

整備効果の検証

1. 緊急防災林整備（斜面对策）
2. 緊急防災林整備（溪流対策）
3. 針葉樹林と広葉樹林の混交整備
4. 里山防災林整備
5. 野生動物共生林整備
6. 住民参画型森林整備
7. 都市山防災林整備

1. 緊急防災林整備（斜面对策）

（1）第1～3期検証内容

- ・ 間伐木を等高線上に設置した土留工を整備することで、林内斜面からの土砂流出量を7割減にすることができ、かつ年間の土砂流出量を健全な森林の指標(1m³/ha/yr)以下に抑制できることがわかった。
- ・ 豪雨時(日雨量50mm以上)においても、土留工の整備により土砂流出量を8割減にし、健全な森林の指標以下の土砂流出量に抑制することがわかった。
- ・ 土留工を整備した整備区の草本層植被率※は、13年間で対照区と比べ4倍（対照区20%、整備区80%）まで増加した。一般的に草本層植被率が高いと、雨滴侵食から保護され土砂流出が抑制される。
- ・ ニホンジカ(以下シカ)の食害が顕著な場所では、土留工の整備効果である土砂流出抑制の低下が見られた。その要因としては、シカ食害による草本層植被率の低下及びシカによる踏み荒らしが考えられた。

※植被率とは、一定の面積(10m×10m)において、植物が地面を覆っている面積の割合のこと。植物が全くない場合は0%、植物で全部覆われている場合は100%である。

1. 緊急防災林整備（斜面对策）

（1）第1～3期検証内容

- ・ シカ不嗜好性低木樹種であるミツマタは、シカ食害が顕著な場所でも植被率がほぼ100%となるため、土砂流出量を減らす効果があることがわかった。
- ・ 活着不良がみられたミツマタは、光条件との関係は認められず、植栽時樹高が低い傾向があった。



写真 土留工の設置状況



写真 スギ林床に繁茂したミツマタ

1. 緊急防災林整備（斜面对策）

（2）第4期検証内容

① 土留工の土砂流出量の経年変化調査

ア 検証目的

土留工の整備効果の継続期間を把握する。

イ 調査方法(期間：令和3年4月～)

- ・ 土留工の整備後、21年及び16年が経過した箇所(佐用：平成14年整備ヒノキ林、宍粟：平成19年整備スギ林)において、土留工を整備した区(整備区)、整備していない区(対照区)を設定する。
- ・ 斜面下方に土砂受け箱を設置し、降雨により流出した土砂流出量を測定する。
- ・ 整備区と対照区において草本層植被率を調査する。



写真 佐用町口長谷 整備区



写真 佐用町口長谷 対照区

1. 緊急防災林整備（斜面对策）

（2）第4期検証内容

② 植栽したシカ不嗜好性低木樹種（ミツマタ）の成長調査

ア 検証目的

草本層植被率を増加させて土砂流出を軽減させる目的で導入したミツマタの成長状況及び成長に適した条件を明らかにする。

イ 調査方法（期間：令和4年3月～）

緊急防災林整備（斜面对策）地内に令和元年に植栽され、活着調査後のミツマタの生死、樹高、地際径と開空度※を調査する。

※開空度とは、ある点から上を見た時の空が見える割合のことで、林内の光条件を推定する指標の一つである。

2. 緊急防災林整備（溪流対策）

（1）第2、3期検証内容

- ・ 間伐後17年が経過したスギ林において引き倒し試験(図)を行ったところ、間伐したスギは同じ材積の無間伐のスギに比べ、1.25倍倒れにくいことがわかった(図)。
- ・ その理由の一つとして、間伐を行うとスギ根の直径成長が良いことが挙げられた。

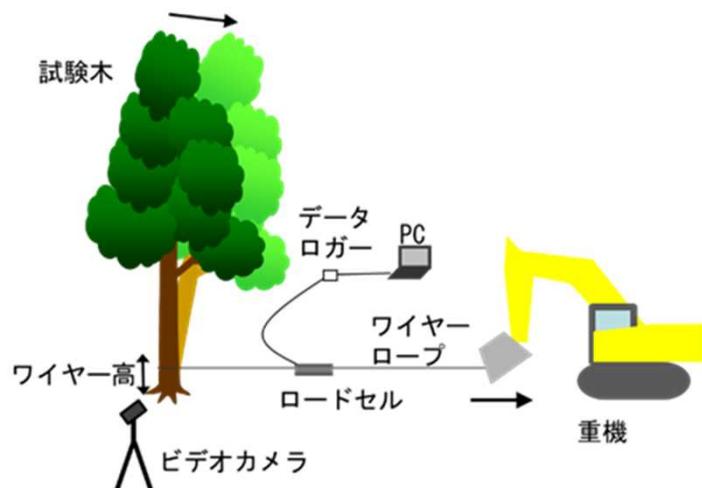


図 立木引き倒し試験
藤堂ら(2015)を一部改変

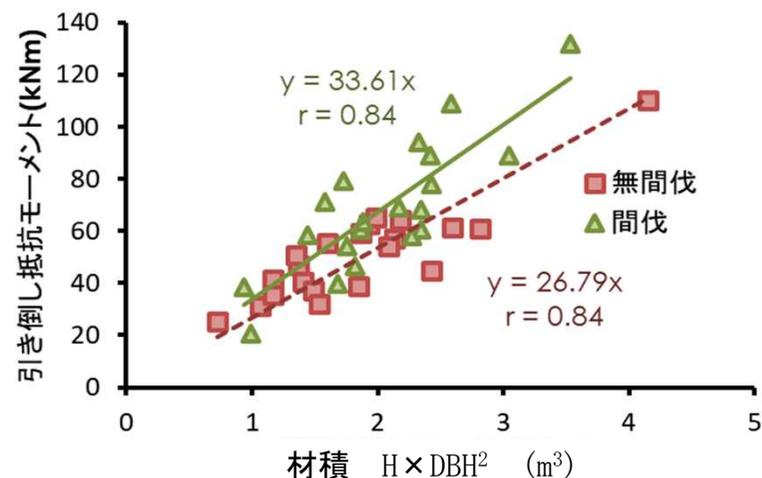


図 材積と引き倒し抵抗モーメントの関係
藤堂ら(2015)を一部改変

- ・ 間伐を行うことで、災害緩衝林を構成しているスギ樹幹の直径がより成長した。

2. 緊急防災林整備（溪流対策）

（1）第2、3期検証内容

- 同箇所のカヤキとスギの引き倒し試験を行ったところ、カヤキはスギよりも4.2倍倒れにくいことがわかった(表)。

表 スギとカヤキの引き倒しモーメント

樹種	引き倒しモーメント (胸高直径30cm換算値)	スギとの比較
スギ	41.8 kNm	—
カヤキ	174.3 kNm	4.2倍

2. 緊急防災林整備（溪流対策）

（1）第2、3期検証内容

- 水路実験（縮尺1/30）の結果から、間伐を行った災害緩衝林と簡易流木止め施設により土石流に含まれる多くの流木を捕捉できることがわかった。特に、溪流勾配10°程度の湾曲部においては、より捕捉効果を発揮（1.36倍）した(写真)。



