

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*, **

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

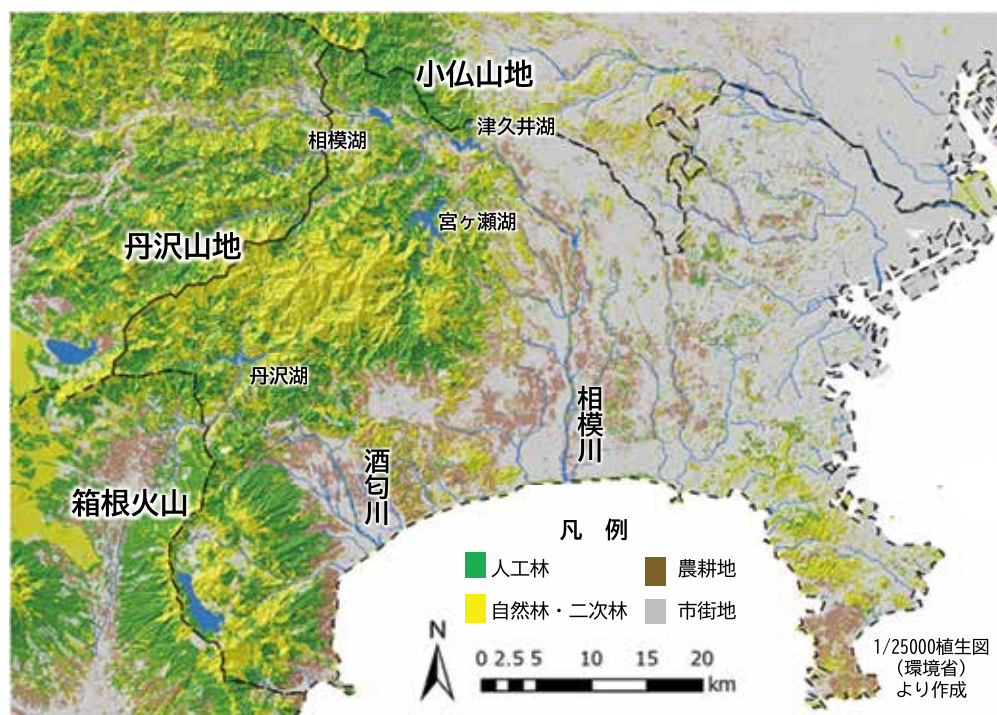


図1 県内の森林分布

** 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）。

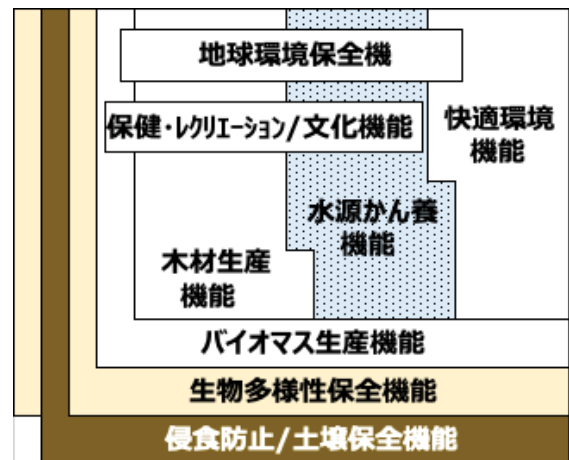


図2 森林機能の階層性
太田（2005）

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，

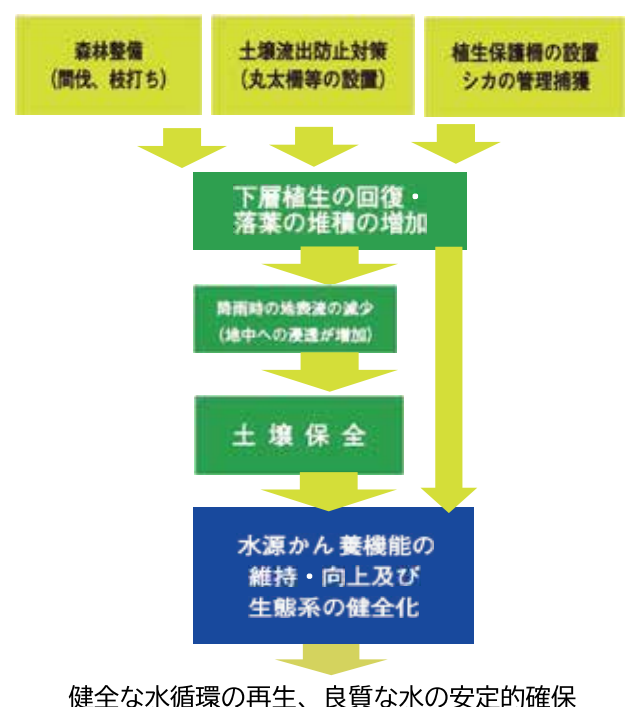


図3 森林における事業の実施により予想される効果

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。

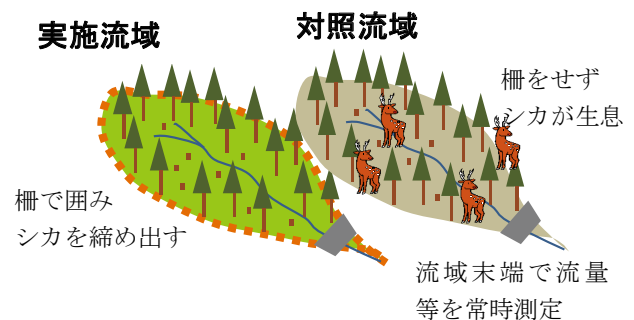


図5 対照流域法による事業効果検証(丹沢の例)

