

秩父演習林バケモノ沢における量水観測

木村恒太*¹・齋藤俊浩*¹・相川美絵子*²・五十嵐勇治*¹・千嶋武*¹・浅野友子*¹

Discharge measurement at Bakemono-sawa in the University of Tokyo
Chichibu Forest

Kota KIMURA*¹, Toshihiro SAITO*¹, Mieko AIKAWA*², Yuji IGARASHI*¹,
Takeshi CHISHIMA*¹, Yuko ASANO*¹

1, はじめに

日本の山地の多くは急峻で降雨量も多いため、川の流れの変化は大きく急激におこり、土砂移動も激しい。そのため山地河川で流量を観測することはしばしば困難で、観測データも多くない現状がある (浅野, 2013)。しかし、量水観測データは水流出の実態把握や洪水予測、持続的な水資源利用、水域生態系の保全のために欠かせない。本報告では秩父演習林におけるこれまでの量水観測の概要を紹介するとともに、2010年から行っているバケモノ沢の量水観測について詳述する。

2, 秩父演習林における量水観測

秩父演習林では、1989年度に大血川東谷 (5.61km²)、矢竹沢 (1.97km²)、1990年度に久度沢 (2.27km²)、1994年度にトウバク沢 (1.25km²) にそれぞれ量水堰堤を設置し観測を行ってきた (東京大学農学部附属演習林, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003; 澤田ほか, 2000; 秩父演習林, 2002)。大血川東谷、矢竹沢、久度沢では河川に設置された治山堰堤を用いて量水観測を行ったが、大雨があると流域から土砂が流出して堰堤内に堆積するため、量水観測を継続するためには定期的に土砂の排出などを行わなければならない、観測の維持に多大な労力を必要とした。最終的には大雨に伴う大量の土砂の堆積で復旧が困難となり、大血川東谷では1996年、矢竹沢、久度沢では1999年に観測を終了している (秩父演習林, 2002)。トウバク沢は国道140号線雁坂トンネル掘削の際の土捨て場となった沢で、排出された土で谷を

* 1 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林秩父演習林

The University of Tokyo Chichibu Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, the University of Tokyo

* 2 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林田無演習林

The University of Tokyo Tanashi Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

埋め水流による侵食を防止するために流路をコンクリートで階段状に整えた際に、最下端に設置された堰堤を用いて量水観測を行っている。トウバク沢においては土砂流出がほとんどないため観測を継続することはできたが、アクセスが悪いうえ、水漏れによって平水時の量水観測ができていないことが問題となっていた。

以上のように、秩父演習林内の河川では量水観測が簡単ではないことが認識されてきたが、何とか基礎的な情報である量水データを得ようと、新たにバケモノ沢 (0.41km²) にて、科学研究 (平成18～20年度科学研究費補助金基盤研究(A) (代表：丹下健)「森林生態系における水・物質動態の流域特性の広域比較研究」) の一環としてパーシャルフリュームによる長期観測を計画し、2007年春より観測を開始した (図-1, 2)。しかし、同年9月4～7日に秩父地方に記録的な大雨をもたらした台風9号によりバケモノ沢では土石流が発生し、観測は中断した (図-3)。

このような経緯の中、今後の量水観測について検討し、より精度の高いデータを長期的に取得していくことを第一とすることとした。そして流域面積が小さく土砂流出量が比較的少ないと考えられ、アクセスが良く、土砂排出のために重機を入れることも可能なバケモノ沢に新たにコンクリートの量水堰堤を設置し、量水観測を開始することにした。その一方、トウバク沢の量水観測は、バケモノ沢観測開始から平行して観測を行ったうえで2011年4月4日に中止した。

3 バケモノ沢での量水観測

3.1 バケモノ沢緒元

バケモノ沢は、国道140号線、埼玉県側の県境に近い休憩施設 (彩甲斐街道出会いの丘、図-1 中ワサビ沢展示室の地点) が最下流部となる河川である。休憩施設はバケモノ沢が合流するワサビ沢の下部が国道140号線雁坂トンネル掘削の際に土捨て場として埋められ、その上に休憩施

