

## 第2節 水

### I 大洞沢の降雨と流出

白木克繁<sup>1)</sup>・若原妙子<sup>1)</sup>・石川芳治<sup>1)</sup>・鈴木雅一<sup>2)</sup>・内山佳美<sup>3)</sup>

#### Characteristics of Rainfall and Runoff of the Oborasawa Watershed.

Katsushige Shiraki, Taeko Wakahara, Yoshiharu Ishikawa, Masakazu Suzuki & Yoshimi Uchiyama

#### 要約

大洞沢における降雨流出特性、土砂流出特性を調査した。土砂流出特性については渓流水の懸濁物質である浮遊砂量を測定した。その結果、大洞沢流域においては降雨流出初期に浮遊砂量の濃度が比較的高くなることがわかった。これは、浮遊砂の供給源が河床に堆積しており、流出初期に渓流水とともに運搬されるというメカニズムがあると推定できる。また、流出量のモデルシミュレーションより、降雨のうちおよそ40%が降雨時に速やかに流域外に流下する直接流出となり、40%が比較的ゆっくりと流出する基底流出となるという結果が得られた。

#### 1. はじめに

名水で知られる丹沢や、都民の水源地の奥多摩で、溪流への土砂流出が近年問題となっている。特に神奈川県の大洞沢山地では、1970年代からモミの立ち枯れが始まり、1980年代以降から大規模な自然環境の劣化が見られるようになった。1997年の丹沢大山自然環境総合調査を通じ、ブナの立ち枯れや林床植生の衰退、濁水による水道水源の汚濁や貯水ダムへの堆砂、シカ個体群の低質化、オーバーユース、移入種の侵入による生物多様性の攪乱などが確認された。

利用可能な水資源の定量化、土砂の流出量の把握を行うためには、山地での降水量と流出量の解析が必要となる。一般に、豪雨時の溪流流出量と、無降雨期間が続いた後の溪流流出量では、その量がオーダーで異なるので、降水量観測、流出量観測は継続的に行わなければならない。このため、本報告では流量観測設備が整っている大洞沢流域を対象として、丹沢山系流域での流出特性の一例を示す。

山地からの土砂流出を低減させる事は、山地の保全や貯水ダムへの堆砂を防ぐために重要な問題である。このためには、山地からの土砂流出量の実態を知る必要がある。土砂流出量の研究例としては、丹沢山地の大洞沢流域を対象とした測定が行われている(矢部ほか, 2000)。これは1998年6月から9月にかけて量水堰に堆積した土砂の体積を測定し、流出土砂と理論式(Shields 掃流砂量式)とを比較したものである。ここでは掃流砂のみを扱っているが、流域における総合的な流出土砂量を求めるには、渓流水に含まれる懸濁物質である浮遊砂量を併せて測定することが必要である。

本調査では、2004年から丹沢山地東部の大洞沢流域(流域面積約48ha)を対象とし、降雨、流量、浮遊砂濃度を計測した。そこから降雨流出特性、および豪雨時の浮遊土砂濃度変化の特徴について調査した。

#### 2. 大洞沢の概要、位置と調査項目

##### (1) 大洞沢の位置

本調査は、神奈川県愛甲郡清川村煤ヶ谷・大洞沢流域で行った。図1に広域地図、図2に大洞沢地形図を示す。丹沢山地は伊豆半島の衝突による急激な褶曲を受けた褶曲山地であり、強い圧力による変成作用を受けた脆弱な地層が多く、崩壊が発生しやすい。地質は新第三紀層丹沢層群大山亜層群に属する。丹沢層群は比較的古い海成堆



図1. 大洞沢の位置 (この地図は、国土地理院発行の数値地図200000 (地図画像)「東京」を利用して作成した)

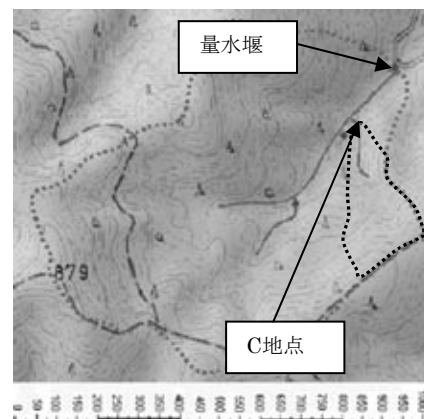


図2. 大洞沢地形図と採水器設置ポイント (この地図は、国土地理院発行の数値地図25000 (地図画像)「大山」を利用して作成した)

