資　料

神自環保セ報 10（2013）13-21

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

内山佳美*・山根正伸**

Installation of the observation system for monitoring study based on paired catchment experiment methods

Yoshimi UCHIYAMA*, Masanobu YAMANE**

要　旨

水源環境の保全・再生施策にかかる森林の事業実施効果を流域スケールで検証するために、県内４か所に対照流域法による試験流域を選定し、平成 20 年度から毎年１か所ずつ気象・水文観測施設を整備した。各試験流域では、現場条件に合わせて量水堰等の施設を設置し、気象と水文の観測地点を設けた。各試験流域の観測は、常時自動で行い、データを定期的に自然環境保全センターへ転送するシステムとした。水文観測に欠かせない水位－流量換算式も順次決定した。通常の施設の保守に加えて、洪水時の量水堰への土砂の堆積の際には、堆積土砂の測定と浚渫工事を行った。今後は、この気象・水文観測を基盤とした水源環境のモニタリングを着実に継続することによって、施策の順応的な推進や水源林の管理に有効な科学的情報を提供していく計画である。

Ⅰ　はじめに

現在、神奈川県が行っている水源環境の保全・再生施策においては、森林における事業の実施効果を流域スケールで下流への水や土砂の流出と結びつけて検証し、その結果を事業の見直しに反映させていく順応的な対応が欠かせない（内山ほか，2013a）。これまでの小面積スケールのモニタリングでは、ニホンジカの高密度化等により衰退した林床植生が事業の実施によって回復し、降った雨が地中に浸透しやすくなり降雨の際に地表面を素早く流れる水が減少することが明らかになっている（石川ほか，2007）。しかし、それが流域スケールで下流への水や土砂の流出に与える効果には、流域の地形や地質、気象条件などの立地環境も関係し、その機構は単純ではない。

自然環境保全センターでは、森林における事業の効果を流域スケールで検証するため、平成 19 年度より「対照流域法によるモニタリング調査」を開始した（内山ほか，2013a）。これは、隣り合う２つの小流域で降雨等の気象と河川流量等の水文の観測を継続しながら、一方の流域を整備することによって、整備前後の比較だけでなく整備の有無による流域スケールの水や土砂の流出の違いを把握する調査である。

現在は、県内の４か所に設定した各試験流域において、事業の効果検証のためのモニタリング調査を開始したところである。本稿では、選定した４か所の試験流域と各試験流域に整備した観測システムの概要について報告する。

*　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）
**　神奈川県環境農政局　水・緑部　自然環境保全課　（〒 231-8588　横浜市中区日本大通１）

Ⅱ　県内４か所の試験流域の選定

本調査のための試験流域は、県内の水源地域の地形や地質の異なる４地域それぞれの源流に位置する小流域に設定した。これは、地質の違いから流域のもともとの水流出特性が異なること（虫明ほか, 1981）、シカの影響など水源環境の課題が各地域で異なることから、それぞれの地域ごとに事業効果を検証する必要があると考えられたためである。

各地域における試験流域は、平成 19 年度から毎年１箇所ずつ選定した。選定にあたっては、河川流量を正確に測定するための量水堰を設置できる箇所がかなり限られたことから、土地造成や林道建設などの人為的な地形改変のない 10ha 未満の森林流域が２つ以上確保でき、年間を通して水量があり、道の近くなどアクセスのよいところに量水堰の設置に適した箇所がある流域を候補地とした。表１の選定条件により各候補地を総合的に評価して地域ごとの試験流域を決定した。

選定した試験流域は、東丹沢の大洞沢試験流域、相模湖の貝沢試験流域、西丹沢のヌタノ沢試験流域、南足柄のフチヂリ沢試験流域（以下、それぞれ沢名で呼ぶ。）である（図１、表２）。なお、南足柄地域では、量水堰の設置に適した小流域が確保できなかったため、量水堰を設置せずに自然の河道で水文観測を行う約 42ha と約 34ha の２流域を試験流域とした。選定した試験流域の区域内には、県有地だけでなく市町村の管理地や私有林も含まれたため、それぞれの土地の所有者との調整を行った。

