

## 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

内山佳美\*・山根正伸\*

An investigation design of the water environment monitoring  
in the forest, An example in Ohborasawa

Yoshimi UCHIYAMA\*, Masanobu YAMANE\*

### 要 旨

内山佳美・山根正伸：森林における水環境モニタリングの調査設計 神自環保セ報5:15-24, 2008 かながわ水源環境保全・再生施策を順応的に推進するための水環境モニタリングの計画・実施に向けて、既往の関連モニタリング調査の内容と成果を整理し、今後の望ましいモニタリングのデザインを検討した。その結果、今後は、事業実施箇所ですらに経過を調査するだけでなく、あらかじめ設定した仮説に基づいて、実験 - モニタリングを行ない検証するというシナリオによって、空間スケールに応じた調査デザインにより対照区や参照区を設定し地域の自然環境の実質的变化を時系列に把握することが望ましいと考えられた。さらにこのようなモニタリングデザインの考え方から、今後の試験地を清川村大洞沢に選定し、森林整備等による現地の自然環境の直接的変化が、流域からの水流出に順次反映していくことをモニタリングによって検証する調査設計とした。

### はじめに

神奈川県は、20年間の計画期間で、将来にわたる良質な水の安定的確保を目的に、流域全体の総合的な水源環境の保全・再生を図るための取り組みを平成19年度より新たに開始した。これは、平成12年に神奈川県地方税制等研究会から、今後の分権型社会における住民ニーズに応えうる地方財政制度のあり方として生活環境税制についての提言があり、その後、県が県民や市町村の意見を踏まえて検討を重ね実現に至ったものである（神奈川県, 2005）。

このため、本施策の推進の視点に、生活環境税制の理念である、県民が自分たちの住む生活空間にどのような快適さを求めるのかという意思を基盤に施策を展開することが盛り込まれている。さらに、本施策は、水源地域としてダム上流等の自然生態系を対象とすることから、その不確実性に対応できるシステムである順応的管理で施策を推進することとしている。つまり、施策の導入に際して県民の意見を反映するだけでなく、今後の施策の推進過程におい

ても事業と平行してモニタリング調査を実施し、県民に施策の効果を示すとともに、県民の意見を踏まえて5年ごとに実行計画の見直しを行うこととなっている。

このような新たな仕組みで施策を推進するため、かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画には、県民会議の立ち上げと並んで施策の効果検証のための水環境全般のモニタリング調査が組み込まれている。自然環境保全センター研究部は、この一部として森林の水源涵養機能調査を実施することになっている。

研究部では、これまでもいくつかの事業のモニタリング調査を行い、特に事業実施箇所の効果に関しては、ある程度の知見を得てきた。しかし、それぞれの事業実施箇所の効果が、流域全体からの水の流出にどのように反映したかといったような森林の水源涵養機能と具体的に結びつけるには至っていない。

一方で、本施策はその理念にもあるように流域における水を介した上下流のつながりを前提としている。そのため、森林におけるモニタリングでも、流

\* 神奈川県自然環境保全センター研究部（〒243-0121 厚木市七沢657）

域からの水の流出とどう関係するのかという視点が不可欠と考えられる。さらに、そのように上下流のつながりや下流への施策効果を科学的知見により示していくことは、今後、多くの県民が参加し施策を推進する際に全体として合意形成を図っていくための一助になると考えられる。

そこで、平成19年度は、翌年度に予定されている1箇所目の試験地設定の準備と合わせて、そのような役割を担っていくためのモニタリングの調査設計を検討した。研究部での検討に先駆けて、実行5か年計画を基にしたおおよその実施内容をあらかじめ県民会議で示し、大枠で了承を得た。具体的な試験地での調査設計は、各専門分野の学識者や、関連する委託業務の受託者等により構成する実務レベルの検討会議を立ち上げ、研究部が事務局となって検討した(表1)。検討結果は、水環境モニタリング実施計画書として別途平成19年度中に取りまとめる予定である。

本稿では、検討結果だけでなく前提となる認識や考え方を記録しておくことも今後のために有効であるという考えから、これまで研究部が行ったモニタリングを整理して示した。さらに、今後行う水環境モニタリングの調査設計の考え方と1箇所目の調査設計の概略を示した。

表1 対照流域モニタリング調査会検討会議の構成

区分	業務分担
専門委員 (学識者)	水・土砂調査担当
	水・土調査、小流域モデル担当
	水質調査担当
	藻類調査担当
	水生動物調査担当
オブザーバー (各専門会社)	森林・植生担当
	水生生物調査担当
	林分・土壌調査担当
オブザーバー	広域水循環モデル担当
	地形情報・調査施設設計担当
事務局	庁内関係機関
	開催事務・既存情報整備担当
	自然環境保全センター研究部

