

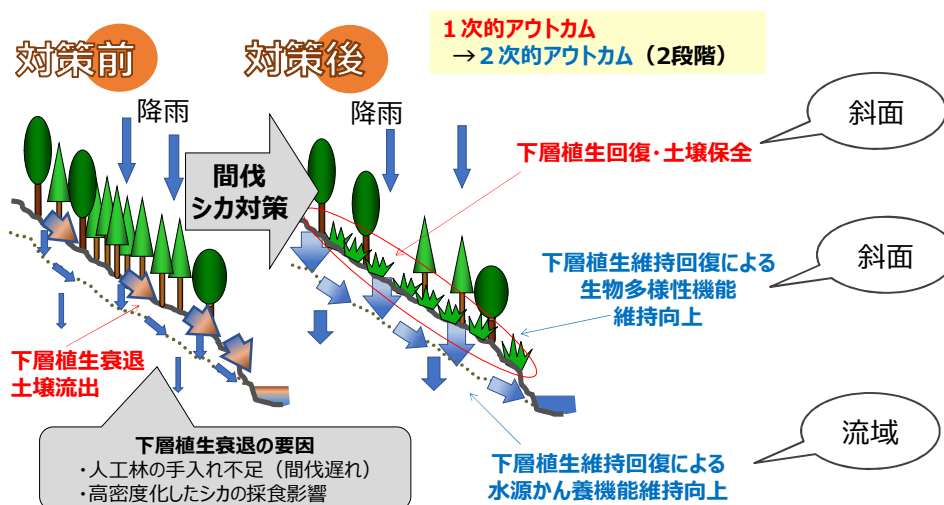
森林のモニタリング調査（令和5年度モニタリングの調査結果）

自然環境保全センター

（１） 森林の保全・再生対策によって予想される効果

事業実施前：人工林の間伐遅れや高密度化したシカの影響により、下層植生が衰退し、土壌が流出している状態。水源かん養機能の低下が危惧される。

事業実施後：間伐やシカ対策により、下層植生が回復し土壌が保全される（１次的アウトカム）。さらに、下層植生に依存する昆虫などが増加するとともに、土壌流出に由来する水の濁りが減少し河川流量も安定化すると考えられる（２次的アウトカム）。



（２） 水環境モニタリング（森林）における２次的アウトカムの評価方法

評価対象の機能 (2 次的アウトカム)	現時点での評価の 考え方	評価対象事業 の範囲	評価手法 (調査方法)	評価スケール
森林の水源 かん養機能 (H19～)	事業による下層植生維持 回復効果（一次的アウト カム）の水・土砂流出へ の影響を把握し、水源か ん養機能への効果を評 価。	特別対策事業 (1～5 番)	土壌侵食量調査	斜面 (林分)
			対照流域法調査	試験流域 (小流域)
		施策大綱事業	水循環モデル 予測解析	水源林地域 (ダム上流域)
生物多様性 保全機能 (H25～)	間伐による下層植生回復 と植生・土壌動物・昆虫・ 鳥類・哺乳類等の生物相の 多様性を把握し、生物多様 性保全機能への効果を評 価。	特別対策事業 (1～5 番)	森林生態系 効果把握調査	整備地 (林分)

特に中心的な調査が、表中の対照流域法調査、森林生態系効果把握調査。検証内容・進捗等の詳細は別紙のとおり。

(3) 森林の下層植生と土壌保全の関係（1 次的アウトカム関連成果の抜粋）

1. 下層植生と土壌侵食量

- ・裸地化した箇所では、かつてのはげ山と同レベルの土壌侵食を観測（図1）。
- ・下層植被率8割以上だと落葉堆積も多く土壌侵食もほとんど発生しない(図1)。

2. 下層植生と落葉による地表の被覆と地表流発生

- ・土壌侵食を引き起こす降雨時の地表流の発生は、下層植生と落葉等により地表面が75%以上被覆されていると抑制される（図2）。
- ・下層植被率が20%を下回ると、下層植生と落葉を合わせた地表面の被覆率が75%を大きく下回る箇所が多くみられる（図3）。
- ・短期的には落葉被覆のみでも土壌保全可。下層植生あると年間通した土壌保全。

