

将来の収獲材に帰属する シカ対策費用の特定

——割引現在材積を用いた収獲貢献度の計算手法とその応用——

安 達 啓 介

神戸学院経済学論集

第55巻 第3号 抜刷

令和6年2月発行

将来の収穫材に帰属する シカ対策費用の特定

——割引現在材積を用いた収穫貢献度の計算手法とその応用——

安 達 啓 介

1. はじめに

近年、ニホンジカ (*Cervus nippon*, 以下、シカと略称) の個体数の増加や生息分布域の拡大 (Takatsuki 2009) を背景に、全国各地でシカの過採食や剥皮行為による森林被害が深刻化している (三浦, 1999; Oi and Suzuki 2001; Ueda *et al.* 2002)。これまでの研究から、シカの過採食は、林内の下層植生群落の構造を変化させたり (梶, 1993), 稚樹の更新阻害や下層植生の劣化・消失を引き起こしたり (Nomiya *et al.* 2003), 林内土壌の浸食や流出をもたらす (古澤ら, 2003; 若原ら, 2008) ことが明らかとなっている。また、これらの変化によって林床が裸地化する事例も報告されている (井上ら, 1997)。他方、林業においては、スギやヒノキなどの人工林への被害が経営上の大きな課題となっており (尾崎, 2004; 金森, 2012), 特に食害による造林木の成長阻害や枯死, 将来的な木材価値の低下などの経済的被害が継続的に確認されている (林野庁, 2023)。

シカによる森林・林業被害は主に枝葉採食害 (browsing), 樹皮剥皮害 (debarking), 踏圧害 (trampling) の3種類に分けられ, 剥皮害はさらに角こすり害 (fraying) と樹皮採食害 (bark-stripping) に分けることができる (飯村, 1984; Gill, 1992)。現在の林業被害で目立つのが枝葉採食害と樹皮剥皮害である。

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

枝葉採食害は植栽木や幼齢木の梢端部、側枝部で発生し、樹高がシカの採食可能な高さを越えるまで続く。特に植栽から数年間の食害強度が高いと、成長が著しく阻害されたり、樹形が盆栽状に変形したり、場合によっては枯死する(飯村, 1984; 金森, 2012)。その場合、シカ防除を前提とした補植や改植が必要となり、造林初期にかかる費用が増大する。

他方、樹皮剥皮害は、幼齢木から主伐を迎える壮齢木、老齢木にまで及び、被害期間は長期にわたり(佐野, 2017)、近年では、日本各地で角こすり害や樹皮採食害が報告されている(例えば、金森ら(1993); 谷口(1993); 尾崎・塩見(1998); Oi and Suzuki 2001; 野口(2001); Ueda et al. 2002; Nagaike and Hayashi. 2003; 尾崎(2004); Akashi and Terazawa. 2005; 田戸(2006); 池田ら(2009); 佐野(2009b); 臼井ら(2010)など)。そのため、剥皮害が激しい地域では特に、防除対策が長期化しやすく、そうなると、主伐までの保育費用はさらに膨らむ。また、剥皮害を受けた樹木は、損傷部から材内に木材腐朽菌が侵入することで、材部が変色・腐食することで材質が劣化し、また、幹の全周を剥皮されるとやがて枯死する(佐野, 2009a; 2009b; 佐野・金田, 2009)。剥皮害は根張りから発生することが多く(池田ら, 2010; 福本・佐野, 2011; 尾崎, 2015)、剥皮によって生じた変色・腐食の拡大は剥皮部位(地際から地上150cmの高さ)から樹幹上・下方向に及び(陶山ら, 2005)、場合によっては、剥皮部位の上端よりさらに約2m上まで及ぶ(陶山ら, 2005; 福本, 2012; 岡田・小山, 2013)。これらの剥皮害の特徴を踏まえると、剥皮害によって生じる変色・劣化部位は、立木の中で最も経済的価値が高い元玉(1番玉)の部位とほぼ重なりと指摘できる。ただし、被害を受けたとしてすぐにその部位の利用価値が失われるわけではない。例えば、スギノアカネトラカミキリによる被害材の強度に関する研究(例えば、徳田ら(2009); 倉本ら(2011); 森田ら(2012)など)が明らかにしているように、腐朽菌によって材が変色しても直ちに木材の強度が落ちるわけでない。被害後に速やかに伐採して製材すれば、実用上の問題は少ないと予想される。だが、実上の問題がなくとも、そのよ

うな材が市場で適切に評価されるかどうかは定かではない。シカの剥皮害の例ではないが、和口ら（1995）は、ツキノワグマのクマ剥ぎがヒノキの立木評価にもたらす経済的な影響を分析している。それによれば、被害が軽微であれば板材などに利用できるが、変色や腐朽が激しい場合にはその部分（大半が元玉）の利用が不可能となり、市場では腐朽が入っている丸太は買い手がつかないか低価格でしか取引されず、そもそも採算が合わないため搬出はせずに林内に放置しているのが実情だと指摘している。そして、その調査結果に基づいた立木価値の試算から、仮に被害が集中する元玉を切り捨て、2番玉以上の部位だけが市場で評価されると見なすと、被害木の立木評価は無被害木の25%程度にまで落ち込むことを示している。剥皮害を引き起こす動物は違えども、結果としての被害自体は同様であることを踏まえると、剥皮害が木材収入に与える負の影響は極めて大きいと捉えるべきだろう。そのため、剥皮害が激しい地域では、特に被害を受けやすい根張りから地上1.5m当たりまでの樹幹を保護し続けなければ、将来収穫できる木材の量と質は大きく低下するだろう。

シカによる森林被害を減らす主な手段はシカの個体数管理とシカ被害防除対策（以下、シカ対策と略称）である。前者は、猟銃やわなを用いてシカを捕殺し、望ましい水準にまで個体数を調整する方法であり、後者は直近の林木への被害を防ぐことを目的とする方法である。現時点では、短期間のうちにシカの数を減らし、森林生態系を乱さない水準にまで誘導することは難しい。そのため、位置づけとしては対処療法的なものではあるものの、現在の日本の森林管理・林業経営の現場においては防鹿柵を筆頭に、さまざまなシカ対策が展開されている。

防鹿柵は、対象林分を柵で囲って面的に保護する方法である。柵の種類は、強度が高い順に、金網柵、ワイヤーメッシュ柵、ネット柵などがある。他にも、立木1本ごとの保護（以下、単木保護と略称）を目的とした保護資材（例えばテープ、ツリーシェルター、チューブ、ネットなど）の取り付けや、シカが忌避する薬剤の散布なども主要な対策である。

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

防鹿柵による保護は、ある程度の規模を囲うことで、造林木ならびに下層植生を一体的かつ効率的に保護することができる反面、設置初期に多くの労力とコストが必要となり、また、どこか一点でも柵が破られてしまうとそこから被害が拡大しやすい特徴をもつ。そして、その後の年々の維持管理や将来の撤去などが必要となることを考慮すると、対策期間が長くなれば、累積的なコストが膨大となる。

他方、単木保護や忌避剤は立木ごとへの対策であるため、被害リスクは分散しやすくなると考えられるが、その程度は、どの立木を優先的に将来に残し、守り育てるかといった森林技術者の選木の技能に依存するだろう。これらの対策も長期化することになれば、更新や撤去などのコストがさらにかさむことになる。

面的な保護も点的な保護も一長一短であるが、林業現場からは、より費用対効果が高く、設置が容易で省力的かつ耐久性の高い柵や保護資材が求められている。また、そこで用いられる資材に関しては、資材の食い込みによる樹木の成長阻害が起きないように工夫も必要であるし、生分解性のような環境負荷の小さい資材の開発していくことも重要である。

シカ対策は、現に被害を受けている林業地域だけでなく、被害地に隣接する地域や地理的にシカが生息可能な地域においても、今後、無視できない経営・管理コストとなる可能性が高い。特にシカによる被害を考慮してこなかった地域においては、シカ対策は、将来の計画的な収穫のために必要な新たな投資となる。だが現在の木材価格の下では、主伐で得た収益では再造林および初期保育にかかる費用を十分に賄えず、特に再造林・保育費用のうち約9割が植栽から10年間に必要となる（農林水産省、2015）ことを考慮するならば、現状、造林初期にこれ以上の労力・費用をかける余裕は残されていない。再造林や保育施業の低コスト化が今後の大きな課題とされる中で、植栽地域や幼齢林の面的な保護や、樹木の成長促進を目的とした単木保護が造林初期において必須となれば、林業の収益性はさらに厳しくなるだろう。