## 丹沢大山保全・再生のモニタリング

### 1 モニタリング内容

平成11年度に神奈川県が策定した丹沢大山保全計画(現丹沢大山自然再生計画)は、国定公園の生態系の異変に対して、植生回復対策やニホンジカ個体群対策、オーバーユース対策等を行うことによって丹沢大山の生物多様性の保全・再生を目指したものである(神奈川県,1999)。施策推進の基本方針に科学的な自然環境の管理が掲げられ、事業部門と研究部門が連携して事業効果のモニタリング調査が行われてきた。

その中でも、特にニホンジカ個体群対策やニホンジカの影響による植生回復対策など新たに開始した対策に関しては、研究部が初期の実態把握やモニタリングの手法開発を行った。主なものとして、ニホンジカの保護管理事業を開始するにあたり、生息密度調査等の必要な調査を行ったほか、生息密度調査における簡便な手法や植生モニタリング指標を開発した(山根・三橋,2002)。また、51地点の植生定点モニタリングを継続し、植生保護柵の設置効果を検証した(田村ら,2007)。さらに、課題となっている生息環境管理手法の確立については、基礎データを得るために人工林における間伐施業と林内環境及び林床植生の変化をモニタリング調査した(たとえば、田村・山根,2005)。そのほか、ブナ林衰退要因解明研究では、ブナ林のスケール別衰退実態の把握と山岳地の気象や大気等の立地環境モニタリングを実施した(山根ら,2007a、山根ら,2007b)。

### 2 モニタリング成果

前述のモニタリング調査から、ニホンジカの影響の大きい丹沢山地の自然林では、植生保護柵で囲うだけで4~5年で林床植生は回復すること(田村ら,2007)。人工林では間伐により下層植生が増加するが植生保護柵を設置したほうが増加が早まる(田村・山根,2005)ことなど、個別の事業の対策実施箇所における効果はある程度確認できた。さらに、植生回復などの対策手法も徐々に改善されてきている。また、ブナ林衰退に関しても、ブナ林の衰退原因の絞込みに立地環境モニタリング等の結果が活用された(山根ら,2007d)。

このような成果に加えて、平成18年度の計画の改定作業にあたり、平成16年から2か年で丹沢大山総合調査を実施した。それまでは、個別の事業ごとにモニタリングを行っていたが、丹沢大山総合調査では、それぞれの要因のつながりを把握することに焦点が置かれた。ここで特筆すべき成果は、林床植生の衰退度と土壌侵食量や地表流量の関係が明らかになったことである。石川ら(2007)は、東丹沢の堂平における植生保護柵の内外に2m×5mの試験枠を設けて、土壌侵食量、リター流出量、地表流量等を測定した。その結果、植生保護柵内の林床植生植被率80%の箇所では、年間を通して土壌侵食がほとんど見られないのに対して、植生保護柵外の林床植被率1%の箇所では、土壌侵食深に換算して年間約4~9mmの土壌が侵食されていたことが明らかになった。また、それと同時に、林床植生の植被率80%の箇所では降雨があっても地表流はほとんど発生しなかったが、植被率が少ないほど、降雨が地中に浸透せず地表流となる割合が多くなった。このように丹沢大山総合調査では、これまでの個別モニタリングの結果に加えて、短期的に横断的な視点で調査することにより丹沢の自然環境の劣化に関する因果関係が科学的手法によってある程度明らかにされた。

## 水源涵養機能保全のモニタリング

### 1 水源林の整備効果モニタリング

平成9年度に開始した神奈川県の水源の森林づくり事業は、私有林を対象に県が買取や整備協定等により水源林を確保し、整備事業を行うものである。この整備事業では、方針として森林土壌の保全を第一に掲げ、巨木林、複層林、混交林、広葉樹林を目標林型としている。(神奈川県, 1998)。これまでは、木材生産以外の目的で特に広葉樹を整備することはあまり例がなく整備技術も確立していないことから、順応的管理によって事業を実施しながら技術の改善を図っていくこととしている(神奈川県, 2003)。

この整備効果モニタリングは、平成14年度から開始し、これまで全整備箇所のうちの50箇所にモニタリング地点を設定した。モニタリングは、研究部が事業部局と連携し、整備の実施と同時にモニタリング地点を設定して光環境、植生状態、土砂移動量の

