデータなどを活用して、簡易なシカ密度指標および植生影響指標を検討し、その空間分布を推定するハザードマップとして図化した。また、各種情報を共有し適切な対策の選択を可能とする意思決定支援システムの開発を試みた。

シカの森林生態系に対する被害は、丹沢山地におけるこれまでの知見、調査からシカ密度やその累積・持続が組見合わされた植生への影響は、植被率や不嗜好性植物、群落高の指標により表わされ、その変化は不可逆的であると考えられた。植生定点モニタリング調査データにおけるシカの累積圧を示す植生劣化度により下層植生・不嗜好性植物の植被率は変化しており、ササの群落高についてもシカ密度が高い個所では群落高が低い傾向を示した。また、シカの影響の程度は植生タイプにより異なっていることも示唆された。予備的な解析ではあるが以上の結果を踏まえてシカの被害をまとめると、被害は「相対シカ密度」、「累積圧」、「環境の脆弱性」の要因が関係していると考えられたため

(図2)、ハザードマップはそれらの指標を組み合わせる試作した(図3)。ハザードマップは、丹沢大山地域の東側にあたる東丹沢を対象とし、集計単位は管理ユニットの一つである細地区とした。試作したハザードマップである被害強度指数(DI)は相対シカ密度であるシカ影響度指数

(DII)と生息環境脆弱性

(VI)から評価しており、値の高い地域が被害の高いと推定された地域である(図4)。檜洞丸周辺、丹沢山や堂平周辺等は実際シカの影響による被害が顕著な地域のDIが高い値を示しており、比較的有用なマップであると考えられた。

シカと森林に関して早期に的確な事業を実施するためには、シカと森林に関しての様々な情報を共有し、効果的な対策を講じる必要がある。そこでシカと森林に関する情報の共有を目的とした意思決定支援システムを試作した。意思決定支援システムは、GISソフト

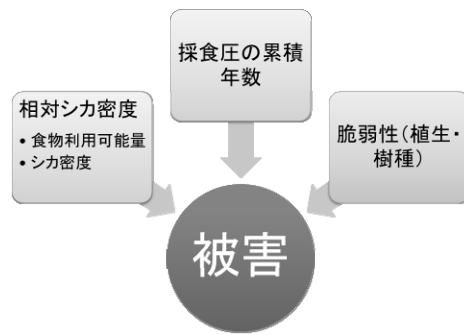


図2. シカと森林被害との要因関係

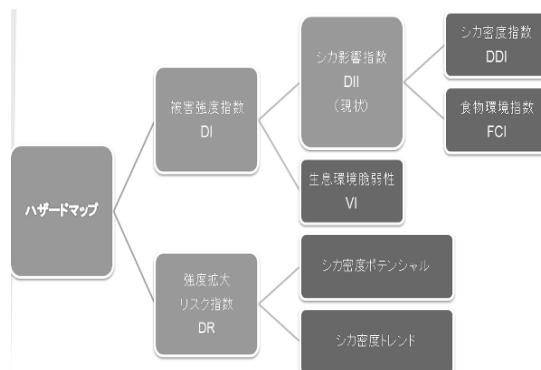


図3. ハザードマップ作成のフロー

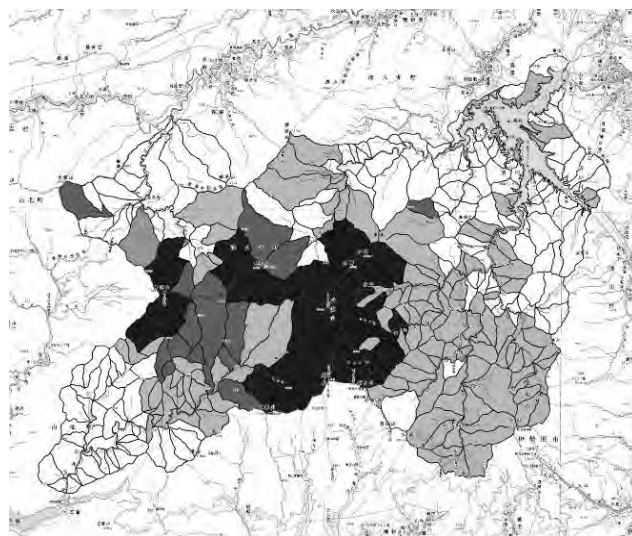


図4. 被害強度指数 (DI)

黒：高い値（被害大）、白：低い値（被害小）

ウェア上で利用可能な森林とシカに関する情報を集約した統合型 GIS データベースとデータベースを活用するために GIS ソフトウェアに組み込んだ機能から構成されている。GIS ソフトウェア上で利用できる機能としてニーズがあったのは、シカの保護管理と森林管理に関連する部署からの聞き取りの結果、地図表示機能、台帳出力機能、検索機能の3つであった。地図表示機能とは、指定した単位で自由に表示したいデータを地図として印刷、もしくは画像データとして出力できる機能である（図5）。台帳出力機能とは、森林管理、シカ管理の計画策定や意思決定において基本的情報を集約した台帳を指定した単位で出力できる機能である（図6）。検索機能は地図表示機能と台帳出力機能の補助的な機能として GIS データベースの検索が行える機能として実装した。シカ・森林統合型 GIS データベースを用いた意思決定支援システムは、シカと森林に関連する事業を持つ関係者間で集約された情報を理解・共有し、的確な事業計画や対策の選定に役立つツールであると考えられた。

以上に示したハザードマップや意思決定支援システムは、シカ・森林に関する情報を GIS データベースとして管理しているためわかりやすく情報を表現することや情報間の関係を分析することができる。ただし、本システムの利用にあたっては、シカ管理や森林管理に関する情報は、事業計画や事業実施にともなって毎年変化するので、定期的にデータベースを更新するための仕組みを、業務に組み込むことが不可欠である。

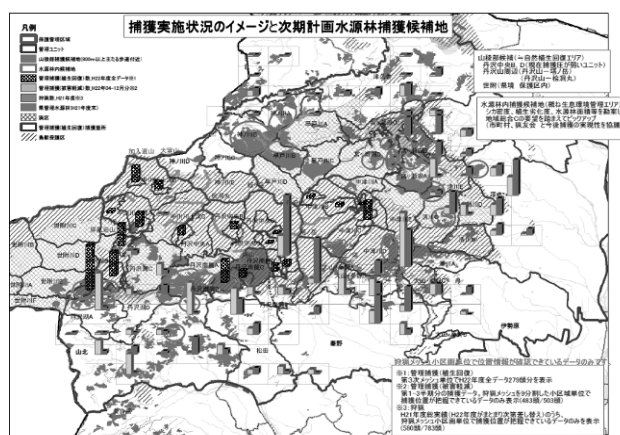


図 5. 意思決定支援システムにおける地図出力の例

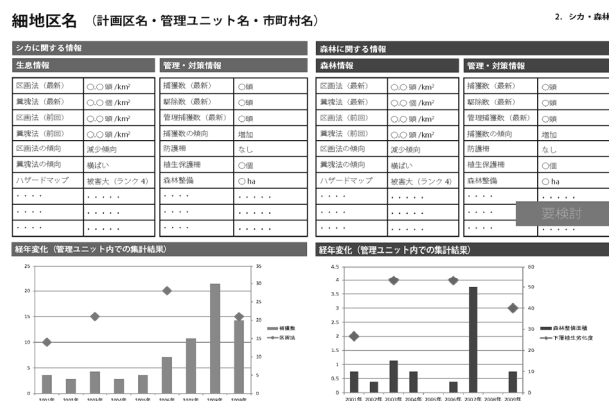
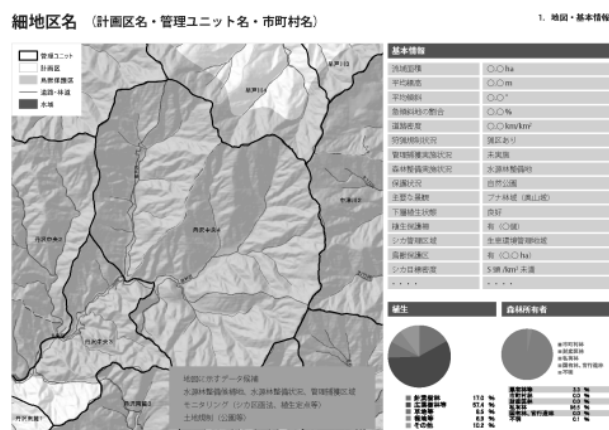


図 6. 意思決定支援システムにおける台帳の例

上：基本情報に関する台帳例

下：森林・シカに関する台帳例

課題の適用可能性

ハザードマップの作成や意思決定支援システムの構築は、情報を GIS として取りまとめるため、GIS システムが必須であるが、現在 GIS はフリーソフトでも機能は十分に備えているためハード面には問題は少なく、関連する情報が整理でき共有できる環境が整えば開発導入は比較的容易に可能である。

課題 1 - 2 パッチディフェンスによる新たな鳥獣被害防止技術の開発
共同開発団体 宮川森林組合・榊里と水辺研究所
担当責任者 岡本宏之（宮川森林組合）

1 目的

昨年度の本事業では、防鹿対策として広域を柵で囲むゾーンディフェンス、将来の林冠高木の成立期待位置に設置する小規模防鹿柵のパッチディフェンス、単木保護を目的とするマンディフェンスのそれぞれの有効性、コスト比較を 14 箇所の既施工地を対象に行い、パッチディフェンスの優位性を明らかにした。しかしながら、造林未済地及び工事法面に対する広葉樹植樹地での一定の条件下の比較に留まっており、人工林及び自然林の保護、針葉樹人工造林地の苗木保護等、他条件での対策の課題を残した。又、汎用性を高める上で、多雪地域対応型の資材・工法の検討の必要性が新たな課題として設定された。さらに、パッチディフェンスの配置設計とパッチディフェンス内の苗木植栽設計との関係性を明確にする事により、森林生態系の復元技術への具体的な技術提案とする事を目的とする。

そこで、今年度においては、昨年度に試験施工を行った、17 タイプのパッチディフェンスのモニタリングとパッチディフェンスの配置設計を整理する事により、実効性の高い技術として提案する事と、多雪地域対応型資材・工法を立案し、試験施工を行う事を目的とした。

2 技術開発の項目

（１）パッチディフェンス試験施工地モニタリング

林業経営の低迷から針葉樹人工林を伐採後、放置される造林未済地が拡大傾向にある中、これまでの様に防鹿対策にコストを費やす事は困難であると予測される。又、造林未済地を放置してもシカ食害を主原因として森林が更新されず、森林生態系の保全や防災上等、深刻な問題を有している。

パッチディフェンスは防鹿柵を必要な箇所にのみ設置することがあり、かつ再侵入確率が低いことがこれまでの事業結果から明らかとなっており、面積当たりの防鹿柵距離は長くなるものの、低いメンテナンスコスト、高いパフォーマンスが期待され、トータルコストとしての低減化が可能であることが前年度までの成果で明らかにしてきた。

本年度事業においては、試験施工地に設置されたタイプの異なるパッチディフェンスを基本例として継続したモニタリングを行い、資材・設置面積の最適化を行い、さらなる低コスト化を行った。また、高山帯・多雪地での適用が可能なパッチディフェンス新素材の開発に着手した点についても報告する。

（２）パッチディフェンスの配置手法

一般に森林生態系の保全や生物多様性回復を目的とする森林の育成においては、林冠高木の生長を図りつつ、亜高木層以下の森林各階層構成種の種個体群の維持が可能となるように直射光条件、林内散乱光条件の変化を予測勘案した植栽木の生長（樹冠、樹高）予測に基づき、マニュアルを作成し、実効性の高い技術として提案することとした。

ここでは大台町内の人工林皆伐跡後の造林未済地に対して施工してきた広葉樹造林地に設置されたパッチディフェンスに対して限定された条件での配置手法を検証した。なお、

生物多様性回復以外の目的で造林される場合には適時、パッチ（防鹿柵）サイズ、パッチ密度、各パッチ相互の間隔等の配置手法が異なり、目標樹種の生育のみを考慮する場合には、配置条件はさらに単純化が可能である。

また、保護林等におけるギャップ空間においてパッチディフェンスにおいては、実生稚樹の上伸生長が十分可能な光条件の下でのみ設置する選択を行うために、期待される天然更新樹種の生育条件だけを把握することによって高度な技術を必要としない。このような例はすでに林野庁近畿中国森林管理局三重森林管理署が行っている大台ヶ原正木ヶ原の事例や環境省が行う大台ヶ原西大台地区での自然再生推進事業における事例がある。

（３）多雪地域対応型資材・工法の立案及び試験施工

多雪地域でのパッチディフェンス設置例はなく、パッチディフェンスの特性を活用した新たな資材及び仕様の検討を行い、多雪地域に試験施工を行う。防鹿効果とともに費用対効果を重要な課題とした対策資材の開発を行う。又、初期導入コストにとらわれず、管理コストの低減を重視した対策資材を検討する事とした。

３ 結果

（１）パッチディフェンス試験施工地モニタリング

昨年度、図 1 に示す試験施工地を設定し、17 タイプの仕様の異なるパッチディフェンスを設置した。全てのパッチディフェンスに対して柵及び柵内の植栽苗木の状態を確認した結果を表 1 に示す。

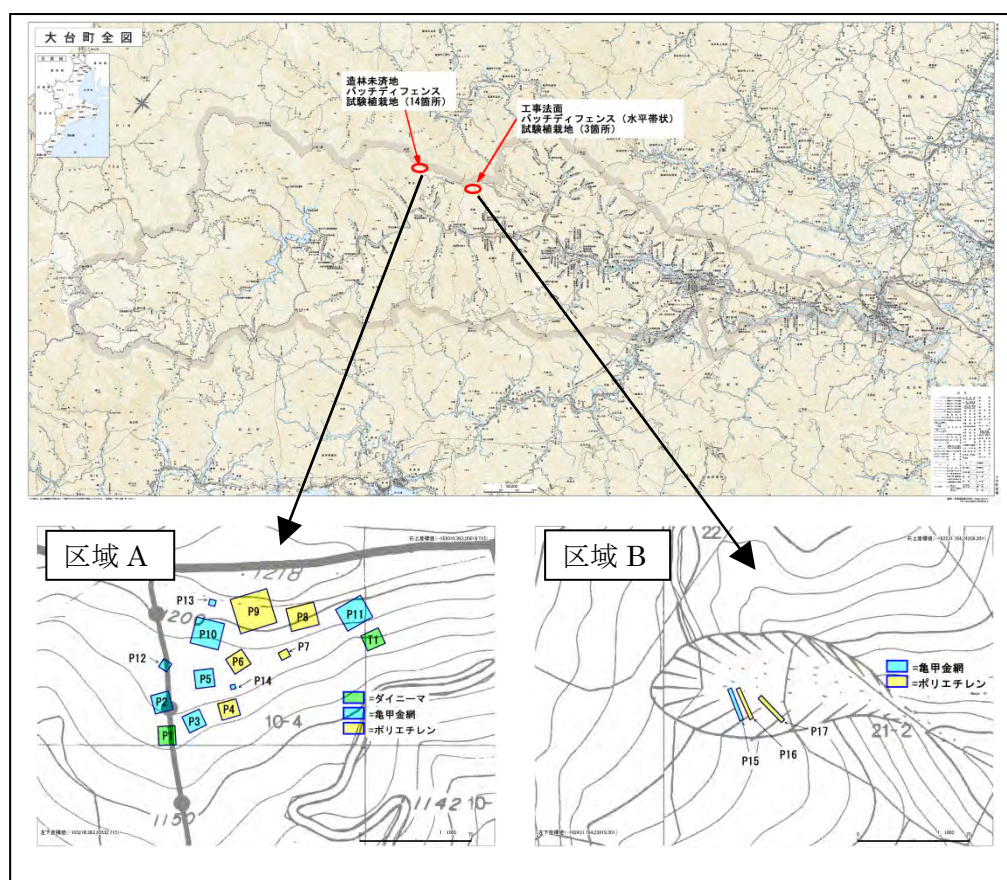


図 1

表 1

No.	網の材質	網高 (m)	支柱 間隔 (m)	辺長 W(m)	辺長 D(m)	面積 (m ²)	モニタリング結果	
							柵	柵内の苗木
1	PE・ダイニーマ	1.8	3.0	12.0	12.0	144.0	良好	良好
2	亀甲金網	1.5	3.0	12.0	12.0	144.0	良好	良好
3	亀甲金網	1.8	3.0	12.0	12.0	144.0	良好	良好
4	PE(ポリエチレン)	1.5	4.0	12.0	12.0	144.0	良好	良好
5	亀甲金網	1.8	4.0	12.0	12.0	144.0	良好	良好
6	PE(ポリエチレン)	1.5	3.0	12.0	12.0	144.0	良好	良好
7	PE(ポリエチレン)	1.8	3.0	6.0	6.0	36.0	良好	良好
8	PE(ポリエチレン)	1.5	3.0	18.0	18.0	324.0	良好	良好
9	PE(ポリエチレン)	1.8	3.0	24.0	24.0	576.0	良好	良好
10	亀甲金網	1.8	3.0	18.0	18.0	324.0	良好	良好
11	亀甲金網	1.5	3.0	18.0	18.0	324.0	良好	良好
12	亀甲金網	1.5	3.0	6.0	6.0	36.0	良好	良好
13	亀甲金網	1.5	4.0	4.0	4.0	16.0	良好	良好
14	亀甲金網	1.5	3.0	3.0	3.0	9.0	良好	良好
15	亀甲金網	1.8	3.0	21.0	3.0	63.0	全壊	シカ食害
16	PE(ポリエチレン)	1.5	3.0	21.0	3.0	63.0	全壊	シカ食害
17	PE(ポリエチレン)	1.8	3.0	21.0	3.0	63.0	一部破損	柵修復後、良好

以上の結果から区域 A (写真 1,2) の造林未済地に設置された 14 種類のパッチディフェンスの柵及び柵内の苗木の経過は良好であったが、区域 B (写真 3,4) の工事法面に設置された 3 種類のパッチディフェンスの内、15 及び 16 は斜面上部からの崩落により全壊し、苗木はシカによる食害を受けた。よって、工事法面に限らず、柵を設置する前に斜面安定性を判断する上で地質・斜面勾配・堆積区分等の指標を設ける必要があると思われる。又、区域 A の良好な結果を示している 14 タイプのパッチディフェンスに対しては、引き続きモニタリングを行う必要性はあるものの、低コスト化に期待が出来る結果となった。



写真 1



写真 2



写真 3



写真 4

(2) パッチディフェンスの配置設計

「2 の技術開発の項目」で示したとおり、限られた条件下で実施された、既施工地の中から主だった 10 箇所の事業地面積とパッチディフェンス占有面積の関係を表 2 にまとめた。

表 2

種別	対象地	No.	実施年度	事業地面積(ha)	パッチ占有面積(ha)	パッチ面積率	パッチ数
企業等植樹	造林未済地	I	H19～H23	1.04	0.224	21.5%	26
		II	H21～H22	1.23	0.298	24.2%	31
		III	H23	0.14	0.063	45.0%	5
		IV	H23	0.09	0.036	40.0%	3
公共事業	造林未済地	V	H21～H22	3.05	0.647	21.2%	64
		VI	H22	0.65	0.174	26.8%	19
		VII	H22	0.20	0.060	30.0%	5
		VIII	H23	2.61	0.638	24.4%	65
		IX	H23	1.15	0.283	24.6%	27
WMO 試験施工	造林未済地	X	H22	0.88	0.224	25.5%	11