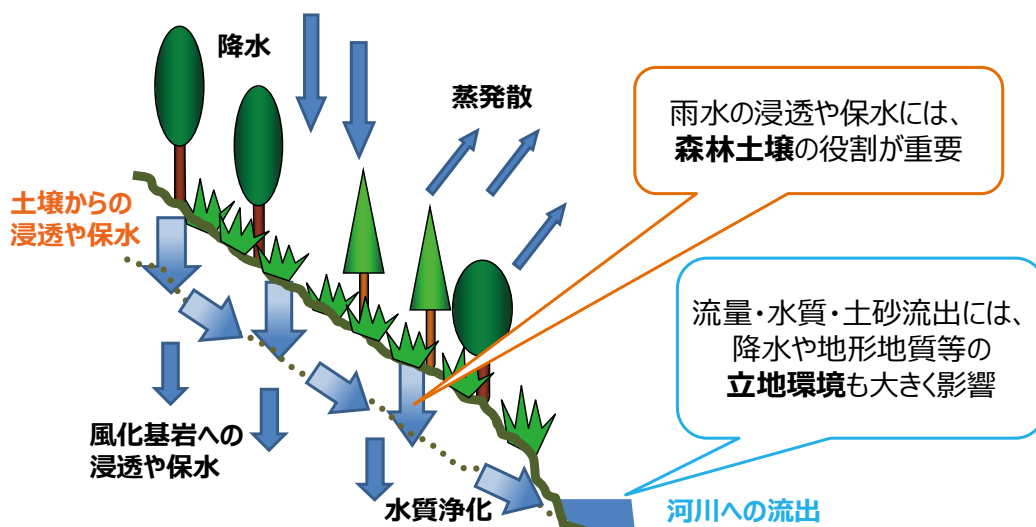


図4 森林の水循環

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	—

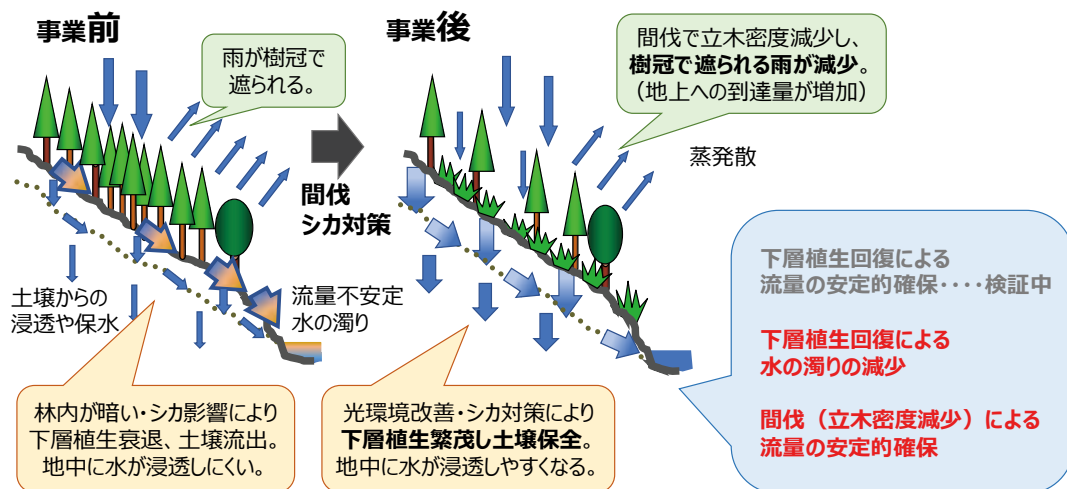


図7 森林における間伐とシカ対策により予想される効果

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

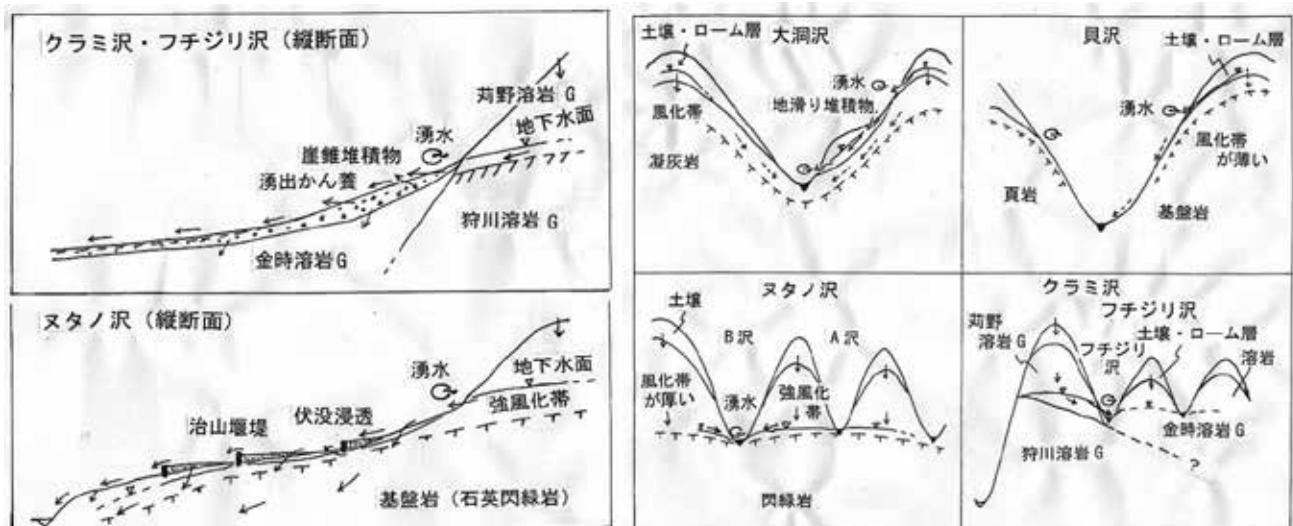


図8 試験流域の水循環