表１　試験流域の選定条件

区分	選定条件
現場条件	年間を通して沢の水量があること
	ダムサイトに適した地点があること
	流域内に人為的な土地の改変がないこと
	道路（車道）から近いこと
	量水堰の排土などの維持管理が可能であること
	集水面積が数haから数十ha程度であること
	商用電源や電話回線の確保が容易であること
	上記のような流域が２つ以上セットで確保できること
社会条件	土地所有者の承諾が得られること（県有地が最もよい）
	既存の計画や事業との調整が可能なこと

Ⅲ　各試験流域における気象・水文観測の概要

平成 20 年度から毎年１か所ずつ、モニタリングの基礎データを取得するための気象・水文観測システムを各試験流域に整備した。各試験流域では、現地の状況に応じて、雨量等の気象観測を１～２地点、

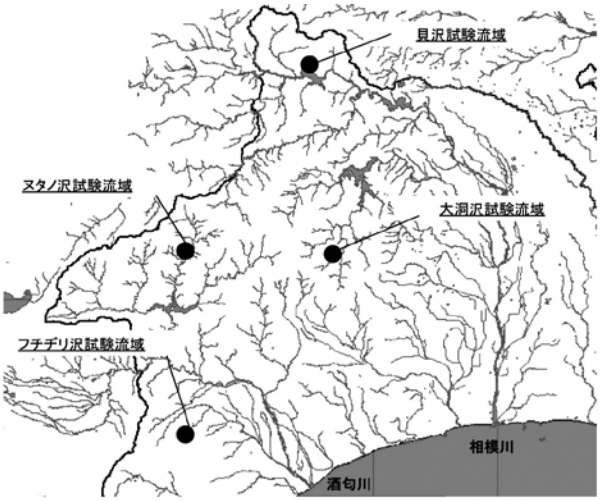
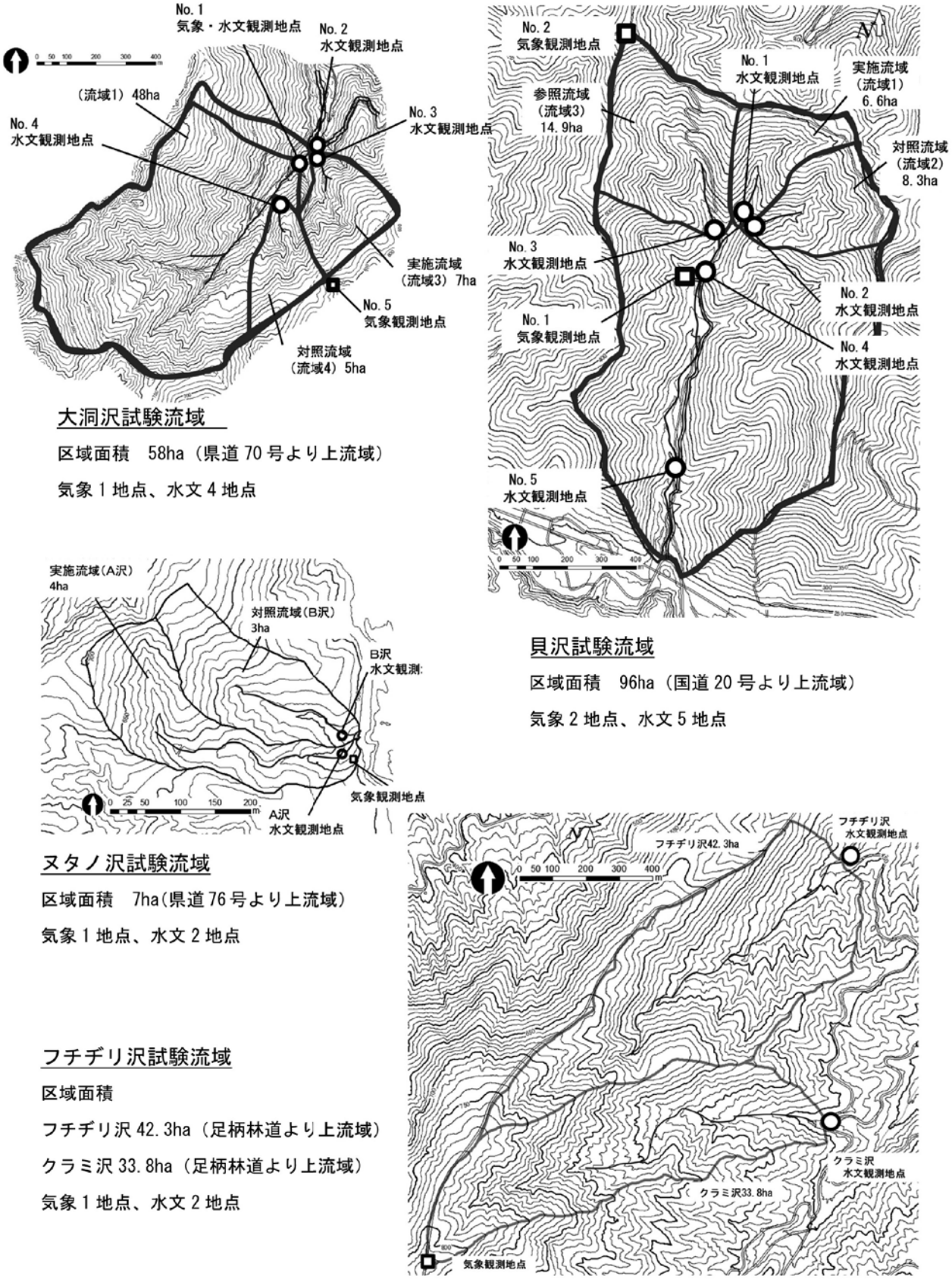