事業地面積とパッチディフェンス占有面積の関係を図 2 に示す。両者の関係が比例関係になっている事がわかる。

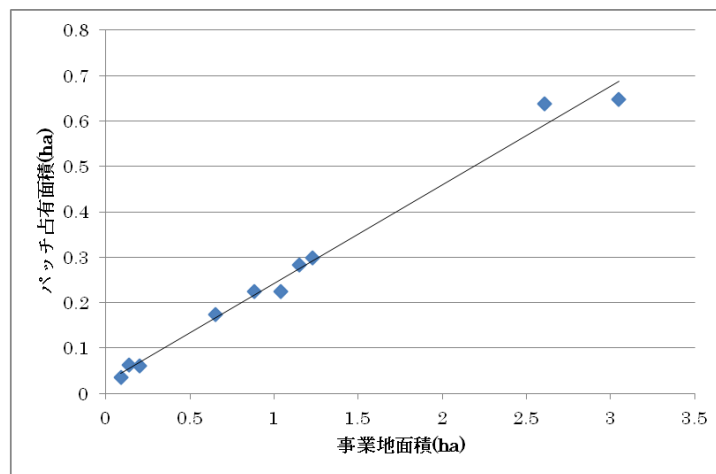


図 2

次に、事業地面積とパッチディフェンス面積率を図 3 に示す。事業地面積が小規模になるほどパッチディフェンス面積率が向上し、事業地面積規模が 0.5～1.0ha 以上になると、パッチディフェンス面積率が安定し、25%前後で推移している事がわかる。又、事業地面積が広くなるほど、パッチディフェンス面積率は減少傾向になる事もわかる。事業地面積が広くなるほど、沢、岩石地等の植栽困難地が多く含まれる傾向にあるため、このような結果になったと思われる。

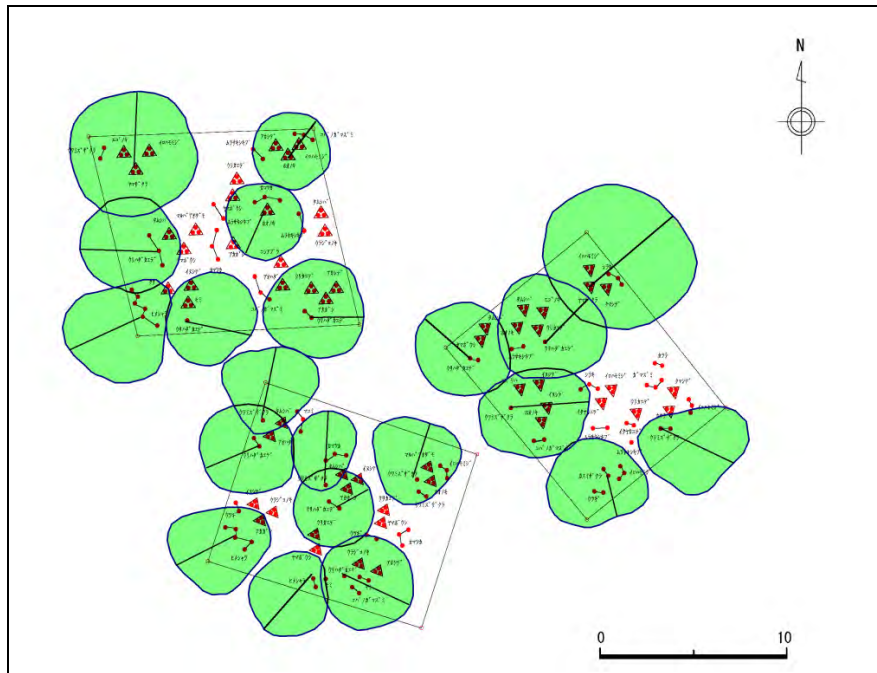


図 5

④約 50 年後の遷移中・後期種を中心とした樹幹想定平面図(図 6)を作成し、最終的な樹冠の広がりを考え、パッチディフェンスの配置を決定する。

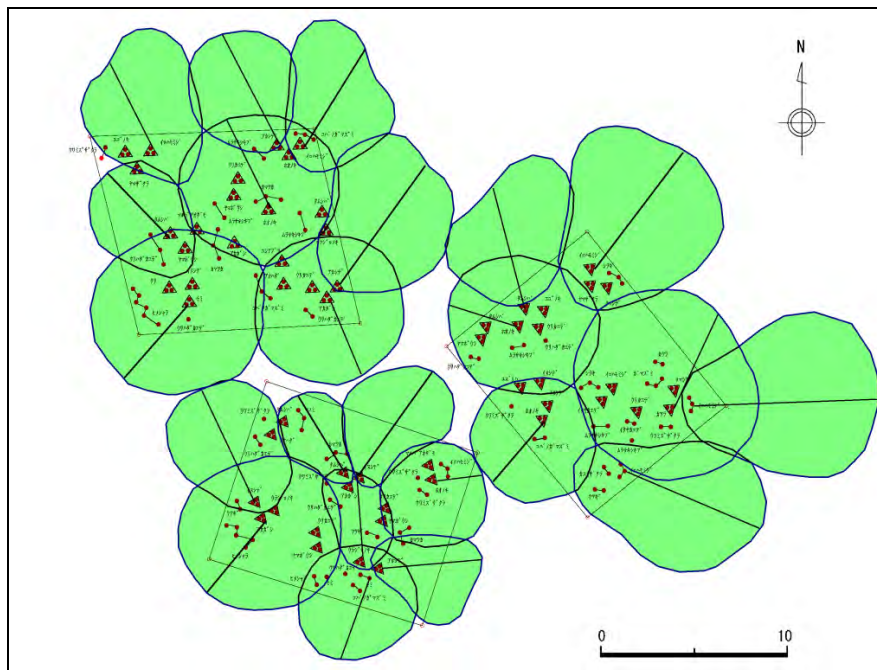


図 6

以上のプロセスでパッチディフェンスの配置を決定する事になるが、プロセス毎に配植設計や各パッチディフェンスの形状及び配置を微修正しながら行う事に留意する。

(3) 多雪地域対応型資材・工法の立案及び試験施工

大台町内では積雪量が少ない為、京都市に許可を頂き、図7の京都市有林で試験施工を行う事とした。積雪量は最大で2m程度に及ぶ事から試験施工地として適切であると判断した。

又、テキサスゲートを応用したタイプを3種類(図8~10)、柵タイプの支柱資材を変更したタイプを2種類(図11, 12)の計5種類を多雪地域対応型パッチディフェンス仕様として設定した。



図7

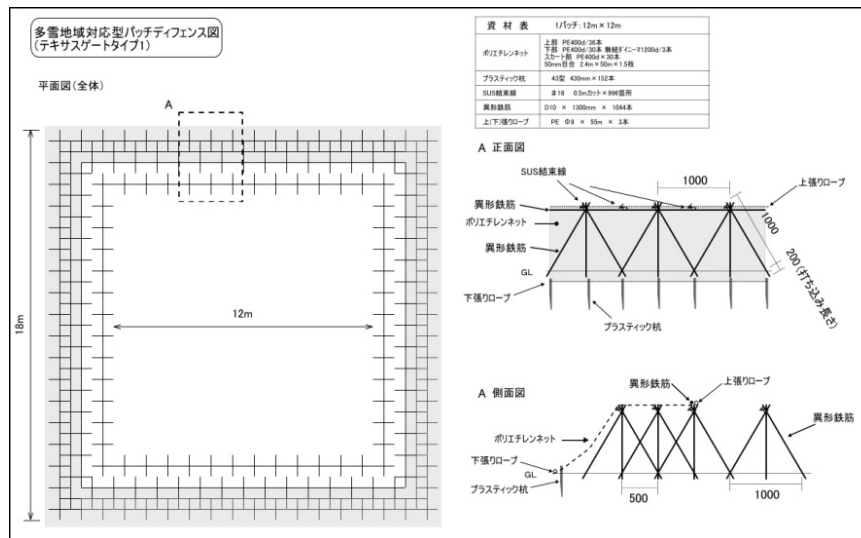


図8

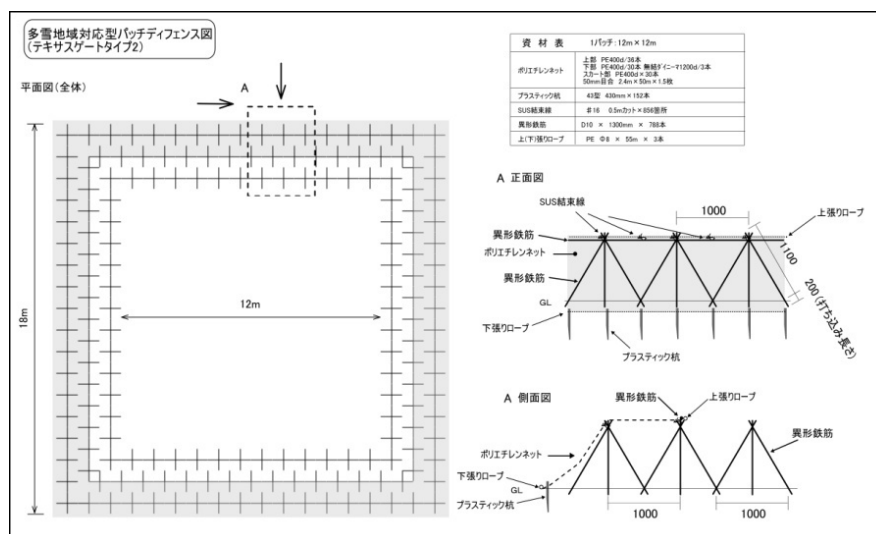


図9

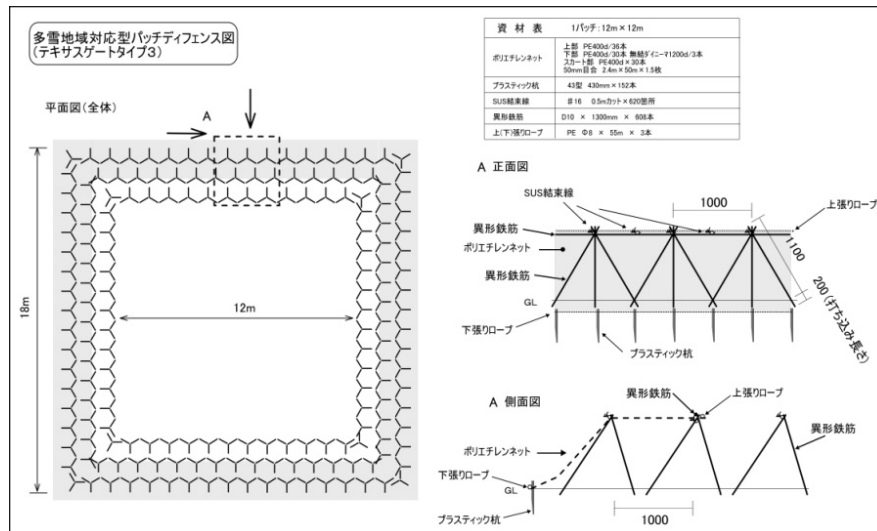


図 10

テキサスゲートタイプの仕様(図 8~10)は、あくまで標準的な図面であり、現地施工を行う上では、鉄筋の組み方が規則的にならない事、現地の地形・樹木に合わせて設置する事が必要になる。設置状況は写真 5~8 に示す。



写真 5



写真 6



写真 7



写真 8

柵タイプの支柱資材は、支柱強度を向上させるのではなく、支柱にバネを組み入れ弾力

性のある資材開発を目指し、試験施工を実施した(写真 9,10)。積雪に応じて柵がしなり、雪解け時には柵が復元する支柱を目指したが結果は不良であった。



写真 9



写真 10

バネの弾力力不足で支柱が傾き、再検討を行った。再検討の結果、写真 11 のようにバネ内部にウレタン注入を行い、さらに支柱を写真 12 のように 3 本を束ねて使用する事で、弾力性を向上させた。仕様は、下図 11,12 の 2 タイプとした。再施工は、今年度末に完了する。



写真 11

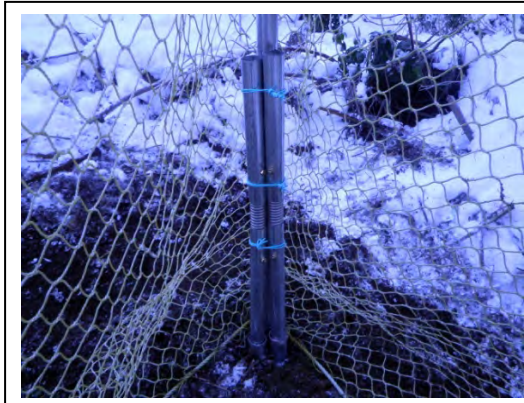


写真 12

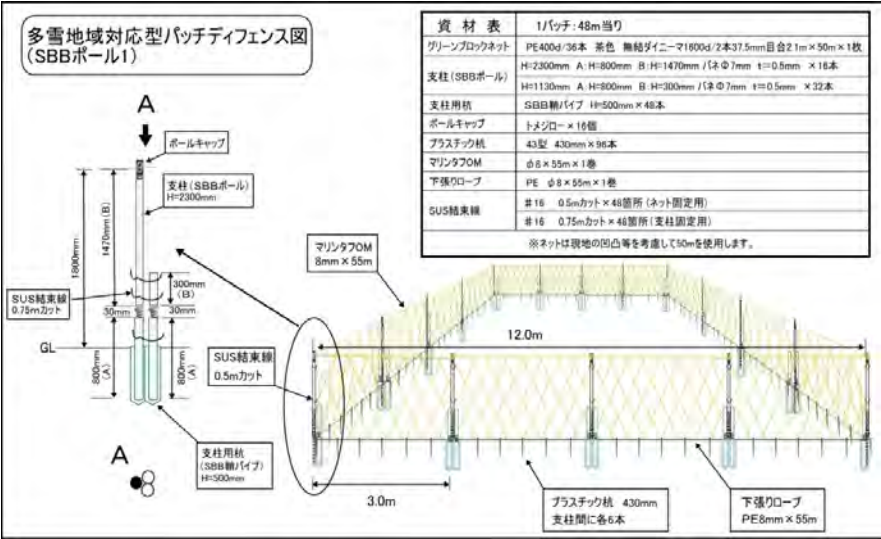


図 11

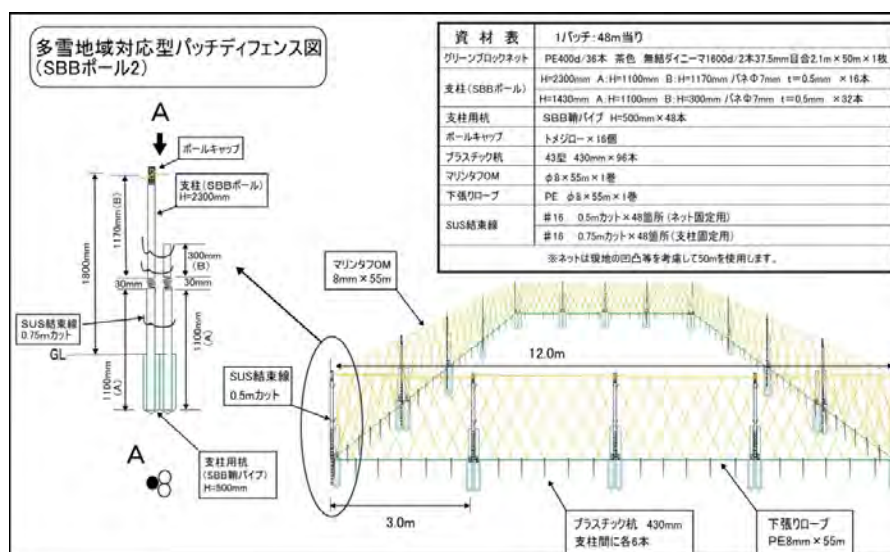


図 12

各仕様の資材費を表3に示す。テキサスゲートの3タイプは、既製品を使用している為、資材単価の削減は見込めないが、柵タイプ(SBBポール)の2タイプは手作りの試作品である為、資材がかなり高額になっていることがわかる。

表 3

資材名	単価	テキサスゲート タイプ 1		テキサスゲート タイプ 2		テキサスゲート タイプ 3		SBBポール タイプ 1		SBBポール タイプ 2	
		数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額	数量	金額
異形鉄筋	160	1,044	167,040	788	126,080	608	97,280	-	-	-	-
ポリエチレンネット	28,000	2	46,760	2	46,760	2	46,480	-	-	-	-
グリーンブロックネット	55,000	-	-	-	-	-	-	1	55,000	1	55,000
支柱 1	12,500	-	-	-	-	-	-	16	200,000	-	-
支柱 2	12,500	-	-	-	-	-	-	-	-	16	200,000
支柱 3	12,500	-	-	-	-	-	-	32	400,000	-	-
支柱 4	12,500	-	-	-	-	-	-	-	-	32	400,000
杭	1,600	-	-	-	-	-	-	48	76,800	48	76,800
ポールキャップ	500	-	-	-	-	-	-	16	8,000	16	8,000
プラスチック杭	100	152	15,200	152	15,200	152	15,200	96	9,600	96	9,600
上張りロープ	2,900	-	-	-	-	-	-	1	2,900	1	2,900
上張りロープ	1,200	2	2,004	2	2,004	2	1,992	-	-	-	-
下張りロープ	1,200	2	2,004	2	2,004	2	1,992	1	1,200	1	1,200
SUS結束線	20	996	19,920	856	17,120	620	12,400	48	960	48	960
SUS結束線	30	-	-	-	-	-	-	48	1,440	48	1,440
くい打ち丸	3,475	-	-	-	-	-	-	1	3,475	1	3,475
合 計			252,928		209,168		175,344		759,375		759,375

今後は、試験施工地の経過を見ながら、試作ポールを量産した場合の資材単価の算出と、弾性力を向上させる為の新たな資材適用について検討し、資材コストの大幅な低減を目指す事とする。

4 評価

パッチディフェンスの適応性評価を表4に示す。

表 4

対象条件	保護対象	適応性評価
造林 未済地	・広葉樹 植栽苗木 ・天然更新 草本/木本	既施工地の経過が良好であり、実用可能レベルに到達していると思われる。昨年度、試験施工した資材、柵高、設置面積の異なる柵の効果確認を継続して行い、コスト削減を目指す。ただ、生物多様性回復を目的とした造林例の評価にとどまっており、他の目的で造林が行われる場合は、ゾーンディフェンス等、異なった対応が必要になる事が考えられる。また、帯状及び群状間伐跡地での造林に対しては、設定方法が異なる。
造林 未済地	・スギ/ヒノキ 人工造林苗木	従来型の人工造林は、一斉造林を行う施業体系であるため、適応性は低い。ただ、スギ/ヒノキの適地性を判断した上で、100年を超える超長伐期設定が可能な林地や列状/帯状間伐・群状間伐後再造林地においては、最終収穫密度を設定し、密度に応じた、より小規模なパッチディフェンス設置の適性が高くなる。
人工林 成林地	・スギ/ヒノキ 成木 ・下層植生	防護対象が広域におよび全ての林地を防鹿対策で保護するには限界がある。森林施業と捕獲技術との組み合わせで対応する事が望ましいと思われる。
自然林 成林地 (保全林)	・自然林成木 ・下層植生	防護対象が広域におよび全ての林地を防鹿対策で保護するには限界がある。捕獲技術による対応が望ましいと思われる。ただ、保護地域を明確にした上での対応は適応性が高いと思われる。
自然林 ギャップ	・天然更新草本 ・天然更新木本	自然倒木等で局所的に発生するギャップ更新に対しては適応性が高い。
治山・林道 工事法面	・吹付け牧草 ・植栽苗木 ・自然侵入 草本/木本	柵の形状を水平帯状にする事によって法面保護の効果が高い事が、既施工地の経過から期待される。ただし、施工例は少ない。
多雪地域 (高山帯)	・天然更新草本 ・天然更新木本	今年度の取り組みで、柵の仕様を定め、試験施工を実施した。初期コストに問題があるが、継続して効果のモニタリングを行い、初期コスト低下を目指す必要がある。