他方、シカによる被害は植栽木や幼齢木に対する採食害に限らない。角こすり害や樹皮採食害などの剥皮害は、若齢林や壮齢林においても発生する。このようにシカ対策は、それが必要な地域においては、シカの密度や被害の度合い、被害の特徴（傾向）に応じて適応的に展開していく必要がある。しかしそのためには、対象地域のシカの生息実態を知るだけでなく、対策の効果と費用を継続的に測定・分析し、その結果を林業経営に反映させるための評価手法が求められる。だが、シカ対策の効果や経済性を検証する研究は多くあるものの、その評価方法に関する議論や研究はほぼない。そこで本稿では、金森（2018a）、安達（2022）が提案する「割引現在材積」の概念を用いて、シカ対策の経済性や社会的に見た効率性を、詳細かつ厳密に分析・評価できる手法を提示する。

2. シカ対策費用の特徴と評価上の課題

シカ対策の効果や経済性に関する研究は、①短期的な保護効果とその労力や費用、経済性を比較、検証するタイプ（例えば、金森ら（1993, 2007）；中村・網倉（1998）；江口・栗田（2013）；福本（2016）；小澤（2020）；柳澤ら（2020）；雲野ら（2021）；安部ら（2022）など）と②シカ対策を考慮した長期の林業採算性を分析するタイプ（例えば、Graf et al. 2022, 北原（2023）など）に分けられる。

①のタイプは、どの対策がより効率的かを知る上で有用であるが、個々の対策が中・長期的に林業採算性にどれだけの価値や意義をもつかについてはあまり示唆を与えない。その多くは、対策事例ごとの保護効果とその費用に基づいた短期的な評価にとどまっている。加えて、対策の実質的な効果と費用を厳密に吟味できていない。

②のタイプは、長期的に見てどの対策が合理的かを示す点で、①にない視点を提供してくれる。だがこの見方では、シカ対策の効率性は最終的な収支結果のみで評価されるため、異なる時期に実施された個々のシカ対策が、各年の収穫材にどれだけ貢献したか詳細に評価することはできない。

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

シカ対策のうち、森林を面的に保護する防鹿柵は、保護対象とする森林が零細・分散的であるほど、その設置費用が膨大となりやすい。逆に、保護対象とする森林面積が大きいくほど、規模の経済によって、単位コスト（円/ha）は遜減する（北原，2023）。他方、立木の樹幹部分へのテーピングや、根張り部分を含めたネット資材の取り付け、忌避剤の散布などの単木保護にかかる費用は、保護対象とする立木の数に比例して増加すると考えられる。他方、柵や保護資材の耐用年数は、森林作業道や山土場などの森林インフラのそれと比べると非常に短い。例えば、亜鉛メッキ加工されたワイヤーマッシュ柵の耐用年数は14年程度、ポリエチレン製ネット柵であれば5年程度である。また、単木保護に使われる資材（テープやチューブ、ネットなど）の耐用年数は、設置される地域の気候条件やシカ等による資材損壊の度合い、立木の成長による資材の不適合化などの損耗要因にもよるが、3～10年程度と考えられる。そのため、シカ対策の期間が長期化すると、保護資材の更新・撤去が何度も必要となるため、林業のコスト制約をさらに厳しくする。加えて、いずれの対策も、その防除機能、保護効果を維持していくためには定期的な保守点検が必要となる。この費用も、対策が長期化するにともない増えていく。

シカ対策の効果は、設置した構築物（柵や保護資材など）が寿命を迎える（撤去される）まで続くとして一般に解釈される。その効果は、直近では立木の保護に現れ、長期的には利用間伐や主伐時の収穫材の品質や経済的価値に現れる。後者における価値とは、主に対策によって形成・維持される木材価値であり、コストの側面から見れば、シカ対策をしないことによって損なわれる木材価値、すなわち木材の期待損失に等しい。だが、その効果に焦点を当てた実証研究や実践報告はほぼない。研究の多くは、保護対象林分において対策期間内における観察できる直接的な保護効果と間接的な保護効果（例えば、健全な樹木成長、樹高成長の促進による枝葉食害、枯死の回避など）に焦点を当て、その効果とその対策にかかった費用とを比べることで、対策の効率性や採算性を評価している。

しかし、シカ対策としての構築物がなくなった後も、実質的には、将来の収穫材の品質や経済的価値の維持に部分的に貢献していると見なすことができる。なぜなら、収穫までの中途に実施される対策（構築物）がなければ、将来に期待される収穫材の品質や経済的価値は十分に保証されないからである。確かに、現時点での立木の保護は、その時点に存在する構築物によるものであり、将来時点の立木の保護は、間違いなく将来時点に存在する構築物によるものである。だが、将来の収穫材の品質や経済的価値は、明らかにその将来時点での構築物だけで達成できるものではない。それらは「それ以前に行われたシカ対策によって保護されてきた」という事実があるからこそ、期待または予測できる成果であると言える。このような視点から個々のシカ対策の費用対効果を厳密に分析するためには、過去に実施したシカ対策費用から、将来の木材価値の維持に帰属する分を特定する必要がある。ただしそのためには、過去から現在、そして将来までの累積的なシカ対策が、将来的な木材価値の維持にどれだけ貢献するかを特定しなければならない。だが、そのような視点からシカ対策の効果や費用、効率性を確かめようとする研究は見られない。

シカ対策が、将来の収穫材（特に主伐材）の品質や経済的価値を損ねないための布石であると捉えるならば、その対策にかかる費用は、将来の収穫行為（特に主伐）から得られる収入、すなわち木材収入から回収するのが妥当であろう。シカ対策は、長期的には将来の収穫行為に貢献する取り組みであり、理想としては将来の収穫材の量や質に紐づけて回収されるべきコストである。しかし、実際のシカ対策は、収穫をともなわない事業として行われ、実務上、その設置費用は減価償却的に、維持管理費用は年々発生しうる純粹なコストとして処理される。

現在から将来にわたり、あるシカ対策が繰り返し実施される、つまり更新される場合、その対策費用は、一般に減価償却的に会計処理される。だが、減価償却的に計算された対策費用と、ある特定の期間の対策の効果を比較して分かることは、あくまでその対策の短期的な保護効果とそれ自体の経済性に過ぎな

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

い。もちろん、直近の立木保護は重要な取り組みであるし、その効率性や採算性を検証することは極めて有益である。だが、より本質的に重要なことは、個々の対策が、結果として将来の収穫にどれだけ貢献するか、引いては持続的な林業経営に資するかという視点である。また、林業経営が経済行為である以上、林業投資をどのように回収するかという視点も欠かせないはずである。だが、これらの視点を含んだシカ対策の評価手法は確立していない。現実のシカ対策の大半が補助金なしでは成立しない現状を踏まれば、投資回収の視点が希薄となりがちなのは何ら不思議なことではないのかもしれない。だが、シカ対策事業の財源の多くは税金であり、それが有限である以上、それらの対策事業にどのような社会的価値があるか、明確な理論と根拠をもって示すことは社会的に有意義だと考えられる。本論文の主題はそれに資する手法を提示することである。

本研究ではまず、福井県嶺北地域山間部のスギ林分（地位特Ⅰ）を想定して、植栽時（1年生）から45年生スギの利用間伐までにかかるシカ対策費用を求める。その際、「割引現在材積」（金森，2018a；安達，2022）の概念を用いて、シカ対策の各年の収穫材に対する貢献度を割り出し、それをもと各年の収穫材に帰属するシカ対策費用（以下、帰属費用と略称）を特定する。シカ対策として、（Ⅰ）ネット柵のみ、（Ⅱ）保護テープのみ、（Ⅲ）保護テープのみ、（Ⅳ）ネット柵・保護テープ、（Ⅴ）ネット柵・保護ネットの5パターンを想定し、対策ごとに各年の帰属費用を求める。そしてその帰属費用と、対策の有無によって生じうる各年の立木1本当たりの期待損失とを比較する。ただし、ネット柵は1年生時から20年生時まで、保護テープおよび保護ネットの設置は21年生時から始めるものとした。なお、本分析では、いずれのシカ対策であっても、シカによる林業被害を完全に回避できる（被害木はゼロ）とし、その仮定の下で立木の期待損失を求める。