初期状態を記録し、以後5年おきに計測し変化を検証するという方法で行った。平成19年度からは、5年経過後の調査を行っており、データは解析中であるが、視覚的には、すでに植生保護柵の効果が明らかとなっている。このような整備効果は、その後の整備事業にも反映されている。

### 2 大洞沢の水文観測概要

大洞沢は、丹沢山地の東部、中津川上流(宮ヶ瀬ダム上流)の標高432~878mに位置する48haの流域である(図1、写真1)。全域が県営林であり、スギやヒノキの若齢林から壮齢林、針広混交林、広葉樹林等の多様な林分がモザイク状に配置している。



図1 大洞沢の位置



写真1 大洞沢の水文観測施設

ここでは、昭和56年に林野庁の補助事業である重要水源地域整備治山事業によって水文観測が開始された。

この事業は、大規模ダム建設と合わせて上流域の治山施設整備等を行う事業であったが、当時既に宮ヶ瀬ダムの建設計画があったため、その主流域である中津川流域が重要水源流域に位置づけられ事業実

施となった。昭和54年度に中津川流域を対象として治山施設計画のための全体調査が行われ、その後数年にわたって治山施設の整備が実行された。水源流域としての観点では、流域の自然条件や水文特性も考慮して整備を行うことが望ましく、そのためには雨量や流量等の基盤情報が必要であることから、事業の一環として水文観測が盛り込まれた(財団法人水利科学研究所, 1982)。そして、治山施設整備を要する流域である大洞沢が観測流域に選定された(財団法人水利科学研究所, 1980)。当初は、治山事業の業務として水文観測が継続されてきたが、試験的な性格のため平成7年度より研究部で研究課題として取り組んできた。

通常このような流域試験は、流域内の森林の皆伐や森林の成長といった森林状態の変化と水流出の変化を時系列に何十年という長期にわたって調査することにより森林の水源涵養機能を評価する。これまでの研究事例からは、森林は水を大量に消費すること、そのため森林の伐採により一時的に下流への水流出量が増加すること、若い森林の成長が洪水緩和に効果的な場合があるといった定性的な傾向が明らかになっている(蔵治, 2003)。

大洞沢では、流域内の林況、植生、土壌等の概況調査を、観測開始前の昭和54年と平成9年に実施し、昭和56年から流域の最下流の量水堰で、雨量、流量(水位)を継続して観測してきた。水文観測を開始して3年の間に、流域の1/3に当たる面積で、皆伐・植栽が行われた。その後は、植栽された森林の成長や間伐・枝打ち等の整備の実施、シカによる採食圧の影響や植生保護柵の設置等により流域内の植生の状態は変化してきたが、そのような変化は定量的には把握されていない。これまでの水文観測データでは水流出の経年的傾向は明瞭には現れていないが(神奈川県森林研究所研究部, 1997) もともと流域特性の把握が目的であり、対照区を設けたり流域の森林の操作を一斉に行うなどの実験的な調査でないため、水流出の時系列変化と植生状態の変化を結び付けることは難しいと思われる。

## 水環境モニタリングの調査設計

### 1 モニタリングデザイン

かながわ水源環境保全・再生施策が掲げる順応的管理は、自然環境のような不確実性を伴う対象を取り扱うための管理手法である。そのプロセスはPDCAサイクルとも言われ、計画を立てて実行し、実施状況をモニタリングして、その結果により再度計画を見直していくというものである。この管理手法の本質は、管理プロセスの中に「目的設定(仮説) - 実験 - 検証」という科学的手法を組み込んでいることであり、最大の特徴は、科学的検証結果を管理方法に直接反映させることと管理を実験として位置づけていることである(中村, 1999)。このことから、順応的管理とは単に実施後にモニタリングをするだけでなく、その前提としての仮説(シナリオ)が不可欠であると言える。そして、科学的検証結果を管理方法にフィードバックするためには、できる限りシナリオを具体的に設定する必要があると考えられる。このためには、既存の調査結果を活用するなど、出来る限り客観的な情報に基づいてシナリオを検討する必要がある。

このようなシナリオ設定のための実態把握や実施効果の適切な評価のためのモニタリング調査では、対象とする地域の自然環境を出来る限り正確に把握することも重要と考えられる。そのためには、自然環境の特性を考慮する必要があるが、特に丹沢大山総合調査でも重要視された二つの点を押えておくべきであろう。一つは、自然界の階層構造と変動するプロセスの時空間スケールという概念、もう一つは、要因の相互連関である。