3. 低木・草本・裸地の比較

- ・斜面の土砂生産量は、低木斜面<草本斜面<裸地斜面の順に少ない。低木斜面で土壌密度が小さく根系量が多い。木本種の低木の増加が根系量増加に寄与。

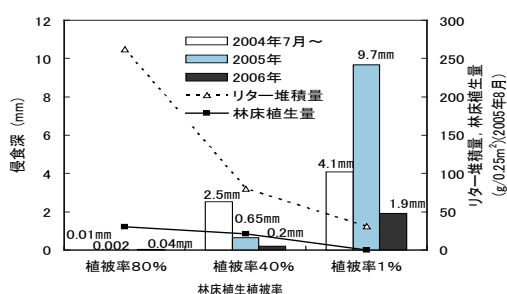


図1 下層植生植被率と土壌侵食深の関係

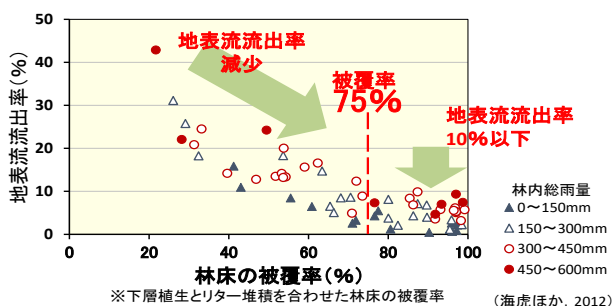


図2 合計被覆率と地表流流出率の関係

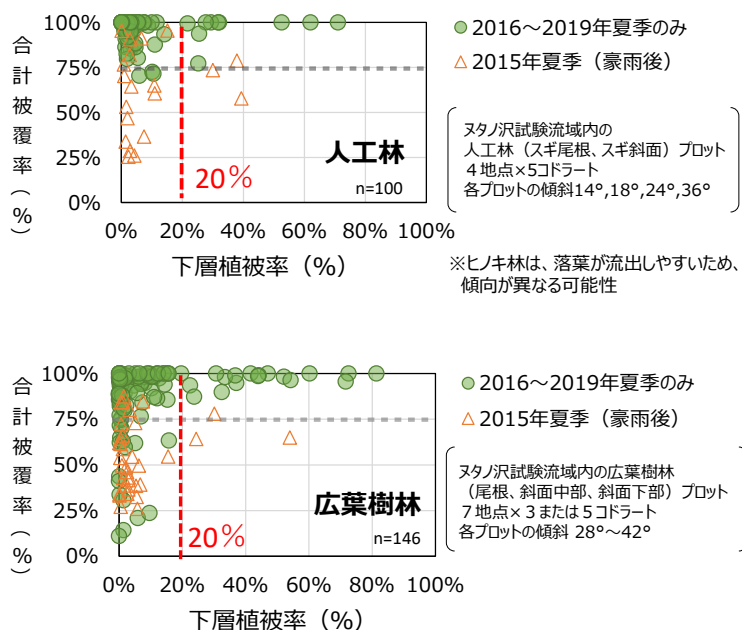
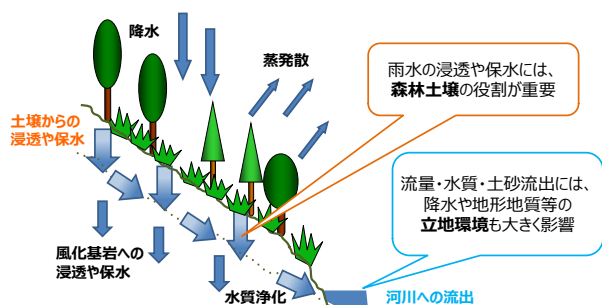


図3 夏季の下層植生植被率と合計被覆率の関係（人工林、広葉樹林）

対照流域法調査の概要

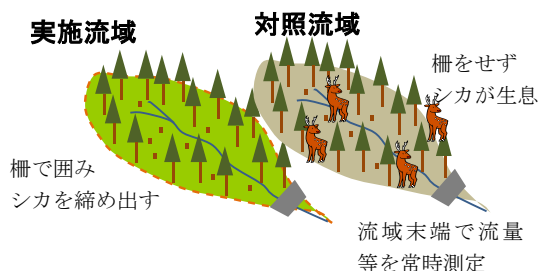
1 取り組みのねらい

施策評価の統合的指標である水源かん養機能の改善（２次的アウトカム）を検証するため、地質等の自然条件の異なる県内４か所に試験流域を設けて森林操作（実験的な事業）とモニタリング調査を並行して行う。また、より広域な水源かん養機能の評価を行うため、試験流域の実測データ等を用いて水循環モデルを構築し、貯水ダム上流域等の事業評価や将来予測のために解析を行う。



