

神奈川県

自然環境保全センター報告

第19号 特集 水源環境保全・再生施策における事業評価の試み
～モニタリングの実施と成果～

Bulletin of the
Kanagawa Prefecture Natural Environment Conservation Center

No.19



2025年（令和7年）3月

表紙の写真

(表表紙)

左上 間伐により林床植生が増加した水源林整備地（小田原市久野地内）

右上 捕虫網を用いた林床植生のスウィーピング調査

右中 ピットホールトラップで捕獲された地表性甲虫（アオオサムシ）

左下 貝沢試験地における流速計測（相模原市緑区与瀬地内）

右下 大洞沢試験地における量水堰の土砂量測定（愛甲郡清川村煤ヶ谷地内）

(裏表紙)

大洞沢試験地に設置された植生保護柵内での林床植生の増加状況（愛甲郡清川村煤ヶ谷地内）

神奈川県

自然環境保全センター報告

第19号 特集 水源環境保全・再生施策における事業評価の試み
～モニタリングの実施と成果～

Bulletin of the
Kanagawa Prefecture Natural Environment Conservation Center

No.19

2025年（令和7年）3月
神奈川県自然環境保全センター

発刊にあたって

神奈川県自然環境保全センターは、森林を中心とした自然環境の保全・再生を推進するため、事業、研究、普及の各部門を備えた中核機関として、平成 12 年度（2000 年度）に設立されました。それ以来、丹沢大山や水源地域などの森林環境が抱える様々な課題に対して、自然公園管理や野生動物管理、森林管理、県民協働といった各分野の事業部門と、技術開発や事業効果モニタリングに取り組む研究部門、それら取組みを普及啓発する部門が連携し、一体となって課題解決に取り組んでまいりました。

「神奈川県自然環境保全センター報告」は、このような日々の業務により得られた様々な成果情報を県民や他の行政機関等と共有し、あわせてそれら情報を記録、保存することを目的に作成しています。

第 19 号では、特集「水源環境保全・再生施策における事業評価の試み～モニタリングの実施と成果～」を企画しました。

平成 19 年度（2007 年度）から開始したかながわ水源環境保全・再生施策は、将来にわたる良質な水の安定的確保を目的に、ダム上流域を中心とした水源環境の保全・再生を推進しており、水源の森林エリアにおいては、林床に植生を増やし、水源かん養機能の基盤となる土壌の保全機能を高めるため、県が森林所有者にかかわって手入れ不足の森林の整備を進めているところです。当センターの研究部門では、本施策を支援すべく、事業効果を評価するための水源かん養機能や生物多様性保全機能のモニタリングに取り組んでいます。これらの取組みはまだ途中段階ではありますが、本施策の計画期間が令和 8 年度（2026 年度）までとなっていることから、本特集では、本施策終了後の取組みに活かすため、現段階で得られている成果とこれまでの取組みの過程をとりまとめて掲載しました。本施策への理解を深める一助となりましたら幸いです。

当センターでは、今後とも森林等自然環境の保全・再生に係る業務や研究内容の充実に努めてまいります。これまでの成果や業績については、ホームページなどで紹介しておりますので、業務の参考としてそちらもご活用いただければ幸いです。

令和 7 年 3 月

神奈川県自然環境保全センター所長 齋藤 俊一

目 次

発刊にあたって

特集 水源環境保全・再生施策における事業評価の試み～モニタリングの実施と成果～

事業評価の経緯の記録

かながわ水源環境保全・再生施策における森林関係事業の評価

～モニタリング担当者からみた 17 年間の取組～ ----- 1
内山佳美

事業の効果検証モニタリング

神奈川県による森林の水源かん養機能評価の試み

～水源環境保全・再生施策における事業効果検証のためのモニタリング～ ----- 17
内山佳美

水源林整備としての間伐が人工林生態系の生物多様性に及ぼす効果の検証

—調査の開始の経緯と進捗状況について— ----- 35
谷脇 徹・田村 淳

研究成果の情報発信

水源環境保全・再生施策に関する普及啓発資料の再収録について ----- 49
本田美里・内山佳美・増子和敬

かながわ水源環境保全・再生施策における森林関係事業の評価 ～ モニタリング担当者からみた 17 年間の取組 ～

内山 佳美*,**

Evaluation of forest restoration projects in Conservation and Restoration Measures of Kanagawa Water Source Environment ～17 years of efforts from the perspective of the person in charge of monitoring～

Yoshimi UCHIYAMA*, **

I はじめに

神奈川県民の主な水道水源である相模川と酒匂川の2つの水系は、丹沢山地をはじめとした県西部の山地を水源としている。かつては、1923 年（大正 12 年）の関東大震災の際に多数の山崩れが発生し、下流に度重なる洪水被害をもたらしたことから、長期にわたり復旧対策が行われてきた。近年は、緑豊かな森林となったものの、1990 年頃から人工林の間伐遅れやニホンジカ（以下、シカ）の高密度化の影響により森林内の下層植生が衰退し、2000 年代になる

と下層植生衰退地の土壌流出が顕著に見られるようになった。新たな課題となった森林の質的な劣化に対して、当時、水源涵養機能の低下も危惧された（神奈川県，2005a）。このため、神奈川県は 20 年計画の「かながわ水源環境保全・再生施策大綱」（以下、施策大綱）を定め、2007 年度（平成 19 年度）から個人県民税の超過課税である水源環境保全税を導入し、森林から河川まで水系全体を視野に入れた「かながわ水源環境保全・再生施策」を進めてきた（図 1）。

この神奈川県独自の水源環境保全税は、財政学の観点で検討された新たな理念に基づき、参加型税制

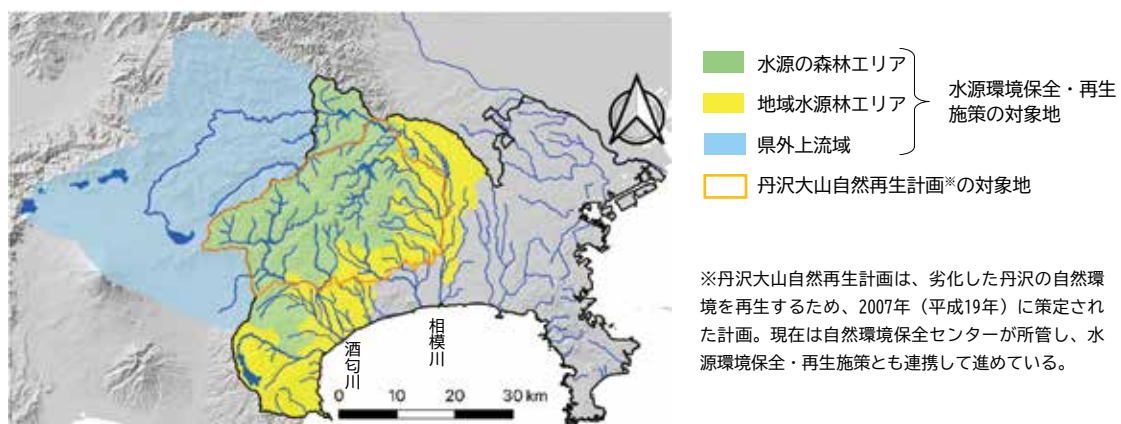


図 1 水源環境保全・再生施策の対象地

* 神奈川県自然環境保全センター 研究企画部研究連携課（〒243-0121 厚木市七沢 657）

** 現：神奈川県自然環境保全センター 研究企画部自然再生企画課（〒243-0121 厚木市七沢 657）

として実現した前例のない取組であり（神奈川県監修，2003）、専門家からは壮大な社会実験ともいわれてきた（たとえば沼尾，2012）。この参加型税制を実践する仕組みの一つが、公募による一般県民や専門家、関係団体等で構成される「水源環境保全・再生かながわ県民会議」（以下、県民会議）である。県民会議は、本施策の評価を行うほか、市民事業の支援やイベント開催等を通じた県民意見の収集と広報などの活動を行っている。

また、不可知である自然生態系を対象とした本施策は、その施策効果も不確実であることから、順応的管理により進められている。順応的管理とは、事業の実施と並行してモニタリングによる効果検証を行い、事業の評価を通して柔軟に事業を見直ししながら施策を進めていくというものである（神奈川県，2005a）。もともと自然科学の立場から提唱されたものであるが、科学と政策を連動させる仕組みに他ならず、政策の意思決定に関した概念であるとも言える（宮永，2014）。国の環境政策では、当時の「新・生物多様性国家戦略」（2002年（平成14年）改訂）において新たに盛り込まれ、本県の独自施策では、本施策の施策大綱（2005年（平成17年）策定）で

明記されたのが最初である。

順応的管理に欠かせないモニタリングは、水源環境保全・再生実行5か年計画における水環境モニタリングに位置付けられている（表1）。これは、森林や河川等の現地の対策事業とは別に、施策推進の仕組みであるモニタリングに特化した事業である。県の試験研究機関が中心となり、森林関係のモニタリングを当センターの研究部門、河川やダム湖等については環境科学センターが主に担当している。さらに、モニタリングの結果に基づく施策の評価に関しては、県民会議の中でも有識者を中心とした施策調査専門委員会（以下、施策委員会）が担ってきた。双方の連携も不可欠であるため、水環境モニタリングの実施内容は、あらかじめ施策委員会に諮って進め、モニタリング結果も施策委員会に毎年報告してきた。なお、県民会議の事務局（以下、事務局）は本施策の主管課が務め、県民会議と庁内の各モニタリング担当所属との間の調整を行なっている。

こうして進められた本施策において、2024年（令和6年）3月には、「かながわ水源環境保全・再生施策最終評価報告書（暫定版）」（以下、最終評価報告書）が公表された。これは、施策大綱期間20年

表1 水源環境保全・再生施策の事業構成

区分	項目	第1期～第2期5か年計画 (2007～2016年度)	第1期～第2期5か年計画 (2007～2016年度)
自然が持つ水循環機能の保全・再生	森林の保全・再生	水源の森林づくり事業の推進	水源の森林づくり事業の推進
		丹沢大山の保全・再生対策	丹沢大山の保全・再生対策
		溪畔林整備事業	土壌保全対策の推進
		間伐材の搬出促進	間伐材の搬出促進
		地域水源林整備の支援	地域水源林整備の支援
	河川の保全・再生	河川・水路における自然浄化対策の推進	河川・水路における自然浄化対策の推進
水負荷環境減への取組	地下水の保全・再生	地下水保全対策の推進	地下水保全対策の推進
	水源環境への負荷軽減	県内ダム集水域における公共下水道の整備促進	生活排水処理施設の整備促進
		県内ダム集水域における合併処理浄化槽の整備促進	
水源環境保全・再生を支える取組	県外上流域対策の推進	相模川水系上流域対策の推進	相模川水系上流域対策の推進
	水源環境保全・再生を推進する仕組み	水環境モニタリングの実施	水環境モニタリングの実施
		県民参加による水源環境保全・再生のための仕組み	県民参加による水源環境保全・再生のための仕組み

※最終評価報告書のP21「図 水源環境保全・再生施策の構成」を表形式に編集した。途中で組み替えのあった事業（溪畔林整備事業、土壌保全対策の推進、生活排水処理施設の整備促進）の詳細は最終評価報告書P22参照。

※水環境モニタリングの中で、当センターは「対照流域法等による水源かん養機能調査」「生態系効果把握調査」を担当。

のうちの15年間の取組による森林や河川等の再生について、県民会議が評価して取りまとめたものである。この最終評価報告書の公表には、本施策において参加型税制や順応的管理といった新たな仕組みを構築し、実践することによって、暫定ではあるが最終評価まで成し得たという意義を見出すこともできる。このため、貴重な経験である取組の過程についても記録を残し、その経験を本施策終了後の取組にも活かしていくことが重要である。

そこで、筆者は、施策評価の取組過程の一端を記録に残すことを目的として、施策開始当時から継続して評価に携わった経験をもとに、これまでの取組過程について取りまとめた。本稿では、とくに、施策の評価体系の構築（II章）、科学的情報の共有（III章）、施策効果をわかりやすく示す中間評価指標の設定（IV章）、最終評価に向けた事業効果説明（V章）の4つのテーマを取り上げ、森林のモニタリング担当者の視点から、直接関わった部分を中心に概略を報告する。なお、全体の時系列の経過は、表2のとおりである。

II 施策の評価体系の構築

1 各事業のねらいと施策目標との関係整理

施策委員会では、初年度の2007年度（平成19年

度）から、施策の評価方法やわかりやすい指標の設定等に関する検討が開始された。施策大綱に示された施策目標「将来にわたる良質な水の安定的確保」に対して、モニタリングで得られる科学的データを元に、超過課税を充当する各特別対策事業を評価し、施策効果を県民にわかりやすく示すことが求められていたためである（神奈川県，2005b）。しかし、2007年（平成19年）7月の第1回の施策委員会の議論では、「皆が納得するような妥当な指標の設定について検討することはできても委員会で指標自体を決めるのは難しい」、「指標等の言葉の定義も曖昧である」、などの意見が出され、指標の設定に関しては議論が収束しなかった。この背景には、施策大綱にもあるように、水源環境の観点からの森林や河川等に関する科学的知見や測定データが十分でないということがあった。

施策委員会で着目された点の一つが、特別対策事業には、河川の浄化対策のように水量や水質に直接作用する事業と、水量や水質には直接作用せず施策目標との関連性もわかりにくいものがあることであった。これでは、個々の事業の目標も明確にならず、それに基づく事業の評価も難しい。このため、2007年（平成19年）7月（第1回）及び9月（第2回）の施策委員会を通して、指標の検討以前に、まず森林や河川等で実施される特別対策事業について、そ

表2 施策調査専門委員会における評価に関する取組の経過

期間	取組状況				評価に係る取組の主な成果
	評価の枠組み	分かりやすく示す指標	モニタリング・検証の内容	評価とりまとめ	
第1期5か年計画 2007～2011年度 (平成19～23年度)	評価の流れ図の整理 森林生態系の効果の扱いを検討	意見交換	水環境モニタリングの具体案（担当所属案）の検討	年度ごとの評価	<ul style="list-style-type: none"> 「評価の流れ図」確定 水環境モニタリングの中身の決定 年度ごとの評価（点検結果報告書） 拡大委員会による意見書原案の検討
第2期5か年計画 2012～2016年度 (平成24～28年度)	評価の流れ図を再検討（生態系の視点を追加、経済評価を追加）	—	森林生態系効果把握手法の検討とモニタリング開始 一部の個別事業のモニタリング検討	年度ごとの評価 施策の課題や背景の整理 施策評価のロードマップ整理、経済評価も含めた総合評価の全体像を整理	<ul style="list-style-type: none"> 年度ごとの評価（点検結果報告書） 生態系の議論を経て、「評価の流れ図」改訂 経済評価の実施 中間評価のワークショップ開催 中間評価報告書と意見書のとりまとめ
第3期5か年計画 2017～2021年度 (平成29～令和3年度)	—	中間評価指標の検討	一部のモニタリングの内容見直し	点検結果報告書の構成を再検討・整理 中間評価報告書に中間評価指標を追加	<ul style="list-style-type: none"> 年度ごとの評価（点検結果報告書） 中間評価指標の設定 中間評価のワークショップ開催 中間評価報告書と意見書のとりまとめ
第4期5か年計画 2022～2026年度 (平成4～8年度)	—	中間評価指標の活用	一部のモニタリングの検討	最終評価報告書（暫定）のまとめ	<ul style="list-style-type: none"> 年度ごとの評価（点検結果報告書） 最終評価（暫定）に向けて勉強会を複数回開催 経済評価の実施 最終評価報告書（暫定）と意見書のとりまとめ 県民フォーラムでの取組成果や評価結果の説明

※第4期の取組状況や成果は、2024年度（令和6年度）までを対象に記載

れぞれが施策の最終目標にどのようにつながるのか、構造を整理する必要があるとの見解が示された。

これを受けて、施策開始初年度に整理されたものが、評価に関する基本的な考え方を示した「評価の流れ図」である(図2)。この図には、各事業のアウトプット(事業量)、アウトカム(事業効果)や検証項目が具体的に書き込まれ、最終目標へとつながる評価の流れが示されている。とくに、事務局案の作成段階から、事業実施に対する自然の側の反応の不確かさ等を念頭に、事業実施の結果として得られたアウトカムだけでなく、事業進捗の評価のためのアウトプットも含めた2つの視点で評価する構造に整理された。この図は関係者間の共通認識となり、これに基づいて以降のモニタリングや評価が進められていった。

当センターは、この評価の流れ図を作成する際に、森林におけるアウトカムを1次と2次の2段階として整理することを提案した。これは、森林関係事業においては、間伐等の森林整備による下層植生の回復によって土壌が保全され(1次的アウトカム)、それが水源かん養機能の向上(2次的アウトカム)につながるという短期から中長期にわたる事業効果の発現を想定したためである。この根拠には、2004～2006年度(平成16～18年度)に行われた丹沢大山総合調査の結果があった。丹沢大山総合調査は、1980年代以降に顕在化したブナの立ち枯れをはじめとした丹沢の自然生態系の異変に対し、市民や専門家、行政等が参画して、問題の解決を図るための自然環境の総合診断と対策の提言を行ったものである(丹沢大山総合調査実行委員会調査企画部会編, 2006)。この一環で行われた東丹沢堂平地区の自然林内の調査では、森林内の下層植生が衰退して裸地化に至ると、降った雨は地中に浸透しにくくなり、地表流となって保水されずに下流に素早く流れてしまうこと、その際の地表流が土壌侵食を引き起こすことが明らかになっていた(石川ら, 2007a)。こうした土壌侵食のメカニズムは、間伐不足で下層植生の衰退した人工林においても同様であった(恩田編, 2008)。そこで、当センターでは、間伐等の実施による具体的な効果について、森林内で衰退していた下層植生が回復し、下層植生と落葉によって年間を通して安定的に地表が覆われれば、降った雨の大部分が地中に浸透し時間をかけて下流に流出する、つまり水源かん養機能が十分発揮されると考えた。

また、アウトカムを2段階にすることで、少なくとも各事業の実施箇所における1次的アウトカムを確実に検証し、短期的な事業効果だけでも説明できるようにしたいとの考えもあった。その理由として、2次的アウトカムの水源かん養機能に関して、伐採等により森林が無い場合と森林がある場合との比較に関する研究事例は比較的多く、科学的知見も蓄積されていたが、森林の質の劣化という新たな課題に対しては、当時まだ科学的知見が乏しかった。さらに、水源かん養機能の把握に欠かせない水文観測を中心とした各種測定についても難易度が高く、実際に事業効果を検証できるかも未知数でもあった。

2 最終的な施策評価体系の完成

評価の流れ図は、第2期5か年計画期間に生物多様性の視点の追加等により改訂された(図3)。きっかけは、県民への事業効果の説明には水源かん養機能よりも生き物の方がわかりやすい、といった意見が施策委員会で出されたことである。河川の水量や水質への影響という観点では、森林の水源かん養機能に着目して事業の効果を評価・説明することは理にかなっていたが、水源かん養機能は一般の県民には馴染みがない上に、目に見えてわかるものでもなかった。こうした意見に対し2012年(平成24年)1月と同年3月の施策委員会で検討が行われ、生態系や生物多様性といった生き物の視点でも効果を把握していくことが決まった。

しかし、生き物の視点を盛り込む際に、既存の評価の考え方の中でどのように扱うべきか課題となった。そこで、県民会議では2012年度(平成24年度)に2度のワークショップが開催され、森林の各分野の外部有識者も交えて検討が行われた。ワークショップの議論では、水源かん養機能と生物多様性保全機能の関係について、様々なケースを想定した場合に、必ずしも片方の機能が高ければもう片方の機能も高くなるという普遍的な対応関係にはないと整理された。そこで、森林の評価の流れにおいて、水源かん養機能と生物多様性保全機能の2つの観点で2次的アウトカムを評価することとし、生物多様性を検証するためのモニタリングを新たに追加することとなった。こうして2013年度(平成25年度)から当センター研究部門が担当し、水環境モニタリングの一環として「森林生態系効果把握調査」を開始した(谷脇・田村, 2025)。

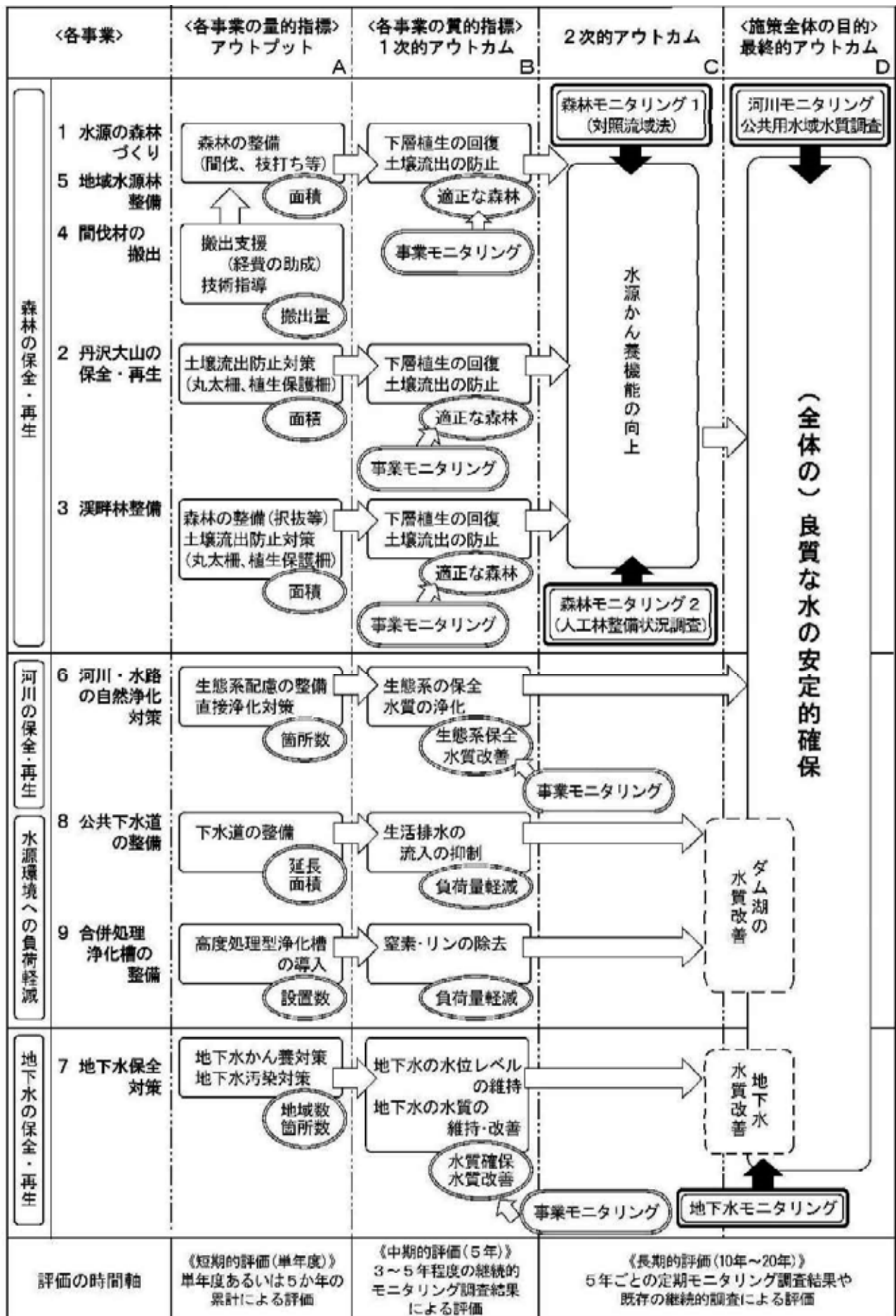


図2 各事業の評価の流れ図(構造図) 水源環境保全・再生かながわ県民会議(2009)

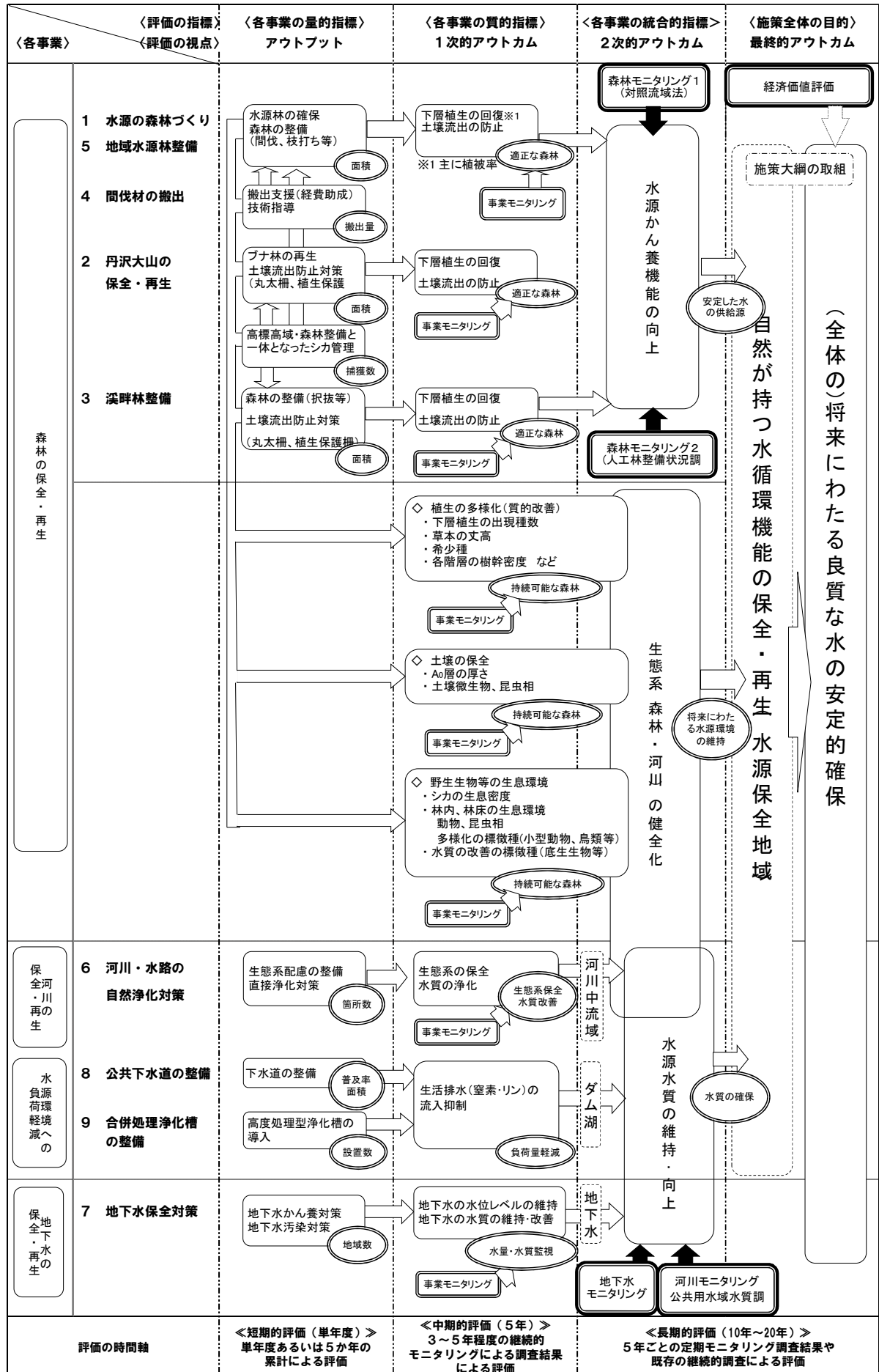


図3 各事業の評価の流れ図(構造図) 改訂版 水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2015)

こうした森林分野の動きと並行して、当時、「河川・水路における自然浄化対策の推進」に関しても、事業のねらいや評価方法に生物多様性保全機能を盛り込む検討がなされていた。これらも踏まえて、第2期5か年計画期間には、評価の流れ図に生態系や生物多様性の視点が加味され、森林だけでなく河川等も2段階のアウトカムとして整理された。なお、前述のワークショップの際に、外部有識者からの助言により、1次的アウトカムを状態評価、2次的アウトカムを機能評価とする解釈が加わり、よりわかりやすい評価体系に整理されていた。

その後、第2期5か年計画期間の中間評価において、状態評価、機能評価、経済評価の3つの視点からなる評価体系となり、現在の最終評価（暫定）時点の評価体系が完成した。経済評価とは、施策の実施に伴う県民の福利の向上度合いを貨幣価値で捉えたもので、特別対策事業だけでなく様々な関連事業の効果も含めた包括的な評価結果を得ることを目的としたものである（水源環境保全・再生かながわ県民会議, 2024）。施策委員会においては、2014年（平成26年）2月の勉強会を皮切りに経済評価の検討が始まり、これまで第2期5か年計画期間の中間評価と最終評価（暫定）の2回、経済評価が行われた。施策委員会においては、比較的時間を割いて検討されてきたテーマであるが、当センターの関与は大きくなく事務局主体で取り組まれたため、本稿では割愛する。

Ⅲ 施策推進に必要な科学的情報の共有

1 順応的管理における当初の課題と対応

順応的管理において、モニタリングで得られた科学的データにより事業を評価し、その結果を事業の見直しに繋げていくことを考えると、水源地域の森林の課題と事業のねらい、事業効果の検証項目について、科学的理解に基づいて矛盾なく整理されている必要がある。しかし、施策大綱では、森林の課題について「森林の荒廃が進んでいる」と抽象的に表現され、森林の何が問題で何が改善されれば良いのか、明確には示されていない。

このため、当センターでは、モニタリングに取り組む中で、最初に、本施策における森林の課題や事業のねらい、モニタリングのねらい等について科学的理解に基づき検討・整理していった（内山ら、

2013）。さらに、それらを森林の専門家以外でも理解できるようにするためには、森林の水循環や生物間の相互作用といった自然環境の仕組みに関する知識と、丹沢や箱根等の山域ごとの自然特性に関する情報も必要であった。こうした順応的管理における基本認識を関係者間で共有するため、当センターでは、モニタリング結果だけでなく専門知識の解説も含めて情報提供を進めた。事務局や事業部門との連携により、第2期5か年計画の後半頃には、こうした情報が関係者間で共有されるようになった。以降では、これらの過程について具体的に示したい。

2 科学的理解に基づく基本認識の更新とその共有

当センターの水環境モニタリングの取組に関しては、丹沢大山総合調査等の先行研究が土台となった（内山・山根, 2008）。とくに、東丹沢堂平地区の調査から、シカの影響により下層植生が衰退した自然林内での土壌侵食メカニズムの解明や対策工法の開発、対策工法の効果検証など、森林の質の劣化という新たな課題に対応するための基礎的な知見が得られていた（石川ら, 2007a; 石川ら, 2007b）。

さらに、水源かん養機能のモニタリングの検討や現地観測にあたっては、丹沢大山総合調査に参画した専門家をはじめ、大学等の研究機関との連携によるプロジェクト体制を構築して進めた（内山ら, 2013）。これにより、新たな課題に対する取組であっても、最新の科学的知見に基づく森林の課題等の整理や、調査手法開発も含め効率よく進めることができた。第2期5か年計画期間に入る頃には初期の取組成果がまとまり、2013年（平成25年）3月には当センターの研究報告である自然環境保全センター報告第10号に特集号として取りまとめ、成果を公表した（神奈川県自然環境保全センター, 2013）。さらに、2015年（平成27年）2月には一般県民向けの研究成果報告会を開催し、当センターの研究員がモニタリング成果を報告した（神奈川県自然環境保全センター研究企画部研究連携課, 2015）。

当センターから森林関係事業に関するモニタリング成果が示されると、事業部門の側からもモニタリング担当者が示した科学的知見を取り入れる動きが生じた。例えば、2014年（平成26年）5月の水源の森林づくり事業の担当者会議では、事業担当所属の依頼を受けて、当センターのモニタリング担当者がモニタリングの成果を報告した。しかし、当時は、

こうした情報共有のための動きは、担当者の間での取組でしかなかった。

こうした状況を打開する機会が巡ってきたのが、2014～2015年度（平成26～27年度）にかけて行われた県民会議による「総合的な評価（中間評価）報告書」（以下、中間評価報告書）の取りまとめである。単年度の事業実績や評価に関しては、すでに毎年、県民会議が「水源環境保全税による特別対策事業の点検結果報告書」として取りまとめていた。しかし、20年間の施策大綱期間の折り返しに向けた中間評価の際には、事務局を中心に改めて報告書の構成も含めて検討されることとなった。

そこで、当センターからは、モニタリング結果だけでなく、水源地域の森林についての解説や、森林の課題とその問題構造等に関する科学的知見に基づく解説を中間評価報告書に掲載することを提案した。当センターが提供した解説のページを挙げると、水源地域の山地と森林（P.16～17）、水源地域の森林の歴史（P.18～19）、森林の土壌流出と水や生きものへの影響（P.34～35）、森林管理と水源かん養機能のかかわり（P.36～37）である。当センターは直接関わっていないが、最終的には、河川やダム湖の解説も中間評価報告書に加えられた（水源環境

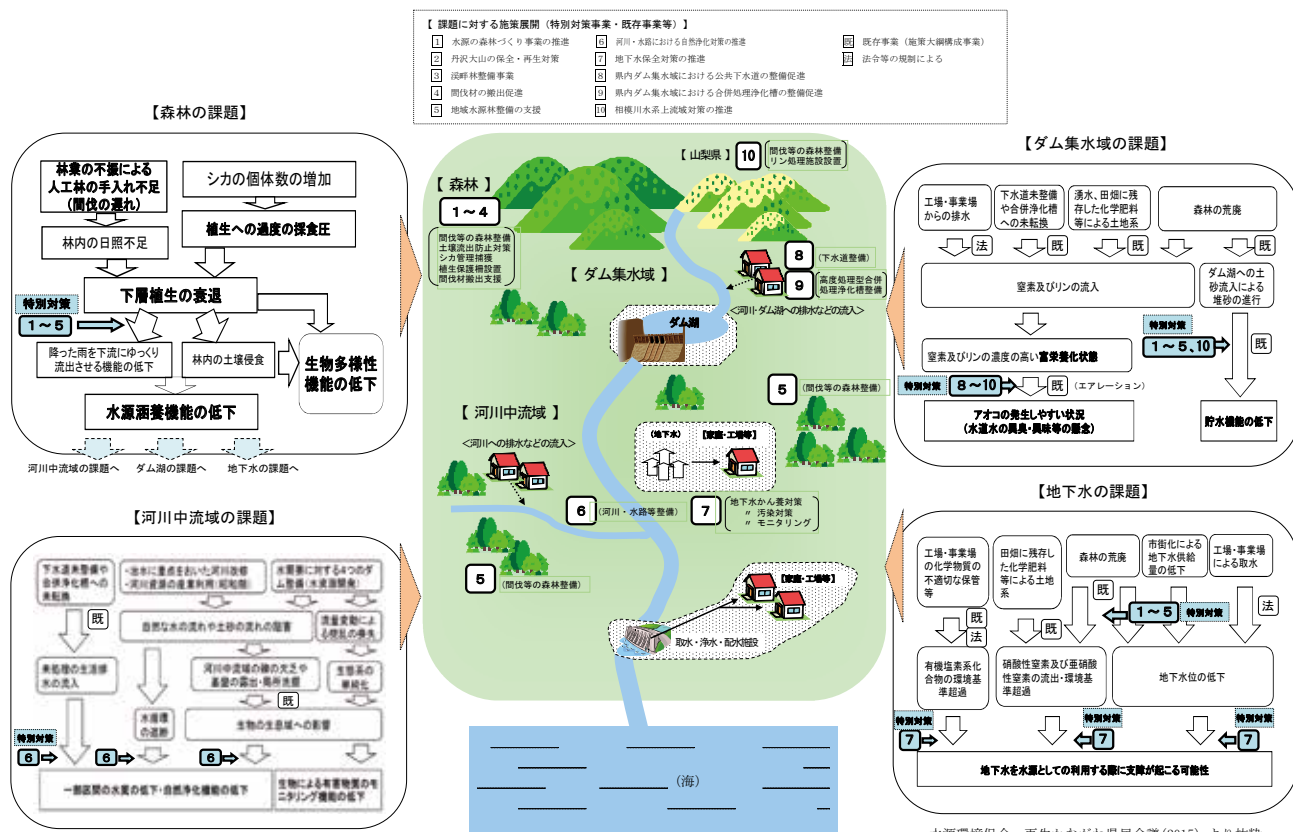
保全・再生かながわ県民会議，2015）。

また、当センターの提案を機に、森林の課題だけでなく施策大綱に掲載されている河川（中流域）、ダム集水域、地下水も加えた4つの分野のそれぞれの課題について、最新の科学的知見を踏まえて、事務局と関係所属により問題構造の再整理が行われた。さらに、関連する各事業を統合的に推進する必要性がわかるよう、問題構造が図化されて、中間評価報告書に掲載された（図4）。

当センターは、こうした中間評価報告書の作成を通じた情報の提供を経て、さらに、2016年（平成28年）5月に独自のポータルサイト「対照流域法による森林の水源かん養機能調査」を開設し、順次、コンテンツを追加した。とくに「森林の水源かん養機能と森林管理（解説）」、「水源地域の山地と森林・自然環境の特徴」については、問合せや引用等の相談が度々寄せられ、多く閲覧・利用されているようである。（内容は、本田ら（2025）を参照）

3 新たな知見や情報共有による事業の見直し

前述の中間評価報告書における森林の課題の再整理に関しては、第2期実行5か年計画の改訂で、新たにシカの捕獲が特別対策事業に加わったことによ



水源環境保全・再生かながわ県民会議（2015）より抜粋

図4 神奈川県の水源環境の課題と施策展開について（第2期5か年計画）

る問題構造の更新という側面もあった。それまでの施策大綱や第1期実行5か年計画においては、森林関係事業の中でシカの影響はほとんど考慮されていなかった。しかし、人工林の間伐によって下層植生回復効果がみられたものの、丹沢山地においてはシカによる採食も課題であることがモニタリングにより明らかになった（水源環境保全・再生かながわ県民会議，2013）。

実は、すでにシカの影響は丹沢大山総合調査で明らかにされており、県によるシカの捕獲も2003年度（平成15年度）から丹沢の一部で開始されていた。それが一歩進んで、本施策の中でシカの捕獲と間伐等の森林整備を一体的に取り組む枠組みになったのは、情報共有と分野横断的な議論が進んだことも影響している。

とくに2009年（平成21年）1月には、県民会議の委員も含めて総勢79名が参加した森林管理・シカ管理ワークショップが行われた。これを主催したのは、丹沢の自然再生を進める多様な主体で構成される「丹沢大山自然再生委員会」である。ワークショップでは、丹沢で蓄積された研究成果をもとに、間伐等の森林整備とシカの関係にかかる最新の分析結果が示され、森林管理とシカ管理を今後どう結びつけていくか議論された（丹沢大山自然再生委員会事業計画・評価専門部会ほか，2009）。このワークショップの結果は、2009年（平成21年）8月の県民会議の中でも報告され、県民会議における施策評価や計画改訂に向けた意見書の取りまとめにも繋がっていった。これは、県民会議の枠にとどまらず外部と連携することで、評価にかかる科学的情報の共有や議論が飛躍的に進捗した事例であろう。

このほか、森林関係事業の主な見直しについては、第3期5か年計画改訂の際の土壌保全対策の拡充に伴う事業の組み替えがある。第1期5か年計画の最後の2010、2011年（平成22、23年）には、台風や前線等の影響により丹沢湖周辺の森林においてスコリア（火山噴出物）の流出が多数発生した。これを受けて、事務局が主体となり2011年度（平成23年度）に森林被害の実態調査が行われ、豪雨に伴うスコリアの流出機構や地形要因等に基づくスコリア流出可能性評価などの検討が行われた（アジア航測株式会社，2012）。実態調査で得られた科学的な情報は、県民会議でも共有され、施策委員会での議論を経て事業の見直しに繋がった。

IV 施策の効果をわかりやすく示す 中間評価指標の設定

1 中間評価指標の設定に至る全体の流れ

20年の施策大綱期間の後半となった2017年度（平成29年度）、本施策を所管する環境農政局内では、施策の効果をわかりやすく説明する指標を早急に決める、との方針が浮上した。指標の設定に関しては、それまで実現していなかったが、施策大綱には、参考指標が掲載され、施策の効果を示す指標については、県民参加のもとで改めて設定を検討すると示されていた。大局的な観点で見ても、すでに2001年（平成13年）の国の政策評価制度の開始から16年が経過し、当時の行政一般では、政策評価と言えは数値指標を設定して定量的に評価することが当たり前となっていた。

指標の設定にあたっては、時系列の数値データがあるものを対象に、庁内の各担当所属がそれぞれの指標の候補を挙げた。各担当所属から出された指標の候補をもとに、施策委員会において検討が重ねられ、最終的に中間評価指標として10の指標が設定された（水源環境保全・再生かながわ県民会議，2020）。第3期5か年計画期間に作成された2回目の中間評価報告書では、従来の評価の流れ図に基づいたアウトプットとアウトカム（ただし定性的な評価）に加えて、中間評価指標による定量的評価もグラフで示され、視覚的な面でのわかりやすさも向上した。以降では、当センターに関連する指標の設定の過程を示す。

2 中間評価指標の候補選定

庁内担当所属による指標の検討にあたって、森林に関しては、水源地域の森林全体の施策効果を表すものという条件が事務局から示された。このため、水源かん養機能のモニタリングのように試験流域のみで測定され、水源地域全体の数値を示すことが難しいものは、検討から外された。