写真 水路実験
（縮尺1/30）の状況

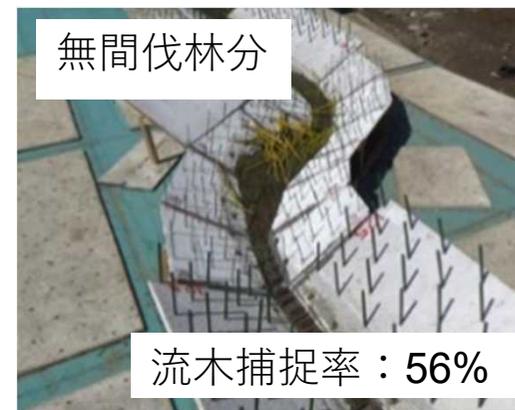
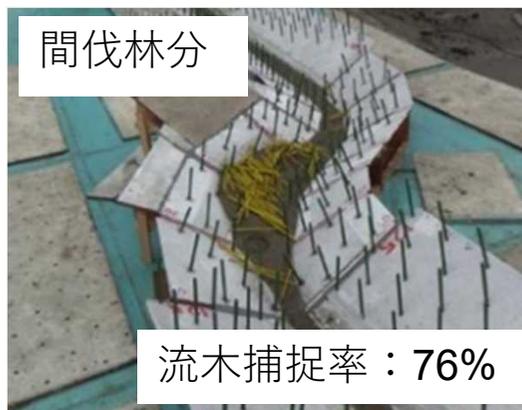


写真 間伐林分(左)と無間伐林分(右)の流木捕捉の様子

- 平成26年8月豪雨後など、日雨量50mm以上の降雨の後に災害緩衝林と簡易流木止め施設の目視点検を行い、災害の発生がないことを確認した。

2. 緊急防災林整備（溪流対策）

（2）第4期検証内容

① 簡易流木止め施設の設置効果(豪雨後の目視点検)

ア 検証目的

緊急防災林整備（溪流対策）で設置された簡易流木止め施設における大雨後の流木捕捉状況を把握する。

イ 調査方法(期間：令和3年4月～)

緊急防災林整備(溪流対策)の平成22-24年施工地のうち、豪雨(日雨量50mm以上)後の簡易流木止め施設による流木捕捉及び堆積状況を調査する。



写真 簡易流木止め施設

3. 針葉樹林と広葉樹林の混交整備

(1) 第1～3期検証内容

① 成林した広葉樹林についての調査結果

- 文献調査（諫本・高宮1992、稲垣1999）により、広葉樹林は針葉樹一斉林（スギ、ヒノキ人工林）と比較して、風倒や崩壊に対する抵抗力が高いことがわかった（表）。

表 針葉樹林と広葉樹林の風倒被害の比較

	針葉樹林	広葉樹林	文献
被害率（本数割合）	50.9%（スギ） 46.1%（ヒノキ）	12.7%（クヌギ）	諫本・高宮 1992
被害率（面積割合）	40～60%	1～2%	稲垣 1999

- コナラ林はヒノキ人工林よりも土砂流出量が抑制される（表）。

表 土砂流出量の比較

区分（調査箇所数）	土砂流出量（相対値）
ヒノキ放置林（1箇所）	100
コナラ林（5箇所）	27.9（7.9～55.3）
ヒノキ間伐林（1箇所）	76.3

3. 針葉樹林と広葉樹林の混交整備

(1) 第1～3期検証内容

① 成林した広葉樹林についての調査結果

- ・ 植栽による広葉樹林でも、天然更新林と同様に風倒や崩壊、土石流に対する抵抗が高い森林になることが期待できる。
- ・ 植栽候補となる高木性の広葉樹として、コナラ、ミズナラ、クリ、アベマキ(クヌギ)、トチノキの引き倒し抵抗力を測定し、これらの高木性広葉樹はスギよりも2倍以上倒れにくいことを確認した。

3. 針葉樹林と広葉樹林の混交整備

(1) 第1～3期検証内容

② 広葉樹苗木植栽についての調査結果

- ・ 小面積皆伐後の植栽箇所は一時的に土砂流出量が増加したが、草本層植被率の増加とともに、1年経過で土砂流出量は健全な森林の指標($1\text{m}^3/\text{ha}/\text{yr}$)に戻った。一方、4年経過しても健全な森林の指標の土砂流出量に戻らない箇所もあるため、土砂流出が起こりやすい傾斜が急な箇所では、土留工の設置などが必要と考えられた。
- ・ 整備後5年が経過すると、植栽木による低木層の発達が見られた。低木層に含まれる高木樹種はそのほとんどが植栽木由来であった。
- ・ シカによる食害を防いだ広葉樹植栽地は、コナラ、クリといった植栽木が順調に生育しており、植栽後10年で3-5m程度になった(図)。



写真 クリ植栽5年後の様子



写真 クリ植栽10年後の様子

3. 針葉樹林と広葉樹林の混交整備

(1) 第1～3期検証内容

② 広葉樹苗木植栽についての調査結果

- ・ 植生保護柵のうち、小面積柵(0.1ha以下)や見回り補修を行っている柵は、シカ食害からの保護効果が高かった。
- ・ 植生保護柵のうち、ステンレス入りポリエチレンネット柵（ネット柵）は壊れやすく、点検補修をしなければ3年程度で調査した全ての柵で破損箇所が発生した(表)。
- ・ 金網柵は壊れにくいものの、6年程度で破損箇所が発生した（表）。
- ・ どちらの植生保護柵も、定期的な点検・補修が必要であることがわかった。

表 ネット柵、金網柵のシカ侵入率と破損率（藤堂・藤木 2017より抜粋）

種別	設置からの年数	点検・補修の有無	調査柵数	シカ侵入率 (%)	破損率 (%)
ネット柵	1-3年	あり	10	50	80
		なし	34	100	100
	4-5年	なし	22	86	100
金網柵	4-5年	なし	9	22	44
	6-12年	なし	6	50	100