森林の水源かん養機能のしくみ（水循環）

山地に森林があると**洪水抑制・渇水緩和・水質浄化**の機能が発揮される。これは、降った雨がいったん地中に浸透してから時間をかけて流出するため。



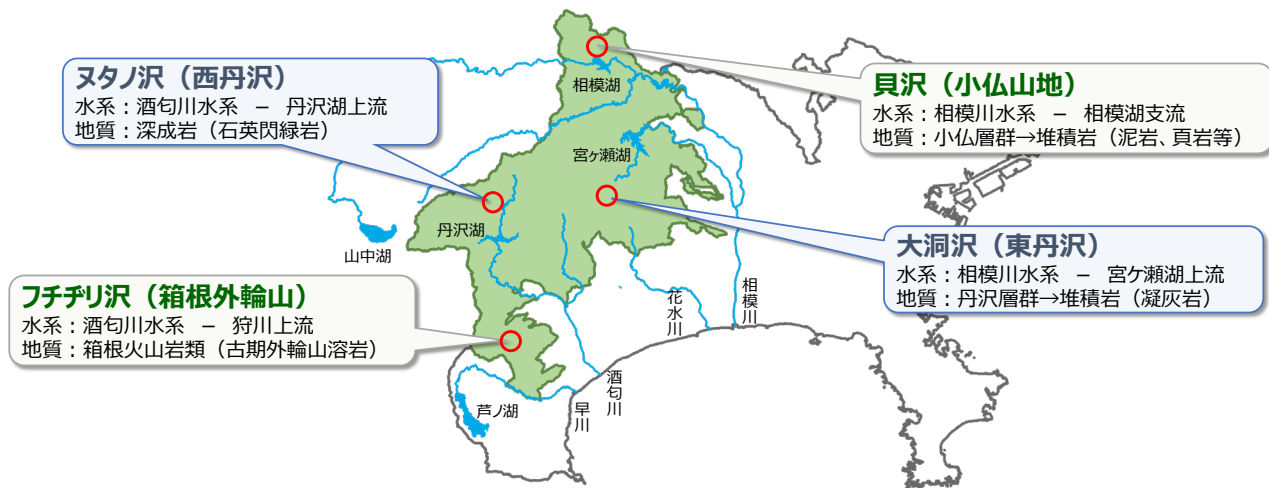
試験流域における事業効果検証（丹沢の例）

２つ設けた流域の一方で事業を行い、事業の前や事業をしないもう片方の流域との比較によって水源かん養機能への効果を検証する。

2 各試験流域における検証内容

地域ごとの水源林の課題や水循環の特性を踏まえて、各試験流域における検証のねらいを設定し、事前モニタリング、実験的事業実施、事後モニタリングを順次実施する。

水系	試験流域	水循環特性、課題等	モニタリングのねらい	観測開始年	事業実施年度
相模川	貝沢（小仏山地）	相模湖支流、小仏層群、人工林	水源林整備の効果を検証	2010	2012 2016・2017
	大洞沢（東丹沢）	宮ヶ瀬湖上流 新第三系丹沢層群 人工林、シカ影響	シカと人工林の管理の効果を検証	2009	2011 2025 予定
酒匂川	ヌタノ沢（西丹沢）	丹沢湖上流、深成岩 広葉樹、シカ影響	広葉樹林のシカ管理効果を検証	2011	2014, 2022
	フチジリ沢（箱根外輪山）	狩川上流 外輪山噴出物、人工林	当該地域の水循環特性把握	2012	—



3 令和5年度までの主なモニタリング成果

(1) シカの影響が大きい丹沢山地における下層植生回復による水源かん養機能改善の検証

試験流域：東丹沢大洞沢（H21 観測開始、H24.3 植生保護柵完成、R7 間伐予定）
西丹沢ヌタノ沢（H23 観測開始、H26.4 植生保護柵完成、R4 柵内の人工林間伐）
森林操作内容：実施流域を柵で囲みシカを排除し、シカの多い対照流域と比較

- ・大洞沢とヌタノ沢ともに実施流域では、下層植生の回復がみられ、特にヌタノ沢で回復が顕著である。下層植生回復は一律でなく、特に斜面位置によって異なり、樹冠開空度や土壌水分等の影響が示唆された。また、下層植生の種数が多いと土壌密度が小さくなる傾向がみられ、保水につながると考えられた。さらに低木層の発達した斜面では草本層や裸地の斜面よりも土砂生産量は少なく、特に斜面長が長いと違いが顕著であった。
- ・ヌタノ沢の出水時の水の濁りに関しては、対照流域を基準として実施流域における柵設置前・後を比較すると、柵設置後のほうが水の濁りが少ない傾向である。
- ・大洞沢における渓流水質（平水時）の硝酸態窒素濃度は、全般的に微減傾向である。柵設置後 10 年間の硝酸濃度の推移では、柵設置流域でやや低めであるが顕著でなく、柵の設置は流域末端の水質に大きく影響していないと考えられた（図 1）。要因として、柵設置による硝酸濃度減少が顕著である他の研究事例と比べて谷部での植生回復が鈍く植生回復速度の違いや土砂移動の激しい流域の水文特性・土砂動態があげられる。
- ・大洞沢における降雨・気象・流量・蒸発散・土壌水分等の現地観測データを蓄積し水循環を把握するとともに、間伐による影響を水文モデルで評価する取り組みを進めている。蒸発散量の変化を既往研究から仮定し間伐による効果を検討したところ、間伐に伴い総流出量は増加するが渇水時の流出増加には大きくは寄与しないこと等が示唆された。

(2) 適切な水源林管理による人工林の水源かん養機能保全の検証

試験流域：小仏山地貝沢（H22 観測開始、H24、H28 水源林整備）
箱根外輪山フチジリ沢（H24 観測開始）※実験的な事業でなく通常の事業展開
森林操作内容：間伐（群状・定性・帯状）、簡易架線集材による木材搬出など
※貝沢では溪流沿いで除伐・間伐をせず、地表をかく乱しないよう配慮

- ・間伐した流域では、間伐前に比べて流量が若干増加（年間を通した流量の安定）
- ・河川水質のうち、ダム湖の富栄養化とも関係する窒素濃度は間伐後も低濃度で維持された。森林整備中や整備後を通して水の濁りにも変化がみられなかった。（一般的には整備や搬出に伴って渓流水質の一時的な窒素濃度上昇や水の濁りの増加がみられるが、貝沢では溪流沿いで配慮や、作業道開設や重機使用を伴わない集材方法による効果とみられる。）