事務局と当センターで検討を重ねた末に、評価の流れ図を踏まえ、かつ森林全体で時系列データがあるものとして、水源地域内の134地点における植生調査のデータを活用する方向となった。このデータは、水源の森林づくり事業やニホンジカ管理事業等の複数事業の一環で定点を設けて5か年計画期間毎に1回（概ね5年おき）に共通の仕様で調査して得

られたものである。森林関係事業に共通した1次的アウトカムである下層植生の回復を検証するための基本的なデータであり、当センターでは、各事業で取得した多点のデータを一括して集計することにより、森林関係事業全体を評価する代表的な指標になりうると考えた。

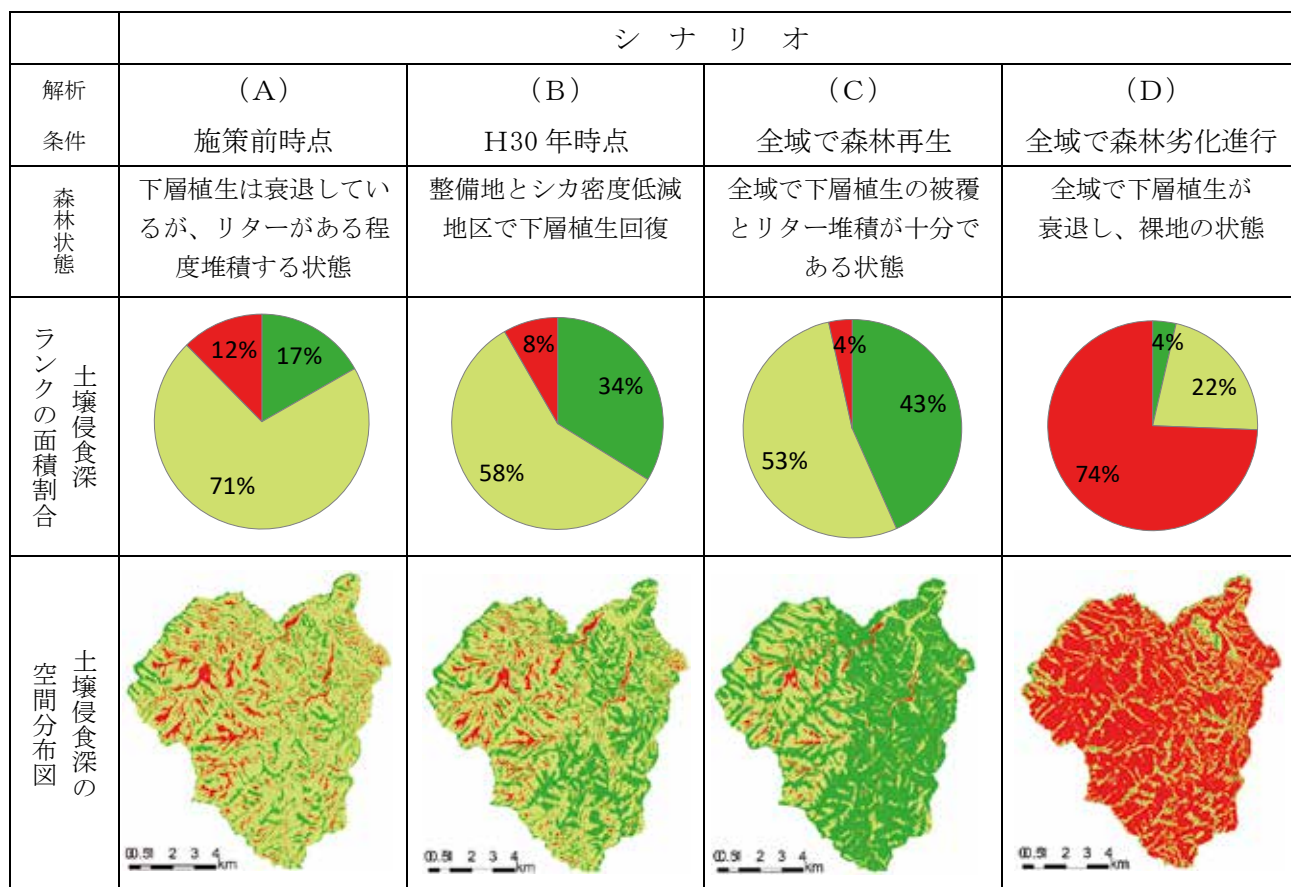
このデータを用いて、当センターでは、水源地域内の全134地点の調査地点のうち下層植被率40%以上の地点数の割合を指標の候補とした。全て植生保護柵の外側のデータを使用することにより、間伐による光環境の改善効果と捕獲によるシカ採食影響の低減効果の両方が加味されて、下層植被率の増加に反映し、指標の値にも現れると予想した。実際に、第1期と第2期の各5か年計画期間の調査結果を集計したところ、第1期は41%、第2期は53%と下層植被率40%以上の地点の割合は増加していた。

3 中間評価指標の設定に係る議論

最終的に設定された指標のうち、当センターのモ

ニタリングデータを使用した指標は、10の中間評価指標のうちの「植被率が高い(40%以上)森林の割合(指標①)」、さらに指標に準ずる扱いである参考情報の「シカの生息状況の変化(参考情報A)」、「代表的なダム上流域における土壌流出のランク別面積割合(参考情報B)」である。

当初の案では、指標①のみが森林関係の指標であったが、2018年(平成30年)11月の施策委員会において、河川等と比べても森林関係の指標が少ないことから追加の検討要請があった。さらに森林関係の指標の追加を考えた時に、委員からは「現象の複雑さゆえに、試算はできても誤差をもたずに評価できるかわからない」、「河川等の他の指標と比べて曖昧さが残る」とされ、「評価指標に準ずる指標として、概算の値を示すが他の評価指標ほど確定的ではないという扱いだと良いのではないか」といった意見が出された。こうした意見等も踏まえて、当センターも含めた庁内関係所属で追加の指標案を検討し、「手入れが行われている森林(人工林)の割合(指



上記(A)～(D)のシナリオに対し、宮ヶ瀬ダム上流域で生じる水流出とそれに伴う土壌流出量の空間分布を水循環モデルを用いて試算し、これを年間の土壌侵食深の空間分布に換算して、3段階(年間土壌侵食深ランク 緑: 0.1mm未満 黄緑: 0.1mm以上1cm未満 赤: 1cm以上)にランク分けした面積割合により評価。

図5 宮ヶ瀬湖上流域の年間土壌侵食深の空間分布とランク別面積割合

水源環境保全・再生かながわ県民会議(2024)

標②)」、評価指標に準ずる「参考指標」として「シカの生息状況の変化（参考指標 A）」、「代表的なダム上流域における土壌流出のランク別面積割合（参考指標 B）」が後に加わった。

参考指標 B に関しては、森林全体ではないが、宮ヶ瀬湖上流域を対象とした水循環モデルによるシナリオ予測解析結果である。当初の案は、施策実施前、中間評価時点、施策をしなかった場合等の各ケースの流況（1 年間の河川流量の特徴）を予測解析して比較したものであった。しかし、とくに渇水時の流量に関しては、事業効果だけでなく地質等の立地環境の影響も大きく、その影響の程度は森林水文学においても研究の途上にあった。このため当時は、施策委員会の委員との個別打合せで指標として示すことは難しいと判断され、最終的に流況ではなく表層土壌の侵食量（河床は対象外とし斜面のみ）についてのシナリオ予測解析結果に変更した（図 5）。ダム上流域のような広域における土壌侵食に関するモデル解析も研究途上であることに変わりはないが、1 次的アウトカムを直接反映した指標であり、地質等の立地環境による影響が比較的小さいと考えられるためであった。

V 最終評価にむけた事業効果説明

1 事業効果についての段階的な説明

第 4 期実行 5 か年計画期間になると、県民会議では、大綱期間終了後に向けて施策の最終評価を暫定的に行うとともに県へ提出する意見書を取りまとめることとなった。2021 年（令和 3 年）9 月の施策委員会の結果、モニタリング結果全てを評価の材料として改めて事務局側から示すこと、10 の中間評価

指標を引き続き用いるとの作業方針となった。このため、当センターにおいても 10 の中間評価指標のうちの下層植被率のデータを用いた「植被率が高い（40% 以上）森林の割合（指標①）」について、第 3 期 5 か年計画期間の値を算出した。その結果、指標①の第 3 期の値は第 2 期よりもやや低下していた。これらの結果については、2022 年（令和 4 年）2 月の施策委員会並びに翌月の県民会議の勉強会において、指標の値が低下した理由も含めて当センターから説明を行った。

2023 年（令和 5 年）4 月の施策委員会の勉強会、翌月の県民会議の施策懇談会では、最終評価報告書の第 3 部に当たる評価結果の取りまとめに向けて、当センターから改めて森林関係事業の効果を説明した。よりわかりやすく事業の実施効果を示すため、施策開始当時の課題認識に対して、事業実績と得られた効果を示す構成とした。さらに、効果を示すモニタリング結果の一つとして、指標①で用いた下層植被率の測定結果に土壌保全や水源かん養機能と関連づけた暫定基準を設けて事業成果を示した。このときの説明内容が、最終評価報告書第 3 部の「森林に係る事業効果」（P. 55 ～ 67）、資料編の「モニタリング・評価資料」（P. 資 -31 ～ 39）の記述の元となった。

以降は、それぞれの時点で当センターから県民会議に示した、中間評価指標の指標①を中心とした事業効果の説明である。

2 中間評価指標（指標①）による 3 時点の変化

2022 年（令和 4 年）の施策委員会で当センターが示した中間評価指標の指標①の 3 時点の変化が図 6 である。第 1 期から第 2 期にかけての 2 時点の変化では、41%から 53%への増加であったが、第 2

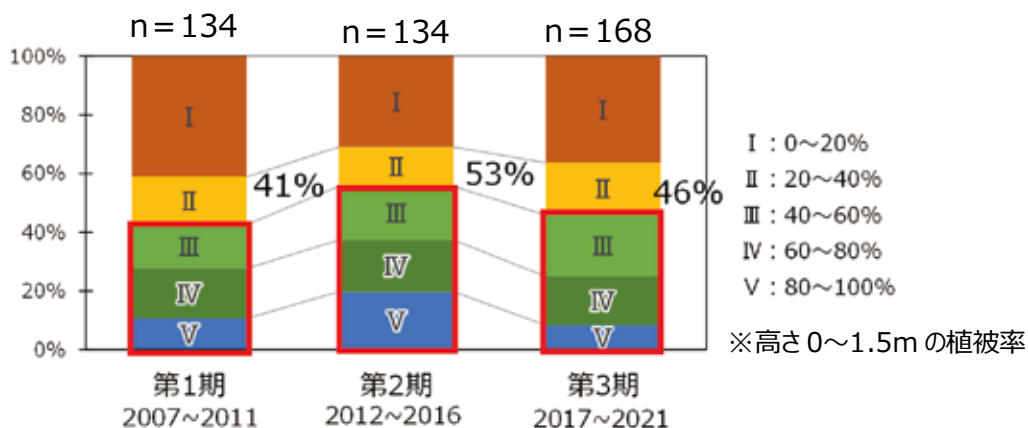


図 6 指標①植被率が高い（40%以上）森林の割合 水源環境保全・再生かながわ県民会議（2024）

期から第3期にかけては、46%と低下した。指標の算出に用いた下層植被率データは、事業実施地である森林内で調査されたものであり、草地のような無立木地と比べて日射量は限られる。このため良好な森林であっても下層植被率は必ずしも100%まで増加せず、40%程度で定常化する地点も少なくなかった。また、下層植被率は、現地においても空間的・時間的な変動が大きく、データのばらつきも大きかった。こうした点から、当センター内では10%未満の指標値の変化を大きく取り上げることには違和感を持つ声も出ていた。しかし、中間評価指標に設定され、事業評価にもつながるため、値が低下した理由についても施策委員会で説明する必要があった。

そこで、当センターでは、とくに指標①の値が低下した第2期から第3期の2時点の変化に着目した。図7は第2期から第3期にかけての各地点の下層植被率の変化量について、地区別に示したものである。全般的にみると、下層植被率の変化が小さい地点が多数ある中で、下層植被率が大幅に低下した地点が一部にみられた。地区別の変化量では、丹沢高標高域の増加地点が多く、箱根では大部分の地点で減少し、小仏と丹沢中標高域の人工林では変化のない地点が多いものの減少地点も比較的多くなっていた。丹沢高標高域に関しては、施策開始時点にはシカが最も高密度に生息して下層植生衰退も顕著であったが、その後のシカの捕獲により極端な高密度

地は解消されていた。このような事業実施によるシカの生息密度の減少が、下層植被率の増加につながったと考えられた。一方、施策開始当時のシカの生息地は丹沢中心であったが、その後、箱根や小仏でもシカの生息密度が上昇する傾向にあった（神奈川県、2017）。このシカの生息密度の上昇が、箱根や小仏における第3期の下層植被率の低下に影響したと考えられた。また、丹沢では、2010年代にスズタケを中心としたササの一斉開花・枯死が確認されており（永田・田村、2018）、これも下層植被率の低下の一因と考えられた。

加えて、とくに下層植被率が大きく低下した地点を対象に、2時点それぞれの調査時の写真や調査記録を確認した。その結果、事例は少ないものの前述したシカ等の影響以外に、丹沢で間伐の翌年に植生調査が行われ、地表に伏せた間伐木や枝葉のために下層植被率が低くなった地点、同じく丹沢で人工林の混交林化が進む初期過程で、低木層まで伸びた広葉樹に被圧され下層植被率が低下した地点があった。

こうした下層植被率の時点変化の分析において、当センターでは、下層植被率の増減よりも、むしろ事業実施地でありながら3時点を通して下層植被率が20%未満にとどまっている地点に着目すべきではないか、との意見もあった。このような地点は、一部のヒノキ林が該当したほか、広葉樹からなる二次林でシカの影響ですでに裸地化した箇所にもみられた。一般的にヒノキ林は落葉が流出しやすく裸地

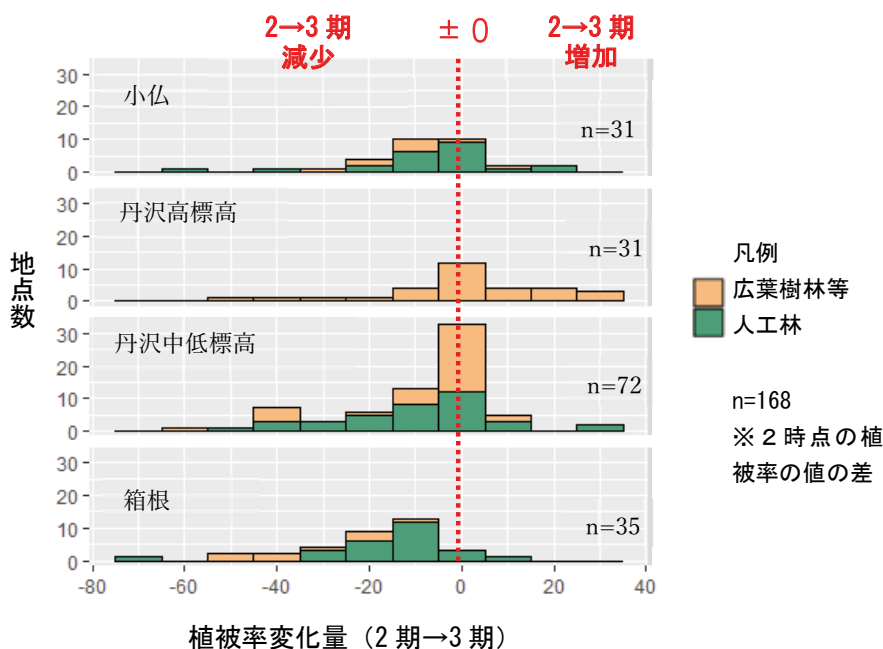


図7 第2期から第3期の下層植被率の変化量 水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2024)

化しやすいことがわかっている（三浦，2000）。しかし、同じように間伐を進めていても下層植被率の高いヒノキ林もあり、単純ではなかった。また、シカの影響に関しても、シカの生息密度の減少に伴って必ずしも植生が直ちに回復するとは限らなかった。こうしたヒノキ林の間伐に伴う下層植被率の動向、あるいは裸地化した広葉樹二次林の動向に関しては、今後も分析が必要である。

3 中間評価指標(指標①)のわかりやすさの改善

最終評価の取りまとめに先駆けて行われた2023年（令和5年）4月の施策委員会の勉強会では、当センターは、中間評価指標の指標①を図8のとおりの表現を変更して示した。これは、順応的管理により評価結果を今後の取組に反映させるという観点から、現時点で比較的效果が現れているところと、そうではなく今後の課題となるところの濃淡を表すための改善であった。

図8は、指標①に関する地区等による時点変化の傾向の相違を踏まえて、全地点を人工林と自然林・二次林に区分し、さらに自然林・二次林を地区別に分けて下層植被率の推移を示したものである。3時点を通して下層植被率の平均値が増加したのは、捕獲によりシカ生息密度が低下した丹沢高標高域のみであった。その他の地区では、前述したようにシカの生息分布の拡大やササ類の一斉開花等が影響し、第3期5か年計画期間に下層植被率が減少していた。ただし、3時点でみると下層植被率は増減し、事業効果としてはわかりにくく、これだけで評価することは難しいと考えられた。そこで当センターでは、後に一般県民に説明することを念頭に、何らかの数値基準を設けた方が一目でわかりやすいと考

え、図8の下層植被率の推移に暫定基準を設けて説明した。

暫定基準に関しては、土壌侵食の進行という施策開始当時の課題に着目し、土壌侵食を抑制する下層植被率の水準に着目した。これまで丹沢のブナ林における土壌侵食量調査から、下層植生と落葉による地表面の被覆率（以下、林床合計被覆率）と土壌侵食量には強い負の相関があること（初ら，2010）、林床合計被覆率30%以下になると急激に土壌侵食量が増大すること（石川，2013）、反対に林床合計被覆率が75%以上であると大雨でも雨水の9割以上が地中に浸透して土壌侵食を引き起こす原因となる地表流の発生が抑制されること（海虎ら，2012）等の知見が得られていた。そこで、このような土壌侵食量や地表流の発生と結びつけるため、林床合計被覆率と下層植被率の対応関係を検討した。その結果、夏季の下層植被率が20%以上であると、森林内の土壌侵食の要因である地表流の発生を抑制できる林床合計被覆率75%以上を維持できる可能性が高く、限られたデータでの検討であるものの最低限の事業効果の目安になると考えられた（内山ら，2023）。

これを基準とすると、図8の丹沢高標高域の自然林については、多くの地点で3時点を通して下層植被率20%を超え、土壌保全が図られていると評価できた。同様に、人工林についても、一部の下層植被率20%未満の地点を除くと、大部分の地点で土壌侵食の進行は抑制されているとの評価となった。一方、丹沢中低標高の二次林は、3時点とも下層植被率20%を下回る地点が多いことから、シカの捕獲を実施しているものの土壌侵食の改善には至っていないと判断された。箱根外輪山では第3期になって下層植被率20%程度に低下した地点があること

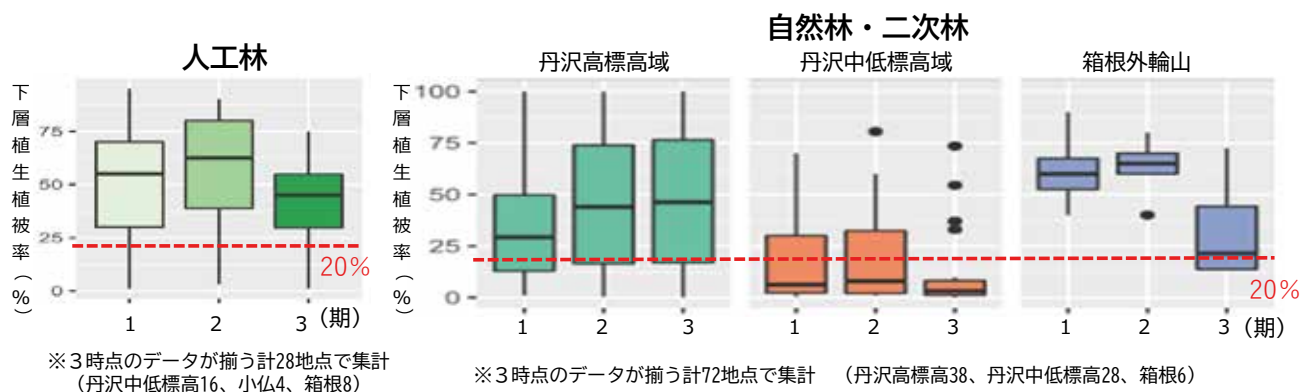


図8 第1期から第3期の下層植被率の推移 水源環境保全・再生かながわ県民会議（2024）

から、県による管理捕獲を開始するなどシカ対策を強化しているものの、新たに土壤侵食が進行しつつあると考えられた。このように、暫定基準を設けたことで地区単位での事業の効果と課題をより明瞭に表現できるようになった。

2023年(令和5年)5月の県民会議の施策懇談会では、当センターは、こうした図8による事業効果の説明と合わせて、冒頭で改めて基本的な解説を行った。その一つが、水源地域の3つの山地(丹沢山地、小仏山地、箱根外輪山)と3つの森林タイプ(人工林、自然林、二次林)の解説である。これは、前述した下層植被率の時点変化において、事業はどこも同じように実施していても山地や森林タイプによって効果の現れ方が異なっているためである。その他、シカの影響について背景も含めた理解が必要となることから明治時代以降の森林の状態とシカの生息の変遷、また、人工林では若齢段階で下層植生が衰退し間伐をすることで下層植生が侵入するという自然林と異なる発達段階(藤森, 1997)についても解説した。

こうして、県民会議では、当センターが説明した中間評価指標の指標①を用いた事業効果や2次的アウトカムである水源かん養機能や生物多様性保全機能に関するモニタリング結果を元に、最終評価の検討が行われた。最終評価報告書では、「事業が実施された箇所では、多くの箇所森林の下層植生の維持・増加による土壤保全機能の向上が達成され、森林の荒廃に歯止めをかけることができた」、「下層植生の増加等が水源かん養機能の向上や生態系の健全化につながったことを支持する検証結果も得られた」、と総括され、一部に課題はあるものの「森林全体としては水源かん養機能等の公益的機能向上など施策の成果が得られた」と結論づけられた。また、今後の課題として、丹沢中低標高域や箱根外輪山の二次林で下層植被率が低いことが挙げられ、引き続きシカの対策や土壤流出防止対策が必要であること、さらに、豪雨や台風による災害の頻発化など、施策開始以降の環境の変化への対応も必要とされた。

VI 終わりに

水源環境保全・再生施策において、2007年度(平成19年度)から2023年度(令和5年度)の17年間、森林のモニタリング担当として施策の評価に携わっ

た経験から、取組の経過を振り返った。当センターが直接関わった部分に限定した記録であるが、関係者の間では一貫して施策の効果をわかりやすく示すことに重点が置かれてきたことがわかる。庁内・外を問わず超過課税を活用した特別な取組であることが重く受け止められてきたためであろう。

森林のモニタリングの担当者として17年間実施してきたことは、単にモニタリングを実行して結果を説明するだけではなく、本施策の取組について科学的な理解に基づく整理を行い、関係者の自然環境への理解を促すということであった。これには、当センターが丹沢大山総合調査を行った経験を元に、専門家との協働によるモニタリングを実施できたことが大きい。自然環境管理の一環として取組み、自然環境の本質を捉えることで、複雑なプロセスや多くの要因がモニタリング結果に影響して単純でないこと、時間の経過が伴って初めて変化が見えるものもあることなど、モニタリング結果への理解促進にも繋げていった。当初想定していなかった令和元年東日本台風による森林被害などについても、過去の自然災害との比較などを速やかに情報提供することができた。

また、施策開始当時は難しいとされた指標の設定も、施策効果をわかりやすく示すため、試行的ではあるものの最終的に指標の設定に至ったことも興味深い。そして、一度指標を設定しても、指標自体の検証も行い、場合によっては指標を見直しすることも有効であった。また、指標を用いて定量的に示すことでわかりやすくなるが、簡潔になることで多くの情報が抜け落ち、森林や自然環境そのものへの理解には及ばないことも見えてきた。このため、指標で事業効果を簡潔に示す際には、指標の意味や指標の値を理解するための自然環境の仕組みなどの情報を合わせて提供する必要がある。さらに、定めた評価体系に従って評価する、あるいは指標を設定して評価するなど、施策評価そのものがシステム化・専門化することによって、施策を評価する行為が一般県民からは遠ざかってしまう。このため、モニタリングによって科学的な理解が進み、それによって評価手法が発展することと並行して、一般県民への広報や普及啓発の強化、教育部門等との連携が今後一層重要であろう。県民会議においては、事業モニターなどの公募委員による現地視察による評価、あるいは経済評価との連携の強化なども有効と考えられる。

順応的管理に関しては、これまでの取組の中で仕組みとして構築されてきており、事業による森林生態系への影響が長期に及ぶことを考えると、省力化、低コスト化を図りつつ長期にモニタリングを継続することが欠かせない。それだけでなく、これまでの事業実施により、水源地域の森林状態やシカの生息状況等は施策開始時点と比べて大きく変化し、誰も経験したことのない未知のステージに移行している。これからの水源環境の保全・再生対策においては、アウトカムをあげることの難易度が一層高まることが予想される。何が正解かわからない中での目標設定や整備の手法の見極め等のためにも、政策の意思決定のための順応的管理が今後一層重要になるだろう。

VII 謝辞

本稿に示した当センターの取組は、県民会議や事務局をはじめとした多くの関係者の取組があつてこそ実施できたものである。本稿の執筆にあたっても、当センター研究連携課で本施策初期の評価に携わった山根正伸氏、県民会議の事務局として施策評価に携わった内山豊氏(第2期中間評価)、田中慎吾氏(第3期中間評価)、塩脇明弘氏(最終評価)、ほか関係の方々には、原稿の確認・助言をいただいた。また、神奈川県自然環境保全センター報告編集委員会には、本稿の執筆の機会をいただき、編集委員会事務局にも原稿作成への協力をいただいた。この場を借りて、関係各位に厚くお礼申し上げます。

VIII 参考文献

- アジア航測株式会社(2012) 平成23年度 酒匂川上流域水源林スコリア層流出状況調査委託業務報告書, 310pp
- 藤森隆郎(1997) 日本のあるべき森林像からみた「1千万ヘクタールの人工林」, 森林科学 19:2-8
- 本田美里・内山佳美・増子和敬(2025) 水源環境保全・再生施策に関する公開資料の再収録について, 神奈川県自然環境保全センター報告, 19:49-78.
- 海虎・石川芳治・白木克繁・若原妙子・畢力格図・内山佳美(2012) ブナ林における林床合計被覆率の変化が地表流出率に与える影響、日本森林学会誌 94, 167-174
- 石川芳治・白木克繁・戸田浩人・若原妙子・宮貴大・片岡史子・中田亘・鈴木雅一・内山佳美(2007a) IV 堂平地区の林床植生衰退地での土壌侵食および浸透の実態. 445-458. 丹沢大山自然環境総合調査報告書. 丹沢大山総合調査団編, 794pp, 財団法人平岡環境科学研究所, 相模原市.
- 石川芳治・白木克繁・戸田浩人・浅野敬尋・鈴木雅一・内山佳美(2007b) V 堂平地区における緊急土壌侵食対策試験施工の土壌侵食軽減効果. 459-468. 丹沢大山自然環境総合調査報告書. 丹沢大山総合調査団編, 794pp, 財団法人平岡環境科学研究所, 相模原市.
- 石川芳治(2013) シカの食害による土壌流亡を防ぐ知識と技術. 「天然水の森」を科学する. サントリービジネスエキスパート(株) 水科学研究所・サントリーホールディングス(株) 編, 139-150
- 神奈川県(2005a) かながわ水源環境保全・再生施策大綱. 59pp, 神奈川県企画部土地水資源対策課, 横浜.
- 神奈川県(2005b) かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画, 40pp
- 神奈川県(2017) 第4次神奈川県ニホンジカ管理計画, pp47
- 神奈川県監修(2003) 参加型税制・かながわの挑戦 一分権時代の環境と税一. 209pp, 第一法規株式会社, 東京都港区.
- 神奈川県自然環境保全センター(2013) 神奈川県自然環境保全センター報告第10号, 287pp
- 神奈川県自然環境保全センター研究企画部研究連携課(2015) 自然環境保全センター研究成果報告会～水源林再生の最前線～開催報告, 43pp
- 三浦覚(2000) 表層土壌における雨滴侵食保護の視点からみた林床被覆の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価. 日本森林学会誌 82:132-140
- 宮永健太郎(2014) 順応的管理—環境経済・政策学の視点—. 環境経済・政策研究, Vol. 7, No. 1; 36-40
- 永田幸志・田村淳(2018) 丹沢山地におけるササ3種の2016年の開花記録, 神奈川県自然環境保全センター報告, 15:55-58

- 沼尾波子 (2012) 水と森の財政学. 水と森の財政学, pp255-271. (株) 日本経済評論社, 東京都千代田区.
- 恩田裕一編 (2008) 人工林荒廃と水・土砂流出の実態. 245pp, 岩波書店
- 初磊・石川芳治・白木克繁・若原妙子・内山佳美 (2010) 丹沢堂平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壌浸食量の関係. 日本林学会誌 92:261-268
- 水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2009) かながわ水源環境保全・再生の取組の現状と課題－水源環境保全税による特別対策事業の点検結果報告書－, 113pp
- 水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2013) かながわ水源環境保全・再生の取組の現状と課題－水源環境保全税による特別対策事業の点検結果報告書－(平成23年度・第1期5か年実績版)
- 水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2015) かながわ水源環境保全・再生施策これまでの歩みとこれから 総合的な評価(中間評価) 報告書, 129pp
- 水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2020) かながわ水源環境保全・再生施策これまでの歩みとこれから 総合的な評価(中間評価) 報告書, 140pp
- 水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2024) かながわ水源環境保全・再生施策最終評価報告書(暫定版), 107pp
- 谷脇徹・田村淳 (2025) 水源林整備としての間伐が人工林生態系の生物多様性に及ぼす効果の検証－調査の開始の経緯と進捗状況について－, 神奈川県自然環境保全センター報告, 19:35-48
- 丹沢大山自然再生委員会 事業計画・評価専門部会・神奈川県自然環境保全センター (2009) 森林管理・シカ管理ワークショップ報告書, 45pp
- 丹沢大山総合調査実行委員会調査企画部会編 (2006) 丹沢大山自然再生基本構想. 136pp, 丹沢大山総合調査実行委員会, 横浜.
- 内山佳美・山根正伸 (2008) 森林における水環境モニタリングの調査設計－大洞沢における検討事例－, 神奈川県自然環境保全センター報告, 5:15-24.
- 内山佳美・入野彰夫・大内一郎・丸井祐二 (2023) 林床植生の植被率と土壌侵食防止機能の指標となる林床合計被覆率との関係, 神奈川県自然環境保全センター報告, 17:1-6
- 内山佳美・山根正伸・横山尚秀・山中慶久 (2013) 神奈川県における水源環境保全・再生施策の検証手法とその実施状況, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10:1-12

神奈川県による森林の水源かん養機能評価の試み
～ 水源環境保全・再生施策における
事業効果検証のためのモニタリング～

内山 佳美*,**

An attempt to evaluate the watershed conservation function of forests
in Kanagawa Prefecture
~Monitoring to verify the effectiveness of water source conservation
and restoration measures~

Yoshimi UCHIYAMA*, **

I はじめに

神奈川県を流れる相模川と酒匂川の2つの河川は、丹沢山地をはじめとした県西部および富士山東麓の山地帯を源流とし、920万を超える県民の水道

水源となっている。多くの県民が住む県東部の平野を中心とした市街地とは対照的に、河川源流の山地帯は森林におおわれ、稜線にブナの原生林も分布するなど豊かな自然が残っている（図1）。

ところが 2000 年代以降、人工林の手入れ不足や

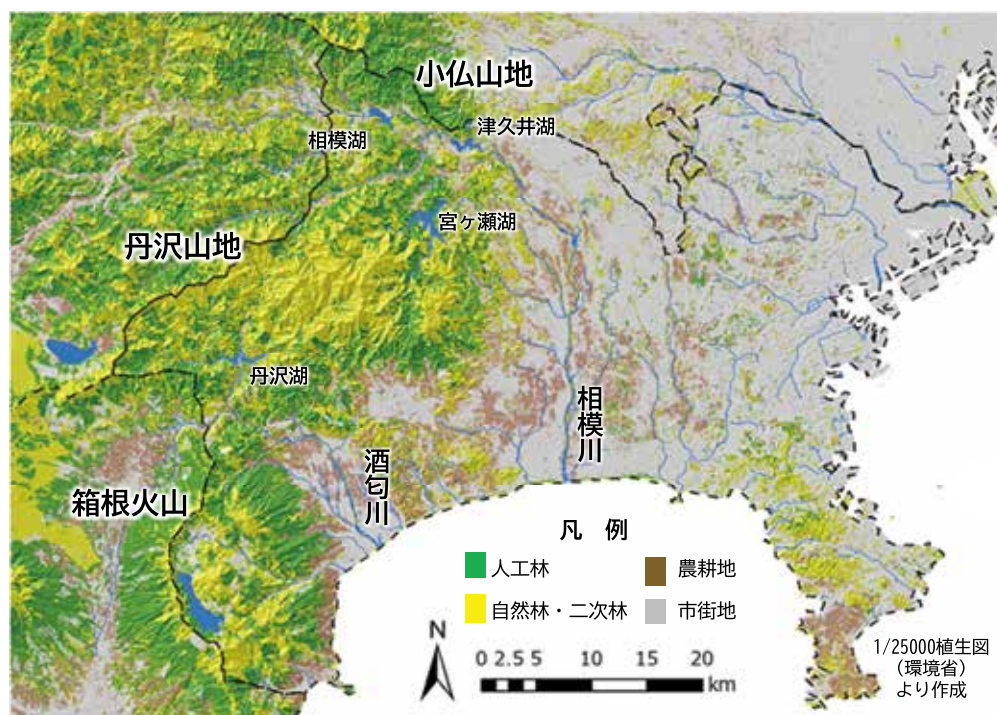


図1 県内の森林分布

* 神奈川県自然環境保全センター 研究企画部研究連携課 (〒243-0121 厚木市七沢 657)

** 現：神奈川県自然環境保全センター 研究企画部自然再生企画課（〒243-0121 厚木市七沢 657）

高密度に生息するようになったニホンジカ（以下、シカ）の採食影響によって、森林内の下層植生の衰退や裸地化が顕在化した。新たな課題である森林の質的劣化は、源流だけの問題に留まらず、森林の水源かん養機能の低下による下流への影響が危惧された（神奈川県，2005）。

このため、神奈川県は 2007 年度（平成 19 年度）から 20 年間の「かながわ水源環境保全・再生施策大綱」（以下、施策大綱）を策定し、独自財源である水源環境保全税の導入により水系全体を視野に入れた水源環境保全・再生施策（以下、水源施策）に取り組んできた。森林においては、水源かん養機能の維持・向上を通して、施策目標である将来にわたる良質な水の安定的確保に繋げていくことを目指している。

ただし、この対策は自然相手であり不確実性を伴う。そこで、事業と並行してモニタリングによる効果検証を行い、事業を評価・見直しする「順応的管理」と呼ばれる手法を導入している（神奈川県，2005）。とくに、施策開始当時は、森林の質的な劣化と水源かん養機能との関係にかかる科学的知見が乏しかったため、モニタリングによって事業の効果を検証し、施策の効果を説明できることが求められた。

このため当センターは、大学等の研究者との協働により、事業の効果検証、そのための手法開発、水源地域の水源かん養機能の実態把握等も含めたモニタリングに取り組んできた（内山ら，2013a）。さらに、水源施策の評価を担う「水源環境保全・再生かながわ県民会議」（以下、県民会議）に取組の成果を報告してきた。

2024 年（令和 6 年）3 月には、県民会議が取りまとめた「かながわ水源環境保全・再生施策最終評価報告書（暫定版）」（以下、最終評価報告書）が公表された。最終評価報告書では、代表的なモニタリング結果を用いて施策の効果が総括されている。ただし、大綱期間 20 年のうちの 15 年目までのモニタリング結果による暫定的な評価であり、引き続き評価を行なっていく必要がある。一方で、モニタリングの取組記録としては、2013 年（平成 25 年）の報告があるが、それ以降は報告されていない。

そこで、本稿では、施策を推進するための仕組みとして位置付けられた森林の水源かん養機能評価について、施策開始時から携わった行政機関のモニタリング担当者の視点から、背景も含めた大局的な視

点で取組を振り返り、概説することを目的とする。なお、現在もモニタリングは継続中であり、引き続き関係者間で議論しながら結果を総括していく必要がある。このため、本稿に掲載したモニタリング結果は、すでに県民会議に報告し、最終評価報告書に掲載されたものを中心とした。その他、より詳細な取組内容やこれまでの成果は、内山・山根（2008）に示した取組開始時点の調査設計等の考え方、神奈川県自然環境保全センター（2013）のモニタリング概要と初期の成果、本田ら（2025）に一覧で示されている各文献等を参照いただきたい。

II 行政による水源かん養機能評価の背景

1 近世以降の水源かん養機能論

太田（2012）によると、江戸時代には、人口増加に伴って乱伐的林業や草山利用等による山地の荒廃が激化し、山崩れや洪水等が多発するようになっていた。このため、治山治水の考え方に基づいて、幕府や諸藩によって禁伐などの保護林政策や植林等の対策が行われていた（太田，2012）。さらに、全国的に最も山地が荒廃していた明治時代中期には、当時の大水害の発生を受けて、1897 年（明治 30 年）に森林法が制定された。

当時の森林法には、森林があれば洪水も渇水も緩和されるとする水源かん養機能論を前提に、ほぼ現在と変わらない保安林制度が盛り込まれた（田中，2014）。しかし、田中（2014）は、当時の国内外の水源かん養機能に関する研究からは科学的な裏付けは得られておらず、むしろ森林法の制定に伴って、水源かん養機能の概念がオーソライズされたことを指摘している。さらに、こうした状況について田中（2014）は、「政策・制度としての水源かん養機能論が先行」し、「科学技術が社会の後追い」をしてきたと述べている。なお、現在も水源かん養機能のメカニズムには科学的に未解明な部分が残されている（林野庁，2023）。

2 関東大震災の影響による水源かん養機能の低下

神奈川県では、1923 年（大正 12 年）の関東大震災の影響により、丹沢山地を中心に当時の県内林野面積の 7%に及ぶ 8,632ha で山地の崩壊が発生した（神奈川県農政部林務課，1984）（写真 1）。震災後は、降雨のたびに土砂が流出し、谷を埋め、河床を上昇さ



神奈川県農政部林務課（1984）



神奈川県県央地域県政総合センター
水源の森林部（2021）

写真 1 昭和初期の山地の崩壊状況と近年の状況（早戸川流域）

せたため、下流では洪水が多発した。震災後 5 年間の水害の被害額は、震災前の 5 年間と比べて約 60 倍に上った（神奈川県林務課，出版年不明）。このため、当時の暮らしや産業の面でも山地の復旧は喫緊の課題であり、人が住んでいないような山奥であるにもかかわらず震災直後から復旧工事が開始された。現在は、前述のように森林の質の劣化という課題はあるものの、山地の大部分は森林に覆われている。

このように、水源地域における過去の山地崩壊は水源かん養機能を低下させ、その影響は誰の目にも明らかであった。一般的にも、従来は、崩壊地やばげ山などの森林のまったくない場合と森林がある場合を比較して、森林の水源かん養機能が認識されてきた。

3 日本学術会議による

森林の水源かん養機能の定義

2001 年（平成 13 年）に出された日本学術会議による森林の多面的機能に関する答申では、森林の多面的機能が 8 つに分類され、各機能の内容等について改めて示された。水源かん養機能に関しては、森林の存在が川の流量や水質を人間社会に都合よく変えてくれる働きとされ、具体には洪水の緩和、水資源貯留、水量調節、水質浄化と定義された（日本学術会議，2001）。

さらに、日本学術会議（2001）は、森林の多面的機能には、階層性と呼ばれる森林を管理する上で重視すべき順番があることを示した。たとえば、水源かん養機能が発揮されるためには、より基本的な機能である土壌保全機能や生物多様性保全機能が発揮されている必要がある（図 2）。この階層性について、

太田（2005）は、森林を管理・利用する場合に無視できない原則であり、森林整備やゾーニングにおいて重要であると指摘している。こうした答申の背景には、森林の多面的機能発揮を重視する森林・林業基本法の成立にむけた当時の林野庁の動きがあった（太田，2002）。

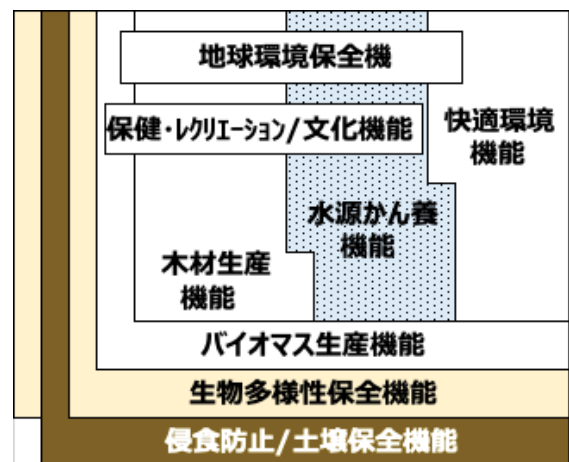


図 2 森林機能の階層性
太田（2005）

なお、森林の多面的機能という概念は、主に森林・林業政策で用いられるが、2005 年（平成 17 年）に公表された国連のミレニアム生態系評価において導入された生態系サービスという概念とも同義である（森林における生物多様性保全の推進方策検討会，2009）。