保護対象が限られた区域であれば適応性が高いものの、広域におよぶ人工林、自然林の森林区域については捕獲技術等を組み合わせた対策が必要になると思われる。又、スギ/ヒノキ造林地対策は造林大系を含め別途、検討が必要である。

5 今後の課題と考察

これまでの取組みは、過去に実施してきた取組みの検証を行い、対策の妥当性評価の色合いが濃く新たな技術開発には至っていない。今後は、継続したモニタリングを行い、コスト性を踏まえたより適正なパッチディフェンスの設置基準を明確にすると同時に、他条件での具体的な防鹿対策を示していく段階であると考ええる。さらにパッチディフェンスの配置設計を行う上で欠かせない苗木の配植設計技術についても、森林生態系の復元技術として適応できる事を施工地の評価を踏まえ、提案していきたい。

又、パッチディフェンス周辺にシカが誘引されている事が現地観察及び(株)野生動物保護管理事務所の調査から判明した。そのような状況を踏まえ、捕獲技術との組み合わせにより、効率的な鳥獣被害対策技術として提案できる可能性があり、今後の検討課題としたい。

さらに、市町村森林整備計画制度の変更により、「森林病虫害の駆除又は予防その他森林の保護に関する事項」が新たに設けられ、「鳥獣による森林被害対策の方法」を記載する必要がある事から、条件別の防鹿対策を早急に示す事が求められている。今後は、市町村の林業担当課とも連携しながら、市町村森林整備計画制度を軸に森林被害対策を実施していく必要がある。

最後に、植栽に使用する苗木については、遺伝的多様性保全の観点から地域性苗木の活用が重要な要素である事に触れておきたい。

課題 1 - 2b 防鹿柵設置箇所周辺におけるシカの生息密度および生息環境
担当責任者 横山 典子 (株)野生動物保護管理事務所

1. 目的

近年、過度なシカの採食圧による森林生態系への悪影響が全国で報告されている。その影響は下層植生の衰退、土壌の流出、生物相の変化など、多岐にわたっており、早急に対策を実施する必要がある。

森林植生への影響を防止するため、現在、植生保護柵や単木防除などの方法がとられているが、その効果を総合的に評価したものはなかった。「平成 22 年度森林環境保全総合対策事業」の中で、宮川森林組合は、2 タイプの植生保護柵と単木防除について、設置コストおよび維持管理コストについて評価し、パッチディフェンス（小規模柵を周辺の森林環境に応じて 1～複数個設置する方式）が最も高い費用対効果を得られると報告した。

しかし、植生保護柵は、周辺のシカ密度や生息環境により、その効果の持続性に影響を与えると考えられるが、設置箇所周辺のシカ密度や生息環境については把握されておらず、検証する必要があった。

そこで、本調査は三重県多気郡大台町に設置されているパッチディフェンス周辺のシカ密度および生息環境を把握し、柵の損壊状況やシカの侵入状況から、その有効性を検証することを目的とした。

なお、本報告で示すパッチディフェンスとは、「将来の林冠高木の成立期待位置に置く小規模防鹿柵」とし、実際には複数の小規模柵を設置しているため、エリアを示す用語として用い、小規模柵そのものを示す用語として用いないこととする。

2. 調査地域

(1) 概要

調査地域は三重県多気郡大台町で、大台ヶ原から北東に約 20km の地域である。当地域のシカの分布は、第 2 回自然環境保全基礎調査（1978）で「1 年中シカが生息している箇所」として確認されており、長期間にわたってシカが生息している地域である。

(2) パッチディフェンスの設置状況

当地域に設置されたパッチディフェンスは 10 箇所あり、うち調査対象として 5 箇所を選定した。調査対象としたパッチディフェンスの位置を図 1 に示し、その概要を表 1 に示す。

各パッチディフェンスの施工実施年度は平成 19 年度から平成 23 年度までで施工から 0～5 年経過したものである。パッチディフェンス設置面積は事業地面積の約 21～45% を占めており、平均は約 29% であった。各パッチディフェンスに設置した柵設置箇所数は 1～64 箇所、各柵の平均設置面積は 111 m² であった。形状は方形のものが多く、パッチディフェンス B および D は工事法面に帯状に設置されていた。柵の材質は、亀甲金網、ポリエチレン、ダイニーマ®（超高強力ポリエチレン繊維：東洋紡績株式会社登録商標）で、柵の高さは、地上高 150～180cm であった。

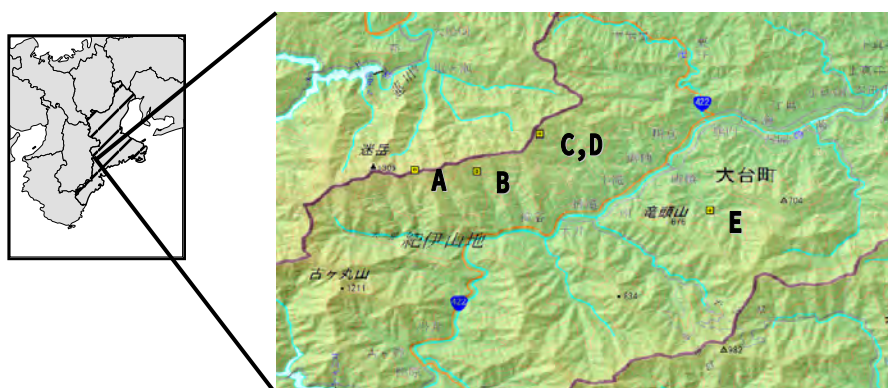


図1 調査対象としたパッチディフェンス位置
(■: パッチディフェンス位置)

表1 パッチディフェンス概要

地点名	施工実施 年度	事業地面積 (ha)	PD*設置面積 (ha)	PD*面積/ 事業地面積	柵設置 箇所数	形状	材質
A	H22	0.70	0.01	0.32	1	正方形	PE・ダイニーマ
			0.10		8	正方形	亀甲金網
			0.11		5	正方形	PE(ポリエチレン)
B	H20	0.07	0.03	0.45	2	水平帯状	PE・ダイニーマ
C	H21	3.05	0.65	0.21	64	方形	PE・ダイニーマ
D	H22	0.07	0.01	0.23	1	水平帯状	亀甲金網
			0.01		2	水平帯状	PE(ポリエチレン)
E	H19	1.04	0.04	0.22	6	方形	金網
	H20		0.06		5	方形	金網
	H21		0.06		5	方形	PE・ダイニーマ
	H22		0.05		5	方形	PE・ダイニーマ
	H23		0.02		5	方形	PE・ダイニーマ

*:パッチディフェンスの略



写真1 パッチディフェンス A



写真2 パッチディフェンス B

(3) 調査地の選定

パッチディフェンス周辺の環境を把握するため、調査地域を抽出した。調査地域は、パッチディフェンスから半径 1km の圏内を調査対象地域とした。この半径 1km の圏内に含まれる三次メッシュ (1km メッシュ) を調査メッシュとし、生息密度調査では 11 メッシュ、生息環境調査では 12 メッシュで調査を実施した。調査対象地域を図 2 に示す。

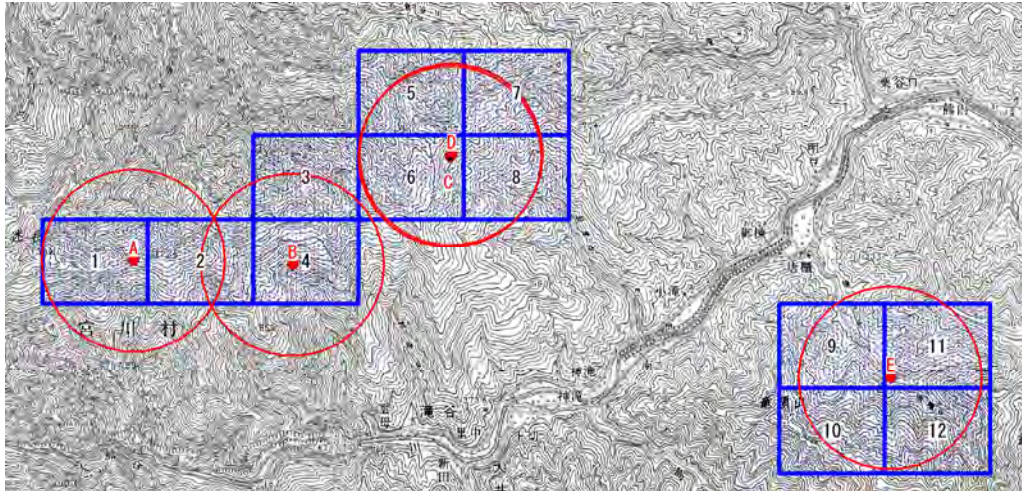


図 2 調査対象地域 (※数字はメッシュ番号を示す。)
(● : パッチディフェンス, ○ : パツファ (半径 1km) , ■ : 調査対象三次メッシュ)

3. 防鹿柵設置箇所周辺のシカ密度

(1) 調査方法

抽出した三次メッシュ (約 1km メッシュ) において、糞粒調査を実施した。ただし、パッチディフェンス A を含むメッシュ 1 については、調査地への移動に使用する林道が崩壊したため、調査することができなかった (図 3)。調査メッシュにおいて、1m×1m のコドラートを 5~10m 間隔に設置し 110 カ所調査した。

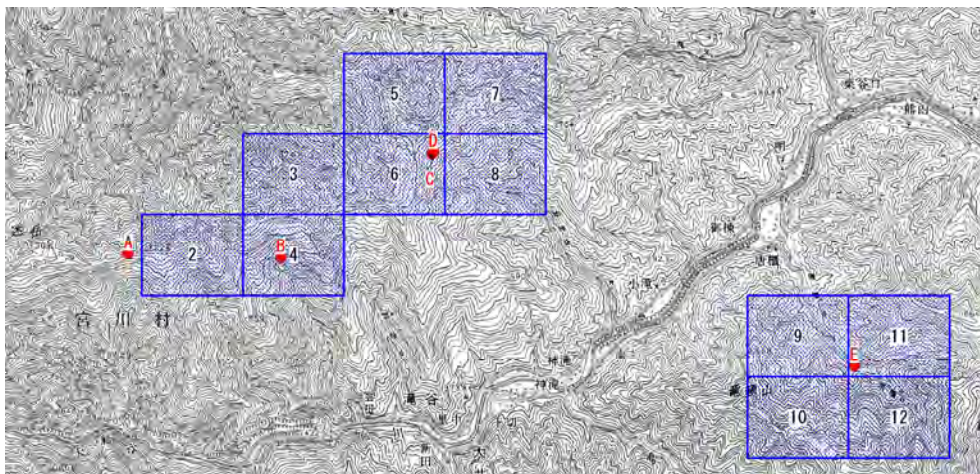


図 3 糞粒調査メッシュ (※数字はメッシュ番号)
(■ : 調査メッシュ, ● : パッチディフェンス)

調査はコドラート内の全ての糞粒を数え、糞粒は原型の 2/3 以上の形のあるものを 1 個と数え、それ以外は 0 とした。また、コドラート枠にかかっている糞粒は、手前枠および右枠にかかったもののみを数えることとした。

得られた糞粒数からの生息密度の推定算出には、森下・村上（1970）の計算式を用いるとともに、岩本ら

（2000）によって作成され、改訂された FUNRYU Pa ver.1 プログラム（表計算ソフト Microsoft Excel Visual Basic）を使用した。森下・村上（1970）の式を上記（a）に示す。このプログラムは、調査地域における糞の消失率が必要となるが、大台町における糞消失率のデータがないため、本調査ではこのプログラムに用いられている九州地方の糞の消失率をそのまま用いることとした。

調査はシカ密度の季節的な変化を把握するため 9～10 月（秋季とする）と 11 月～12 月（冬季とする）の 2 回、同一メッシュで実施した。

$$N = \beta F / \alpha H \cdots (a)$$

β : 糞の消失率

F : 糞の発見数

α : 糞の発見率（見落としはないものとし、1 とした。）

H : 排糞量（動物園での実測値（高槻ら 1981）を用い、1 頭あたり 30,300 粒/月とした。）

（2）防鹿柵周辺のシカ密度結果

Funryu プログラムによるシカ密度を表 2 と表 3 に示す。秋季のシカ密度は 1.9～19.9 頭/km² で、冬季は 0.7～54.9 頭/km² となり、全体的に冬季の方が高いシカ密度を示していた。

パッチディフェンス周辺の平均シカ密度を表 4 に示す。パッチディフェンス A については、隣接するメッシュ 2 のシカ密度を周辺のシカ密度とした。パッチディフェンス A は秋季が 14.0 頭/km²、冬季が 12.1 頭/km² で秋季の方が高かった。パッチディフェンス B 周辺の平均シカ密度は秋季が 13.8 頭/km²、冬季が 12.9 頭/km²、C と D の周辺では秋季が 10.9 頭/km²、冬季が 25.4 頭/km²、E の周辺では秋季が 6.2 頭/km²、冬季が 7.7 頭/km² であった。

図 4 と図 5 に秋季および冬季のメッシュ別シカ密度分布を示す。密度分布は、調査時期による大きな変化はみられず、パッチディフェンス A、B、C、D が設置されている北側山塊でシカ密度が高く、南側山塊で低い傾向がみられた。特にパッチディフェンス C、D 周辺に位置するメッシュ 5 および 7 は冬季に 20 頭/km² を超える高いシカ密度となった。また全てのメッシュで、両季節とも 5 頭/km² を下回ったメッシュは確認されなかった。

表 2 Funryu プログラムによるメッシュ別シカ密度 (秋季)

メッシュ番号	平均標高 (m)	調査日	糞粒数	糞粒密度 (個/m ²)	シカ密度 (頭/km ²)	該当する パッチディフェンス
2	1102.1	2011/10/4	185	1.68	14.01	A,B
3	993.2	2011/10/2	196	1.78	19.88	B
4	857.8	2011/10/2	59	0.54	7.61	B
5	911.6	2011/10/3	112	1.02	13.12	C,D
6	932.5	2011/10/1	116	1.05	13.10	C,D
7	808.7	2011/10/3	104	0.95	14.65	C,D
8	541.1	2011/9/29	20	0.18	2.67	C,D
9	310.2	2011/9/29	62	0.56	10.37	E
10	611.8	2011/9/30	15	0.14	1.86	E
11	372.8	2011/9/28	36	0.33	5.68	E
12	533.7	2011/9/30	51	0.46	6.86	E

表 3 Funryu プログラムによるメッシュ別シカ密度 (冬季)

メッシュ番号	平均標高 (m)	調査日	糞粒数	糞粒密度 (個/m ²)	シカ密度 (頭/km ²)	該当する パッチディフェンス
2	1096.3	2011/11/30	214	1.95	12.10	A,B
3	989.8	2011/12/1	149	1.35	10.31	B
4	848.4	2011/11/30	194	1.76	16.29	B
5	910.8	2011/11/29	303	2.75	23.56	C,D
6	932.8	2011/12/1	220	2.00	16.44	C,D
7	825.1	2011/11/29	635	5.77	54.92	C,D
8	543.5	2011/11/30	55	0.50	6.67	C,D
9	317.8	2011/11/29	112	1.02	17.32	E
10	520.7	2011/11/29	51	0.46	6.35	E
11	382.5	2011/11/28	46	0.42	6.65	E
12	522.76	2011/12/1	5	0.05	0.65	E

表 4 各パッチディフェンス周辺の平均シカ密度

パッチ ディフェンス	該当する メッシュ番号	シカ密度 (頭/km ²)	
		秋季	冬季
A	2	14.01	12.10
B	2,3,4	13.83	12.90
C	5,6,7,8	10.89	25.40
D	5,6,7,8	10.89	25.40
E	9,10,11,12	6.19	7.74

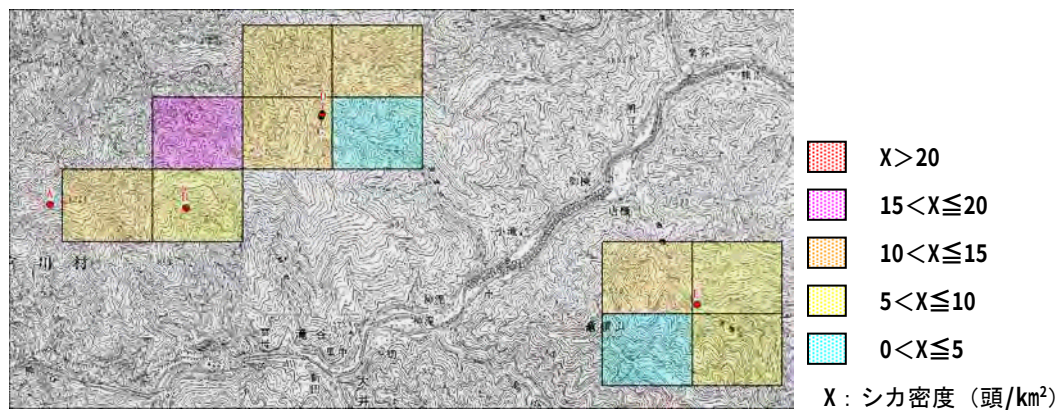


図4 シカ密度分布 (秋季)



図5 シカ密度分布 (冬季)

4. 防鹿柵設置箇所周辺の生息環境

(1) 調査方法

三次メッシュ内において尾根を中心に踏査し、踏査ルートは植生タイプで区切り、その一区分を「踏査ユニット」とし、ルートの左右別に踏査ユニットごとの餌植物現存量を調査した。調査は平成23年9月に行った。調査した項目およびその詳細を以下に示す。

1. 林分概況

林分概況は、高木層優占種、高木層植被率、林冠高を調査する。

2. 餌植物現存量

シカが採食可能な地上から2mまでの高さにおいて、林床優占種、林床平均高、林床植被率を記録する。また、ササ、シダ類、グラミノイド（ササ類以外のイネ科、カヤツリグサ科）、低木、グラミノイド以外の草本について各項目の植被率も記録した。植被率は、0, 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100%のランクに分類し記録する。

(2) 餌植物現存量の解析方法

解析は、山根ら（2001）の神奈川県丹沢山地での方法を参考に行った。踏査ルートを約

200m メッシュ（三次メッシュの 1/25）で区切り、200m メッシュ毎の評点を求めた。餌植物現存量の評点は、シカの餌植物となりうる林床植生の植被率から不嗜好性植物の植被率を引き、以下の式（b）により、水平踏査距離 100m あたりの評点を求めた。各指標に与えた評点は植被率の値とした。ただし、200m メッシュ内の踏査ルートが 50m 未満のメッシュについては評点が過小または過大となる可能性があるため、評点を算出しなかった。

$$Xi = \Sigma\{(Ain - Bin) \times lin\} / Li \times 100 \quad \dots\dots\dots (b)$$

- Xi : メッシュ i における水平踏査距離 100m あたりの餌植物現存量評点
Ain : メッシュ i に含まれる踏査ユニット n における踏査ユニット左右の「林床植生」植被率の評点合計
Bin : メッシュ i に含まれる踏査ユニット n における踏査ユニット左右の「不嗜好性植物」植被率の評点合計
lin : メッシュ i における踏査ユニット n の水平踏査距離(m)
Li : メッシュ i における水平踏査距離(m)