1) 東京農工大学大学院共生科学技術研究院 2) 東京大学大学院農学生命科学研究科 3) 神奈川県自然環境保全センター研究部

表 1. 大洞沢流域概況(神奈川県森林研究所研究部(1997)『大洞沢流域水文観測調査』より引用)

流域面積	$A=0.483\text{km}^2$	流域内最高標高	$H_{\max}=878\text{m}$
主流長	$L=1.05\text{km}$	最低標高	$H_{\min}=435\text{m}$
流域平均幅	$A/L=0.46\text{km}$	標高差	$H=443\text{m}$
流域周囲長	$M=2.82\text{km}$	主流平均勾配	$H/L=0.423$
流域集中度	$K/M=0.87$		$(\tan \theta=0.423, \theta=22.9^\circ)$
形状比	(K:Aと同面積の円の周囲長)	到達距離集中度	0.139(階級幅100m)
	$R/L=0.75$	本支流の総延長	4.80km
谷密度	$9.8(\text{km}^{-1})$	流域の平均傾斜	$36.6^\circ$ (等高線延長法)
			$36.1^\circ$ (等高線面積法)

積層で、その見かけの厚さは 10km に達する(神奈川県立博物館編, 1991)。

新第三紀層堆積岩は、礫・砂・シルトが酸化鉄又は石灰質で膠結され形成されている。これらの膠結剤は二酸化炭素と雨水の影響で風化・流亡しやすい。そのため、森林土壌の形成が不十分なところではこの風化は広範囲に及ぶ浅層崩壊を発生させる。また、新第三紀層の裸地は風化により表面浸食も受けやすい。新第三紀層は地表面の浸透能が低いいため、地表流の形成が大きく、浸食は表層部から次第に下層部に至る。このような地質特質から、地形が比較的急峻であり、複雑な深い谷を形成している(神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査企画委員会編, 1997)。大洞沢は、丹沢山地の東部、相模川水系中津川上流部に位置し、流域面積は 48.3ha である。最下流部には大洞沢量水観測所が設置され、1981 年以來、神奈川県により降雨量と流量の観測が行われている。

土壌は、火山灰(関東ローム)の影響を強く受けており、粗孔隙の割合が比較的大きく、透水性は良好である。土壌型は殆どが BD で、一部に BE が見られる。土壌は全般的に構造発達が悪いが、樹木植被のある斜面の土壌は厚い。急傾斜地や尾根部分でも 1m 以上の厚さを持ち、柔らかく透水性の良い土壌を形成する。

1997 年の調査では流域面積の約 97% が森林で、林況は、スギ・ヒノキの人工林 59.2%、その他針葉樹林 0.8%、広葉樹林 18.6%、針広混交林 18.1%、その他 3.2% である。



図 3. 雨量計設置の様子

その他には河川敷、崩壊地、歩道などが含まれる 4)。

降水状況は、年平均降水量が 2,600mm (積雪による欠損のため、冬季を除く) で、3,000mm を越える年もみられる。

表 1 に流域概況を示す。

## (2) 調査項目

### A. 雨量

流域最下流部の量水堰付近において、0.5mm 用転倒マス式雨量計(池田計器製作所)を使用し、記録はデータロガーにより 10 分間隔で行った(図 3)。なお、量水堰浚渫作業に伴い、転倒マス式雨量計を一時撤去することがあるため、その間のデータは欠損している。

### B. 流量

流域最下流部において、量水堰による流量観測を行った(図 4)。池田式水位計(池田計器製作所、紙送り速度 12mm/hour)は、ペンレコーダーで水位変化をチャート紙に自記記録する。チャート紙上の数値を読み取り水位を算出した。また、圧力式自記水位計を併用している。流量への換算へは、堰の形状に合わせ、三角堰と矩形堰を合わせた水位-流量換算式を用い流量を算出した。