(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）。

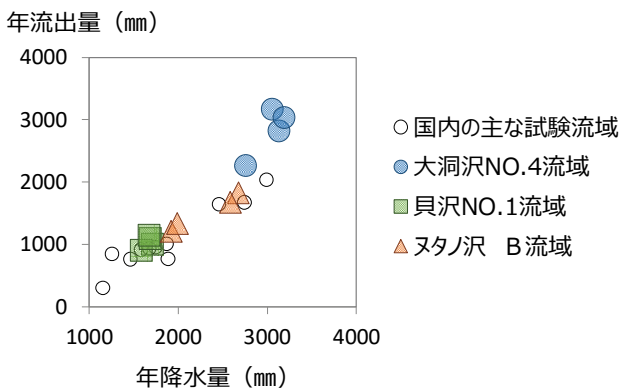


図9 各試験流域の年間の降水量と流量

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。

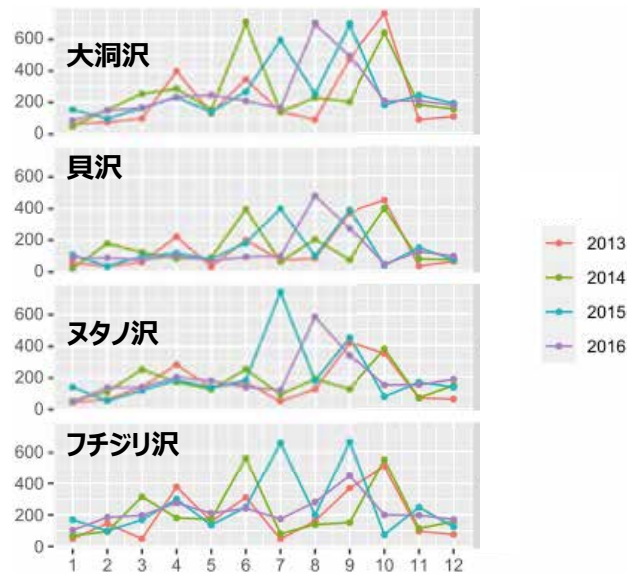


図10 月降水量の推移（2013～2016年）

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

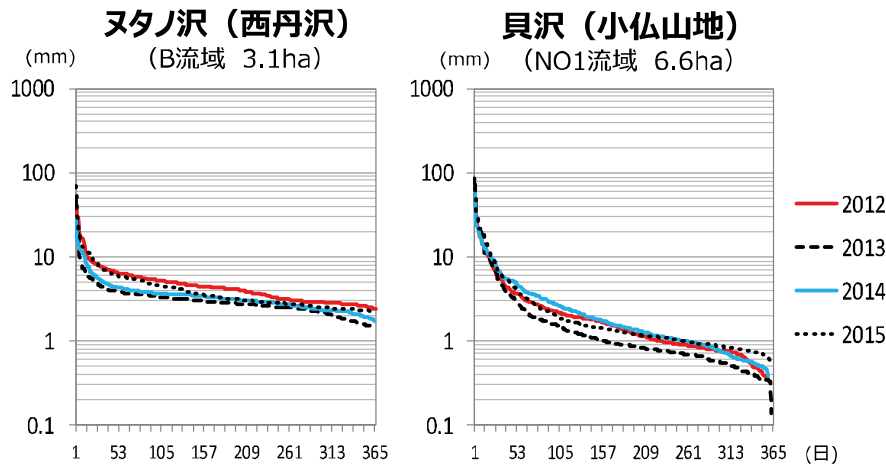