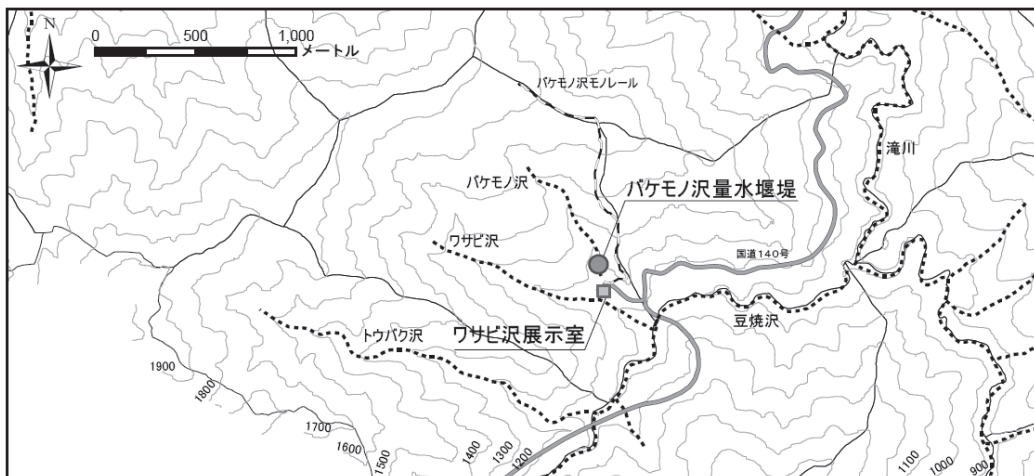


図-1. バケモノ沢量水堰堤の地形と位置



図-2. バケモノ沢に設置されたパーシャルフリューム。手前は砂防堰堤。
(2007年4月23日高野充広さん撮影)



図-3. 2007年9月の台風9号により土石流が生じたバケモノ沢の様子(2007年9月7日栗田直明さん撮影)。図-2にも写っている砂防堰堤が土砂で埋まった様子がわかる。
この台風では、秩父演習林に最も近いアメダス地点「三峯」で、総降雨量544ミリ、最大1時間雨量50ミリを記録した。アメダス地点「三峯」のデータとアメダス確率降雨量計算プログラム(土木研究所水工研究グループ、水理水文チーム作成<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/amedas/top.htm>)を用いて計算したこの降雨のリターンピリオド(同じ規模の降雨が、平均して何年に一回の割合で降る可能性があるか)は39年であった。

設と駐車場の敷地が造成されたものである。造成された敷地にバケモノ沢が流れ込む箇所には砂防堰堤が設置されている(図-2)。砂防堰堤の下流側では、バケモノ沢は駐車場の地下を通したコンクリート製土管内を流れてワサビ沢と合流している。バケモノ沢量水堰堤は砂防堰堤上流側の自然河道に設置し、流域面積は 0.41km^2 、流域の標高は $1,030\text{m}$ から $1,640\text{m}$ 、谷筋の勾配は51%である。最も近い気象観測地点の年平均降水量は、 $1,815\text{mm}$ (国土交通省雨量観測地点「豆

焼)], 平均気温は8.2℃ (秩父演習林ワサビ沢) である。地質は、泥岩優勢互相を含む泥岩、砂岩泥岩互層 (中・古生代) である。植生は、山地帯から亜高山帯下部の天然林となっている。流域内の森林は、1930年代から1960年代に皆伐され、現在はカンバ類、シデ類、カエデ類からなる二次林がほとんどを占めている。流域最上部に一部、ストロブマツ、カラマツの人工林があるが、管理が十分ではなく二次林化が進んでいる。また、伐採が行われていない、ブナ、ミズナラ、コメツガ、ウラジロモミなどからなる古い天然林も一部点在する。

3.2 バケモノ沢量水堰堤の構造

新たな量水堰堤設置の際は、水漏れがないよう細心の注意をはらった。当初、量水堰堤設置箇所を選定し、地山を岩盤まで掘削して四角堰のノッチ (図-4b) を設置したが水がたまらなかった。そこでさらに上流側を基岩が出るまで掘削して、コンクリートのウイングを設置した (図-4aの右岸・左岸壁面の部分、図-5)。