4 モニタリングの基礎となった研究成果等

森林水文学における水源かん養機能に関する研究は、国内では 1900 年代初期から行われてきた（服部，2011）。とくに 1970 ～ 1990 年代にかけて、小流域で降水量と流出量を連続測定する流域試験によ

り森林の水源かん養機能評価が行われた。これらにより蓄積された多くの知見は、前述の日本学術会議の答申にも反映された。神奈川県が水源施策を開始する前の時点では、森林は水を大量に消費すること、森林の伐採により一時的に流出量が増加すること等の水源かん養機能評価に関する定性的な傾向が明らかになっていた（蔵治，2003）。

さらに長野県の脱ダム宣言（2001年）なども背景に、蔵治・保屋野編（2004）をはじめとして、最新の自然科学に加えて社会問題や政策といった多角的な視点で理解を促す情報も提供されるようになった。森林も含め流域圏全体を統合して捉える考え方は、本県の水源施策の理念にも読み取れる。

2000年代以降は、それまでの森林の有無による比較ではなく、森林の状態の違いが水流出に及ぼす影響に関する研究成果が多く発表されてきた。背景には、戦後の拡大造林期に植えられた人工林が間伐されずに荒廃し、全国的にも問題視されていたことがあった。恩田編（2008）は、間伐不足の人工林では光環境が悪化し、下層植生が乏しく裸地化することによって、地表流の発生、土壌の侵食が起こること明らかにした。

また、丹沢では、1980年代以降にシカの高密度化による自然生態系への影響が顕在化しており、2000年代以降、石川ら（2007a）が、シカの高密度化に起因した下層植生衰退地の土壌侵食実態を明らかにした。石川ら（2007a）によると、下層植生が衰退した箇所では、降雨が地中に浸透しにくくなり、地表流が発生することによって、はげ山と同程度である年間で最大約1cm近い厚さの土壌侵食が観測された。さらに京都大学の芦生研究林でも、2006年からシカの影響による下層植生衰退と生態系への影響について流域スケールで検証され、植生のみならず渓流水質や水生昆虫相への影響が明らかになった（福島ら，2015）。

このような人工林の間伐不足やシカの影響による下層植生の衰退と土壌侵食等の関係に関する既往の知見は、当センターでモニタリング内容を具体化する際に大いに役立った。さらに、当時進展していた森林の水源かん養機能に関わる蒸発散の研究（小松，2007など）や基岩への水の浸透の研究（小杉，2007）などのプロセス研究の成果も、当センターが事業効果の検証を進める上で欠かせない知見であった。なお、このように進展した研究成果を活用し、

自治体が水源かん養機能評価を行った例としては、試験流域による観測ではないものの独自財源の導入に伴って実施された山口県（2009）などの事例がある。

2000年代以降に進展した個別のプロセス研究の成果と従来の試験流域における長期水文観測のデータ蓄積を活用し、近年は、流出モデルを用いた水源かん養機能評価も進んでいる（五味，2023）。後述するように、当センターにおいても、既往の知見を用いて水循環モデルを構築・活用してきた。なお、2020～2022年度（令和2～4年度）には、林野庁も流出モデルを用いて、林相や林齢の違いによる洪水緩和機能や水資源貯留機能の評価に取り組んでいる（永野，2023）。流出モデルの構築にあたっては、本県の試験流域で得られた観測データも活用された。

Ⅲ 水源施策における 水源かん養機能評価の内容

1 施策の評価体系における水源かん養機能評価の位置付け

本県の水源施策において、森林の主な課題は、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、土壌が流出していたことであり、水源かん養機能低下も危惧されていた（内山ら，2013a）。これに対し、当時の科学的知見（石川ら，

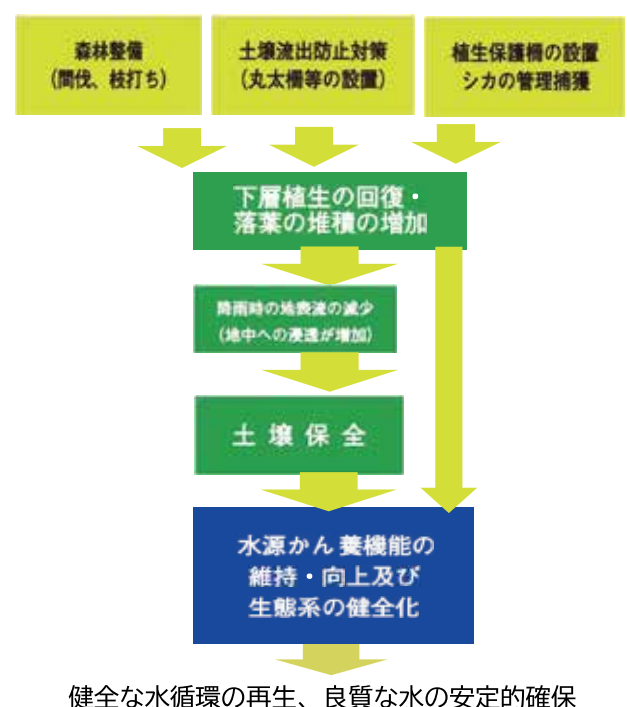


図3 森林における事業の実施により予想される効果

2007a; 恩田編, 2008 など) に基づき考えられる事業の効果として、人工林の間伐やシカの捕獲により下層植生が回復し土壌が保全され、下流への水や土砂の流出の変化につながるという短期から中長期にわたる効果の発現が想定された(図3)。

こうした想定に基づき施策全体の評価体系が設定され、水源かん養機能評価は、2次的アウトカムの検証に位置付けられた(内山, 2025)。つまり、当センターには下層植生回復や土壌保全といった森林内の状態の変化(1次的アウトカム)と水や土砂の流出に現れる水源かん養機能の維持・向上(2次的アウトカム)との関係を流域スケールで把握し、施策目標である将来にわたる良質な水の安定的確保に結びつけて事業効果を説明していくことが求められた。

2 水源施策における水源かん養機能の維持・向上効果の検証方法

森林に降った雨は、一部は蒸発散として大気に戻り、それ以外の地面に到達した雨水は、いったん地中にしみこみ地下水となり、その後ゆっくり溪流に流出する。水源かん養機能は、このような森林の水循環の仕組みによって発揮される。森林の水循環の過程では、降雨、樹冠等からの蒸発散、土壌から地中への水の浸透、風化基岩への水の浸透が関係し、溪流への水流出につながる(詳しくは本田ら(2025)を参照)(図4)。このため、水源かん養機能を把握するためには、これらの要因を一連のものとして把握する必要がある。

また、事業効果を検証する方法には、BARCI デザインと呼ばれる自然環境のモニタリング方法がある(内山・山根, 2008)。これは、事業の実施前後と事業の有無等により比較することで、事業による影響のみを把握するものである(中村, 2003)。

これらを踏まえて、当センターでは、水源かん養機能の維持・向上効果の検証方法として、流域試験の一種である対照流域法を採用した。これは、2つの隣接した小流域を一組の試験流域として設定し、一方の小流域で対策を実施し(実施流域)もう一方の小流域では対策をせずに(対照流域)、対策の前後や有無の比較により、事業による水や土砂の流出への影響を調べるものである(図5)。小流域の規模は数～数十 ha 程度で、流域末端で流量等を連続して測定する。当センターでは、1981年(昭和56年)以降、単独の試験流域での観測が細々と行われており(内山ら, 2014)、既存の試験流域を拡充することで実施できる見込みもあった。

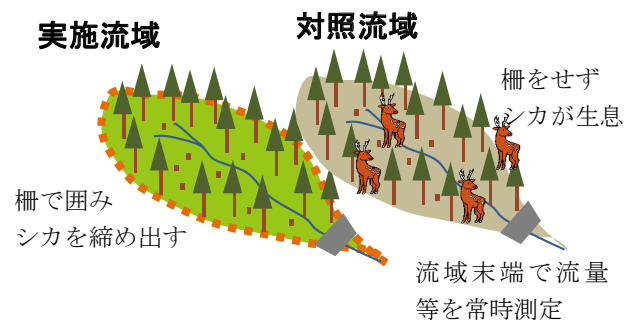


図5 対照流域法による事業効果検証(丹沢の例)

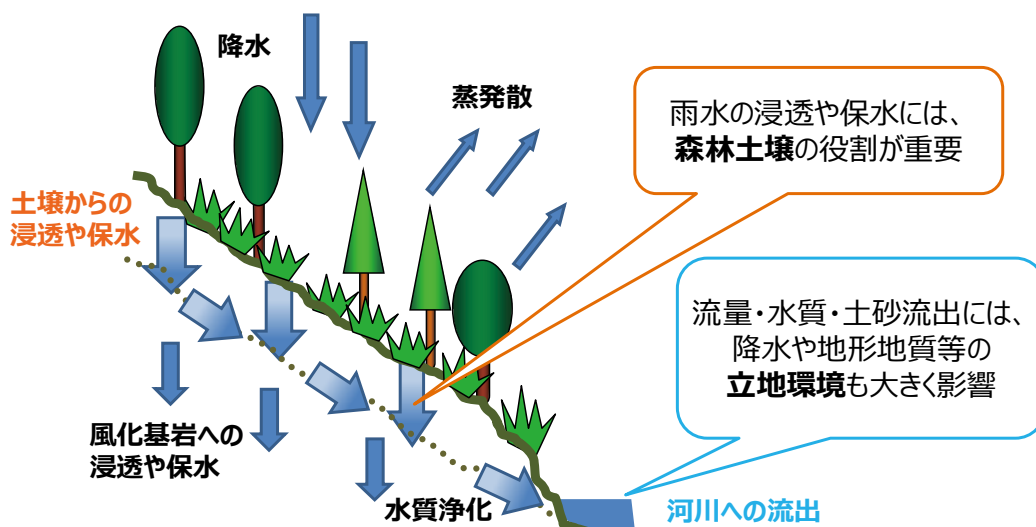


図4 森林の水循環

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。

この対照流域法調査を中心に、それを補完する斜面スケールの土壌侵食量調査と広域スケールの水循環モデル予測解析を組み合わせ、水源かん養機能評価を行った。(表1)。斜面スケールの土壌侵食量調査は、東丹沢堂平の自然林における斜面プロットにおいて、下層植生や落葉堆積、土壌侵食量、地表流量等を測定して詳細な関係性を把握した(若原ら, 2008; 初ら, 2010; 海虎ら, 2012; 畢力格図ら, 2013など)。2016年度(平成28年度)までの現地調査により基本的な知見を得ることができ、すでにモニタリングは終了している。

また、モニタリング結果を政策に反映させることや、県民に分わかりやすく示すことを考えたとき、実測によるモニタリングでは、効果検証に長期間を要する、あるいはダム上流域のような広域の効果検証には対応しきれない等の難点がある。このため、水循環モデルを構築し、シミュレーションによる事業効果予測にも取り組んだ(森ら, 2013)。

3 試験流域設定の考え方とモニタリングのねらい

試験流域の設定にあたっては、地域による自然条件等の違いも考慮した。水源施策における水源の森林エリア(主な森林関係事業の対象地)には、丹沢山地、小仏山地、箱根火山というそれぞれに成り立ちの異なる山地が含まれる(詳しくは、本田ら(2025)を参照)。また、人工林の分布やシカの生息状況にも偏りがあり、森林の課題も地域によって異なるため、地質の異なる4地域それぞれに試験流域を設定し、地域ごとの森林の課題に対応したモニタリングのねらいを設定した(内山ら, 2013a)(表2、図6)。



図6 県内4箇所の試験流域

東丹沢及び西丹沢の試験流域に関しては、水源施策開始当時は、シカの影響による下層植生の衰退が最も大きな課題であった。このため、森林とシカの適切な管理による効果検証をモニタリングのねらいとし、まず植生保護柵設置による下層植生回復と水や土砂の流出への影響を流域スケールで把握した(内山ら, 2013a)。下層植生や落葉堆積と地表流量の関係(海虎ら, 2012)、斜面の土壌侵食量と下流の浮遊土砂流出量の関係(石川ら, 2007b)などの知見を踏まえて、森林内の下層植生が回復すれば、降った雨の大部分は地中に浸透して土壌保全につながり、降雨後にゆっくり溪流に流出する水が増え(流量の安定化)、土壌流出に由来する溪流水の濁りも減少すると想定した(図7)。流域内には、広葉樹林だけでなく人工林も分布していることから、2022年度(令和4年度)以降は人工林の間伐も行い、合わせて効果を検証する計画としている。

小仏山地と箱根外輪山の試験流域に関しては、それぞれに特徴的な地質であるが、共通して人工林率が高くシカの影響も水源施策開始当時はみられなかった(詳しくは、本田ら(2025)を参照)。とくに、小仏山地の試験流域に関しては、当初から良好に管

表1 水源かん養機能評価の方法

評価方法 (調査方法)	評価スケール	調査地
土壌侵食量調査	斜面(林分)	1か所(東丹沢堂平地区)
対照流域法調査	試験流域(小流域)	4か所(東丹沢・西丹沢・小仏山地・箱根外輪山)
水循環モデル 予測解析	広域(ダム上流域)	3地区(宮ヶ瀬ダム上流、津久井ダム上流、三保ダム上流)

表2 各試験流域におけるモニタリングのねらい

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	2021年度までの事業実施状況
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 (すべて間伐)
	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 (柵)
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 (柵)
	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	—

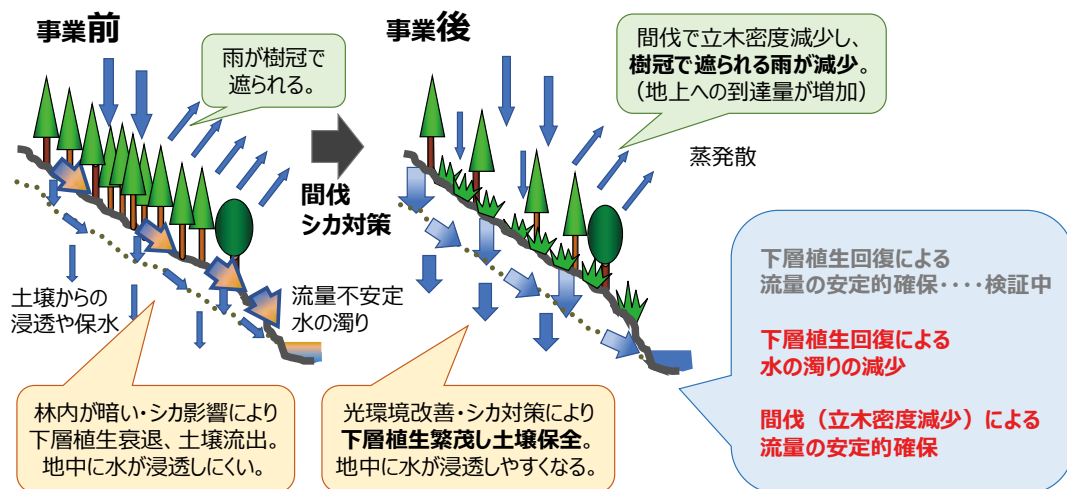


図7 森林における間伐とシカ対策により予想される効果

理された下層植生豊富な人工林であった。このため、小松（2007）等の知見を踏まえて間伐による樹冠遮断量の減少とそれに伴う流量の安定化、さらに地表のかく乱に配慮した施業による施業時の一時的な負の影響抑制について検証することをねらいとした（内山ら，2013a）。また、箱根外輪山では、透水性の良い火山性岩石からなり表流水のある流域に限られ、42haと34haの規模の大きい試験流域となったことから、効果検証のための事業実施は見送り、当該地域の水循環特性のみを把握することとした。

これら全ての試験流域では、モニタリングのための観測システムを整備し（内山・山根，2013）、降水量・気温・湿度・全天日射量・流量・濁度・水温を常時観測するとともに、流域内の森林植生・土壌、シカなどの中大型哺乳類の生息状況調査、水生生物調査等を行なった（内山ら，2013a）。さらに、モニタリングの手順に従って、事前に初期状態を把握した後に実施流域において植生保護柵設置や間伐等の事業を行い、事後のモニタリングにより効果検証を

行った（内山ら，2013a）。

IV モニタリングから見てきた 森林の水や土砂の流出の実態

1 各試験流域における水流出機構

各試験流域において下層植生回復等の森林状態の変化と水や土砂の流出の関係を把握していくためには、流域の水循環全体を視野に入れ、あらかじめ水や土砂の流出の実態を把握しておく必要がある。水文地質の観点からは、試験流域内の多点の流量測定、ボーリング調査等で得られた地質情報、土壌厚、湧水の安定同位体比調査などを踏まえて各試験流域のかん養源について考察した（横山ら，2018）。また、森林水文の観点からは、試験流域の水文観測データ等をもとに各試験流域における降雨流出特性を把握した（小田ら，2013a；白木ら，2013；内山ら，2015）。さらに、土砂移動の活発な大洞沢試験流域においては、試験流域内の土砂生産・流出の実態も把握され

た(平岡ら, 2013; 大平ら, 2021)。また、間伐等の施業に先立ち、貝沢と大洞沢の試験流域では森林における窒素動態も把握された(小田ら, 2013b; 辻ら, 2013)。とくに水源かん養機能に直接関係する試験流域の水流出機構について総括すると概ね次のとおりである。

(1) 貝沢試験流域

相模湖支流の貝沢試験流域は、小仏層・相模湖層群の砂岩・頁岩を基盤岩とし、基盤岩の風化帯は薄い。このため基盤岩の保水性は乏しいが、尾根部から斜面にかけて発達した土壌層に雨水が保水される(横山ら, 2018)(図8)。尾根にはローム層が堆積し、尾根の下でパイプ流の痕跡が認められ、小規模の湧水も確認されている。比較的均質な地質構成であるため、他の試験流域で見られるような流域間の大きな流量の差はないが(横山ら, 2018)、試験流域内の3つの支流の流出特性を比較すると、支流の一つで降雨後の流量の通減が比較的緩やかであった(白木ら, 2013)。

(2) 大洞沢試験流域

東丹沢の大洞沢試験流域は、新第三紀丹沢層群を基盤岩とし、流域内に断層が存在するほか、風化による粘土化もみられる。尾根の土壌体と風化が進んだ凝灰岩基盤が帯水層となっているものの保水性は高くなく、それよりも試験流域の上・中部に位置する地すべり地の保水性が高く、年間を通した主水源

となり下流への流出を賄っている(図8)(横山ら, 2018)。小田ら(2013a)によって示された試験流域内の支流ごとの水収支のばらつきは、こうしたかん養源の偏在とも関係している。

(3) ヌタノ沢試験流域

西丹沢のヌタノ沢試験流域は、深成岩の一種である石英閃緑岩を主体とした基盤岩で、風化が顕著である。とくに河床より上側が強風化帯で浸透性が高く、この強風化帯で保水された水が源頭湧水となって下流への流出を形成している(図8)(横山ら, 2018)。さらに、内山ら(2015)が示した試験流域内の2つの支流の基底流量の差について、横山ら(2018)は、一方の支流のほうが河床の標高が低く、地下水を集めやすい構造にあることも一要因としている。ただし、降雨に伴う直接流出特性は、両支流で同様の傾向であり(内山ら, 2015)、対照流域調査で事業実施の有無により比較して検証することは可能と考えられた。

(4) フチジリ沢試験流域

フチジリ沢試験流域は、火山である箱根外輪山の中腹に位置する。一般に火山斜面は透水性がよく溪流の表流水は乏しくなるが、フチジリ沢では、年間を通して流水があり、下流で浸透する。試験流域内の2つの支流ともに、主水源は源頭の崖錐帯で荻野溶岩グループから湧出する地下水である(横山ら, 2018)。さらに、横山ら(2018)は、年間を通

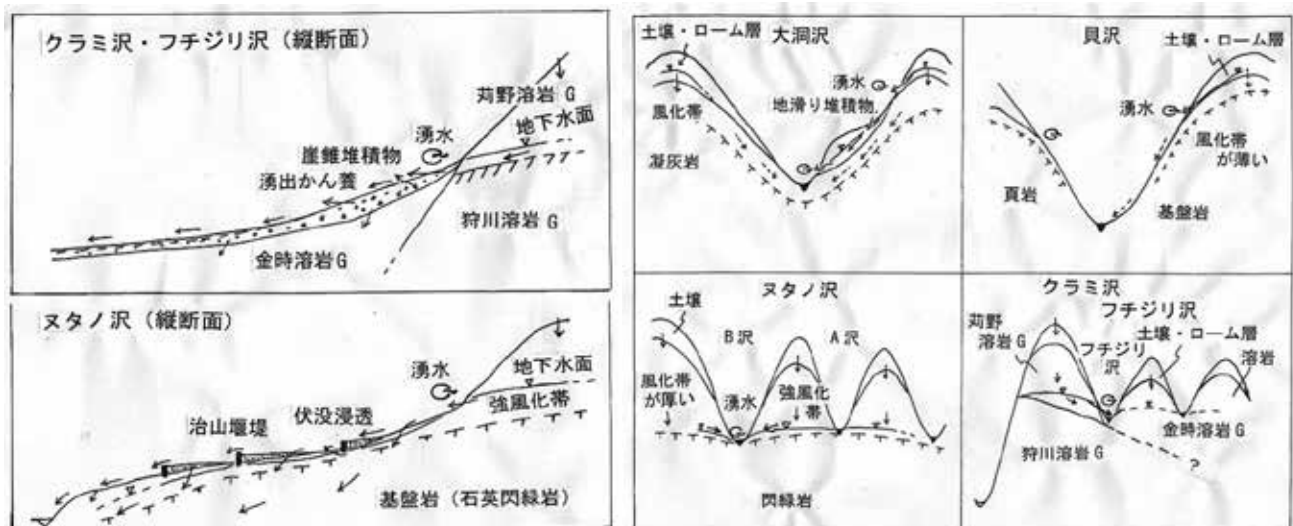


図8 試験流域の水循環

(左図：クラミ沢・フチジリ沢およびヌタノ沢の縦断面、右図：各試験流域の横断面) 横山ら (2018)

した流量の維持には、金時溶岩グループの中の固結ロームと狩川溶岩グループの不透水性が湧水の発生と深部浸透に制限を与えていることが関わっているとした（図8）。また、2つの支流の流量の差は、上流部での荻野溶岩グループの占める面積の差によるものと考えられた（横山ら, 2018）。

2 各試験流域の流出特性の比較

前述のように、県内4か所の試験流域では、それぞれの地質特性に応じた、特徴的な水流出機構を呈していた。こうした地質に加え降水量における地域差も大きいことから、流量や流況（1年間の流量の特徴）について試験流域ごとに比較し、地域ごとの特性を把握した。

降水量に関しては、県西部の山地帯で平野よりも多く、相模川や酒匂川の主要なかん養源となっている。さらに、水源地域においても、アメダス箱根の年平均降水量約3500mmからアメダス相模湖の約1700mmまで倍半分の差が開いている。各試験流域で測定した降水量も地域差が大きく、年間の降水量が多い試験流域では年間の流出量も多くなるなど、降水量の多寡が流量にも反映していた（図9）。

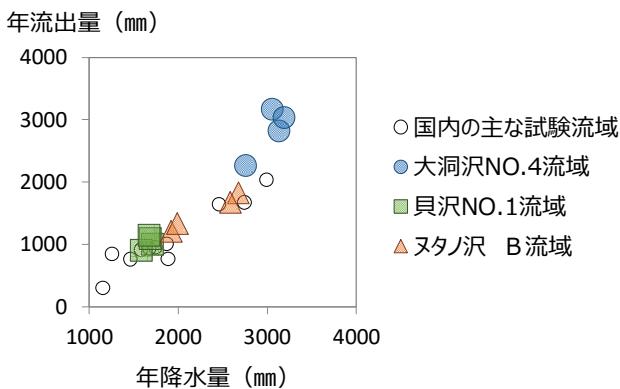


図9 各試験流域の年間の降水量と流量

また、相模川水系の相模湖支流の貝沢試験流域と東丹沢の大洞沢試験流域では、大洞沢のほうが降水量は多いが、月降水量の変動は、概ね一致した（図10）。一方、酒匂川水系である西丹沢ヌタノ沢試験流域と箱根外輪山のフチジリ沢は、とくに台風の時期である夏季から秋季で月降水量の変動は一致せず（図10）、台風の進路により降水量に差が生じるためと考えられた。

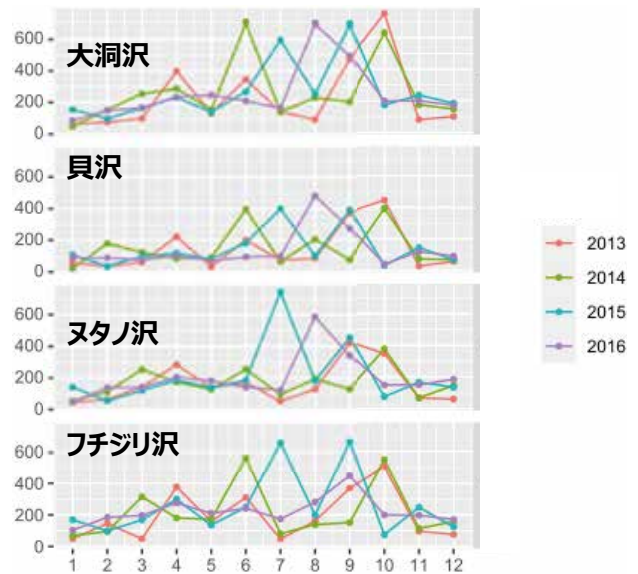


図10 月降水量の推移（2013～2016年）

流況に関しては、従来から虫明ら（1981）などによって地質による影響が指摘されてきた。県内4箇所の試験流域においても地質ごとに違いがあり、たとえば、深成岩からなるヌタノ沢試験流域の流況は、堆積岩からなる貝沢試験流域の流況よりも年間を通して安定的であった（図11）。森林状態のみに着目すると、下層植生の衰退したヌタノ沢試験流域よりも下層植生の豊富な貝沢試験流域のほうが、雨水が地中に浸透しやすく保水性が高く安定した流況であると想像される。しかし、流域でとらえると、基盤岩の浸透性・保水性が高いヌタノ沢試験流域のほうが安定した流況であった。水質・同位体トレーサー調査で明らかになった地下水流動の傾向でも、ヌタノ沢試験流域では湧水と深層地下水が同一の性質を示したが、貝沢試験流域の湧水は深層地下水と異なる浅い帯水層に由来すると推定された（安部・内山, 2022）。貝沢試験流域の渓流水質について、大洞沢やヌタノ沢の試験流域と比べて硝酸濃度がやや高い傾向にあることも、土壌層に保水された水が溪流に流出することに由来すると考えられた。

なお、もともと流況が安定しているヌタノ沢試験流域に関して、裸地化しても問題ないとするのは早計である。西丹沢地域は、風化が進んだ花崗岩質の急峻な山地であり、日ごろから小規模な表層崩壊が発生する上、下流には県の水がめの一つである三保ダムがある。こうした立地からも、森林機能の階層性に基づく土壌保全に留意した水源林の管理は欠かせない。

土砂流出について補足すると、丹沢の試験流域で

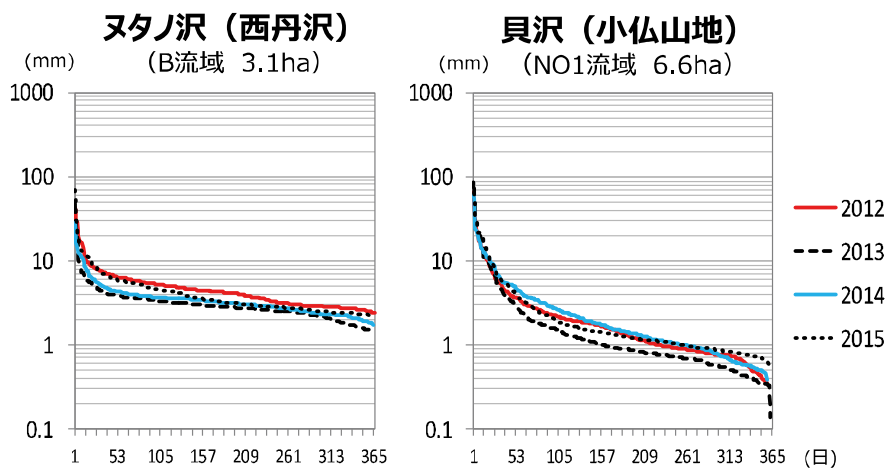


図11 ムタノ沢試験流域と貝沢試験流域の流況

※グラフは、各年の1月1日から12月31日の日流量を大きい順に並べ替えたもので流況曲線という。

は大洞沢とムタノ沢ともに土砂流出量が多く、それと比べて貝沢試験流域は少ない。内山ら (2013b) によると、2011年(平成23年)7月の台風6号、9月の台風15号による土砂流出量を比較したところ、流域末端での土砂流出量を各試験流域の1㎡あたりの土壌侵食深に換算すると、貝沢試験流域は、大洞沢試験流域やムタノ沢試験流域の1/10以下の0.01mmであった。

3 令和元年東日本台風による影響

2019年度(令和元年度)には、令和元年東日本台風の影響により、モニタリング開始以降最大の降雨がもたらされ、県内4箇所の全ての試験流域で観測施設の破壊や流量の増加による源頭部から溪流沿いの縦横侵食が顕著にみられた。最も被害の大きかった大洞沢試験流域では、観測施設を復旧させて観測を再開するまで丸5年を要した。これは、アクセス道となっている県道が、2019年度(令和元年度)の台風に加え2021年度(令和3年度)の豪雨でも被災したことから、断続的な県道工事による車両通行止め期間が長期に及び、観測施設の本格復旧工事とも令和5年度以降の実施となったためである。

こうした台風による大規模な被害の一方で、水流出や土砂流出に関する貴重な測定結果も得られている。たとえば、大洞沢試験流域では、観測施設の被災時点までの観測データを取得することができた。東京大学大学院農学生命科学研究科(2020)によると、降りはじめの10月10日から12日朝までの降雨によって、土壌は概ね飽和状態を示していた(図12)。それ以降も夜まで降雨は続いたが、雨水は速

やかに溪流に排水されていたと考えられた。斜面中腹の基岩中の地下水位は、降雨中盤から上昇しはじめ、降雨のピーク(10月12日19時)から約50時間後にピークを迎えた(図12)。これらのデータを踏まえ、土壌が飽和状態になった後も、流域内では基岩浸透により流出を緩やかにする機能が働いていたが、その量は河川流量を大幅に低減させるほどではなかったと考えられた(東京大学大学院農学生命科学研究科、2020)。

また、大洞沢試験流域内では、既存の斜面の土砂生産量測定に加えて、令和元年東日本台風の影響で発生した小崩壊地における土砂生産量測定も実施

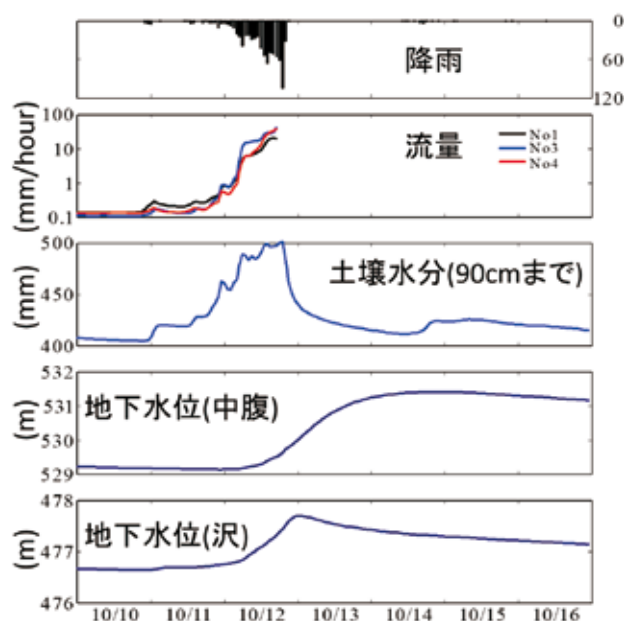


図12 2019/10/10-10/16の大洞沢の雨量・流量・土壌水分・地下水位の時系列変化
東京大学大学院農学生命科学研究科(2020)

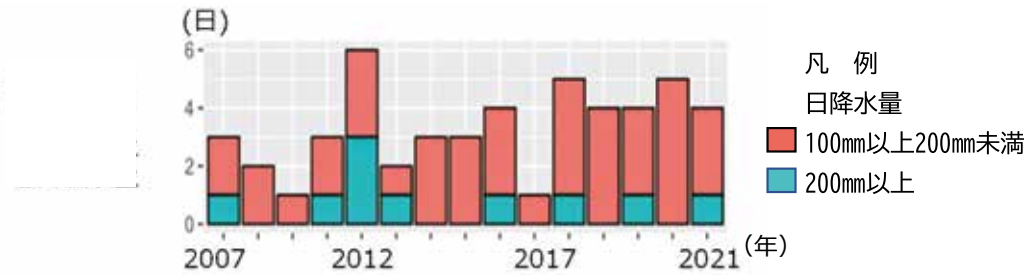


図 13 2007～2021 年の日降水量 100mm 以上の日数

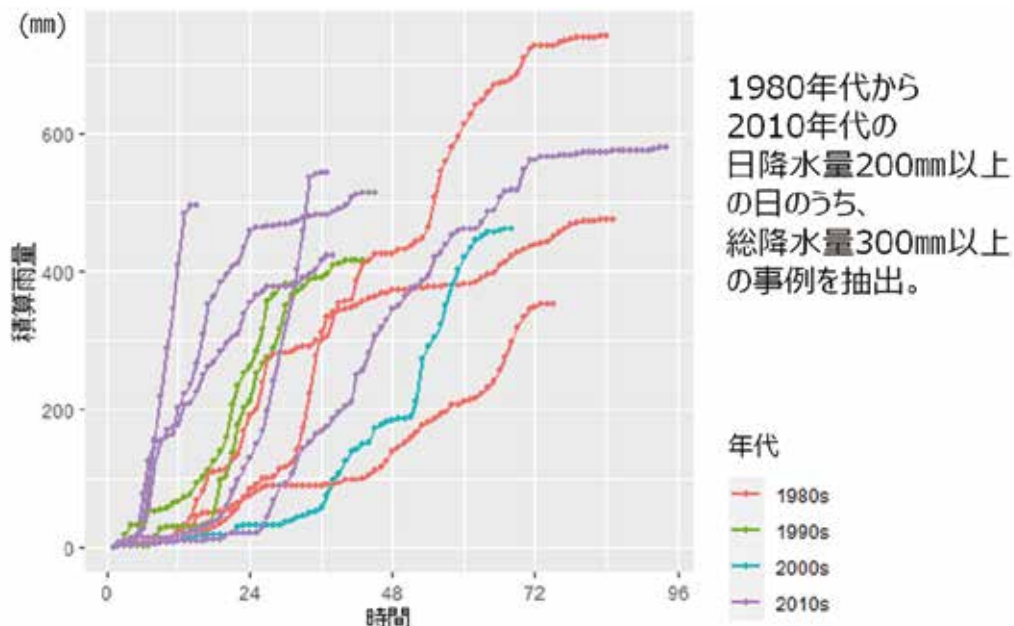


図 14 総降水量 300mm 以上の降雨事例の積算雨量図

し、土砂生産量や生産土砂の粒径の比較を行った。その結果、下層植生の衰退した裸地斜面よりも小崩壊地の土砂生産量の方が多く幅広い粒径の土砂が生産され、下流への土砂流出量の増加に影響していた(東京農工大学, 2023)。

さらに、令和元年東日本台風の影響による森林被害を背景に、近年の温暖化に伴う豪雨の激化に着目し、アメダス丹沢湖の長期データを用いて近年の豪雨の傾向を整理し、モニタリングの参考情報として県民会議に示した。図 13 は、日降水量 100 mm 以上の日について、施策開始以降を対象に年間の日数を示したものである。これによると、日降水量 100 mm 以上の日は、2017～2021 年(平成 29 年～令和 3 年)の第 3 期 5 か年計画期間で比較的多く発生していた。さらに、図 14 では、1980 年代から 2010 年代までの日降水量 200 mm 以上の日で、総降水量 300 mm 以上の降雨事例を抽出し積算雨量図をしめした。これによると、1980 年代よりも 1990 年代以降のほうが、降雨強度の強い雨がより長く継続する傾向がみられた。

V 水源かん養機能の維持・向上効果の検証結果

1 下層植生回復による水の濁りの減少等の効果

2000 年代以降にシカの影響が顕在化しモニタリング開始時点で最も下層植生が衰退していた西丹沢のスタノ沢試験流域では、シカの影響を排除するため実施流域全体を柵で囲んだ。柵の設置前後や柵のない対照流域と比較して、下層植生の状態と土壌流出に由来する洪水時の水の濁りの変化を検証した。柵で囲みシカの影響が排除された実施流域では流域の下流側を中心に下層植生が顕著に増加し、柵設置後の 6 年間で、下層植被率 20% 以上に該当するエリアが 19% から 63% に増加した(図 15)。同じ期間に、対照流域では、下層植被率 20% 以上に該当するエリアが 32% から 19% に減少した(図 15)。

こうした実施流域と対照流域の下層植生状態の変化と洪水時の水の濁りの関係の検証に先立ち、試験流域において 10 分間隔で連続測定している雨量、

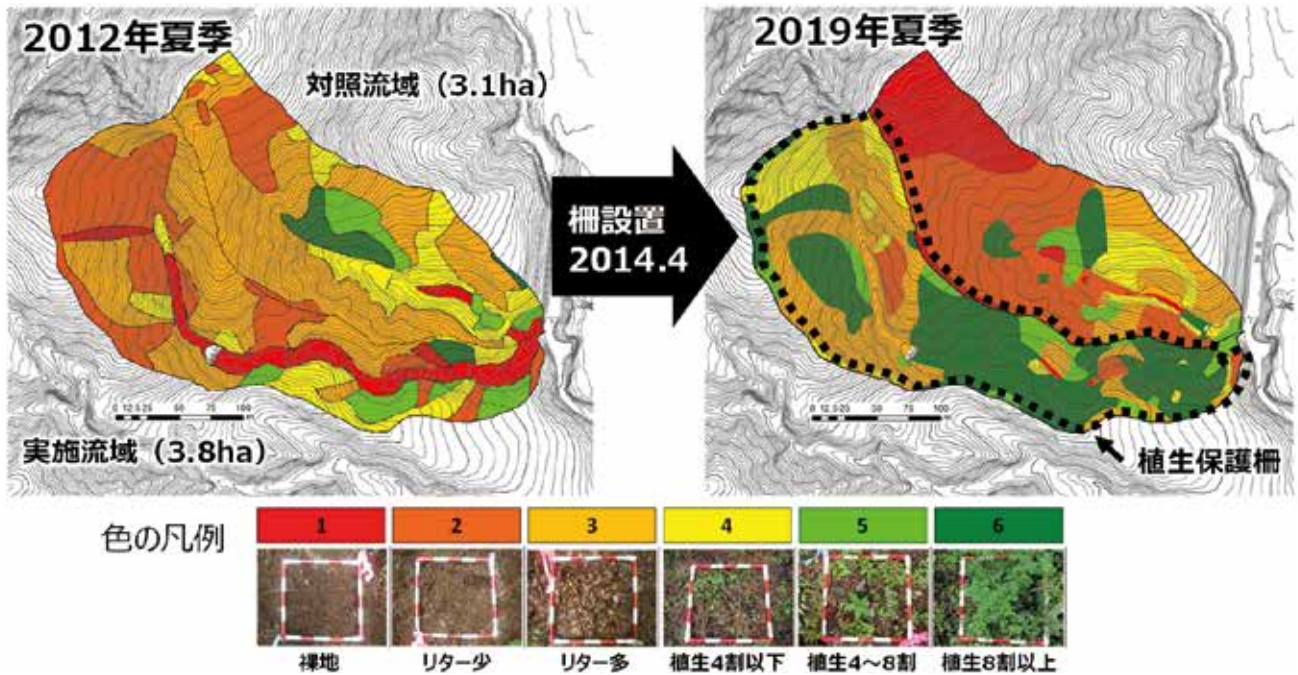


図15 ヌタノ沢試験流域における下層植生の変化

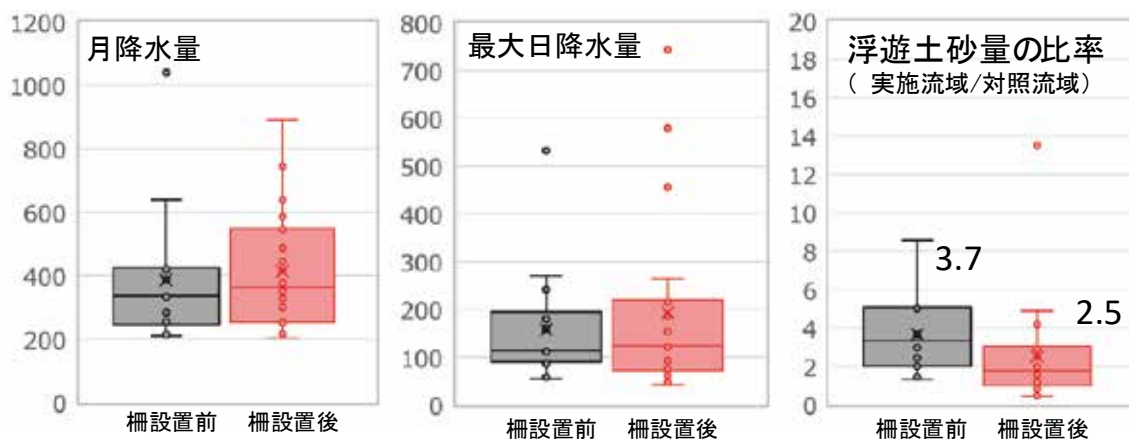


図16 ヌタノ沢の月単位の降水量、最大日降水量、浮遊土砂量比率（実施流域/対照流域）の柵設置前後の比較

流量、濁度データにより、実施流域と対照流域それぞれについての流出特性（内山ら, 2015; Abe *et al.*, 2020）、及び浮遊土砂流出特性（内山ら, 2018）をあらかじめ把握した。なお、浮遊土砂流出特性に関しては、分析手法が確立されていないことから、石川ら（2007b）を参考にした。