図11 ヌタノ沢試験流域と貝沢試験流域の流況

※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。

は大洞沢とヌ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、大洞沢試験流域やヌタノ沢試験流域の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

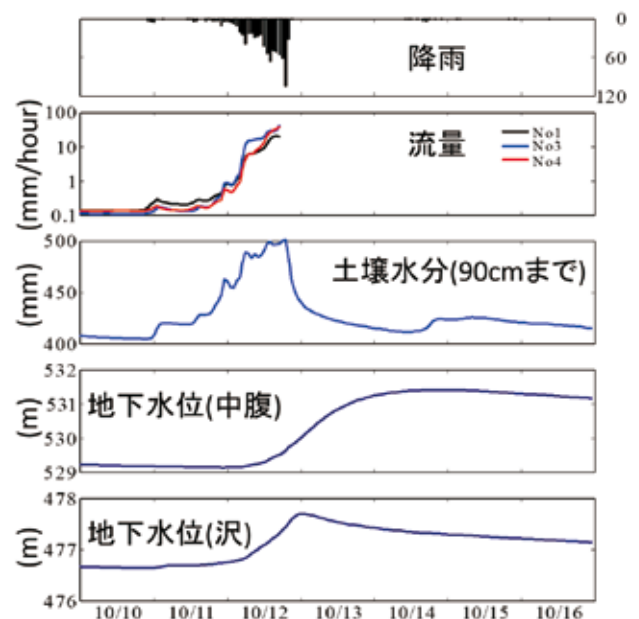


図12 2019/10/10-10/16の大洞沢の雨量・流量・土壌水分・地下水位の時系列変化
東京大学大学院農学生命科学研究科(2020)

