

量水堰堤を利用しない流量観測の試み^{*1}

—去川森林理水試験地Ⅱ号沢流域における観測などに基づいて—

玉井幸治^{*2}・大丸裕武^{*2}・小川泰浩^{*2}・清水貴範^{*3}・宮縁育夫^{*3}・清水 晃^{*3}

キーワード：磁歪式水位計，デジタルデータロガー

I. はじめに

森林が水流出に及ぼす影響を評価する方法として、「対照流域法」がある。これは近接した2つの森林流域のうち一方のみの森林に攪乱を加え、その前後における2つの流域での水収支を比較する方法である。森林総合研究所九州支所でも、去川森林理水試験地（以降、去川と記す。）において皆伐や部分皆伐の影響を対照流域法によって評価している（竹下ほか，1987）。

この方法の欠点は主に2つある。1つは、森林の攪乱とその前後における水収支観測が必要であるため、同じ流域での攪乱事例の回数は限られること。もう1つは森林土壌が流亡するような大規模な森林攪乱事例を発生させることが難しいことである。

その解決方法には、森林土壌が流亡したような災害が発生した流域や森林施行が行なわれた流域と、コントロールとなりえる近接流域との間で、攪乱後の回復過程における水収支を比較する方法である。しかしながらこの場合には、量水堰堤などの観測施設の設置は難しい。そこで本報告では、量水堰堤を用いない方法による水流出量のモニタリングを行った場合の精度について検討する。

量水堰堤では、レコーダーのペンを水面に浮かべたフロートの上下に連動させた自記水位計を用いる場合が多い。この場合、流出量の記録はアナログ的に常時記録される。それに対し量水堰堤を用いない場合には、圧力式、あるいは磁歪式センサーの電圧出力をデータロガーにデジタル的に記録することになる。そのため水位変動の極大値や極小値をとりそこねる可能性がある。また量水堰堤ではノッチによって水位-流量関係は極めて安定しているのに対し、量水堰堤が無い場合には流路での堆積、侵食が生じやすく、水位-流量関係が不安定であろう。つまり、量水堰堤を用いない観測では、1) 水位記録のデジタル化、2) 水位-流量関係の不安定化、の2つによる精度低下が生じる可能性がある。

そこで本報告では、これら2つの影響についてそれぞれ検討を加え、量水堰堤を用いない流出量観測の可能性について調べる。

II. 試験地

去川は、大淀川流域の宮崎市高岡町去川国有林（北緯31° 54' 東経131° 12'）に位置する。標高は200～370mである。Ⅰ号沢（6.57ha）、Ⅱ号沢（9.17ha）、Ⅲ号沢（8.18ha）の3つの流域からなり、1959年より本格的な水文観測が行なわれている。試験流域の地質は中生層四万十層群からなり、とくに頁岩が優勢である。走向はほぼN-Sで西側に45度以上の傾斜で落ち込んでいる。地域内には多くの断層や破碎帯が見られるが、量水施設はこれを利用して設置されている（丸山ほか，1960）。観測開始当初における植生は、Ⅰ号沢とⅡ号沢がシイ・カシ類を上層木とした常緑広葉樹林、Ⅲ号沢は谷筋を約50年生（1960年当時）のスギ林が主体であり、尾根部には常緑広葉樹が存在する針広混交林であった。その後、Ⅰ号沢とⅢ号沢は1965～1966年に皆伐され、1967年にⅠ号沢にヒノキを、Ⅲ号沢には流域上部にヒノキ、下部にスギを植栽した。さらに1982年にⅡ号沢は、面積率にして沢筋43%の森林を部分伐採し、その後は植生の自然回復にゆだねられた（宮縁ほか，2007）。現在、この部分は常緑広葉樹林となっている。清水ほか（1999）は、1974、1992、1996年における各流域の単位面積あたりの蓄積量を推定している。そのうち1974年の推定値は、Ⅰ号沢で約125m³ha⁻¹、Ⅱ号沢で約310m³ha⁻¹、Ⅲ号沢で70m³ha⁻¹であった。