実施流域と対照流域の水の濁りの比較や変化に関しては、出水ごとの浮遊土砂量の時系列変化を県民会議に報告してきたが、複雑な流出機構に由来して多くの説明を要し、わかりにくいため、一般向けの最終評価報告書には、降水量 200 mm 以上の月を抜粋して月単位の浮遊土砂量を柵設置前と柵設置後で比較した結果が掲載された。これによると、降水量、最大日降水量、流量は柵設置前後で同程度かやや設

置後のほうが大きく、流量は同程度であるが、浮遊土砂量比率（実施流域 / 対照流域）は、柵設置前が平均 3.7 倍、設置後が 2.5 倍であり、設置後のほうがやや小さかった（図 16）。実施流域では今後も下層植生の回復が進むと予想され、これらの源流の浮遊土砂量の長期変化等の把握に関しては、研究事例も少なく手法も確立されていないことから、今後も引き続きモニタリングしていく必要がある。

また、大洞沢試験流域においても、実施流域全体を柵で囲んでシカを排除し、効果の検証を行った。すでに 40 年程度に渡る累積的なシカの影響を受けて谷部周辺は裸地化し、その周辺では林床にシカの不嗜好性種が繁茂する状況で柵を設置したところ、ヌタノ沢試験流域のような顕著な面的な下層植生の

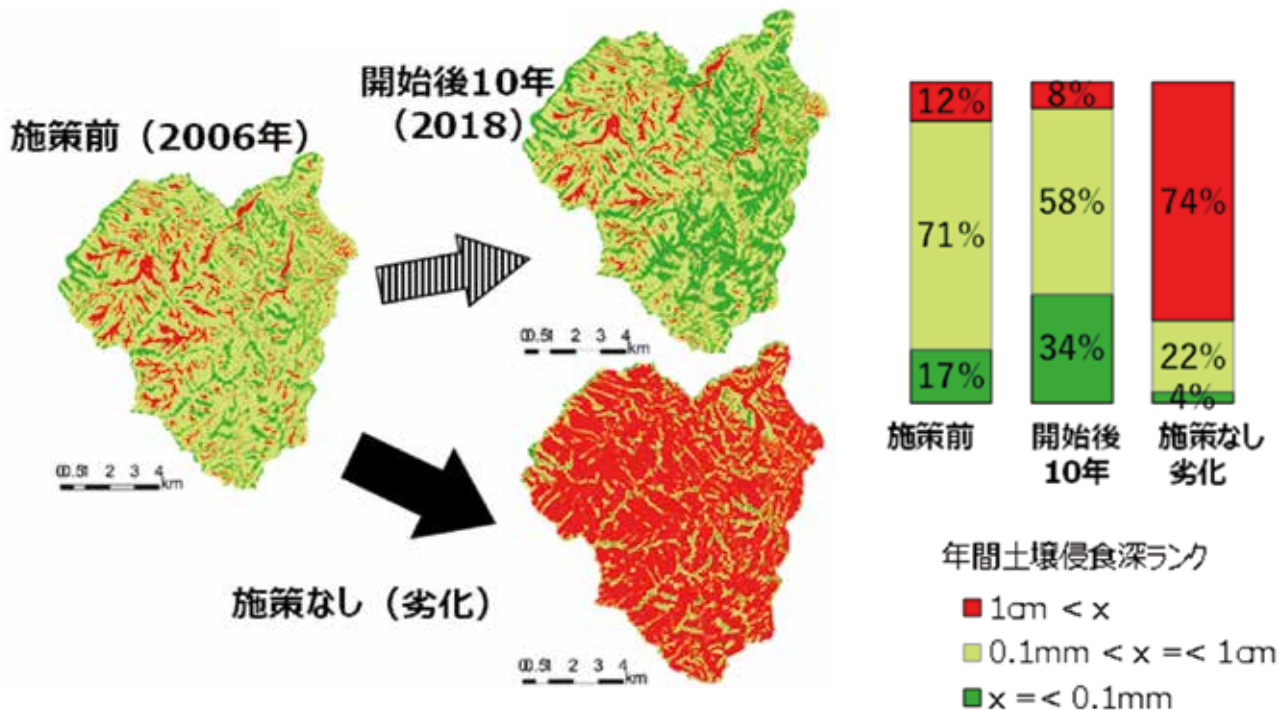


図 17 宮ヶ瀬湖上流域の年間の土壌侵食深の空間分布と面積割合の比較

回復はみられなかった。また、福島ら（2015）による芦生研究林の事例のような渓流水質における硝酸濃度の減少も明瞭ではなかった。しかし、Ohira *et al.*, (2022) によると柵設置後8年間の下層植生や土壌の調査から、柵を設置した実施流域では柵外である対照流域と異なりウツギ等の低木種が高頻度で確認されたほかケヤキやモミといった高木種もみられ、柵内で植生の遷移が進んでいることが確認された。こうした木本種の種数の増加に伴って、根茎量の増大、さらには土壌密度の低下がみられ、木本種の増加が土壌の物理性の改善につながっていることを示唆する結果が得られた（Ohira *et al.*, 2022）。

さらに、対照流域調査とは別に、観測データを活用した東丹沢の宮ヶ瀬ダム上流域を対象とした広域の水循環モデルを用いて、施策の開始前、施策開始10年後、施策をせず放置（劣化）した場合について、それぞれの下層植生状態を仮定し、土壌侵食量を解析して面的に評価した。解析にあたっては、土壌侵食実態調査で得られた知見に加え、間伐等の事業実施地の空間情報や、シカ生息密度情報等の事業関係情報を活用した。解析の結果、年間の土壌侵食深1 cm 以上の場所の面積割合は、施策開始前に12%であったものが、施策開始10年後では8%に減少し、施策を実施しなかった場合は、74%に拡大すると試算された（図17）。

2 人工林の間伐による河川流量の増加

貝沢試験流域では、前述したモニタリングのねらいに従って、間伐と簡易架線集材による間伐材搬出が流域からの浮遊土砂流出と流量に与える影響について検証を行った。白木ら（2020）によると、2012年度（平成24年度）には、実施流域（6.65 ha）で本数間伐率17%の間伐が実施され、間伐木は簡易架線により搬出した。施業による地表のかく乱を抑制するため、溪流沿いでは間伐や除伐を実施せず、新たな作業道開設や重機の使用も控えた。その結果、実施流域では間伐後に流出量の増加が認められ、その量は年間降水量を1,800 mm とすると100 mm の流出量の増加であり、増加分の60mm が基底流出と推定された（白木ら, 2020）。また、間伐・搬出も浮遊土砂量の増加は認められず、本試験で行った森林整備手法では浮遊土砂流出の増加を伴わないことが示された（白木ら, 2020）。

大洞沢試験流域においては、現地での蒸発散量の十分なデータ取得に先立ち、既往文献を元に間伐（立木密度の変化）に伴う蒸発散量の変化を仮定し、代表的な水文モデルを用いて立木密度変化が河川流出に及ぼす影響について検討した。Momiya *et al.*, (2021) によると、間伐に伴い年間の総流出量は増加するとの結果が得られた。ただし、そのほとんどは渇水年の渇水時の流出量の増加には寄与しないこ

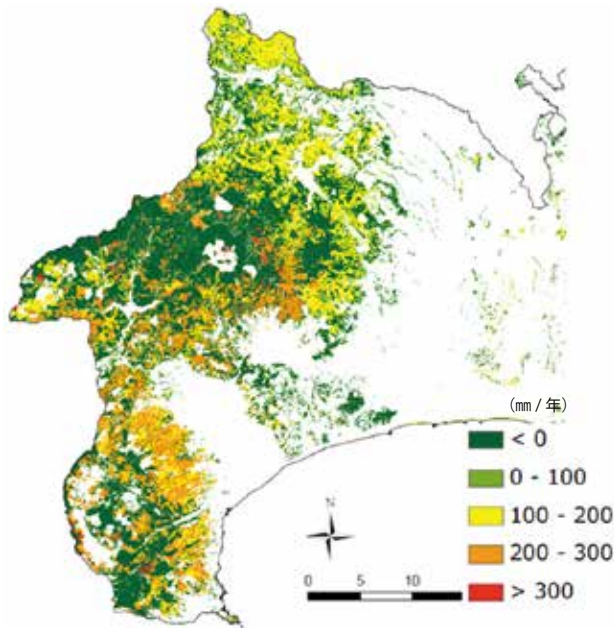


図 18 利用可能な水資源量
水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2024)

と、また、間伐による渇水時の流出増加量には流域の保水性も影響し、流域の保水性が高いほうが大きくなることも示唆された (Momiya *et al.*, 2021)。

さらに、最終評価報告書の概要版には、人工林の間伐により増加した利用可能な水資源量の試算が掲載された。これは、森林管理の影響に焦点を当てた水源かん養機能評価に向けて手法開発された蒸発散モデルを活用したものである。Inokoshi *et al.*, (2023) によると、森林管理の指標である樹種 (針葉樹・広葉樹)、樹高、立木密度を用いて、多様な林分で構成される流域スケールの蒸発散量を推定することができる。県内 4 箇所における対照流域法調査では、水源地域全体の事業効果を把握することは困難であるため、この手法を用いて、森林の情報を踏まえつつ、既存の航空レーザ計測データを使用して、施策実施前と 2021 年度 (令和 3 年度) の蒸発散量を推定した。施策実施前と 2021 年度 (令和 3 年度) を比べると、降水量から蒸発散量を差し引いた理論上利用可能な水資源量は、年間で 61mm (4948 万 m^3) 増加したと試算された。これは、神奈川県の上水道の年間供給量 (生活用) のおよそ 6.3% にあたる量であった (図 18) (水源環境保全・再生かながわ県民会議, 2024)。

VI まとめ

神奈川県では、水源施策を推進する仕組みの中で、森林の水源かん養機能評価に取り組んできた。従来、森林の水源かん養機能評価は、森林の無い場合との比較により評価されてきたが、水源施策においては、下層植生の回復等の森林の状態変化による水源かん養機能維持向上効果の検証が求められていた。

当センターは、大学等の研究機関と連携し、とくに 2000 年代以降に進展した森林水文学の最新の知見を活用して県内 4 か所の試験流域における事業効果を検証するためのモニタリングを実施した。検証にあたっては、森林の水循環全体を視野に入れ、試験流域の水流出機構などの実態を把握した。

各試験流域においては、植生保護柵の設置や間伐等を行い、森林の状態の変化と水や土砂の流出との関係を検証した。これまで県民会議に示した主な検証結果は、次のとおりである。下層植生の回復による水源かん養機能維持向上効果に関しては、ヌタノ沢試験流域で得られた下層植生回復に伴う水の濁りの減少に関するモニタリング結果と広域の水循環モデルにより試算した土壌侵食の面的な改善効果である。間伐に伴う蒸発散量の変化による水源かん養機能維持・向上効果は、貝沢等で得られた間伐による流量の増加と地表かく乱に配慮した施業による一時的な負の影響の抑制、さらにあくまでも試算であるが蒸発散モデルを活用した県内水源地域の森林の施策前後の利用可能な水資源量の増加 (試算) である。当初求められていた、施策の効果を説明するという観点では、役割を果たしつつあると言えるだろう。

また、それだけでなく、流域スケールで長期的に水や土砂の流出を把握でき、地域ごとに特徴的な水流出機構など、森林の水循環の実態がある程度明らかになったことが大きな成果である。降水量や地質等の地域性を踏まえると、森林に求められる水源かん養機能は地域によって異なり、各地域で水源かん養機能への理解を深めることで森林管理の目標設定にもつながってくるだろう。

順応的管理の観点でも、こうした成果を、次の計画立案に反映させていくことが有効である。明治時代には、水源かん養機能の科学的な裏付けが十分でないまま政策・制度が先行して確立されたが、このことによって社会的な課題に対応する順応的管理による取組が実質的に始まり、現在まで続いてきたと解釈することもできる。人間側が森林に求める水源かん養機能は、時代や自然状態により変化するため、

結果的に得られる水源かん養機能を理解するだけでなく、その元になっている森林の水循環などの自然の仕組みへの理解を深める必要がある。とくに、豪雨の激化などの近年の新たな課題に対して、森林の水循環への理解に基づいて森林を管理していくことは一層重要であり、それが近年提唱されている「自然に基づく解決策 (Nature-based Solutions:NbS)」とも重なってくるだろう。

さらに、丹沢等の自然環境管理に取り組む当センターにおいて、外部の研究機関との協働によるモニタリングの実施は一つの好事例となっている。こうした取組は、多くの研究者や大学の研究室の学生の方々等の参画なくしては到底実施できるものではない。研究部門では、モニタリングだけでなく、そうした連携についても手探りですすめてきた。現在のネイチャー・ポジティブに向かう流れの中で、研究成果の社会実装といった側面でも、行政と研究者の連携は一層重要になる。当センターは、これまでの経験を共有し活かすことで、今後も行政と研究者の橋渡しの役割を担っていくことができるだろう。

VII謝辞

本県における森林の水源かん養機能評価の取組は、当センター研究部門の担当となっているが、取組の計画から実施に至るまで外部の研究者や学生の方々、観測設備等に関する専門業者、庁内関係者等、多くの方々の指導・協力により実行できたものである。研究連携課においても、歴代の特別研究員、非常勤職員などを含め、多くの方が携わることで実施することができた。また、本稿の執筆にあたって関係の方々にご助言をいただいた。この場を借りて感謝の意を表する。

VIII参考文献

- Abe Y, Uchiyama Y, Saito M, Ohira M, Yokoyama T (2020) Effects of bedrock groundwater dynamics on runoff generation: a case study on granodiorite headwater catchments, western Tanzawa Mountains, Japan. *Hydrological Research Letters*. 14(1), p62-67.
- 安部豊・内山佳美 (2022) 広域の地下水流動を把握

- する—自治体と地球研の連携研究による地域貢献—, 陀安一郎・申基澈・鷹野真也編, 同位体環境学がえがく世界: 2022 年版
- 畢力格図・石川芳治・白木克繁・若原妙子・海虎・内山佳美 (2013) 丹沢堂平地区のシカによる林床植生衰退地における降雨量、降雨係数及び地表流出量と土壌侵食量との関係, *日本林学会誌* 95: 163-172.
- 初磊・石川芳治・白木克繁・若原妙子・内山佳美 (2010) 丹沢堂平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壌侵食量の関係, *日本林学会誌* 92: 261-268.
- 福島慶太郎・立岩沙知子・高柳敦・吉岡崇仁 (2015) 京都府芦生研究林におけるニホンジカによる植生被害と森林生態系への影響, *水利科学* No. 345: 65-83
- 五味高志 (2023) 森林の水源涵養機能評価の今日的課題と展望, *森林技術* No. 975: 2-6.
- 海虎・石川芳治・白木克繁・若原妙子・畢力格図・内山佳美 (2012) ブナ林における林床合計被覆率の変化が地表流出率に与える影響, *日本森林学会誌* 94: 167-174.
- 服部重昭 (2011) 第5章森林と水循環. 77-93. *水の環境学*, 清水裕之・檜山哲哉・河村則行編, (財)名古屋大学出版会
- 平岡真合乃・五味高志・小田智基・熊倉歩・宮田秀介・内山佳美 (2013) 大洞沢試験流域における流出土砂量と土砂生産源の季節変動, *神奈川県自然環境保全センター報告*, 10: 71-79.
- 本田美里・内山佳美・増子和敬 (2025) 水源環境保全・再生施策に関する公開資料の再収録について, *神奈川県自然環境保全センター報告*, 19: 49-78
- Inokoshi S, Gomi T, Chiu CW, Onda Y, Hashimoto A, Zhang Y, Saitoh TM (2023) A watershed-scale evapotranspiration model considering forest type, stand parameters, and climate factors. *Forest Ecology and Management*, 547, 121387.
- 石川芳治・白木克繁・戸田浩人・若原妙子・宮貴大・片岡史子・中田亘・鈴木雅一・内山佳美 (2007a) IV 堂平地区の林床植生衰退地での土壌侵食および浸透の実態, 445-458. 丹沢大山自然環境総合調査報告書. 丹沢大山総合調査団編,

- 794pp, 財団法人平岡環境科学研究所, 相模原市.
石川芳治・白木克繁・戸田浩人・浅野敬尋・鈴木雅一・内山佳美 (2007b) V 堂平地区における緊急土壌侵食対策試験施工の土壌侵食軽減効果, 459-468. 丹沢大山自然環境総合調査報告書. 丹沢大山総合調査団編, 794pp, 財団法人平岡環境科学研究所, 相模原市.
- 神奈川県 (2005) かながわ水源環境保全・再生施策大綱. 59pp, 神奈川県企画部土地水資源対策課, 横浜.
- 神奈川県県央地域県政総合センター水源の森林部 (2021) 早戸川森林史, 220pp
- 神奈川県農政部林務課 (1984) 神奈川の林政史, 963pp, 神奈川県, 横浜
- 神奈川県林務課 (出版年不明) 関東震災荒廃林地復旧事業報告, 35pp, (昭和4年までの記述有り)
- 神奈川県自然環境保全センター (2013) 神奈川県自然環境保全センター報告第10号, 287pp
- 小松光 (2007) 日本の針葉樹人工林における立木密度と遮断率の関係. 日本森林学会, 89(3) : 217-220.
- 小杉賢一朗 (2007) 森林の水源涵養機能に土層と透水性基岩が果たす役割の評価. 水文・水資源学会誌, 20(3) : 201-213.
- 蔵治光一郎 (2003) 森林の緑のダム機能 (水源涵養機能) とその強化にむけて. 76pp, (社) 日本治山治水協会, 東京.
- 蔵治光一郎・保屋野初子 (2004) 緑のダムー森林・河川・水循環・防災, 260pp, 築地書館株式会社
- Momiyama H, Kumagai T, Egusa T. (2021) Model analysis of forest thinning impacts on the water resources during hydrological drought periods, *Forest Ecology and Management*, 499, 119593
- 森康二・多田和広・佐藤壮・柿澤展子・内山佳美・横山尚秀・山根正伸 (2013) 神奈川県水源エリアの3次元水循環モデル, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10:215-223.
- 虫明功臣・高橋裕・安藤義久 (1981) 日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果. 土木学会論文報告集, 309 : 51-62.
- 永野裕子 (2023) SWATモデルを用いた森林の水源涵養機能の評価～林野庁調査事業における取組の紹介～, 森林技術 No. 975 : 12-15.
- 中村太士 (2003) 河川・湿地における自然復元の考え方と調査・計画論ー釧路湿原および標津川における湿地, 氾濫原, 蛇行流路の復元を事例としてー. 応用生態工学 5(2) : 217-232.
- 日本学術会議 (2001) 地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について (答申), 104pp
- 小田智基・鈴木雅一・内山佳美 (2013a) 東丹沢大洞沢試験流域における水収支・流出特性ー地下部における水移動の影響ー, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10:47-52.
- 小田智基・鈴木雅一・内山佳美 (2013b) 東丹沢大洞沢試験流域における窒素流出機構, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10:53-57.
- 大平充・五味高志・内山佳美 (2021) シカの食害が山地流域からの流出土砂量に及ぼす影響 神奈川県丹沢山大洞沢観測所における水と土砂動態観測. 125-133. 砂防の観測の現場を訪ねて2ー山地河川内の複雑な土砂の動きを知るー, 公益社団法人砂防学会出版プロジェクト委員会編, 公益社団法人砂防学会
- Ohira M, Gomi T, Iwai A, Hiraoka M, Uchiyama Y (2022) Ecological resilience of physical plant-soil feedback to chronic deer herbivory: Slow, partial, but functional recovery, *Ecological Applications*, Volume 32, Issue 7, October 2022
- 恩田裕一編 (2008) 人工林荒廃と水・土砂流出の実態. 245pp, 岩波書店
- 太田猛彦 (2002) 日本学術会議答申「農業・森林の多面的な機能」〈第Ⅲ章森林の多面的機能〉の読み方, 林業技術 719 : 8-17.
- 太田猛彦 (2005) 森林の多面的な機能とゾーニングー機能の「階層性」を考えるー, 森林科学 43 : 11-17.
- 太田猛彦 (2012) 森林飽和 国土の変貌を考える, 254pp, NHK 出版
- 林野庁 (2023) 森林の水源涵養機能に係る解説資料, 91pp
- 森林における生物多様性保全の推進方策検討会 (2009) 森林における生物多様性の保全及び持続可能な利用の推進方策, 46pp
- 白木克繁・片岡宏介・工藤司 (2013) 貝沢試験流域

- における隣接する三流域の降雨流出特性と浮遊土砂動態, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10:81-89.
- 白木克繁・金澤悠花・工藤司・片岡宏介・ウジムセ・内山佳美 (2020) 簡易架線集材による森林整備が流出浮遊土砂量と流域流出量に与える影響. 水文・水資源学会誌, 33(2), 47-55.
- 水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2024) かながわ水源環境保全・再生施策最終評価報告書 (暫定版) 概要, 7pp
- 田中隆文 (2014) 「水を育む森」の混迷を解く「注目する要因だけの科学」から「全てを背負う科学」への転換, 169pp, (社) 日本治山治水協会
- 東京大学大学院農学生命科学研究科 (2020) 2019年度大洞沢における流域水収支に関する調査・研究報告書, 106pp
- 東京農工大学 (2023) 令和4年度対照流域調査地土砂流出動態評価研究報告書, 286pp
- 辻千智・戸田浩人・崔東寿 (2013) 神奈川県の貝沢試験流域における窒素動態特性、神奈川県自然環境保全センター報告, 10:91-99.
- 内山佳美・山根正伸 (2008) 森林における水環境モニタリングの調査設計—大洞沢における検討事例—, 神奈川県自然環境保全センター報告, 5:15-24.
- 内山佳美・山根正伸・横山尚秀・山中慶久 (2013a) 神奈川県における水源環境保全・再生施策の検証手法とその実施状況, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10:1-12.
- 内山佳美・山根正伸 (2013) 対照流域法によるモニタリング調査のための観測システムの整備, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10:13-21.
- 内山佳美・横山尚秀・山根正伸 (2013b) 西丹沢ヌタノ沢試験流域における平成23年度の台風による土砂流出の概況, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10:115-122
- 内山佳美・中嶋伸行・横山尚秀・山中慶久 (2014) 東丹沢大洞沢における治山事業による水文観測の記録, 神奈川県自然環境保全センター報告, 12:17-26.
- 内山佳美・横山尚秀・三橋正敏 (2015) 西丹沢ヌタノ沢の流出特性. 神奈川県自然環境保全センター報告, 13:39-47.
- 内山佳美・横山尚秀・三橋正敏・島田武憲 (2018) 西丹沢ヌタノ沢における濁度計による浮遊土砂観測結果, 神奈川県自然環境保全センター報告, 15:29-35.
- 内山佳美 (2025) かながわ水源環境保全・再生施策における森林関係事業の評価～モニタリング担当者からみた17年間の取組～, 神奈川県自然環境保全センター報告, 19:1-16.
- 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—. 日本林学会誌 90:378-385.
- 山口県 (2009) やまぐち森林づくり県民税関連事業評価報告書, 123pp
- 横山尚秀・内山佳美・三橋正敏・丸山範明・板寺一洋 (2018) 県西部の4試験流域における水循環機構解明のための溪流調査, 神奈川県自然環境保全センター報告, 15:11-28.

水源林整備としての間伐が人工林生態系の生物多様性に及ぼす効果の検証 —調査の開始の経緯と進捗状況について—

谷脇 徹*・田村 淳*,**

Verification of effectiveness of thinning for the water source forestation on biodiversity in plantation ecosystems: starting process and progress of a survey

Toru TANIWAKI *, Atsushi TAMURA *, **

I. はじめに

神奈川県は、2007 年度（平成 19 年度）から 2026 年度（令和 8 年度）までの 20 年間の計画で、「良質な水の安定的確保」を目的とした水源環境の保全・再生施策に取り組んでいる。この施策では、手入れ不足の人工林、すなわち林内が暗く、林床植生が乏しく、水源かん養機能の基盤となる土壌の流出が生じている人工林において、林床植生を増加させ、土壌保全機能を高めるための対策として、林内の光環境を改善するための間伐や、ニホンジカによる採食から林床植生を保護する柵の設置等の事業を行っている。事業の効果については、林床植生の増加状況を指標とした検証が行われている（田村ら 2013）。施策評価の枠組みとしては、事業のより多面的な効果を把握するため、森林水文学分野で用いられる対照流域法による水源かん養機能の検証（内山 2025）に加えて、生物多様性保全機能への波及効果についても検証を行うことが求められている。

そこで県では、生物多様性保全機能に着目した事業効果の検証に向けて、間伐が林床植生（森林生態系における生産者）の増加を通じて、土壌動物（同分解者）や、昆虫類、鳥類および哺乳類（同消費者）

に及ぼす効果（図 1）を把握するための調査（以下、生態系調査）を 2013 年度（平成 25 年度）から実施している。本稿では、2026 年度（令和 8 年度）に終了する施策の最終評価とその後の取組に向けた資料として、調査を実施するに至った経緯や、全国的にみても前例のない水源林整備地での生物多様性に係る総合的な調査を実施するうえで必要となった各種検討事項、および現時点での調査解析の実施状況について解説する。

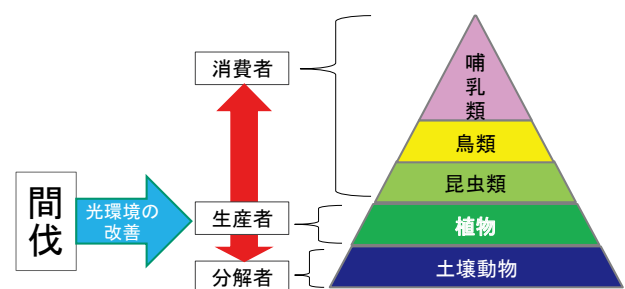


図 1 間伐が人工林生態系の生物多様性に及ぼす効果の模式図

II. 生態系調査の実施の経緯

県は、水源かん養機能を高度に発揮する森林づくりを進めるため、1997 年度（平成 9 年度）から手

* 神奈川県自然環境保全センター研究企画部研究連携課（〒243-0121 神奈川県厚木市七沢 657）

** 現：神奈川県自然環境保全センター自然保護公園部野生生物課（〒243-0121 神奈川県厚木市七沢 657）

入れ不足の私有林を対象として、森林所有者に代わって間伐などの森林整備を行う「水源の森林づくり」事業に取り組んでいる。2007年度(平成19年度)からは、県民からの超過課税(水源環境保全税)を財源とした「かながわ水源環境保全・再生施策」が始まり、水源の森林づくり事業も当施策に位置付けられ、取り組みを促進、拡充してきた。超過課税を財源とするかながわ水源環境保全・再生施策では、有識者や関係団体、一般公募委員で構成される「水源環境保全・再生かながわ県民会議(以下、県民会議)」が組織され、事業の成果を県民目線で評価し、評価結果を事業にフィードバックする「県民参加型税制」のしくみが構築された。

生態系調査の必要性は、県民会議により指摘された。すなわち、2011年度(平成23年度)の第19回(第2期第11回)県民会議において、『水源環境保全・再生施策の効果を多面的に把握し、成果を分かりやすく県民に説明するため、現行の調査・評価手法の中に、水循環を考慮した森林生態系の要素を加味する』ことの必要性が指摘された(神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課2025a)。これを受けて、2012年度(平成24年度)に学識経験者によるワークショップが2回開催され、『水源かん養機能の向上に対する機能評価の実施には時間的な制約があることから、相互補完的な施策評価の枠組みとして、森林生態系の健全化に対する機能評価の実施を、別途組み入れる』ことが提案された(イー・アンド・イーソリューションズ株式会社2013)。このような県民会議による提案を受けて、県では2013年度(平成25年度)から生態系調査に着手した。

Ⅲ. 調査地で行われる森林整備

生態系調査は、水源の森林づくり事業の効果検証の一環で実施するものであり、調査の前提として、調査地でどのような森林整備が行われているかの理解が不可欠となる。ここでは「水源林整備の手引き」(神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課2022)を参考として、水源林整備としての間伐の基本的な考え方について情報を整理しておきたい。なお、実際の間伐では、確保時の森林の状態や、立地条件など現地のような状況により、柔軟な対応が求められた。

生態系調査で調査対象とする森林は「水源協定林」である。森林所有者との協定(借り上げなど)に基

づいて人工林や広葉樹林を整備する水源協定林は、私有林を水源林として公的管理・支援を行う際の6つの手法(水源協定林のほか、協力協約、長期施業受委託、環境保全分収林、水源分収林、買取り)(神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課2025b)の一つであり、確保面積が最も大きく、水源施策を代表する手法である。水源協定林として確保した手入れ不足のスギ・ヒノキ人工林で目指すのは、短期的には林床植生の増加を通じて土壌保全機能を高めること、中長期的には針広混交林、すなわちスギ・ヒノキと多様な広葉樹とが混交した森林に誘導することであり、そのために間伐等の森林整備が行われている。間伐の方法としては、標準的なスギ・ヒノキ単層林の林分では、20年の契約期間のうちに、スギ・ヒノキの本数密度を500～600本/ha程度まで下げることが目標に、間伐を2～3回繰り返し実施することを基本的な考え方とする。丹沢の高齢級人工林の事例では、林床植生の植被率、現存量および種数は、間伐後3～5年程度増加し続けたのち、11年後まで横ばいで推移する(Tamura and Yamane 2017)とされ、この事例に基づく、間伐の間隔を概ね5～10年程度とし、間伐により林床植生が十分に増加するのを待ってから、次の間伐を行うのが効果的であると考えられる。間伐の対象木としては、最初は劣勢木が優先され、2～3回目の間伐では上層木も含まれる。このような段階的な間伐により、林床植生への間伐の効果は、間伐の回数を重ねることに累積することが期待された。

Ⅳ. 調査方法の検討

(1) 調査項目の選定

生態系調査では、間伐に伴う人工林生態系の変化を次のように想定した。まず間伐により、上空を遮る枝葉が減少して明るくなった林内では、林床植生が増加する。その後、動物の食物資源や採餌場所、営巣場所、隠れ家などが増加、多様化することで生息環境が改善され、その結果、動物の種数や個体数も増加することを想定した。このことを検証するために、林分や林床植生の状態と、林内環境の変化に反応する可能性がある動物について生息状況を調査することとした。

林分や林床植生の調査については、すでに水源の森林づくり等の事業効果を検証するための調査実績

表1 各分類群の調査方法一覧

分類群等		調査回	調査時期	調査区画	調査方法	機能群等(参考文献)
植物	林床植生	1～3巡目	7～8月	2m×2m小プロット10個(20m×20m固定プロット内)	地上高1.5m以下の植物種数と種ごとの被度を記録し、小プロット10個全体としての植物種数と積算被度を算出	樹木、草本・つる(神奈川県植物誌調査会2018)
	更新木	1～3巡目	9月	2m×2m小プロット10個(20m×20m固定プロット内)	樹高1.5m以下のすべての個体の樹種および樹高(1.5mスチールメジャーで計測)を記録	高木種、小高木種、低木種(神奈川県植物誌調査会2018)
	林分構造	1～3巡目	9月	20m×20m固定プロット	樹高1.5m以上のすべての個体(植栽木を含む)の樹種、樹高(検測線あるいは超音波樹高測定器で計測)および胸高直径(10mスチールメジャーで計測)を記録	高木種、小高木種、低木種(神奈川県植物誌調査会2018)
土壌動物	ササラダニ	1巡目	9～10月	20m×20m固定プロット内3箇所	5m×5m範囲で採取した2リットルのリター・腐植質・表層土壌からツルグレン装置でササラダニを抽出	M群(接門類)、G群(離門類無翼類)、P群(離門類有翼類)(青木1983)
	ミミズ	1～2巡目(丹沢は2巡目未実施)	7～8月	20m×20m固定プロット内10箇所	25cm×25cm範囲の深さ10cm土壌中のミミズを採取	大部分が既知種に同定されず生態情報が不明なためグループ分け不可
昆虫類	植食性甲虫(ハムシ・ゾウムシ)	1～3巡目	6月	20m×20m固定プロット	林床植生を対象に捕虫網を用いた15分間のスウィーピングで植食性甲虫を採集	樹木食、草本・つる食(Charles & Bassett 2005)
	地表性甲虫(オサムシ)	1～3巡目	9月	20m×20m固定プロットを横断する5m間隔2行×10列の20箇所	直径8cm×高さ12cmのプラスチックコップ20個をコップ上端が地表面と同じ高さになるように設置(ピットホールトラップ)し、1週間後に回収して地表性甲虫を採集	大型(≥20mm)、中型(≥10mm)、小型(<10mm)(Fujita et al. 2008; Iida et al. 2016)
	アリ	1～3巡目	6月、9月	20m×20m固定プロット、5m間隔2行×10列の20箇所	上述の植食性甲虫と地表性甲虫の採集時にアリも採集	森林型、生息地ジェネラリスト型、開放地型(寺山1997; Maet & Sato 2004; 江原ら2013)
鳥類		1～2巡目	5～6月(繁殖期)、1月(冬期:1巡目のみ)	20m×20m固定プロットを含む25m×25m区画	繁殖期4:30～9:30、冬期7:00～12:00に区画内の樹木や林床植生、地表に一時的に滞在した鳥類の種数と種ごとの個体数を双眼鏡による目視および鳴き声により記録(7日間以上開けて2回実施)	樹冠採食型、樹幹採食型、低木採食型、地上採食型、フライキャッチ型(奥田ら2012、2013)
哺乳類	小型哺乳類(野ネズミ)	1巡目	9～10月	20m×20m固定プロットを含む10m間隔5行×5列の25箇所	シャーマントラップ25個を3晩設置して野ネズミの捕獲数を毎日記録(記録後放逐)	アカネズミ・ヒメネズミ(Nishikata 1981)
		2020年度以降補足調査	8～9月(丹沢は年度により6～11月)	18地点の20m×20m固定プロットを含む10m間隔3行×5列～5行×5列の15～25箇所	・林床植生の状態を考慮して選定した18地点で実施 ・シャーマントラップ15～25個を5晩程度設置して野ネズミの捕獲数を毎日記録(記録後放逐) ・糞のDNA分析による食物利用植物種調査	アカネズミ・ヒメネズミ(Nishikata 1981)
	中大型哺乳類	1～3巡目	夏期、冬期	20m×20m固定プロット周辺	2台の自動撮影カメラを90日以上設置して中大型哺乳類の撮影頻度を記録	タヌキ、イノシシ、ニホンノウサギ、ハクビシン、ニホンテン(大石ら2023)
		2024年度以降補足調査	通年	20m×20m固定プロット周辺	2台の自動撮影カメラを通年で設置して中大型哺乳類の撮影頻度を記録	タヌキ、イノシシ、ニホンノウサギ、ハクビシン、ニホンテン(大石ら2023)

が多くあった。そこで、これらの調査に関するノウハウの蓄積を活かし、後述するような調査実施上の様々な制約を勘案したうえで、生態系調査用に改良した調査プロットを設定し、地上高1.5m以下の林床植生および更新木調査と、樹高1.5m以上の林分構造調査を実施することとした(表1)。すなわち、林分構造調査用に20m×20m固定プロットを全地点に1個ずつ設定し、固定プロットの中心付近には、林床植生および更新木調査用に2m×2m小プロットを10個ずつ(2m×10mを2個ずつ)設定した(図2)。

一方、動物の調査については、ニホンジカや病害虫を除き、調査の実績とノウハウの蓄積に乏しく、間伐の効果を検出しようとしたときに、どのような分類群の動物を対象として、どのような調査を行えばよいかが不明であった。そこで、調査対象とする動物分類群の選定にあたっては、県民会議によって示された以下の考え方(イー・アンド・イーソリュー

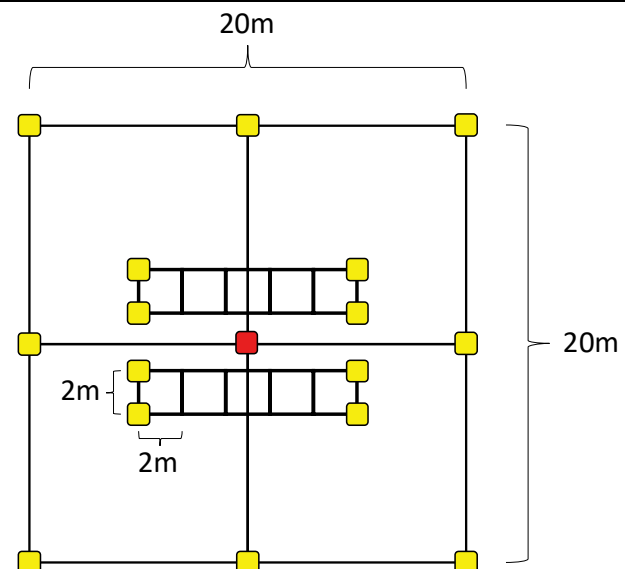


図2 毎木調査用20m×20m固定プロットにおける林床植生調査用2m×2m小プロット10個(2m×10mを2個ずつ)の配置模式図

20m×20m固定プロットには10m間隔の格子状に赤色(中心)および黄色のプラスチック杭を設置。2m×2m小プロットについては各2m×10mの4角に黄色のプラスチック杭を設置。

ジョンズ株式会社 2013) を参照した。すなわち、分類群の選定の考え方としては、『多角的視点から森林生態系の状況を把握するため、生態的ニッチ(それぞれの種に特有の生息環境要因)が異なっていたり、食物連鎖上の位置が異なっている対象種群、或いは群集を複数選定することが必要』であり、『比較的早い段階から自然の豊かさへの変化や生物多様性の向上が読み取れ、現実的に調査可能な種群に注目して検討することが重要』とされた。そのうえで、具体的な森林生態系の要素として、①植生、②土壌、③野生動物の3区分が提案された。そして、それぞれの区分の内容として、①植生—土壌—ニホンジカ—森林整備等の関連性の把握、②有機物のたまり具合や土壌動物、土壌の発達度の評価、③飛翔性昆虫や地上性徘徊昆虫、水生昆虫、鳥類の生息状況に加え、キーストーン種(ニホンジカ)とアンブレラ種(クマタカ、ツキノワグマ)の個体群の評価が示された。

以上のように、県民会議から、森林生態系に係る総合的な調査が提案されたことを踏まえ、生態的ニッチや食物連鎖上の位置が異なる動物として、土壌動物(分解者)と昆虫類、鳥類および哺乳類(消費者)を対象とすることとした(図1)。そのなかで、環境指標として用いられていて情報の蓄積があり、それ故に上述の20m×20m固定プロット(図2)の範囲において間伐による林床植生の増加への応答が想定され、調査の実現可能性が高い複数の分類群を検討した。その結果、土壌動物ではササラダニおよびミミズ、昆虫類では植食性甲虫(ハムシ・ゾウムシ)、地表性甲虫(オサムシ)およびアリであり、鳥類のほか、哺乳類では小型哺乳類(野ネズミ)および中大型哺乳類を調査対象とすることとした。各分類群の調査方法については、既往文献や専門家の意見を参考にして、各分類群の調査で用いられている方法を、上述20m×20m固定プロット(図2)内とその周辺での調査用に改良した(表1)。調査時期は、出現期間を広くカバーするのが理想であったが、広域多地点で調査を実施するうえでの予算等の制約により、分類群ごとの代表的な出現時期に絞り込むこととした(表1)。なお、県民会議から提案された分類群のなかで、溪流や河川を生息環境とする水生昆虫については、すでに水源かん養機能の検証のなかで調査が行われていた(例えば石綿ら2013)ので、生態系調査では扱わないこととした。

また、アンブレラ種とされたクマタカやツキノワグマについては、個体数が少ないうえに行動圏が広く、20m×20m固定プロットでの局所的な調査では、生息は確認されるもののその頻度は低く、間伐や林床植生との関係を見いだすのは困難であったため、調査対象から除外した。

(2) 調査地の選定

水源協定林は、県の北西部から南西部にかけての広範囲(城山ダム、宮ヶ瀬ダムおよび三保ダムの上流域を中心とする水源の森林エリア約60,900ha)に分布する森林で広く確保(平成9年度から令和5年度までに約12,986ha)されている(神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課2025b、c)。しかし、確保時の立木密度および林床植生の状態や、確保後の経過年数および整備の進捗状況は、林分によって様々であり、そのなかから条件を絞り込み、間伐と林床植生との関係を検証するのに適した林分を選定する必要があった。