図１　選定した各試験流域の位置

表２　各試験流域の自然条件と選定理由

試験地	地域／市町村	選定年度／施設整備年度	区域面積 (ha)	自然条件等	試験地選定理由
東丹沢「大洞沢試験流域」	宮ヶ瀬湖上流 清川村	H19／H20	58	新第三系丹沢層群 人工林、シカ影響	県有地で本流の既設量水堰の水文観測実績がある上、２つの支流に新たに量水堰を設けることが可能である。
相模湖「貝沢試験流域」	津久井湖上流 相模原市	H20／H21	96	小仏層群（頁岩） 人工林	100ha程度のほぼ流域全体が、水源の森林づくり事業の対象地となっており、流域内の複数の支流と本流に量水堰を新規に設けることが可能である。
西丹沢「ヌタノ沢試験流域」	丹沢湖上流 山北町	H21／H22	7	深成岩（石英閃緑岩） 広葉樹、シカ影響	流域面積が小さく、流域試験が比較的容易である。既設の治山堰堤の下流に量水堰を設置することが可能である。
南足柄「フチヂリ沢試験流域」	狩川上流 南足柄市	H22／H23	76	外輪山噴出物、 人工林	常水のない沢が多い当地域の中で、流域面積は大きいものの年間を通して水量があり流域内に林道や土地の造成地がない。

流量等の水文観測を２～５地点それぞれ設けた（図２）。すべての試験流域で観測項目を統一し、気象観測は、気温、湿度、風向、風速、全天日射量、雨量であり、水文観測は、水位、水温、濁度とした。デー



大洞沢試験流域

区域面積　58ha（県道 70 号より上流域）

気象 1 地点、水文 4 地点

貝沢試験流域

区域面積　96ha（国道 20 号より上流域）

気象 2 地点、水文 5 地点

ヌタノ沢試験流域

区域面積　7ha(県道 76 号より上流域)

気象 1 地点、水文 2 地点

フチヂリ沢試験流域

区域面積

フチヂリ沢 42. 3ha（足柄林道より上流域）

クラミ沢 33. 8ha（足柄林道より上流域）

気象 1 地点、水文 2 地点

図２　各試験流域における観測地点の配置

タの記録間隔は、すべて 10 分とした。

フチヂリ沢以外の試験流域の各水文観測地点には、源流河川で正確に流量を測定するために必要な量水堰を設けた(写真１、図３、図４)。大洞沢のNo.3、

① 大洞沢試験流域　No.1 水文観測地点の量水堰（昭和 55 年度設置）
② 大洞沢試験流域　No.3 水文観測地点の量水堰（平成 20 年度設置）
③ ヌタノ沢試験流域　A 沢水文観測地点の量水堰（平成 22 年度設置）
④ 貝沢試験流域　No.1 水文観測地点の量水堰（平成 21 年度設置）
⑤ フチヂリ沢試験流域　フチヂリ沢観測地点（平成 23 年度設置）※記録・電源装置
⑥ フチヂリ沢試験流域　フチヂリ沢観測地点（平成 23 年度設置）※センサー部