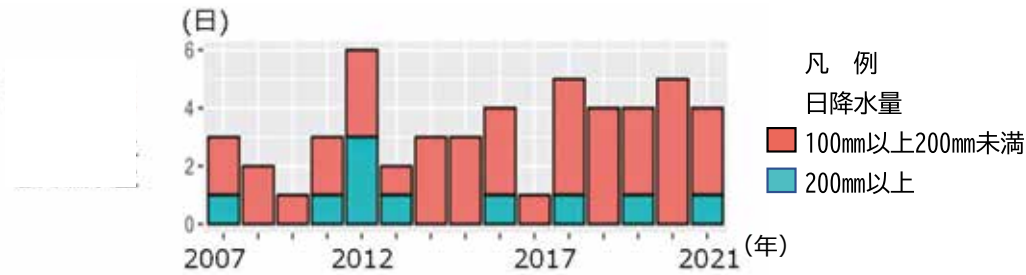


図 13 2007～2021 年の日降水量 100mm以上の日数

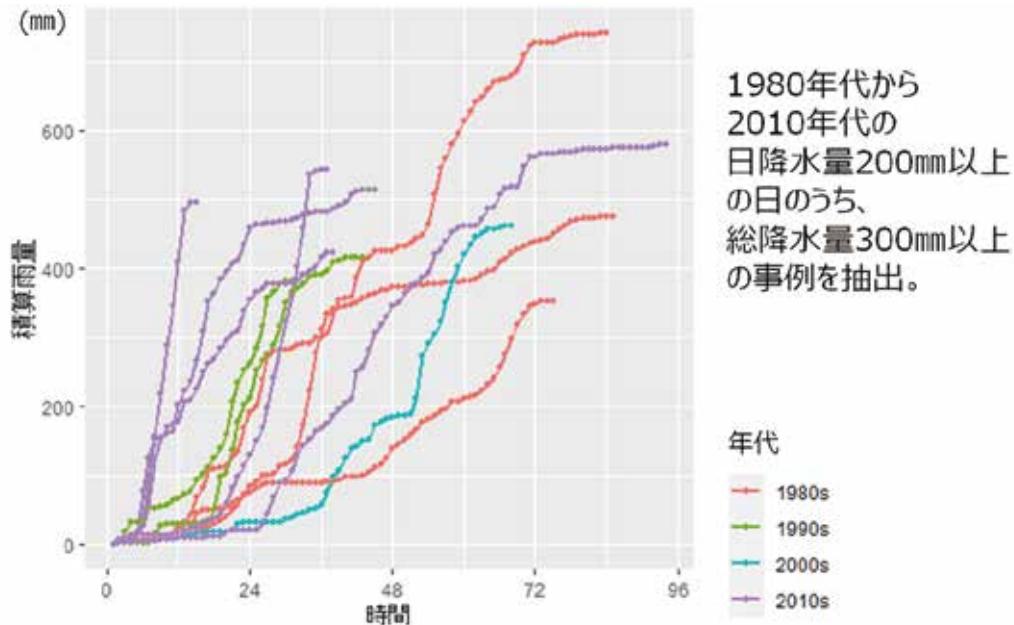


図 14 総降水量 300mm以上の降雨事例の積算雨量図

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ヌ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、