式（b）から求められる評点は 0～20,000 点までの値を取りうる。

（3） 結果および考察

図 6 に踏査ルートを示す。踏査ルートの総延長は約 35.3km であった。

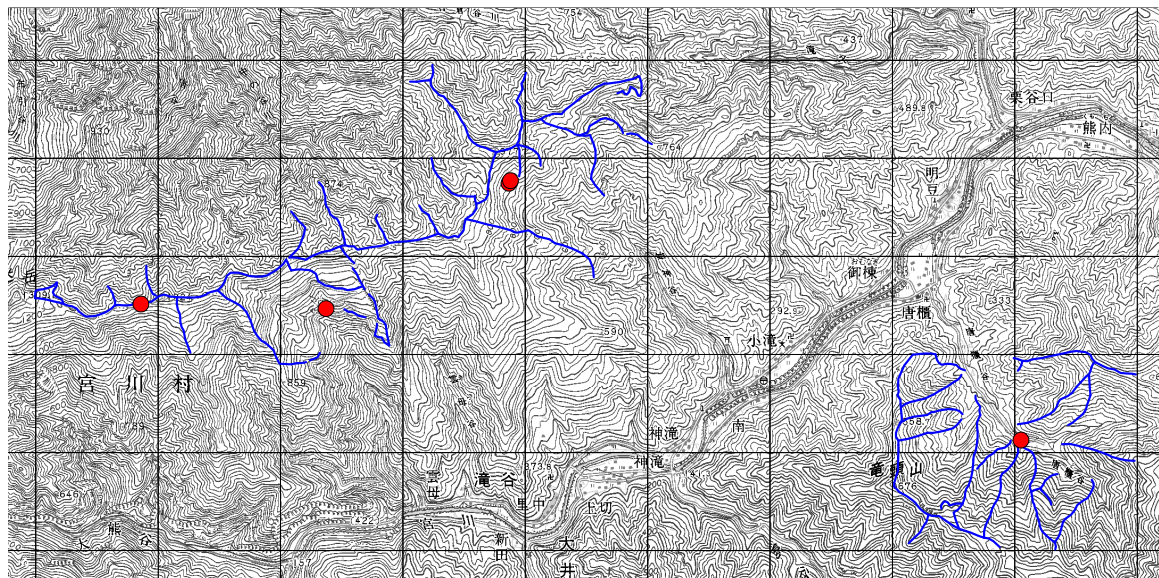


図 6 踏査ルート

— : 踏査ルート, ● : パッチディフェンス

※メッシュは三次メッシュを示す。

1. 林分概況

踏査ユニットの距離から、各植生タイプ別（落葉広葉樹林、針広混交林、低木林、開

放地、スギ・ヒノキ林)の割合を図7に示す。最も多いのはスギ・ヒノキ人工林で、次いで落葉広葉樹林であった。

落葉広葉樹林では、ブナ・ミズナラ・ヒメシャラが優占する林分で、針広混交林はモミ・ツガがブナ・ミズナラ・ヒメシャラなどに混じる林分であった。低木林は、平均高が4~5mのブナの風衝低木林が最も多く約半数を占めており、次いで平均高が2~3mのアセビが優占する林分であった。開放地で最も多かったのはイワヒメワラビ群落で、次いでススキ群落であった。

一般的に餌資源が豊富である高木層が欠落した低木林および開放地について、林床優占種別の割合を図8に示す。この割合は、各踏査ユニットの距離を元に算出した。低木林・開放地での林床優占種で多かったのはアセビ、シャクナゲ、シキミ、イワヒメワラビなどのシカの不嗜好性植物が多く、長期にわたってシカの採食圧がかかっているため、シカの餌となる植物が少ないと考えられる。

2. 林床の餌資源現存量の評点分布

林床植生植被率から不嗜好性植物植被率を引いたものを、シカの餌植物植被率と考え、その餌植物現存量の評点を算出した。この評点の最高点は、餌植物の植被率が100%である場合に20,000点となるが、当地域での最高点は約13,000点と低い値であった。したがって、当地域では長期間にわたるシカの影響によりほとんどの地域で餌資源がなくなっていることが考えられる。

餌資源現存量の評点を2,000点毎にランク分けしメッシュ別分布図を図9に示した。

餌資源現存量が比較的高かったのは、パッチディフェンスEに近いメッシュで約13,000点を示し、コガクウツギが優占する林床であった。次いで高い餌資源現存量を示したのはパッチディフェンスC、Dに近いメッシュで、ススキが優占する群落であった。評点が6,000~8,000点のメッシュは、サカキ、イヌツゲ、ソヨゴなどが優占する林分

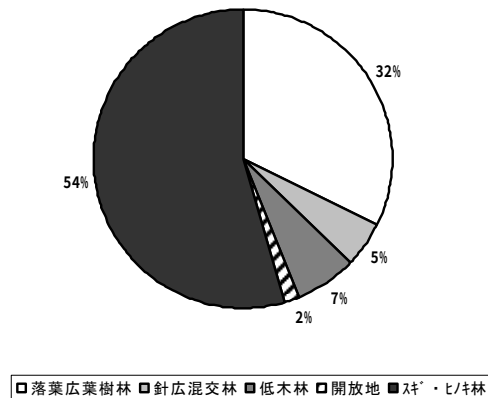


図7 踏査ルートにおける植生タイプ別割合*
(*踏査ユニット距離の割合)

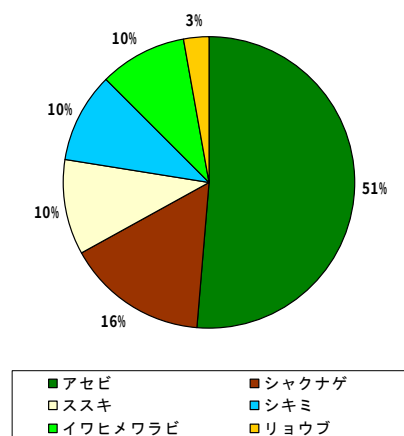


図8 低木林および開放地における林床優占種別割合*
(*踏査ユニット距離の割合)

であった。これらのメッシュで出現している種の多くは、シカの高い採食圧がかかっており、矮性化していることが確認された。

糞粒調査の結果からシカ密度の高かった北側山塊では、主稜線部の餌資源が非常に少なく、評点が0のメッシュが多かった。一方、南側山塊は北側山塊と比べ餌資源が比較的多かったが、餌資源現存量の評点が2,000点未満のメッシュが多く全体的には餌資源が乏しいと考えられる。

いずれのパッチディフェンスにおいても、周辺の餌環境は非常に乏しい状況であると考えられる。餌資源が比較的多かったメッシュについても高い採食圧がかかっており、被食植物の矮性化や樹皮摂食痕などが見られたため、シカの餌資源は今後さらに減少していくことが予想される。

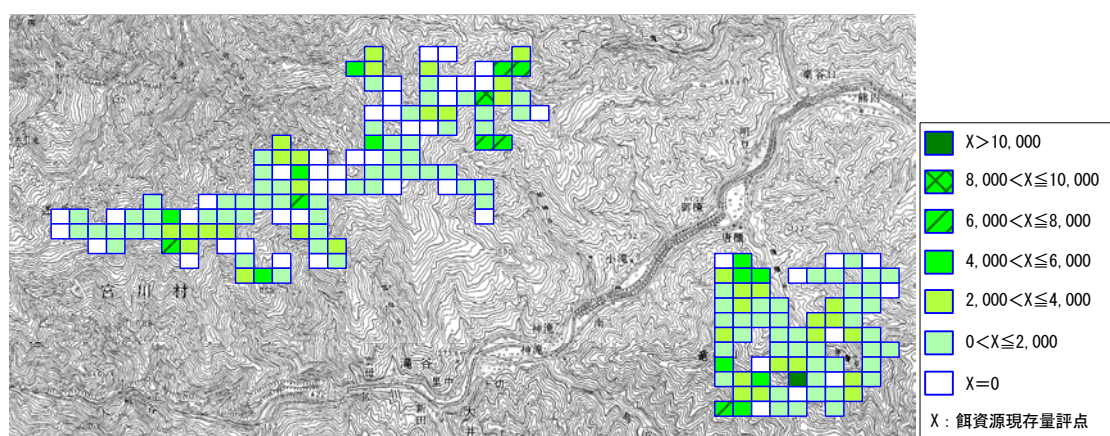


図9 餌資源現存量評点の200mメッシュ別分布

5. 防鹿柵設置状況およびシカの侵入状況

(1) パッチディフェンスにおける柵内および柵外の植生の比較

パッチディフェンスの柵内の植生を把握するため、当事業の中で(株)里と水辺研究所が植生調査を実施した。調査は、パッチディフェンスCおよびEに該当する箇所で実施され、柵外にも対照地を設置し、柵外と柵内の比較を行った。

柵外と柵内の階層別植被率を図10に示す。パッチディフェンスCおよびE、いずれも柵外よりも柵内の植被率が高かった。両パッチディフェンスとも柵外の植被率は約60%を示していたが、その優占種は不嗜好性植物であるイワヒメワラビで、パッチディフェンスCの柵外では65%、パッチディフェンスEの柵外では40%を占めていた。一方、柵内は植栽木も含めて植被率が約100%となっており、柵内のシカの餌資源量は高いことが示された。

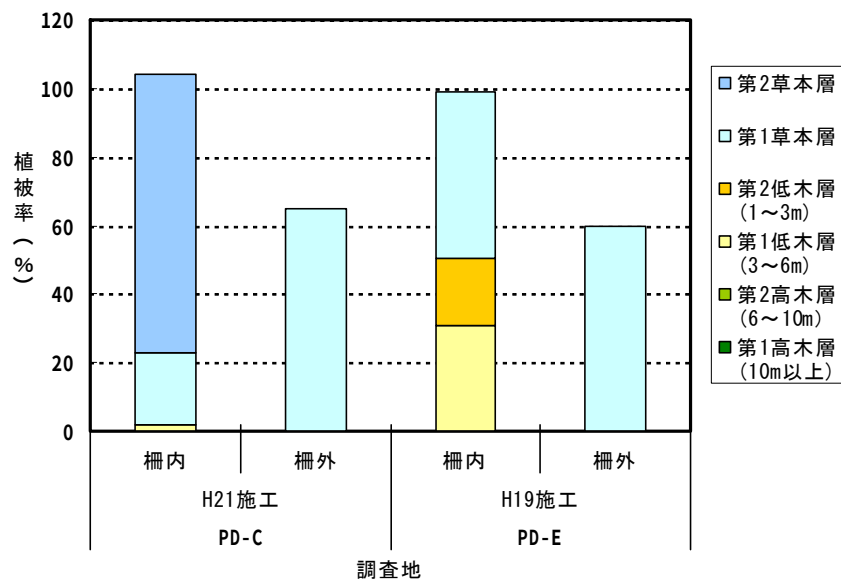


図 10 パッチディフェンス C および E における柵内と柵外の植被率の比較

(2) パッチディフェンスの損壊状況およびシカの侵入状況

調査対象とした各パッチディフェンスの損壊状況およびシカの侵入状況を表 5 に示す。

パッチディフェンスの施工から 0～5 年が経過している。全てのパッチディフェンスで、人為（扉の閉め忘れ）によるシカの侵入と平成 23 年に発生した台風 12 号による柵の損壊箇所からの侵入以外、シカの侵入は認められなかった。また、シカが要因と考えられる柵の損壊は確認されなかった。

表 5 パッチディフェンス損壊状況

地点名	施工実施 年度	事業地面積 (ha)	PD [*] 設置面積 (ha)	PD [*] 面積/ 事業地面積	柵設置 箇所数	損壊状況
A	H22	0.70	0.01	0.32	1	なし
			0.10		8	なし
			0.11		5	なし
B	H20	0.07	0.03	0.45	2	なし
C	H21	3.05	0.65	0.21	64	なし
D	H22	0.07	0.01	0.23	1	山腹崩壊により1箇所損壊
			0.01		2	山腹崩壊により1箇所損壊
			0.04		6	山腹崩壊により2箇所損壊
E	H20	1.04	0.06	0.20	5	山腹崩壊により1箇所損壊
	H21		0.06		5	山腹崩壊により2箇所損壊
	H22		0.05		5	山腹崩壊により1箇所損壊
	H23		0.00		5	なし

*:パッチディフェンスの略

6. 現段階における防鹿柵の効果および今後の課題

本調査期間中、シカがパッチディフェンスの柵に接近しているのを目視したが、侵入することはなかった（写真 3）。また、柵の周辺にはシカの足跡を多数確認し、常にシカが接近している状況であることが推察された（写真 4）。柵の設置から、5 年が経過しているものもあるが、現段階ではシカの侵入は認められず、餌資源が非常に乏しい地域で、かつシカ密度が高い地域（Funryu プログラムによるシカ密度 7~25 頭/km²）であっても、パッチディフェンスは有効であることが示された。

したがって、パッチディフェンスは柵内の植物の保護に有効である。しかし、当地域には以前からシカが生息しており、その森林植生はシカの採食下で成立してきたといえる。そのため、大規模柵により一定地域からシカを完全に排除し再生した森林は、当地域の本来の森林植生とは言い難く、パッチディフェンスによって脆弱な植物を守りつつ、シカも含めた森林生態系の回復を図っていくことが必要であろう。



写真 3 小規模柵の間を歩くオス



写真 4 小規模柵の周辺にできたシカ道

7. 引用文献

山根正伸・羽太博樹・岩岡理樹・永田幸志・古林賢恒 2001. 丹沢山地におけるニホンジカの分布とその生息環境のモニタリングへの地理情報システムの適用. 森林計画学会誌. 35(2) : 63-74.

課題 1－3 生態系の保全・回復のための防鹿柵の効果的運用
共同開発団体 芦生生物相保全プロジェクト
担当責任者 高柳 敦（京都大）

1. 事業目的

シカによって自然植生が大きく改変され、稀少種だけでなく普通種や高木・亜高木についても衰退や地域的な消滅が問題化しており生物多様性喪失が懸念されている。さらには下層植生が消失することによって土壌の流亡など生態系機能の喪失に対する危機感も近年急速に高まっている。そのため、各地に自然植生の保全を目的として、シカを排除する防鹿柵が設置されているが、その多くは小面積を囲む局所的なものとなっている。生態系保全のためには、できるだけ広い面積を保全することが望ましいと考えられるが、防鹿柵の破損状況に関する研究（高柳ほか，1988；入野ほか，2008）が少ないため、大規模な防鹿柵は1箇所破損してもシカが侵入して効果がなくなるリスクが高いという考えが強く、取り組み事例は少ない。さらに、シカがいる中で自然植生が回復することが、生態系が本来の姿を取り戻すことであるとの考えから、植生保護のための防鹿柵は一時的な対策として大規模な防鹿柵を設置することに対する疑念も出されている。

そこで、本事業では、一つの集水域を生態系保全の最小単位と考え、大規模防鹿柵で集水域全体を防除する集水域防除によって、生態系を保全する技術的な可能性を示すとともに、生態系機能ならびに生物多様性の保全・回復における集水域防除の重要性を実証することを目的としている。本報告では、事業のうち、防除技術に関する課題について整理する。

2. 防除技術の検証方法

本年度は2006年に設置された集水域防除試験区の維持管理の在り方について、これまでの状況を整理して、技術的課題について検討した。また、すでに明らかになっている弱点をなくすために新たに開発されたネットを設置して、その効果について検証した。この試験区は多雪地にあるため、冬季に防鹿柵のネットを降ろさなければならない。そのため常緑性の植物の保護が難しいという課題がある。この課題をクリアできる技術について検討するため、同じような積雪地で冬季にも防鹿柵で防除している大台ヶ原の防鹿柵の維持管理状況について環境省の資料をもとに検討した。最後に、自然度の高い自然の保全に防鹿柵を用いるのはふさわしくないとする意見も見られるので、自然植生を保全するための大規模防鹿柵の意義についても検討した。

3. 事業地および防鹿柵の構造

事業地は、京都大学芦生研究林にある集水域を囲むように防鹿柵を設置した集水域防除試験区である（図1）。2006年6月21日に設置され、防鹿柵で囲んだ集水域の面積は約13ha、周囲の総延長約1.6kmで、集水域の出口が谷である以外は、全て尾根上に柵が設置されている。冬季には積雪が2mを越えることもあるため、積雪による

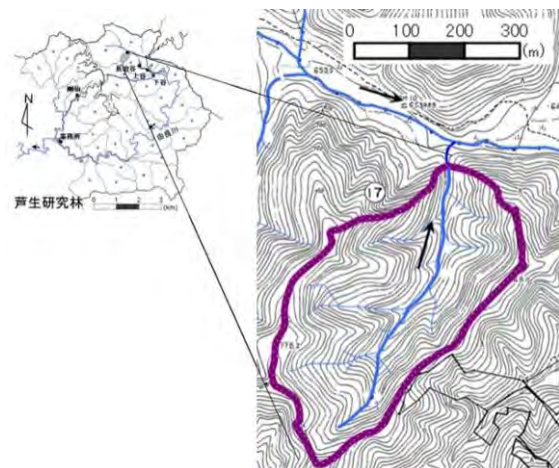


図1 事業地の集水域.