(3) 林床被覆率を反映した水循環モデルの更新（大洞沢、宮ヶ瀬上流域）

水源施策の評価・説明のため、三次元水循環数値シミュレーションモデル（水循環モデル）による施策効果の予測解析等を継続して実施してきた。モデル構築以降、森林の状態設定に関連付けて等価粗度係数や表土の透水係数等の水理パラメータの見直しを行ってきたが、いずれも文献値に基づく一般的な値を用いていた。一方でこれまでの調査により、林床被覆率（下層植生とリター堆積を合わせた林床の被覆率）と土壌侵食の関係については、被覆率が高いほど地表流の発生が抑制され土壌侵食の防止につながることが明らかになってきている。そこで令和5年度は、林床被覆率と水理パラメータを関連付け、大洞沢試験流域モデルの現況再現解析を行った後、宮ヶ瀬湖上流域モデルの再現解析を実施した。

- 大洞沢試験流域モデルにて、過年度のシナリオ解析のパラメータを用いて地表流流出率を算出したところ、これまでのシナリオ予測解析におけるワーストケース及びベストケースは、それぞれ林床被覆率7%と100%以上に相当し、極端な条件設定となっていたことが明らかになった。
- 既存のパラメータを用いた均質モデルと、林床被覆率（高さ1.5m以下の林床の被覆率の空間データ）を反映したモデルにて現況再現解析を実施した結果、河川流量は均質モデルと同等程度の再現性を得ることができた。また、2箇所 の量水堰における土砂流出量も概ね再現することを確認した。（図1）

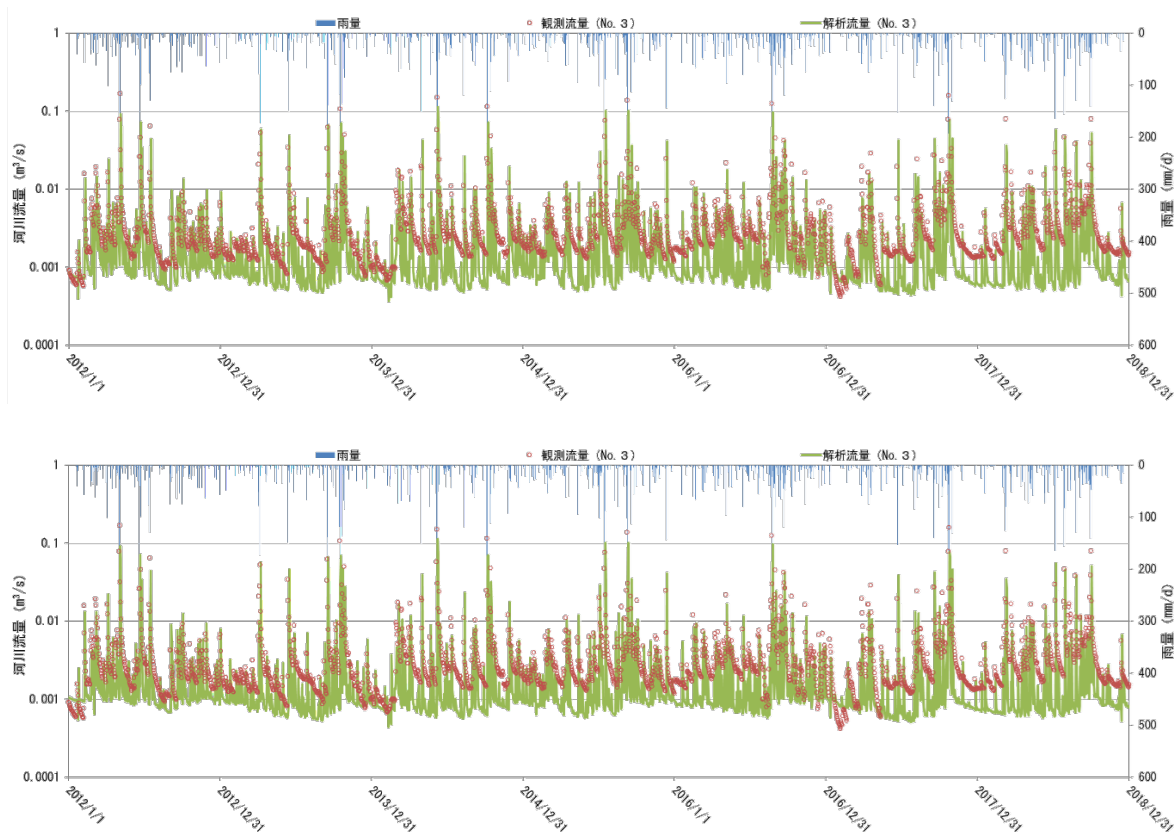


図1 各モデルにおける量水堰流量の観測値と解析値の比較（No. 3 量水堰）

（上段）均質モデルによる解析結果

（下段）林床被覆率を反映したモデルによる解析結果

- 大洞沢の解析から得られた水理パラメータを用いて、宮ヶ瀬湖上流域モデルを更新し、以下のシナリオについて事業効果予測解析を行った。

解析結果の各ケース間を比較した浸食高の大小関係については、モデル更新前と同様、森林が適正に管理されるにつれ浸食高が小さくなる傾向となった。(図 2)