3. 針葉樹林と広葉樹林の混交整備

(2) 第4期検証内容

① 針葉樹林と広葉樹林の混交整備地の現状調査

ア 検証目的

針葉樹林と広葉樹林の混交整備（針広整備）実施箇所の広葉樹植栽地において、針葉樹林伐採地に植栽した広葉樹の成長とその樹林化および階層構造について調査し、森林の防災機能の向上状況および植物種の多様性の向上状況について把握する。

イ 調査方法(期間：令和4年6月～)

第1期～第2期に針広整備によって広葉樹を植栽した箇所に10m×10m調査枠を設定して、植物社会学的調査を行う。

3. 針葉樹林と広葉樹林の混交整備

(2) 第4期検証内容



写真（上） 比較的樹林化が良好な調査地



写真（下） 樹林化が妨げられている調査地

3. 針葉樹林と広葉樹林の混交整備

(2) 第4期検証内容

② ウリハダカエデなどシカ不嗜好性植物の成長調査

ア 検証目的

シカ不嗜好性植物を活用するにあたって、その適地や成長などを明らかにする。

イ 調査方法(期間：令和3年4月～)

ウリハダカエデ、オオバアサガラ、シロダモを植栽し、土質、開空度、樹高及び地際直径を測定する。



写真 光条件が異なる場所に植栽したウリハダカエデ

4. 里山防災林整備

(1) 第1～3期検証内容

① 現地調査による結果

- ・ 簡易土留工を設置することで、土砂流出量が6-9割減になった。
- ・ 危険木伐採整備後2年目で、光条件の向上により、草本層植生の早期回復が一部で確認された。
- ・ 危険木伐採整備後4-6年経過した箇所における低木樹種の被度パーセントの合計値は5%程度と低いため、低木林として管理するためには、低木樹種の植栽が必要であることがわかった。
- ・ 危険木伐採後に萌芽再生をしていますが、3年が経過するとコナラ根系の一部が枯死し、表層崩壊防止機能は6-7割程度に低下する。

4. 里山防災林整備

(1) 第1～3期検証内容

① 現地調査による結果

- アセビの引き抜き抵抗力は高く、スギ同様であり、次にソヨゴ、リョウブが、その次にコバノミツバツツジとヒサカキが続き、ミツマタとモチツツジの引き抜き抵抗力は低かった(図)。このことから、低木樹種の引き抜き抵抗力は樹種によって差異があり、引き抜き抵抗力が高い低木樹種を植栽することで、表層崩壊防止力を向上させることができる。