そこで、調査地選定の条件として、まず地質やニホンジカの生息状況等に差異のある小仏山地、丹沢山地および箱根外輪山の3地域において、代表的な林相であるスギ林、ヒノキ林および広葉樹林の3種類から選定することとした(図3)。3種類の林相は、近い場所で1組ずつ選定することを基本とした。次に、間伐後の植生の増加にはタイムラグがある(Tamura and Yamane 2017)ことを念頭に、間伐の有無および間伐後の経過年数の違いに主眼を置き、①未間伐、②1回目の間伐後1～3年経過および③4～8年経過の地点を選定した。地点数については、林分および林床植生の状態や動物の生息状況が地点によってばらつくことが想定され、傾向を見いだすのに、統計的な検出力を考慮した地点数(サンプル数)を確保する必要があった。ただし、予算、研究員の体制、委託会社の対応可能な業務量など、調査実施上の様々な制約があることを勘案し、各地域の林相ごとに、少なくとも9地点ずつを確保する方針とした。また、ニホンジカの採食影響が大きい丹沢山地では、柵内地点を追加で組み合わせる調査地も設けた。以上の考え方にに基づき、水源林の台帳をもとに、GIS上で条件に合う候補地を絞り込んだうえで、現地をすべて踏査し、林分および林床植生の状態のほか、周辺環境やアクセスのしやすさなども考慮して調査地を選定した。以上により選定した地点

数は、小仏山地 27 地点（スギ林 9 地点、ヒノキ林 9 地点、広葉樹林 9 地点）、丹沢山地 38 地点（スギ林 14(3) 地点、ヒノキ林 13(1) 地点、広葉樹林 11(2) 地点、カッコ内は柵内地点数）、箱根外輪山 21 地点（スギ林 9 地点、ヒノキ林 9 地点、広葉樹林 3 地点）の合計 86 地点と大規模なものとなった（表 2）。なお、箱根外輪山の広葉樹林の地点数は、調査に適した林分が少なかったため、3 地点に留まった。すべての調査地で諸条件を揃えることは困難であり、スギ・ヒノキ林における林齢（31～95 年）、成立密度（225～1,800 本/ha）、平均胸高直径（21～42cm）のほか、斜度（6～40°）や斜面方位など地形の要素は、地点によってばらついた。標高についてもばらつきがあったが、植生の種構成が大きく変化しない範囲（標高 135～620m）とした。一

部の地点は 2 巡目調査で別地点に変更する必要があったが、合計地点数に変更はない。

（3）調査のスケジュールおよび進め方の検討

水源協定林で繰り返し行われる間伐の効果を検証するには、一時点だけの調査では不十分であり、事業の進捗に応じた調査を定期的に行う必要があった。そこで、水源林での間伐の間隔（概ね 5～10 年程度）と、間伐後の植生増加に必要な期間（3～5 年程度）（Tamura and Yamane 2017）を考慮し、4 年程度の間隔で調査を実施する計画とした。そして、予備調査を 2013 年度（平成 25 年度）に実施したうえで、1 巡目調査を 2014～2015 年度（平成 26～27 年度）、2 巡目調査を 2017～2019 年度（平成 29～令和元年度）に実施した（表 3）。ただし、2 巡目

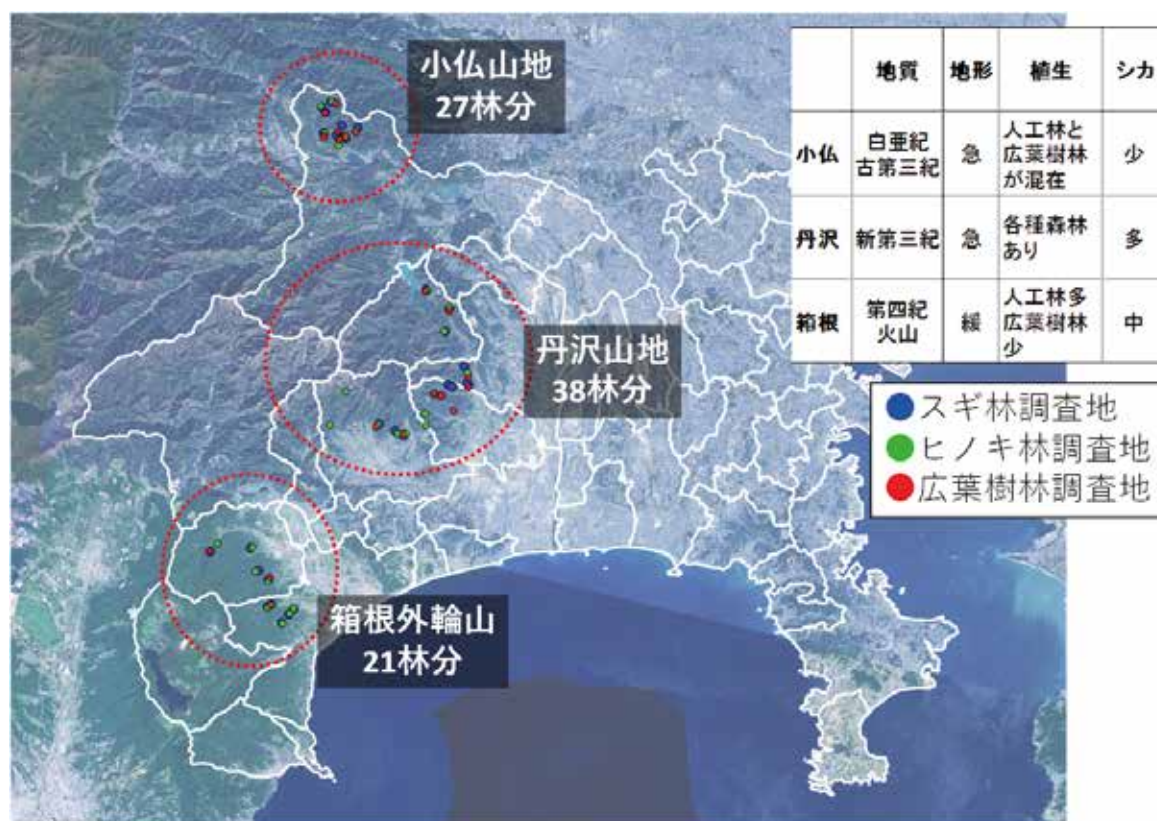


図3 調査地点の位置図（初期設定時点）

表2 各地域の林相別および間伐前後の調査地点数の集計

地域	スギ林		ヒノキ林		広葉樹林		計
	間伐前	間伐後	間伐前	間伐後	間伐前	間伐後	
小仏山地	3	6	3	6	3	6	27
丹沢山地	4	10(3)	3	10(1)	3	8(2)	38(6)
箱根外輪山	3	6	3	6	1	2	21
合計	10	22(3)	9	22(1)	7	16(2)	86(6)

調査が完了した時点では、水源林整備で目標とする500～600本/haに達していない地点が多数あり、より事業が進捗した段階での調査を行う必要があったため、3巡目調査を2022～2023年度（令和4～5年度）に実施した（表3）。各回の調査にあたっては、時点ごとの見直しを行い、前回の調査結果や予算、配置された研究員の専門性などを考慮し、対象とする分類群を段階的に絞り込む必要があった。具体的には、ササラダニは1巡目まで、ミミズは2巡目途中まで（丹沢は未実施）、鳥類は2巡目までとなった（表1）。小型哺乳類（野ネズミ）の調査は1巡目でいったん終了したが、専門とする研究員が配置されたことにより、2～3巡目の補足調査として、2020年度以降、林床植生の状態を考慮して選定した18地点（各地域スギ・ヒノキ林で林床植生が多い1地点、中庸の1地点、少ない1地点の3地点、広葉樹林で同様の3地点、計6地点ずつ）に絞り込んで実施するようになった（表1）。また、中大型哺乳類については、限られた時期の調査では傾向を見出すのが難しい種が多かったことから、補足調査として、通年での調査を2024年度以降実施している（表1）。一連の現地調査は、1巡目の植生調査は研究員が直営で実施したが、それ以外の調査は、調査会社への業務委託により実施した。

生態系調査はノウハウの蓄積が乏しいなかで実施しているため、調査方法および得られた結果の解釈や解析方法について、専門家から助言を得ながら進めていく必要があった。そこで、特に初回（1巡目）調査（予備調査を含む）については、現地調査から解析までの期間にあたる2013～2016年度（平成25～28年度）に、毎年1回プロジェクト委員会を開催し、有識者7名（森林施業、植生、土壤動物、昆虫、動物など各分野の専門家）に意見を伺いながら調査を進める体制とした。また、ササラダニとミ

ミズの調査は、それぞれの分類群の専門家の指導を受けながら実施した。あわせて、とりまとめ結果の評価を受けるため、外部有識者（3～4名）を委員とする成果評価部会を、2015年度（平成27年度、1巡目調査期間中）、2018年度（平成30年度、2巡目調査期間中）および2024年度（令和6年度、3巡目調査終了後）に開催した。2019年度（令和元年度）には、2巡目までの調査結果を総合的に解析するため、大学への総合評価研究委託を実施した。このように森林生態系調査には、多くの外部有識者の協力を得ながら進めてきた経緯がある。

V. 調査の実施状況

以上の方法で実施してきた調査により、水源林整備としての間伐が森林生態系に及ぼす効果について情報が蓄積された。現地調査はすでに3巡目まで実施済みであるが、調査項目と調査地点数が多いために得られたデータは膨大であり、現在はデータの整理と解析を順次進めている段階にある。本稿では、現時点でまとまった解析結果が得られている項目について概要を紹介する。なお、間伐の効果検証を目的とする本稿では、スギ・ヒノキ林の調査結果を紹介する。

（1）植物

植物については、1～2巡目の調査結果を間伐の実施状況の違いから3パターンに分けて集計した（図4）。すなわち、①1～2巡目調査間に1回目の間伐が実施された地点（15地点）、②1巡目調査前に1回目の間伐が実施されたが、1～2巡目調査間には間伐が実施されなかった地点（18地点）、③1巡目調査前に1回目の間伐が実施され、1～2巡目調査間に2回目の間伐が実施された地点（26地点）

表3 第2期～第4期水源環境保全・再生実行5か年計画期間中の調査スケジュール

地域	第2期5か年計画					第3期5か年計画					第4期5か年計画				
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
小仏山地		予備調査	1巡目調査		補足調査・総合解析	2巡目調査			補足調査・総合解析	補足調査・総合解析	3巡目調査	補足調査	補足調査・総合解析	補足調査・総合解析	最終とりまとめ
丹沢山地				1巡目調査				2巡目調査			補足調査	3巡目調査			
箱根外輪山			1巡目調査				2巡目調査				3巡目調査	補足調査			

の3パターンに分けて集計した。なお、図4の林床植生の積算被度（出現した植物種ごとの被度の合計値）と植物種数については、Taniwaki et al. (2024) で解析に用いた1巡目データに、新たに得られた2巡目データを追加して再解析したものである。Taniwaki et al. (2024) は1回目間伐に対する林床植生の時系列変化を1時点（1巡目のみ）のデータから推定したものであったが、本稿では、同一地点の2時点のデータを用いることにより、2回目間伐

を含め、間伐に対する林床植生の実際の反応を示した点に新規性がある。この集計結果をみると、1～2巡目調査間に間伐を行った地点では、1回目と2回目のどちらの間伐の場合でも、林床植生の積算被度が有意に増加したことが分かる（図4）。調査開始時には、劣勢木を対象とした間伐によって林床植生が増加するかどうかの情報が乏しかったが、調査を進めるなかで、当初の想定どおり、手入れ不足の人工林で行った水源林整備としての間伐は林床植生

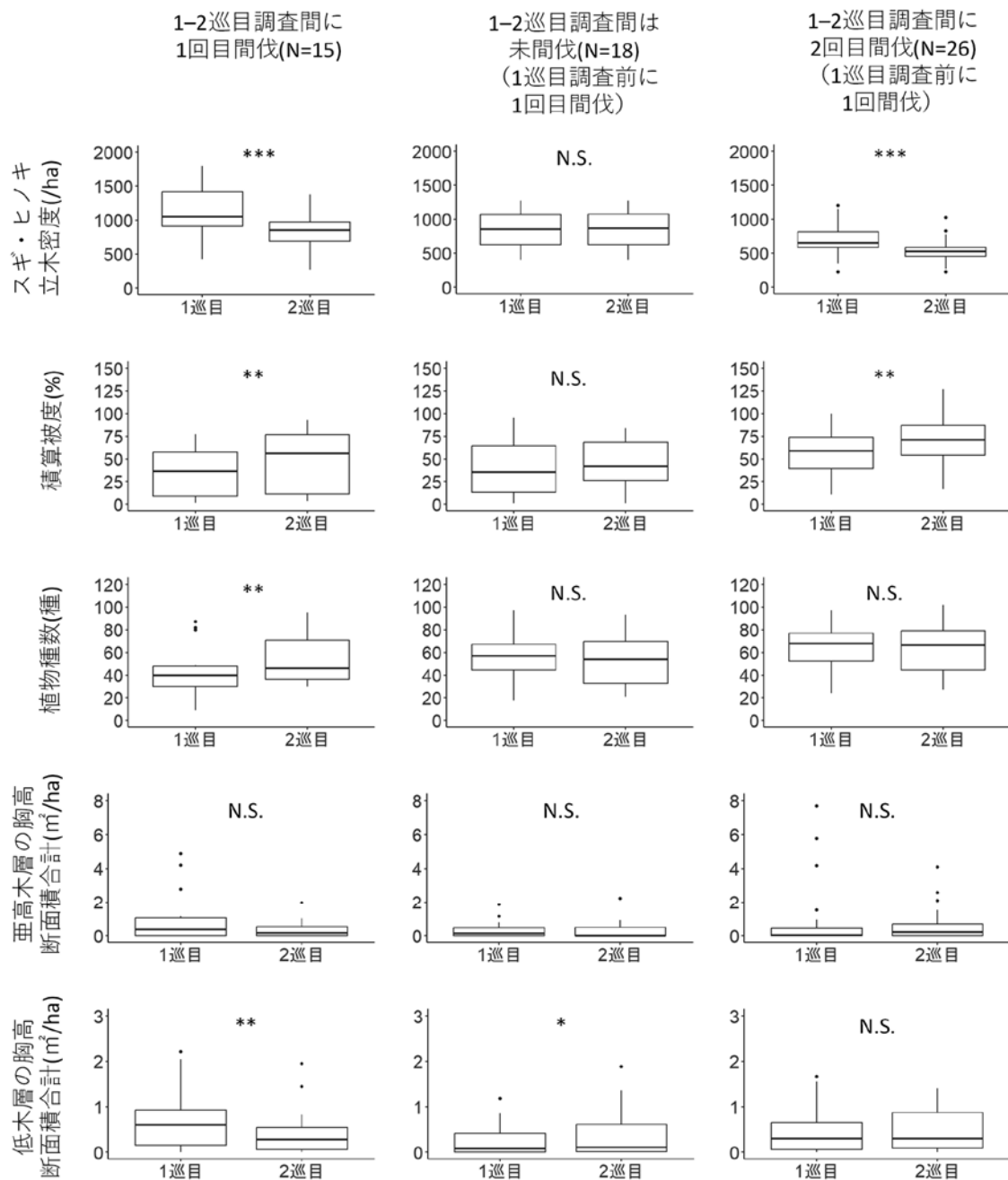


図4 1～2巡目調査間での間伐の有無による立木密度、林床植生の積算被度および植物種数、亜高木層（樹高5～10m）および低木層（樹高1.5～5m）の胸高断面積合計の比較

箱ひげ図は、ひげ下端が最小値、箱下端が第一四分位、箱内横線が中央値、箱上端が第三四分位、ひげ上端が最大値を示し、黒丸は外れ値を示す。***は0.1%水準、**は1%水準、*は5%水準で有意差があることを示す（ウィルコクソンの符号順位検定）。

を増加させ、水源かん養機能の基盤となる土壌保全機能の向上に資することを期待できる結果が得られた。1回目の間伐は、植物の種多様性（種数）を有意に増加させることも分かった（図4）。植物種数への同様の効果が2回目間伐でみられなかった（図4）要因は不明であり、今後検討する必要がある。

一方、材分構造については、2巡目の調査時点では、間伐による階層構造の発達の様子がみられているとはまだ言えない。すなわち、亜高木層（樹高5～10m）の資源量を指標する胸高断面積合計には、1回目と2回目のいずれの間伐でも、有意な変動はみられていない（図4）。一方、低木層（樹高1.5～5m）の胸高断面積合計は、1回目の間伐直後に有意に減少しており（図4）、この減少は間伐作業時に作業員の安全確保上不可欠となる除伐によるものと考えられた。ただし、低木層の資源量は1巡目と2巡目の間に間伐を行わないと有意に増加する（図4）ので、短期的には除伐の影響で減少しても、目標とする立木密度に到達して間伐が完了し、その後の時間経過に応じて増加することが考えられる。中長期的に針広混交林への誘導を目指すにあたっては、高木種の更新状況を評価する必要があることから、今後の階層構造や更新木調査では、高木種、小高木種、低木種（神奈川県植物誌調査会2018）のように、生活型によるグループ分けを行い解析する必要がある（表1、後述の機能群）。

（2）動物

ア．解析方法の検討

動物については、当初は委託で得られた種数や個体数のデータ（例えば昆虫類ではスウィーピングやピットホールトラップで捕獲されたすべての分類群の種数や個体数の合計値）をそのまま解析に用いていたが、間伐や林床植生との関係を見出すことがほとんどできなかった。また、動物間での食物連鎖を想定した解析も試みたが、広域多地点での調査であるが故に、各分類群の調査期間が限定されるうえに調査時期が一致しておらず、どの種がどの種を捕食しているかの具体的な情報がなかったこともあり、動物間の関係を見いだすことはできなかった。加えて、群集構造を解析しようとしても、種構成の地域差の影響が大きく、林内環境の変化への応答がみられる種の抽出も困難であった。このため、解析では

一旦行き詰まりを見せたが、2019年度（令和元年度）に実施した大学への総合評価研究委託において、各分類群は、似たような生態的特性を有した複数の種群、すなわち機能群に分けられ、機能群が異なると、林床植生等の林内環境への応答も異なることが指摘された。そこで、既往文献を参考に、種ごとの生態情報を収集整理したうえで、各分類群をさらに機能群にグループ分けすることとした。

イ．機能群へのグループ分け

各分類群の機能群へのグループ分けの考え方は次のとおりである。

ササラダニの機能群としては、分類体系で分けられたM群（接門類Macropylina）、G群（離門類無翼類Brachypylina: Gymnonta）、P群（離門類有翼類Brachypylina: Poronota）（青木1983）を用いた（表1）。森林土壌では、G群の種数割合が高木林の存在しない環境より高くなることが知られている（青木1983）。

ミミズについては、林床植生との関係が指摘されている（例えば関・小金澤2010）が、生態系調査で得られた種の大部分が既知種に同定されず、種ごとの生態情報が不明であったため、機能群に分けずに用いることとした（表1）。得られたミミズ標本が精査された結果、2種は新種であることが判明し、1種は国内初記録として報告された（Ito et al. 2023）。

植食性甲虫（ハムシ・ゾウムシ）の機能群としては、樹木食型と草本・つる食型を用いた（表1）。この分け方は、樹木食型が林内の各階層に分布する広葉樹を利用し、林床より樹冠に多く生息するのに対して、草本・つる食型の生息場所はほとんど林床に限られる（Charles and Basset 2005）ことを考慮したものである。

地表性甲虫（オサムシ）の機能群としては、体サイズが大きい種のほうが生息環境の改変に対する感受性が高い（Fujita et al. 2008; Iida et al. 2016）ことを踏まえて、大型（体長20mm以上）、中型（10mm以上20mm未満）、小型（10mm未満）を用いた（表1）。

アリの機能群については、植生の景観に対応した種群（寺山1997; Maeto and Sato 2004; 江原ら2013）として知られる森林型（高木が優占あるいは散生する環境に生息する種）、生息地ジェネラリス

ト型（高木が優占する環境から高木を欠く開放的な環境まで広く生息する種）、開放地型（高木を欠く開放的な環境に生息する種）を用いた（表 1）。

鳥類については、営巣型や採食型により植生の改変への反応が異なることが知られている（奥田ら 2012、2013）が、繁殖期の行動圏（なわばり）を含めた営巣環境を評価するには、25m × 25m の調査区画では面積が小さ過ぎることから、機能群としては営巣型ではなく、採食型を用いることとした。採食型は、奥田ら（2012、2013）を参考に、樹冠採食型、樹幹採食型、低木採食型、地上採食型、フライキャッチ型に分けられた（表 1）。

小型哺乳類（野ネズミ）については、捕獲されるのはほとんどがアカネズミとヒメネズミであり、これら 2 種とも林床植生（ササ）が多いほうが生息数が多くなる（田中ら 2006）ことから、基本的には一つの機能群として種を区別せず扱うが、必要に応じて森林環境への異なる選好性（Nishikata 1981）を考慮することとした。あわせて、間伐による林床植生の増加が小型哺乳類（野ネズミ）の食物資源に及ぼす影響を検証するため、トラップ内で排泄された糞の DNA 分析を行い、どのような植物種を食物として利用しているのかを調べている（表 1）。

中大型哺乳類については、自動撮影カメラによって撮影された動物各種を機能群としてグループ分けした既往研究がないため、種ごとで扱うこととした。林床植生との関係を解析するには、撮影頻度が高く、地域差の影響が小さい種を対象とする必要があったことから、これまでの撮影状況（大石ら 2023）を参考として、タヌキ、イノシシ、ニホンノウサギ、ハクビシン、ニホンテンを用いることとした（表 1）。ニホンジカについては、撮影頻度は最も高いが、地域差が極めて大きく（大石ら 2023）、林床植生が増加したことに対する反応を検出することは困難であった。

ウ. 機能群の解析—昆虫類 1 巡目調査の事例—

動物では、上述のように機能群に分けたとしても、種数や個体数を植生のように時系列（1 巡目と 2 巡目）で比較しても、間伐の効果を適切に検出することは難しかった。この原因としては、限られた期間の調査しか行っていないが故に、年による生息数や発生時期等の違い、あるいは調査期間中の気象条件の違いに左右された可能性がある。一方、林床植生

については、間伐によって増加することが確認されていることから、動物については時系列でなくとも、時点ごとに林床植生の多寡と動物の生息状況との関係を解析することで、間接的ではあるものの、間伐—林床植生—動物の一連の関係を検証することが可能と考えられた。このような 3 つ以上の変数間の関係を一体的に評価することができる解析手法を模索し、構造方程式モデリングによる解析を昆虫類の 1 巡目調査結果を対象として行うこととした（Taniwaki et al. 2024）。1 巡目調査では、①未間伐、② 1 回目の間伐後 1 ～ 3 年経過および③ 4 ～ 8 年経過の地点が選定されていることから、間伐後の時間経過という時間の変化を空間による変化で代用し（クロノシーケンス法）、間伐後にタイムラグをもって増加する林床植生に対する昆虫類の応答を、8 つの機能群の種数に着目して解析した。以下にその概要を解説する。

植食性甲虫（ハムシ・ゾウムシ）では、樹木食型、草本・つる食型とも、間伐後 4 ～ 8 年経過して増加した採食対象となる植物（樹木、草本・つる）の積算被度に応じて種数が増加する有意な経路が示された（図 5）。とくに樹木食型は草本・つる食型より反応が顕著であり、間伐後 4 ～ 8 年経過したことにより種数が増加する有意な経路もみられた（図 5）。このような機能群による反応の違いは、採食対象となる植物の林内での分布様式の違い（Charles and Basset 2005）に起因する可能性がある。筆者は、樹木食型は草本層に加えて亜高木層や低木層にも生息することから、間伐前から調査林分に生息する群集が間伐後の林床植生の増加に反応できるため、主に草本層に生息し調査林分の周辺から飛来して来る必要がある草本・つる型よりも、林床植生における種数が増加しやすいのではないかと考えている。

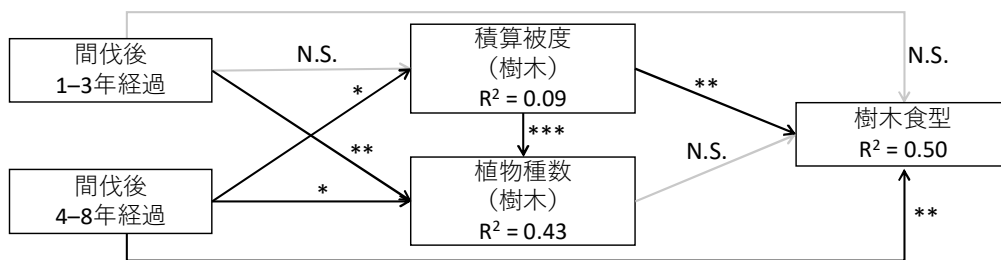
地表性甲虫（オサムシ）では、大型のみで、間伐後 4 ～ 8 年経過して増加した積算被度に応じて種数が増加する有意な経路が示された（図 5）。これらの大型種には、開放地を主な生息場所とする種は含まれていない。森林において分散能力が低い種の生息は、林冠が閉じた状態の比較的湿潤な環境と関連しており（Koivula 2002）、大型で分散能力の低い種は、攪乱の程度が増すにつれて減少する可能性が高く（Rainio and Niemelä 2003）、生息場所や隠れ家として機能する林床植生の減少に伴い減少するとされる（上田ら 2009）。水源林整備としての間伐は、

スギ・ヒノキ植栽木によって成立した森林を維持しながら林床植生を増加させており、大型種を減少させるような攪乱影響を与えることなく、その生息場所を好ましい環境に改善したと考えることができる。

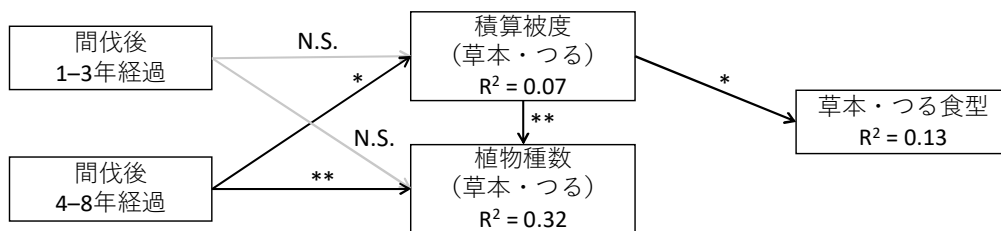
アリでは、生息地ジェネラリスト型のみで、間伐後4～8年経過したことで種数が増加する経路が有

意であり（図5）、何らかの時間的要因〔例えば丸太や切り株が腐朽して営巣場所として利用できるようになるまでの時間（Blüthgen and Feldhaar 2009; Tanaka et al. 2023）など〕が種の増加と関連している可能性が指摘された。また、生息地ジェネラリスト型では、間伐後4～8年経過して増加した積算被度に応じて種数が増加する有意な経路が、

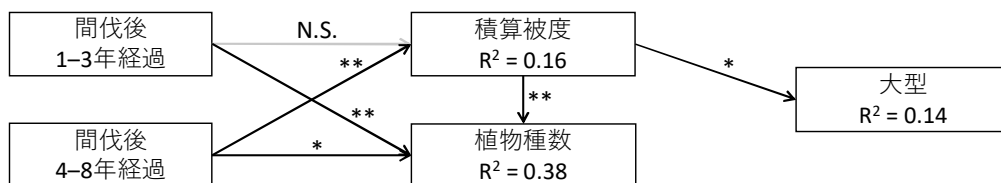
(a) 樹木食型（植食性甲虫）



(b) 草本・つる食型（植食性甲虫）



(c) 大型（地表性甲虫）



(d) 生息地ジェネラリスト型（アリ）

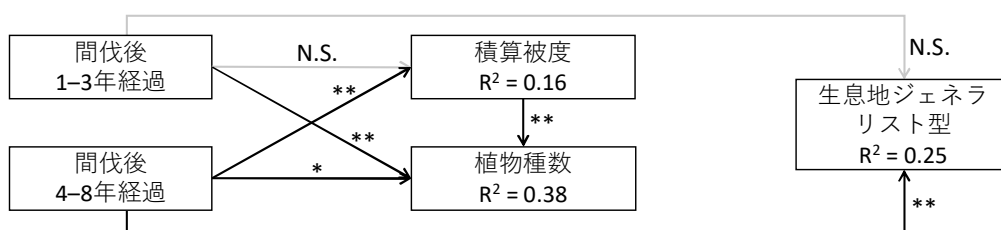


図5 各機能群の構造方程式モデリングにおけるベストモデル

(Journal of Forest Research の許諾を受けて Taniwaki et al. (2024) より抜粋のうえ一部改変)

黒色の矢印は有意な正の相関関係があること、灰色の矢印は正の相関関係に有意差がないこと、***は0.1%水準水準で有意差がないことを示す。ここでは6つの経路パターンのモデルから選択された有意なモデルのなかで、ベストモデルのみを示す。

ベストモデルではないものの有意な他のモデルで示されている (Taniwaki et al. 2024)。間伐を含む森林施業は生息地ジェネラリスト型の移入を促進するとされており (山本ら 1994; Yamauchi and Ogata 1995; Maeto and Sato 2004; Yoshimura 2009; 江原ら 2013)、生態系調査でも同様の結果が得られた。間伐による林床植生 (積算被度) や木質資源の増加は、利用可能な食物資源 (植物だけでなく、無脊椎動物などの動物由来のものも含む) や営巣環境を増加させ、生息地ジェネラリスト型の生息場所を好ましい環境に改善したと考えることができた。アリではまた、間伐や伐採が森林型を減少させ、開放地型を増加させることが知られている (山本ら 1994; Yamauchi and Ogata 1995; Maeto and Sato 2004; Yoshimura 2009; 江原ら 2013) が、同様のことは今回の調査で確認されていない。水源林整備としての間伐は、間伐前から林内に生息する森林型を保全しながら、林外を主な生息地とする開放地型の移入を抑制するのに効果的な手法であると考えることができる。

以上の構造方程式モデリングを用いた間伐—林床植生—昆虫類の一体的な解析により、間接的な解析ではあるものの、水源林整備として実施される攪乱影響を抑えた間伐は、地表性甲虫 (オサムシ) やアリにおいて、森林以外を主な生息場所とする種の移入を抑制しながら、林床植生の増加を通じて、また何らかの時間的要因と相まって、林床に生息する種の多様性を時間差をもって増加させる効果があると考えられる結果が得られた。このような昆虫類への間伐の効果は、林床植生への間伐の効果が発揮されている期間 [Tamura and Yamane (2017) の事例では間伐後少なくとも 11 年] であれば、持続的に発揮される可能性がある。

エ. 総合解析に向けた予備解析の状況

以上の解析を参考にしながら、現在は 3 巡目調査までに得られた各分類群・機能群データの総合解析を進めており、解析結果は別途報告する予定であるが、以下に現時点で得られている 1 巡目と 2 巡目データの予備解析の結果概要を紹介する。

各機能群のなかで、1 巡目、2 巡目とも、林床植生の増加に応じて種数あるいは個体数が増加する傾向がみられたのは、上述の樹木食型および草本・つる食型の植食性甲虫 (ハムシ・ゾウムシ)、大型の

地表性甲虫 (オサムシ) および生息地ジェネラリスト型のアリに加えて、ミミズ、地表採食型の鳥類、ニホンノウサギであった (未発表)。また、ササラダニでは調査を実施したのは 1 巡目のみであったが、森林性の指標となる G 群の種数割合の増加と草地性の指標となる P 群の種数割合の減少という異なる応答が 2 つの機能群でみられている (未発表)。小型哺乳類 (野ネズミ) では、1 巡目調査では林床植生との関係は見いだせなかったが、補足調査として、林床植生の状態を考慮して選定した 18 地点で重点的な捕獲調査を行っている (表 1)。このような小型哺乳類 (野ネズミ) の補足調査により、スギ・ヒノキ人工林では、林床植生を食物資源として利用する頻度が広葉樹林より高く、林床植生が増加すると、生息数が増加することに加えて多様な植物種を利用できるようになることを示唆する結果が得られている (大石 2021、未発表)。以上のように、スギ・ヒノキ人工林において林床植生との結びつきが強い機能群が徐々に明らかとなってきた。

そのほか、鳥類では、スギ・ヒノキ人工林を利用する確率が高い種が 12 種いることが指摘された (遠藤ら 2020)。また、中大型哺乳類では種構成の地域差が示され、とくに箱根地域では 1 巡目より 2 巡目のほうがニホンジカの撮影頻度が高く、定着状況の指標となる雌の比率も高くなり、ニホンジカの定着が急速に進んだことが示唆されている (大石ら 2023)。なお、キーストーン種とされたニホンジカについては、県民会議から植生—土壌—ニホンジカ—森林整備等の関連性を把握することが提案されており、この一連の関連性、とくにニホンジカの採食影響下で、林床植生に対する間伐の効果がどのように発揮されるかについて検証を進める必要がある。

VI. おわりに

生態系調査は、水源環境保全・再生施策の多面的な効果を把握し、県民にとって分かりやすい成果を得るために、県民会議からの提案を受けて、生き物の視点を盛り込んだ新たな施策評価の枠組みとして実施している。これまでの調査で得られたデータは膨大であり、まだ解析の途中段階ではあるが、現時点での昆虫類を中心とした解析からは、水源協定林において 500 ~ 600 本/ha の立木密度を目指して段階的に行う間伐が、水源かん養機能の向上だけで

なく、生物多様性機能の向上にも寄与すると考えて差し支えない結果が得られている。とくに昆虫類の地表性甲虫（オサムシ）とアリにおいて1回目の間伐が、開放地型の移入を抑制しつつ、森林を生息場所とする種群を保全しながら、それら種群の多様性を向上させたことは、水源林整備としての間伐が、人工林生態系への攪乱影響を抑えながら、生物多様性機能を向上させる特徴を持つ手法であることを示唆している。昆虫類以外の分類群でも同様のことが言えるかどうかを検証する必要がある。また、その後間伐の回数を重ね、段階的に立木密度を減少させると、林床植生への間伐の効果が累積的かつ一定期間は持続的に発揮されることが期待されるが、同時に攪乱影響も増大することが予想されるので、そのような状況のなかで、各機能群がどのように反応するかを、3巡目までのデータ解析を進めて検証する必要がある。

VII. 謝辞

生態系調査の現地調査は、アジア航測株式会社、株式会社地域環境計画、株式会社CTI アウラ（現CTI リード）、株式会社地域開発コンサルタンツ、新日本環境調査株式会社日本工営都市空間株式会社、一般財団法人自然環境研究センターおよび中外テクス株式会社への調査業務委託として、また総合評価研究は東京農工大学への研究委託として実施したものである。多くの有識者の方々に評価委員や調査指導をお願いした。委託の発注業務は歴代の研究員が担当した。各位の多大なるご尽力に感謝申し上げます。

VIII. 引用文献

青木淳一（1983）三つの分類群の種数および個体数の割合によるササラダニ群集の比較（MGP 分析）. 横浜国立大学環境科学研究センター紀要 10(1) : 171-176.

Blüthgen N, Feldhaar H (2009) Food and shelter: how resources influence ant ecology. In: Lach L, Parr C Abbott K, editors. Ant ecology. Oxford: Oxford University Press; pp. 115-136.

Charles E, Basset Y (2005) Vertical

stratification of leaf-beetle assemblages (Coleoptera: Chrysomelidae) in two forest types in Panama. Journal of Tropical Ecology 21(3): 329-336.

江原秀宗・石井弘明・前藤 薫（2013）スギ列状間伐林における下刈りに対するアリ群集構造の反応. 日本森林学会誌 95(2) : 95-100.

遠藤幸子・成瀬真理生・近藤博史・田村淳（2020）スギ・ヒノキ人工林を利用する確率の高い鳥類種の推定. 日本森林学会誌 102(3) : 147-156.

Fujita A, Maeto K, Kagawa Y, Ito N (2008) Effects of forest fragmentation on species richness and composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae and Brachinidae) in urban landscapes. Entomological Science 11(1): 39-48.

イー・アンド・イーソリューションズ株式会社(2013) 水源環境保全・再生施策に係る森林水循環を考慮した森林生態系効果把握手法等検討業務委託報告書. 119pp + 付属資料 250pp.

Iida T, Soga M, Koike S (2016) Effects of an increase in population of sika deer on beetle communities in deciduous forests. ZooKey. 625: 67-85.

石綿進一・守屋博文・倉西良一・清水高男・小林貞・司村宜祥（2013）源流河川の底生動物. 神奈川県自然環境保全センター報告 10 : 163-175.

Ito M, Sakai H, Tamura A (2023) Descriptions of two new species of the genus Amyntas (Annelida: Oligochaeta: Megascolecidae) and a new record of Amyntas righii Hong & James, 2001 from Kanagawa Prefecture, Central Japan. Edaphologia 112: 9-16.

神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課 a : 第 19 回（第 2 期第 11 回）水源環境保全・再生かながわ県民会議審議結果. https://www.pref.kanagawa.jp/docs/pb5/cnt/f7006/kenmin_kaigi/19_kenmin_kekka.html (2025 年 1 月 9 日確認)

神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課 b : 水源の森林づくり事業について. <https://www.pref.kanagawa.jp/docs/pb5/suigendukurizigyoku.html> (2025 年 1 月 9 日確認)

神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課 c : 水源

- の森林づくり進捗状況（実績）. <https://www.pref.kanagawa.jp/docs/pb5/sintyoku.html> (2025 年 1 月 9 日確認)
- 神奈川県環境農政局緑政部水源環境保全課 (2022) 水源林整備の手引き（第 4 版）. https://www.pref.kanagawa.jp/documents/21846/suigenrinseibi_tebiki_r4_3.pdf (2024 年 12 月 25 日確認)
- 神奈川県植物誌調査会編 (2018) 神奈川県植物誌 2018. xviii+1720+128pp. 神奈川県植物誌調査会, 小田原
- Koivula M (2002) Alternative harvesting methods and boreal carabid beetles (Coleoptera, Carabidae). *Forest Ecology and Management* 167(1-3):103-121.
- Maeto K, Sato S (2004) Impacts of forestry on ant species richness and composition in warm-temperate forests of Japan. *Forest Ecology and Management* 187(2-3):213-223.
- Nishikata S (1981) Habitat preference of *Apodemus speiosus* and *A. argenteus*. *Journal of the Japanese Forestry Society* 63(5):151-155.
- 大石圭太 (2021) 森林生態系に対する水源林整備効果の把握調査—森林性野ネズミを指標として—. 緑の斜面 74:3-4.
- 大石圭太・山根正伸・谷脇 徹・田村 淳 (2023) 神奈川県の水源地林整備地における中大型哺乳類の種構成とニホンジカの生息状況. 神奈川県自然環境保全センター報告 17:61-71.
- 奥田 圭・關 義和・小金澤正昭 (2012) 栃木県奥日光地域におけるニホンジカの高密度化による植生変化が鳥類群集に与える影響. *日本森林学会誌* 94(5):236-242.
- 奥田 圭・關 義和・小金澤正昭 (2013) 栃木県奥日光地域における繁殖期の鳥類群集の変遷: 特にニホンジカの高密度化と関連づけて. *保全生態学研究* 18(2):121-129.
- Rainio J, Niemelä J (2003) Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity & Conservation* 12(3):487-506.
- 關 義和・小金澤正昭 (2010) 栃木県奥日光地域の防鹿柵外におけるミミズ類の増加要因—シカによる植生変化の影響—. *日本森林学会誌* 92(5):241-246.
- Tamura A, Yamane M (2017) Response of understory vegetation over 10 years after thinning in an old-growth cedar and cypress plantation overgrazed by sika deer in eastern Japan. *Forest Ecosystems* 4:1-10.
- 田村 淳・山根正伸・武田 潤・久富寛之 (2013) 神奈川県の水源地林の施業地においてシカが林床植生に及ぼす影響. 神奈川県自然環境保全センター報告 11:53-60.
- 田中美江・斉藤麻衣子・大井圭志・福田秀志・柴田 叡式 (2006) 大台ヶ原におけるササの繁殖とネズミ類の生息状況—特に防鹿柵の設置と関連づけて—. *日本森林学会誌* 88(5):348-353.
- Tanaka M, Baek S, Tochigi K, Naganuma T, Inagaki A, Dewi BS, Koike S (2023) Conditions affecting ant nesting in stumps in a temperate coniferous planted forest. *Forest Ecology and Management* 537:120976.
- Taniwaki T, Tamura A, Sashimura N, Naruse M, Tochigi K, Komine H, Koike S (2024) Indirect effects of low-impact thinning on insect communities in forest floor of coniferous plantations. *Journal of Forest Research* 29:316-325.
- 寺山 守 (1997) 多様性保護の視点からの環境保全—アリ群集を用いた研究例を中心に—. *生物科学* 49(2):75-83.
- 内山佳美 (2025) 神奈川県による森林の水源地かん養機能評価の試み—水源環境保全・再生施策における事業効果検証のためのモニタリング—. 神奈川県自然環境保全センター報告 19:17-33.
- 上田明良・日野輝明・伊東宏樹 (2009) ニホンジカによるミヤコザサの採食とオサムシ科甲虫の群集構造との関係. *日本森林学会誌* 91(2):111-119.
- 山本哲也・頭山昌郁・中村克典・日鷹一雅・高橋史樹 (1994) スギの天然生林と人工林における林床無脊椎動物相の比較. *Edaphologia* 51:19-32.
- Yamauchi K, Ogata K (1995) Social structure and reproductive systems of tramp versus endemic ants (Hymenoptera: Formicidae) of

the Ryukyu Islands. Pacific Science
49(1):55-68.