- ケース 1 (2006 年) : 施策前時点の森林状態 (2006 年)
- ケース 2 (2021 年) : 2021 年までの事業実績を踏まえた森林再生状態
- ケース 3 (ベストケース) : 全域で森林が再生した状態
- ケース 4 (ワーストケース 1) : 対策をせず全域で森林が劣化した状態 (林床被覆率 40%程度)
- ケース 5 (ワーストケース 2) : // (林床被覆率 20%程度)

- 今回の検討により、過年度までのシナリオ解析における極端な条件設定が緩和され、実際の土砂流出動態を反映した、より現実的なモデルへと改善されたと考えられる。

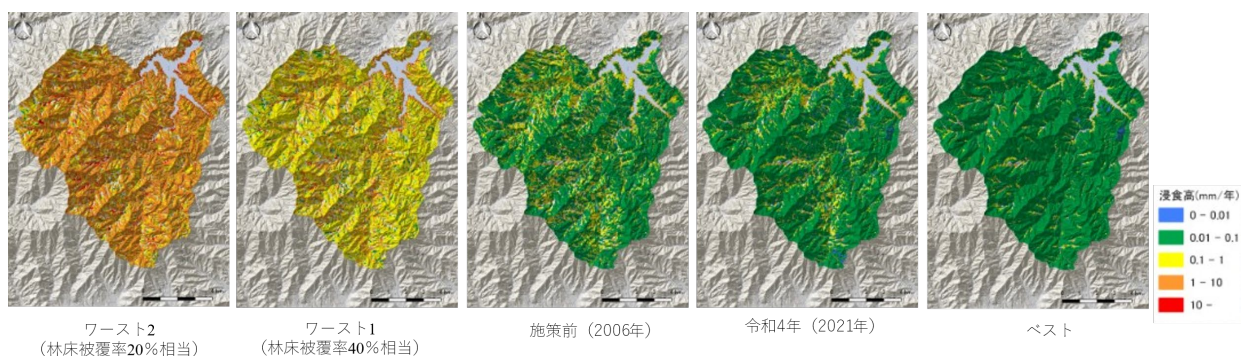


図 2 各ケースの浸食高分布 (宮ヶ瀬湖上流域)

(4) 令和元年東日本台風で被災した観測施設の再整備 (大洞沢)

- 令和元年東日本台風により発生した土石流のため、大洞沢試験流域に設置した量水堰が破損して水文観測ができない状態となっていた。令和 5 年度は量水堰の交換と調査地内の作業道の復旧工事に着手した。(令和 6 年度完成予定)
- 資材運搬および調査のため、一部区間においてモノレールの整備を行った。(令和 6 年度延伸予定)



図 3 量水堰現況

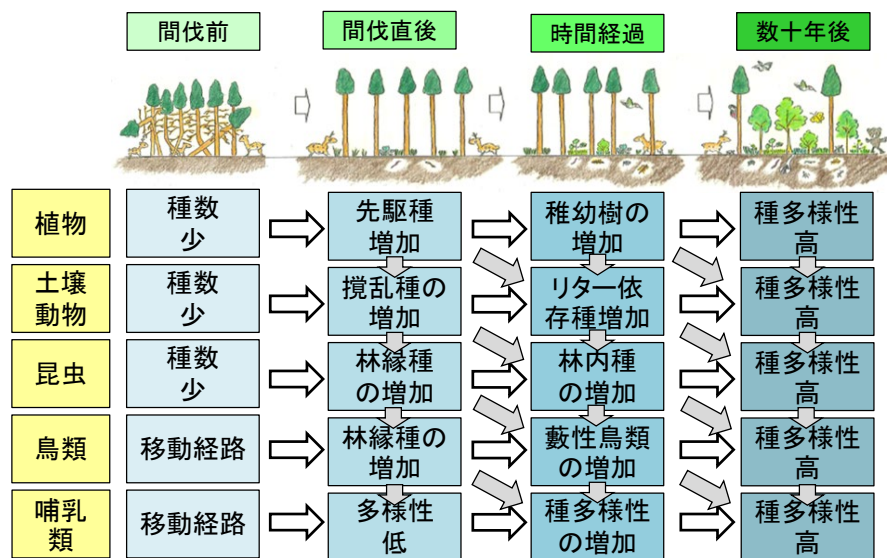
森林生態系効果把握調査について

水源環境保全・再生施策における特別対策事業の一つである「水源の森林づくり事業」では、不手入れのスギ・ヒノキ人工林を間伐することで下層植生を増やし、将来にわたり水源かん養機能と生物多様性機能を維持または向上させることを目標としている。

その生物多様性機能にかかる効果検証のモニタリングを平成 25 年度から当センターで行っており、施策の最終評価に向けて、県民にわかりやすい成果を提出する必要がある。

(1) 調査の目的（ねらい）

植物や土壤動物など各生物分類群の生物多様性に及ぼす間伐の効果を林分スケールで明らかにする。そのために、間伐の前後による下層植生の増加と、それに依存する各生物分類群の多様性や各生物間の関係性を評価する（図 1）。