倒壊を回避するため、12月から翌年4月までネットを外して降ろしている。この場所では、毎年12月に区画法により個体数調査を行っており、昨年の調査では最大3.18頭/km²、平均1.65頭/km²であった。シカの個体数密度は高くないが、既に下層植生がほとんどないためか、この密度でも植生の回復は見られていない。

防鹿柵は、幅2.3mの5cm目のポリエチレン製のネットを用い、高さ2mとし、地際の外側30cmの地面を覆っている（図2）。支柱には、コストを削減するためにFRP製の支柱の他に立木も利用している。地面はABSアンカーを用いて50cm間隔で固定してある。この構造は、図2に示した10箇所に入り口の構造を加えた11の特徴をまとめてAF規格（表1）とし、森林で防除効果の高い柵の標準規格として提案している。

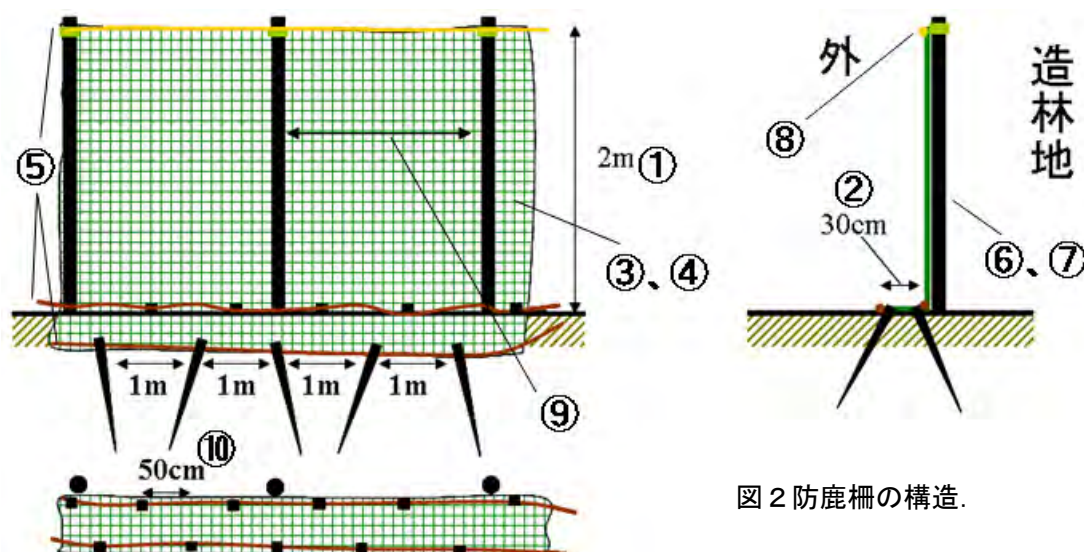


図2 防鹿柵の構造。

表1 防鹿柵の構造上の特徴（AF規格）。

- | | |
|--|--|
| <p>1. ネットの高さが1.8m以上（推奨2m以上）</p> <p>施工直後で高さ1.8mを確保する必要がある。誰かどんな条件で設置しても1.8mとするためには、2m以上の高さで設計されていることが望ましい。</p> <p>2. ネットが地面を20cm以上覆う（推奨30cm以上）</p> <p>地面を覆う部分はネットと一体であることが必要。したがって、ネットの幅は2m以上、推奨2.3m以上となる。</p> <p>3. ネットの目合いは5cm以下</p> <p>これでシカによるネットの噛み切りをかなり抑制。シカが引っかからない。</p> <p>4. ネットの素材は400D×30本以上のPE</p> <p>これまでの試験はPE30本の繊維を使用。これ以上の耐久性と強度がある繊維ならよい。重さ、価格との兼ね合いで選択可能。
※D（デニール）は繊維の太さの単位</p> <p>5. ロープは3本</p> <p>最上段、地際、ネット端の3本が必要。ロープ径は最上段が8mm、他は6mm。</p> | <p>6. 支柱はFRP製でφ33mm以上</p> <p>FRPは軽量で強度があり、弾力性があるので折れにくい。</p> <p>7. 支柱の地上高が2m以上（推奨2.3m以上）</p> <p>支柱の打ち込みすぎの防止、将来支柱が沈んだときへの対応を考え高さに余裕を持つ。地中への打ち込み量を40cmとすると、支柱の長さには2.4m以上、推奨2.7m以上となる。</p> <p>8. ネットが容易に着脱可能</p> <p>柵のメンテナンス時に、外して作業ができるので、補修がしやすい。</p> <p>9. 支柱間隔3m以下</p> <p>地形に対応するため、支柱本数は「柵延長距離÷3m」より1割程度多くする。</p> <p>10. アンカーの間隔は50cm程度</p> <p>地際のネットの外側と内側を交互に押さえる。返しがあり長さ40cm程度のアンカーを用いる。</p> <p>11. 入り口のネットを地面に固定</p> <p>入り口でもネットと地面の間に隙間ができないようにする。</p> |
|--|--|

また、集水域の出口は、この柵の設置箇所では唯一谷部となっている。谷部で、出水による破損を防止し、かつ侵入を防ぐために、ワイヤーメッシュを水平に張っている(図3左)。ワイヤーメッシュは、シカが侵入しようとして体が当たると落ちるように、緩く固定されている。出水時の破損に対しては、2段階で対応するようになっている(図3中と右)。

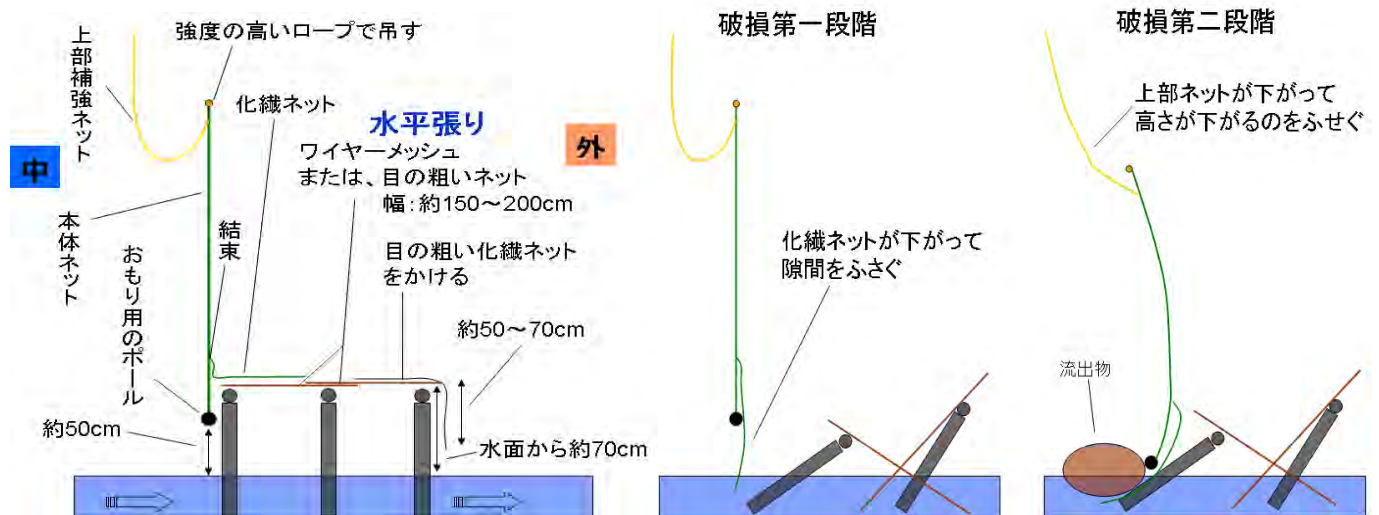


図3 谷部の処理および破損時の応答

4. 結果

4.1 集水域防除技術

4.1.1 維持管理(ネットの再設置・点検・ネット降ろし)

本事業地では積雪が多いため、冬季、防鹿柵のネットを降ろさなければならない。そのような多雪地における維持管理スケジュールを表2に示した。

表2 多雪地における大規模防鹿柵の維持管理スケジュール

時期	必要日数	所要時間	必要員数 (概数)	作業内容
4月(融雪後)	1日	3~4時間	4~5名	残雪状況、積雪による破損状況の確認 ネットを1/3程度あげる
	1日	5~6時間	30名	防鹿柵のネット上げ
5~11月	毎月1日	2~3時間	1~2名	防鹿柵の点検・補修
5~11月	気象イベント 毎に1日	破損状況 による	1~2名	大雨・暴風の直後の防鹿柵の点検・補修
12月(初旬)	1日	2~3時間	4~5名	防鹿柵のネット降ろし

本年度は、4月21日に5名で残雪の状況、支柱の破損有無、ネットの事前準備を行い、26日に26名でネット上げ作業を行った。この作業では、ネットを上げる際に試験地内のシカを追い出さなければならないので、30名前後の人員が必要となる。本事業におけるネ

ット上げ作業の概要は以下ようになる（図4）。事前準備でシカ追い上げ開始地点付近のネットを1/3程度上げておき、両側の尾根にネットを上げる人員を4～5名程度配備して、ネットを上げはじめると同時に、試験区内でシカの追い上げを開始する（①、②）。追い上げ班がネット上げの作業班を越さないように注意しながら、全てのネットを上げる（③、④）。その後、両側に10名近くの人員を配置しネットを点検しながら、残りの人員で、中にシカがいないかを再度確認する（⑤）。2011年度は、追い上げ班を突破して中に進入するシカが1頭出現したが、そのシカを再度追い上げ班の外側に戻す作業は1名のみで行うことができた。

4月21日

①1～7、30～35の本体ネットを上げる

4月26日

②、③本体ネットを上げる班が先行
東回り(9から時計回り)
西回り(27終点から反時計回り)
追い上げ班は本体ネットの
上がっているところを越えないで
シカの追い上げ

④本体ネットを上げるのを完了
追い上げの終了と同時

⑤補助ネットと本体ネットの結合と点検

⑥完成



図4 2011年度ネット上げ作業概要

ネットを上
げて柵の再設
置が完了した
後は、毎月1
回の点検・補
修を行った。
点検補修には、
専用の記録用
紙（図5）を
携行し、必要
な場合には記
録をとること

間隔No.: 外からネットを見て右側の支柱または立木の番号
下あき 下の隙間が20cm(実測値×距離) 浮き 簡単に持ち上がって下あき以上となる(総距離)
弛み ネットの上が160cm以下(実測値) (上あき ネットより上の補強に20cm以上の隙間がある(距離))
穴 直径30cm以上の穴がある
倒れ 支柱が倒れて(斜めになって)いる 壊れ 柵が完全に壊れている 支柱 新しい支柱が必要
侵入 ×(2): 侵入した形跡がある, △(1): 不明, ○(0): 侵入なし

場所: 2011. . : ~ : /
(入り口から)時計(東)回り・反時計回り 点検者名:

通し No.	場所 (支柱No.)	部位	破損種	最低高	状況	侵 入	写 真	図 面	備考(補修資材など)
1		支柱・補助棒 本体・上部・他							
2		支柱・補助棒 本体・上部・他							
3		支柱・補助棒 本体・上部・他							
4		支柱・補助棒 本体・上部・他							
5		支柱・補助棒 本体・上部・他							
6		支柱・補助棒 本体・上部・他							

図5 防護柵点検記録票

とした。小規模のネットの切断がしばしば見られたが、それについては記録していない。定期点検は5月23日、6月24日、7月20日、8月31日、11月22日に行った。大雨や暴風直後の点検は5月31日、9月22日、10月9日におこなった。9月22日と10月9日の点検は定期点検も兼ねることとし、本年度の点検・補修は8回であった。点検・補修は全て一人で行った。携行品は、記録票のほか、ノコギリ、ハサミ、ペンチ、レンチなどの工具の他、各種結束バンドと補修用のネットである。このほか2段の脚立を持ってゆくと作業がやりやすいことがあるが、いずれにせよ一人で十分にこなせる作業である。本年度の最も大きな破損は、5月の大雨の時に入り口の水平張りのワイヤーメッシュがやや崩れただけであり、他に大きな破損はなかった。作業時間については、点検・補修以外の調査と同時に行ったケースもあり、全てにおいて時間は記録されていないが、点検・補修のみにかかった時間は、5月31日を除いて1時間半から2時間であった。この作業時間は、ネットに大きな破損がないかどうかのチェックを主眼に置いたため短時間であり、小さなネットの切断を全て点検・補修する場合には3時間程度の時間がかかることもある。5月31日は入り口の補修で1時間半かかったため全体で約3時間を要した。

積雪前のネットを降ろす作業は、本年度は12月10日に行った。前日の12月9日に初雪があり、50cmの新雪が積った。そのため、作業時間を短くする必要があり、通常は降ろしたネットが広がらないようにまとめる作業を丁寧に行うのを、かなり省略して行った。その結果、4人で約2時間で作業を終了した。

芦生研究林内ではナラ枯れが発生しており、本事業地においても2009年に柵沿いで数本のミズナラが枯死した。そこで2010年4月のネットを上げる作業の前日に、枯死木を伐倒除去した(図6)。2009年には、枯死したスギが尾根側に倒れかけているのを8月に発見し、倒れる前にネットを降ろして伐倒除去した(図7)。



図6 枯死木の事前除去(2010.4.7)



図7 ネットを降ろして枯死木が倒れる前に伐倒除去(2009.8.12)

4.1.2 破損と補修

この柵では2006年6月に設置して以降、2011年度までに大きな破損が5回あった。初年度に原因不明の大きなネットの破れが2箇所で発生した。ネットが全面に破けるほどの破損であったので、ツキノワグマによる破損の可能性がある。新しくネットの端切れをあてて補修した。倒木による破損が2010年に2箇所発生した。1箇所は胸高直径30cm程度のシデ類の古い枯損木がネット上に倒れているのを7月9日に発見した。もう1箇所は、胸高直径60cm程度のミズナラがナラ枯れで枯死したのが倒れているのを10月9日に発見した。いずれも直ちに倒木を切断除去してネットを上げてその場で補修を完了した。あと1回はシカによる引きちぎりであるが、それについては次節で触れる。

化繊ネットの柵では、シカやカモシカが引っかかって暴れることによって柵が破損する事例がしばしば発生する。本事業地の防鹿柵は、ネットの目合いを5cmとしたため、シカやカモシカの成獣は1度も引っかかったことはない。2009年5月30日に生まれて間もない子鹿が頭部をネットにつっこんで死亡したと思われる事例が発生したのが唯一の事例であるが、例外的な事例と思われるし、それによるネットの破損は起きなかった。

4.1.3 侵入

柵を設置して以降、シカの侵入が1度発生した。2010年11月下旬に谷部においてシカの足跡、糞塊、食痕が多数発見された。すぐに侵入カ所が特定できなかったが、12月12日のネットを降ろす作業時に一番奥の尾根部で高さ15cmのところ縦28cm×横26cmの穴が空いているのを発見した。シカがネットを引きちぎって侵入したものと思われる。2009年まではシカによるネットの破損は、ネットの目を噛み切るタイプの破損のみであったが、2010年には事業地の近くに設置していた

10m×10m程度の小実験区において、ネットを引きちぎって侵入するケースが相次いで発生していた。おそらく、この周辺を生息地とするシカが新しい侵入方法を学習して身につけたと思われる。この破損を防ぐために、現在、目合いが16mmと極めて細かいネットを下部1mに取り付けることで対処している。

また、柵の基本構造として、ネットの下部1mにだけステンレスを編み込んだネットを昨年度のうちに作成した(図8)。2011年6月4日に、2010年にしばしば引きちぎり侵入が見られた小実験区のネットをこの改良型ネットに交換したところ、昨年度は侵入が全く起きなかったので、下部1mにのみステンレスを入れることで引きちぎりを防止できる可能性が示された。なお、昨年度試作したネットは、2.3m×50mの重量が22.2kgと極めて重くなってしまったため、今年度、12.2kgまで軽量化したタイプを開発した。



図8 改良型ネット。

4.1.4 経年変化

本事業地では柵設置後約6年が経過している。自然植生の保全のための防護柵は長期間継続することが必要であり、柵の経年変化の状況についてまとめておく。

まず、素材そのものの劣化は現時点では見られていない。ネットの素材は400D(デニール:化繊の強度の単位)30本を編み込んだもので、メーカーの情報では耐用年数7年以上である。実際には林内では紫外線量も少なくなるので10年以上は持つのではないかと

思われるが、今後注意してゆかなければならない。FRPの支柱も、農地における防除や防風ネット用として実績があり、耐用年数10年以上は確実である。

最も大きな経年変化は、ネットの高さが下がってしまう現象である。その原因としてはいくつか考えられる。まず、落ち葉などの堆積物がネットの下部にたまって引き下げてしまうことである。尾根上といっても微地形では斜面上となることが多く、斜面下側にネットがある場合にこの現象が起きやすい。別の原因としてネットを引っかけるフックが下がることが上げられる。これは、一つにはネットを外しても支柱が雪の重みで地面に食い込んでしまう場合と、立木にロープで引っかけたフックが下へずれてきてしまう場合の2つがある。3番目の原因として、毎年ネットを上げ下げしている間に徐々に変形して下がってしまうことがある。4番目として最上部のロープが伸びてしまっていることが考えられる。これについてはメーカーに問い合わせたが、伸び率等に関するデータはないということであった。

以上のように、素材としては十分に10年は持つと思われるが、ネット高が下がる現象への対応が必要となる。現在は、上部に補強ネットを追加して対応できているが、維持管理上の大きな課題である。

4-2 防鹿柵の構造とコストに関する検討—大台ヶ原で設置されている防鹿柵との比較—

本事業地では、積雪対策として冬季にネットを下げているが、同じ積雪地であっても大台ヶ原では、冬季も柵を設置したままにしている。そこで、本事業地の柵と構造や資材費、維持管理コストを比較して、2008、2009、2010年度の防鹿柵設置に関する資料、点検・補修業務報告書、作業日誌を調査した。

防鹿柵は、積雪に対応するため資材費だけでメートル単価で2万円を越えており、本事業の規格の約2,500円の8倍程度のコストとなっていた。

点検・補修業務は6～11月の間に4回行われており、複数の人員で行うように指定されており、ほとんど2名で行っている。道路沿いのロープ柵の補修と同時に行われているので、防鹿柵の補修にかかった正確な日数は不明だが、34箇所（総延長は不明）の柵を概ね毎回1週間程度で点検・補修している。2008、2009年度は、最初の補修では積雪による破損が見られている（2008年：3箇所、2009年1箇所）。冬季の間の倒木による破損が発生しており、2008年1箇所、2009年13箇所、2010年8箇所が、第1回目に補修されている。夏季においても倒木による破損が最も多く、2008年3箇所、2009年11箇所、2010年10箇所であった。なお、この点検・補修では応急処置的補修しかされておらず、本格的補修は別途発注して行われている。

以上の比較から、積雪地における防鹿柵の構造について検討してみる。まず、大台ヶ原では、積雪による破損が毎年発生しているとはいえ、壊滅的な破損は起きておらず、頑丈な構造にすれば積雪地であっても、冬季も設置し続ける防鹿柵が可能であることが示された。ただし、そのコストは資材費だけで8倍と大きく異なっており、高コストであることを考慮するとどこでも設置できるものとは考えにくい。また、頑丈な構造にしても倒木による破損は避けることができず、点検・補修のコスト削減にはつながらない。むしろ、頑丈な構造であるが故に、完全復旧にはより多くのコストがかかることになる。

本事業で用いているAF柵は、冬季にネットをおろさなければならないという大きなデメリットを抱えてはいるが、高い防除効果を保ちつつ、メンテナンス性も良く、構造とコ

ストのバランスに優れていることが確認できた。集水域防除のように破損しにくい場所に設置するのであれば、より多くのケースで大面積防鹿柵として用いるのにふさわしい構造を有していると言える。

表 3 防護柵の資材費の比較

	AF柵			大台ヶ原ステンレス入り化繊ネット柵		
	仕様	100mあたり		仕様	100mあたり	
		必要数	資材費		必要数	資材費
ネット	2.3m×50m 下1mのみ 0.19ステンレス4本入り	2	31,800	3.4m×25m 0.47ステンレス6本 入り	4	312,000
ロープ	ポリエチレン製55m 8mm2本、6mm4本	6	9,980	ワイヤー 8mm×55m 2本、 ポリエチレン製8mm×55m1本	6	72,000
支柱	φ38mm×2.7m FRP製	40	64,000	5cm角×3m FRP製 + 打ち込み用基礎	67	938,000
支柱の支え	φ38mmFRP製	12	43,560	φ48mmFRP製+基礎	34	261,800
ネット固定具	フックボルト	40	12,800	ワイヤー固定具	134	126,000
アンカー	40cmABSアンカー	200	28,600	40cmABSアンカー	201	28,140
その他			61,407			413,680
合計			252,147			2,151,620

4.3 自然植生の保全施策における大規模防鹿柵の意義

自然植生を保全する最も根本的な手段は、シカを捕殺して個体数密度を低減し、植生の後退をもたらす採食圧を減少させることである。しかし、捕殺は植生を直接保全（保護）する手段ではないため、個体数密度の低減が直ちに植生の回復に結びつくとは限らない。自然植生の保全において防鹿柵の利点は、効果的に設置すれば植生を確実に保全できることである。シカの密度管理がなかなか進まず、適正密度に関する科学的情報も少ない現状において、速やかに植生を保全する手段として重要な施策である。一方、その課題としては、1）長期に設置する必要性が高く、維持管理コストを含め、完全にシカを排除することが困難ではないか、2）シカも含めた大型野生動物を排除してしまう、3）景観を損なう、4）自然状態の復元という点から必ず撤去しなければならない、の4点が挙げられる。

1に関しては、設置に関するノウハウの蓄積により、設置コストと侵入リスクを考慮し、保全目的に対して効果的な柵の設置は十分に可能と考えられる。長期に保全が必要な場合の柵の更新（古い柵を撤去して新しい柵にする）に関しては、まだ情報がないため、撤去コストの問題も含め次年度以降に検証する。

2に関しては、具体的情報に乏しく、今後、問題点が科学的に明らかにされてから対応を考えなければならない。ネットの上げ下ろしが可能な柵ならば、具体的な問題点が提示された場合に、それを解決するように柵を開閉することも考えられる。現時点では、緊急を要する生物多様性の保全ならびに生態系機能の回復を重視して防鹿柵を設置することは、植生を保全する立場からは支持される施策と考える。シカのいない生態系は問題であり柵による保全は不適切であるというのは、シカによって自然植生が大きな脅威にさらされている現状では、適切な指摘とは思われない。たとえば、東北地方ではかつてニホンジカが広く生息していたことが近年の文献調査から指摘されている（伊藤，2009）。したがって、東北地方の現在の自然植生は長期にわたってシカのいない生態系となってしまうが、