Yoshimura M (2009) Impact of secondary forest
management on ant assemblage composition
in the temperate region in Japan. Journal
of insect conservation, 13:563-568.

水源環境保全・再生施策に関する普及啓発資料の再収録について

本田美里*・内山佳美**・増子和敬*

Reprints of awareness building materials concerning water source conservation and restoration measures

Misato HONDA*, Yoshimi UCHIYAMA**, Kazuyoshi MASUKO*

I はじめに

神奈川県では2007年（平成19年）より、「水源環境保全・再生施策」（以下、水源施策）に基づいた事業を展開しており、その中で当センターは森林関係事業のモニタリングを担ってきた。水源施策の事業評価の枠組みとしては「評価の流れ図」（センター報告第19号 p6. 図3）が示され、それに準拠してモニタリングを進めてきた。

「評価の流れ図」に沿って見た各事業から施策全体の目的までの流れは、アウトプット（事業量）とアウトカム（事業効果）を区別し、さらにアウトカムを1次、2次に分けて検討するなど、いくつかの段階を経て評価を行うやや複雑な構造となっている。また、モニタリングの結果を理解し、それらを順応的管理につなげていくためには、森林の水循環や山地の特性に関する基礎知識が必要となる。したがって、モニタリングのねらいとその結果を、県民及び職員へわかりやすく伝える普及啓発の取組は必要不可欠であった。

モニタリング業務の普及啓発を目的として、当課ではWebサイト上で「対照流域法による森林の水源かん養機能調査」のねらいや進捗について周知を行い、必要に応じて解説を掲載してきた。また、モニタリング調査の結果得られた知見については、県職員自らが事業に活用できるよう報告会及び研修会を開催して情報共有を行うほか、学識関係者へは論文

や報告書の形式で神奈川県取組に関する情報提供を行ってきた。

以上のように、森林関係事業のモニタリングに係る成果資料については、公表の場が複数にわたっていた。そのため、資料の形式が統一されておらず、さらに掲載箇所が分散しているため網羅的な参照が困難であった。そこで本稿では、本特集号の理解を深め、またモニタリング成果の活用を目的として、分散した普及啓発資料の再収集及び整理を行った。

II 方法

収録にあたっては、当該資料を掲載時のまま再収録することを基本とし、ページ数が多数に及ぶ場合や図表のレイアウト等の変更が必要な場合は最低限の加工を行った。

Ⅲに示した収録資料のうち、「1 森林の基礎情報」には、当課のWebサイトに掲載していた水環境モニタリングに関するページの一部を収録した。（1）では森林関係事業の根幹となる森林の水源かん養機能の説明を、（2）では山域ごとに異なる水源の森林エリアの自然特性をまとめた資料を掲載している。（3）はテーマごとに1枚の紙面内で解説をした資料である。次に「2 取組み・対応実績」には、水源施策に関連して、当課が主体となって開催した報告会及び研修会の実績をまとめた。最後に「3 関連する文献一覧」には、水源環境保全・再生事業の

* 神奈川県自然環境保全センター研究企画部研究連携課（〒243-0121 神奈川県厚木市七沢 657）

** 神奈川県自然環境保全センター研究企画部自然再生企画課（〒243-0121 神奈川県厚木市七沢 657）

うち森林関係事業に係る文献を収録した。これは作成に当たり当課から情報提供を行った「総合的な評価（最終評価）報告書暫定版（水源環境保全・再生かながわ県民会議, 2024）」の資料編から関連の深い文献を抜粋したものである。なお、本稿の収録範囲は令和6年までの公開資料とした。

Ⅲ 収録資料

1 森林の基礎情報

(1) 森林管理と水源かん養機能と森林管理

(2) アトラス水源林 ―水源地域の山地と森林・自然環境の特徴―

(3) 説明用フライヤー

- ①森林管理と水源かん養機能のかかわり
- ②水源地域の山地と森林
- ③水源地域の森林の歴史
- ④森林の土壌流出と生きものへの影響

2 取組み・対応実績

3 関連する文献一覧

Ⅳ 参考文献

神奈川県自然環境保全センター研究企画部研究連携課
(2018) 対照流域法による森林の水源涵養機能調査(https://www.agri-kanagawa.jp/sinrinken/web_taisho/mizu_top.html)

水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2024) かながわ水源環境保全・再生施策 最終評価報告書（暫定版）資料編。<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/pb5/kenminkaigi/zanteiban.html>

1 森林の基礎情報

(1) 森林の水源かん養機能と森林管理

森林に降った雨は、多くは森林（土壌も含む）を経由し、いったん地中に浸透してから河川に流出します。この流出の過程では、降雨、地質などの地下の状態、森林の状態の3つが関わっています。このうち、人間が手を加え管理することができるのは“森林の状態”であり、水源かん養機能の観点から土壌の保全が重要です。

そこで、「森林の水源かん養機能と森林管理」をテーマとして、水源環境の保全・再生対策における

森林のモニタリング調査の前提となっている既存の知見について、主な内容を解説します。

※ここでは、森林の水循環の仕組みを中心に、森林の管理や水源かん養機能の発揮と関わりの深いものを中心に解説しています。（森林の水循環は、森林生態系の物質循環という視点で捉えることもできますが、ここでは、主に水循環の視点から解説しています。

①森林における水循環

森林に降った雨は、一部は蒸発し、多くはいったん地中に浸み込んで地下水となり、時間をかけて下流の河川に流出します。このような水循環の仕組みによって、洪水の緩和、渇水の緩和（水資源を貯留し水量を調節する）や水質の浄化といった水源かん養機能が発揮されます。つまり、森林の水源かん養機能とは、森林の水循環による下流の水流出に与える作用のうち、人間社会にとって有用な作用を総称したものであり、古くから人々によって認識されてきたものです。

人工林（人が植えた森林）や自然林（人の手が加わっていない）といった林相に関わらず、森林の階層構造が発達し下層植生や落葉により土壌が保全されていると、森林の無くなったはげ山と比べ、水源かん養機能も基本的に維持されます。しかし、各地で森林について、その状態の違いと水源かん養機能の差異を調べてみると、地形・地質や降水量等の自然条件によってケースバイケースであることも少なくありません。これは、森林の状態に加えて、それらの自然条件が森林の水循環に大きく影響するためです。

こうしたことから、水源かん養機能を把握するためには、森林の状態に加えて降雨・地形・地質等の水循環に関わる自然条件も合わせて把握する必要があります。特に、県内の水源の森林エリアでは、これらの自然条件に地域性が認められています。現在、それぞれの地域の水循環の実態を把握しつつ、事業による水源かん養機能の効果を検証するためのモニタリング調査を行っています。

②森林に降る雨

森林から流出する河川の水源は、雨や雪などによって大気中からもたらされた降水です。このため、大きくは降水量が河川の流量に影響します。ただし、降った雨がすべて河川に流出するのではなく、一部は蒸発散や風化基岩への深部浸透となります。（図1）

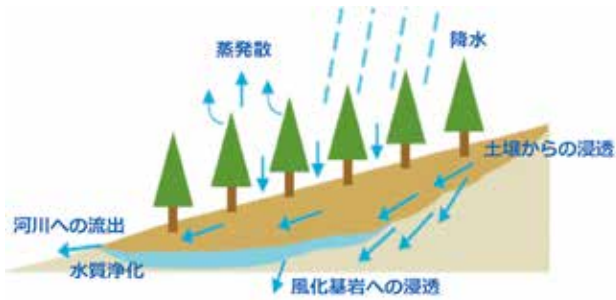


図1 森林の水源かん養機能の仕組み

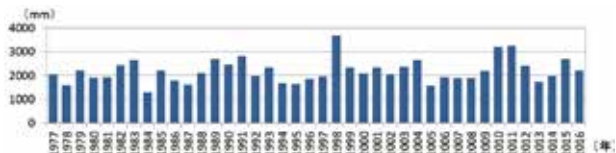


図3 アメダス丹沢湖の年間降水量の推移

（気象庁ホームページよりダウンロードしたデータを図化）

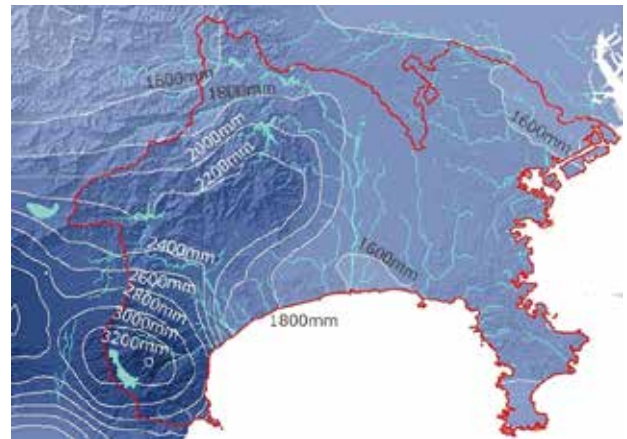
一般的に降水量は地形の影響を受け、山地で多くなります。平年の降水量の県内分布を見ると、水源地域である県西部の山地では大部分で1800mmを超え箱根山地などの多いところで3000mmを越えます（図2）。一方、平野や丘陵地である県東部や中央部では1800mmを下回ります。このように、多くの人が住む平野や丘陵より、大部分が森林で覆われている県西部の山地のほうが雨が多く降ります。さらに県西部の山地の中でも降水量に地域差があります。

また、降水量は年によって変動します。たとえば丹沢湖アメダスの年間降水量をみると、観測データのある1977年から2016年までの平均の年間降水量は2200mm程度ですが、最大で年間3688mm（1998年）、最少で年間1286mm（1984年）と約2400mmもの開きがあります（図3）。このような渇水や豊水の変動が流域の水分状態に反映し、河川流量の変動にも密接に関係しています。

神奈川県に限らず日本列島は、豊かな森林の生育に適した豊富な降水量に恵まれる一方で、森林管理にはマイナス要因となる山崩れを誘因するような激しい降雨がもたらされることもあります。このような降雨の特性は、日本列島がアジア大陸の東側に位置し季節風（アジアモンスーン）や台風の影響を受けることに起因しており、日本列島の森林の水循環を特徴づけています。

③森林からの蒸発散

森林に降った雨は、すべてが河川に流出するのではなく、一部は森林の樹冠から水蒸気として大気に

図2 県内の平年の降水量の分布
（気象庁メッシュ平年値2010より作成）

戻ります。この作用を蒸発散と言い、降水によって葉に付着した水の蒸発（樹冠遮断）、根から吸収された水が葉の気孔から放出される蒸散の大きく2つの作用が含まれます。これらの作用は、森林による気候調節機能の中心的なものであり、地球スケールの水循環にも関わっています。

蒸発散量には、森林の状態に加えて気温や降水量等の気象条件が関係し、たとえば、関東地方の年間蒸発散量は、気候学的手法から年間600～900mmの範囲と推定されています（近藤ほか、1992）。なお、樹種による蒸発散量の差は一般にはあまり大きくありません。また、蒸散よりも樹冠遮断のほうが量は多く、立木密度の少ない場合などは地表面からの水の蒸発量（林床面蒸発量）も加味する必要があります。

これまでに世界中で行われてきた野外観測結果の共通点は、伐採等により森林がなくなると蒸発散量が減少して河川流量が増加する、反対に植林して森林が育つと蒸発散量が増加して河川流量が減少するというものです。

人工林の管理として行われる間伐についても、基本的には、間伐によって立木密度が少なくなると蒸発散量が減少し（図4）、河川流量も増加すると考えられています。ただし、実際は、上層木の蒸発散量・下層植生の蒸発散量・林床面蒸発量のそれぞれが間伐によって連動して減少または増加し、それらの変化がトータルとして河川流量に反映するため、河川流量への影響は森林の構造によって異なる可能性があります。近年、全国的に人工林の間伐が課題になっていることもあり、各地で間伐と蒸発散量、河川流

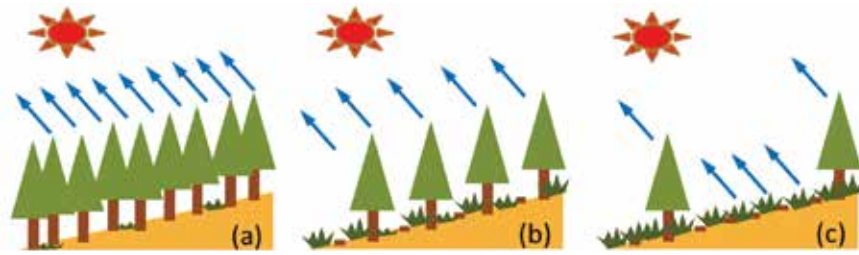


図4 間伐と蒸発散量の関係
(イメージ図)

量との関係を調べる研究が進められています。

国内の針葉樹人工林では立木密度と樹冠遮断量が概ね対応します。(立木密度が高いと樹幹遮断量も多い、密度が低いと遮断量も少ない。) このため、人工林の間伐によって立木密度を減らすと森林の蒸発散量全体も減少(し河川流量が増加)すると考えられます(図4のa→b)。ただし、立木密度がさらに低くなった場合は、上層木の蒸発散量減少と下層植生の蒸発散量や林床面蒸発量の増加が同時に起こり、蒸発散量全体ではあまり減少しない可能性があります(図4 c)。

④土壌から地中への水の浸透

森林内で地面に到達した雨は、土壌中に浸透します。温暖湿潤気候下にある日本列島では植物の成長が旺盛なため、通常、地表は植物で覆われています。森林では、この植物による地表の被覆と、生き物の活動で形成された多数の孔隙を持つ土壌によって、農地や裸地と比べて高い浸透能を示します。それが森林の水循環にも反映され、洪水や渇水の緩和といった水源かん養機能発揮に係る一部の役割を担っています。

しかし、森林の管理状況によっては、土壌の浸透能が低下する場合があります。たとえば、過度な森林利用によりハゲ山になった場合、または人工林の手入れ(間伐)遅れや高密度化したシカの採食影響によって下層植生が衰退し地表面の被覆が乏しくなった場合です。地表面の被覆がないと、降雨時の雨滴の衝撃により土壌の孔隙が目詰まりし、雨水が浸透しにくくなり地表流が発生します(図5)。このように、降った雨が土壌に浸透せずに地表流のまま河川に流れ込むと、“時間をかけてゆっくり流出する”という森林の水源かん養機能は発揮されません。

さらに、発生した地表流によって土壌の表層も侵食されて流出します。東丹沢堂平地区のシカの影響で裸地化した自然林で土壌侵食量を測定したとこ

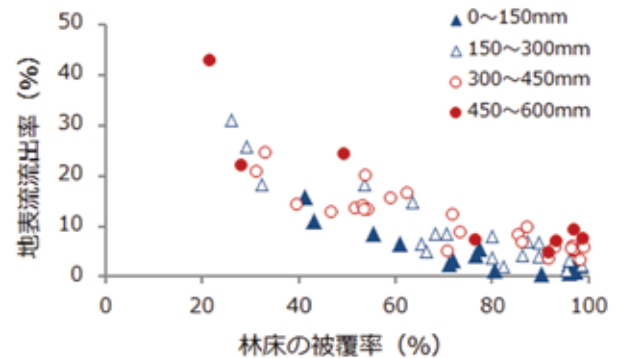


図5 林床の被覆率と地表流出率(発生した地表流量の降雨量に対する割合)の関係

横軸の林床の被覆率は植物とリターによる被覆率、凡例は一雨の降雨量(林内)。

林床の被覆率が75%以下であると被覆率が低いほど、地面に到達した雨のうちの地表流量となる割合が増えます。被覆率が75%を超えると規模の大きい降雨であっても地表流は降雨量の10%程度までに抑制されます。つまり地面に到達した雨の9割が浸透します。(東京農工大学による測定結果)

ろ、年間で土壌表層の厚さ2～10mmに相当する量が侵食されていました(図6)。この測定結果は、多い年でハゲ山と同程度の土壌侵食が発生していることを示しています。このように流出した土壌は、濁水となって河川に流れ出ます(図7)。

⑤風化基岩への水の浸透

土壌に浸透した水は地中をゆっくり流動し、やがて河川に流出します。森林の水循環には、土壌層だけでなく、土壌層の下の方の基岩の内部に浸透した水の流動も関係しています。このような土壌表層からの雨水の浸透と地中における水の浸透・貯留が、洪水や渇水の緩和といった水源かん養機能の発揮につながっています。

神奈川県に限らず複雑な地形・地質で形成される日本列島では、地質構造や岩質の影響を受けて地下水の状態も多様であり、大きくは地質によって特徴づけられます。県内の水源の森林エリアでは、小仏山地(頁岩)、丹沢山地東部(凝灰岩)、丹沢山地西

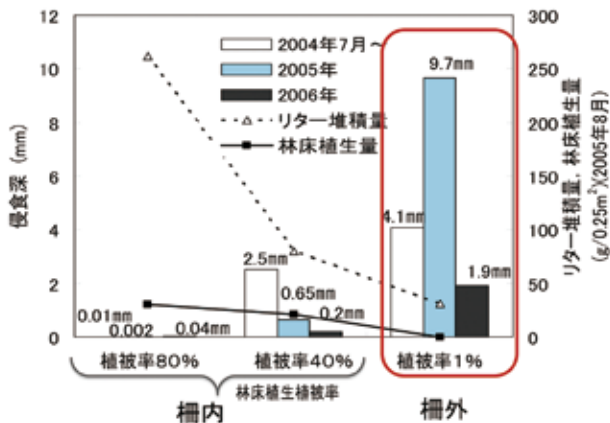


図6 植生保護柵内・外の下層植生植被率とリター（落葉）堆積量、土壌侵食深の関係
植生保護柵の外側の下層植生植被率1%の箇所では土壌表層の厚さに換算して年間2mm～1cmの土壌が侵食されていました。一方、同一斜面の植生保護柵内の下層植生植被率80%の箇所では、複数年に渡り土壌侵食はほとんど発生しませんでした。（東京農工大学による測定結果）



図7 下層植生衰退地における土壌流出のメカニズム（左：下層植生衰退地、右：通常の森林）
下層植生がなく地面がむき出しになっていると、降った雨が地中にしみ込みにくくなり、降雨の際に短時間に地表を流れ去る地表流の割合が増えます。地表を流れる水に土壌も流され、森林土壌は貧弱になります。流された土壌は下流で濁水となります。

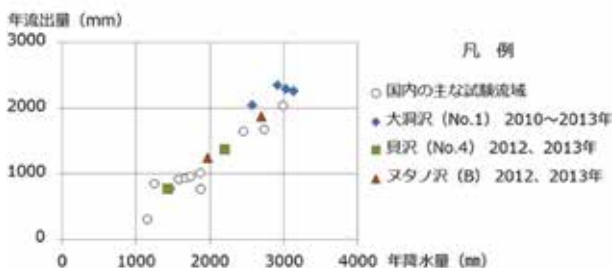


図8 年間の降水量と流出量
国内の主な試験流域や現在モニタリング調査を実施している県内の試験流域における観測事例を見ると、年間の降水量のうち河川からの流出量は概ね6割程度ようです。（図中の「国内の主な試験流域」は、服部重昭ほか（2001）森林の水源かん養機能に関する研究の現状と機能の維持・向上のための森林整備のあり方（1）、水利科学第45巻第03号（No.260）2001年8月号 表Ⅲ-7のうち林況区分が自然放置とされている観測事例の値を用いた。）

部（深成岩）、箱根外輪山（火山堆積物）の各山地で異なった地質を持ち、それが地域ごとの水循環に反映しています。

さらに、源流の小規模の流域で見ると、基岩の風化帯の割れ目等の局所的な地質構造が、流域全体の水循環にも大きく影響します。たとえば、地中の水が基岩の割れ目を通して隣の流域やさらに基岩深部へと浸透するなどして地形上の集水域を越えて水が移動する、つまり集水域で捉えると途中で水が抜けているような場合や逆に途中で水が流入しているような場合もあります。また、地質構造ではありませんが、谷筋等に厚く堆積した砂礫の中に存在する水なども地下水と似た性質を持ちます。このため、流域の一部に存在する堆積地であっても規模によっては前述のように流域全体の水循環に影響します。

⑥河川への流出

河川の流量は、大きくは降水量に左右され、年間の降水量が多いと年間の河川流出量も多くなり、双方は概ね対応します（図8）。また降雨時の短期的な河川流量の変動に関しても、特に源流では、降雨の強弱に直ちに反応して河川流量も増加または減少に転じます（図9）。

雨の降らない期間でも、森林から流れ出る河川の流量がある程度維持されるのは、地中にしみ込んだ水が、土壌（と風化基岩）層の空隙に貯えられ、その中を様々な経路・速度によって移動して河川に流出するためです。特に森林の土壌は空隙に富み、それらによって発揮される透水性と保水性が河川流量の変動に複雑に影響しています。

このように、貯水ダム上流域のような規模の大きな流域でみると、雨の降らない日が続いている時の河川流量は、主に流域の地下水流出で賄われていると言えます。地質によって地下水の保水力が異なるので、河川流量には地域性が認められます。たとえば、箱根外輪山のような新しい時代の火山噴出物から成る地質や丹沢山地西部（特に丹沢湖上流域）のような花崗岩類の地質では、河川流量は比較的多くなります。

⑦水質の浄化

水に様々な物質が溶け込み移動することから、森林の水循環は水質の形成とも密接に関わっています。一般に森林から下流に流出する水は、濁りがな

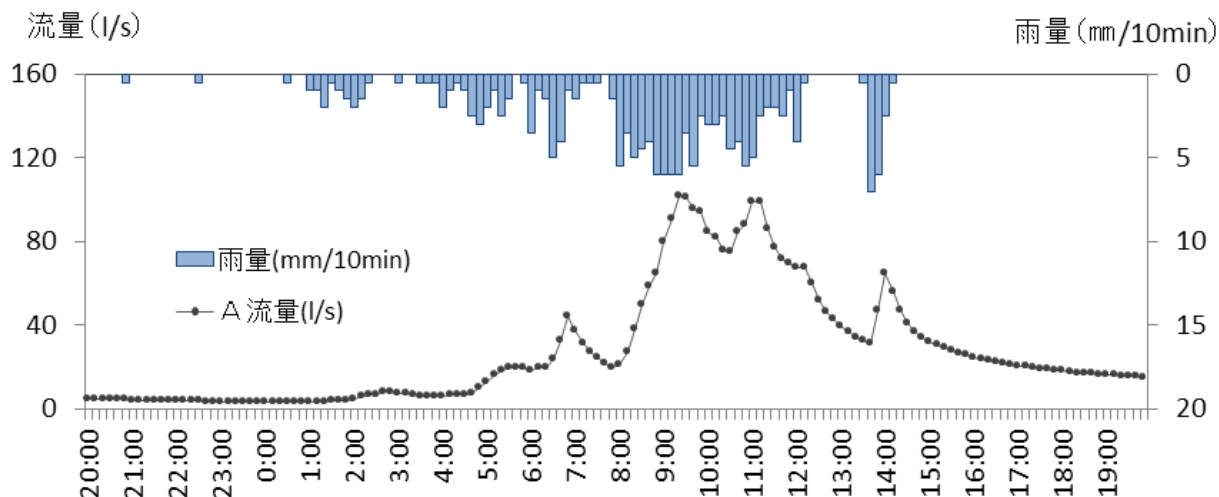


図9 源流の短期流出の例（ヌタノ沢試験流域のハイドログラフ）

2015年9月8日から9日の総降水量169mmの際の雨量と河川流量の10分ごとの推移を示しています。測定箇所は、集水区域4ha弱の源流であり、降雨の強弱に対応して河川の流量も短時間に増減していることがわかります。

い、弱酸性の降水が（土壌中での作用により）中性となり流出する、下流で富栄養化等を引き起こす窒素やリンが少ないといった特徴があります。このような特徴から、森林は水質浄化機能を備えていると言われています。

植物の生長に必要な窒素は、植物による吸収と土壌への落葉の還元・分解によって、大部分は森林内部で循環しています。このため、河川水とともに流出する量はわずかです。同様に、リンも森林内で循環しており、ほとんど森林から流出しません。ただし、森林の伐採等により、これらの森林内部の循環が崩れた時は、河川水の窒素やリンの濃度が一時的に上昇することがあります。

森林から流出する水には、植物の成長に欠かせないカルシウムやマグネシウムといったミネラルも含まれます。これらのミネラルは、基岩層の岩石の化学風化によって供給されているため、これらの水質には地質等が関係しています。

なお、生活環境における水質汚染の場合は、BOD（生物学的酸素要求量）やCOD（化学的酸素要求量）といった指標が用いられますが、これらは人為的な有機物汚染に対する指標であるため、森林から流出する水では低い値となります。

⑧水源かん養機能から見た近年の森林の課題

－下層植生の衰退－

かつて県内の水源地域の森林では、関東大震災による多数の山地崩壊、戦時中の過度な森林伐採、戦後のシカの絶滅危機といった課題がありました。こ

のため、これら課題の対策が進められ、現在、外観上は豊かな森林に復旧しています。ところが、近年になり、新たな課題が顕在化してきました。

水源かん養機能の観点から見ると、近年の森林の課題は下層植生の衰退です。本来は地面に到達した大部分の雨水は地中に浸透しますが、下層植生の衰退により森林内が裸地化すると雨水が土壌にしみ込みにくくなるため、森林の水循環に影響します。地中にしみ込まなかった雨水は地表流となり、土壌を流出させ下流に素早く流れ去ります。このため、降った雨がゆっくり流出する、あるいは濁りのない澄んだ水を流出する、といった水源かん養機能が低下する恐れがあります。

下層植生が衰退する原因の一つは、スギやヒノキの人工林の手入れ（間伐）遅れによる林内の光環境悪化（暗くなる）です。自然林と異なり、人工林は植栽した木の間伐が必要です。良質な木材を収穫するために、木の成長に伴って適時に行われる間伐は、林内の光環境を改善し下層植生の生育を維持回復させる効果もあります。このように、人工林の適切な管理は、木材生産だけでなく水源かん養機能の観点からも重要です。県内の水源の森林エリアでは、小仏山地と箱根外輪山で特に人工林率が高いことから、これらの地域では大部分を占める人工林について、適時に間伐を行うことで下層植生を維持し、地域全体の水源かん養機能を維持することが重要です。

下層植生が衰退するもう一つの原因は、丹沢山地を中心に高密度化したシカの影響です。1990年代には丹沢山地の高標高域を中心としてシカの採食によ

る影響が著しく、裸地化した箇所も多くみられました。2003 年からは、それまでの植生保護柵設置に加えてシカの捕獲、さらに 2007 年からは土壤保全対策も合わせて総合的に対策が進められています。県内の水源の森林エリアでは、地域によってシカの生息密度や累積影響が異なり、下層植生の衰退度、すなわち水循環への影響の程度も異なるため、これらの実態を踏まえた地域ごとの対策が必要です。

土壌は、森林の生育に欠かせない、水や養分を貯留し植物の生育を支える、微生物等の分解者の生息場という重要な役割を担っています。下層植生の衰退した状況が長期化すると、土壌が貧弱になり、水源かん養機能のみならず生物多様性機能をはじめとした多くの機能の低下が危惧されます。

⑨水・土砂・物質の循環系としての流域と流域管理

森林の水循環においては、太陽エネルギーを原動力とする蒸発散を除くと、大部分の過程は重力に支配され、水（と物質）は主に高所から低所へ、つまり流域内を尾根から斜面そして谷へと移動します。さらに、この過程において、侵食や崩壊・堆積等の土砂移動による地形の形成（変化）も水循環と相互に作用しあっています。

このような流域を単位とした水・土砂・物質の循環系（図 10）において、尾根や斜面は供給源（かん養源や生産源）、谷（溪流）は集積・滞留と流出の場であり、それぞれ循環系における役割を担っています。このため、両者の相違は、物理環境や景観だけでなく、生物相（生態系）にも及びます。こうしたことから、森林（特に人工林）の管理においても、これらの相違を考慮した管理手法が必要であり、それら管理手法によって流域を一体として管理する必要があります。

さらに、水系全体をみた場合も、源流の山地の森林から下流の河川へという流れを中心に、水系ごとの水循環が構築されています。森林の管理において、個々の森林は小面積であっても、水系ごとの一体とした循環系の一部であることから、森林においても水系全体の循環系を考慮した流域管理の視点が必要です。すなわち、各地域のモニタリング調査から得られる地域ごとの水循環特性に関する知見も活用し、水系全体の水源環境保全・再生の取組みとも連携しながら、地域ごとに水循環系を踏まえて森林を管理していくことも必要です。

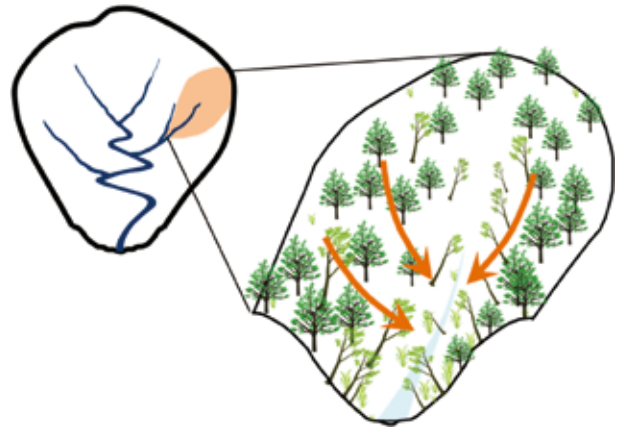


図 10 源流における水・土砂・物質の循環系のイメージ
流域（集水域）とは、尾根で囲まれる谷地形の領域です。斜面の森林から谷（溪流）に水、土砂、物質が供給されます。谷（溪流）の環境（状態）は流域内の森林（の状態）の影響を受けて形成されます。

▽参考文献▽

③森林からの蒸発散

近藤純正・中園信・渡辺力・桑形恒男（1992）日本の水文気象（3）—森林における蒸発散量—，水文水資源学会誌，5，4；8-18

④土壌から地中への水の浸透

図 5 海虎、石川芳治、白木克繁、若原妙子、毕力格図、内山佳美（2012）ブナ林における林床合計被覆率の変化が地表流流出率に与える影響，日本森林学会誌 Vol. 94（2012）167-174

図 6 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（2009）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 Vol. 90（2008）No. 6

（1）森林の水源かん養機能と森林管理 全体塚本良則編（1992）森林水文学，文永堂出版（株）森林水文学編集委員会編（2007）森林水文学森林の水のゆくえを科学する，森北出版（株）佐々木恵彦・木平勇吉・鈴木和夫編（2007）森林科学，文永堂出版（株）

恩田裕一編（2008）人工林荒廃と水・土砂流出の実態，（株）岩波書店

杉田倫明・田中正編（2009）水文科学，共立出版（株）

服部重昭（2011）第 5 章森林と水循環，水の環境学，清水裕之・檜山哲哉・河村則行編，（財）

名古屋大学出版会

森林立地学会編（2012）森のバランス－植物と
土壌の相互作用，東海大学出版会

太田猛彦 (2012) 森林飽和 国土の変貌を考える, NHK 出版

木平勇吉ほか編（2012）丹沢の自然再生，（株）
日本林業調査会

蔵治光一郎・保屋野初子編（2014）緑のダムの
科学 減災・森林・水循環，築地書館（株）

谷誠（2016）水と土と森の科学，京都大学学術出版会

(2) アトラス水源林－水源地域の山地と森林・自然環境の特徴－

神奈川県の水源地である相模川と酒匂川の源流は、県内では丹沢山地・小仏山地・箱根山地などの山地であり、その大部分が森林です。(図 11) 森林の水源地かん養機能は、これらの山地の地形・地質や植生・土壌などの自然条件が密接に関係して発揮されています。

ここでは、水源の森林エリアにおける森林や自然環境の特徴について、既存の文献等を元に、山地ごとに比較して解説します。

①各山地の位置と面積

各山地は、北から小仏山地、丹沢山地、箱根外輪山の順に並んでいます。

水系でみると、小仏山地と丹沢山地の東部（北部と東部）は相模川水系に属し、丹沢山地の西部と箱根外輪山は酒匂川水系に属します。

ここでは、水源の森林エリアの自然環境を理解するため、地形や地質分布をふまえて、(図 12) のとおりエリアを区分しました。(相模川以北を小仏山地とし、丹沢山地と箱根外輪山は山北町と南足柄市の市町村界で区分しました。)

以降では、この区分により山地ごとの森林や自然環境の各種指標値を算出し、その特徴を解説しています。

水源の森林エリアにおける各山地の占める割合

水源の森林エリアは、県土面積の約3割を占め、734平方キロメートルです。(水源の森林エリアの外郭線で囲まれた部分の全面積。一部に森林でない土地も含まれるため、森林面積を積み上げた事業計画上の面積とは異なります。)

水源の森林エリアの全面積のうち、多くを占めるのが丹沢山地であり、全体の約83%、小仏山地は約7%、箱根外輪山は11%を占めます。(図13)

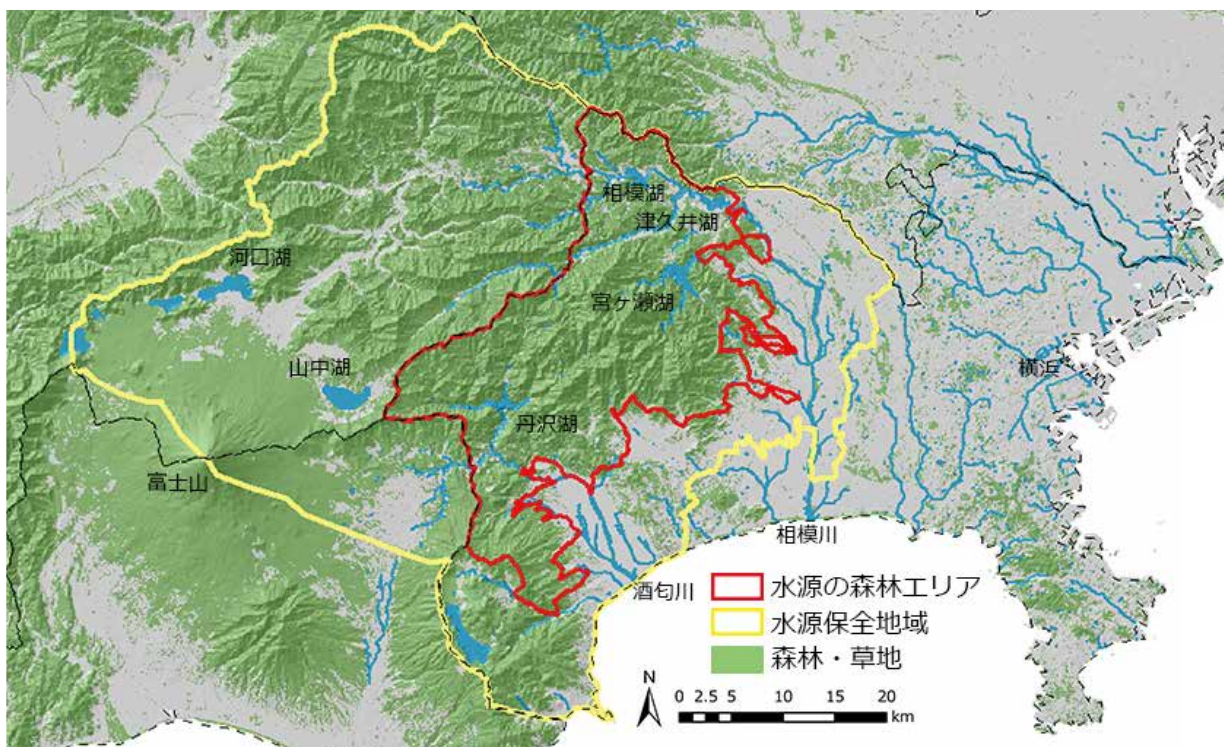


図 11 水源の森林エリア（貯水ダム水源等を保全する上で重要な森林区域）の位置図

国土地理院基盤地図情報(数値標高モデル 10m メッシュ)・国土地理院土地保全基本調査(土地利用・植生現況図)より作成



図 12 各山地の分布

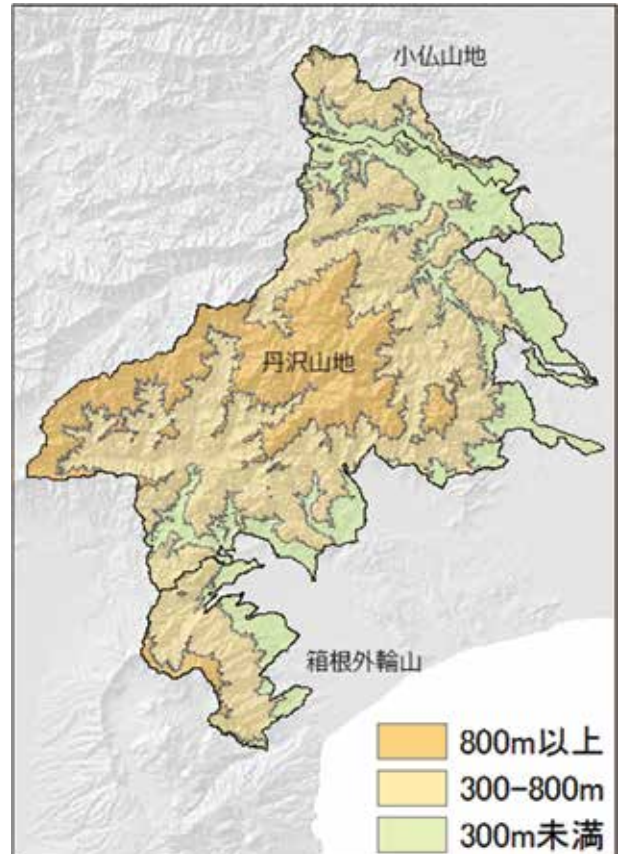


図 14 水源林の森林エリアの標高帯による区分図

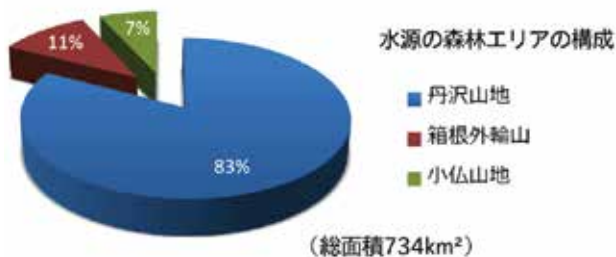


図 13 水源の森林エリアの構成

水源の森林エリアの標高帯ごとの分布

水源の森林エリアについて、標高 800m 以上、標高 300 ～ 800m、標高 300m 以下の 3 つの標高帯の分布を示しました。(図 14)

標高 800m 以上の森林は、丹沢山地の中央部から山梨県境にかけて集中して分布します。ここには、丹沢山地の最高峰である標高 1673m の蛭ヶ岳をはじめ、標高 1500m を超える 9 座の山々が連なり、主稜線となっています。この主稜線に沿ってブナなどの自然林が分布し、丹沢大山国定公園や県立丹沢大山自然公園の中心となっています。

また、相模川沿いをはじめ、山麓部には標高

300m 未満の森林が分布します。標高が低いということに加え市街地や農地等に近い距離にあるという立地環境です。

各山地の面積と標高帯ごとの内訳

水源の森林エリアの山地ごと、標高帯ごとに面積を集計しました。(図 15) 標高帯別では、最も多くの面積を占めるのが中標高（標高 300 ～ 800m）に区分されるエリアです。

さらに、山地ごとの標高帯別面積割合をみると、最も大きな割合を占めるのは標高 300m 以上 800m 未満のエリアですが、標高 300m 未満の森林も各山地の面積の 20 ～ 35% 程度を占めており決して少ないことがわかります。(図 16)

②山地の地形と地質

森林に降った雨は、大部分がいったん地中に浸透してから地下水となって河川に流出しますが、この一連の過程には、地形や地質といった要因も大きく関係します。

ここでは山地の特徴として、起伏や傾斜などの地

形と、地層や構成する岩石などの地質について解説します。特に各山地の地質の特徴から、水源の森林エリアには、生まれも育ちも性格も異なるそれぞれの山地が同居しており、多様性に富んでいることがわかります。

全県の標高帯ごとの分布

全県および県外上流域（相模川、酒匂川の上流域）について、地形が立体的に見える陰影図で表示し、

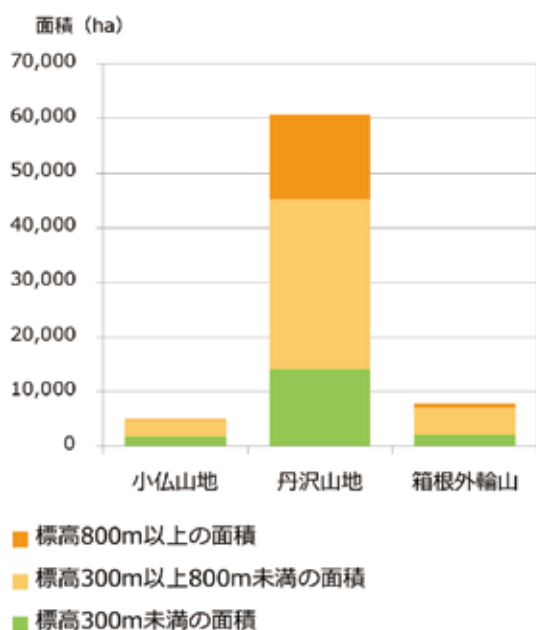


図15 各山地の標高帯ごとの面積内訳

標高帯を色分けしました。(図17)

水源の森林エリアには、標高1500mを超える丹沢山地の主稜線部から標高300m以下の山麓部までが含まれ、人々が多く住む平野や丘陵等と比べて、起伏の大きい山岳地となっています。