間伐に伴う林相と予想される生物群の変化

(2) 調査エリアと対象林分

水源地域の森林を、地質やシカの生息状況から3エリア（小仏山地、箱根外輪山、丹沢山地）に区分して、エリアごとに林相と整備からの経過年数の異なる林分（プロット）で調査を進める。

	地質	地形	植生	シカ
小仏	白亜紀 古第三紀	急	人工林と 広葉樹林 が混在	少
丹沢	新第三紀	急	各種森林 あり	多
箱根	第四紀 火山	緩	人工林多 広葉樹林 少	中

調査エリア（色のついた部分は県で確保した水源林）

表 調査林分数

	スギ		ヒノキ		広葉樹(対照)		小計		計
	間伐前	後	間伐前	後	間伐前	後	間伐前	後	
小仏山地	3	6	3	6	3	6	9	18	27
丹沢山地	4	10(3)	3	10(1)	3	8(2)	10	28(6)	38(6)
箱根外輪山	3	6	3	6	1	2	7	14	21
合計	10	22(3)	9	22(1)	7	16(2)	26	60(6)	86(6)

※ () 内の数字は植生保護柵内でのプロット数

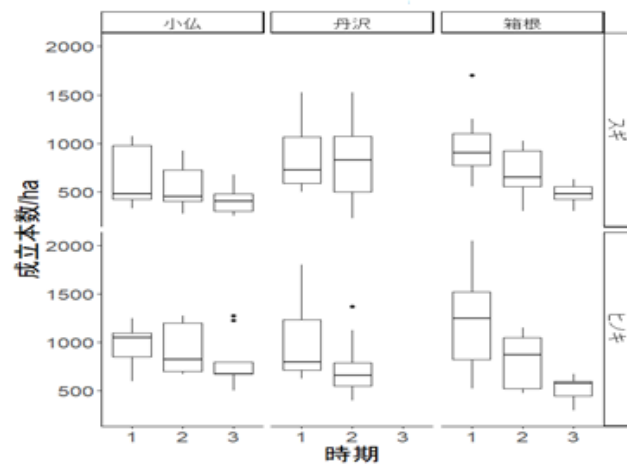
(3) 実施スケジュール

山域	第2期5か年計画					第3期5か年計画					第4期5か年計画				
	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
小仏山地		予備調査	1回目調査		補足調査・総合解析	2回目調査			補足調査・総合解析		3回目調査	補足調査		補足調査・総合解析	
丹沢山地				1回目調査				2回目調査		総合解析		3回目調査	補足調査・総合解析	補足調査・総合解析	最終とりまとめ
箱根外輪山			1回目調査				2回目調査				3回目調査	補足調査			

※鳥類調査は H29 に小仏山地と箱根外輪山、H30 に丹沢山地での追跡調査を先行して実施

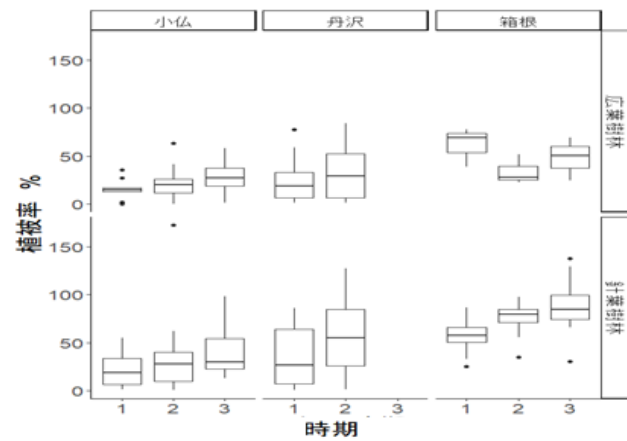
(4) 令和5年度までの主なモニタリング成果

- 令和5年度は、3巡目となる第4期計画期間の丹沢地区の現地調査を行うとともに、これまでの調査結果と合わせて解析を進めた。
- 針葉樹林では、間伐により目標とする成立本数付近まで減少している林分が多いが、林内の明るさの指標となる開空度には大きな変化は生じていなかった。
- 人工林の階層構造の状況では、低木層や亜高木層に広葉樹が認められる林分があるが、更新木の個体数や樹高の増加は顕著ではなかった。
- 針葉樹人工林では、シカ撮影頻度が高い地点であっても、シカ不嗜好性植物等が優占することで、(森林整備の効果もあり) 積算被度が高く維持されている地点があることを確認した。
- 林床植生の増加に応じて、ミミズ、ササラダニ、昆虫（植食性昆虫のハムシ・ゾウムシ類、地表性昆虫のオサムシ類、アリ類）、地表採食性の鳥類、野ウサギといった林床植生との結びつきが強い分類群・機能群の種数及び個体数が増加しており、間伐が生物多様性を高めることに貢献していると考えられた。
- 森林性野ネズミは、植生が多い林分において捕獲頻度が高く、糞から多様な植物のDNAが検出されており、水源林整備による植生回復が野ネズミの生息にプラスに影響していると考えられた。
- 中大型哺乳類の生息状況調査からは、シカの撮影頻度は、丹沢地区では1巡目から3巡目まで高い水準が維持され、小仏地区と箱根地区では1巡目より2～3巡目のほうが高くなり、シカ採食影響の継続あるいは拡大が懸念された。特に箱根地区では、シカ撮影頻度が丹沢地区の水準に近付くとともに、定着初期のオスの割合が高い状態からメスの割合が高い状態へと移行し、定着が急速に進んでいることが示唆された。