現時点でそれが生態系を大きく損なっているという科学的根拠は示されていない。植生の保全に限ってみれば、シカがいないことは、種の消失などに比べれば、影響力の小さい環境変化と見ても問題ない可能性もあり、自然植生が晒されている脅威の程度にしたがって適切な保全手段をとるべきであろう。

3 に関しては、観光客からのクレームが寄せられることもあるが、自然植生の危機的状況から柵による保全の重要性について理解を深めてゆかなければならないだろう。4 に関しては、現時点では全く考えられていないが、防鹿柵を用いた保全手法のプロセスとしてきちんと計画に含めておく必要がある。

柵を用いた保全手法に関しては、現在、完全にシカを排除する場合には、小面積防鹿柵による保全が試みられることが多い。小面積防鹿柵と大面積防鹿柵とでは、その設置性と保全対象の適性に違いが見られる

(表 4)。したがって、保全対象の違いと設置や立地の条件の違いに応じて、効果的な規模の柵を有効に活用するようにしてゆくべきであると考えられ、どちらか一方が正しい保全手法であるということにはならない。なお、生態系の保全を考えるとときには、自然保護地域のデザインに関する基本的な考え方(表 5)が参考になると考える。

表 4 小規模防護柵と大規模防鹿柵の適性比較

	小規模柵	大規模柵
1箇所の面積	小さい	大きい
1箇所の設置・管理コスト	小さい	大きい
面積あたりの設置・管理コスト	大きい	小さい
危険箇所の回避	可能	困難
1箇所の破損・侵入リスク	低い	高い
面積あたりの破損・侵入リスク	?	?
ホットスポットの保護	適している	不適
低頻度種・希少種の保護	事前に分布情報が必要	詳細な事前情報は不要
個体群の遺伝的多様性	分集団化により減少	有効集団サイズが減少しにくい
群集の保護	組成が変化しやすい	組成を保ちやすい
生態系過程	回復効果はごく小さい	構成要素のつながりを保全できる
適性:	相対的により適している	相対的に適していない

表 5 保護地域のデザイン

リチャード B. プリマック (2008) P.253 より

	好ましくない	好ましい
A	生態系の一部のみ保護されている	生態系全体が保護されている
B	保護地域が小さい	保護地域が大きい
C	保護地域が分断されている	保護地域が分断されていない
D	保護地域が少ない	保護地域が多い
E	保護地域が孤立化している	保護地域がコリドーで連結している
F	保護地域が孤立化している	生態学的“飛び石”が保護地域間の生物の往来を促進している
G	一樣な生息地が保護されている	多様な生息地(山・湖・森林など)が保護されている
H	保護地域の形が不規則	保護地域の形が円形に近い(エッジ効果が小さい)
I	大きな保護地域しかない	大小の保護地域がある
J	複数の保護地域が個別に管理されている	複数の保護地域が地域で一体的に管理されている
K	人間活動を排除している	人間活動を内包しているバッファゾーンがある

5. まとめ

5.1 技術開発の成果

本事業により、これまで実施してきた AF 柵による集水域防除の維持管理、構造上の特徴、集水域防除における立地の優位性が示され、冬季にネットを下げなければならないが、多雪地においても春～秋にかけてシカを完全に排除する大規模防鹿柵を長期（10 年程度）にわたって設置することが可能であることが示された。

5.2 技術の客観的評価

本技術の第 1 の利点は、シカの侵入を完全に防ぐことができる構造を持ち、月 1 回程度の見回りでシカをほぼ完全に排除できることが上げられる。第 2 の利点は、ネットの上げ下ろしが可能であるため、枯死木の事前伐倒、倒木発生時にもその場で補修復旧が可能であるなど、メンテナンス性にも優れていることである。

一方、課題としては、多雪地では冬季にネットを下げなければならないことが上げられる。そのため、常緑性植物の保全には、十分な効果を発揮することができない。また、さまざまな理由からネットの高さが下がってしまうことが維持管理上の大きな問題である。

5.3 適用条件

集水域防除の事例が 1 箇所のみであるので、適用条件を特定することはできないが、重要と思われる条件として、比較的なだらかな尾根で集水域が囲まれていること、谷の入り口が狭く比較的小さいこと、台風や豪雨の後に直ちに点検できる場所に立地していることの 3 点が挙げられる。

5.4 今後の課題

ネット高が下がる原因とその対策についての検討が必要である。また、防護柵の破損に関し、その立地条件との関連について、本事業以外の様々な事例の調査により明らかにすることで、破損可能性についてより詳細な情報を得ることができれば、大規模防鹿柵の立地条件についてさらに明らかにすることができる。また、数十年の保護が必要である場合を考慮して、ネットの交換のコストについても検討しておく必要がある。また、中型動物の移動経路を確保する手段についても検討しなければならない。シカを含む大型動物を排除してしまう問題について、さらに検討を加える必要がある。

引用文献

- 1) 高柳敦・吉村健次郎（1988）カモシカ・シカの保護管理論に関する一試論 ―防護柵の効果と機能―、京都大学農学部演習林報告, 60, 1-17.
- 2) 入野彰夫・田村淳（2008）丹沢山地の特別保護地区内における植生保護柵の設置実績と破損状況, 神奈川県自然環境保全センター自然情報 1, 29-32.
- 3) 伊藤愛・蓑口秀夫・三浦慎吾（2009）文献資料に基づいた東北地方におけるニホンジカの過去の生息状況, 日本生態学会第 56 回講演要旨, PC1-139.
- 4) リチャード B プリマック（2008）保全生物学のすすめ改訂版, 250-264.

課題 1－4 広域スケールでのシカによる森林生態系被害評価手法の確立
共同開発団体 ひょうごシカ保護管理研究会
担当責任者 岸本康誉・藤木大介

1. 技術開発の背景と目的

近年、顕在化しているニホンジカ（以下、シカ）による森林生態系被害は、下層植生の衰退、土壌の物理構造の改変などを通じて、森林生態系を不可逆的に変化させる可能性もあることから、適切な被害評価とシカの管理目標設定、個体数調整の実施が急務である。

本課題では、都道府県レベルでの森林生態系保全を目的に広域スケールでシカの管理に取り組むにあたって、科学的な管理目標値が設定可能かつ汎用性の高い調査・分析体系を構築するために以下の3点の技術開発を行った

1.1 都道府県スケールでの森林生態系被害モニタリング手法の開発

広域スケールで簡便かつ省力的で地方自治体レベルでも実行可能な被害評価手法について検討した。具体的には、低木層の被度を森林植生の衰退程度の指標に用いる簡略調査を、兵庫県域スケールで実施し、以下の2点について検証した。① シカによる森林植生の衰退程度の指標としての妥当性、② 県域スケールで被害の分布、面積の経年変化の把握とその精度。なお、本項目については、前年度に詳しく報告したため、今回の報告では成果の概略にとどめた。

1.2 森林生態系保全を目的としたシカの管理目標値の設定手法の開発

1.1 で開発した森林下層植生衰退度（SDR）を用いて、対象とする地域の植物相とシカの生息状況に応じて地域レベルでシカの管理目標値を設定するために、ある林分の SDR に対する林分周辺や過去のシカを目撃効率の影響を評価し、立地環境要因を含めてシカを目撃効率の影響を定量化した。また、分析結果に基づき、森林生態系保全を目的としたシカの密度管理における目撃効率と SDR の活用方法について提示した。

1.3 下層植生の衰退防止に向けた必要捕獲頭数の算出手法の開発

下層植生の衰退を防止するために必要なシカの捕獲数を提示するために、下層植生の衰退程度の変化に影響する要因として、過去の衰退程度で示される植物の生産力とシカの推定密度の積分値で示される採食圧の影響を定量化した。また、捕獲頭数設定における意思決定のための資料として、複数の捕獲シナリオを設定したうえで、SDR の将来予測を行った。これらの分析結果に基づき、下層植生衰退防止のための効果的な捕獲数の設定手法について提案した。

2. 対象地域

対象地域は、兵庫県の本州部(約 7,800km²)とした(図 1)。対象地域の標高は 0m～1510m、年平均降水量は、1,200mm～2,000mm 程度であり、気候区分としては暖温帯から冷温帯に属する。土地利用区分の約 7 割にあたる 5,294km²が森林であり、このうち、半分が落葉広葉樹林またはアカマツと落葉広葉樹からなる混交林である。残りの大半はスギとヒノ

キからなる針葉樹人工林である。落葉広葉樹林の優占種はコナラおよびコナラ属の樹木であり、調査地の北西部に位置する冷温帯域ではブナやミズナラとなる。通常、シカが生息していない場合、これらの林の林床では低木層が発達し、ヒサカキやクロモジ、ツツジ属に加え、場所によってはチシマザサやチマキザサなどの大型のササ類が優占する。

兵庫県のシカは、目撃効率、糞塊密度、狩猟捕獲数、有害捕獲数と階層ベイズモデルを用いた個体数推定により、2011 年末の個体数は約 14 万頭と推定されており、ここ 10 年間は単調に増加していると考えられる（坂田ほか 2012）。また、分布は、本州部南西部を除くほとんどの地域に及んでいる（藤木ほか 2007）。さらに、生息密度については、調査地の中央部周辺で最も高く、北側の日本海、南側の瀬戸内地域の海岸部にかけて低くなるという空間的な勾配がみられる（藤木ほか 2007）。

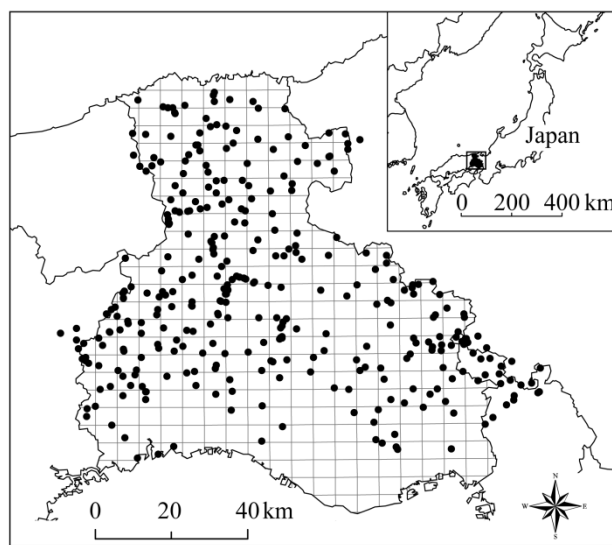


図 1 調査地点位置図

黒点（●）は植生調査地点を格子は狩猟メッシュをそれぞれ示す。

3. 方法

3.1 データ収集

3.1.1 下層植生の衰退度

対象地域内の落葉広葉樹林 345 林分においてチェックシートを用いた簡易植生調査を実施した(図 1)。

調査は、2006 年と 2010 年の 2 回、植物の着葉期間である春から秋にかけて実施した。調査林分において 20m 四方の調査区を設置し、主に以下の項目について調査した。1) 低木層における木本類の被度、2) 低木層におけるササの被度、3) 低木層における高木種稚幼樹の有無、4) ディアラインの形成、5) クロモジの食害の有無、6) リョウブの樹皮剥ぎ本数割合、7) 林冠木への剥皮の有無、8) 剥皮による亜高木層の衰退程度、9) 地表におけるリターの被覆度、10) 面状侵食の面積、11) 立地環境属性(林分高、斜面方位、斜面勾配など)。尚、各調査項目のデータは、カテゴリカル・データ形式で採取した。調査方法や調査項目の詳細について、昨年度の報告書を参照されたい(ひょうごシカ保護管理研究会 2011)。

各調査林分のシカによる下層植生衰退程度(Shrub-layer decline rank ; SDR)については、低木層の被度と過去数年以内のシカの食痕の有無によって以下の 6 段階に判定区分した。無被害「ND」;食痕なしの林分、衰退度 0「D0」;食痕ありで低木層の被度が 75.5%以上の林分、衰退度 1「D1」;食痕ありで低木層の被度が 38%から 75.5%の林分、衰退度 2「D2」;食痕ありで低木層の被度が 18%から 38%の林分、衰退度 3「D3」;食痕ありで低木層の被度が 9%から 18%の林分、衰退度 4「D4」;食痕ありで低木層の被度が 9%未満の林分。なお、低木層の被度は木本類とササ類のそれぞれの被度の中央値を合計した値とした。

3.1.2 シカの密度指標と推定密度

兵庫県では、1998 年から狩猟者へのアンケート調査（以下、出猟カレンダー）を、1999 年から糞塊密度調査を毎年継続的に実施している。出猟カレンダーは、狩猟者の出猟日、狩猟時におけるシカ目撃数の情報を 5km メッシュ（約 5km 四方）毎に収集している。これらのデータから、出猟者あたりの 1 日のシカ目撃数の平均値（以下、目撃効率）を狩猟メッシュ毎に算出し、その値を各メッシュにおけるシカの密度指標として使用した。一方、糞塊密度調査では約 5km 平方の狩猟メッシュ内の尾根線上に、平均 5.6km の固定ルートを設定し、10 粒以上の糞塊数をカウントしている。これらのデータから踏査距離あたりの確認糞塊数（以下、糞塊密度）を狩猟メッシュ毎に算出した。さらに、狩猟メッシュ単位で収集および集計された狩猟捕獲数と有害捕獲数を加え、それぞれのデータを 2 次メッシュ単位で集計した。これらのデータを用いて、階層ベイズモデルにより 10km×10km メッシュ単位で個体数を推定した(岸本 未発表)。

3.1.3 立地環境

SDR を測定した各プロットの林床の光環境を左右する立地環境要因として、林分タイプと林冠の高さ、斜面方位、傾斜のデータを収集した。林分タイプと林冠の高さは野外における実測データを用いた。林分タイプはアカマツ林、コナラ林、クリ・ミズナラ林、ブナ林、その他の 5 つのグループに、林冠の高さは低（5m から 10m）、中（10m から 20m）、高（20m 以上）の 3 段階にそれぞれ分類した。傾斜および斜面方位は、北海道地図（旭川、日本）により販売されている解像度 10m の DEM から算出した。DEM より算出した斜面方位は 8 方位に分類した。なお、これらの地形解析には、ArcGIS9.2（Esri 社,USA）の Spatial Analyst エクステンションを用いた。

3.2 分析方法

3.2.1 SDR を用いたモニタリングの有効性の検証

対象地域内の落葉広葉樹林のうち、非調査地点の SDR の値の推定(以下、空間推定)を実施した。空間推定に当たっては、調査データを地理情報システム(GIS)上に取り込んだ上で、IDW 法(Fortin and Dale 2005)による空間内挿処理を行った。内挿にあたっては、各調査林分の SDR に 0～5 の整数値を割り当てたうえで、調査地域を 100m 四方の格子メッシュに区切り、それぞれのメッシュから半径 10km 以内の調査地点を対象に、距離の 2 乗の逆数で重みづけをした平均値を算出した。算出された値は小数点以下を四捨五入して整数値に戻すことで SDR に変換した。SDR の空間推定結果の精度検証には、Leave-one-out 交

差検定法(Wackernagel 1995)を用いた。なお、以上の解析は 2006 年データと 2010 年データのそれぞれで実施した。使用したソフトウェアは、ESRI 社の ArcGIS 9.3 Spatial Analysis Extension である。

3.2.2 SDR とシカの子撃効率の関係解析

異なる時空間スケールでのシカの子撃効率と SDR のデータセットを作成するため以下の手順でデータの加工を行った(図 2)。まず、それぞれの植生調査地点から半径 0.5km から 10.0km までの範囲を 0.5km 刻みでバッファを発生させた。また、シカによる植物への累積的な影響を評価するために、バッファごとに当年分から過去 8 年分までの子撃効率の平均値を 1 年刻みで算出した。なお、各バッファ内の子撃効率は、メッシュごとの森林面積で重みづけをして、平均値を算出した。20 区分の空間スケールと 8 区分の時間スケールすべての組み合わせで算出した子撃効率を用いて、下層植生に及ぼすシカの空間的・時間的な影響を解析した。

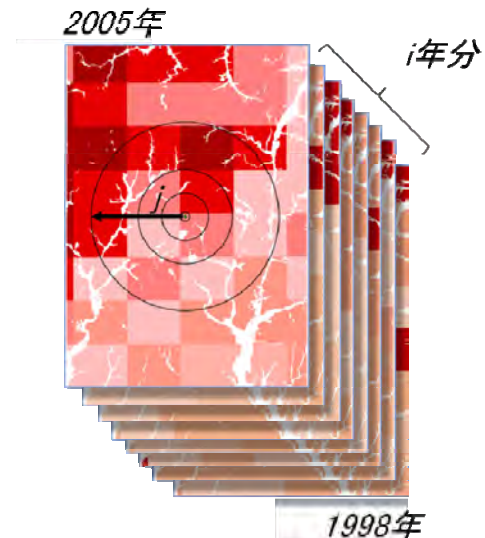


図 2 調査林分の周辺と過去の子撃効率の算出方法

それぞれの時間的・空間的スケールにおいて、子撃効率と立地環境要因(林分タイプ、林冠高、斜面方位、傾斜)の全ての変数の組み合わせで、SDR と各変数との関係を多変量累積ロジットモデルにより解析した。モデル選択には、赤池情報量基準 (AIC) を用いた (Akaike, 1974)。そこで、選択された AIC が最も低いベストモデルについて、ANOVA を用いた SDR に対する効果分析を行った。モデルの予測の精度の評価には、ROC 曲線の曲線下面積 (AUC) を用いた (Hanley and McNeil 1982)。なお、これらすべての統計解析には、SAS9.1 (SAS Institute, Cary, NC, USA) を用い、各モデルの変数の有意性検定には Wald の χ^2 統計量を用いた。

3.2.3 SDR の変化の要因分析と複数の捕獲シナリオに基づいた将来予測

SDR の経年変化予測モデルの構築

2006 年から 2010 年までの累積的なシカの採食圧を示すデータセットを作成するために、推定生息個体数の積分値とその推定誤差を計算した。2006 年から 2009 年までの 4 年間の個体数の積分値は、折れ線の下面積 (7 角形の面積) とした。また、推定値を説明変数として用いる場合の推定誤差を考慮するため、積分値の分散も同時に求めた。これらを植生調査を実施した林分ごとに集計し、調査林分周辺の個体数の積分値とその分散を計算した。

SDR の変化に影響する要因とその効果を定量化するために、2010 年の SDR を応答変数として、2006 年の SDR と 2006 年から 2010 年までのシカ個体数の累積値とその分散を用いて、累積ロジットモデルを組み込んだベイズモデルを構築した。また、各モデルにおけるパラメータの事前分布は、それぞれ無情報に近い事前分布を設定した。

各パラメータの事後分布は、マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)を用いて、多数のランダムサンプルを得ることにより推定した。MCMC の計算は、10,000step であり、最初の 5,000 回の burn in 後、残りの 5,000step を 5step 間隔でサンプリングした。これを独立に 3 回(3chain)行い、合計 3,000 の MCMC サンプルをそれぞれのパラメータをえた。なお、MCMC 計算には、R 2.10.0 (R Development Core Team 2010)、WinBUGS1.4.2(Lunn et al. 2000)と R2WinBUGS パッケージ(Sturtz et al. 2005)を用いた。収束診断は、Gelman & Rubin の方法(Gelman & Rubin 1992)と有効サンプルサイズにより行った。