自然界の階層性は、古くから科学的検討がなされてきたが、近年では景観生態学の分野でその重要性が指摘されている(原, 2007)。Turner(2001)は、自然環境においては時空間的スケールの概念が重要であり、その階層構造は、生態系の複雑さを体系化して捉えるための枠組みとなるとして、スケールの捉え方を整理している。それによると、最低でも3つのレベルの階層を考慮して自然環境をとらえるべきとされている。これは、目的の上層レベルの階層は、背景となって目的の階層の制限要因となり、逆に下位の階層は、目的の階層の構成要素となり説明要因

表2 空間スケールの階層性と原因の相互連関を考慮した調査デザイン  
\* 中村 (2004) より作成

スケール	地域	流域	地区
空間サイズ	100 km <sup>2</sup> ~ 1000 km <sup>2</sup>	10 km <sup>2</sup> ~ 100 km <sup>2</sup>	ha ~ 1 km <sup>2</sup>
調査の視点	個々の群集や生態系の単位での診断評価	劣化している生態系の原因解明	生態系再生のための実験的調査
調査手法	粗くても広域をカバーする既存データを活用した調査	中小流域レベルでの現地調査	現地での再生実証試験
評価手法	リファレンスとの比較	特定の動植物種の生息環境評価	原因を検証できる手法 (BARCIデザイン)
留意点	診断基準の組み立てが重要	土地利用と物質の流れに着目	対象区の設定が難しい場合1地区の繰り返しで評価

となるためである。

また、要因の相互連関は、単に生態系における相互連関にとどまらず、「原因と結果」のように自然環境における問題を構造的に捉えるということである。たとえば、丹沢大山地域では、いくつもの要因が原因となり結果的にブナ林の衰退や林床植生の衰退を始めとした自然環境の劣化が起きていることが、従来より指摘されてきた（たとえば丹沢大山自然環境総合調査団，1997）。このような因果関係を捉える手法としては、田中（2002）により提唱されている要因連関図式がある。これは、多様な主体が議論に参加して作成することで地域固有の問題とその要因を抽出するために有効であるとされている。この手法は、丹沢大山総合調査でも活用され、8つの課題ごとに原因 - 結果という問題構造が整理された（丹沢大山総合調査実行委員会，2007）。

以上のような時空間スケールの階層構造と要因の相互連関を考慮した具体的な調査デザインとして、中村（2004）によって示されている調査デザインがある。中村（2004）は、地域、流域、地区という3つの階層の各空間スケールについて、自然再生のための調査の視点と調査および評価方法等を整理している（表2）。この中で、最も小さな地区スケールのモニタリング・評価手法として、BARCIデザインが提案されている。これは、事業実施サイトと非実施サイトを設けて、実施前、実施後で双方を比較をしていくことに加えて、目標となるような地区を参照サイトとして同時にモニタリングし、比較していくものである（図2）。このようなデザインを採用

することによって、因果関係を実験的に正しく評価できる上に、目標への到達度についても定量的に把握することができる（中村，2003）。

この調査デザインを、丹沢大山総合調査の例で見ると、地域スケールは丹沢大山全域、流域スケールは東西のモニタリングエリア、地区スケールは東丹沢の堂平など詳細かつ実証的な調査が行われた箇所にあたる。丹沢の地域スケールの調査では、自然環境と事業実績に関する既存情報を収集し、GIS上で複数の要因を串刺しに把握できるe TanzawaBaseを整備して広域での現状把握や各種対策の必要な流域の抽出に活用した（笹川ら，2007）。流域スケールの調査では、自然環境の劣化度が異なる東西モニタリングエリアで、生き物や水・土など分野横断型の現地調査を行い、劣化した生態系の原因を把握するため

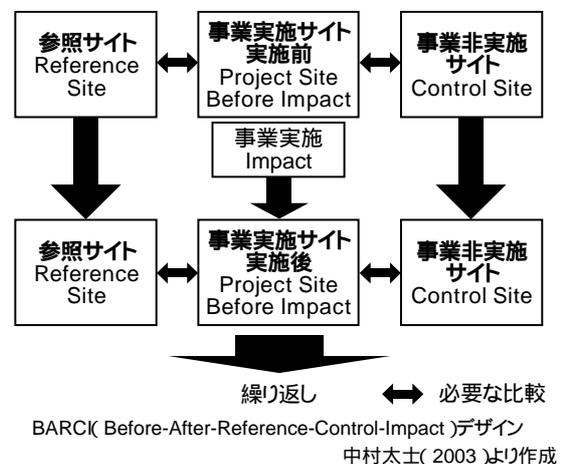


図2 BARCIデザインによるモニタリング・評価方法

の科学的な知見を得た。さらに地区スケールでは、たとえば堂平で土壌侵食の実態とそのメカニズムを把握するとともに試験的に対策工法を試行し検証を行った。最終的にはこれら3つのスケールでの調査結果を総合して自然環境の診断・分析を行い、別に検討した再生目標と照らし合わせて処方箋を提案した(山根ら, 2007c)。