写真１　各試験流域の水文観測施設

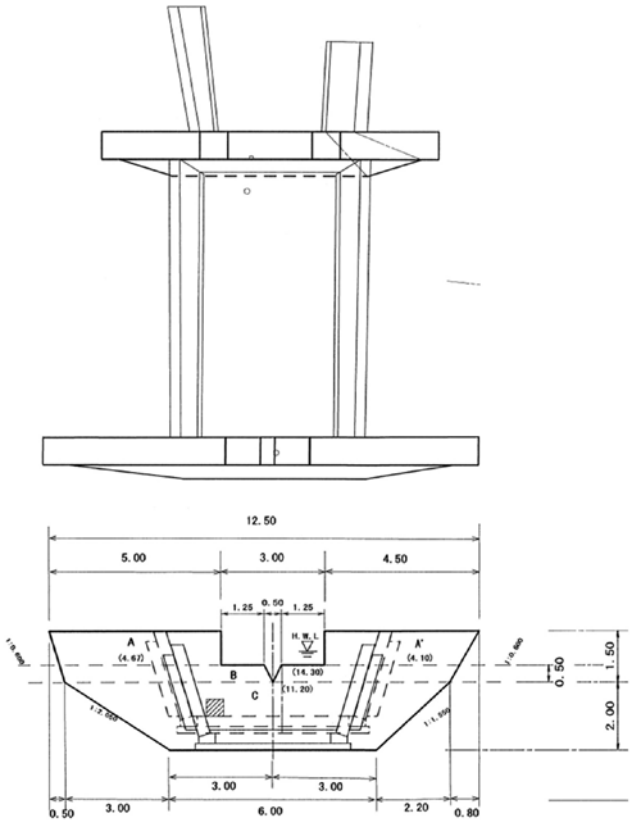


図３　大洞沢試験流域の№３水文観測地点の量水堰の構造

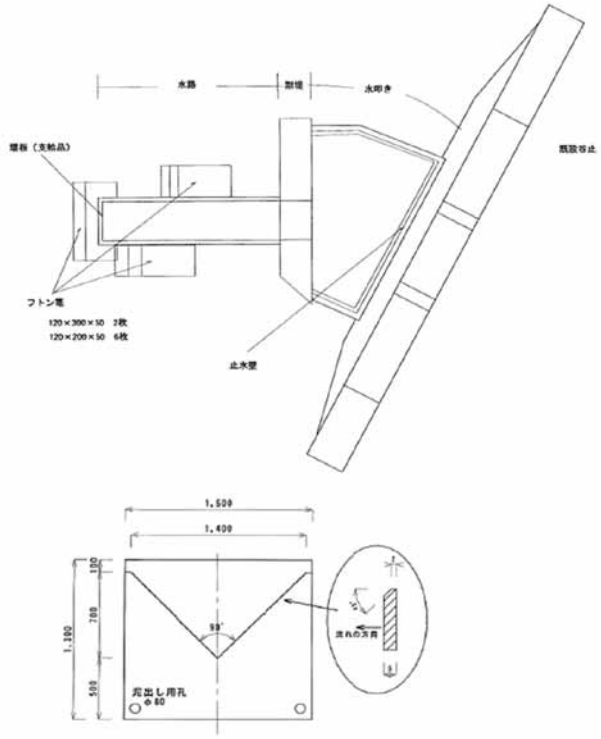


図４　ヌタノ沢試験流域のＡ沢水文観測地点の量水堰の構造

№４水文観測地点では、既設の上下流に並ぶ治山堰堤２基の間に量水堰堤と三面張水路を取付けることによって量水堰を整備した。本流での観測経験から、量水堰に土砂が堆積することも予想されたため、京都大学の穂高観測所のヒル谷堰堤の構造を参考に量水堰に排砂口を設けた。ヌタノ沢もＡ沢とＢ沢ともに既設の治山堰堤の下流側に水叩き部と水路部を取付けて量水堰を整備した。貝沢の№５水文観測地点は過去の取水堰の跡地を利用して堰板を設置し、それ以外の№１～４水文観測地点では、既設の治山堰堤が無く、私有地のために将来撤去する可能性も考慮して、ダムサイトに適した箇所に堰板を設置して、自然の河道を生かして量水堰を整備した。