次に、それまでシカ対策が皆無であった林分において、新たにシカ対策が必要となる場合の費用計算の例を示す。今回は45年生間伐の完了後を始点（1年

度）に、60年生スギの抜き伐り（16年度）までの間にだけ追加的なシカ対策（テープまたはネットによる単木）が必要となる場合の、各年の帰属費用を求める。そして、その帰属費用と、シカ対策の有無によって生じうる各年の期待損失とを比較する。

最後に、60年生（抜き伐り）、80年生（抜き伐り）、100年生（抜き伐り）、そして120年生（皆伐）まで、それぞれ繰り返しシカ対策を行った場合の、各年の帰属費用を特定する。そして、それらの費用と、対策の有無によって生じうる各年の期待損失とを比較する。

なお、本研究の主眼は、将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定と、その帰属費用とシカ対策によって回避できる期待損失との比較にある。何らかのオリジナルのシカ対策の効果を実証するものではなく、あくまでシカ対策の経済性、社会的な効率性を厳密に評価するための手法を提示する研究であることに留意されたい。

3. 方法とデータ

（1）スギ収穫モデル

今回は、福井県（2013）、安達（2022）の地位特Ⅰのスギ収穫表をもとに、植栽1年生を始点（初回施業；1年度）として、45年生時に利用間伐、60年生、80年生、100年生時に抜き伐り、そして120年生時に皆伐（120年度）を行う場合のスギ収穫モデルを作成した（表－1）。

各年時の幹材積の値は以下の手法で求めた。まず、金森（2018b）の福井県

表－1 地位特Ⅰのスギ収穫表

	林齢 (年生)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	幹材積 (m ³ /本)	伐採本数 率(%)	伐採 本数	残存立木 本数	伐採材積 (m ³ /ha)	搬出利用 率(%)	搬出材積 (m ³ /ha)
利用間伐	45	30.0	22.3	0.66	25	197	591	129	60	77
	60	34.0	25.5	0.95	17	100	490	96	90	86
抜き伐り	80	47.0	31.0	2.18	20	98	392	214	95	203
	100	52.0	33.0	2.83	25	98	294	278	95	264
皆伐	120	65.0	34.0	4.55	100	294	0	1,339	95	1,272

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

美山地区のスギ相対幹曲線式(式①)を用いて、任意の高さの径級を特定した。

$$y=f_M(x)=1.9771x^3-3.4157x^2+2.5816x \quad \dots\text{①}$$

x : 相対位置, y : 相対直径

相対位置 x とは、対象とする立木の樹高 (H) を相対的に 1、地際を 0 と見なしたときの、その立木の任意の高さの相対的な位置を意味する。相対直径 y は、梢端の位置にある直径を相対的に 0、梢端から10分の 9 の位置 (H/10) にある実測直径を基準直径 ($D_{0.9}$) として 1 と見なしたものであり、高さ h_i における直径 \hat{D}_i を相対化したものを指す。想定する立木の任意の高さ (h_i) における直径 \hat{D}_i は次式から推定できる。

$$\hat{D}_i=f\left(1-\frac{h_i}{H}\right)\cdot D_{0.9} \quad \dots\text{②}$$

表-1 の平均樹高、胸高直径のデータをもとに、式②を用いて、立木を地上から 50 cm の部位が元玉 (1 番玉) の元口となるように伐倒したと仮定し、その伐倒木を 4 m 間隔で玉切りした場合の末口直径と元口直径を推定した。端材 (4 m 未満の丸太) の場合も同様に推定した。そして、その推定直径をもとに、Rieche 式 (幹材積 = 末口断面積 + 元口断面積 + 4 × 中央断面積) × 丸太の長さ / 6) を用いて、各年生の立木 1 本あたりに占める番玉別の材積を求め、その合計から立木 1 本当たりの幹材積を求めた (表-2)。これらの材積を径級 (スギ大丸太(1) : 末口 40 cm 以上, スギ大丸太(2) : 末口 30~38 cm, スギ中丸太(1) : 末口 24~28 cm, スギ中丸太(2) : 末口 16~22 cm, 小丸太 : 14 cm 以下) ごとに集計した結果が、表-3 である。

表-2 番玉別の材積 (m³/本)

林齢 (年)	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	番玉									合計 (m ³ /本)	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
45	30	22.3	0.25	0.17	0.12	0.08	0.03	0.00					0.66
60	34	25.5	0.32	0.23	0.17	0.13	0.08	0.02	0.00				0.95
80	47	31.0	0.63	0.46	0.37	0.29	0.22	0.15	0.06	0.00			2.18
100	52	33.0	0.77	0.58	0.46	0.38	0.30	0.21	0.11	0.03	0.00		2.83
120	65	34.0	1.21	0.91	0.73	0.60	0.48	0.35	0.20	0.06	0.00		4.55

表—3 径級ごとの材積（m³/本）

	スギ大丸太(1) 40 cm 以上	スギ大丸太(2) 30～38 cm	スギ中丸太(1) 24～28 cm	スギ中丸太(2) 16～22 cm	小丸太 14 cm 以下	材積 (m ³ /本)
45年生			0.25	0.29	0.11	0.66
60年生			0.55	0.30	0.10	0.95
80年生	0.63	0.83	0.52	0.15	0.06	2.18
100年生	1.35	0.84	0.30	0.21	0.14	2.83
120年生	3.45	0.84		0.20	0.07	4.55

(2) 木材価格

表—3の径級ごとの材積に、それぞれの径級に対応する材価を乗じることで、立木1本当たりの平均材価を算出した（表—4）。径級に対応する材価には、福井県山林協会「若越の林業」（2012月4月号～2021年3月号）に掲載されている径級別丸太の市場価格をもとに算出した平均材価（スギ大丸太(1)：14,129円/m³，スギ大丸太(2)：11,468円/m³，スギ中丸太(1)：10,679円/m³，スギ中丸太(2)：9,264円/m³，小丸太：7,292円/m³）を用いた。ここでは、表—4の平均材価を、シカによる被害をいっさい受けない場合の通常の材価と見なす。

表—4 平均材価の内訳（円/本）

	スギ大丸太(1) 40 cm 以上	スギ大丸太(2) 30～38 cm	スギ中丸太(1) 24～28 cm	スギ中丸太(2) 16～22 cm	小丸太 14 cm 以下	材価 (円/本)
45年生			2,638	2,723	833	6,195
60年生			5,872	2,801	739	9,412
80年生	8,836	9,538	5,538	1,353	454	25,719
100年生	19,067	9,614	3,177	1,968	994	34,820
120年生	48,748	9,583		1,877	476	60,685

一方、シカによる被害を受けた立木はすべて、元玉の経済的価値が小丸太（径級14 cm以下）と同水準に下落すると仮定する。ここでは、被害木の元玉の材積すべてが小丸太材積に追加されるものとする（表—5）。表—5の径級ごとの材積に、福井県の径級に対応する平均材価（円/m³）を乗じれば、被害木の材価が得られる（表—6）。実際は、被害を受けることで、材質が腐朽・劣化するだけでなく樹木の成長も低下し、将来見込まれる材積も減ると予想され

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

表一 5 被害木の径級ごとの材積

	スギ大丸太(1) 40 cm 以上	スギ大丸太(2) 30~38 cm	スギ中丸太(1) 24~28 cm	スギ中丸太(2) 16~22 cm	小丸太 14 cm 以下	材積 (m ³ /本)
45年生				0.29	0.36	0.66
60年生			0.23	0.30	0.42	0.95
80年生		0.83	0.52	0.15	0.69	2.18
100年生	0.58	0.84	0.30	0.21	0.91	2.83
120年生	2.24	0.84		0.20	1.27	4.55