以上のような既存の知見から、自然環境を順応的に管理するための望ましいモニタリングデザインとは、仮説 実験 検証のようなシナリオが前提となり、空間スケールの階層性と要因の相互連関を考慮した各スケールの調査によって、自然環境の変化を総体として時系列に把握していくものとなる。

## 2 水環境モニタリングの試験地設定

研究部が行う水環境モニタリングの当初計画では、県内水源の森林エリアの4地域に、平成20年度から対照流域法等による試験地を順次設定し、20年間森林の水源涵養機能調査を行うこととなっている。対照流域法とは、地形その他の条件が似た複数の隣接する流域で、異なる森林施業を行い、その後の各流域の水流等の変化を比較していく実験的な調査である。また、4地域とは、宮ヶ瀬ダム上流(東丹沢)、三保ダム上流(西丹沢)、津久井湖上流(小仏山地)、酒匂川上流(南足柄)を想定しており、それぞれ地質等の立地条件の異なる地域である(図3)。

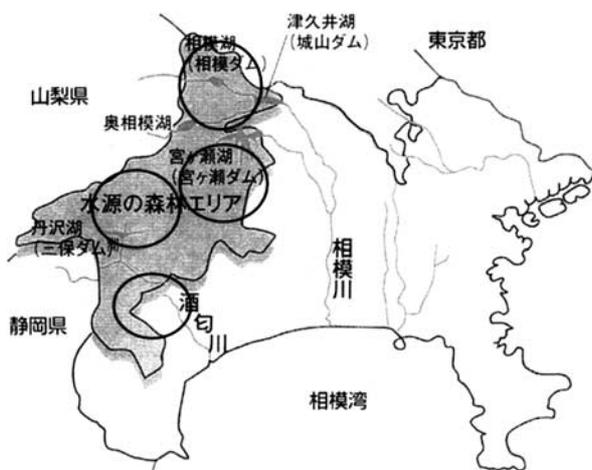


図3 森林の水源涵養機能調査の実施予定地域

\* かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画より抜粋

前述のモニタリングデザインを考慮すると、水源の森林エリア、ダム上流(4地域)、対照流域法等による試験地の3つのスケールの調査デザインに整理

できる。対照流域法等による試験地は、地区スケールの実験的調査に該当するため、本来は、より広域スケールのモニタリングも必要と考えられるが、実行5か年計画の策定段階ではそのような具体的なことまでは検討されていない。これはむしろ、当初5か年における仕組みの構築の中でこれから検討されていくべきことと思われる。一方で丹沢大山の自然再生では、すでに地域スケールとして丹沢全域、流域スケールとして東と西の統合再生流域を対象としたモニタリングが計画されており、実施にあたっては、このような他の取り組みも視野にいれるべきだろう。

対照流域法等による個々の試験地の選定にあたっては、シナリオを具体的に設定するためある程度の既存情報があること、また、実験的な調査を行うために、試験設計に沿った流域全体の森林の操作ができることや現地観測に適した現場環境などを出来る限り考慮する必要がある。県内の水源の森林エリアで、森林等自然環境の情報が最も整備されているのは、前述したとおり丹沢大山地域である。特に東丹沢の大洞沢では水文観測データが蓄積されている。その他、丹沢大山地域以外でも水源の森林づくり事業における確保地であれば、GISによる位置情報や林分調査データなどが整備されている。また、試験設計に沿った流域全体の森林の操作は、私有林の場合、水源の確保森林であり所有者の承諾が得られれば可能であり、その他は県有林地内であれば可能性があると思われる。さらに、測定に適した現場環境としては、森林整備と水流出の関係をみるために流域面積が大きすぎないこと、分水嶺が明瞭であること、溪流は年間を通して水量があること、さらに交通や通信の利便性がよいほうが施設整備の経費が安価となる上、後々の調査効率が良い。