Ⅳ　常時観測・データ転送システムの概要

大洞沢、貝沢、ヌタノ沢の観測システムは、商用電源により常時自動で観測され、観測データは現地の記録装置に記録されるとともに、通信設備により定期的に自然環境保全センター内のパソコンに自動転送される仕組みである（図５～７、表３）。これまでの丹沢山地における気象観測の経験から、電源供給と通信の確実性を重視して、太陽光発電や無線通信でなく、近傍の電柱から試験流域まで電線とNTT 光回線を延伸し、試験流域内の観測地点間はすべて電線と同軸ケーブルまたは光ケーブルを転がし配線で接続した。また、商用電源であっても落雷等で停電する可能性があるため、平成 21 年度以降に整備した貝沢とヌタノ沢では、停電時でも測定・記録が継続されるようバックアップロガーを配備した。平成 20 年度に整備した大洞沢は、水位計のみ別途ロガー式水位計を量水堰に併設している。また、各試験流域とも複数の監視カメラを備え、遠隔地からインターネットで監視することができる。特に、貝沢とヌタノ沢は、監視カメラの画像が 10 分ごとに保存され、洪水時の量水堰の越流状況など観測の記録としても活用できる。さらに、大洞沢では、平成 23 年度より基本システムに追加してインターネット回線により自動採水器を遠隔操作できるサブシステムを構築した。