傾斜30°以上の箇所の分布

全県および県外上流域について10m四方のメッシュで平均傾斜30°以上の箇所を着色しました。(図18) 平均傾斜30°以上の箇所は、県内でも山岳地かつ森林地帯である水源の森林エリアに集中しています。

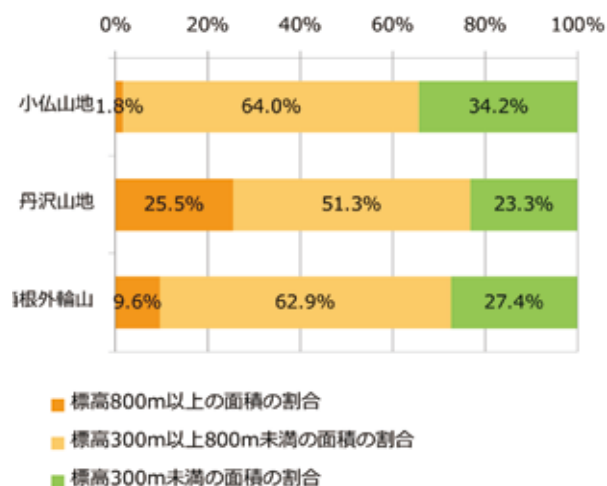


図16 各山地の標高帯別面積割合



図17 全県の標高帯ごとの分布図

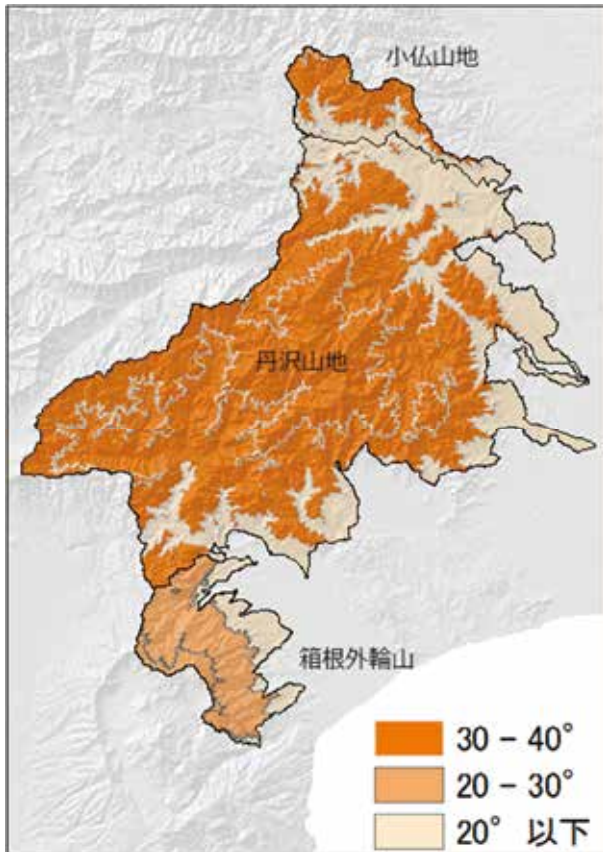


図19 各山地の標高帯別の平均傾斜



図20 丹沢山地の東部と西部の区分

火成岩：マグマが地表や地表付近で固まったもの
 変成岩：もとあった岩石が熱などの変成作用を受けて形成されたもの
 堆積岩：岩石の破片や鉱物片が別な場所にたまって固まったもの

ここでは、国土地理院の土地分類基本調査1/20万(表層地質図)で区分されている大分類(火山性岩石・深成岩・変成岩・固結堆積物・未固結堆積物)に従って、山地ごとに面積割合を算出し(図21)、山地ごとの地質の特徴を解説しました(表2)。前述の地層の相違から構成する岩石も山地ごとに異なり、特に透水性などの質の違いが山体の保水性に影響しています。なお、丹沢山地については、東西で表層地質の分布特性が異なるため、東西に分けて示しました。

山地ごとの表層地質(小分類)の主なもの

国土地理院の土地分類基本調査(表層地質図)の小分類に基づき、山地ごとに面積割合で上位を占めるものを抽出しました。(表3)

※図12, 14, 19は国土地理院基盤地図情報(数値標高モデル10mメッシュ)より作成

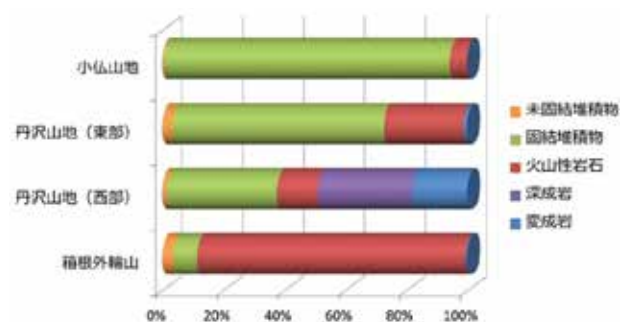


図21 山地ごとの表層地質の面積割合

③山地の気候

全国的にみた神奈川県は、温暖で雨量の多い太平洋側気候です。このような雨量をはじめとした気候は、森林の水源かん養機能を把握するために欠かせない要素です。ここでは全県及び県外上流域(相模川、酒匂川の上流域)における気温・降水量等の平年値の分布特性について解説します。

全県の平均気温の分布

平均気温の分布は、概ね標高に対応します。(図22) 県東部などの低地の平均気温は大部分で15°

表1 各山地の主な地層

小仏山地	<p>小仏層群・相模湖層群</p> <p>県内でも最も古い岩石が堆積した地層で、より古いのは、北側に分布するおよそ1億年前（中生代白亜紀）に堆積した小仏層群です。まだ日本列島もなかった頃、大陸から流されてきた砂・泥・礫などが海の中で静かに堆積・固結して形成された地層です。同じような地層は関東から九州まで帯状に分布し、総称して四万十帯と呼ばれます。</p>
丹沢山地（東部）	<p>丹沢層群</p> <p>相模川沿いの低地を除いた丹沢山地東部のほぼ全域に分布し、詳細にはいくつかの亜層群に分けられます。</p> <p>およそ1700万年前（新生代新第三紀）以降に、はるか南の太平洋の海底で活発に活動していた海底火山の溶岩や火山噴出物が厚く堆積・固結してできた地層です。陸から流されてきた砂や礫はほとんど含まれていません。</p> <p>かつて南方で形成された海底火山噴出物が現在の位置で標高1500mを超える険しい山地になったのは、フィリピン海プレートの移動による北上と隆起、さらに長い間の侵食・崩壊作用によります。山体に断層や亀裂が発達しているのもこのためです。</p> <p>また、一般的に新第三紀の地層では地すべりが多く見られ、丹沢山地でも丹沢山北東の堂平や黍殻山南部は過去の地すべりによって形成された地形です。</p>
丹沢山地（西部）	<p>トータル岩・石英閃緑岩</p> <p>丹沢湖上流域のほぼ北側半分に、丹沢層群に取り囲まれるように分布し、鉱物の構成割合の若干の相違によって、トータル岩または石英閃緑岩と呼ばれます。</p> <p>地下深くで花崗岩質のマグマがゆっくり冷えて固まってできた岩石（深成岩）であり、およそ700万年前までには、当時すでに堆積していた丹沢層群に下方から貫入してドーム状に固まりました。（このため、貫入岩体とも言われます。）</p> <p>風化されやすい性質があり、丹沢山地でも地表付近では風化が進んでいます。風化した石英閃緑岩類は脆いため、露岩地の浸食や表層崩壊の起こりやすさにもつながっています。</p> <p>変成岩類</p> <p>複合貫入岩体であるトータル岩・石英閃緑岩と丹沢層群の境界周辺に分布します。主なものに貫入岩体の東側（檜洞丸、丹沢山、鍋割山といった稜線）に分布するホルンフェルス、南側に分布する結晶片岩（緑色片岩）があります。</p> <p>丹沢層群にマグマが貫入する際に、プレート運動による圧縮やマグマの熱による変成作用を受けて性質の異なる岩石になったものです。</p> <p>足柄層群</p> <p>山北町の南部、丹沢山地と箱根山地の間に挟まれた足柄山地に分布します。</p> <p>およそ250万年前、丹沢山地に南方から伊豆ブロック（現在の伊豆半島）が付加し、押された丹沢山地は著しく隆起しました。両者の間にはトラフ（舟状海盆）ができ、そこに、約70万年前（新生代第四紀）まで丹沢山地から侵食された土砂が堆積しました。これが後に陸化したのが足柄層群の地層です。</p>
箱根外輪山	<p>古期外輪山溶岩</p> <p>火山灰、軽石、スコリヤなどの火山噴出物と溶岩が共に堆積し、箱根外輪山を構成しています。</p> <p>伊豆半島北部に続いて、およそ65万年前（新生代第四紀）から火山活動が活発化した箱根火山では、特に25万～18万年前頃の噴火が激しく、その頃の噴火によって堆積した溶岩が古期外輪山溶岩です。その後、火山の中央部にカルデラが形成されたため、現在はカルデラの外縁でのみ古期外輪山溶岩の地層がみられます。</p>

参考文献：「かながわの自然図鑑①岩石・鉱物・地層」神奈川県立生命の星地球博物館編（株）有隣堂

表2 山地ごとの表層地質（大分類）の構成比

小仏山地	<p>固結堆積物が大部分（93.8%）を占めることが特徴です。小仏山地に分布する固結堆積物とは、小仏層群や相模湖層群の岩石です。これらの岩石は透水性が低いため、小仏山地ではどちらかというと基岩を覆う土壌やローム層によって水源としての保水性が確保されています。</p> <p>また、固結堆積物の占める割合が最も大きいという点では丹沢山地（東部）と共通しますが、両者は同じ堆積岩でも堆積した砂礫の供給源が異なります。（表1「各山地の主な地層」を参照）</p>
丹沢山地（東部）	<p>最も多くを占めるのが固結堆積物（69.3%）、次に多いのが火山性岩石（26.0%）です。両者のうちの多くを占めるのが、いずれも丹沢層群の地層を構成する緑色凝灰岩（固結堆積物に分類）や火山角礫岩（火山性岩石に分類）です。また、全体の3.5%を占める未固結堆積物は、主に相模川などの河川沿いや河床に分布する河成堆積物の礫岩などです。</p>
丹沢山地（西部）	<p>他の山地ではわずかししか見られない深成岩や変成岩がおおよそ半分を占めることが特徴です。残りの固結堆積物と火山性岩石は、丹沢山地（東部）と共通し、丹沢層群を構成する岩石が多くを占めます。丹沢山地（西部）では、特に風化した石英閃緑岩によって山体の保水性が発揮されています。</p>
箱根外輪山	<p>火山堆積物が大部分（約87.9%）を占めることが特徴で、主に箱根山地の噴火に由来する溶岩です。火山性岩石は透水性が良好であるため源流河川は地下浸透しやすく、箱根外輪山の中標高以上では涸れ沢が多くみられます。地下浸透した水は山麓で湧出、あるいは足柄平野の地下水となります。</p> <p>固結堆積物は全体の7.8%を占め、主に山北町境付近に分布する足柄層群の礫岩層などが該当します。未固結堆積物は、酒匂川沿いの低地に分布する沖積層などです。</p>

表3 山地ごとの表層地質（小分類）の主なもの

順位	小仏山地	丹沢山地（東部）	丹沢山地(西部)	箱根外輪山
1位	砂岩黒色頁岩互層44.3%	緑色凝灰岩58.5%	石英閃緑岩30.9%	安山岩質岩石64.7%
2位	泥岩26.9%	火山角礫岩11.8%	緑色凝灰岩26.5%	武蔵野ローム（関東ローム）18.5%
3位	砂岩19.2%	武蔵野ローム（関東ローム）8.1%	結晶片岩11.8%	礫岩5.0%
備考	すべて小仏層群、相模湖層群を構成する岩石です。	緑色凝灰岩と火山角礫岩は丹沢層群を構成する岩石です。武蔵野ロームは、富士山の火山灰に由来し山麓周辺に分布します。	丹沢山地の深成岩は、ここではすべて石英閃緑岩に分類されています。変成岩のホルンフェルスは6.2%であり、変成岩全体では全体の18%を占めます。	安山岩質岩石は、箱根火山の溶岩に由来し中標高以上に分布します。武蔵野ロームは富士山の火山灰に由来し山麓周辺に分布します。

※表中の色分けは、図21「山地ごとの表層地質の面積割合」の大分類（棒グラフの凡例）と対応し、緑が固結堆積物、赤が火山性岩石、紫が深成岩、青が変成岩に分類される岩石であることを示しています。

Cを超え、山岳地である水源の森林エリアでは山麓部でも概ね12～15℃程度、1000mを超えるような丹沢の高標高域では、9℃を下回ります。このような気温の差は、特に植物相の分布に大きく関係し、さらに自然の生態系や景観の違いをもたらしています。森林の水源かん養機能の面では、気温は地面や植物の表面などからの水分蒸発や森林の物質循環や水質にかかわる有機物の分解速度などに直接影響しています。



図 22 全県の日平均気温の分布図

全県の降水量の分布

降水量は、一般的に標高が高いほど多くなります。(図 23) 全県でみても、低地の県東部・中央部では平年の降水量は1800mmを下回りますが、西部の山岳地の大部分は1800mmを超え、低地のおよそ1.5倍前後です。西部の山岳地の中では、より西側かつ海側に位置する箱根山地で降水量が最も多く年間3000mmを超えます。一方、内陸の小仏山地で降水量が比較的少ない傾向です。丹沢山地は、両者の中間程度ですが、丹沢山地（東部）の大山周辺は、やや降水量が多い傾向です。

降水量は、水源のかん養源であり水利用に直結しますが、全県の分布は山岳地である西側に偏っており、これらの山岳地に降った雨が人々の水利用を支えていると言えます。



図 23 全県の年間降水量の分布図

図 22、図 23 は気象庁メッシュ平年値 2010 より作成

※気象庁の「メッシュ平年値 2010」とは、過去 30 年間の観測値から1km四方のメッシュで気温等の平年値が推定・算出されたデータセットで、一般にも公表されています。

④森林・植生・土壌

ここでは各山地の森林・植生・土壌の特徴について解説します。これらは、地形・地質、気候といった自然条件のもと森林・植生をはじめ動物も含んだ生物相全体や土壌が相互に作用し合うことで形成されます。さらに、過去の森林利用に伴う伐採・植林、カヤ場などの土地利用も現在の森林・植生・土壌に影響しています。

全県の土地利用・植生の分布

県および県外上流域について、土地利用や植生を大きく区分して分布を示しました。(図 24) このように自然林・二次林・人工林に大きく区分すると、水源の森林エリアのほぼ中央に自然林、その周囲に二次林と人工林が分布し、同じ森林であっても偏って分布していることがわかります。

森林の水源かん養機能の面からは、どの森林の機能が高い・低いといったことは一概には言えませんが、森林の管理においては通常は区別して扱われます。特に人工林では自然林や二次林と異なり、成熟した森林に育つまで間伐等の手入れが必要となります。

※自然林・二次林・人工林について

自然林：人の手が加わらない自然の状態の森林。

二次林：災害や人為によって一度破壊（あるいは改変）され、その後回復途上にある森林。過去に薪炭林として利用され今は放置されているところや、過去に山崩れの起きた場所でその後自然緑化したところなど。

人工林：人為的につくられた森林で主に植林（神奈川ではスギまたはヒノキが多い）によります。

水源の森林エリアの植生区分ごとの分布と各面積割合

上記の分布図について、水源の森林エリアを拡大した図と(図 25)、各山地の標高帯ごと植生区分ごとの面積比率を円グラフで示しました。(図 26) 自然林は、丹沢山地の高標高域（標高 800m 以上）の約4割強を占め、主にブナ、ミズナラ、カエデなど

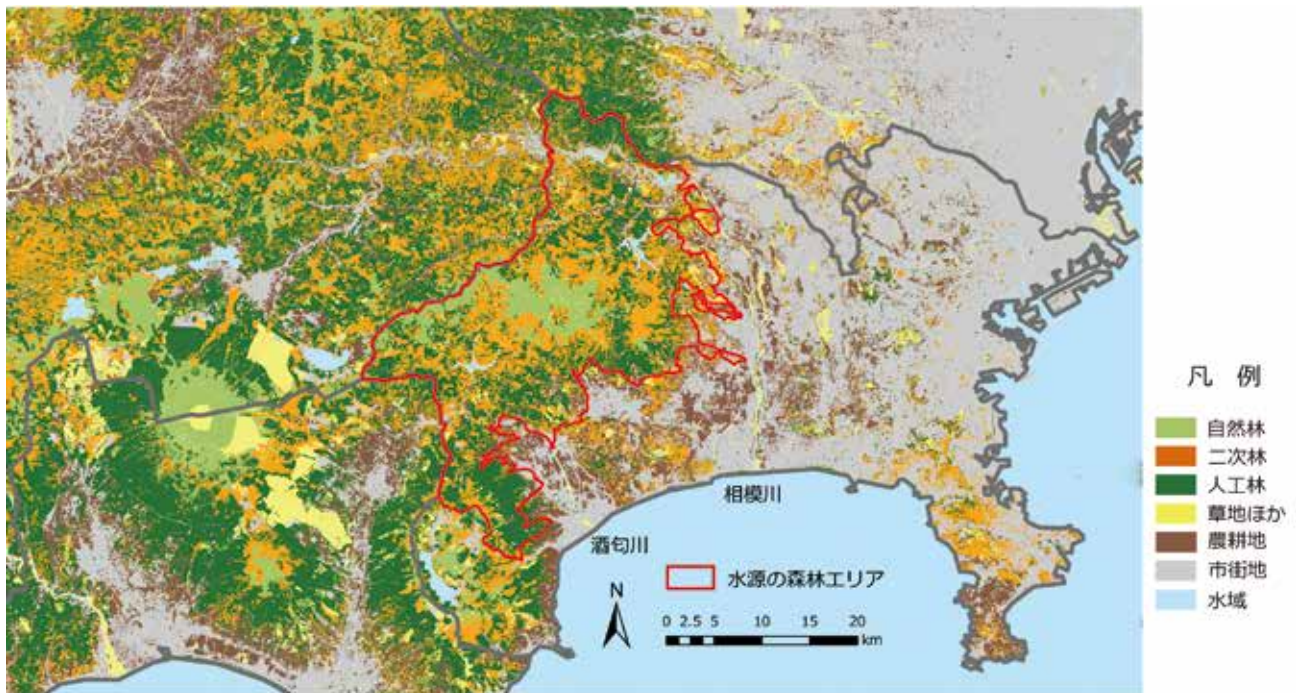


図 24 全県の土地利用・植生の分布図

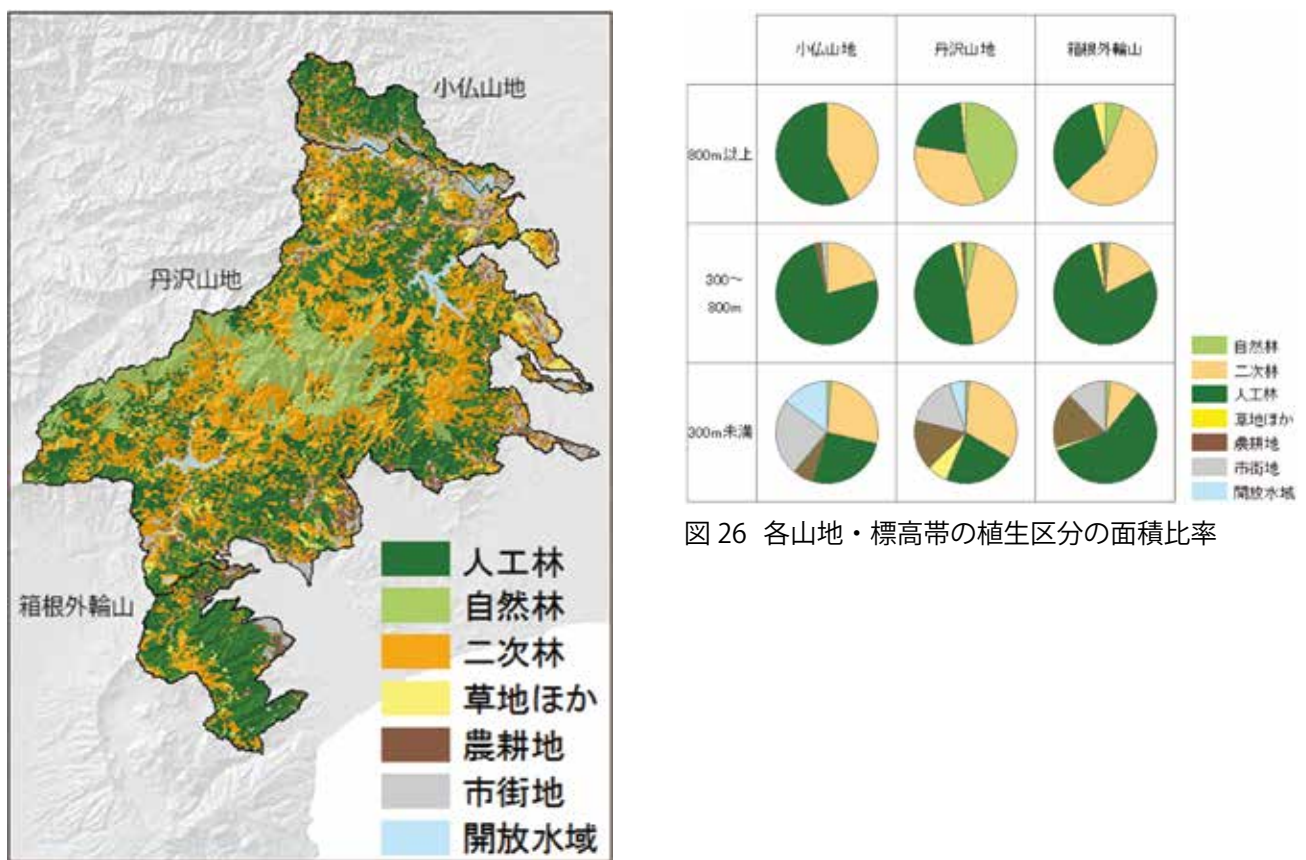


図 26 各山地・標高帯の植生区分の面積比率

図 25 水源の森林エリアの土地利用・植生の分布図

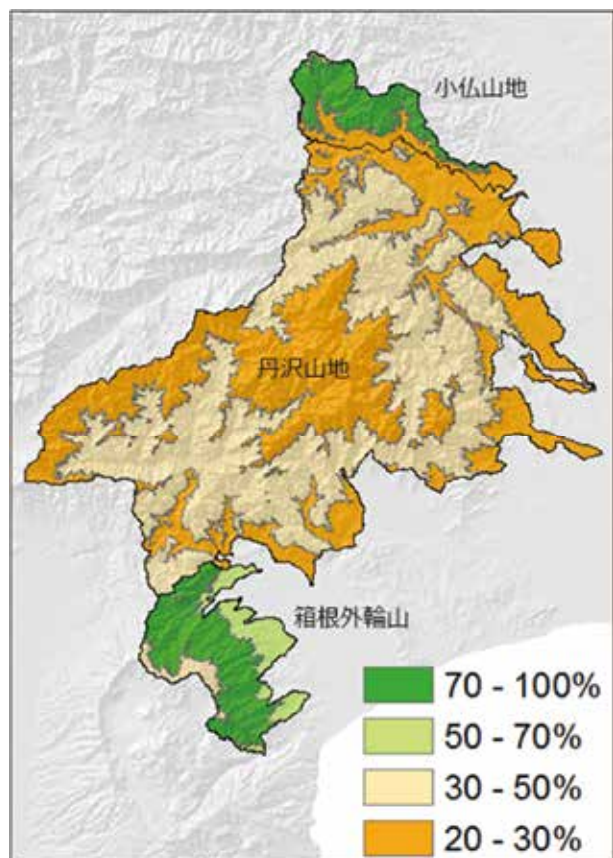


図 27 各山地の標高帯ごとの人工林面積率

図 24 ～ 27 は国土地理院土地保全基本調査（土地利用・植生現況図）より作成

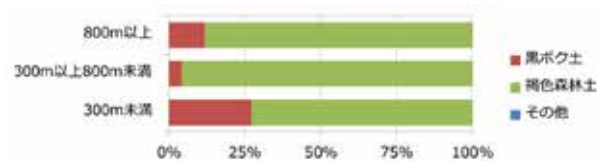
の落葉広葉樹が生育しています。丹沢山地の中標高域（標高 300 ～ 800m）以下は、本来はシイ、カシ類などの常緑広葉樹林が生育する環境条件ですが、古くから森林利用が活発であったため、現状ではコナラなどの二次林やスギやヒノキの人工林が多く分布します。人工林の占める割合が多いのは小仏山地と箱根外輪山の中標高域で、いずれも人工林が 75% を超え、残りの 25% 弱は二次林が大部分を占めます。いずれの山地でも、低標高域（標高 300m 以下）では、市街地や農耕地などの森林以外の土地利用が 3 割以上を占め、水源の環境として中・高標高域とは少し異なることがうかがえます。

各山地の標高帯ごとの人工林面積率

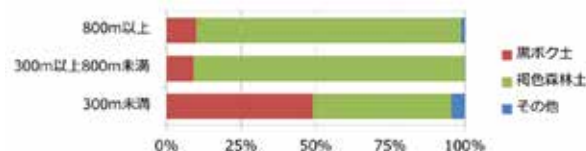
人工林は間伐などの手入れを行う必要がありますが、植林後の手入れが遅れると水源かん養機能にも影響を及ぼすことが近年明らかになってきています。

このため、水源の森林エリアにおいても、人工林がどこにどれだけ分布し、良好に管理されているのかどうかを把握する必要があります。

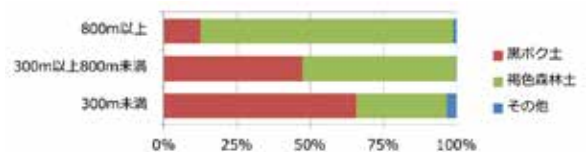
小仏山地



丹沢山地（東部）



丹沢山地（西部）



箱根外輪山

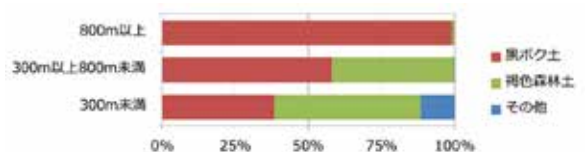


図 28 各山地・標高帯別の土壌分類ごとの面積比率

下図では、山地ごと標高帯ごとに人工林の面積率を示しました。（図 27）水源の森林エリアの中で、特に人工林がまとまって分布する山地は、小仏山地の中・高標高域と箱根外輪山の中・低標高域です。

山地ごと標高帯ごとの森林の土壌タイプ

森林の土壌は、岩石やその風化物が材料（母材）となり、気温や降水量などの気候、斜面位置や標高などの地形に加え、植物等の生物相からの有機物供給や土壌動物等による有機物分解などが作用して長い間を経てつくられます。土壌は、水や養分を貯蔵して植物の成長を支えるとともに、微生物等による有機物分解の場として、森林生態系の中でも特に重要な役割を担っています。

ここでは国土地理院の土地分類基本調査 1/20 万（土壌図）に基づいて、山地別、標高帯別の土壌分類ごとの面積比率を示しました。（図 28）

いずれの山地においても、褐色森林土（※）と黒ボク土（※）によって大部分が占められていますが、箱根外輪山以外では低標高域・緩傾斜地に黒ボク土

の分布が比較的多く見られます。箱根外輪山では標高の高いほうに黒ボク土が多く分布します。褐色森林土は、尾根・斜面・谷などの斜面位置によって乾性～湿性のものまで分布します。

森林の水源かん養機能の面からは、これらの土壌分類をもとに機能が低い・高いといったことは一概には言えません。土壌に関しては土壌層の厚さが水源かん養機能に特に関係しますが、実際の森林では土壌層の厚さや土壌の下の方の基岩の風化帯の深さ、さらには基岩そのものの透水性などの諸条件が組み合わさって、さらに地上部の森林をはじめとした生物相全体の働きが一体となって、その場所の森林の水源かん養機能の発揮にかかわっています。

ただし、近年の水源林では、いくつかの要因によって土壌の表面を覆う下層植生が衰退し、それによって降った雨が土壌にしみこみにくなり、水源かん養機能の低下が危惧されています。

※森林土壌の分類

褐色森林土：温暖湿潤気候の森林下に多く分布する土壌のタイプで、日本列島に広く分布します。

黒ボク土：火山噴出物からできた土壌です。（水源の森林エリアでは、箱根火山あるいは富士山の過去の噴火の影響を受けています。）火山灰が母材であることに加え草原植生のもとで生成された土壌です。カヤ場などの過去の土地利用も影響していると考えられています

2 取組み・対応実績

1. 自然環境保全センター研究成果報告会・事業報告会の開催

年度	報告事項・テーマ	開催月日	開催場所
2008	「森林における水源かん養機能の評価」研究の動向と丹沢山地の取り組み	平成21年1月9日	横浜市開港記念会館
2014	「水源林再生の最前線」 水源林の再生とは 他4件	平成27年2月27日 平成27年3月16日	横浜市開港記念会館
2015	ブナ林の再生に向けて ～衰退原因の解明と再生技術の開発～	平成28年2月20日	厚木商工会議所
2017	対照流域法による森林の水源かん養機能調査の概要 他5件	平成30年3月19日	神奈川工科大学

2. 研究推進支援研修の開催

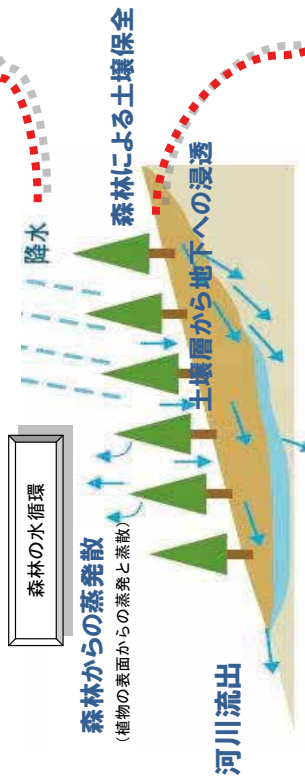
プロジェクト研究等重点的な研究推進のため、外部有識者からの指導・助言を受けることにより研究員の研究能力の向上を図る研修を実施した。（本特集号に関連するもののみ抜粋して掲載）

年度	報告事項・テーマ	講師	開催月日	開催場所
2006	丹沢の水と土の現状と水環境のモニタリングについて	鈴木雅一	平成18年9月11日	厚木合同庁舎
2006	水環境モニタリングの調査設計および市民参加による取り組み事例について	蔵治光一郎	平成18年12月6日	横浜西合同庁舎
2008	森林の荒廃と水源かん養機能評価について ～流域スケールの水流出と土壌流亡をとらえる～	五味 高志	平成21年1月9日	横浜市開港記念会館
2008	生態系評価と再生の考え方	中村 太士	平成21年3月12日	神奈川県中小企業 センタービル
2010	公益的機能の発揮に向けた森林施業	鈴木 和次郎	平成22年11月24日	自然環境保全センター
2010	森林流域の水・土砂流出の長期モニタリングからわかること	堀田 紀文	平成23年2月25日	自然環境保全センター
2013	森林と河川底生動物とのかかわり	加賀谷 隆	平成25年8月21日	自然環境保全センター
2015	ニホンジカによる植生衰退と流域の物質循環・森林生態系機能への影響	福島 慶太郎	平成28年2月23日	自然環境保全センター
2016	諸戸北郎博士と近代砂防技術、丹沢の震災復旧工事とのかかわり	西本 晴男 阿部 拓実	平成28年11月9日	足柄上合同庁舎
2016	減流河川の付着藻類－大型藻類の生育と河川環境特性－	福島 悟	平成29年3月9日	自然環境保全センター
2017	シカの影響による下層植生衰退と土壌侵食・水源かん養機能の関係	石川 芳治	平成29年7月20日	厚木商工会議所
2018	森林の水源かん養機能における土壌の役割と岩盤地下水の関係	小杉 賢一朗	平成31年3月5日	自然環境保全センター

1 森林の基礎情報 (3) 説明用フライヤー①

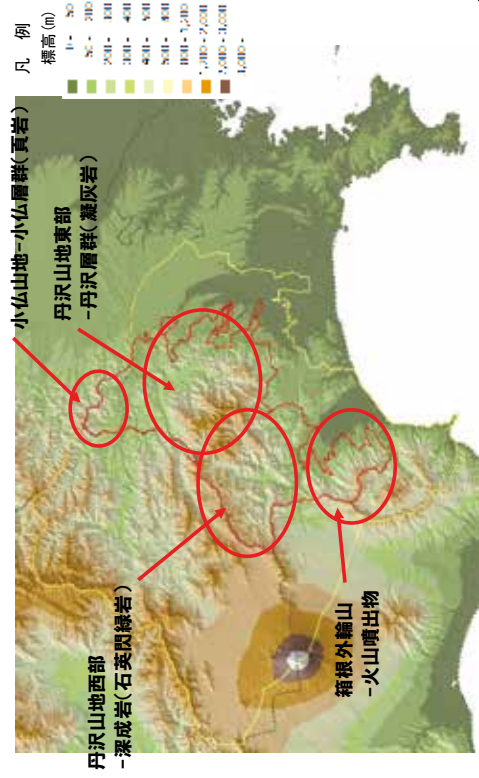
森林管理と水源かん養機能のかかわり

水源地域の大部分は森林に覆われた山地です。通常、山地に降った雨は、森林(土壌も含む森林生態系全体)を経由していったん地中に浸透し、河川に流出します。森林からの水の流出には、①降雨、②地質等の地下の状態、③森林の状態の3つが関係します。森林の状態については、特に土壌の保全が重要です。



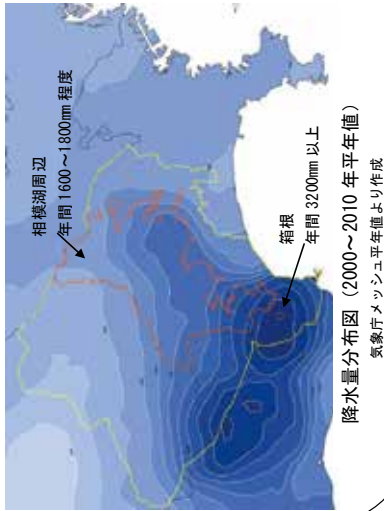
風化基岩への浸透

～水源地域の山地と地質～
水源地域には、丹沢山地、小仏山地、箱根山地などいくつかの山地があります。これらの山地は、それぞれ成り立ちが異なるために地質が異なり、水の浸透しやすさや保水性も異なります。



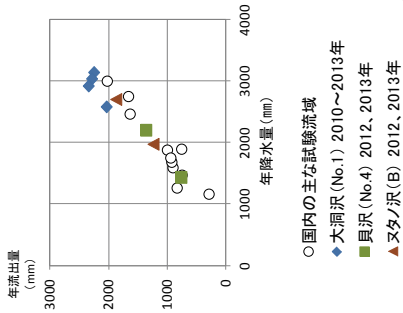
～水源地域の降水量～

年間降水量は、箱根では3200mmを超える一方、相模湖周辺では1600～1800mm程度であり、地域によって約2倍の差があります。



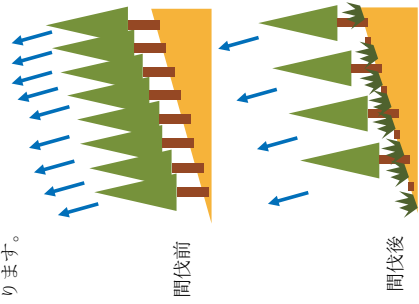
～年間の降水量と流出量～

森林流域から流出する水の量は、大きくは降水量に対応しています。



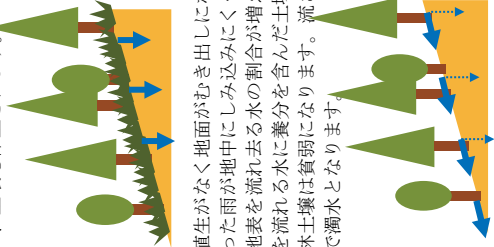
～森林からの蒸発散～

樹木は根から水を吸い上げて、葉から大気中に水蒸気を放出しています。(これを蒸散作用といいます。)
たとえ人工林で間伐をして樹木の本数が減ると、森林全体の水蒸気の放出量が減ります。



～森林による土壌保全と土壌層での水の浸透～

地表面が下層植生や落葉で覆われていれば、降った雨も地中にしみ込みやすくなり、地下に保水され、土壌も保全されます。



下層植生がなく地面がむき出しになっていると、降った雨が地中にしみ込みにくくなり、短時間に地表を流れて去る水の割合が増えます。地表を流れる水に養分を含んだ土壌も流され、森林土壌は貧弱になります。流された土壌は下流で濁水となります。

1 森林の基礎情報 (3) 説明用フライヤー②

小仏山地とその森林

～堆積岩の急峻な山地のまとまった人工林～

- 津久井湖・相模湖上流（相模川流域）。
- 地質は、かつて海底であった時代の砂や粘土の堆積物を起源とする小仏層群。
- 比較的私有林が多く、スギやヒノキの人工林が広く分布。
- 山地から里地性の多種の動物が生息。シカの生息はまだ少なく、丹沢のような下層植生の衰退はみられない。
- 過去に大規模な雪害の履歴あり。



相模原市緑区与瀬

箱根外輪山とその森林

～火山堆積物の緩やかな山地のまとまった人工林

- 酒匂川飯泉取水堰上流（狩川流域）。
- 地質は、箱根火山の噴出物に由来。
- 古くからスギの良材が産出され、現在、大雄山のスギ森林は天然記念物となっている。
- 大部分が市町村所有であり、人工林が多く分布し、林道が密に整備されている。
- シカは最近まで少なかったが、下層植生への影響が徐々にみられるようになってきている。

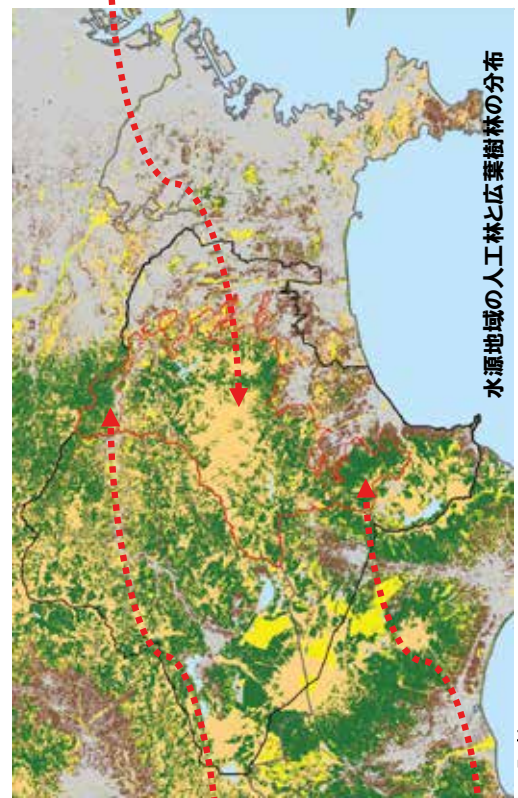


小田原市久野

水源地域の山地と森林

相模川や酒匂川の源流は、丹沢山地、小仏山地、箱根山地などの山地です。これらの山地は、大部分が森林であり、山麓の平野部における住宅地や農地等の人工的な土地利用と比べて対照的です。

近年、水源の森林では、外から見ると立派な森林であっても、林の中では土壌の流出が起こっています。その原因は、過去に植林したスギやヒノキの手入れ不足や、増えたシカの採食によって下層植生が乏しくなったためです。



水源地域の人工林と広葉樹林の分布



人工林と自然林との違いは？（広葉樹林との違い）

- 人工林は人為的につくられた森林で植林による場合が多い。自然林（二次林を含む）は人為が加わらずに自然にできた森林である。
- 人工林と自然林の違いは、上層にある木の年齢構成、樹種構成、樹冠状態に集約される。
- 人工林の年齢構成は同齢、樹種構成は単純、樹冠がそろった状態であるのに対して、自然林は異齢、混交、樹冠は不ぞろいである。
- 人工林は最初から人為によりにつくられた森林のため、最後まで人間が手入れする必要がある。



山北町谷ヶ

丹沢山地とその森林

～急峻でもうい山地のモザイク状の森林～

- 宮ヶ瀬湖上流（東部）、津久井湖上流（北部）、丹沢湖上流（西部）
- 地質は、東部は第三紀層 丹沢層群（凝灰岩）、西部は深成岩（石英閃緑岩）。
- 過去からの地殻変動の影響で急峻でもろい。関東大震災や 47 年災害等の土砂災害の履歴あり。
- 高標高域はブナ等の自然林、中低標高域に人工林と広葉樹林がモザイク状に配置。
- ツキノワグマをはじめとした野生動物の宝庫。近年は増えたシカの採食によって、下層植生が乏しくなっている。
- 過去には中心部は御料林（皇室の財産）や西部は小田原藩領として公的管理、北部と南部は地域による入会利用中心。現在も中心部は国有林と県有林。