### C. 自動採水器による浮遊砂濃度

渓流水中の浮遊砂濃度の測定には、ISCO 社の 3700 型ウォーターサンプラーに水位センサをつけた自動採水器を



図 4. 量水堰の様子

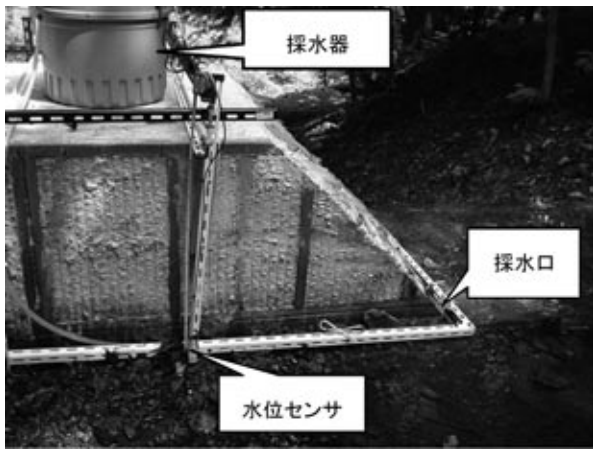


図 5. C 地点自動採水器

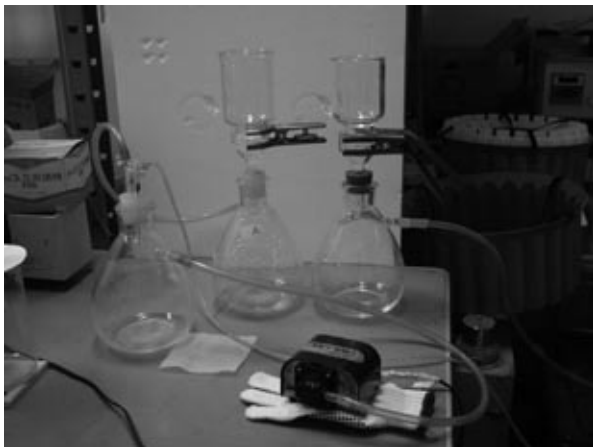


図 6. 採水サンプル吸引濾過装置

使用した (図 5)。採水器は 2004 年 6 月から設置した。設置場所は量水堰プールと、図 2 に示す C 地点と称する個所の 2 地点である。

水位センサは平水時の水面付近に設置し、増水によりある値まで水位が上昇するとセンサが水を検知し、それをトリガーとして採水を始める。採水は 30 分間隔で 12 時間行われ、採水された試料は採水器に内蔵されたボトル (500ml × 24 本) に保存される。

自動採水器で採取できた試料水の浮遊土砂濃度を以下の方法で測定した。予め 5B (0.19mm メッシュ) 及びミリポア (0.45 μm メッシュ) の 2 種類の濾紙を 24 時間、105°C で乾燥機で乾燥させた後、電子天秤で乾燥重量を量った。試料水を乾燥重量を量った 5B 濾紙に通し、更に乾燥重量を量ったミリポアを装着した吸引濾過器で濾過した (図 6)。濾過後、再度濾紙を 105°C で 24 時間乾燥させ、電子天秤で秤量した。濾過前後の濾紙の乾燥重量の差を試料水量で除した値を浮遊土砂濃度 (mg/l) とした。

### 3. 観測結果

#### (1) 降雨と流量

##### A. 降雨

図 7 に、2005 年 5 月 6 日から 2005 年 12 月 7 日までの日降水量を示す。なお、9 月 30 日～11 月 5 日のデータは欠損している。観測期間の 181 日で、総計 1756mm の雨量を計測した (欠損を含めない)。降雨が観測された 76 日中、日降水量が 60mm を越えた日は 5 日あり、その雨量合計は 900.5mm で、観測期間総降雨量の 51.3% を占める。日降水量が 300mm を越えた日も 2 度観測された。