フチヂリ沢については、各観測地点が離れているうえ、付近にも商用電源と有線の通信回線が導入さ

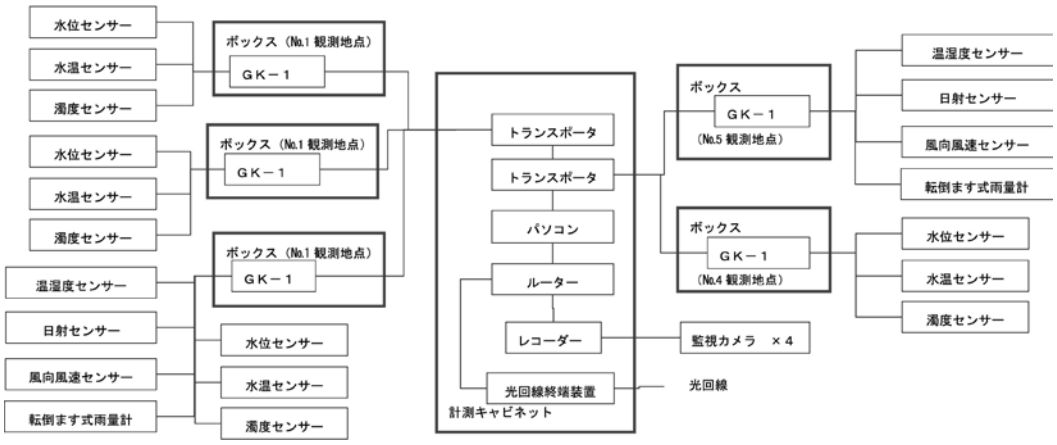


図５　大洞沢試験流域の観測システム概要

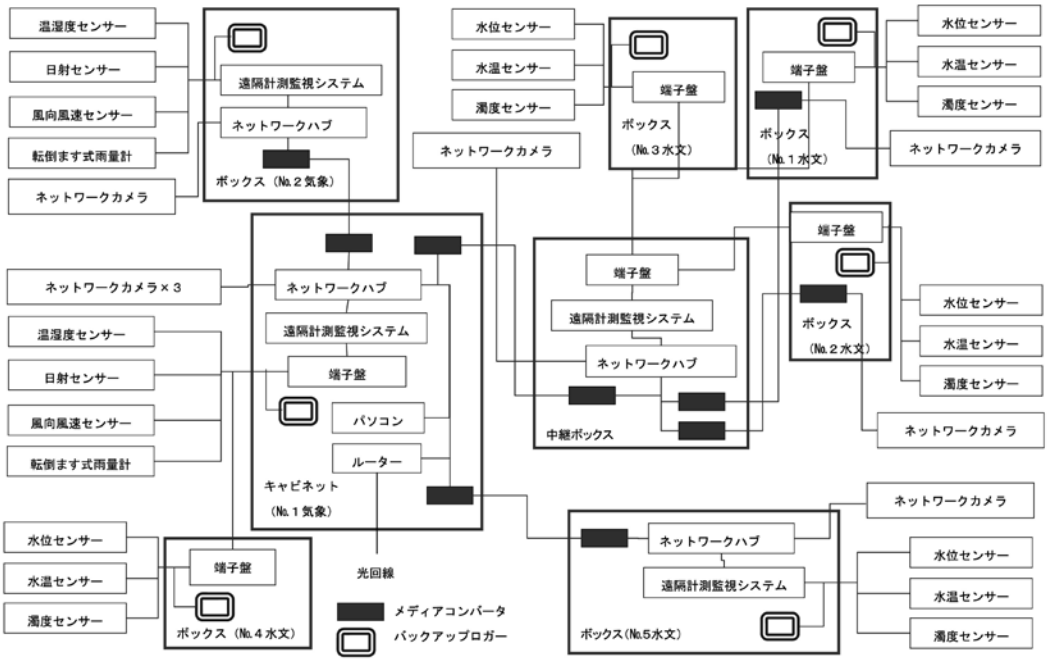


図６　貝沢試験流域の観測システム概要

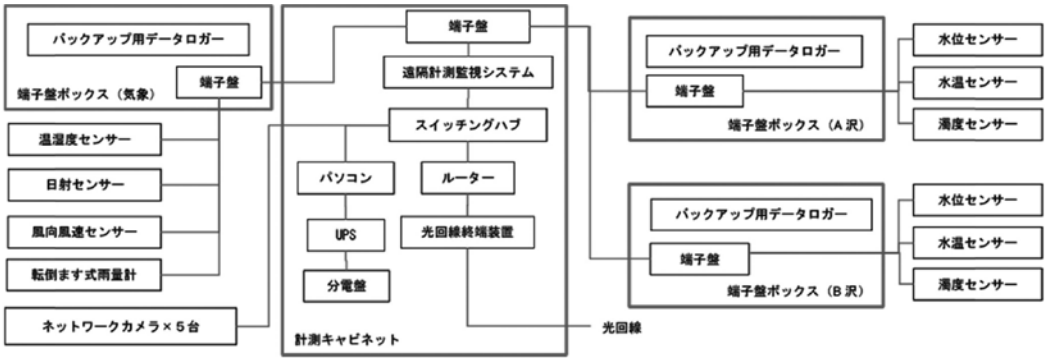


図７　ヌタノ沢試験流域の観測システム概要

表３　各試験流域における主な使用機器

試験地	分類	名称	型番・形式	メーカー	数量
大洞沢	計測	温湿度計	HT-20	山武	2
		風向風速計	WS-D	山武	2
		全天日射計	SL-30	山武	2
		転倒ます式雨量計	N78	日本エレクトリック・インスルメント	2
		圧力式水位計	ATM_N型	光進電気工業	3
		超音波水位計	UIZ-LS400	ウイジン	1
		水温計	C-PT-5	クリマテック	4
		濁度計	COP-TC-3000	オプテックス	4
		監視カメラ	SCR367	MESSOR	4
	記録通信	記録	GK20	山武	5
		記録（カメラ用）	AD-N4	キャロットシステムズ	1
		トランスポータ	-	山武	2
		パソコン	T3400	DELL	1
		ルータ	BHR-4RV	バッファロー	1
貝沢	計測	温湿度計	HD9008TRR	デルタオーム	2
		風向風速計	YG-5103-LM	ヤング	2
		全天日射計	LP PRA03	デルタオーム	2
		転倒ます式雨量計	OW-34-BP	大田計器製作所	2
		圧力式水位計	UIZ-GY1000A	ウイジン	5
		水温計	UIZ-PT100	ウイジン	5
		濁度計	TC-500	オプテックス	5
		ネットワークカメラ	BB-HCM735	パナソニック	8
	記録通信	記録	2300	日置電機	1
		パソコン	OptiPlex	DELL	1
		ルータ	RT58i	ヤマハ	1
ヌタノ沢	計測	温湿度計	HD9008TRR	デルタオーム	1
		風向風速計	YG-5103-LM	ヤング	1
		全天日射計	LP PRA03	デルタオーム	1
		転倒ます式雨量計	OW-34-BP	大田計器製作所	1
		圧力式水位計	UIZ-GY1000A	ウイジン	2
		水温計	UIZ-PT100	ウイジン	2
		濁度計	TC-500	オプテックス	2
		ネットワークカメラ	BB-HCM735	パナソニック	5
	記録通信	記録	2300	日置電機	1
		パソコン	OptiPlex760	DELL	1
		ルータ	RT58i	ヤマハ	1
フチヂリ沢	計測	温湿度計	HD9009TRR	デルタオーム	1
		風向風速計	YG-510※VM	ヤング	1
		全天日射計	LP PRA03AV	デルタオーム	1
		転倒ます式雨量計	OW-34-BP	大田計器製作所	1
		圧力式水位計	UIZ-WL500	ウイジン	3
		水温計	LR9603	日置電機	2
		濁度計	TC-500	オプテックス	2
	記録通信	記録（気象）	UIZ-DPNS-LABOⅡ	大田計器製作所	1
		記録（水文）	LR5092	日置電機	1
		FOMAカード	-	NTTドコモ	1
	電源	ソーラーパネル	NTN20	日天	1
		バッテリー	PE12V40	ジーエス・ユアサ	1