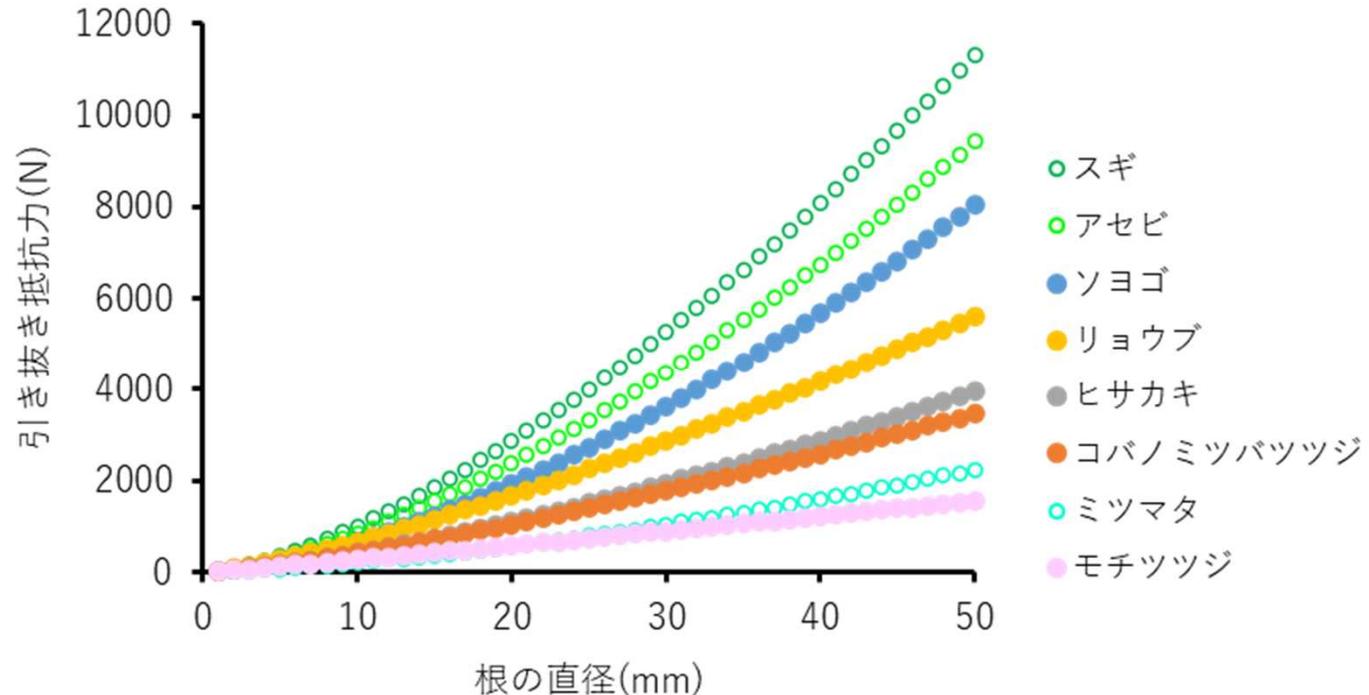


図 各樹種の引き抜き抵抗力

4. 里山防災林整備

(1) 第1～3期検証内容

② アンケート調査による結果

- ・ 低林管理※を希望する住民は6割、低木林管理※を希望する住民は4割。
- ・ 5-7割以上の住民が、倒木や土砂災害に対し安全安心になったと回答。

※低林管理

高木となった危険木を伐採した後、萌芽や植栽木を成長させ、樹高10m以下に管理することで高木樹種を低林に仕立てた裏山を維持する管理方法。

※低木林管理

危険木の伐採後、大木にならない低木樹種による林分を仕立てて、裏山を維持する管理方法。

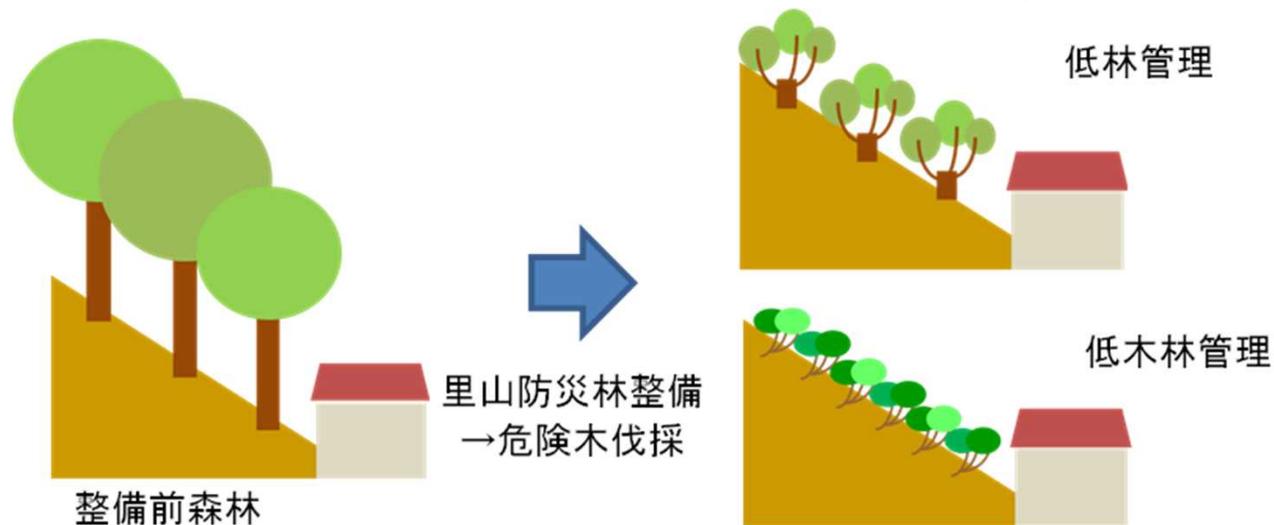


図 低林管理(右上)と低木林管理(右下)の違い

4. 里山防災林整備

(2) 第4期検証内容

① 萌芽再生後における根系の崩壊防止力(引き抜き抵抗力)の変化

ア 検証目的

萌芽再生後は、根系の土壌補強強度が低下するとの報告(北村・難波1981)があるが、どのくらいの期間低下するのか、どのくらい低下するのか明らかになっていない。このことから、土壌補強強度低下時の対策の必要性を検討するため、伐採に伴う根系の土壌補強強度の変化について明らかにする。

イ 調査方法(期間：令和3年4月～)

- ・ 平成27年11月に皆伐した宝塚市長谷のコナラ個体を調査に使用。
- ・ 伐採・萌芽再生後5年以上が経過したコナラ根株の周囲に、地際から50cm、深さ1mの円筒状の土壌断面を作成し(図)、断面上に現れる根の根径、位置を記録する。