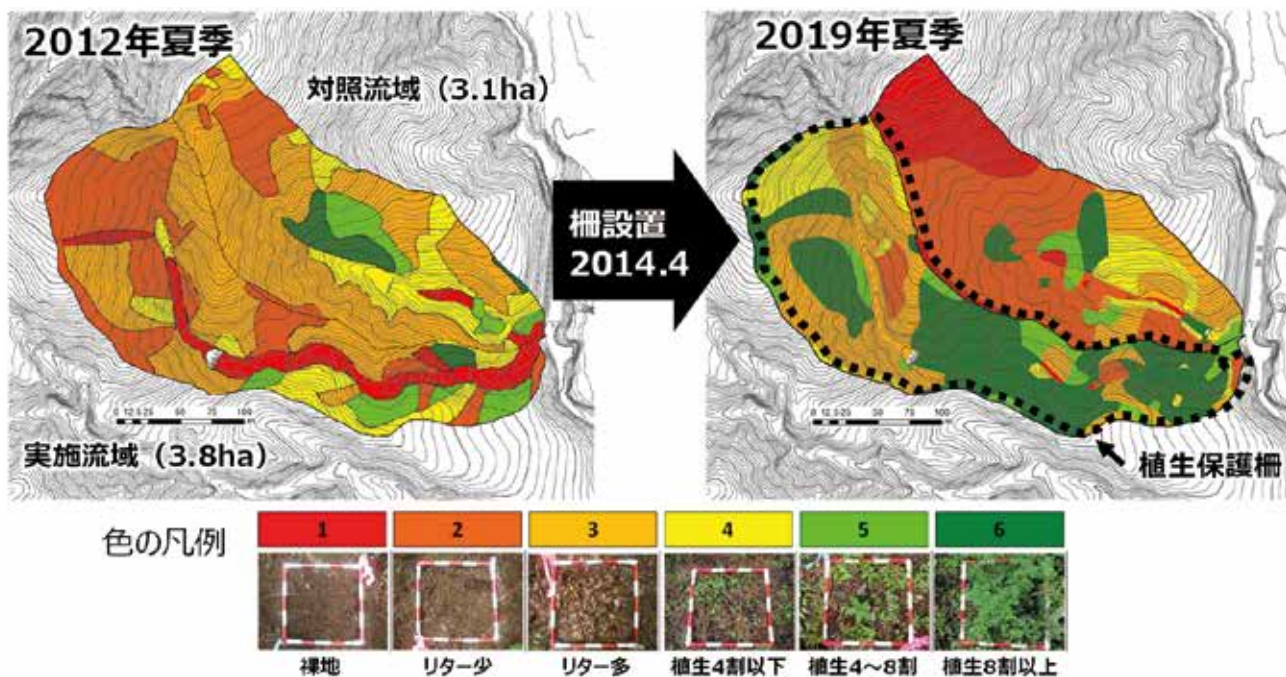


図15 ヌタノ沢試験流域における下層植生の変化

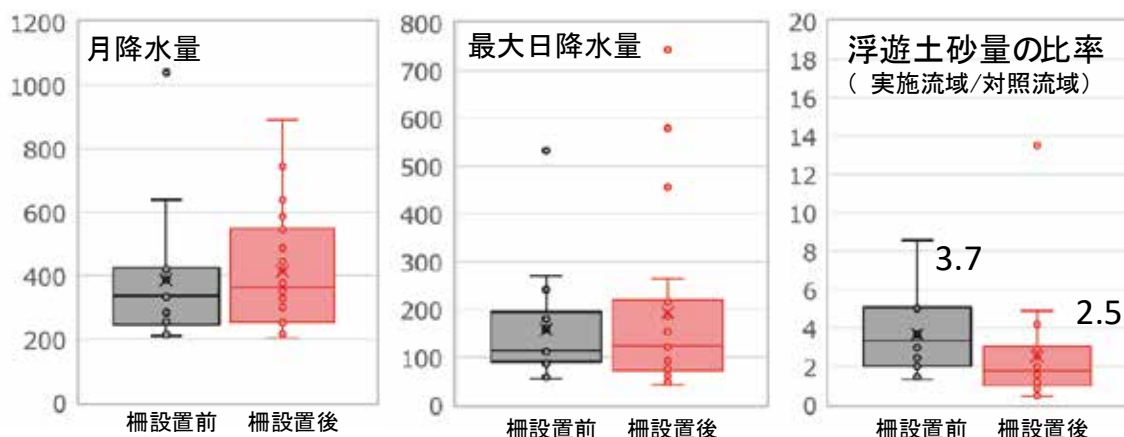


図16 ヌタノ沢の月単位の降水量、最大日降水量、浮遊土砂量比率（実施流域/対照流域）の柵設置前後の比較

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

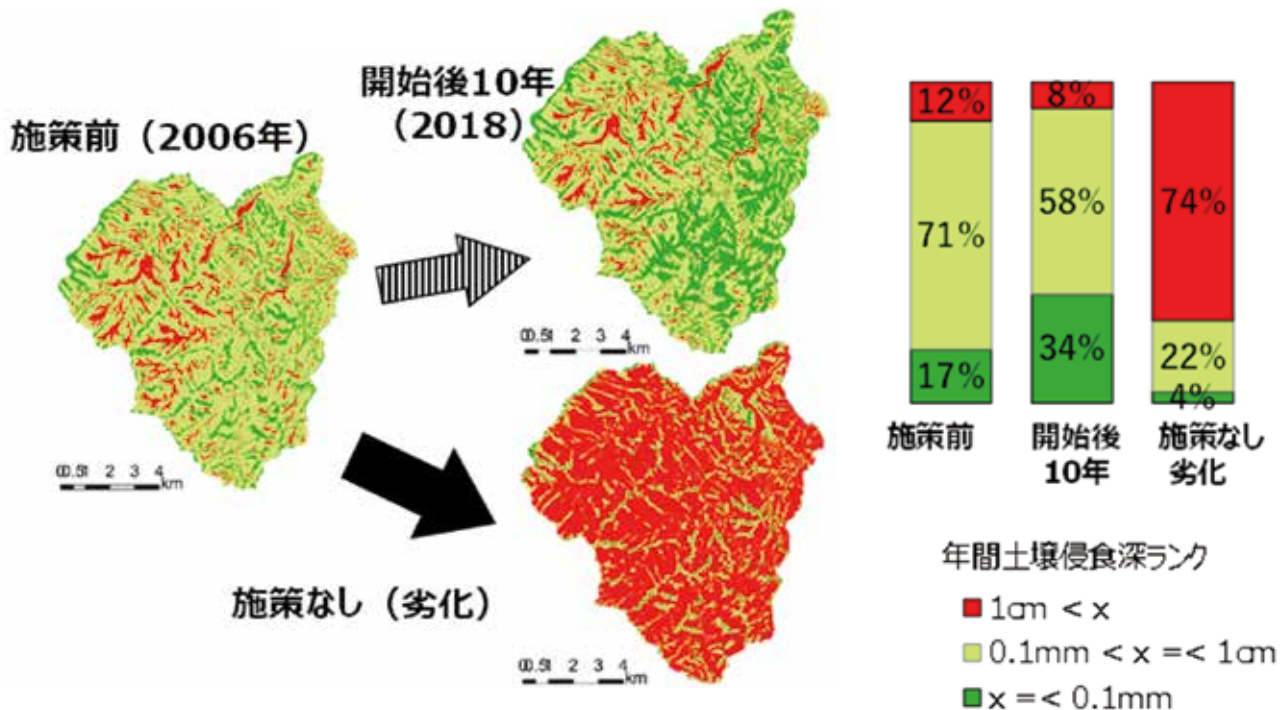


図 17 宮ヶ瀬湖上流域の年間の土壌侵食深の空間分布と面積割合の比較

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1cm