※フチヂリ沢の転倒ます式雨量計は、電源供給量の関係からヒーターなしの仕様である。

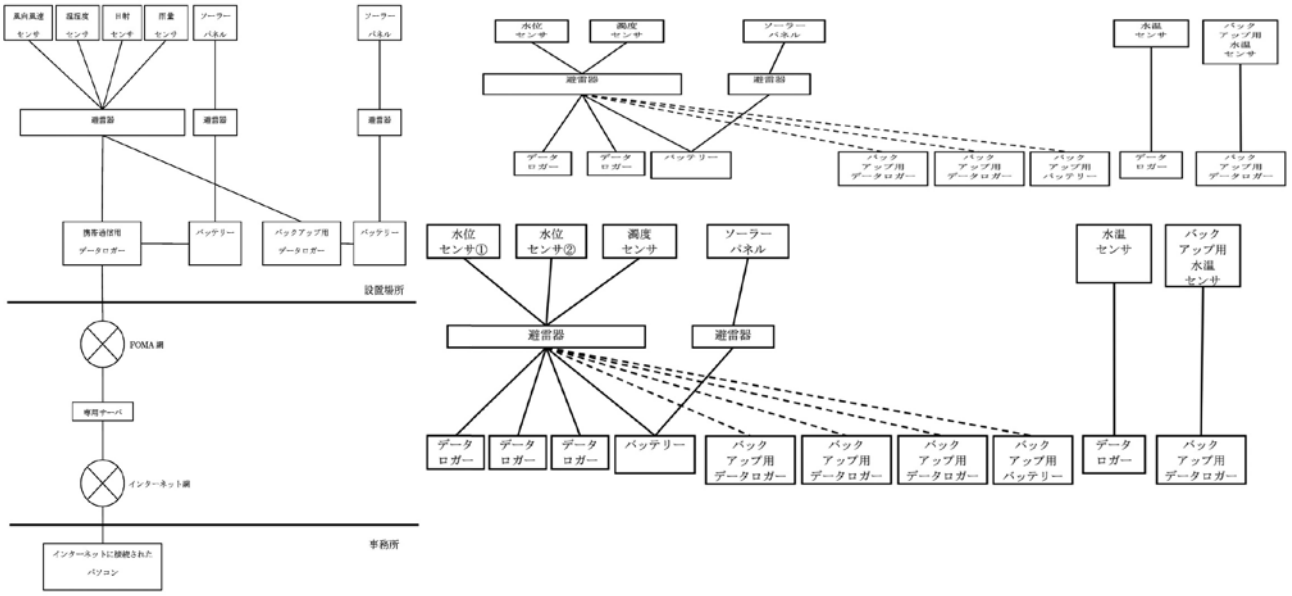


図８　フチヂリ沢試験流域の観測システム概要

れていない。このため、いずれの観測地点も太陽光発電により電源を確保し、尾根の気象観測は携帯電話によるデータ自動回収、水文観測の２地点は、現場で定期的にデータ回収する仕様とした（図８、表３）。水文観測は、他の試験流域と異なり量水堰を設けずに自然の河道で水位を計測している。

各試験流域から自然環境保全センター内のパソコンに自動転送された観測データについては、定期的にデータベースに自動登録するシステムを構築した。将来的には、観測データをインターネット上で公開していきたいと考えている。