四角堰の内側に塩ビパイプを垂直に固定し、その中に水位計 (SE-TR/WT1000, Trutrack社) を設置して5分間隔で水位を計測・記録した。また、2013年9月9日に四角堰の内側に金属製の物差しを垂直に固定し、以後基準となる水位にはこの物差しの値を用いることにした。

3.3 水位-流量曲線の作成

水位流量曲線は、四角堰の式(1)に基づき作成した。

$$q = \frac{2}{3} \times B \times C \times \sqrt{2g} \times h^{3/2} \quad (1)$$

ここで q は流量 (m^3/s)、 B は堰堤幅 (バケモノ沢は0.6m)、 h は越流水深 (m)、 g は重力加速度、 C は流量係数である。この式を用いる場合、各堰堤固有の流量係数 C を調整する必要がある。 C は一般的には0.60が使われている。バケモノ沢量水堰堤での C を決定するために以下で実際の水位と流量の関係の計測を行った。

(1) 流量の実測

流量の実測は次の2つの方法で行った。

(A) 平水～洪水時の流量を直接計測

平水～洪水時に現場へ行って水位と流量を計測した。ノッチ越流水深約0.03m程度までの流量が少ない時は、一定時間大きめのポリエチレン製の袋やバケツ等で水を集め、重量や体積を計測して流量 (m^3/s) に換算した。

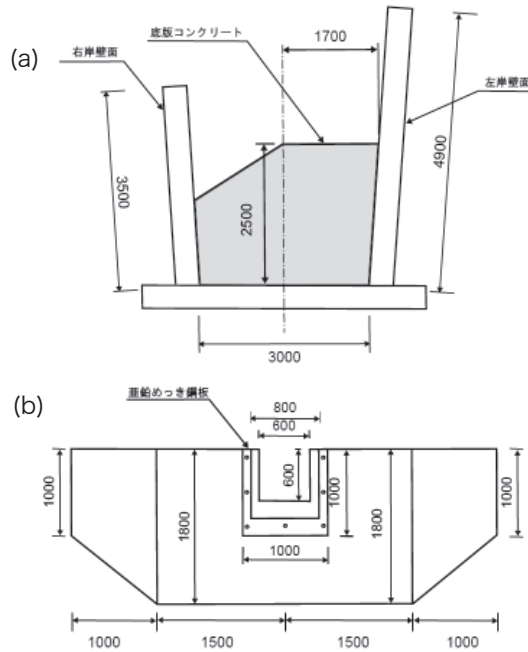


図-4. バケモノ沢量水堰堤の構造(a)上から見たところ
(b)正面から見たところ, 単位はmm

ノッチの越流水深が約0.03m以上の流量になると、袋やバケツで水を集めるのが困難なため、電磁流速計VP1000 (KENEK社製) を用いて計測した。ここではノッチ幅0.6mを6等分し、それぞれの区間の真ん中(端から0.05m, 0.15m, 0.3m, 0.45m, 0.55mの位置)で流速(m/s)を計測した。ノッチの中心(0.30m)で越流水深を測定した。それぞれの区間の流体の断面積をもとめ、流速(m/s)×流体の断面積(m²)から各区間の流量(m³/s)計算し、足し合わせて全体の流量を求めた。

平水～増水時までのデータを取得する必要があるが、特に増水時の観測値を得るのが困難であった。増水している時間帯に現場に行くため、調査期間中の雨期には国土交通省川の防災情報や気象庁の防災気象情報を参考に、1時間当たり10mm以上の強い雨が降った時や、降り始めからの降雨量が100 mm前後になったときにはバケモノ沢量水堰堤へ行った。

(B) 水をためて洪水時の水位-流量関係を求める

あらかじめ、量水堰堤内のプールの形状を設計図と測量からもとめ、ノッチ越流水深とプール容量の関係を明らかにしておく。水量の安定している期間に、ノッチの上流側に板をあてて水位が0.3m以上になるまでプールに水を貯める(図-6 ab)。水位計を1秒間隔で水位を記録するように設定する。水深が十分上昇したところで板を素早くはずす(図-6 c)。1秒ごとに空になったプールの容量(=流出した水の量)を計算し、水位と流量の関係を得る。同じ計測を3回行った。