複数の捕獲シナリオに基づく SDR の将来予測

SDR の変化を示すパラメータの推定結果と設定した複数の捕獲シナリオに基づいて、4 年後の 2014 年の SDR の将来予測を行った。シナリオは、6 通りを設定し、2010 年の植生調査直前の 2009 年の年間捕獲数を基準として、「捕獲なし」、「2009 年度と同じ捕獲率」、「2009 年度の捕獲率の 1.5 倍」、「2009 年度の捕獲率の 2 倍」、「2009 年度の捕獲率の 1.5 倍（高密度地域重点捕獲）」、「2009 年度の捕獲率の 1.5 倍（中～低密度地域重点捕獲）」とした。なお、視覚的に面的なリスクを把握するため、将来予測により得られた林分単位での 4 年後の SDR データを GIS 上で IDW 法による空間内挿処理を施し、地図化した。

4. 結果と考察

4.1 森林生態系被害モニタリング手法の開発

林分内の様々な森林構成要素の衰退と SDR の関係について分析した結果、11 の森林構成要素のうち、10 の要素と衰退と SDR は正の相関があった(結果については、ひょうごシカ保護管理研究会 2011 を参照のこと)。以上のことから、森林構造全体の衰退の指標として SDR を用いることの妥当性を示すことができた。

次に、調査データを GIS 上に取り込み、IDW 法による空間内挿処理を行うことによって、2006 年と 2010 年の両年の兵庫県内の落葉広葉樹林における SDR の各ランクの空間分布をそれぞれ推定した(図 3)。その結果、両年とも 90%前後の地点で推定値と実測値の誤差は 1 ランク差以内に収まることが示された(図 4)。さらに、2006 年～2010 年の 4 年間の被害の経年変化も定量的に把握することができた。以上のことから、SDR を用いることによって、都道府県スケールでシカによる落葉広葉樹林の物理構造の衰退状況をモニタリングできることが実証できたといえる。

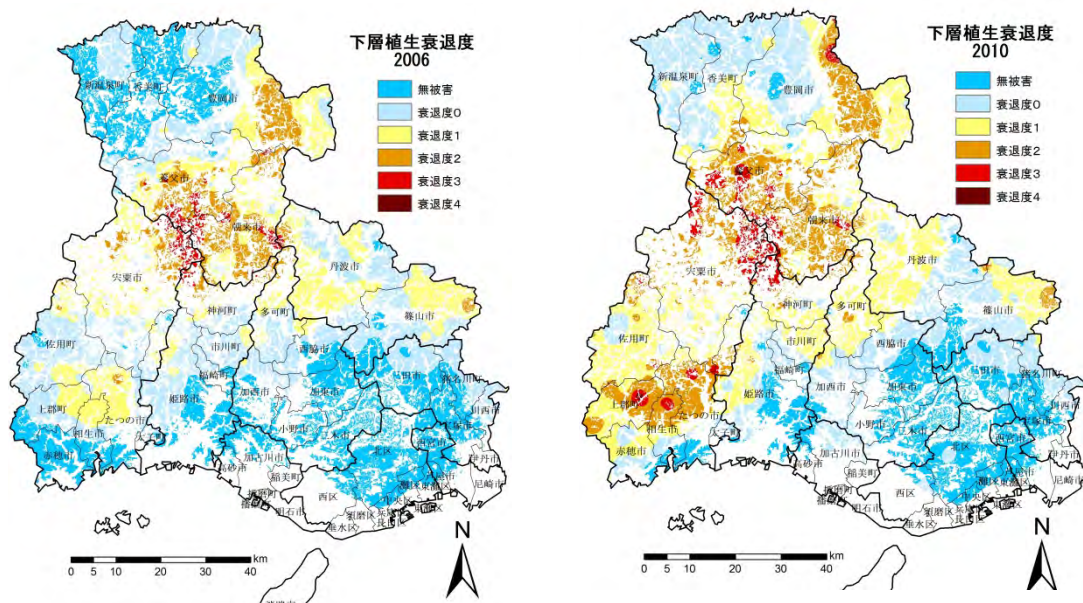


図3 IDW 法による落葉広葉樹林のSDRの空間推定結果 (左：2006年、右：2010年)

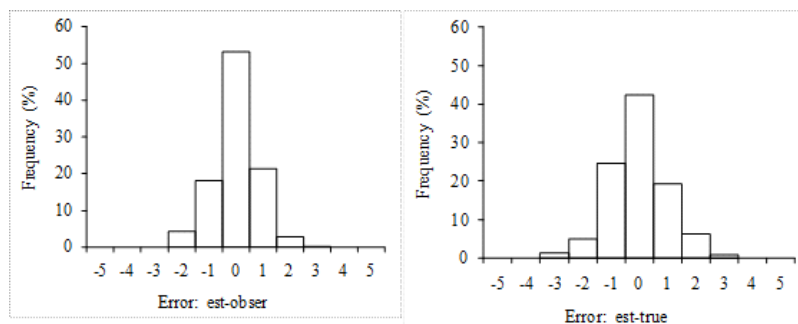


図4 SDRの推定値と実測値の誤差の頻度分布 (左：2006年の結果、右：2010年の結果)

4.2 シカの管理目標値の設定手法の開発

4.2.1 適切な時空間スケールの把握

総当たり法を用いたモデル選択により、時空間スケールごとの最も AIC が低かったモデルのセットを図 5 に示す。その結果、林分から半径 4.5km の範囲で過去 4 年分の日撃効率をもつモデルで最も AIC が低かった (AIC=718.6)。すべての時間スケールで、林分からおおよそ 4.5km に達するまで AIC の値は減少した。また、すべての空間スケールで、4 年分の日撃効率データを用いたモデルは、他の累積年数の日撃効率を用いたデータのモデルよりも AIC が低かった。

さらに、林分から半径 4.5km 範囲の日撃効率のデータを用いたモデルのうち、ベストモデルと 5 年分のデータを用いた 2 番目のモデルの間の AIC の差は大きく ($\Delta AIC \geq 3.6$)、この結果は、ベストモデルが強く支持されることを示している (Burnham and Anderson 2002)。

今回得られた林分からの距離や累積年についてのスケールは、本地域におけるシカの行動特性や衰退程度によって異なる植物の回復力の違いからも説明が可能である。これらの

ことから、ある林分におけるシカの採食の影響は林分からある程度離れた地域や過去のシカの生息状況を考慮することで、より高い精度でシカによる下層植生への影響を評価できるといえる。

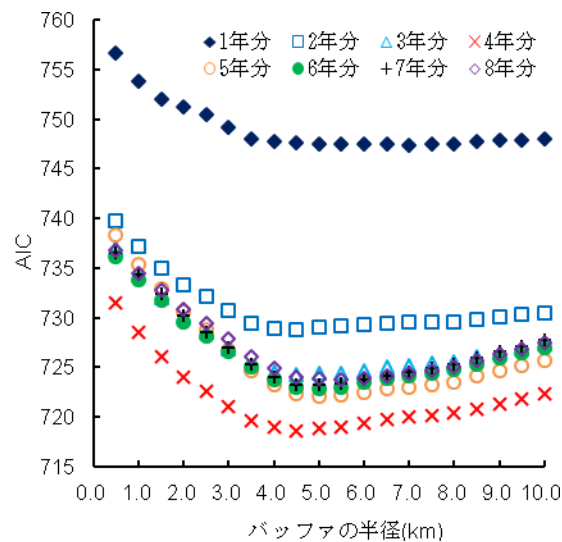


図 5 林分からの距離と過去の年数の組み合わせごとに SDR を説明するモデルから得られた AIC

4.2.2 SDR を説明する要因とその関係

最も AIC が低い林分から半径 4.5km 以内の過去 4 年分の SPUE の平均値を用いたモデルのうち、目撃効率、林分タイプ、樹冠の高さ、傾斜の 4 変数を含むモデルで AIC が 718.6 と最も低かった。このベストモデルの AUC は、0.773 であり、有効な精度で予測ができていたことが示された (Swets 1988)。また、他の変数を使用せず、SPUE のみを用いた単変量のモデルでも、AUC の値は 0.718 となり、有効な予測が得られた。

表 1 ベストモデルの分散分析結果

パラメータ	自由度	Wald χ^2	<i>P</i>
目撃効率	1	60.63	<0.001
林分タイプ	4	30.79	<0.001
樹冠の高さ	2	9.06	0.011
傾斜	1	7.75	0.005

さらに、ベストモデルの分散分析の結果、SDR に対する有意な効果が認められた (P<0.05, 表 1)。このうち、目撃効率は SDR に対して、最も高い効果がみられた (Wald $\chi^2=60.63$)。一方、林分タイプは、上位 5 位のすべてのモデルに含まれたものの、SPUE に比べて効果は低くかった ($\chi^2=30.79$)。

これらのことから、林冠が閉鎖した林分であれば、林分間の SDR の変異は、立地環境要因の変異に関わらず、目撃効率によって強く説明されるといえる。

最も SDR と関係性が高かった目撃効率について、その実測値と SDR との関係を図 6 に示す。SDR との間には、強い負の相関が認められ、林分から周辺 4.5km 以内の過去 4 年分の目撃効率の平均値が 1 以上の林分では、SDR が D2 以上の林分の割合が増加した。このように、目撃効率に応じて、SDR の林分構成割合を示すことができた。管理にあたっては、目標とする SDR の構成割合にあたる目撃効率を設定することで、目撃効率を基準と

して森林生態系保全のためのシカの密度調整を進めることが可能である。

以上のことから、森林生態系保全を目的としたシカの密度管理を進める場合、目撃効率と SDR を地域スケールで観測し、目撃効率と SDR の解析結果に基づいて、目撃効率を基準としたシカの管理目標値を定めることは簡便で有効な管理手法であると結論付けられる。

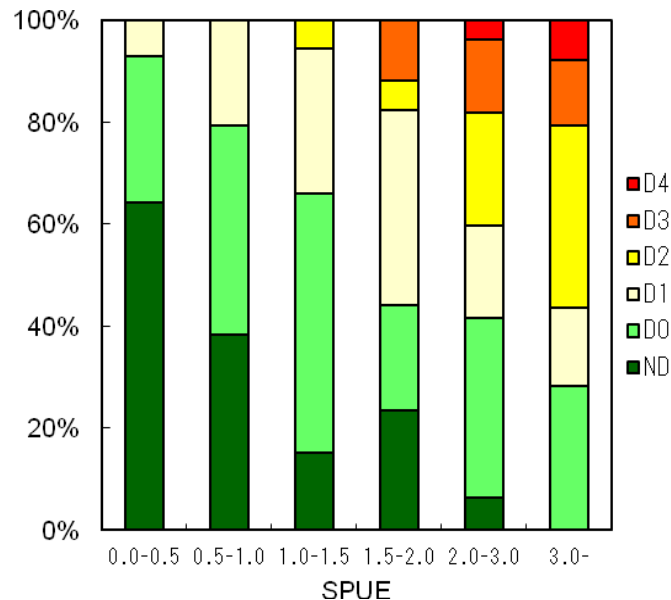


図 6 目撃効率と 2006 年の SDR との関係

(SPUE は林分半径 4.5km 以内における過去 4 年分の目撃効率の平均値を示す)

4.3 シカの必要捕獲頭数の算出手法の開発

4.3.1 SDR の経年変化予測モデルの構築

MCMC サンプリングの結果、すべてのパラメータで、Gelman & Rubin の統計量 R は 1.02 以下となり、また、有効サンプルサイズも 160 以上であり、十分な収束が得られた。

目撃効率の係数 ($\pm$ sd) は平均 0.78 ($\pm$ 0.16) で、95%信頼区間 (0.49~1.11) が正の値となり、2010 年の SDR に対して有意な正の相関が認められた。また、2006 年度の SDR の係数の平均値 (2.5%~95%点) についても、2006 年の衰退度 ND に対して、その効果が D0 は -2.25 (-2.79~1.76)、D1 は -1.04 (-1.56~-0.54)、D2 は 0.99 (0.31~1.62)、D3 は 3.03 (2.25~3.90)、D4 は 4.31 (3.11~5.59) となり、SDR の間で大きく異なっていた。これらの結果は、2010 年の SDR は、2006 年から 2010 年までのシカの累積密度と 2006 年時の SDR の両方に影響されていることを示している。

2010 年の衰退度を説明する予測値と実測値との誤差を図 7 に示す。47%にあたる 141 林分で誤差が 0 となり、予測値と実測値が一致していた。また、90%にあたる 270 林分でその誤差が ± 1 ランクの範囲に収まった。これらのことから、構築されたモデルは、比較的精度の高い予測できると評価した。

以上のことから、下層植生の衰退度の変化は、過去の植物の現存量、すなわち植物の生産力と、シカによる累積的な採食圧に影響されており、これらを考慮したモデルを構築することで、比較的高い精度で予測することが可能になったといえる。

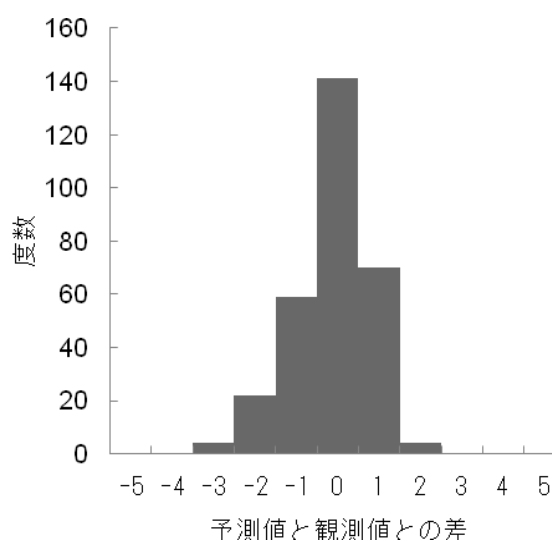
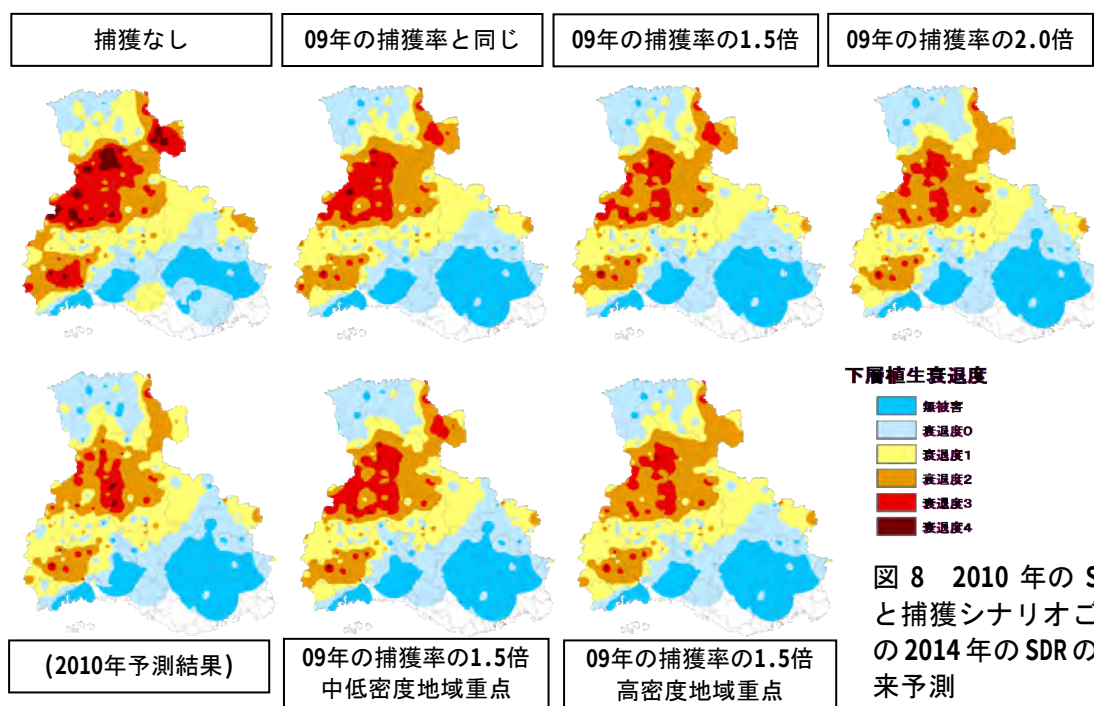


図7 2010年のSDRの予測値と実測値の誤差の頻度分布

4.3.2 複数の捕獲シナリオに基づくSDRの将来予測

6通りの捕獲シナリオに基づく、4年後（2014年）のSDRの空間推定結果を図8に示す。



これらの予測の結果から、現状の捕獲圧では、今後4年間でも衰退は進行し、衰退を防止するためには、2009年の約1.5倍以上の捕獲圧をかける必要があることが明らかとなった。この値は、個体数の将来予測において、個体数を減少させるために必要な値と類似している。つまり、少なくとも、現状の個体数を減らさない限り、衰退は進行しいていくこ

とを示している。これらの予測は、必要な捕獲数を算出するための材料としてだけではなく、シカの個体数調整を実施することの社会的理解を求める上でも十分活用できるであろう。捕獲が十分でない場合のリスクが視覚的にも判りやすいからである。

また、地域的に捕獲の強度を変えた将来予測の比較により、同じ 1.5 倍の捕獲圧でも高密度地域での重点的な捕獲は、被害程度が深刻な地域での衰退の進行を防止するために効果的であることが示された。高密度地域での捕獲の強化は、実際に捕獲を進めていく上でも、実行の可能性が高い方法である。大規模な捕獲の強化には、狩猟者の協力が不可欠であるが、狩猟者にとっても密度が高く捕獲の効率が高い地域への出猟は、捕獲効率の悪い低密度地域への出猟に比べて、協力が得られやすいと考えられるからである。

5. 技術開発の成果

5.1 森林生態系被害モニタリング手法の開発

チェックシートを用いた簡易植生調査では、ある一定の基準で林分の選定を行ったうえで、低木層の被度を目視で5段階評価を行った。このようなラフで簡便な調査にも関わらず、SDR によってシカによる落葉広葉樹林の低木層の衰退程度を評価できるうえ、林分の全体的な物理構造変化の指標としても妥当であることが示された。さらに、GIS 上で空間内挿処理を行うことによって、SDR の分布や面積を精度高く推定できたうえ、経年的な変化もモニタリングできることが明らかになった。以上のことから、SDR を用いることによって、都道府県スケールでシカによる落葉広葉樹林の物理構造の衰退状況をモニタリングできることが実証できたといえる。

5.2 シカの管理目標値の設定手法の開発

森林の機能的な変化を把握するための簡便な指標である SDR と、広域でなおかつ効果的に生息状況が把握できる目撃効率を用いた関係解析により、森林生態系保全のためのシカの管理目標値をシカの目撃効率で設定することが可能となった。これまでは、多くの地域において、当該地域の実情に基づかない管理目標値を採用していたが、今回開発した手法を用いることにより、地域の実状に応じて、対象地域独自の管理の目標値が設定できる。さらに、SDR は目視で短時間に評価でき、目撃効率は狩猟者の協力さえ得られれば、データ収集が容易であるため、事業主体の都道府県にとって、予算的にも労力的にも負担が少ない。これらのことから、目撃効率と SDR のモニタリングと関係解析に基づいたシカの管理は、汎用性の高い手法であると考えられる。

5.3 シカの必要捕獲頭数の算出手法の開発

下層植生の衰退状況の変化は、過去の植生の衰退状況と、その後の累積的なシカの採食圧の両方により説明されることが明らかとなった。また、SDR の変化予測モデルの構築と複数の捕獲シナリオに基づいた SDR の将来予測により、植生衰退を防止するための必要捕獲頭数を計算することができた。これらの将来予測の結果は、捕獲計画に応じた下層植生衰退の将来的なリスクの違いを描画したものであり、森林生態系保全を目的としたシカの個体数管理の意思決定の場で、捕獲数設定の合意を得るための有用な情報になりえる。具体的には、今回の結果からは、必要捕獲数という具体的な数値が算出されるため、都道