Ⅴ　観測施設とシステムの運用・保守

整備した観測施設は、自然環境保全センターが保守管理を行うとともに、大学等の外部研究機関との共同研究により観測を行っている。事業の効果を水源環境の保全・再生の観点から検証するためには、特に雨量と流量を正確に測定する必要がある。

水文観測については、自動観測による水位データを流量データに換算する必要があり、大洞沢、貝沢、ヌタノ沢について、それぞれ小田ら（2013）、白木ら（2013）、内山ら（2013）によって、各量水堰における流量の実測から水位 - 流量換算式が導き出された。フチヂリ沢についても、同様に流量の実測により水位 - 流量換算式を検討しているが、河道断面が固定されていない自然河道で水文観測を行っているため、洪水等による断面形状の変化に伴い水位ー流量換算式も変更しなければならない。なお、量水堰による観測であっても、長期的には水位センサーの設置位置のずれ等によって、初期の換算式の算出条件が変化する可能性も考えられるため、水位 - 流量換算式については、定期的に確認、更新していく必要がある。また、流量と同様に高い精度が求められる雨量データについても、試験流域内の複数個所のデータ比較や近傍のアメダス等との比較により、精度を検証している。

観測システムの通常の保守は、月１回の定期点検、最低６カ月に１回の定期清掃に加えて、バックアップ用電池等の消耗品の定期交換を実施している。また、各試験流域から自然環境保全センターへのデータ自動転送状況については、平日に毎日確認し、不具合があれば随時対応している。

また、水文観測については、台風等の豪雨で量水堰に土砂が流入して観測不能になることがある。しかし、流域スケールでの水や土砂のモニタリングでは、量水堰に堆積した土砂量も重要な情報である。このため、観測不能になるほどの土砂の流入の際は、速やかに堆積土砂量を測定するとともに土砂を撤去して観測を再開する必要がある。平成 23 年度には、７月の台風６号、９月の台風 15 号の２度にわたって、大洞沢、貝沢、ヌタノ沢の量水堰に土砂が流入し、

堆積土砂量の測定と浚渫工事を行った（内山ほか、2013）。大洞沢のNo.１水文観測地点の量水堰は満砂すると 100 ㎥を超える堆積土砂量になるため、重機を用いて浚渫工事を行った。大洞沢のNo.３、No.４水文観測地点と、貝沢、ヌタノ沢の各量水堰は、堆積土砂量の規模が比較的少なく現場も狭いことから人力による浚渫工事を行った。

さらに、長期間の観測では、センサー等の機器の定期的な更新も必要である。今後の観測施設・システムの運用にあたっては、機器の計画的な更新も含めて、日ごろからきめ細かく保守や修繕を行って、観測の精度を保つ必要がある。

Ⅵ　おわりに

水源環境保全・再生のための事業の効果を流域スケールで検証するために、県内の４か所に試験流域を設けて、観測システムを整備して運用を開始した。今後は、各地域で行われる水源環境の保全・再生のための対策に沿った事業効果の検証を行う計画である。それと同時に、各地域で基本的な気象・水文観測を着実に継続することによって、県内のそれぞれの水源地域の水や土砂の流出の特性を明らかにしていく計画である。このような県内４か所の気象・水文観測を基盤とした水源環境のモニタリング調査によって、今後は、森林における水源環境の保全・再生対策の順応的な推進や将来的な水源林管理の在り方の検討に対して有効な科学的情報を提供できると考えている。

Ⅶ　謝　　辞

本研究では、試験流域の選定や量水堰等の観測施設・システムの設計の全般にわたり、東京農工大学の石川芳治教授、東京大学の鈴木雅一教授をはじめとした多くの先生方に細部にわたりご指導を賜った。それぞれの試験流域は、森林所有者である地元市町村や森林組合、個人の方々のご理解、ご協力のお陰で設定することができた。また、森林所有者との調整や構造物の設置に関する法的な手続きについては、庁内関係所属に多くの支援をいただいた。さらに、量水堰等の土木工事の設計・積算や施工時の現場指導にあたっては、石渡和夫氏に多大なるご支援を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

Ⅷ　文　　献

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、No.309、51-62

小田智基・鈴木雅一・内山佳美（2013）東丹沢大洞沢試験流域における水収支・流出特性－地下部における水移動の影響－，神奈川県自然環境保全センター報告，10：47-52

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

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・横山尚秀・山根正伸（2013b）西丹沢ヌタノ沢における平成 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