根の一部を、引き抜き抵抗力測定用ハサミで挟んで引っ張り引き抜き荷重を測定し、根径(mm)-引き抜き抵抗力(N)の関係式を作成する。

- ・ 根の土壌補強強度を算出する。

4. 里山防災林整備

(1) 第4期検証内容

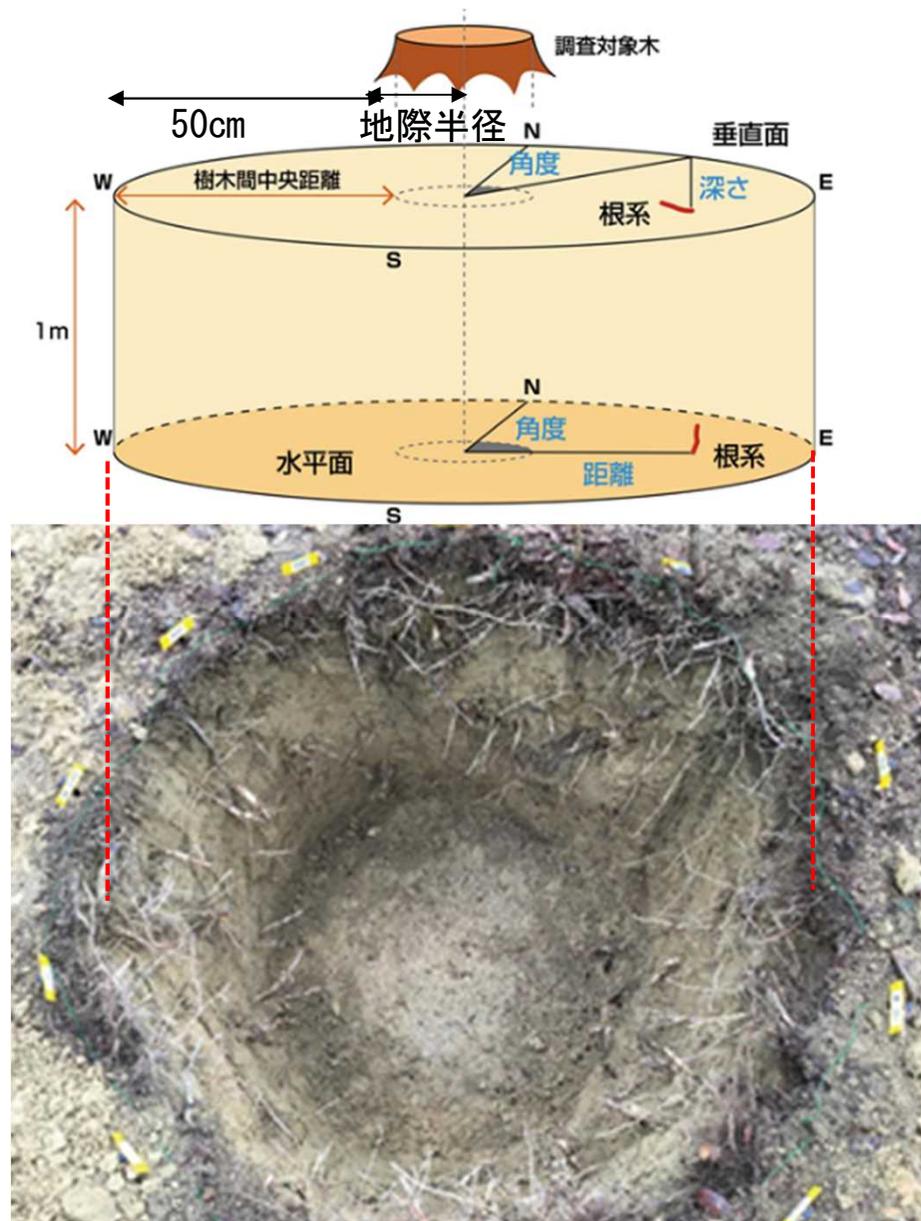


図 調査方法と調査土壌断面

5. 野生動物共生林整備

(1) 第1～3期検証内容

① 事業後の住民意識の変化

8割以上の住民が事業の実施を評価するとともに、約2/3の住民が事業をきっかけに防護柵の設置等に取り組み始めた。

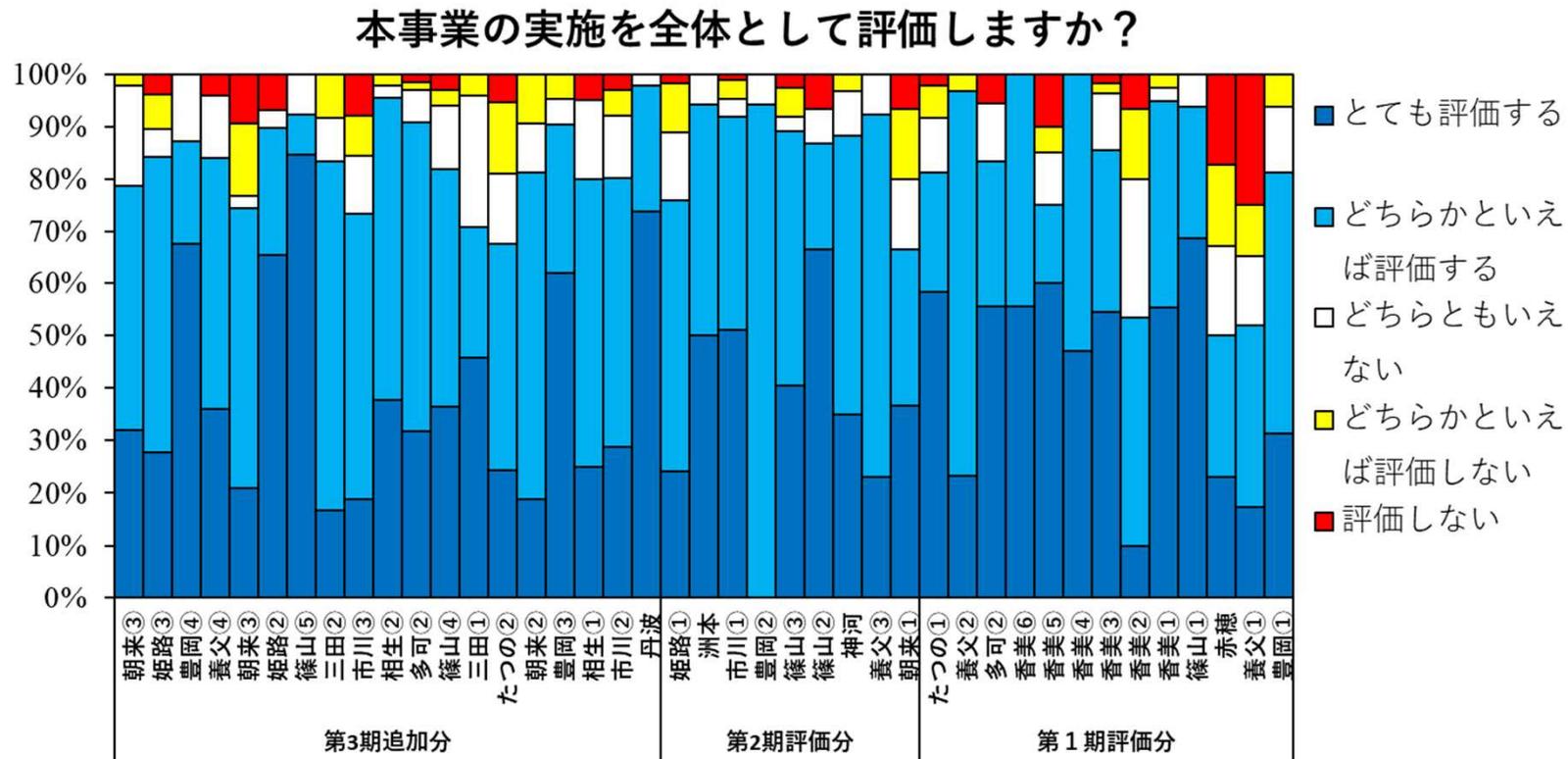


図 整備を実施した41集落の住民アンケート結果

5. 野生動物共生林整備

(1) 第1～3期検証内容

② 事業後の農作物被害の変化

集落柵とバッファゾーンの一体整備により、約7～8割の農地で被害が減少した。

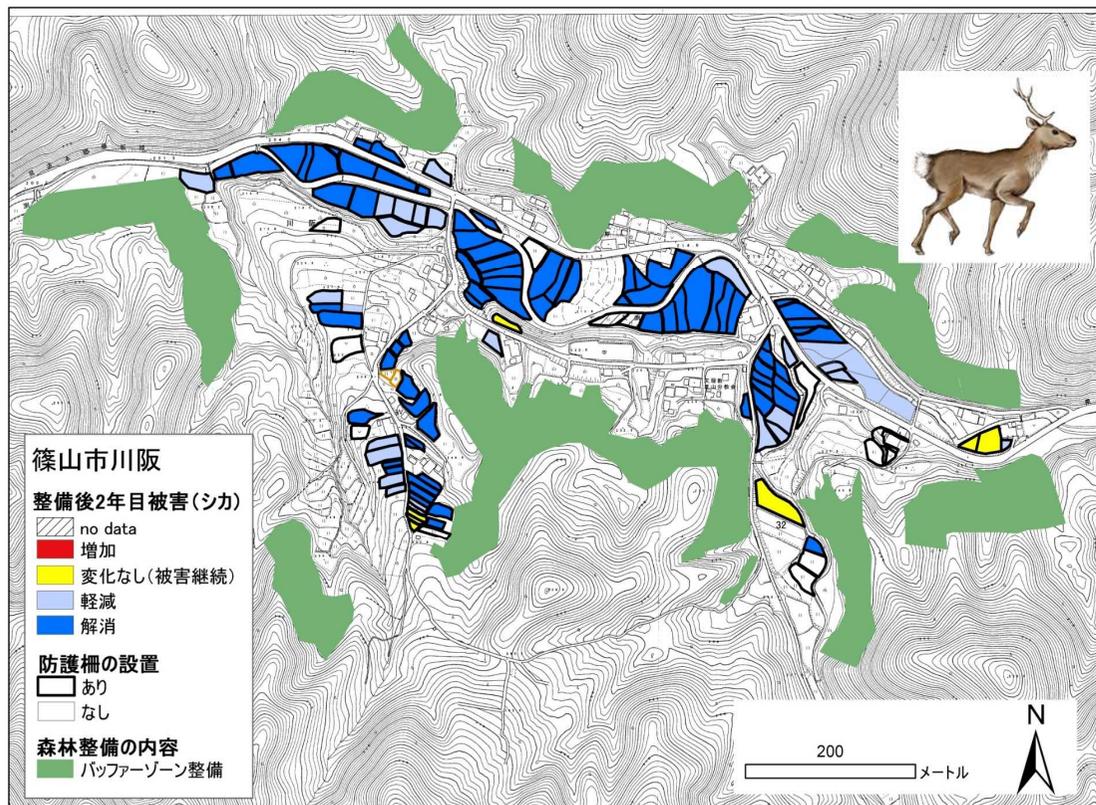