III. 観測・解析方法

(1) 水位記録のデジタル化

去川Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号沢ではそれぞれ、量水池の水位をフロート式自記水位計によって自記紙に記録している。水位変動を、時間間隔に関係なく読み取る従来の方法（以降、堰堤アナログと記す。）と、毎時0、10、20、30、40、50分以外の読み取りをおこなわない方法（以降、堰堤デジタルと記す。）による河川流出量計算値を比較することによって、水位記録のデジタル化による精度低下を評価する。対象データは、2001～2006年のⅠ、Ⅱ、Ⅲ号沢からの流出量である。この間の欠測期間は、Ⅰ、Ⅲ号沢でそれぞれ6

^{*1} Tamai, K., Daimaru, H., Ogawa, Y., Shimizu, T., Miyabuchi, Y. and Shimizu, A. : Trial of water discharge monitoring without wire gauge

^{*2} 森林総合研究所 For. Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687

^{*3} 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. For. Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

日間、Ⅱ号沢では100日間であった。

(2) 水位-流量関係の不安定化

Ⅱ号沢の量水堰堤から下流に約20mの流路に足場パイプを組み立てて、磁歪式水位センサー (UIZ-GY050, UIZIN) を設置し (写真-1), 10分間隔で出力電圧をデータロガー (UIZ3635, UIZIN) に記録した。この記録から流出量を算出する (以降、流路デジタルと記す)。流路デジタルと堰堤デジタルから算出された流出量を比較することによって、水位-流量関係の不安定化による精度低下を評価する。

対象データは、2007年6月21日~7月31日のⅡ号沢からの流出量である。この間の降水量は1,044.5mmであった。



写真-1. 流路での磁歪式センサーによる水位観測

(3) 流出量の算出方法

堰堤アナログと堰堤デジタルによる流出量の算出には (1) 式を用いた (九州支場防災研究室)。

$$Q = 8.083 \times 10^{-3} H^{2.493} \quad (1)$$

ここで Q は堰堤での流出量 ($l s^{-1}$), H は水位 (cm) である。

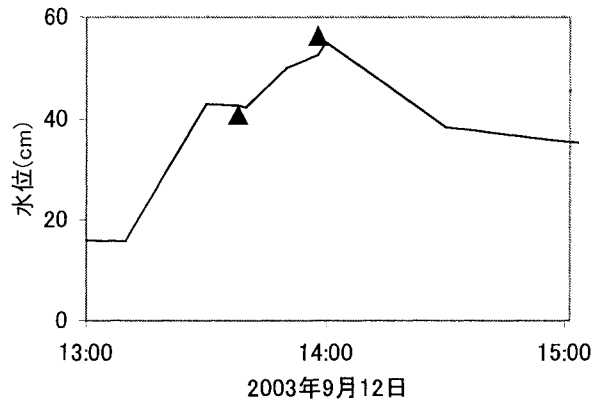
次に流路デジタルによる流出量の算出方法を説明する。本来ならこの地点における流出量を何らかの方法で測定し、水位センサーからの出力値との関係から、この地点における水位-流量関係を求めるべきであろう。しかし残念ながら、この地点における流出量の観測は行われていない。そこで堰堤デジタルによる流出量を磁歪式水位センサーの出力値と比較して暫定的に水位-流量関係を求めた。それを用いて流路デジタルによる流出量を求め、堰堤デジタルによる流出量計算値と比較を行った。

IV. 結果と考察

(1) 記録のデジタル化による精度悪化の事例

記録のデジタル化による精度悪化の事例としてⅡ号沢の2003年9月12日13~15時の例を示す (図-1)。これはパルスの降雨に対する反応の一例である。この間の降水量は50.5mmであった。実線は堰堤デジタルの記録による水位変動であり、▲は堰堤デジタルではとり損なった水位の変曲点である。▲の値も考慮した堰堤アナログから、考慮しない堰堤デジタルに変更したことによる10分間流出量の増減量は、13:30~13:40で-0.029mm, 13:

50~14:00で0.054mmであった (図-2)。その他の時間帯での増減量は0.001mm以下であった。この増減量は約5%にしか相当しない、わずかなものであった。



▲ 堰堤アナログ — 堰堤デジタル

図-1. 水位データの一例 (パルスの降雨の場合)