表一 6 元玉が腐朽した場合の平均材価

	スギ大丸太(1) 40 cm 以上	スギ大丸太(2) 30~38 cm	スギ中丸太(1) 24~28 cm	スギ中丸太(2) 16~22 cm	小丸太 14 cm 以下	材価 (円/本)
45年生				2,723	2,635	5,358
60年生			2,439	2,801	3,084	8,323
80年生		9,538	5,538	1,353	5,015	21,444
100年生	8,193	9,614	3,177	1,968	6,606	29,559
120年生	31,717	9,583		1,877	9,266	52,444

る。だが、その度合いについては十分に明らかとなっていないため、今回は、被害の影響は元玉の材価にのみ現れるものとした。

シカ対策の最終的な効果は、その対策によって保たれる立木の経済的価値の維持分であると考えられる。これは収益の面から見れば、シカ対策を実施しないことによって失われる立木の経済的価値、すなわち立木の期待損失である。本分析では、被害をいっさい受けない場合の材価（表一 4）と被害木の材価（表一 6）との差額を、シカ対策の有無による各年の立木 1 本当たりの期待損失と見なし、それらと各年の帰属費用とを比較する。

（3）割引現在材積

「割引現在材積」とは、将来の収穫材積を、割引現在価値の計算と同様の論理で、設定した割引率で割り引いた材積であり、この概念を応用することで、対象とする追加的な林業投資の、任意の年度の収穫行為（利用間伐や主伐）に対する貢献度を割り出すことができる（金森, 2018a）。この方法に従えば、将来の収穫量を反映させたかたちで、任意の年度の収穫量に帰属する分の投資費

用を特定することができる。安達（2022）は、金森（2018a）が提示した「割引現在材積」の概念に、収穫材の径級ごとの経済的価値の違い、すなわち「材価比」を反映させることで、将来の収穫材の量だけでなく質（木材価値）を加味した貢献度の特定方法（以下、割引現在材積法と略称）を提示している。

今回は安達（2022）の割引現在材積法を用いて、表—1の各年の搬出材積を割引現在材積に換算した（表—7）。その際に用いる割引率は、福井県の林業に関連した公共事業評価における標準的な社会的割引率に準じて、2%とおいた。そして、各年の割引現在材積にそれぞれの材価比（表—8）を乗じることで、価格比で重み付けされた割引現在材積を求めた（表—9）。材価比については、表—4の各年の平均材価（円/本）をそれぞれの幹材積（ m^3 /本）で除することで $1m^3$ 当たりの平均材価に換算し、45年生スギの平均材価（円/ m^3 ）をニューメレール（基準1）とすることで、各年（60年生、80年生、100年生、120年生）の材価比を算出した（表—8）。最後に、材価比で重み付けされた割引

表—7 割引現在材積

	45年生	60年生	80年生	100年生	120年生	総量 (m^3 /ha)
搬出材積（0%）	77	86	203	264	1272	1903
割引現在材積（2%）	32	27	43	37	121	259

表—8 材価比

	45年生	60年生	80年生	100年生	120年生
平均材価（円/ m^3 ）	9,453	9,870	11,776	12,286	13,326
材価比	1.000	1.044	1.246	1.300	1.410

表—9 重み付けされた割引現在材積とシカ対策の貢献度

	45年生	60年生	80年生	100年生	120年生	総量 (m^3 /ha)
割引現在材積（2%）	32	27	43	37	121	259
割引現在材積（材価比）	32	28	53	48	170	332
シカ対策の貢献度	9.8%	8.4%	16.0%	14.6%	51.2%	100.0%

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

現在材積の総量（332m³）に占める各年の割引現在材積の割合を求め、それらを各年の収穫材に対するシカ対策の貢献度と見なした（表—9）。この貢献度（%）を個々の「シカ対策の総費用」（対策期間内に発生する費用をすべて現在価値に換算して集計した費用）に乗じることで、対策ごとの各年の帰属費用を求める。本分析では、このようにして計算された各年の帰属費用（円/本）と、シカ対策を行わないことによって生じる各年の収穫材の期待損失（円/本）とを比較する。

（4）シカ対策費用の内訳

シカ対策として、ネット柵、保護テープ、保護ネットの3種類の方法を想定し、（Ⅰ）ネット柵のみ、（Ⅱ）保護テープのみ、（Ⅲ）保護テープのみ、（Ⅳ）ネット柵・保護テープ、（Ⅴ）ネット柵・保護ネットの5パターンの対策費用を計算した。シカ対策の工程ごとの費用は、各工程の歩掛（表—10）と2023年度の公共工事設計労務単価（福井県の普通作業員単価：19,200円/人日）をもとに計算した。ネット柵の工程ごとの労務費は「柵距離（m）×歩掛（人日/100m）/100（m）×労務単価（円/人日）」、保護テープ・保護ネットの工程ごとの労務費は「保護立木（本）×歩掛（人日/100本）/100（本）×労務単価（円/人

表—10 シカ対策の工程ごとの歩掛

対策・工程	歩掛	想定	出典・参考値	備考	
資材運搬	0.75人日/100m		(株)野生動物保護管理事務所(2013)	13人日×柵1740m×100mで計算	
作設	2.97人日/100m	ネットの耐用年数：10年(10年度末に張替)	林野庁(2023a)		
ネット張り替え	3.39人日/100m		(株)野生動物保護管理事務所(2013)	59人日×柵1740m×100mで計算	
ネット柵 (縦張)	点検(補修なし)	0.14人日/100m	年に計4回実施	森林総合研究所(2023)	
	点検(補修あり)	0.32人日/100m	年に計4回実施	森林総合研究所(2023)	
	ネット下げ	0.17人日/100m	積雪前(12月)に実施	(株)野生動物保護管理事務所(2013)	3人日×柵1740m×100mで計算
	ネット上げ	1.72人日/100m	融雪後(3月)に実施	(株)野生動物保護管理事務所(2013)	30人日×柵1740m×100mで計算
撤去	0.86人日/100m	20年末に撤去	森林総合研究所(2023)		
保護 テープ	巻き付け	0.25人日/100本	耐用年数：6年	林野庁(2023b)をもとに算出	
	撤去	0.15人日/100本		巻き付けの60%を仮定	
保護 ネット	取り付け	1.03人日/100本	耐用年数：10年	林野庁(2023a)	
	撤去	0.61人日/100本		森林総合研究所(2023)	

日)」で計算できる。

ネット柵資材については、福本（2012）のステンレス線入りポリエチレンネット資材の100m当たり単価（85,200円）を、2011年1月を基準とした物価に直すことで、柵1m当たりの単価とした。2021年度12月の国内企業物価指数（総平均）を113とすると、2021年1月の物価指数は103であるため、ネット柵資材100mの単価は96,276円と変換できる。これを100（m）で除した結果をネット柵資材の単価とした。保護テープの場合は、テープ1巻1000円で立木20本分の巻き付けが可能であると仮定して資材単価を求めた。また、保護ネットの単価には、福本（2016）の保護ネットの単価（431円/本）を用いた。ただし、この値は2011年時点の値であるため、上と同じく2021年12月の物価に換算した。これらの資材単価を整理したものが表—11である。

表—11 資材単価

	単価	出典・備考
ネット柵資材	963円/m	福本（2012）をもとに計算
保護テープ	50円/本	テープ1巻1000円÷20本で計算
保護ネット	487円/本	福本（2016）の値をもとに物価換算

ネット柵は、地上高1.8m以上、網目の大きさ10cm以下、潜り込み防止としてスカーフネットが付いた縦張り型のネット柵を想定した。柵の規模は、近年の福井県内における1施業地当たりの規模を考慮して、今回は柵の規模が5haの場合の単位費用（円/ha）を求めた。ただし、その柵の形状は費用計算の単純化のため、正方形（タテ・ヨコの柵の長さが約223.6m、周囲894m）を仮定した。