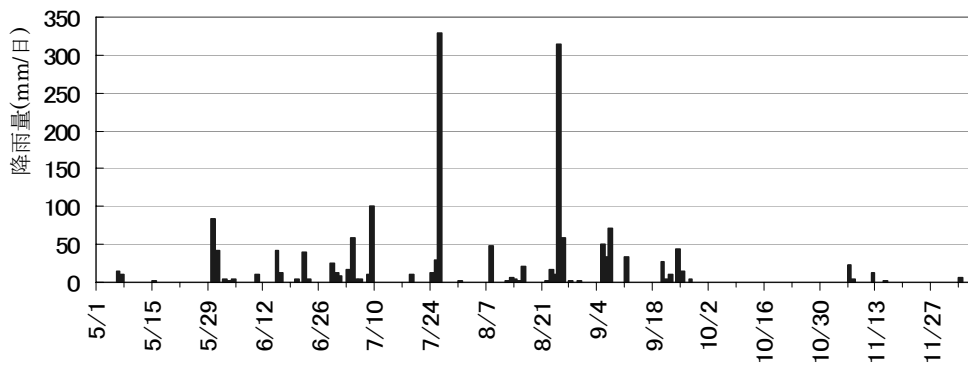


図 7. 2005 年日降水量のグラフ

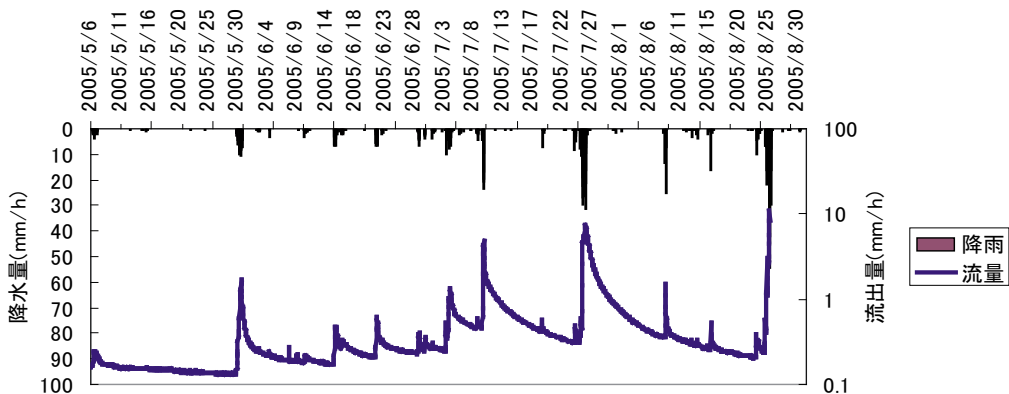


図 8. 大洞沢 2005 年降雨量と流出量のグラフ

## B. 流量

図 8 に、降雨と流量のグラフを示す。流量データは圧力式水位計の出力値を、量水堰越流水深へ変換し流量を計算した。期間は 2005 年 5 月 6 日より、豪雨によって量水堰が土砂で埋没した 8 月 25 日までである。その後量水堰は浚渫され、現在は量水観測が再開されている。

図のように、降雨に対する流量の増加は急速であり、最大降雨強度の時刻と流量ピークの時刻は、同時刻か流量ピークが数時間遅れる程度であることが分かった。

### (2) 降雨量と浮遊砂濃度

次に、降雨と浮遊砂濃度のグラフを示す（図 9, 図 10）、浮遊砂濃度のピークは降雨のピークに対し、同時もしくはやや遅れて出現する。また、降雨量の増減に対応して増減する傾向を示した。

### (3) 流量と浮遊砂濃度の変化

図 11 に、2005 年 7 月 9 日に観測された、量水堰での流量と浮遊土砂量の関係を、図 12 に C 地点で 2005 年 7 月 26 日に観測された流量と浮遊土砂量の関係を示した。なお、流量は量水堰で観測された圧力式水位計の水位を用い、水高換算している。

また、これ以外で観測された浮遊砂濃度のピークと流量のピークの関係は、浮遊砂濃度ピークが流量のピークの±30 分以内に出現した。このことから、流量のピークと浮遊土砂濃度のピークはほぼ同時に発生するものと考えられる。図中、流量—浮遊濃度関係の時間推移を矢印で表している。図 11 のように、この矢印は時計回りを描いている。これは、降雨初期段階の流量が少ない状態では、比較的浮遊土砂濃度が高く、流量ピークの後に再び流量が低下したときには、浮遊土砂濃度が相対的に低くなっていることが分かる。すなわち、浮遊砂の発生メカニズムの特徴と