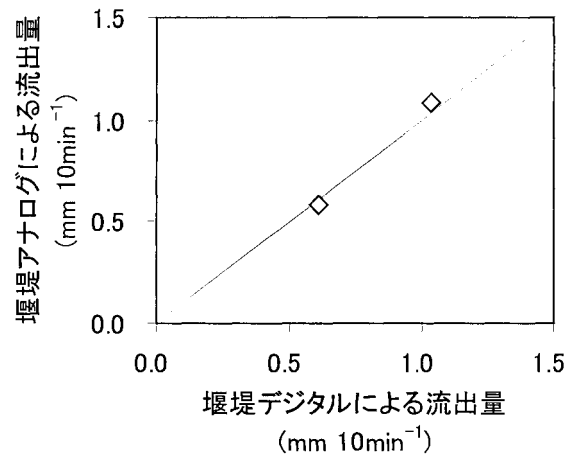
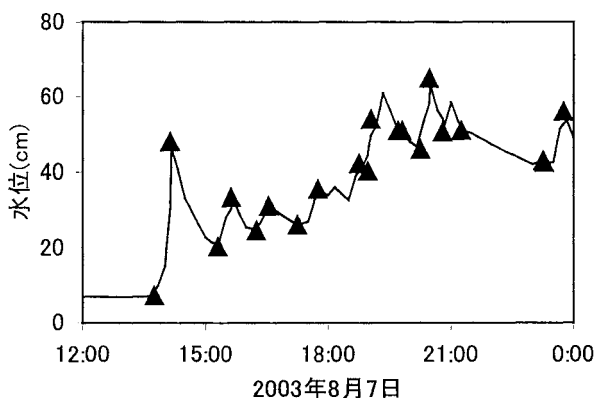


図-2. 堰堤アナログと堰堤デジタルによる流出量の比較 (パルスの降雨の場合)

次にⅡ号沢の2003年8月7日12時~8日0時の事例を示す (図-3)。この間の降水量は204.5mmであった。これは、水位変動に極小値が頻繁に現れる事例である。これは降雨強度の強弱に鋭敏に流出量が反応しているためであり、多雨である去川に特徴的な水位変動であると考えられる。増減量は-0.106~0.136mmの範囲で生じている (図-4) が、流出量に対する割合は0.7~24.8%と様々であった。このことは、短期流出解析などを行なう場合には、10分間の水位記録間隔は長すぎる場合もあることを示している。

(2) 長期間でのデジタル化による精度悪化の程度

前項で示したのと同様な解析を、2001~2006年の去川Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ号沢からの流出量について行なった。堰堤デジタルによる流出量計算値と堰堤アナログによる流出量計算値の差が、10分間流出量と1時間流出量については0.001mm以上、1日流出量については0.01mm以上であったときに、「差が生じた。」と判定し、その発生頻度などを表-1に示した。いずれの場合でも「差が生じた」発生頻度は極めて少なかった。総流出量の差は6年間の類型



— 堰堤デジタル ▲ 堰堤アナログ

図-3. 水位データの一例
(降雨強度に変化がある降水の場合)

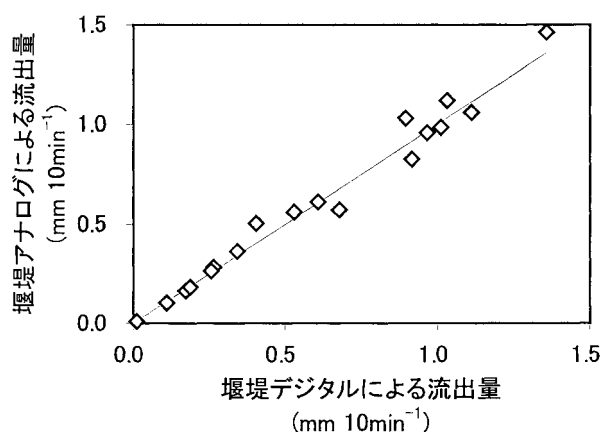


図-4. 堰堤アナログと堰堤デジタルによる流出量の比較
(降雨強度に変化がある降水の場合)

でも最大で20mm程度と、極めて少なかった。

以上のことから、記録方式をアナログ的である自記紙からデジタル的であるデータロガー収録に変えた場合の流量計算は極めて少ないと言える。これは10分間流出量についても当てはまる。短期流出解析を行なうには、データロガーへの記録間隔が10分では