柵の設置期間は植栽（1年度）から20年生までとし、ネット柵の費用は、資材運搬、作設などの設置費用（表—12）と、ネットの張り替え、点検（補修あり/なし）、積雪時（12月）のネット下げ、融雪後（3月）のネット上げにかかる維持管理費用（表—13）、そして撤去にかかる費用（表—14）を計算した。ネット資材の耐用年数は10年間（10年度末にネット張り替え、20年12月に撤去）

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

表—12 ネット柵の設置にかかる費用

規模 ha	柵距離 m	資材費		運搬費		作設費		合計（設置費）	
		円	円/ha	円	円/ha	円	円/ha	円	円/ha
0.1	126	121,781	1,217,806	18,145	181,449	72,130	721,303	212,056	2,120,558
0.5	283	272,310	544,619	40,573	81,147	161,288	322,576	474,171	948,342
1	400	385,104	385,104	57,379	57,379	228,096	228,096	670,579	670,579
5	894	861,119	172,224	128,304	25,661	510,038	102,008	1,499,461	299,892
10	1,265	1,217,806	121,781	181,449	18,145	721,303	72,130	2,120,558	212,056

表—13 ネット柵の維持管理費用

規模 ha	柵距離 m	ネット張り替え		点検（補修なし）/回		点検（補修あり）/回		ネット下げ		ネット上げ	
		円	円/ha	円	円/ha	円	円/ha	円	円/ha	円	円/ha
0.1	126	204,131	2,041,306	3,400	34,001	7,772	77,716	4,187	41,873	41,873	418,729
0.5	283	456,450	912,900	7,603	15,206	17,378	34,756	9,363	18,726	93,631	187,261
1	400	645,518	645,518	10,752	10,752	24,576	24,576	13,241	13,241	132,414	132,414
5	894	1,443,422	288,684	24,042	4,808	54,954	10,991	29,609	5,922	296,086	59,217
10	1,265	2,041,306	204,131	34,001	3,400	77,716	7,772	41,873	4,187	418,729	41,873

表—14 ネット柵の撤去費用

規模 ha	柵距離 m	撤去	
		円	円/ha
0.1	126	20,886	208,862
0.5	283	46,703	93,406
1	400	66,048	66,048
5	894	147,688	29,538
10	1,265	208,862	20,886

とし、補修なし点検、補修あり点検ともにネットを上げている期間中（4月～11月）に年4回ずつ実施するものとした。張り替え用のネット資材にかかる費用は、初年度と同額とした。ネット柵の維持管理にかかる費用は異時点間の費用計算となるため、今回は社会的割引率を2%とおいて現在価値に換算した。以上のネット柵に関わる費用をすべて集計したものを「ネット柵の総費用」とした。ネット柵の各年の帰属費用は、ネット柵の総費用に、各年の収穫材への貢献度を乗じることで求められる。

また、ネット柵については、ネット柵の規模が変化（0.1ha、0.5ha、1ha、5ha、10ha）することで、ネット柵の総費用がどのように変化するか補足的に

検証する。

21年度以降のシカ対策については、保護テープの樹幹への巻き付けと、樹幹から根張りまでを囲う保護ネットの取り付けの2パターンを想定した。保護対象とする立木は、21年生の時点での選木によって45年生間伐直前までに残存させる立木788本を選定できたと仮定する。その788本を21年生から45年生まで繰り返し保護する場合の費用を求めた。この場合、保護されない立木は45年生までに除伐・切り捨て間伐の対象となる。

保護テープは生分解性で、耐用年数は6年とし、6年毎にテープ巻きを繰り返す必要があるが、収穫作業以外ではテープ撤去が不要であると仮定した。この場合、45年生間伐までの間に、計4回のテープ巻き付け（21、27、33、39年生時）が行われる。また、45年生の収穫時には伐採本数分（197本）のテープ撤去費用が発生する。ただし、テープ撤去の歩掛は、参考値が得られなかったため、保護ネットの取り付けと撤去の歩掛の割合を参考に、巻き付けの60%の手間がかかるとして労務費を求めた。

保護ネットの耐用年数は10年とし、10年ごとに更新が必要となると仮定した。45年生間伐まで対策を続ける場合、計2回（31、41年生時）の保護ネット撤去と更新が必要になる。また、45年生の収穫時には伐採本数分（197本）のネット撤去費用が発生する。

表—10、表—11に基づき、立木1本当たりの保護テープ、保護ネットの設置および撤去にかかる単価（労務費+資材費）を求めた結果が、表—15である。これらの単価に、保護対象とする立木、保護資材の更新が必要な立木、保護期

表—15 保護資材の設置・撤去単価

	保護テープ（円/本）		保護ネット（円/本）	
	巻き付け	撤去	取り付け	撤去
労務費	48	29	198	117
資材費	50	0	487	0
計	98	29	685	117

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

間中に伐採される立木の本数を乗じることで、それぞれに必要な費用を求めることができる。

今回、21年生時点での保護対象立木は788本であるため、単純計算では保護テープの巻き付けに77,224円/ha、保護ネットの取り付けには539,651円/haかかる。ネット柵と同様に、社会的割引率2%のもと、植栽時を始点にこれらを現在価値に直すと、それぞれ51,970円/ha、363,145円/haとなる。

撤去費用は、45年生時の伐採木197本を対象とする場合であれば、保護テープの撤去で2,374円/ha、保護ネットの場合で9,654円/haかかる。

植栽時（1年度）を始点に、120年生皆伐時（120年度）を終点とした場合の、各年度に生じる保護テープ、保護ネットの費用（現在価値）を計算・整理したものが表-16である。網掛け部分は、行ごとに左から収穫年度、伐採本数、伐採によって生じる撤去費用を示している。

他方、これまで一切シカ対策が必要なかった施業地において、追加的にシカ対策が必要となる場合の費用計算の例も示す。今回は、45年生間伐の完了後を始点（1年度）に、その年から保護テープ、または保護ネットによるシカ対策が必要となった場合を想定し、60年生時の抜き伐り（16年度）の帰属費用を求めた。表-17は、16年間において各対策にかかる費用を年度別に整理したものである。この場合、シカ対策費用の帰属対象となる収穫材は、60年生抜き伐り、80年生抜き伐り、100年生抜き伐り、120年生皆伐時の搬出材積となる。これらの材積を、割引現在材積法に従って、割引率2%のもとで割引現在材積に換算する。材価比は、表-8をもとに60年生の平均材価をニューメーブル（基準1）として再計算すると、80年生では1.193、100年生では1.245、120年生では1.350と求められる。表-18は、各年の材価比をそれぞれの年の割引現在材積に乗じて、その総量をもとに、各年の収穫材へのシカ対策の貢献度を割り出した結果である。この貢献度を個々のシカ対策の総費用に乗ずることで、60年生の収穫材に帰属するシカ対策費用と特定する。

表一16 各年度の保護テープ・保護ネットの費用

年度 (年生)	割引	保護 本数	伐採 本数	保護テープ（円/ha）		保護ネット（円/ha）	
				巻き付け	撤去	取り付け	撤去
21	0.67	788		51,970		363,145	
27	0.60	788		46,147			
30	0.56	788					51,970
31	0.55	788				297,905	
33	0.53	788		40,978			
39	0.47	788		36,387			
40	0.46	788					42,633
41	0.45	788				244,386	
45	0.42	591	197	24,233	2,374		9,654
50	0.38	591					26,231
51	0.37	591		21,518		150,361	
57	0.33	591		19,108			
60	0.31	490	100		895		21,518
61	0.30	490				102,269	
63	0.29	490		14,067			
69	0.26	490		12,491			
70	0.26	490					14,636
71	0.25	490				83,896	
75	0.23	490		11,092			
80	0.21	392	98		590		12,006
81	0.21	392		7,879		55,059	
87	0.18	392		6,997			
90	0.17	392					7,880
91	0.17	392				45,168	
93	0.16	392		6,213			
99	0.14	392		5,517			
100	0.14	294	98		397		6,464
101	0.14	294				27,790	
105	0.13	294		3,674			
110	0.12	294					3,977
111	0.11	294		3,263		22,797	
117	0.10	294		2,897			
120	0.09	0	294		802		3,263