図-5. 現在のバケモノ沢量水堰堤



図-6. プールを利用して水位-流量関係を求める方法。(a)(b)ノッチの内側に板をあてて堰堤内に水をためる。(c)板をはずして水位変化を1秒間隔で記録する。

(2) 流量係数 C の検討

2011年から2013年の3年間(A)の計測を行ったところ、ノッチの越流水深0.006mから0.112mの範囲で流量の実測値を取得できた(表-1)。しかし、水深の変化は急激で降雨直後に現場に行っても越流水深0.112m以上の流量計測値を得ることができなかった。また、流速変化の激しいノッチ部分で電磁流速計を用いて流速を計測する難しさも指摘された。

表-1. 平水～洪水時の流量直接観測の結果

観測日	方法	越流水深 (m)	流量 (m^3/s)
2011年1月17日	ポリ袋	0.006	0.0009
2011年5月23日	ポリ袋	0.013	0.0023
2011年7月4日	バケツ	0.020	0.0035
2011年8月23日	バケツ	0.027	0.0053
2012年6月1日	電磁流速計	0.033	0.0070
2012年6月20日	電磁流速計	0.080	0.0223
2012年6月20日	電磁流速計	0.079	0.0193
2012年6月22日	電磁流速計	0.111	0.0408
2012年6月22日	電磁流速計	0.112	0.0405
2013年10月16日	電磁流速計	0.064	0.0248
2013年10月28日	電磁流速計	0.103	0.0432
2013年9月17日	電磁流速計	0.046	0.0172
2013年10月29日	電磁流速計	0.091	0.0284
2013年10月30日	電磁流速計	0.081	0.0309

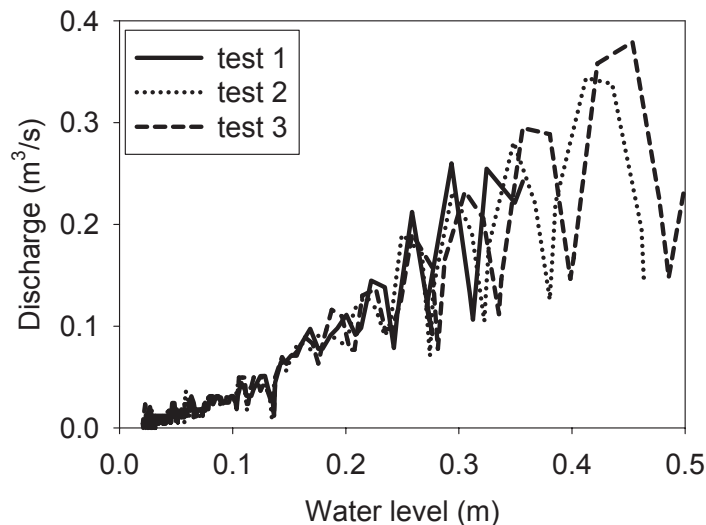


図-7. プールに貯めた水を放出したときの水位と流量の関係 test 1～3 はそれぞれ3回行った試験の結果。

(B)のプールに水をためる方法では、水位が下がるにつれ流出水量が減少する結果が得られた(図-7)。3回の実験ともほぼ同じ結果が得られた。1秒間隔で記録したところ、水位が周期的に波打つように変化し、水位から計算される流量も大きく増減を繰り返しながら小さくなっていく傾向が明らかであった。そこで、1秒間隔の結果から移動平均値を計算した。

(A)(B)の方法で得られた結果はよく整合していた(図-8)。特にバケツや電磁流速計を用いた実測値とプールに水をためる方法による計測値が重なっているノッチの越流水深0.112m以下の部分を見ると、それぞれの流量計測値がほぼ一致していることがわかる。電磁流速計の計測値にはばらつきがあるが、これは流速変化の激しいノッチ部分で流速を計測することに由来すると考えられる。また、プールに水をためる方法ではデータが波打っているが、移動平均することで影響を小さくすることができる。