図 シカによる農作物被害が発生していた集落における整備前後による耕作地の被害変化

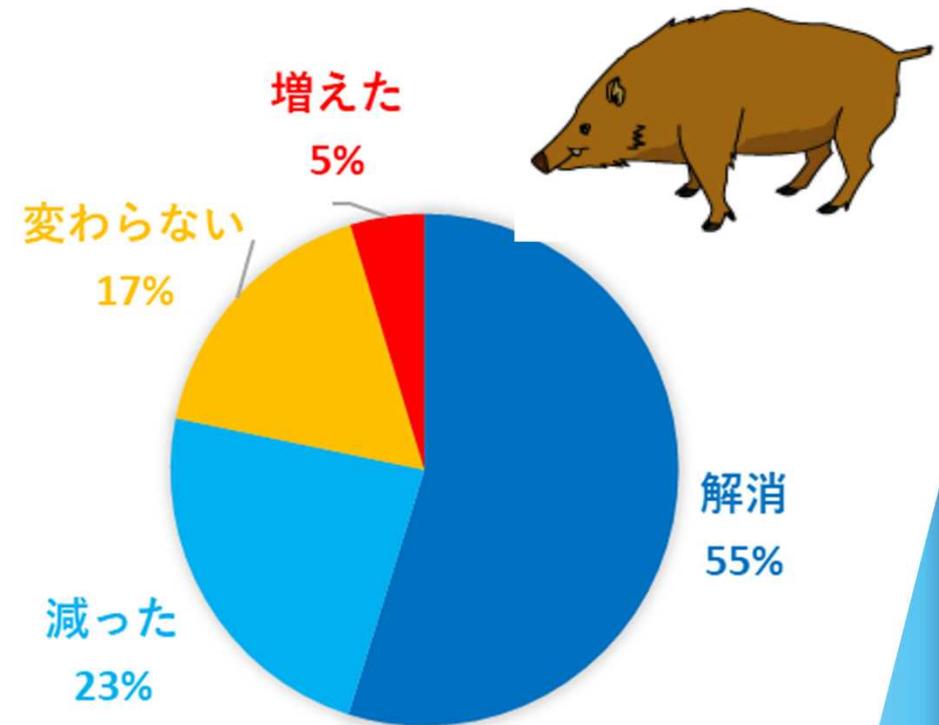


図 イノシシによる農作物被害が発生していた37集落における整備前後による耕作地の被害変化

5. 野生動物共生林整備

(1) 第1～3期検証内容

③ 植生の保全回復

植生保護柵の設置後2～8年間で、柵内の下層植生の被度・種数の大幅な増加が確認された。



写真 整備地の広葉樹林内に設置された植生保護柵

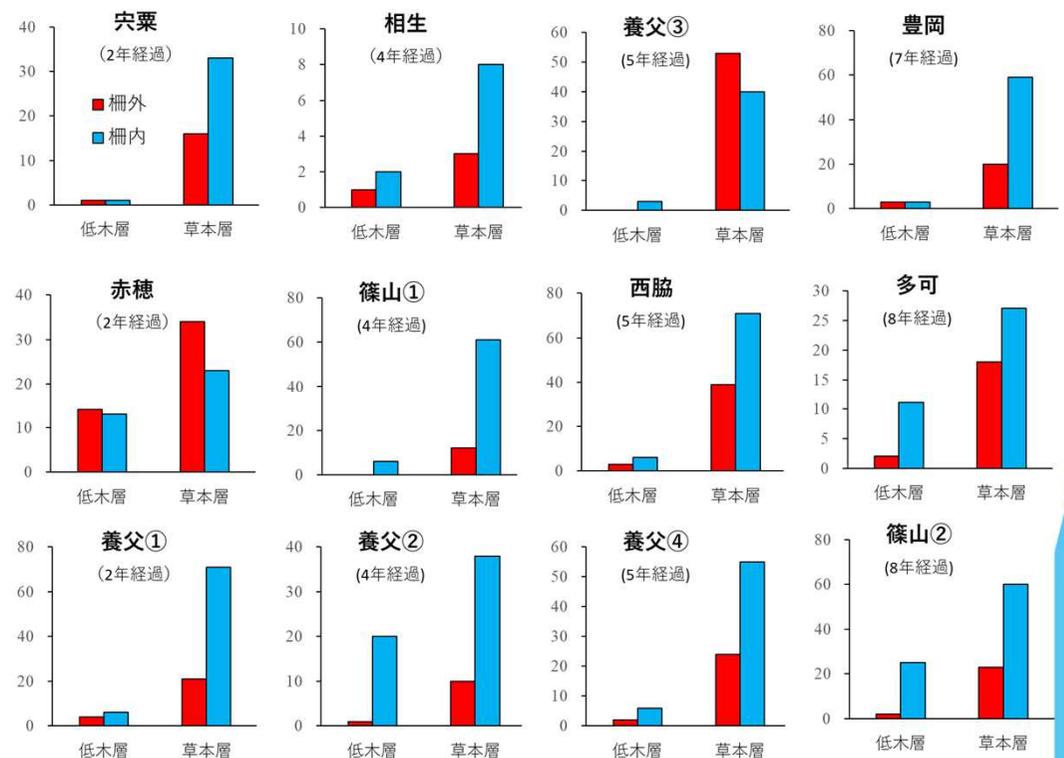


図 整備地の植生保護柵内外における維管束植物種数の比較

5. 野生動物共生林整備

(1) 第1～3期検証内容

④ 森林土壌の保全回復

伐採跡荒廃地に設置された植生保護柵の植生回復の効果により、柵内では年間土砂流出量が $20.7\text{m}^3/\text{ha}$ （1年目）→ $0.7\text{m}^3/\text{ha}$ （5年目）まで減少した。