これらの点を考慮した結果、1箇所目の試験地を東丹沢の大洞沢流域内の小流域に選定した。これまで述べたように、大洞沢は、丹沢大山地域であり水文観測データも含めて既存情報が多く蓄積されている。また、県有林地内であり、すぐ下流に県道秦野清川線が通り近傍に電線も通っているなど有利な条件が重なっている。2箇所目以降も、それぞれの地域特性を考慮して、今後選定していく予定である。

### 3 大洞沢における再生のシナリオ

1箇所目の試験地に設定する大洞沢については、まず、どのような整備をすることによって、流域の森林等自然環境がどう改善され、さらにそれが下流への水源涵養機能の向上として具体的に何がどう変化するかシナリオを設定する必要がある。現状では、大洞沢を含む中津川流域は、ブナ林の衰退のほかシカの過密化による林床植生の衰退とそれに起因する森林土壌の流出などが起こっている地区である（丹沢大山総合調査実行委員会調査企画部会編，2006）。

既存の計画では、たとえば丹沢大山自然再生計画によると、中津川流域の大部分が東丹沢1の統合再生流域として位置づけられ、ブナ林再生、人工林再生、シカの保護管理等の対策の事業連携が特に必要な地域とされている。その中でも大洞沢周辺は、人工林の再生を目指して森林管理と連携したシカの個体数調整を行う生息環境整備モデル地域に含まれている。この流域では、様々な事業が従来どおり実施される中でも、特にシカの個体数と餌である林床植生量のコントロールが最優先になる。具体的には、シカは管理捕獲、林床植生はシカの影響排除と光環境の改善、つまり植生保護柵と森林整備によりコントロールを図っていくことになる。

このように中津川流域のシカ個体群と生息環境の相対的なバランスを図っていくことで、流域に面的に広がる林床植生の衰退が回復し土壌の保全が図られることが予想される。石川ら（2007）の10m<sup>2</sup>の調査枠における土壌侵食量と地表流量の調査結果を勘案すると、これは流域全体における地表流量の軽減と土壌侵食の発生抑制につながり、その結果、降雨後の直接流出率の減少や降雨時の溪流の濁りが減少することが推察される。このことは、良質な水の安定的確保のための水源環境の再生に貢献すると考えられる。そこで、大洞沢におけるモニタリングの調査設計では、シカと生息環境の適切な管理により、流域の林床植生が回復し土壌が保全される状態に再生することによって、たとえば、具体的には下流への水流出の濁りが軽減される、降雨時の直接流出率の減少などの変化により水源環境の再生を図るといふシナリオを設定した。

### 4 大洞沢のモニタリング調査設計

前述のようなシナリオを検証するためには、BARCIデザインのような実験的なモニタリングが有効である。BARCIデザインでは、本来、事業実施区と非実施区、さらに参照区を設けるが、大洞沢では、シカの個体数調整が全域にかけて実施されるので、まったく何もしない対照区は設定しづらい。そこで、大洞沢流域内の2つの小流域では、実施区と非実施区に代えて強度実施区と弱度実施区として設定することとした。また、参照区については、大洞沢では、近傍に目標となる流域が見あたらないため、さらに上の階層の流域スケールでの参照区の比較を検討する必要もあると考えられた。

整備の内容は、強度実施区では、シカの個体数調整や人工林の間伐と枝打ち、植生保護柵、土壌保全等によって、早期に林床植生の回復した理想的な状態に再生を図ること、弱度実施区では、シカの個体数調整のみを行うことが考えられた。このような整備の実施に伴う双方の流域の水流出の変化を比較していくこととした。

また、このような対照流域として設定する2流域が、通常まったく同一の自然条件ではないことから、実施にあたっては特に手順が重要である。それは、観測開始から当初3年程度は流域特性を把握する目的でそれぞれモニタリング調査を行い、その後に整備を実施して整備効果をモニタリングし比較していくという手順である（表3）。つまり、大洞沢では、平成20年度の調査施設設置後、早くても平成23年度下半期に整備を実施することが望ましい。これは、モニタリング結果の流域間の差異が、整備の違いによるものなのか、もともとの流域特性によるものなのか判別不能になることを避けるためである。

表3 水環境モニタリングの実施手順

モニタリング実施手順	期間	大洞沢における実施スケジュール*
Step1 計画検討・事前調査	1年間	H19
Step2 施設設置・観測システム整備	1年間	H20
Step3 事前モニタリング	3年間	H21～23
Step4 整備実施		H23下半期
Step5 事後モニタリング	継続	H24以降