長すぎる場合もあったが、それは極めて稀であった。

(3) 水位-流量関係の不安定化

磁歪式水位センサーの出力値と堰堤デジタルによる流出量の関係を図-5に示す。(2)式のような4次多項式による近似式を求めたが、相関係数は0.98と高かった。これは今回の観測期間中である41日間の間で、水位-流量関係の大きな変化は無かったことを意味する。

$$Q_s = 0.4393X - 0.8199X^2 + 0.6032X^3 - 0.1013X^4 - 0.0629 \quad (2)$$

ここで Q_s は水路での流出量 ($\text{mm } 10\text{min}^{-1}$)、 X は磁歪式水位センサーの出力値 (V) である。

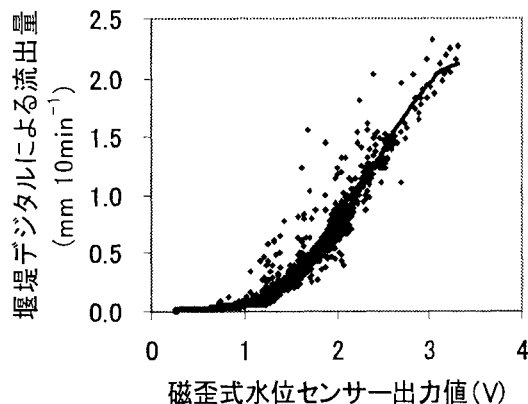


図-5. 磁歪式水位センサーと流出量の回帰式

次に、堰堤デジタルと、(2)式によって算出された流路デジタルによる流出量とを比較する(図-6)。6月25~28日の水位減水過程において、堰堤デジタルによる流出量に比べて流路デジタルによる流出量の減水が小さい。これは、磁歪式水位センサーの周辺がリターや転石などのために一時的にダムアップしたことが考えられる。逆に堰堤デジタルによる流出量よりも流路デジタルによる流出量の方が少ない低水位期もあった。これは磁歪式水位センサーの周辺が微妙に侵食されたためかもしれない。

堰堤デジタルによる流出量から水路デジタルによる流出量を引いた値を表-2に示す。表-1に比べると変化量は大きいと言わ

表-1. 堰堤アナログから堰堤デジタルにデータを変更したことによる流出量の増減量

増減量頻度(データ数6,459)				増減量頻度(データ数154,992)				増減量頻度(データ数929,952)						
値の増減量(mm day^{-1})	I号沢	II号沢	III号沢	値の増減量(mm hour^{-1})	I号沢	II号沢	III号沢	値の増減量($\text{mm } 10\text{min}^{-1}$)	I号沢	II号沢	III号沢			
< -1.0	1	1	0	< -0.1	54	37	33	< -0.1	25	16	13			
-1.0 ≤	< -0.1	63	49	43	-0.1 ≤	< -0.01	351	284	296	-0.1 ≤	< -0.01	279	207	213
-0.1 ≤	< -0.01	224	203	219	-0.01 ≤	< -0.001	1075	904	905	-0.01 ≤	< -0.001	499	445	372
0.01 <	= < 0.1	5	1	1	0.001 <	= < 0.01	139	147	112	0.001 <	= < 0.01	451	396	346
0.1 <	= < 1.0	1	1	1	0.01 <	= < 0.1	69	38	31	0.01 <	= < 0.1	223	147	127
					0.1 <		8	5	3	0.1 <		11	8	8
増加量累計($\text{mm}/6\text{year}$)	0.79	0.33	0.23	増加量累計($\text{mm}/6\text{year}$)	4.458	2.751	2.074	増加量累計($\text{mm}/6\text{year}$)	10.191	6.900	6.565			
減少量累計($\text{mm}/6\text{year}$)	-20.78	-17.63	-15.96	減少量累計($\text{mm}/6\text{year}$)	24.037	-19.700	-17.370	減少量累計($\text{mm}/6\text{year}$)	-14.306	-10.764	-9.807			
最大増加量(mm day^{-1})	-0.65	0.25	0.19	最大増加量(mm hour^{-1})	0.632	0.332	0.436	最大増加量($\text{mm } 10\text{min}^{-1}$)	0.317	0.348	0.246			
最大減少量(mm day^{-1})	1.02	-2.12	-0.55	最大減少量(mm hour^{-1})	-0.516	-0.444	-0.424	最大減少量($\text{mm } 10\text{min}^{-1}$)	-0.338	-0.209	-0.411			