清川村（天王寺尾根）



清川村（丹沢県有林）

1 森林の基礎情報 (3) 説明用フライヤー④

森林の土壌流出と水や生きものへの影響

森林土壌は長い年月をかけて森林の生きものの働きによってつくられます。この土壌が、森林の水源かん養機能の発揮や森林生態系の健全化に重要な役割を担っています。

土壌流出の原因

① 人工林の手入れ不足

植林してもその後の間伐が不十分であると、林の中に日光が入らず、下層植生も衰退してしまいます。



② 増えすぎたニホンジカの影響

丹沢山地では近年ニホンジカの生息数が増え、餌となる植物とのバランスが崩れてしまったために、地表近くの植生が衰退しています。

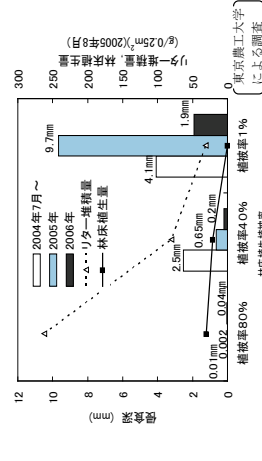


地表面を覆う植物がなくなり、**地面がむき出しになることが、土壌流出の直接的な原因です。**

土壌流出の現状

地面がむき出しになると、雨が降った時に土壌が流出します。

下層植生が地表面を80%覆っていた場所では土壌流出はほとんど発生しませんが、下層植生が地表面の1%しか覆っていない場所では年間ですら、**地表層の2mm~1cmが流出**していました。これは、植生のまったくない山と同程度の流出量です。

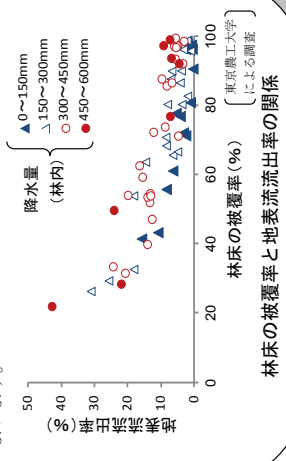


リクア：落葉落枝



植生被覆率と土壌侵食深の関係

むき出しになった地面では、雨が降ったときに地中に水がしみこみにくくなります。下層植生や落葉による地表面の多いが少ないほど、地表流は増加します。この地表を流れる水が表層の土壌を流してしまします。



林床の被覆率と地表流出率の関係 (東京農工大学による調査)

水源地域の自然に本来備わっている能力が低下し、将来的に、良質な水を安定的に確保することが難しくなります。

● 水源かん養機能の低下

降った雨は地中にしみこまず、地表を流れ去っていき、雨が降ったときにただちに流れ出る水は増えますが、その分だけ地中に保たれる水は少なくなります。

地表を流れる水に土壌も流れ、下流では濁水が発生します。

● 森林生態系の劣化

森林の下層の植物が衰退することによって植物の多様性が低下します。特にニホンジカの採食による場合は、シカの好まない植物種に偏ります。このような下層の植物の多様性の低下は、昆虫、土壌動物、鳥などをはじめとした森林の生きもの全体の多様性の低下につながり、本来の自然に備わっている病害虫など各種被害への抵抗力や回復力の低下が危惧されます。



スズタケの消失

ニホンジカの好まない植物の増加

森林・シカの一体的管理

間伐、植生保護、シカ捕獲を一体的に実施し、下層植生の回復を図ります。

間伐

現在すすめている土壌流出対策



シカ管理捕獲

植生保護柵

土壌保全工

3 関連する文献一覧

(1) モニタリング・評価に当たり参考にした文献（水源施策前の先行研究）

ア 書籍

- 石川芳治（2013），「シカの食害による土壌流亡を防ぐ知識と技術」，サントリービジネスエキスパート（株）水科学研究所・サントリーホールディングス（株）編『「天然水の森」を科学する』
木平勇吉・勝山輝男・田村淳・山根正伸・羽山伸一・糸長 浩司・原慶太郎・谷川潔編（2012），『丹沢の自然再生』
丹沢大山総合調査団編（2007），『丹沢大山総合調査学術報告書』

イ マニュアル

- 神奈川県自然環境保全センター（2007），『溪畔林整備指針』
神奈川県自然環境保全センター（2008），『丹沢大山自然再生土壌保全対策マニュアル』

ウ 自然環境保全センター報告 ※神奈川県自然環境保全センター発行（不定期）

- 小林俊元・末次加代子・山根正伸・永田幸志・溝口暁子（2008），「2006 年度神奈川県ニホンジカ保護管理事業におけるニホンジカ（*Cervus nippon*）個体群調査報告」，『神奈川県自然環境保全センター報告』5, 25-37 頁
越地正・谷脇徹・田村淳・山根正伸（2008），「丹沢山地における 2007 年に大発生したブナハバチ被害とこれまでのブナの衰弱枯死経過」，『神奈川県自然環境保全センター報告』5, 3-9 頁
永田幸志・入野彰夫・細野正（2009），「清川村における野生鳥獣による農作物被害に関する調査報告」，『神奈川県自然環境保全センター報告』6, 37-46 頁
末次加代子・池谷智志・小林俊元・川村優子・永田幸志・山根正伸・溝口暁子（2008），「2007 年度神奈川県ニホンジカ保護管理事業におけるモニタリング報告」，『神奈川県自然環境保全センター報告』6, 5-19 頁
末次加代子・池谷智志・永田幸志・山根正伸・藤森博英（2011），「2008 年度，2009 年度神奈川県ニホンジカ保護管理事業における丹沢山地のニホンジカ個体群調査報告」，『神奈川県自然環境保全センター報告』8, 9-26 頁
田村淳・中川重年（2008），「設置後 10 ～ 15 年経過したツリーシェルター試験地と植生保護柵試験地における樹木の生育状況」，『神奈川県自然環境保全センター報告』5, 71-78 頁
田村淳（2009），「シカの採食により退行した冷温帯自然林における植生保護柵による林床植生の回復」，『神奈川県自然環境保全センター報告』7, 1-108 頁
谷脇徹・田村淳・藤澤示弘・齋藤央嗣・越地正（2008），「丹沢山地において 2006 年に落下したブナ種子の品質」，『神奈川県自然環境保全センター報告』5, 79-84 頁
内山佳美・相原敬次・飯田勝彦・板寺一洋（2009），「 δ 180 をトレーサーとした短期流出特性把握におけるサンプリング方法の検討」，『神奈川県自然環境保全センター報告』6, 63-68 頁

エ 論文

- 石川芳治・内山佳美（2009），「丹沢堂平におけるシカによる林床植生衰退地における土壌侵食の実態解明と対策工の開発」，『砂防学会誌』第 62 巻，第 4 号
初 磊・石川芳治・白木克繁・若原妙子・内山佳美（2010），「丹沢堂平地区のシカによる林床植生衰退地における林床合計被覆率と土壌侵食量の関係」，『日本林学会誌』92, 261-268 頁
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－」，『日本林学会誌』90, 378-385 頁

(2) モニタリングから得られた情報や知見が掲載されている文献

ア 書籍

- Gomi T, Oohira M, Hiraoka M, Miyata S, and Uchiyama Y. (2022) “Impact of Sika Deer on Soil Properties and Erosion, In Sika Deer”, Life History Plasticity and Management, 399-413
- Nagata K, Tamura A. (2022) “Deer management in the Tanzawa Mountains, Kanagawa Prefecture, In Sika Deer”, Life History Plasticity and Management, 569-588
- 大平充・五味高志・内山佳美 (2021), 「シカの食害が山地流域からの流出土砂量に及ぼす影響 神奈川県丹沢山大洞沢観測所における水と土砂動態観測」, 公益社団法人砂防学会出版プロジェクト委員会編, 『砂防の観測の現場を訪ねて 2～山地河川内の複雑な土砂の動きを知る～』, 公益社団法人砂防学会, 125-133 頁
- 田村淳 (2017), 「丹沢のシカ総合管理」, 梶光一・飯島勇人編, 『日本のシカ』, 東京大学出版会, 183-202 頁
- 田村淳 (2018) 「シダ植物」(分担執筆), 神奈川県植物誌調査会編, 『神奈川県植物誌 2018』, 神奈川県植物誌調査会, 17-191 頁
- Tamura A. (2022) “Effect of different periods of chronic deer herbivory on both tall forbs and soil seed banks following deer exclusions in a damp beech forest, In Sika Deer”, Life History Plasticity and Management, 447-461
- 田中徳久・勝山輝男・秋山幸也・大西亘・田村淳・山本薫・石田祐子 (2022), 「維管束植物」, 神奈川県環境農政局緑政部自然環境保全課・神奈川県立生命の星・地球博物館編, 『神奈川県レッドデータブック 2022 植物編』, 44-326 頁
- 内山佳美 (2014), 「神奈川県の参加税制、順応的管理による緑のダムの保全」, 蔵治光一郎・保屋野初子編, 『緑のダムの科学 減災・森林・水循環』, 築地書館, 154-168 頁

イ マニュアル、図鑑等

- 神奈川県自然環境保全センター (2016), 『丹沢の希少植物図鑑—希少植物の保護に向けて—』
- 神奈川県自然環境保全センター (2016), 『神奈川県広葉樹実生図鑑』改訂第2版
- 神奈川県自然環境保全センター (2016), 『神奈川県シカ不嗜好性植物図鑑』
- 神奈川県自然環境保全センター (2017), 『丹沢ブナ林再生指針』
- 神奈川県自然環境保全センター (2017), 『溪畔林整備の手引き』
- 神奈川県自然環境保全センター (2022), 『水源林整備の手引き』

ウ 自然環境保全センター報告

※神奈川県自然環境保全センター発行 (不定期)

・特集号

- 神奈川県自然環境保全センター (2012), 「丹沢山地のブナ林衰退研究の最前線」, 『神奈川県自然環境保全センター報告』第9号, 140 頁
- 神奈川県自然環境保全センター (2013), 「森林における水環境モニタリングの始動」, 『神奈川県自然環境保全センター報告』第10号, 287 頁
- 神奈川県自然環境保全センター (2013), 「第2次神奈川県ニホンジカ保護管理計画の取組みとその成果」, 『神奈川県自然環境保全センター報告』第11号, 93 頁
- 神奈川県自然環境保全センター (2016), 「丹沢山地のブナ林再生に向けて～衰退原因の解明と再生技術の開発～」, 『神奈川県自然環境保全センター報告』第14号, 92 頁
- 神奈川県自然環境保全センター (2024), 「丹沢山地のブナ林再生に向けて～衰退要因モニタリングと保全・再生対策の動向～」, 『神奈川県自然環境保全センター報告』第18号, 90 頁

・特集号以外の個別報告の掲載

- 安部豊・内山佳美（2023），「流出特性に対する岩盤地下水挙動の影響：丹沢山地西部花崗閃緑岩源流域における研究事例」，『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 85-94 頁
- 馬場重尚・羽太博樹・前嶋真一・藤森博英（2015），「2014 年 2 月大雪後のニホンジカの死体目撃情報の報告」，『神奈川県自然環境保全センター報告』13, 57-59 頁
- 石川烈・永井広野・永田幸志・町田直樹・石川信吾（2023），「神奈川県ニホンジカ管理計画における生息状況モニタリング結果」，『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 17-24 頁
- 姜兆文・永田幸志・羽根田貴行・永井広野・町田直樹・今井俊輔・山田雄作（2023），「丹沢山地の鳥獣保護区に生息するニホンジカの行動特性」，『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 35-49 頁
- 片瀬秀高・久保田修映・高橋聖生・羽太博樹・藤森博英・馬場重尚（2014），「ワイルドライフレンジャーの取り組み」，『神奈川県自然環境保全センター報告』12, 35-41 頁
- 片瀬英高・村田成文・丸智明・藤井秀仁・大岩幸太・國松竜太郎・永田幸志・石川信吾・町田直樹（2020），「ワイルドライフレンジャーの取り組み」，『神奈川県自然環境保全センター報告』16, 9-16 頁
- 永井広野・小松ゆりな・西岡美保子・石川烈・永田幸志・町田直樹・石川信吾（2023），「神奈川県ニホンジカ管理計画に基づく管理捕獲個体の分析結果」，『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 25-34 頁
- 永田幸志・田村淳（2014），「丹沢山地におけるササ 3 種の 2013 年の開花記録」，『神奈川県自然環境保全センター報告』13, 43-45 頁
- 永田幸志・田村淳（2015），「丹沢山地におけるササ 3 種の 2014 年の開花記録」，『神奈川県自然環境保全センター報告』13, 65-68 頁
- 永田幸志・亀山明子（2018），「猟区を活用した狩猟者育成手法検討の取組」，『神奈川県自然環境保全センター報告』15, 37-46 頁
- 永田幸志・片瀬英高・丸智明（2018），「鉄含有誘引餌によるニホンジカの誘引試験結果」，『神奈川県自然環境保全センター報告』15, 47-50 頁
- 永田幸志・谷川潔・町田直樹（2018），「丹沢山地におけるニホンカモシカの生息密度」，『神奈川県自然環境保全センター報告』15, 51-53 頁
- 永田幸志・田村淳（2018），「丹沢山地におけるササ 3 種の 2016 年の開花記録」，『神奈川県自然環境保全センター報告』15, 55-58 頁
- 永田幸志・町田直樹・丸智明（2020），「丹沢山地札掛地区における自動撮影カメラによるニホンジカ（*Cervus nippon*）撮影記録」，『神奈川県自然環境保全センター報告』16, 21-25 頁
- 永田幸志・栗林弘樹・田村淳・小林俊元・入野彰夫（2023），「神奈川県のニホンジカ保護管理について～管理計画策定と植生回復の取組の経緯～」，『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 51-60 頁
- 永田幸志・永井広野（2023），「丹沢山地におけるニホンカモシカの生息密度（2017-2021 年度）」，『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 77-79 頁
- 永田幸志・永井広野・町田直樹（2023），「箱根山地におけるニホンカモシカの撮影記録」，『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 81-83 頁
- 大石圭太・山根正伸・谷脇徹・田村淳（2023），「神奈川県の水源林整備地における中大型哺乳類の種構成とニホンジカの生息状況」，『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 61-71 頁
- 大石圭太・雨宮有・山根正伸（2023），「丹沢山地堂平地区のブナ林におけるニホンジカの採餌行動と中大型哺乳類の撮影記録」，『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 73-76 頁
- 谷脇徹・永田幸志・鈴木透・姜兆文・山田雄作・山根正伸（2015），「植生保護柵を改修した囲いわなによるニホンジカの捕獲」，『神奈川県自然環境保全センター報告』13, 15-24 頁
- 内山佳美・山根正伸（2008），「森林における水環境モニタリングの調査設計―大洞沢における検討事例―」，『神奈川県自然環境保全センター報告』5, 15-24 頁
- 内山佳美・中嶋伸行・横山尚秀・山中慶久（2014），「東丹沢大洞沢における治山事業による水文観測

の記録」,『神奈川県自然環境保全センター報告』12, 17-26 頁

内山佳美・横山尚秀・三橋正敏 (2015),「西丹沢ヌタノ沢の流出特性」,『神奈川県自然環境保全センター報告』13, 39-47 頁

内山佳美・横山尚秀・三橋正敏・島田武憲 (2018),「西丹沢ヌタノ沢における濁度計による浮遊土砂観測結果」,『神奈川県自然環境保全センター報告』15, 29-35 頁

内山佳美・入野彰夫・大内一郎・丸井祐二 (2023),「林床植生の植被率と土壌侵食防止機能の指標となる林床合計被覆率との関係」,『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 1-6 頁

山中慶久 (2015),「1970 年代の自然保護の機運の高まりから平成9年(1997 年)の水源の森林づくり事業開始までの神奈川県の森林・林業政策の展開」,『神奈川県自然環境保全センター報告』13, 49-55 頁

山根正伸・田村淳 (2023),「水源林整備地における植生と林分構造の現状:水源林の林分構造調査の1 巡目調査結果」,『神奈川県自然環境保全センター報告』17, 7-15 頁

横山尚秀・内山佳美・三橋正敏 (2014),「東大洞沢の水文地質と流出機構」,『神奈川県自然環境保全センター報告』12, 1-16 頁

横山尚秀・内山佳美・三橋正敏 (2015),「フチジリ沢・クラミ沢流域(箱根外輪山北東麓)の水文地質について」,『神奈川県自然環境保全センター報告』13, 25-37 頁

横山尚秀・内山佳美・三橋正敏・丸山範明・板寺一洋 (2018),「県西部の4 試験流域における水循環機構解明のための溪流調査」,『神奈川県自然環境保全センター報告』15, 11-28 頁

エ 一般向け雑誌等

・特集号

一般社団法人 日本森林学会 (2013),「ブナ林の衰退—丹沢山地で起きていること—」,『森林科学』第67 号

・特集号以外の掲載

安部豊・内山佳美 (2022),「広域の地下水流動を把握する—自治体と地球研の連携研究による地域貢献—」,陀安一郎・申基澈・鷹野真也編,『同位体環境学がえがく世界:2022 年版』

谷脇徹 (2015),「丹沢山地におけるブナハバチの大発生と防除法の開発」,『森林防疫』64(5), 165-173 頁

谷脇徹・猪野正明・鶴田英人・相原敬次・岡田充弘 (2017),「ブナハバチ防除のためにブナ成木に樹幹注入したジノテフランの葉内濃度の季節変化」,『森林防疫』66(2), 42-47 頁

内山佳美 (2023),「神奈川県の参加型税制による水源林再生と水源かん養機能評価」,『森林技術』975, 8-11 頁

オ 査読付き論文等

(7) ブナ林再生(丹沢大山の保全・再生対策の関係)

○大気環境

斎藤正彦・若松伸司・岡崎友紀代・堀越信治・山根正伸・相原敬次 (2012),「数値モデルを用いた丹沢山地のオゾンの挙動解析」,『大気環境学会誌』47, 217-230 頁

斎藤正彦・若松伸司・相原敬次 (2013),「丹沢山地における樹木のオゾン取込み量の推定」,『大気環境学会誌』48, 251-259 頁

○シカと植生

佐藤司郎・鈴木牧・谷脇徹・田村淳 (2018),「丹沢山地におけるシカの増加がオサムシ科甲虫に及ぼす間接的影響」,『日本森林学会誌』100, 141-148 頁

田村淳 (2013),「シカによりスズタケが退行したブナ林において植生保護柵の設置年の差異が林床植生の回復と樹木の更新に及ぼす影響」,『日本森林学会誌』95, 8-14 頁

田村淳 (2016),「丹沢山地の自然環境保全の側面から見た森林の諸問題と適正管理に向けての課題—シ

- カの増加等から見えてくる都市近郊林の諸問題」, 『環境情報科学』 45(2), 52-56 頁
- Tamura A. (2016) “Potential of soil seed banks in the ecological restoration of overgrazed floor vegetation in a cool-temperate old-growth damp forest in eastern Japan”, *Journal of Forest Research* 21, 43-56
- Tamura A. (2019) “Potential of soil seed banks for vegetation recovery following deer exclusions under different periods of chronic herbivory in a beech forest in eastern Japan”, *Ecological Research* 34, 160-170
- 田村淳 (2019), 「丹沢山地の天然林におけるシカ柵研究からわかってきた植生回復の限界と期待」, 『水利科学』 367, 134-146 頁
- Tamura A. (2020) “Effects of 16-year deer exclusion on the forbs and tree saplings in a beech (*Fagus crenata*) forest degraded by sika deer in eastern Japan”, *Natural Areas Journal* 40(1), 4-10
- Tamura A. (2021) “Potential for soil seed banks to drive vegetation changes in windswept Sasa grasslands in eastern Japan”, *Journal of Forest Research* 26(1), 75-80
- ブナハバチ
- 谷脇徹・渡辺恭平 (2012), 「神奈川県丹沢山天王寺尾根で確認されたブナハバチの捕食寄生蜂相」, 『昆蟲 (ニューシリーズ)』 15, 2-14 頁
- 谷脇徹・山根正伸・田村淳・相原敬次・越地正・谷晋・伴野英雄・山上明 (2013), 「ブナハバチ雌成虫の発生とブナ展葉の同時性が被食量に及ぼす影響」, 『昆蟲 (ニューシリーズ)』 16, 218-224 頁
- 谷脇徹 (2013), 「衝突板トラップの色によるブナハバチ成虫の誘引効果の差異」, 『昆蟲 (ニューシリーズ)』 16, 159-165 頁
- 谷脇徹 (2014), 「ブナハバチ成虫の生存と卵生産に及ぼす温度および食物の影響」, 『昆蟲 (ニューシリーズ)』 17, 1-7 頁
- 谷脇徹 (2014), 「ブナハバチ成虫で観察されたブナ樹液摂取行動」, 『環動昆』 25, 147-151 頁
- 谷脇徹・渡辺恭平 (2014), 「捕食寄生蜂 2 種のブナハバチ繭への寄生生態」, 『昆蟲 (ニューシリーズ)』 17, 131-134 頁
- 谷脇徹・山根正伸・伴野英雄・谷晋・山上明 (2014), 「ブナハバチの繭形成期の死亡に及ぼす土壌条件の影響」, 『環動昆』 25, 75-80 頁
- 谷脇徹・猪野正明・鶴田英人・齋藤央嗣・相原敬次・岡田充弘 (2015), 「ブナ若木へのジノテフラン樹幹注入によるブナハバチの防除効果」, 『樹木医学研究』 19, 139-148 頁
- Taniwaki T, Tamura A, Watanabe K. (2020) “Species richness, abundance and diversity of ichneumonid wasps in Japanese beech forests impacted by sika deer and sawfly herbivory”, *Entomological Science* 23(4), 393-404
- Taniwaki T, Watanabe K, Komine H, Tochigi K, Yamane M, Koike S. (2022) “Response of specialist and generalist predators to nonprogressive annual fluctuations in herbivorous insect populations”, *Biological Control* 165, 104810
- Watanabe K, Taniwaki T, Kasparyan D. (2015) “*Tanzawana flavomaculata* (Hymenoptera, Ichneumonidae, Ctenopelmatinae), a new genus and species of parasitoid of *Fagineuracrenativora* (Tenthredinidae, Nematinae), a serious pest of beech tree”, *Zootaxa* 4040, 236-242
- Watanabe K, Taniwaki T. (2015) “Review of the Genera *Atophotrophos* Cushman, 1940, *Cladeutes*, Townes, 1969, *Hercus* Townes, 1969, and *Neliopisthus* Thomson, 1883, from Japan (Hymenoptera: Ichneumonidae: Tryphoninae)”, *Japanese Journal of Systematic Entomology* 21, 69-75

Watanabe K, Taniwaki T, Kasparyan DR .(2018) “ Revision of the tryphonine parasitoids (Hymenoptera: Ichneumonidae) of a beech sawfly, *Fagineura crenativora* Vikberg & Zinovjev (Hymenoptera: Tenthredinidae: Nematinae)”, *Entomological Science* 21(4), 433-446

Watanabe K, Taniwaki T. (2018) “ Taxonomic study of the genera *Aptesis* Forster, 1850, and *Javra* Cameron, 1903 (Hymenoptera, Ichneumonidae, Cryptinae) associated with *Fagineura crenativora* (Hymenoptera, Tenthredinidae), with description of a new species”, *Bulletin of the Kanagawa Prefectural Museum (Natural Science)* 47, 73-83 (査読なし)

○水ストレス

上田正文・谷脇徹・齋藤央嗣・相原敬次 (2019), 「昆虫食害を模した摘葉と水分条件がブナの当年枝木部の水分通道組織構造に与える影響」, 『日本森林学会誌』 101(2), 76-81 頁

植村恭子・上田正文・谷脇徹・齋藤央嗣・相原敬次 (2019), 「摘葉が圃場に生育する中型ブナ (*Fagus crenata* Blume) の当年枝木部の水分通道組織構造に与える影響」, 『日本緑化工学会誌』 45(1), 91-96 頁

○希少種

Koike S, Nakashita R, Naganawa K, Koyama M, Tamura A. (2013) “ Changes in diet of a small, isolated bear population over time”, *Journal of Mammalogy* 94(2), 361-368

田村淳・中西のりこ・赤谷美穂・石川信吾・伊藤一誠・町田直樹・永井広野・野辺陽子・長澤展子 (2022), 「丹沢山地でシカの採食圧を 20 年以上受けた後に設置された植生保護柵の内外における絶滅危惧種の多年草の回復」, 『保全生態学研究』 27, 263-273 頁

田村淳・赤谷美穂 (2022), 「丹沢山地と道志山地における絶滅危惧種ヤシャイノデ (*Polystichum neolobatum* Nakai) の野生個体群と植え戻し個体のモニタリング」, 『保全生態学研究』 27, 297-304 頁

○土壌保全

畢力格図・石川芳治・白木克繁・若原妙子・海虎・内山佳美 (2013), 「丹沢堂平地区のシカによる林床植生衰退地における降雨量, 降雨係数及び地表流流出量と土壌侵食量との関係」, 『日本林学会誌』 95, 163-172 頁

海虎・石川芳治・白木克繁・若原妙子・畢力格図・内山佳美 (2012), 「ブナ林における林床合計被覆率の変化が地表流流出率に与える影響」, 『日本森林学会誌』 94, 167-174 頁

飯野貴美子・石川芳治・白木克繁・若原妙子・内山佳美・宮本尚子 (2019), 「シカの採食圧により林床植生被覆率が異なるブナ林斜面におけるリター移動機構」, 『水文・水資源学会誌』 Vol. 32, No. 4, 170-181 頁

孫金勝・石川芳治・白木克繁・若原妙子・内山佳美 (2020), 「シカの食圧により林床植生が衰退したブナ林斜面における各種保全工の土壌侵食防止の長期的な効果」, 『砂防学会誌』, Vol. 73, No. 1, 15-24 頁

(4) 森林整備・管理 (水源の森林づくり事業の推進、水環境モニタリングの関連)

○森林整備・シカ・植生

Ohira M, Gomi T, Iwai A, Hiraoka M, Uchiyama Y. (2022) “Ecological resilience of physical plant-soil feedback to chronic deer herbivory: Slow, partial, but functional recovery”, *Ecological Applications*, Volume 32, Issue 7

Tamura A, Yamane M. (2017) “ Response of understory vegetation over 10 years after thinning in an old-growth cedar and cypress plantation overgrazed by sika deer in eastern Japan”, *Forest Ecosystems* 4(1), 1-10

田村淳・上山真平・松崎加奈恵・鈴木哲平・藤森博英 (2016), 「シカの採食圧を受けてきた溪畔域の針葉樹人工林での広葉樹の更新に対する受光伐と植生保護柵の効果」, 『日本森林学会誌』 98, 279-285

頁

田村淳 (2014) , 「高齢級スギ・ヒノキ人工林の林床植被の多寡が択伐後の高木性樹木稚樹の更新に及ぼす影響」, 『日本森林学会誌』 96, 333-341 頁

Tamura A, Nakajima K. (2017) “Effects of 10 years of fencing under a gap and closed canopy on the regeneration of tree seedlings in an old-growth Japanese fir (*Abies firma*) forest overbrowsed by sika deer” , Journal of Forest Research 22, 224-232

○森林水文

Abe Y, Uchiyama Y, Saito M, Ohira M, Yokoyama T. (2020) “Effects of bedrock groundwater dynamics on runoff generation: a case study on granodiorite headwater catchments, western Tanzawa Mountains, Japan” , Hydrological Research Letters, 14(1), 62-67

Egusa T, Kumagai T, Oda T, Gomi T, Ohte N. (2018) “Contrasting Patterns in the Decrease of Spatial Variability With Increasing Catchment Area Between Stream Discharge and Water Chemistry” , Water Resources Research, 55, 7419-7435

Egusa T, Oda T, Sato T, Kumagai T. (2021) “ Estimation of sub-annual inter-catchment groundwater flow using short-term water balance method” , Hydrological Processes, 35(9), e14368

Fujime N , Kumagai T , Egusa T , Momiyama H, Uchiyama Y. (2021) “Importance of calibration in determining forest stand transpiration using the thermal dissipation method” , Agricultural and Forest Meteorology, 301-302, 108356

平口昌樹・中島集介・白木克繁・内山佳美 (2023) , 「電子吊りはかり及びメスシリンダーを用いた樹冠通過雨ボトル水量計測における精度検証」, 『水文・水資源学会誌』, 36 巻, 3 号, 194-199 頁

Momiyama H, Kumagai T, Egusa T. (2019) “Reproducing monthly evapotranspiration from a coniferous plantation watershed in Japan” , Journal of Forest Research 2019, Vol. 24, No. 3, 197-200

Momiyama H, Kumagai T, Egusa T. (2021) “Model analysis of forest thinning impacts on the water resources during hydrological drought periods” , Forest Ecology and Management, 499, 119593

Oda T, Suzuki M, Egusa T, Uchiyama Y. (2013) “Effect of bedrock flow on catchment rainfall-runoff characteristics and the water balance in forested catchments in Tanzawa mountains, Japan” , Hydrological Processes, Volume 27, Issue 26 , 3864-3872

Sato T, Oda T, Igarashi Y, Suzuki M, Uchiyama Y. (2012) “Circumferential sap flow variation in the trunks of Japanese cedar and cypress” , Hydrological Research Letters 6, 104-108

白木克繁・金澤悠花・工藤司・片岡宏介・ウヅムセ・内山佳美 (2020) , 「簡易架線集材による森林整備が流出浮遊土砂量と流域流出量に与える影響」, 『水文・水資源学会誌』 Vol. 33, No. 2, 47-55 頁

Shiraki K, Kawana S, Tsujinaka H, Ariyoshi S, Uchiyama Y. (2022) “A preliminary observation for quantifying detached stemflow” , Hydrological Research Letters 16(1), 1-6

白木克繁・辻中晴菜・有吉桜・内山佳美 (2023) , 「スギ人工林における樹幹離脱流由来の滴下雨が樹木近傍の樹冠通過雨に与える影響」, 『日本森林学会誌』, 105 巻, 4 号, 129-135 頁

○土壌侵食、土砂流出

五味高志・小田智基・鈴木雅一・平岡真合乃・宮田秀介・内山佳美・山根正伸 (2012) , 「丹沢山大洞沢観測流域における水と土砂動態観測」, 『砂防学会誌』 第 65 巻, 第 1 号, 1-2 頁

平岡真合乃・五味高志・内山佳美 (2013) , 「インターバルカメラを用いた連続観測による山地斜面の林床被覆の経時変化の把握」, 『砂防学会誌』, Vol. 66 No. 1, 42-48 頁

Hiraoka M, Gomi T, Oda T, Egusa T, Uchiyama Y. (2015) “Responses of bed loaded yields from a

forested headwater catchment in the eastern Tanzawa Mountains, Japan”, Hydrological Research Letters 9(3), 41-46

仁平啓介・平岡真合乃・五味高志・内山佳美 (2016), 「低高度写真撮影による山地溪流の流路 地形計測」, 『砂防学会誌』, 第 69 巻, 第 3 号, 38-42 頁

○シカ関係

田村淳 (2013), 「神奈川県丹沢山地におけるシカ問題の歴史と森林保全対策」, 『水利科学』 57(4), 52-66 頁

○森林生態系

遠藤幸子・成瀬真理生・近藤博史・田村淳 (2020), 「スギ・ヒノキ人工林を利用する確率の高い鳥類種の推定」, 『日本森林学会誌』 102, 147-156 頁

Ito M, Sakai H, Tamura A. (2023) “ Descriptions of two new species of the genus Amynthes (Annelida: Oligochaeta: Megascolecidae) and a new record of Amynthes righii Hong & James, 2001 from Kanagawa Prefecture, Central Japan”, Edaphologia 112, 9-16

(3) 神奈川県自然環境保全センターの研究情報

ア 神奈川県自然環境保全センターの「研究開発・データベース」トップページ

<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/f4y/04kenkyu/top.html>

イ 神奈川県自然環境保全センター報告

※研究報告、不定期発行

<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/f4y/kankoubutsu/top.html>

ウ 対照流域法等による森林の水源かん養機能調査 トップページ

https://www.agri-kanagawa.jp/sinrinken/web_taisho/mizu_top.html

・ かながわの水源林について

https://www.agri-kanagawa.jp/sinrinken/web_taisho/mizu_suigen_index.html

・ アトラス水源林－水源地域の山地と森林・自然環境の特徴－

https://www.agri-kanagawa.jp/sinrinken/web_taisho/sanchi/sanchi.html

・ 森林の水源かん養機能と森林管理（解説）

https://www.agri-kanagawa.jp/sinrinken/web_taisho/mizu_suigen_kinou.html

神奈川県自然環境保全センター報告編集要領

(趣 旨)

第1条 この要領は、神奈川県自然環境保全センター報告（以下、「センター報告」という。）の編集に関して必要な事項を定める。

(目 的)

第2条 センター報告は神奈川県自然環境保全センター（以下、「保全センター」という。）の業務から得られた研究成果及び知見を県民及び他の行政機関等に提供するとともに、記録・保存することを目的とする。

(掲載原稿の種類)

第3条 原稿の種類は、次に掲げるものとし、内容は別に定める「神奈川県自然環境保全センター報告投稿規定」（以下、「投稿規定」という。）による。

- (ア) 原著論文
- (イ) 調査・研究報告
- (ウ) 事業報告
- (エ) 速報
- (オ) 資料
- (カ) その他

(投稿者)

第4条 センター報告への投稿者は次のいずれかに該当するものとする。

- (1) 保全センター職員
- (2) 保全センター職員との共同調査研究者又は共著者
- (3) 編集委員会が依頼した者（特別寄稿）又は認めた者

(発 行)

第5条 センター報告は、原則として、年1回発行する。ただし、第8条の編集委員会が必要と認めた場合は、この限りではない。

(原稿の提出)

第6条 投稿者は、別に編集委員会が定める期日までに、投稿規定に定められた原稿を編集委員会に提出する。

(原稿の審査)

第7条 前条の規定により提出された原稿は、編集委員会において審査を行い、採択を決める。

2 編集委員会は、原著論文の審査に際し、必要に応じて外部学識経験者に査読を依頼し、意見を求めることができる。

3 編集委員会は必要に応じ、原稿の修正を求めることができる。

(編集委員会)

第8条 前条に規定する投稿原稿の審査等を行うため、編集委員会を置く。

2 編集委員会は、所長、副所長、研究企画部長兼自然保護公園部長、森林再生部長、自然再生企画課長、研究連携課長により構成する。

3 編集委員会には委員長を置き、所長を充てる。所長が不在の時は副所長が代行する。

4 編集委員会の庶務は、研究連携課が行う。

5 編集委員会は、必要に応じて、構成員以外の者の出席を求め、その意見を聴くことができる。

(その他)

第9条 この要領に定めるもののほか、編集に関して必要な事項は別に定める。

(附 則)

1 この要領は、平成15年12月1日から施行する。

2 神奈川県自然環境保全センター研究報告編集要領及び神奈川県自然環境保全センター自然情報編集要領は廃止する。

(附 則)

この要領は、平成16年11月18日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成18年1月13日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成19年4月1日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成22年4月1日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成25年6月19日から施行する。

(附 則)

この要領は、平成26年9月1日から施行する。

神奈川県自然環境保全センター報告投稿規定

(趣 旨)

神奈川県自然環境保全センター報告（以下、「センター報告」という。）は、当センターにおける研究業績、事業に関係する調査研究結果を投稿することができる。投稿者資格は神奈川県自然環境保全センター報告編集要領（以下、「編集要領」という。）による。

(原稿の種類)

原稿の種類は、原著論文、調査・研究報告、事業報告、速報、資料、その他（特別寄稿、各年度の他紙発表原著論文の要旨）とし、その内容は以下のとおりとする。

(1) 原著論文

日英表題、要旨（5字以内のキーワードを添付する）、本文および図表、引用文献からなり、未発表の内容を含み、十分な考察がなされているもの。

(2) 調査・研究報告

日英表題（英は省略可）、要旨（省略可）、本文および図表、引用文献からなり、研究に関する調査結果をとりまとめたもの（報告書）。

(3) 事業報告

表題、要旨（省略可）、本文および図表、引用文献からなり、研究以外の業務に関する結果をとりまとめたもの（報告書）。

(4) 速報

日英表題（英は省略可）、要旨（省略可）、本文および図表、引用文献からなり、新規性がありかつ公表の緊急性が高いもの、新たに開発された研究方法や機械の紹介、既成の知見を確認する報文や貴重な測定結果等。

(5) 資料

表題、データ等からなり、業務で得られた測定結果、知見、記録などを簡潔にとりまとめたもの。

(6) その他

(1) から (5) に該当しない種類で、センター報告編集委員会（以下、「編集委員会」という。）が認めたもの。総説・調査報告・国際学会報告・他紙発表原著論文の要旨等。

(原稿の書き方)

原著論文、報告、速報、資料は、以下の書式に従う。他も可能な限り従うものとする。なお、編集委員会が必要と認めたものはこの限りではない。

- (1) 要旨は冒頭に著者名、表題、神奈川県自環境セ報告、空白（15 文字分）を付加し、これらを含めて和文は 500 字以内、英文は 250 語以内とする。要旨中では図・文献・数式などの引用は避け、行を変えない。
- (2) 原著論文の表題は、連報性（Ⅰ、Ⅱ等のついた表題）にしない。また、「…に関する研究」や「…について」などの表現は避ける。
- (3) 原稿は、パソコン等に入力して作成し、A 4 判の白紙に横書きで、横 23 字×縦 42 行に整えたものとする。新仮名遣いにより、学術用語以外は常用漢字を用いる。原稿中に欧語を用いるのは、その必要がある場合に限る。なお原稿の長さは、図・表・写真等を含め原則として刷り上がり 10 頁以内とする。
- (4) 図表の文字は MSP 明朝で入力する。
- (5) カタカナ表記はすべて全角入力とする（半角ｶﾀｶﾅは使用しない）。
- (6) 数字は半角で入力し、3 桁ごとにカンマ（,）を入れる。
- (7) 英文は半角で入力し、カンマ（,）、ピリオド（.）も半角とする。なお、単語と単語の間には半角ダブルスペース（ ）を、カンマ及びピリオドの後には半角スペース（ ）を入れる。
- (8) 動物・植物の和名は全角カタカナ書きとし、学名はイタリックとする。これらの字体の指定は、太字指定、数式（係数など）の字体などとともに下記の例にならってすべて朱書きとする。単位は慣用となっている略字によって記載し、ピリオドをつけない。単位、数は半角表記とする。
Pinus → *Pinus*
- (9) 図および写真は下端に、また、表は上端にそれぞれ通し番号（図 1、表 1 など）をつけた表題を付ける。また上端外に著書名、通し番号をつける。表題や注には英文を併記することができる。
- (10) 引用文献はアルファベット順に記載する。本文中での引用は、該当人名に（年号）あるいは事項に（人名， 年号）をつけて引用する。後述の方

法で同一年号の場合は年号のあとに発表順に a、b、c をつける。誌名の略記法は和文の場合は慣例により、欧文の場合は Forestry Abstracts にならう。巻通しページがある場合は巻のみとし、ないときは、巻（号）を併記する。記載方法は次の例に従う。

例

（ア）雑誌の場合

山根正伸・横内宏宣（1991）スギノアカネトラカミキリによる林分内被害量調査法．日本林学会誌 73：264－269

Yamane, M., Hayama, S. and Furubayashi, K (1996) Over-winter weight dynamics in supplementally fed free-ranging sika deer (Cervus Nippon). Journal of Forest Research 1(3):143-153

（イ）書籍の場合

中川重年（1994）検索入門針葉樹．188pp，保育社，大阪．

Levitt, J. (1972) Responses of plant to environmental stresses. 697pp, Academic Press, New York and London.

（ウ）書籍中の場合

小林繁男（1993）熱帯林土壌の瘦悪化．280-333．熱帯林土壌．真下育久編，385pp，勝美堂，東京．

Wells, J. F. and Lund, H. G. (1991) Integrating timber information in the USDA Forest Service. 102-111. In Proceedings of the Symposium on Integrated Forest Management Information Systems. Minowa, M. and Tsuyuki, S. (eds.), 414pp, Japan Society of Forest Planning Press, Tokyo.

（11）執筆原稿に連帯して責任を持つ場合は共著とすることができる。また、自然環境保全センター職員等および当センター職員以外の県職員が業務として協力した場合は、機関名・所属名により謝意を表す。

（12）その他文章の書き方、本文中の番号の記載順序は、原則として神奈川県文書管理規定に従う。

（例 I → 1 → (1) → ア → (ア) など）

（原稿の提出）

投稿者は、別に定める期日まで、原稿 2 部を各部編集委員会事務局員に提出する。提出にあたっては、原則として本文はワード、一太郎またはテキストファイル形式で 図表はエクセルファイル形式で、写真は PDF・JPEG・TIFF ファイル形式で、CD、MO、FD などの電子媒体 1 組に保存したものを添付する。

（原稿の修正）

投稿された原稿は、編集要領に基づき審査を行い、掲載の可否を決定するとともに、審査結果により修正を求める場合がある。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 15 年 12 月 10 日から施行する。
- 2 神奈川県自然環境保全センター研究報告投稿規定および神奈川県自然環境保全センター自然情報投稿規定は廃止する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 16 年 11 月 18 日から施行する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 18 年 1 月 13 日から施行する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 18 年 10 月 10 日から施行する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 25 年 6 月 19 日から施行する。

（附 則）

- 1 この投稿規定は、平成 26 年 9 月 1 日から施行する。

**神奈川県自然環境保全センター報告
第 19 号**

令和 7 年 3 月 発行

発 行 神奈川県自然環境保全センター
厚木市七沢 657
TEL (046) 248-0323 (代)
〒243-0121

編集・印刷 有限会社 青史堂印刷
相模原市南区古淵 6-28-37
TEL (042) 748-3921
〒252-0344



神奈川県

自然環境保全センター

厚木市七沢 657 〒243-0121 TEL (046)248-0323(代)

<http://www.pref.kanagawa.jp/div/1644>