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

表一17 保護テープ・保護ネットの費用（16年間）

年度	年生	保護 本数	伐採 本数	保護テープ（円/ha）		保護ネット（円/ha）	
				巻き付け	撤去	取り付け	撤去
1	45	591		57,918		404,711	
7	51	591		51,430			
10	54	591					57,918
11	55	591				332,004	
13	57	591		45,668			
16	60	490	100		2,140		8,702
計				155,015	2,140	736,715	66,621

表一18 45年時を始点としたシカ対策の貢献度

	60年生	80年生	100年生	120年生	総量 (m ³ /ha)
搬出材積 (m ³ /ha)	86	203	264	1272	1,825
割引現在材積 (m ³ /ha)	65	104	91	294	554
割引現在材積 (材価比)	65	124	113	397	699
シカ対策の貢献度	9.3%	17.7%	16.2%	56.8%	100%

3. 結果と考察

(1) 植栽時から45年生間伐までシカ対策を継続した場合

表一19は、対策ごとの各年の1ha当たりの帰属費用である。これらの帰属費用を各年の搬出材積 (m³/ha) で除して立木1本当たりの帰属費用に換算したものを、表一20に示す。

表一19 各年の収穫材に帰属するシカ対策費用（円/ha）

	45年生 9.8%	60年生 8.4%	80年生 16.0%	100年生 14.6%	120年生 51.2%	総費用 (円/ha)
(I) 柵のみ	211,325	182,509	345,925	315,176	1,108,972	2,163,907
(II) テープのみ	19,736	17,045	32,306	29,434	103,568	202,088
(III) ネットのみ	98,606	85,160	161,411	147,063	517,454	1,009,694
(IV) 柵+テープ	231,061	199,553	378,231	344,610	1,212,540	2,365,995
(V) 柵+ネット	309,931	267,668	507,336	462,239	1,626,427	3,173,600

表—20 各年の収穫材に帰属するシカ対策費用（円/本）

	45年生	60年生	80年生	100年生	120年生
(Ⅰ) 柵のみ	1,073	1,825	3,530	3,216	3,772
(Ⅱ) テープのみ	100	170	330	300	352
(Ⅲ) ネットのみ	501	852	1,647	1,501	1,760
(Ⅳ) 柵+テープ	1,173	1,996	3,859	3,516	4,124
(Ⅴ) 柵+ネット	1,573	2,677	5,177	4,717	5,532
期待損失（円/本）	350	339	895	741	781
平均材価（円/本）	2,592	2,926	5,381	4,902	5,750

シカ対策を行わなかったことにより生じる各年の立木1本当たりの期待損失は、通常の材価（表—4）と被害木の材価（表—6）との差から求めた（45年生：837円/本，60年生：1,089円/本，80年生：4,276円/本，100年生：5,262円/本，120年生：8,241円/本）。ただし，これらの額は将来の収穫時点のものであるため，社会的割引率2%のもと植栽時（1年度）を始点として，現在価値に換算した（表—20）。

シカ対策ごとの各年の帰属費用と各年の期待損失を比較すると，(Ⅱ) 保護テープのみの対策によって，シカによる被害を完全に回避することができるならば，どの年の帰属費用（網掛け部分）も期待損失を下回ることが分かる。つまり，テープ巻き付けによる単木保護は，どの年においてもコスト以上の木材価値の維持をもたらすと言える。

しかし，その他のシカ対策（Ⅰ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴ）については，どの年の帰属費用も期待損失を上回る結果となった。つまり，これらの対策は，立木保護によって将来的に保たれる木材価値の維持分からは正当化できないほどのコストをかけている例と評価できる。現在価値に換算した各年の平均材価と帰属費用との比較で見れば，どの年，どの対策の帰属費用も平均材価を下回っている。だが，各年において伐採，搬出，運搬などの別の費用が多く生じることを考慮すれば，採算性は極めて低いか，赤字となる可能性が高い。

また，今回の結果から，造林初期（今回は1年生から20年生時まで）でのネッ

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

ト柵の導入は、主伐期（80～120年生時）に収穫される立木1本当たりに対して現在価値で3,200～3,700円/本の投資を行うことに等しい行為であることが分かる。また、ネットによる単木保護が必要となる場合、それはさらに1,500～1,700円/本の投資を行っているに等しい。120年生の立木価格（現在価値）が5,750円/本であることや、先述した各年の木材生産にかかる費用、さらには皆伐の後に控える再造林や保育施業にかかる費用を考慮するならば、ネット柵または保護ネットを用いたシカ対策の導入が、いかに大きな投資であり、林業経営を圧迫するものであるかが分かる。

次の図は、ネット柵の規模と（0.1 ha, 0.5 ha, 1 ha, 5 ha, 10 ha）とネット柵の総費用の関係を表したものである。この場合、ネットの総費用は、規模の経済により、規模が大きくなれば総費用が逡減することが分かる。1 施業地が10 ha 規模でようやく200万円/ha を下回るが、それでも再造林・保育費に匹敵するほどの費用がかかることが分かる。

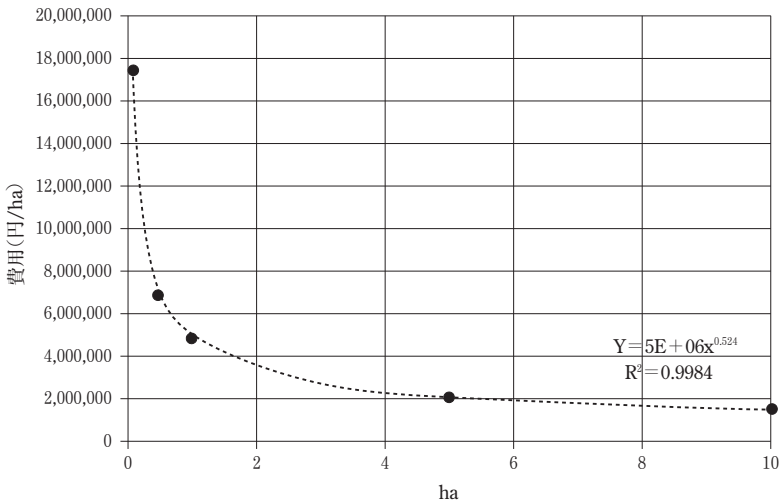


図 ネット柵の規模と総費用

（2）45年生間伐完了後からシカ対策に取り組む場合

表一17をもとに、45年生間伐完了後を始点（1年度）に、60年生（16年度）までに必要となる保護テープ、および保護ネットの設置・撤去にかかる費用（現在価値）を集計すると、保護テープの16年間の総費用は157,155円/ha、保護ネットの場合は803,335円/haと計算できる。これらの総費用に各年の収穫材に対する対策の貢献度（表一18）を乗じることで、対策ごとの各年の帰属費用を求めることができる（表一21）。

対策ごとの各年の帰属費用と期待損失とを比較すると、保護テープでシカによる被害を完全に回避できる場合は、どの年の帰属費用（網掛け部分）も期待損失を下回る結果となった。この場合、テープの巻き付けによる単木保護は、そのコスト以上の木材価値の維持をもたらす合理的な追加的投資だと評価できる。ネットによる単木保護の場合は、どの年の帰属費用も期待損失を上回る結果となった。

他方、各年の平均材価と帰属費用との比較で見れば、どのパターンの帰属費用も平均材価を下回る結果となった。これ以降の追加的なシカ対策が不要で、かつ、各年の伐採、搬出、運搬などで生じる費用を2,000円/本程度まで低く抑えられれば、各年の黒字化は十分に見込める例と言える。主代期であれば、3,000円/本程度であっても採算性がある。

表一21 各年のシカ対策の帰属費用（45～60年生まで）

	60年生	80年生	100年生	120年生
テープのみ（円/本）	146	285	260	303
ネットのみ（円/本）	747	1,455	1,328	1,551
期待損失（円/本）	339	895	741	781
平均材価（円/本）	2,926	5,381	4,902	5,750

以上のように、林業経営において、シカ対策が新しい投資として育林の中途に追加的に必要となった場合でも、割引現在材積法を用いれば、それ以降の収穫材に帰属する対策費用を特定することは容易であり、個々の対策の経済性や