\*実施スケジュールは現段階での予定である。

モニタリング項目は、森林環境や溪流・水環境について、前述の整備内容により変化が見込まれる指標でシナリオの検証につながるものを選択する必要がある(表4)。大洞沢の場合、森林環境の指標では、林床植生量、光環境、リター堆積量、地表流量、土壌侵食量等、溪流・水環境の指標では、水量、水質、水温、浮遊砂量、濁度、溪流生物等が挙げられる。

表4 大洞沢におけるモニタリング項目

区分	モニタリング項目	
整備効果 検証指標	森林環境	林床植生(被度、現存量) 森林構造(林相、立木密度等) 光環境、リター堆積量 地表流量、土壌侵食量 土壌水分量、土壌深度 土壌理化学性
	溪流・水環境	水量、水質、水温 浮遊砂量、濁度、掃流砂量 溪畔環境(照度、水温など) 藻類、溪流動物
	基盤情報	降水量(降雪量)、降雨水質 気温、湿度、全天日射量

\*現時点での予定であり変更の可能性がある。

\*調査頻度はそれぞれ異なる。

また、測定結果を評価するには、これらの指標だけでは不十分であり、降水量、降雨水質、気温等の基盤情報のモニタリングを合わせて行う必要がある。

これらの指標には、整備後に短期的に変化が現れるものと長期間かけて変化が現れるものがある。たとえば、間伐や枝打ちの実施による光環境の変化は直ちに現れるが、植生保護柵の設置による林床植生の回復は4～5年、一般的に水量の変化はさらに長期間を要するといわれている。このことは、水流出の検証がねらいであっても水量の変化が現れるまで何も分からないということではなく、整備による森林の変化が溪流・水環境の変化につながっていく因果関係を想定して、それぞれの指標が短期から長期にわたり順に変化することを段階的に検証することが必要であると考えられた。

また、前述の指標のうちモニタリングとして常時観測するものは、測定施設を整備する必要がある。たとえば、水量を測定するための量水堰などであるが、現地の改変が伴うので、土地利用の調整や各種法令に基づく諸手続きが必要となる。大洞沢に関し

ても現在手続きの準備中である。また、多数の項目を確実に効率よく観測するための観測システムも必要である。研究部は、山岳気象モニタリングのシステムを構築した経験があるが、それらを生かして、現地の測定施設における観測データの取得から記録、通信、Web公開という一連のシステムの整備も検討した。

さらに、現地でのモニタリングと平行し、そのデータを活用して早い段階で流域モデルを構築することとした。大洞沢では、小流域の水流出モデルと宮ヶ瀬ダム上流の水流出モデルの構築を検討しており、モデルの精度向上のための現地調査も補完的に実施することとした。このようなモデルの構築によって、通常は長期に観測することで効果が検証できるものについても、あらかじめ効果の予測を行うなど、県民説明のための手段の一つとして今後検討していく予定である。

このような総合的なモニタリングの実行にあたっては、外部機関も含めた実施体制の整備が不可欠と考えられる。一つは、多岐にわたるモニタリングをすべて研究部内部の体制で実施することは、専門性や経験等の面からも限界があり、現地のモニタリングにあたり外部の専門家との連携が必要となるためである。もう一つは、そのように各専門家との連携や調査会社への調査委託も活用しながら、各々がモニタリングを担っていく場合、モニタリングの実施過程においても全体の最適化のために調整を図る場が必要のためである。そして、モニタリングの実行過程も、たとえば県民会議やその中の施策調査専門委員会等に定期的に評価を受け、必要に応じて軌道修正するなど、つまりこのモニタリング調査そのものも順応的に実行していくことが望ましいと思われる。

## おわりに

研究部が行う森林の水源涵養機能調査のような詳細な調査だけでは、水源地域全体の施策効果を捉えることは不可能である。このため、モニタリングデザインで述べたように広域の粗い調査と限られた箇所での詳細な調査を関連づけて行うことが効果的である。このような施策全体での効果検証と県民への

情報提供をどうしていくかは、現在、県民会議やその中の施策調査専門委員会でも検討が重ねられている。

また、モニタリングは長期に継続してこそ意味があるが、手間と経費がかかるのも事実である。本施策の場合、どこまできめ細かくモニタリングを行うかは、県民が何をどこまで望んでいるかによるところが大きく、施策効果の検証の材料として詳細な調査ばかりが必ずしも良いとは限らないだろう。しかし、科学的手法によって何がどこまで分かるのか、手間や経費がどれだけかかるのかという情報は一般的には知られておらず、研究部門から情報提供をしていく必要があると考えられる。それは、今回の研究部の水環境モニタリングでは、検討の過程から情報を提供していくということであり、そのためにも、県民会議やその中の施策調査専門委員会との連携が今後も重要になってくると思われる。