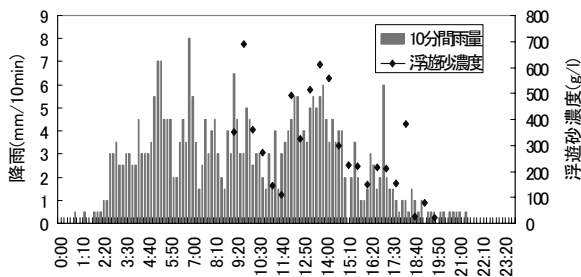


図 9. 2005 年 7 月 9 日 量水堰での浮遊砂濃度変化

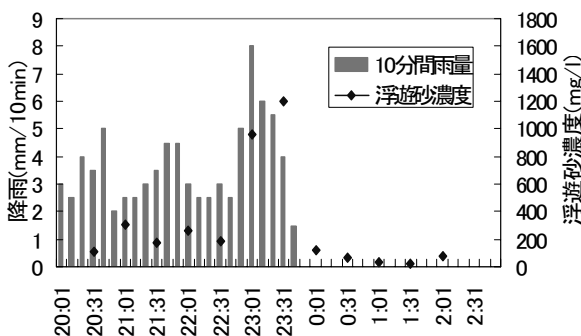


図 10. 2005 年 7 月 26 日 C 地点での浮遊砂濃度変化

して、降雨初期により濃度の高い浮遊砂が発生していることが分かる。これは、降雨初期に河床に堆積していた土砂が、流出初期に流されたものと判断できる。図 12 の例では、降雨が二つのピークを持つ特徴があり、それぞれの流出ピークで時計回りの変化をしていることが分かる。特に二度目の比較的大きな降雨の際にも時計回りの変化をしていることは、河床に十分な土砂が堆積していると判断することができる。

## 4. 流出成分の分離

大洞沢での降雨流出過程を明らかにするために、福嶋らが提唱する水循環モデル（福嶋・鈴木, 1986）を大洞沢流域に適用し、流出成分の分離を試みた。水循環モデルの概念図を図 13 に示した。このモデルは、降雨流出を流路系と林地斜面系の大きく二つに分割し、それぞれの系で概念的なタンクを通過することにより、降雨が流出に至るまでの貯留成分を計算することができる。また、蒸発強度の指数を指定することにより、蒸発散量の概算を行うことができる。

今回のモデル適用では、2005 年に観測された降雨量、流出量を元に、モデルによって観測結果が良好に再現できるパラメーターを決定する方法を用いた。パラメーターの決定には、各パラメーターを微小量変化させ、観測された結果をより良く再現できるものを探索することとした。