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

社会的な効率性を詳細かつ柔軟に評価できると言える。

(3) 60～120年生までシカ対策を継続する場合

45年生を含め、60年生、80年生、100年生、120年生まで、それぞれ繰り返しシカ対策を行った場合の各年の帰属費用（円/本）を表—22に示す。

表—22 対策期間ごとのシカ対策の帰属費用（円/本）

	45年生	60年生	80年生	100年生	120年生	
45年まで	(I) 柵のみ	1,073	1,825	3,530	3,216	3,772
	(II) テープのみ	100	170	330	300	352
	(III) ネットのみ	501	852	1,647	1,501	1,760
	(IV) 柵+テープ	1,173	1,996	3,859	3,516	4,124
	(V) 柵+ネット	1,573	2,677	5,177	4,717	5,532
60年まで	(I) 柵のみ	1,073	1,825	3,530	3,216	3,772
	(II) テープのみ	121	205	397	362	425
	(III) ネットのみ	599	1,019	1,970	1,795	2,105
	(IV) 柵+テープ	1,193	2,031	3,927	3,578	4,197
	(V) 柵+ネット	1,671	2,844	5,500	5,011	5,877
80年まで	(I) 柵のみ	1,073	1,825	3,530	3,216	3,772
	(II) テープのみ	140	238	460	419	491
	(III) ネットのみ	704	1,198	2,317	2,111	2,476
	(IV) 柵+テープ	1,212	2,063	3,990	3,635	4,263
	(V) 柵+ネット	1,777	3,023	5,847	5,327	6,248
100年まで	(I) 柵のみ	1,073	1,825	3,530	3,216	3,772
	(II) テープのみ	153	260	504	459	538
	(III) ネットのみ	761	1,295	2,504	2,282	2,676
	(IV) 柵+テープ	1,226	2,086	4,034	3,675	4,310
	(V) 柵+ネット	1,834	3,120	6,034	5,498	6,448
120年まで	(I) 柵のみ	1,073	1,825	3,530	3,216	3,772
	(II) テープのみ	158	269	521	475	557
	(III) ネットのみ	790	1,344	2,599	2,368	2,777
	(IV) 柵+テープ	1,231	2,095	4,051	3,691	4,329
	(V) 柵+ネット	1,862	3,169	6,128	5,584	6,549
期待損失 (円/本)	350	339	895	741	781	
平均材価 (円/本)	2,592	2,926	5,381	4,902	5,750	

シカ対策ごとの各年の帰属費用と期待損失とを比較すると、(II) 保護テープのみでシカの被害を完全に回避できるのであれば、どのパターンにおいても、帰属費用（網掛け部分）が期待損失を下回る結果となった。つまり、テープ巻

き付けによる単木保護は、その期間が長期化しても、それにかかるコスト以上の木材価値の維持をもたらすと評価できる。

一方、その他のシカ対策（Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ）では、どのパターンでも、各年の帰属費用が期待損失を上回る結果となった。その超過の程度は、対策期間が長期化するほど増える。また、ネット柵と保護ネットが同時に必要となり、かつシカ対策の期間が主伐期（60年以上）になると、当対策の各年の帰属費用は平均材価を上回るようになった。つまり、単純に各年の立木1本当たりの木材収入では、帰属費用すら賄えなくなることを意味する。

4. むすびに

本稿では、安達（2022）の割引現在材積法を用いて、将来の収穫材に対するシカ対策の貢献度を割り出し、それをもとに各年の収穫材に帰属する分の対策費用を特定できることを示した。

シカ対策の効果は、森林作業道や山土場などの森林インフラと同様に、長期にわたって森林施業および将来の収穫物に持続的に発揮されるものである。そのため、短期的な評価だけでなく、中・長期的な視点から個々の対策の効率性や採算性を継続的に評価し、その結果を林業経営に適切にフィードバックしていくことが重要である。シカの個体数や生息密度、生息域の変化にともなう被害の度合いがどのように変化していくとしても、現在のコスト環境では、より適切で省力的かつ低コストの対策を追求していく必要がある。本稿で用いた割引現在材積法を用いれば、造林・保育期における初期投資として処理されがちなシカ対策費用を、将来の収穫材の量や質（木材価値）といった長期的な林業経営要素を組み込んだかたちで、将来の収穫をとまなう施業年度の事業評価に落とし込むことができる。また、帰属費用を計算する際の母数となる部分は、長期的な採算性を捉える際のシカ対策の総費用と基本同じものとなる。そのため、この手法に基づく短期の効率性評価は、長期のそれと整合性がある。

また、本研究では、シカ対策の帰属費用と、その有無によって生じる木材の

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

期待損失とを比べることで、どの対策が効率的かを厳密に分析できることを示した。実際は、シカ対策によって費用も違えば、効果も異なる。今回のように、どの対策も、同じ保護効果を持つことも、被害を受けることによって木材の価値が一律に下がることもないだろう。だが、本稿で用いた手法は、そのような現実的な状況であっても、対策の帰属費用を求めることが可能であり、その費用と対策の効果または期待損失などを比較する、または費用効果分析のように効果1単位に対する帰属費用などを求めることで、シカ対策の社会的に見た効率性をより厳密なかたちで比較することができる。

今回はシカ対策を対象に分析を行ったが、同様の林業被害をもたらす野生生物、例えばクマ、ノウサギ、ノネズミ、カミキリムシなどの防除対策に対しても同様に適用できる。また、対策の効果が長期にわたり、その効果によって結実する成果物が、遠い将来に得られるような対策や事業であれば、今回用いた割引現在材積法を用いれば、その社会的な効率性を厳密かつ詳細に検証することができる。シカ以外の林業被害を対象とした応用分析は、以降の研究課題としたい。

【謝辞】

本研究はJSPS 科研費JP19K23211の助成を受けて実施した。

引用文献

- Akashi, N. and Terazawa, K. (2005) 'Bark stripping damage to conifer plantations in relation to the abundance of sika deer in Hokkaido, Japan', *Forest Ecology and Management*, Volume 208: 77-83
- 安達啓介 (2022) 「将来の収穫量と材価を考慮した森林インフラの施業貢献度の特定」『神戸学院経済学論集』第53巻 (第4号), p.73-81
- 安部哲人・柳本和哉・山川博美・野宮治人 (2022) 「長崎県対馬におけるツリーシェルダー施工地の20年後の状況：耐久性と成長した植栽木への影響」『森林総合研究所研究報告』21巻1号, p.49-53
- 飯村武 (1984) 「シカによる森林被害とその防除 (I) シカとその被害」『森林防疫』33巻8号, p.2-5
- 池田浩一・小泉透・桑野泰光 (2009) 「スギ、ヒノキ人工林におけるシカによる角こ