灘吉野事業地における年間土砂流出量の変化

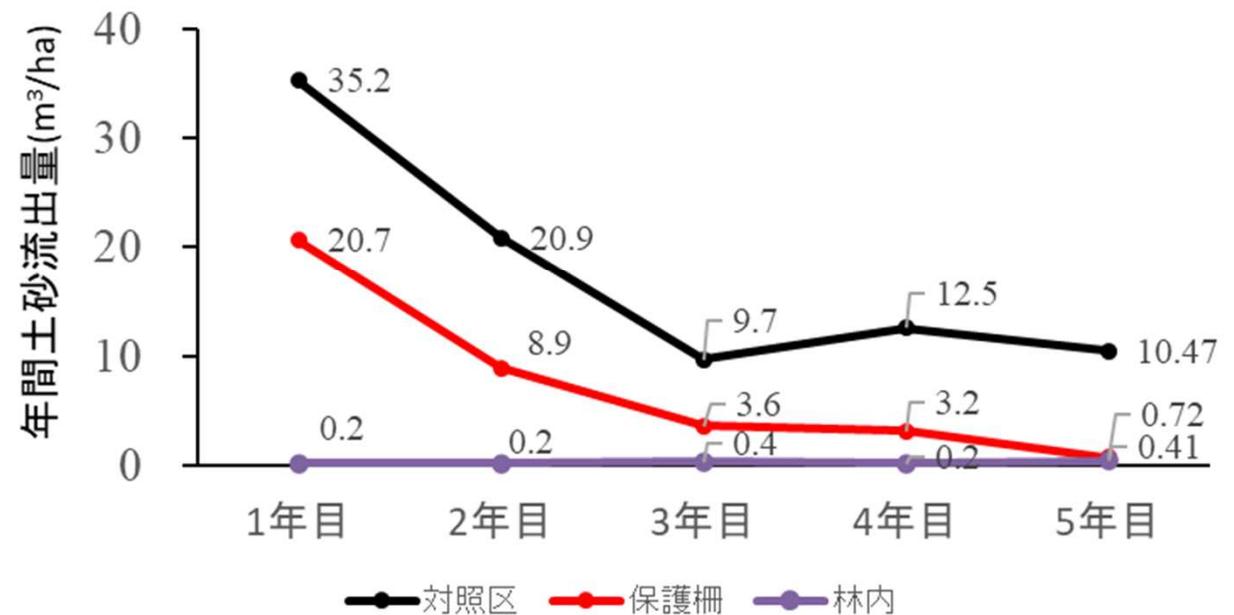


図 伐採跡荒廃地における整備後の試験区ごとの年間土砂流出量の変化

5. 野生動物共生林整備

(2) 第4期検証内容

① 事業後の住民意識の変化

ア 検証目的

第3期検証以降における、実施集落住民の事業の評価状況を引き続き把握する。バッファゾーンの効果を高めていくためには、防護柵の設置だけでなく、追い払い等のバッファゾーンを活用した集落住民による総合的な獣害対策の取組みが必要とされるため、整備後の集落の獣害対策の進展状況についても新たに把握し、課題を抽出する。

イ 調査方法

- ・ バッファゾーン整備を実施した集落を対象に、事業の評価と意識の変化に関する全戸配布アンケートを実施する。
- ・ 集落役員を対象に、事業後の獣害対策の進展状況に関するアンケートを実施する。

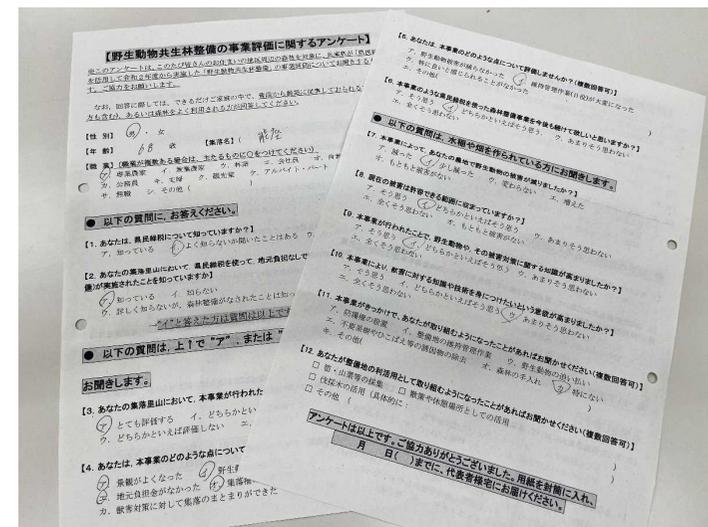


写真 配布するアンケート用紙

5. 野生動物共生林整備

(2) 第4期検証内容

② 事業後の農作物被害の変化

ア 検証目的

農作物被害の軽減という事業目的が達成されているかを明らかにするため、第3期検証で報告した41集落に、その後新たに効果検証を実施した集落を加えて、引き続きバッファゾーン整備による農作物被害軽減効果を検証する。