## 引用文献

- 原慶太郎 (2007) 自然環境をどう捉えるか。2-7。自然環境解析のためのリモートセンシング・GISハンドブック。長澤良太・原慶太郎・金子正美編，256pp，古今書院，東京。
- 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 (2007) 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。丹沢大山総合調査学術報告書。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 (1998) 水源林整備の手引き。55p，環境農政部水源の森林推進課，横浜。
- 神奈川県 (1999) 丹沢大山保全計画 丹沢大山の豊かな自然環境の保全と再生をめざして。138pp，神奈川県環境部自然保護課，横浜。
- 神奈川県 (2003) 水源の森林づくり広葉樹整備マニュアル。44pp，農政部水源の森林推進課，横浜。
- 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 (2007) 丹沢大山自然再生計画～人も自然もいきいきとした丹沢大山をめざして～。80pp，環境農政部緑政課，横浜。
- 神奈川県森林研究所研究部 (1997) 平成9年度研究人材活性化対策事業研究推進支援研修。大洞沢水文観測調査。
- 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。
- 中村太士 (1999) 流域一貫森と川と人のつながりを求めて。138pp，築地書館株式会社，東京。
- 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 - 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 -。応用生態工学5 (2) : 217-232。
- 中村太士 (2004) 自然再生 地域 (region)，流域 (catchment)，地区 (local site) における分析と復元の考え方。日緑工誌 30 (2) : 391 - 393。
- 笹川裕史・鈴木透・山根正伸・吉田剛司・原慶太郎 (2007) e-TanzawaBase の構築。658-667。丹沢大山総合調査学術報告書。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。
- 田村 淳・山根正伸 (2005) 丹沢山地のニホンジカ生息地におけるスギ・ヒノキ高齢林での間伐後4年間の下層植生の変化。第116回日本森林学会講演要旨集
- 田村 淳・永田幸志・小林俊元・栗林弘樹・山根正伸 (2007) 第1次神奈川県ニホンジカ保護管理事業における植生定点モニタリング，神自環保セ報4 : 7-20。
- 田中拓弥 (2002) 個別性・多様性抽出のための要因関連図式。260-271。流域管理のための総合調査マニュアル。384Pp，京都大学生態学研究センター，大津市。
- 丹沢大山自然環境総合調査団 (1997) 調査のまとめと自然環境保全のための提言。1-11。丹沢大山自然環境総合調査報告書。神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査団企画委員会編，pp633，神奈川県環境部，横浜。
- 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。
- Turner, M.G., Gardner, R.H. and O'Neill, R.V. (2001)

Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process. Springer-Verlag, New York. 中越信和・原慶太郎監訳．2004. 景観生態学 生態学からの新しい景観理論とその応用. 399pp, 文一総合出版, 東京.

山根正伸・三橋正敏(2002)ニホンジカ生息数調査におけるカメラセンサス法の適用、丹沢札掛での試行結果, 神自環保セ研報29: 19-26.

山根正伸・藤澤示弘・田村淳・内山佳美・笹川裕史・越地正・中嶋伸行・齋藤央嗣(2007a) . 丹沢山地における最近の気象の特徴. 375-382. 丹沢大山総合調査学術報告書. 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.

山根正伸・藤澤示弘・田村淳・内山佳美・笹川裕史・越地正・齋藤央嗣(2007b) . 丹沢山地のブナ林の現況 林分構造と衰退状況 . 497-484 . 丹沢大山総合調査学術報告書. 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.

山根正伸・笹川裕史・鈴木透・吉田剛司・羽山伸一・原慶太郎(2007c) 第1節丹沢大山総合調査における総合解析の概略 総合調査から政策提言への橋渡しはどのように行われたか?. 699-702. 丹沢大山総合調査学術報告書. 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.

山根正伸・相原敬次・鈴木透・笹川裕史・原慶太郎・勝山輝男・河野吉久・山上明(2007d) 第2節ブナ林の再生に向けた総合解析. 703-710. 丹沢大山総合調査学術報告書. 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.

財団法人水利科学研究所(1980) 重要水源山地整備治山事業調査報告書. 191pp, 神奈川県, 東京.

財団法人水利科学研究所(1982) 重要水源山地整備治山事業調査報告書. 65pp, 神奈川県, 東京.