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、間伐材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。Moriyama *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

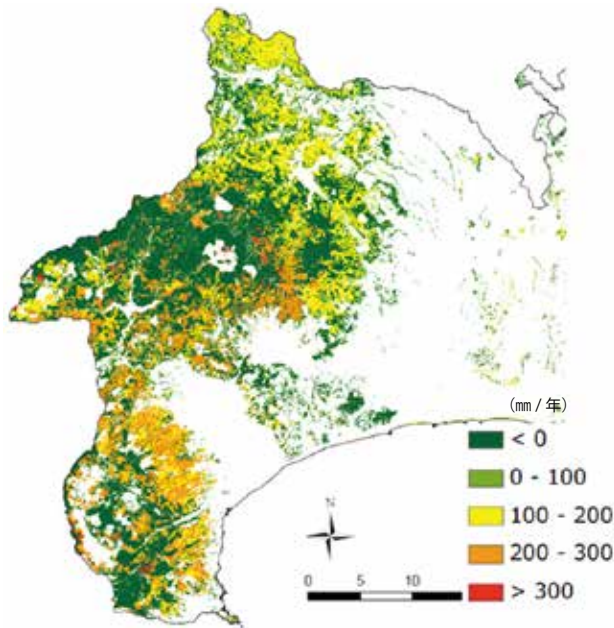


図 18 利用可能な水資源量
水源環境保全・再生かながわ県民会議 (2024)

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 m³) 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.