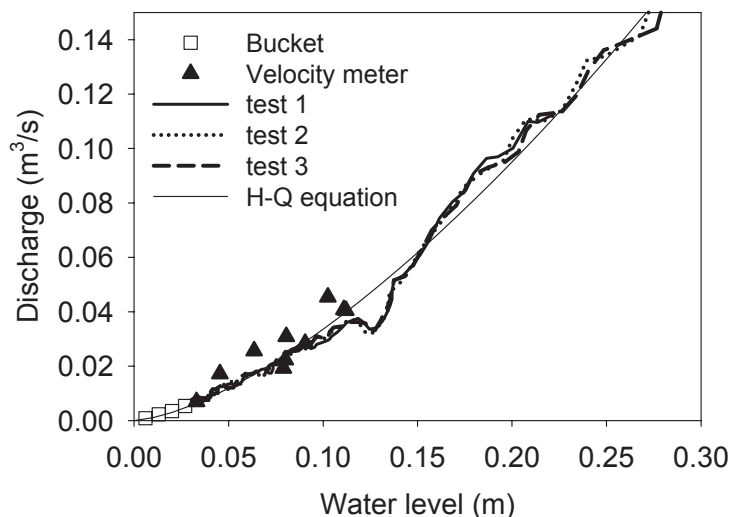


図-8. 水位と計測した流量の関係。□はバケツやポリ袋を用いて集水する方法、▲は電磁流速計を用いる方法、太線3つはプールに水をためる方法による結果(移動平均値を示した $n=13$)、細線は調整した水位-流量式。

それぞれの方法による実測結果が整合していたことから、これらすべてのデータを用いて最小自乗法により、式(1)におけるバケモノ沢堰堤固有の流量係数 C を求めた。 C は0.60で、これまでに報告されている一般的な値0.60と同じであった。

3.4 水位を流量に換算する方法

5分間隔で計測している水位計の記録値(h_s)を用いて、ノッチの越流水深の変化を計算する(図-9)。その際、毎回のデータ回収時に量水堰堤内に固定した基準となる物差しを目盛りを記録しておき、(以下物差し水位 h_m)この水位を基準とする。これは、水位計はメンテナンスの際などに上下にずれる可能性があるからである。なお、越流水深0m時の物差し水位(h_m)は0.098mであった(2013年9月9日計測)。以下、単位はすべてmである。

まず、データ回収時の物差し水位 (h_m) からノッチ越流水深 (h) を求める。

$$h = h_m - 0.098 \quad (2)$$

次に、ノッチ越流水深 0 のときの水位計計測値 (h_0) を計算する。

$$h_0 = h_s - h \quad (3)$$

ここで、 h_0 は水位計の位置が上下に動かない限り、毎回ほぼ一定であるはずである。前後の調査時と大きく変化していないか確認する。

最後に、水位計が記録した水位 (h_s) の 5 分間隔データからノッチ越流水深 (h) の 5 分間隔の変動を計算する。

$$h = h_s - h_0 \quad (4)$$

計算した越流水深 (h) の変化を用いて、(1)式より 5 分ごとの体積流量 (m^3/s) を計算する。その際、 C は0.60、 g は $9.8\text{m}/\text{s}^2$ として計算する。必要に応じて、体積流量 (m^3/s) を流域面積で除し、単位面積あたりの流量 (mm/h など) に換算する。