府県における捕獲強化のための事業の立案や予算要求の根拠資料としても活用できるであろう。

6. 開発中の技術の客観的評価

(利点、欠点、適応に向く条件、適応に向かない条件)

6.1 森林生態系被害モニタリングの開発

利点：都道府県スケールでの被害モニタリングを、簡便かつ比較的少ない労力で実施できる。アウトプットは、素人にも理解しやすい内容。

欠点：短い期間での被害変化や、狭いエリアでの被害の詳細把握には向かない。

適応に向く条件：落葉広葉樹林が卓越する地域。

適応に向かない条件：光量が少なく、下層植生が発達しない常緑広葉樹林や、ミヤコザサなどシカによる採食耐性が強く、シカの影響が被度の減少として現れない植物種が下層に繁茂する林分では、指標の改良が必要。

6.2 シカの管理目標値の設定手法の開発

利点：地域の植生の特性に応じて、対象地域独自の管理の目標値が設定できる。目撃効率と SDR のいずれも、事業主体の予算的・労力的な負担が少ない。

欠点：過去の現存量によって説明される植物の生産力の影響を評価していない。

適応に向く条件：落葉広葉樹林。目撃効率などの、広域的に把握されている指標が数年分蓄積されている地域。

適応に向かない条件：6.1 と同様

6.3 シカの必要捕獲頭数の算出手法の開発

利点：下層植生の衰退を防止するために必要かつ具体的な捕獲数を提示できる。将来的な衰退のリスクの程度を視覚的に表現できる。

欠点：統計処理を行うための専門的な技術が必要。これを解決するには、データ処理と出力を行うパッケージが必要。また、現段階では、密度軽減による植生の回復結果が得られていないため、今後、回復データを入れた解析が必要。

適応に向く条件：少なくとも、過去に植生調査結果があり、その後の個体数の動向把握できる地域。

適応に向かない条件：植生の回復が防護柵の設置などの他の要因により影響されている地域。地域スケールでの個体数推定を行うためのデータが蓄積されていない地域。

課題 1－5 ニホンジカを誘引することによる被害軽減技術の開発及び誘引された個体の効率的捕獲技術の開発

共同開発団体 山口県農林総合技術センター、山口大学

担当責任者 田戸裕之（山口県農林総合技術センター）

1 シカを誘引することによる被害軽減技術の開発

(1) 目的

広葉樹林を伐採（H22～H24）することにより、更新樹によるシカの餌場を作り、シカが誘引される様式を明らかにする。また、誘引されることによって周辺の生態系へのインパクト及び人工林への被害が減少する状況について明らかにする。

また、シカを誘引できる餌場を維持するために、餌場の管理手法を開発する。

(2) 方法

ア 生息密度調査

(ア) 糞調査（糞粒法）

図 1-1 のように天然林伐採地を中心に、300m×300m区画を縦横 6 区画設定し、その頂点（●：40 箇所）及び伐採地周辺では詳細（▲：25 箇所）に糞粒法（65 箇所）行う。

1 箇所の糞粒法のプロット数は、周囲の 40 箇所は 63、伐採地周辺 25 箇所（詳細調査地）は 49 とした。

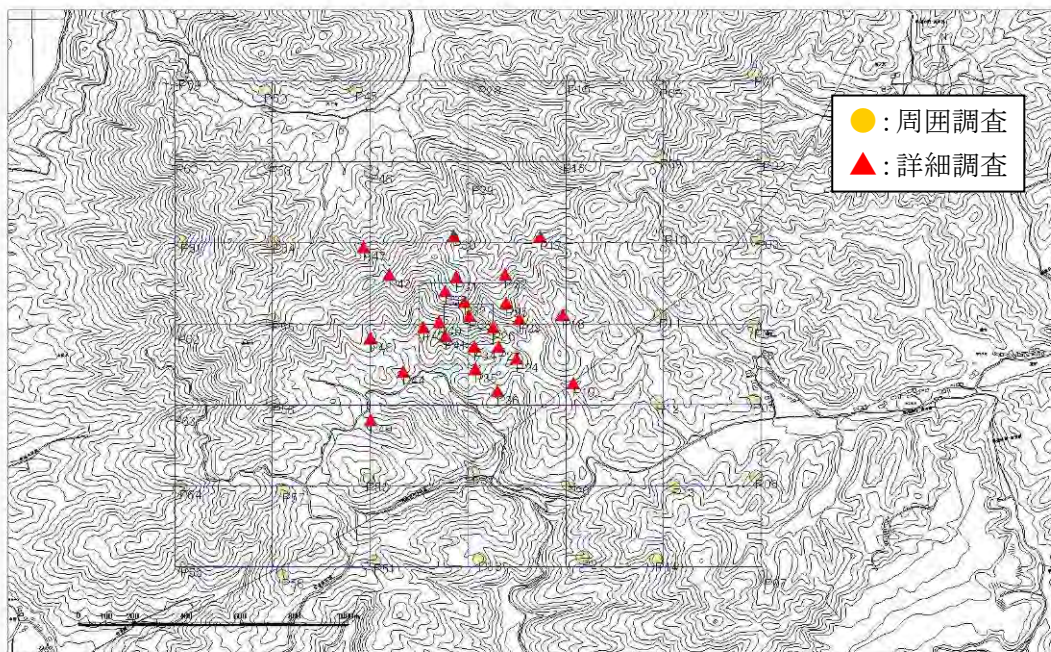


図 1-1 糞粒調査地の設定

(イ) カメラによる利用頻度調査

図 1-1 の伐採地周辺（詳細調査）25 箇所の糞調査を行う場所で、調査

地の中心部にカメラをセットし、糞の分解が早い時期の補完や糞調査の結果との関係を明らかにするため利用頻度の調査を行う。

赤外線センサーカメラの設定は、表 1-1 のとおりとした。

表 1-1 カメラの設定

カメラ	Bushnell TROPHY
Picture Size	5MP=2560×1920
Response Time	1s
Triggering Interval	3 sec
IR-Flash Range	12m-15m
Memory card	SDHC 16GB
データ等交換間隔	1 ヶ月

イ 被害調査

(ア) 人工林被害調査

図 1-2 のとおり人工林で調査の同意がとれた 8 箇所の本数 100 本において角擦り被害の調査を行う。

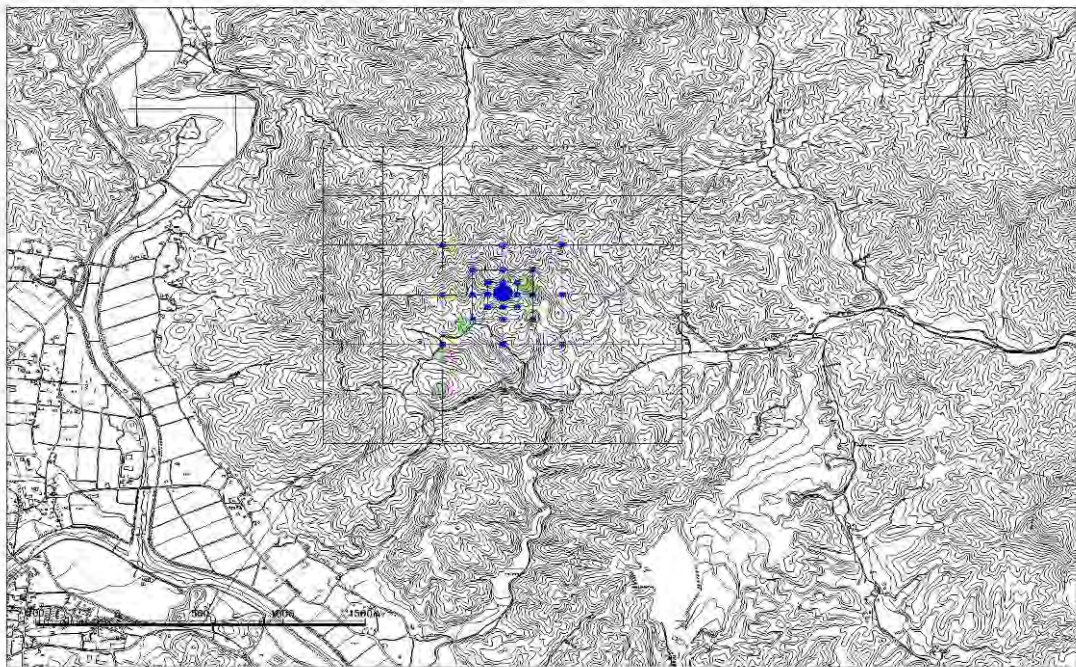


図 1-2 壮齢樹被害調査地

(3) 結果

ア 生息密度調査

(ア) 糞調査（糞粒法）

図 1-3 のように天然林伐採地を中心に、300m×300m区画を縦横 6 区

画設定し、その頂点及び伐採地周辺では詳細に糞粒法（65箇所）を行った。

本年度は調査地全体に糞粒数が多く比較はそのままできないが、伐採を行った調査地中心で糞が多く確認された。カメラ調査と併せて今後継続的に調査することにより、生息密度の変化について明らかにする。

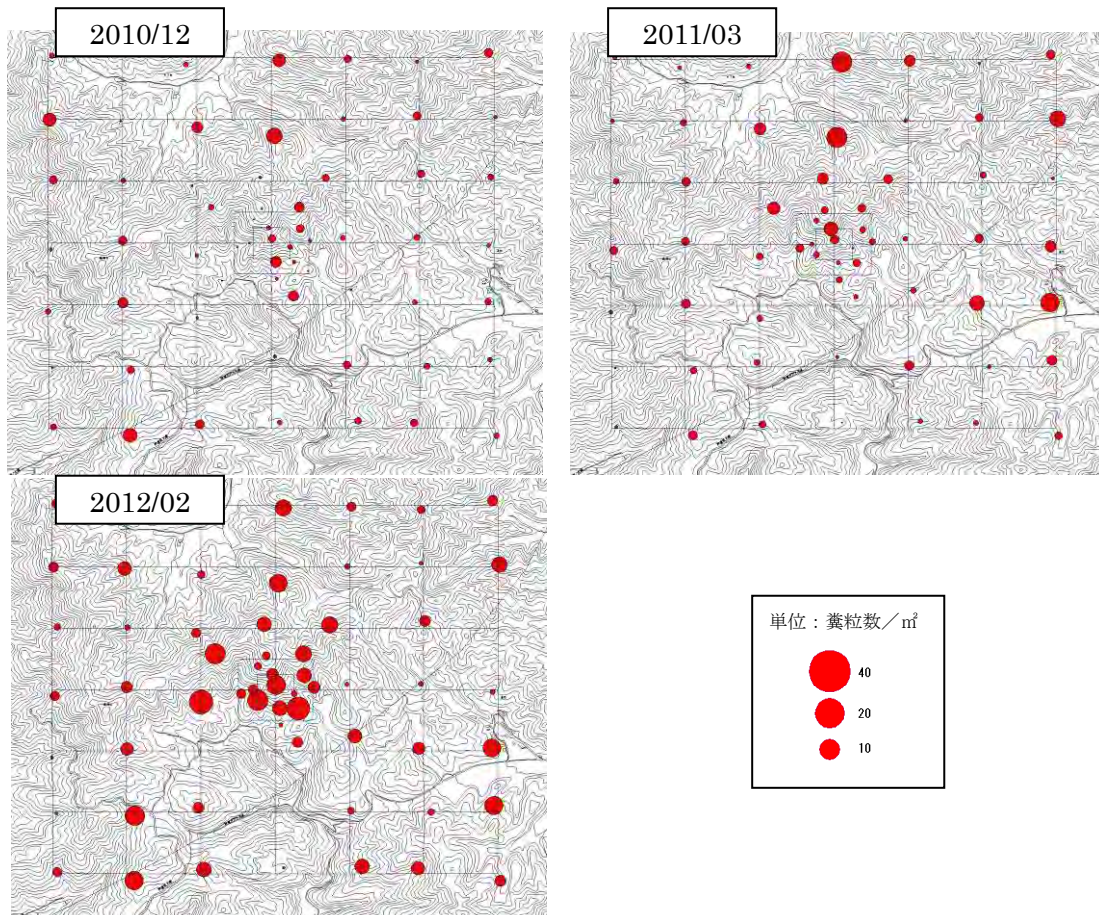


図 1-3 糞粒法調査結果

(イ) カメラによる利用頻度調査

カメラによる撮影密度は図 1-4 のようになり、著しく調査地の中心である伐採地に集中している傾向は見られなかった。カメラの調査地点の誤差が大きいことが考えられるために、誤差を評価した分析を今後行っていく。

糞粒法の結果と比較してもそのままでは相関関係にはなかった。撮影密度と糞粒密度の差についても、今後継続的に調査することにより、変化を明らかにする。

表 1-2 赤外線センサーカメラによるシカ撮影頻度

Camera No	2010/12	2011/01	2011/04	2011/07
	～	～	～	～
	2011/01 平成22年度 第1回	2011/04 平成23年度 第1回	2011/07 第2回	'2011/12 第3回
17	4.6	3.2	0.7	4.6
18	0.9	0.6	7.8	0.9
19	11.2	11.2	6.2	11.2
22	4.2	2.0	8.7	4.2
23	2.0	0.2	7.3	2.0
24	0.5	0.2	0.1	0.5
25	10.9	6.5	19.3	10.9
26	1.2	2.8	3.4	1.2
27	1.6	4.0	0.2	1.6
30	2.4	0.5	5.3	2.4
31	0.4	0.6	0.8	0.4
32	9.3	1.2	3.5	9.3
33	1.8	1.0	4.1	1.8
34	—	1.6	7.1	0.0
35	0.0	—	0.1	0.0
36	2.1	1.0	0.4	2.1
39	4.0	4.5	2.1	4.0
40	0.9	4.7	5.7	0.9
41	0.2	6.1	2.4	0.2
42	10.0	14.0	3.9	10.0
43	6.2	2.6	2.2	6.2
44	0.6	0.5	0.5	0.6
47	7.2	7.5	1.6	7.2
48	0.1	0.0	0.1	0.1
49	1.6	7.6	0.9	1.6

(単位：撮影枚数／日数)

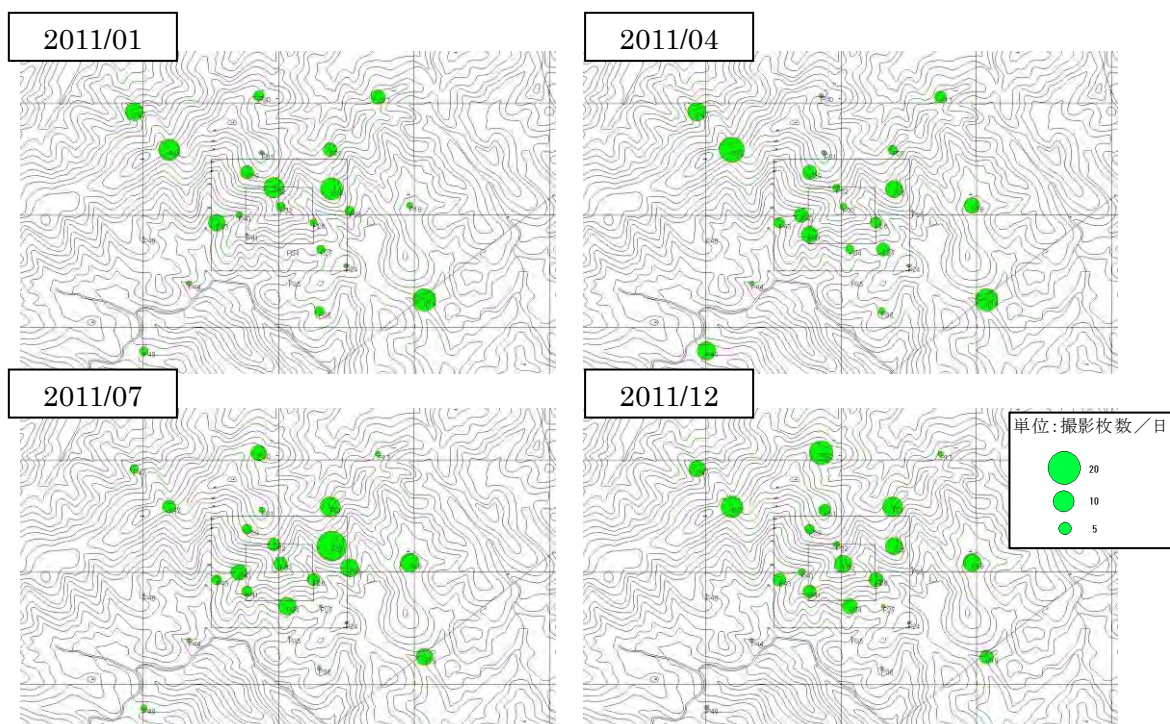


図 1-4 カメラによる撮影密度（日数あたりのシカ撮影枚数）

イ 被害調査

(ア) 人工林被害調査

人工林の角擦り被害状況調査を行った。

各種密度調査と捕獲情報を併せて被害ポテンシャルとして評価を行って
いきたい。

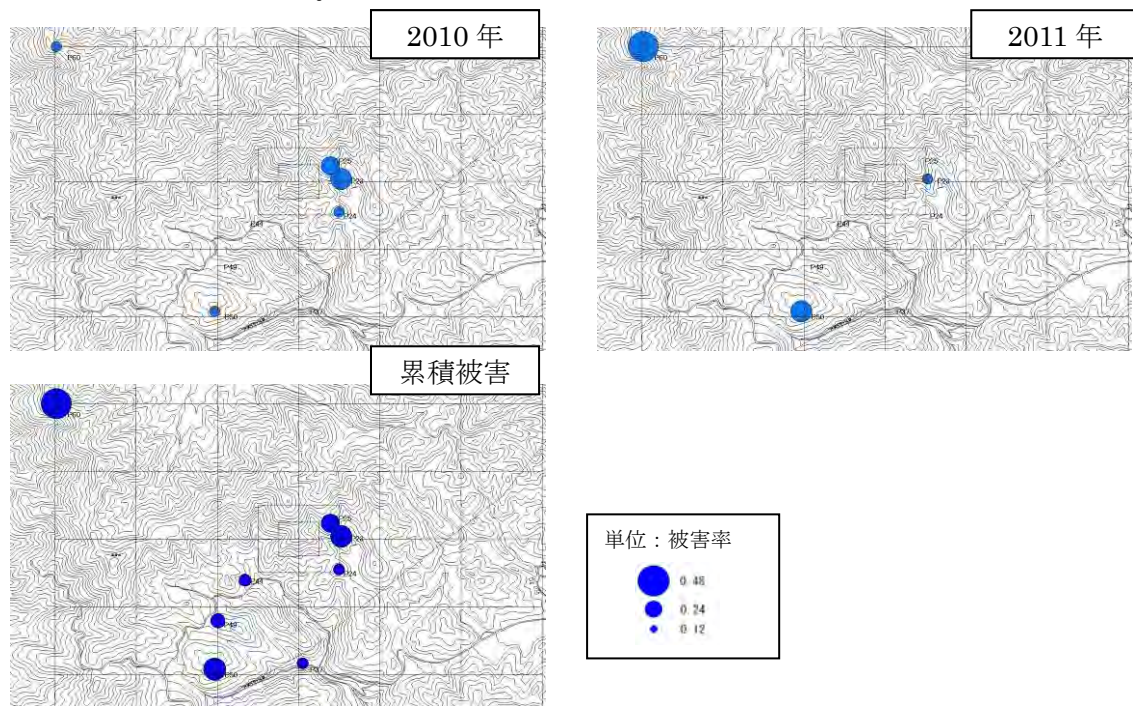


図 1 - 5 壮齢樹被害調査