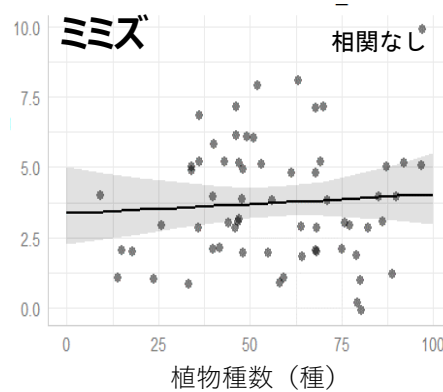
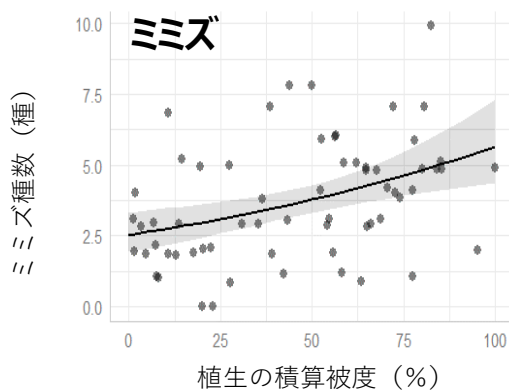
多くの針葉樹林で
目標とする成立本数
の付近まで減少

図1 針葉樹林における ha あたり成立本数の推移



針葉樹林では、
林床植生の積算被度
が増加傾向

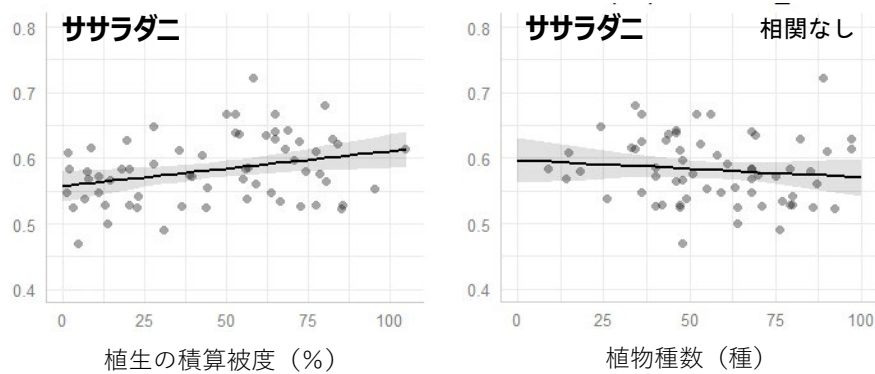
図2 林床植生の積算被度（種ごとの被度の合計）の推移



植生の積算被度の
増加に伴ってミミ
ズの種数が増加。
植物種数とは相関
なし。

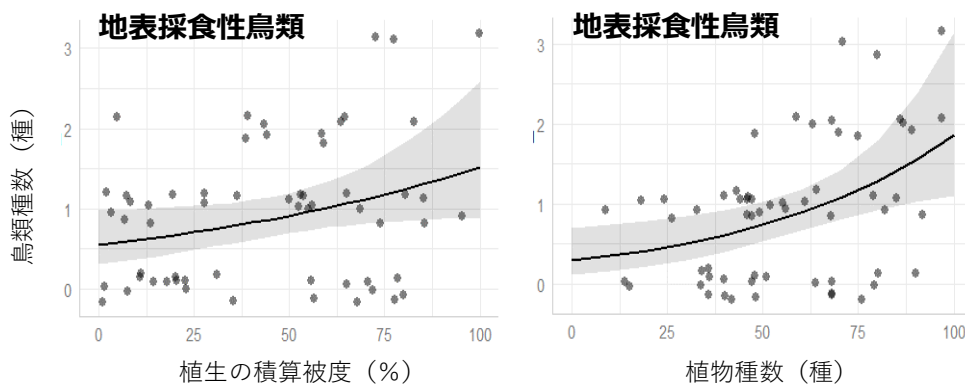
図3 林床植生の積算被度および植物種数とミミズの種数との関係
網掛けは 95%信頼区間