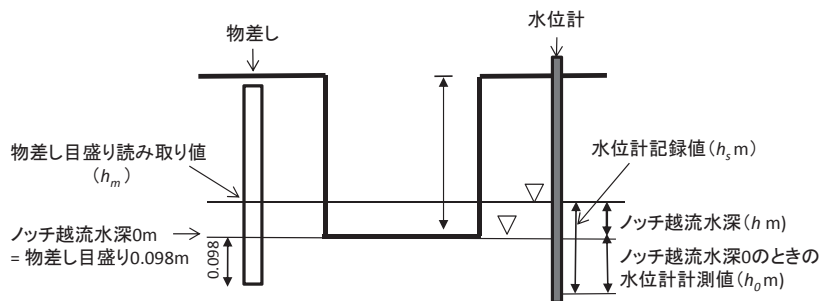


図-9. 四角堰正面を上流側から見たところ。水位計記録値からノッチ越流水深を計算する。

3.5 定期的なデータ回収とメンテナンスについて

現在、データは月1回、主に上旬に、水位計にフィールド用パソコンを接続して回収している。データ回収時にノッチ部に落葉がたまっている場合は除去し、水位が安定してからノッチ横に設置した物差しの目盛りを読みとり、読みとった時間とともに記録している。また、年に一度、秩父演習林のボランティア団体しおじの会の協力も得て堰堤内にたまった土砂の排出作業（土砂さらい）を行っているほか、落葉が堰堤内にできるだけ入らないように常時ネットを設置するなどしている（図-5）。これまでの観測の経過の詳細について表-2にまとめた。

表-2. これまでに行ったバケモノ沢水量観測維持管理作業

日時	イベント
2011年1月	バケモノ沢水量観測開始
2011年8月23日	土砂排出作業実施
2012年5月20	堰堤内に入ってきた倒木の処理
2012年8月21日	土砂排出作業実施(排出土砂量約2.3m ³)
2013年8月21日	土砂排出作業実施(排出土砂量約0.5m ³)
2013年9月9日	物差し設置, 堰堤の水位を下げ、ノッチ水位0m時の物差し水位計測(0.098m)
2014年2月14日	大雪で落ち葉よけネット倒壊, 水位計故障し一時欠測
2014年4月7日	水位計交換し水位観測再開

回収した水位データはすべて秩父演習林に保管している。また、5分間隔の水位データから計算した日単位の流出水量データは生態水文学研究所でも保管されている。2011年の日データは既に公表しており（東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会水文水質部門, 2014）、今後も1年ごとにデータを公開する予定である。

3.6 バケモノ沢における量水観測結果

水位を流量に換算したところ、2011年にはバケモノ沢から780mmの流出水量があった（図-10、ただし8月23日から9月2日欠測）。2011年のバケモノ沢付近の年降水量は2,032mm（国土交通省雨量観測地点「豆焼」データ使用）であった。この気候帯の森林流域における年蒸発散量は800～900mmであることから（近藤ほか, 1992）、降水量＝流出水量＋年蒸発散量といった単純な年水収支を考えるとバケモノ沢からは1,100～1,200mm程度の年流出水量があることが期待される。しかし、観測された年流出水量は期待される値に比べて300～400mm少なかった。これは、年流出水量に2011年8月23日から9月2日のデータが含まれていないこと（この期間の降水量は226mmと多かった）の影響が大きいと考えられる。また、バケモノ沢水量堰堤地点では、その上流域側で地中にしみこんだ降水のすべてが出てきてはいない（バケモノ沢堰堤の上流域側に降った降水の一部は、深いところへしみこんだ後、隣の流域や、バケモノ沢水量堰堤より下流の地点で流れ出している）可能性もある。

バケモノ沢流域の流出特性として、例えば1月から2月の初旬などほとんど降水がない時期でも、0.2mm/dayと少ないながらも水が途切れることなく流れていた。一方で、9月に雨が多く降った時には流量の最大値は41 mm/dayと、雨が降っていない時の200倍にもなることがわかった。