- すり害の発生要因』『森林防疫』58巻6号, p.5-10
- 池田浩一・小泉透・桑野泰光（2010）「福岡県におけるニホンジカによる人工林剥皮害発生要因の解明」『福岡県森林林業技術センター研究報告』第11号, p.21-32
- 井上晋・野村和也・藤岡真知子・倉林順子（1997）「五島列島, 野崎島における過密生息のシカが及ぼす森林下層植生の影響」『日本林学会九州支部研究論文集』No. 50, p. 103-104
- Ueda, H., Takatsuki, S. and Takahashi, Y. (2002), 'Bark stripping of hinoki cypress by sika deer in relation to snow cover and food availability on Mt Takahara, central Japan', *Ecological Research*, Volume 17: 545-551
- 白井陽介・川畑真司・穂山浩平（2010）「鹿児島県におけるシカの林業被害とその対策について」『鹿児島県森林技術総合センター研究報告』13号, p.72-76
- 雲野明・南野一博・南野一博・石川祐介・明石信廣（2021）「多雪地における獣害防止ネットの破損とその対策」『北海道林業試験場研究報告』No.58, p.9-17
- 江口則和・栗田悟（2013）「ニホンジカ等による森林被害の効率的防除に関する研究：2010年度～2012年度」『愛知県森林・林業技術センター報告』第50号, p.1-7
- Oi, T. and Suzuki, M. (2001), 'Damage to sugi (*Cryptomeria japonica*) plantation by sika deer (*Cervus nippon*) in northern Honshu, Japan', *Mammal Study*, Volume 26: 9-15
- 岡田充弘・小山泰弘（2013）「シカ剥皮被害の実態解明と発生要因の解析」『森林防疫』62巻6号, p.232-237
- 尾崎真也（2004）「兵庫県におけるニホンジカによるスギ壮齢林の樹皮摂食害の実態」『森林応用研究』13巻1号, p.69-73
- 尾崎真也（2015）「兵庫県におけるニホンジカによるスギ壮齢木樹皮摂食害とその防除」『森林防疫』64巻5号, p.174-182
- 尾崎真也・塩見晋一（1998）「ニホンジカによるスギ幼齢木樹皮摂食害：被害, 糞粒密度および林床植生の関係」『森林応用研究』7巻, p.135-138
- 小澤一輝（2020）「ニホンジカ防護柵（縦張柵・斜張柵・金網柵）の比較検討」『国有林野事業業務研究発表集』53号, p.44-51
- 梶光一（1993）「シカが植生をかえる」, 東正剛・阿部永・辻井達一編『生態学からみた北海道』, 北海道大学図書刊行会, p.242-249
- 金森啓介（2018a）「高密度路網化, 高性能林業機械の導入を前提とした森林団地化による集約的施業の社会的な効率性—福井県における車両系・架線系作業システムでの集約的間伐を事例に一—」『地域公共政策研究』第26号, p.73-80
- 金森啓介（2018b）「福井県スギ人工林に対応した相対幹曲線の推定—福井県版スギ細り表の作成を目的として—」『地域公共政策研究』第26号, p.81-93
- 金森弘樹・井ノ上二郎・周藤靖雄・原誠・遠田博・周藤成次・岩佐啓次（1993）「鳥根県弥山山地におけるニホンジカに関する調査（Ⅲ）—生息数・被害の推移と被害回避試験—」鳥根県農林水産部林政課
- 金森弘樹・澤田誠吾・藤田曜（2007）「樹幹への障害物巻きつけによるニホンジカの

将来の収穫材に帰属するシカ対策費用の特定

- 角こすり剥皮害の回避試験（Ⅱ）—針金,ポリプロピレン帯の巻きつけによる効果—『島根県中山間地域研究センター研究報告』3号, p.33-42
- 金森弘樹（2012）「人工林におけるニホンジカの問題」『森林科学』No.66, p.36-40
- 北原文章「シカ対策費用を考慮した林業採算性」『山林』No.1670, p.25-30
- Graf, Y., Hein, S. & Schnabl, S, A. (2022) 'A review of challenges and future pathways for decision making with treeshelters — A German and European perspective', *Journal of Forest Research*, Volume. 27, No. 3 : 191-199
- 倉本一紀・森田浩也・柴田寛（2011）「スギノアカネトラカミキリ被害材の強度性能（第1報）ヒノキ正角材の材面の食害程度と強度との関係」『木材工業』66巻6号, p.252-256
- Gill R. M. A. (1992) A review of damage by mammals in north temperate forests: 1. Deer. *Forestry* 65: 145-169
- 佐野明（2009a）「三重県亀山市で発生したシカの剥皮によるスギ若齢木の集団枯損」『森林防疫』58巻1号, p.9-10
- 佐野明（2009b）「ニホンジカによるスギ, ヒノキ若・壮齢木の剥皮害の発生時期と被害痕の特徴」『哺乳類科学』49巻2号, p.237-243
- 佐野明（2017）「ニホンジカによるスギ・ヒノキの樹皮食害：林業経営上, 何が問題か？」『森林野生動物研究会誌』42巻, p.31-35
- 佐野明・金田英明（2009）「ニホンジカによるスギ剥皮害に対するテープ巻きの防除効果」『森林防疫』58巻1号, p.11-13
- 森林総合研究所（2021）「西日本の若齢造林地におけるシカ被害対策選択のポイント～防鹿柵・単木保護・大苗植栽～」森林総合研究所九州支所
- 陶山大志・周藤成次・金森弘樹（2005）「ニホンジカの角こすり剥皮に伴うスギ材の変色と腐朽」『島根県中山間地域研究センター研究報告』第1号, p.33-44
- Takatsuki, S. (2009) 'Effects of sika deer on vegetation in Japan: A review', *Biological Conservation*, Volume 142: 1922-1929
- 田戸裕之（2006）「ニホンジカによる林木被害—枝葉採食被害と角擦り被害について」『林業と薬剤』No.177, p.8-10
- 谷口明（1993）「シカによる造林木の被害防除に関する研究（Ⅲ）スギ ヒノキ造林木の剥皮被害」『日本林学会九州支部研究論文集』No.46, p.155-156
- 徳田迪夫・内迫貴幸・鈴木直之（2009）「スギノアカネトラカミキリによって損傷を受けたスギおよびヒノキ材の市場価値向上の方策（第1報）被害木の曲げ性能および材色変化」『木材工業』64巻7号, p.318-323
- 中村誠幹・網倉和弘（1998）「チューブ法によるシカの食害防止について—シカと林業の共存を目指して—」『森林応用研究』7巻, p.75-78
- Nagaike, T. and Hayashi, A. (2003) 'Bark-stripping by Sika deer (*Cervus nippon*) in *Larix kaempferi* plantations in central Japan' *Forest Ecology and Management*, Volume 175: 563-572

- 農林水産省（2015）「平成25年度林業経営統計調査報告」
- 野口琢郎（2001）「熊本県水上村におけるニホンジカによる剥皮害の実態」『日本林学会九州支部研究論文集』No.54, p.129-130
- Nomiya, H., Suzuki, W., Kanazashi, T., Shibata, M., Tanaka, H., Nakashizuka, T. (2003) 'The response of forest floor vegetation and tree regeneration to deer exclusion and disturbance in a riparian deciduous forest, central Japan' *Plant Ecology*, Volume 164: 263-276
- 福井県（2013）「社団法人ふくい農林水産支援センター（旧林業公社）のあり方検討委員会報告書（資料編）」
- 福井県山林協会「若越の林業」（2012月4月号～2021年3月号）
- 福本浩士・佐野明（2011）「ヒノキ造林木における剥皮害防止資材の検討—根張り部分の剥皮に着目して—」『三重県林業研究所研究報告』第3号, p.13-17
- 福本浩士（2012）「三重県における造林地のシカ食害—現状とその対策について」, 『森林技術』No.847, p.8-13
- 福本浩士（2016）「ヒノキ壮齡林の剥皮害に対する伸縮性ポリエチレンネットの防除効果」『森林防疫』65巻3号, p.8-13
- 古澤仁美・宮西裕美・金子真司・日野輝明（2003）「ニホンジカの採食によって林床植生が劣化した針広混交林でのリターおよび土壌の移動」『日本林學會誌』第85巻4号, p.318-325
- 三浦慎吾（1999）「野生動物の生態と農林業被害」全国林業改良普及協会
- 森田浩也・柴田寛・倉本一紀・川上敬介・西村臣博（2012）「スギノアカネトラカミキリ被害材の強度性能：ヒノキ正角材の変色程度と強度性能の関係」『鳥取県林業試験場研究報告』No.44, p.57-61
- 林野庁（2023）『令和5年版 森林・林業白書』全国林業改良普及協会
- 林野庁整備課（2023）「森林環境保全直接支援事業特定森林再生事業 標準作業工程」
- 柳澤賢一・清水香代・大矢信次郎・秋山巖・西岡泰久・岡田充弘（2020）「シカ等に対する新たな物理的防除を中心とした森林被害対策技術に関する研究」『長野県林業総合センター研究報告』34号, p.47-64
- 若原妙子・石川芳治・白木克繁・戸田浩人・宮貴大・片岡史子・鈴木雅一・内山佳美（2008）「ブナ林の林床植生衰退地におけるリター堆積量と土壌侵食量の季節変化—丹沢山地堂平地区のシカによる影響—」『日本森林学会誌』90巻6号, p.378-385
- 和口美明・隅孝紀・米田吉宏（1995）「ツキノワグマによる剥皮害の損失額—60年生ヒノキの事例—」『森林防疫』44巻12号, p.220-225