森林性ササダニ種数の比率



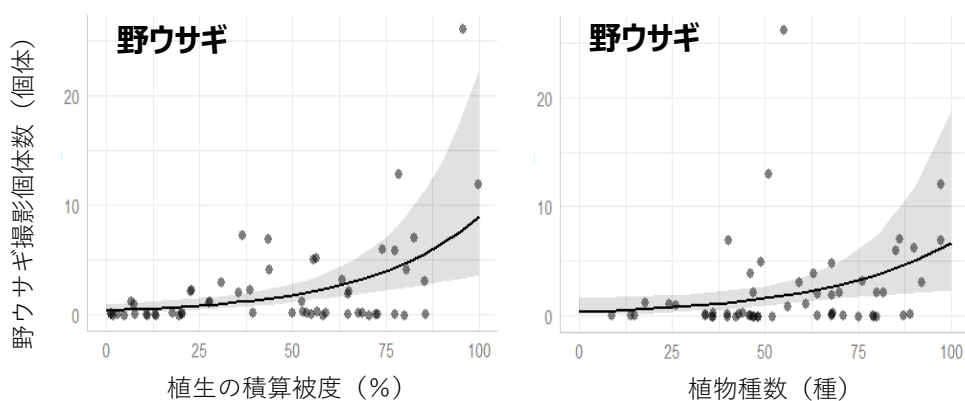
植生の積算被度の増加に伴って森林性ササダニ種数の比率が増加。植物種数とは関連なし。

図 4 林床植生の積算被度および植物種数と森林性ササダニ種数の比率との関係
網掛けは 95%信頼区間



植生の積算被度及び植物種数の増加に伴って地表採食性鳥類の種数が増加。

図 5 林床植生の積算被度および植物種数と地表採食性の鳥類種数との関係
網掛けは 95%信頼区間



植生の積算被度及び植物種数の増加に伴って野ウサギの撮影個体数が増加。

図 6 林床植生の積算被度および植物種数と夏季の野ウサギ撮影個体数との関係
網掛けは 95%信頼区間

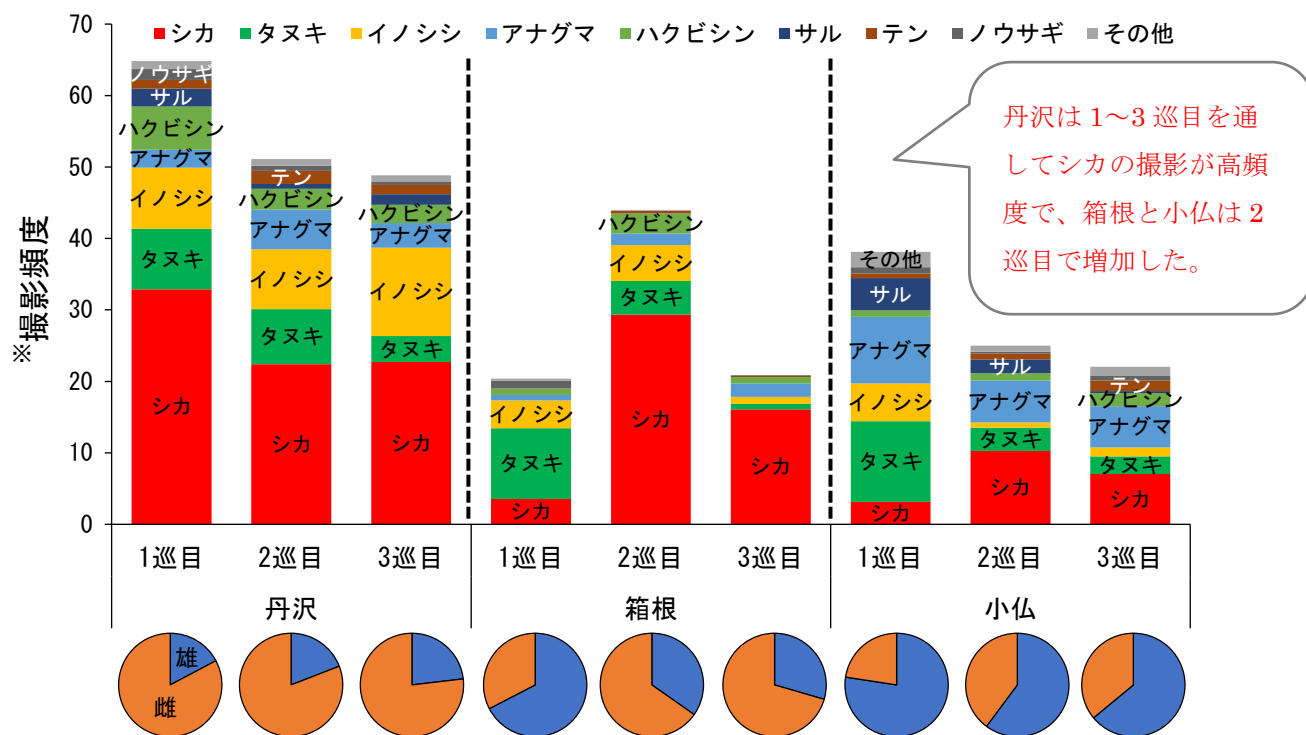


図6 中大型哺乳類種の撮影頻度とシカの性比

平成25年～28年度（1巡目）、平成29年度～令和2年度（2巡目）、令和4～5年度（3巡目）に、各地点に2台ずつセンサーカメラを設置した（7～9月）。撮影頻度は100カメラ・稼働日あたりの撮影個体数を示す。下の円グラフは成獣のニホンジカの性比を示す。

その他：ネコ、アライグマ、キツネ、イタチ、ツキノワグマ、カモシカ、イヌ
（リスや野ネズミ、ムササビ等の小型や樹上性の種は集計の対象外とした。）