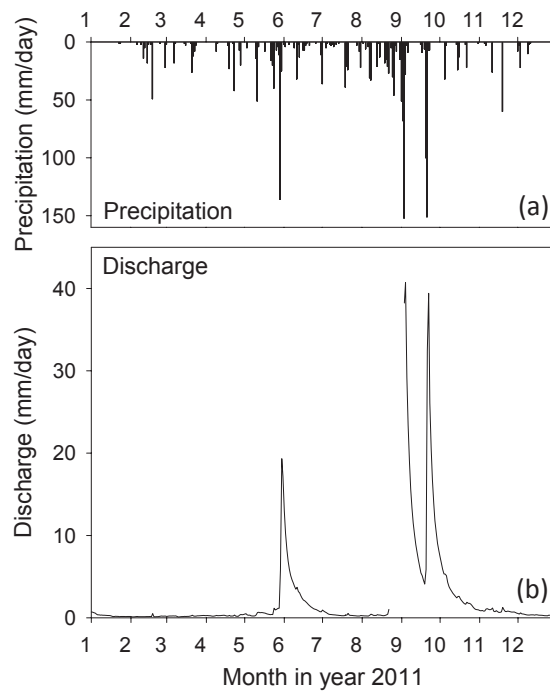


図-10. 2011年1月～12月の(a)日降水量と(b)日流出量。降水量のデータは国土交通省の水文水質データベースより雨量観測地点「豆焼」のデータを使用した。8月23日～9月2日は水位データ欠測のため流量データなし。

4. おわりに

本報告では、秩父演習林における量水観測の経緯と、現在稼働中のバケモノ沢量水堰堤における観測方法について報告した。量水堰堤の維持管理とデータ取得、データの精度管理は、定期的なデータ回収とデータチェック、堰堤の掃除など労力のいる作業であるが、秩父演習林では今後できるだけ限り継続していく予定である。

謝辞

秩父演習林バケモノ沢の量水観測はこれまで科研費やサントリーの研究助成を受けて行ってきた。また、観測には芝野博文教授、秩父演習林職員の皆様、秩父演習林ボランティア団体しおじの会の皆様、藤原菜生子さんのご協力を得た。記して感謝します。

引用文献

- 浅野友子（2014）日本の山地流域の降雨流出データ－収集データの概要と観測の課題－. 水文水資源学会誌27(1) : 19-28.
- 秩父演習林（2002）秩父演習林量水観測結果報告（1989～2000）. 東京大学演習林41:83-121.
- 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.
- 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会水文水質部門（2014）東京大学演習林水文観測・水質分析報告（自2003年1月至2011年12月）. 演習林（東大）55:51-162.
- 東京大学農学部附属演習林（1988）Ⅱ森林環境計画設計部門 2. 砂防分野 秩父演習林自然環境調査報告書（昭和62年度）. 115-138.
- 東京大学農学部附属演習林（1989）Ⅱ森林環境計画設計部門 2. 砂防分野 秩父演習林自然環境調査報告書（昭和63年度）. 111-132.
- 東京大学農学部附属演習林（1990）Ⅱ森林環境計画設計部門 2. 砂防分野 秩父演習林自然環境調査報告書（平成元年度）. 87-104.
- 東京大学農学部附属演習林（1991）秩父演習林自然環境調査報告書（平成2年度）Ⅱ森林環境計画設計部門 2. 砂防分野 秩父演習林自然環境調査報告書. 72-89.
- 東京大学農学部附属演習林（1992）Ⅱ森林環境計画設計部門 2. 砂防分野 試験流域の流量資料の整理と若干の考察. 秩父演習林自然環境調査報告書（平成3年度）. 151-173.
- 東京大学農学部附属演習林（1993）Ⅱ森林環境計画設計部門 3. 砂防分野 試験流域における水文観測結果. 秩父演習林自然環境調査報告書（平成4年度）. 214-219.
- 東京大学農学部附属演習林（1999）関連地域の水文特性に関する調査. 秩父演習林自然環境調査報告書（平成10年度）. 162-171.
- 東京大学農学部附属演習林（2000）関連地域の水文特性に関する調査. 秩父演習林自然環境調査報告書（平成11年度）. 177-183.
- 東京大学農学部附属演習林（2001）関連地域の水文特性に関する調査. 秩父演習林自然環境調査報告書（平成12年度）. 195-205.

東京大学農学部附属演習林（2002）関連地域の水文特性に関する調査. トウバク沢土捨て場の物質収支. 秩父演習林自然環境調査報告書（平成13年度）. 127-131.

東京大学農学部附属演習林（2003）関連地域の水文特性に関する調査. トウバク沢の土捨て場における地下水の環境. 秩父演習林自然環境調査報告書（平成14年度）. 164-167.

澤田晴雄・千嶋武・芝野博文（2000）東京大学秩父演習林内3小流域での量水観測と水収支. 日林関東支論51:139-142.