水循環モデルにより観測流量を再現した結果を図 14 に示す。流量のデータは、比較的精度良く観測が行われた

2005年7月9日 量水堰

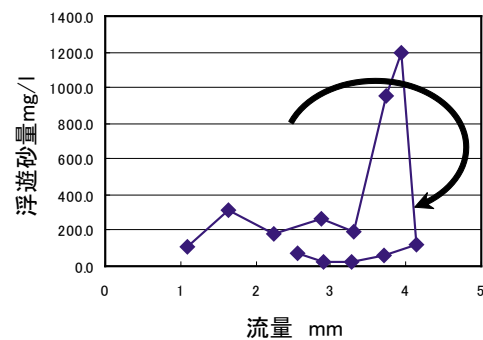


図 11. 量水堰での流量—浮遊土砂量の関係

2005年7月26日 C地点

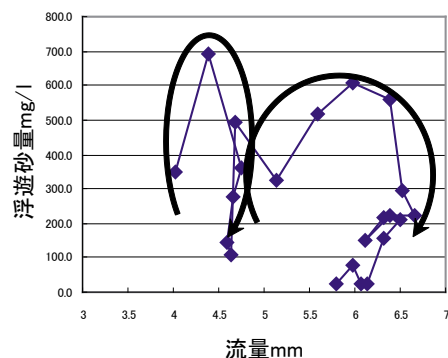


図 12. C 地点での流量—浮遊土砂量の関係

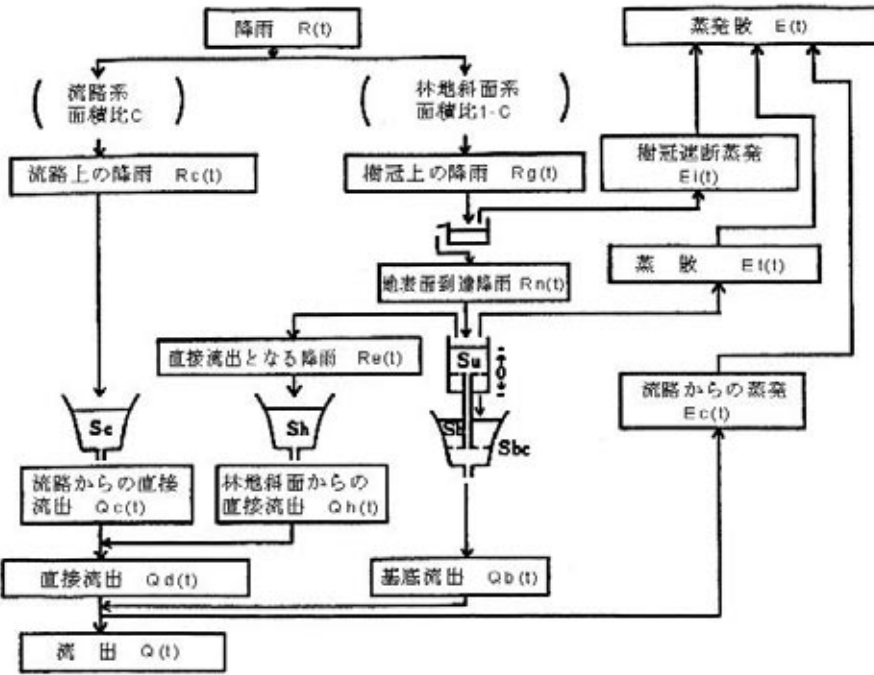


図 13. 水循環モデルの概念図

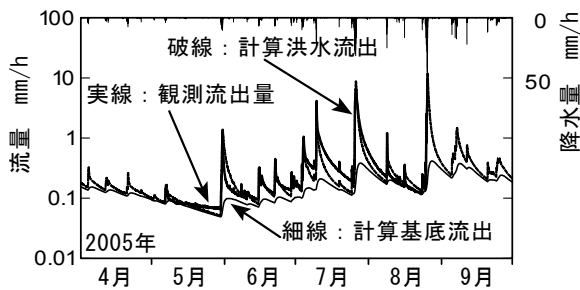


図 14. 水循環モデルによる流出成分分離計算

2005年5月から8月のデータを用いている。この図には、モデルにより計算された基底流出量の時間変化を併記してある。図に示すように、若干の差異はあるものの、計算流出量（図中の直接流出波形に相当）は水循環モデルにより大洞沢での長・短期的な観測流量変化を再現することができた。

モデルシミュレーションによる基底流出量の変化をみると、降水量の少ない4月、5月には基底流出量が少ない。その後、降雨により基底流出量が多くなり、8月、9月に最大となっている。

このモデルによる計算結果から、降雨として大洞沢に降った雨のうち、41%が直接流出（降雨時に速やかに流下する成分で、全流出量から基底流出量を除いたもの）として流出し、38%が基底流出として流出した。その他の成分は、蒸発散により損失した成分や、流域貯留量の差となるものである。今回の結果からは、本流域から流出する渓流水量全体のうち、およそ半分の量は直接流出として流出し、残りの半分は基底流出として流出することが分かった。

## 5. まとめ

大洞沢における降雨流出特性、土砂流出特性を調査した。土砂流出特性については渓流水の懸濁物質である浮遊砂量を測定した。その結果、大洞沢流域においては降雨流出初期に浮遊砂量の濃度が比較的高くなることわかった。これは、浮遊砂の供給源が河床に堆積しており、流出初期に渓流水とともに運搬されるというメカニズムがあると推定できる。また、流出量のモデルシミュレーションより、降雨のうちおよそ40%が直接流出となり、40%が基底流出となるという結果が得られた。

## 文献

- 福嶋義宏・鈴木雅一, 1986. 山地流域を対象とした水循環モデルの提示と桐生流域の10年間連続日・時間記録への適用. 京都大学演習林報告, 57: 162-185.
- 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, 1997. 丹沢大山自然環境総合調査報告書. 635pp. 神奈川県環境部. 横浜.
- 神奈川県立博物館編, 1991. 南の海からきた丹沢. 230pp. 有隣堂, 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. 大洞沢流域水文観測調査.
- 矢部和弘・中嶋伸行・西尾邦彦, 2000. 東丹沢大洞沢における流出土砂量推算式の検討. 東農大農学集報, 45(3): 217-225.