イ 調査方法

整備前後における個々の農地のシカ、イノシシ、サルによる農作物被害状況の変化について、区長、農会長などの集落役員を対象に聞き取り調査を実施することにより把握する。

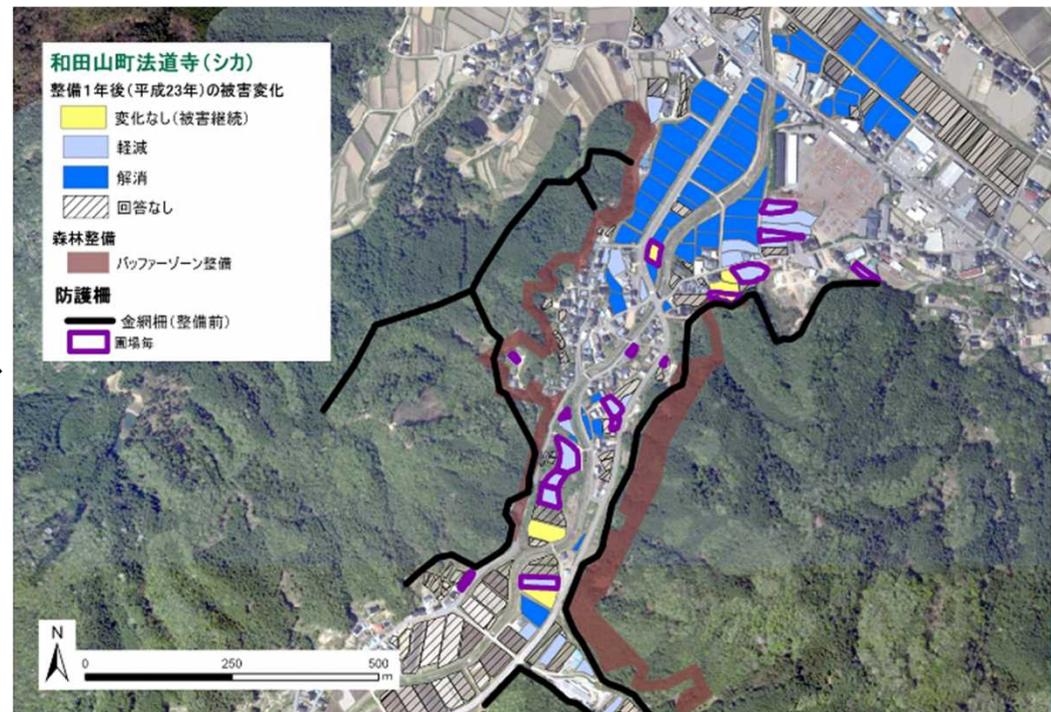


図 事業実施集落における聞き取り調査に基づいた整備後のシカによる農地被害の変化の把握の一例

5. 野生動物共生林整備

(2) 第4期検証内容

③ 森林土壌の保全・回復

ア 検証目的

シカの食害によって下層植生が消失し、土壌侵食が発生している夏緑広葉樹林の整備地を対象に、不嗜好性低木の植栽による土壌侵食の抑制効果について、第3期検証以降における状況を把握するとともに、効果的な手法についても検討する。

イ 調査方法

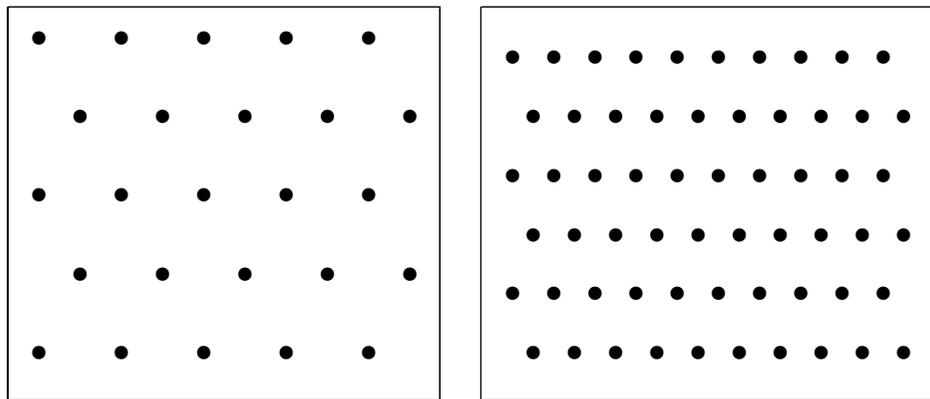
コナラ林下に植栽密度が異なる3つの試験地（0本/100m²、25本/100m²、60本/100m²）と木柵工設置区を設け、流出土砂量の経年変化を測定する。

植栽木（アセビ、シキミ、ミツマタ）の成長経過についても調査する。（平成28年5月～）

5. 野生動物共生林整備

(2) 第4期検証内容

③ 森林土壌の保全・回復



低密度区(25本/100m²)

高密度区(60本/100m²)

図 植栽試験区の実験設定



写真 不嗜好性低木の高密度区の概観
(矢印の位置に植栽木)



写真 土砂受け箱の設置状況
(試験区下に土砂受け箱を設置し、
定期的に土砂回収)

6. 住民参画型森林整備

(1) 第2、3期検証内容

① 第2期

ア 野生動物共生林整備型

- ・事業後、集落住民に「森林整備への関心」や「獣害対策意欲」の向上が認められた。
- ・整備の実施について、約9割の住民が肯定的に評価していた。

イ 里山防災林整備型

- ・集落周辺の倒木の危険性が高い木が伐採され、安全性が向上した。
- ・事業実施以降、住民による森林整備の意欲が高まった。

② 第3期

ア 野生動物共生林整備型

- ・事業後、集落住民に「森林整備への関心」や「獣害対策意欲」の向上が認められた。
- ・整備の実施について、約8割の住民が肯定的に評価していた。

イ 里山防災林整備型

- ・集落周辺の倒木の危険性が高い木が伐採され、安全性が向上した。
- ・事業実施以降、住民による森林整備の意欲が高まった。

6. 住民参画型森林整備

(2) 第4期検証内容

① 野生動物共生林整備型

- ・ 事業実施前後の住民意識の変化を把握するため、第3期検証以降の実施集落住民の事業の評価状況を、全戸配布アンケートにより引き続き把握する。
- ・ 獣害に強い集落づくりを進めていくためには、集落住民による総合的な獣害対策の取組みの中で、当事業が活用されていくことが重要となるため、整備前後における集落の獣害対策の進展状況とその課題について把握する。

② 里山防災林整備型・放置竹林整備型

- ・ 整備を実施した集落を対象に、事業の評価や意識変化に関する全戸配布アンケートを実施する。
- ・ 事業実施後の住民による継続的な整備について、課題を把握する。

7. 都市山防災林整備

都市山とは、都市に隣接する山地のこと。生物多様性保全、防災などの環境機能、学習、レクリエーション、観光などの文化機能を果たす役割が重要であり、例えば六甲山などの「都市山」においては減災機能を重視した目標林設定を進めるべきである(服部2007、2018を一部改変)。

(1) 第3期検証内容

- ・ コナラ林を間伐することで、残されたコナラの根が太くなる傾向が見られ、根の土壌補強強度が高まる可能性が高いことがわかった。
- ・ 表土が浅いところに生える深根性広葉樹（アカガシ）の風倒被害木は、胸高直径が大きいものに多い傾向が見られた。
- ・ 六甲山における平成26年の山腹崩壊についての崩壊安定計算シミュレーション（沖村・市川(2010)の崩壊危険予測モデル）に実測した樹木根系による土壌補強強度のデータを加えると、樹木根系データを入れないものより崩壊地が絞り込まれ、実際との状況と合致する傾向がみられた。このことから、実際に根が崩壊抑止に参与していることがわかった。

7. 都市山防災林整備

(2) 第4期検証内容

① 広葉樹の間伐による根系成長の比較

ア 検証目的

表層崩壊に強くなる伐採整備方法を検討するため、崩壊発生源に位置し、伐採方法が異なるコナラ林において、根系の成長状況の違いを明らかにする。

イ 調査方法(期間：令和3年4月～)

- ・ 平成29年に神戸市唐櫃のコナラ林に、大径木の間伐区、被圧木の間伐区、対照区(間伐しない)を設定。
- ・ それぞれの区からコナラ個体を3個体選び、1個体あたり3本のコナラの根の直径を測る。