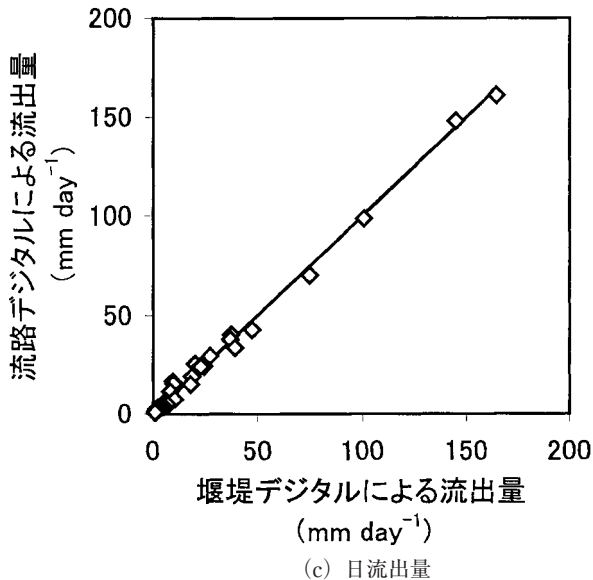
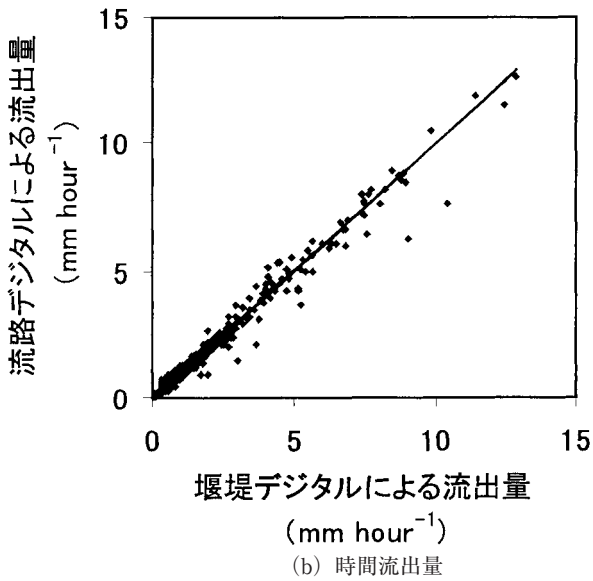
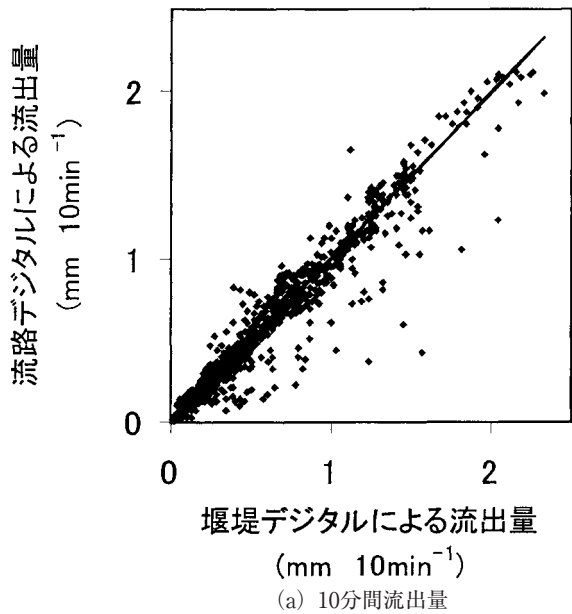


図-6. 堰堤デジタルと流路デジタルによる流出量の比較

ざるをえない。しかし表-1では増加量よりも減少量のほうが大きかったが、表-2では増加量と減少量がほぼ等しく、41日間での流出量はほぼ等しかった。また10分間流量でも多くの点は1:1の直線の近傍に有る(図-6)。このことから、水路デジタルによる測定値は、ある程度の誤差を含むものの、総体的には流出量を評価することが出来ると考える。

なお、頻繁な保守や、三面張りの地点で観測を行なうなどの工夫の余地はある。

表-2. 堰堤デジタルから流路デジタルに変更した場合の流出量の増減量

値の増減量 (mm)	増減量頻度		
	10分間流量	時間流量	日流量
データ数	5904	984	41
< -0.1	98	145	20
-0.1 < = < -0.01	1213	349	1
-0.01 < = < -0.001	2037	554	-
0.001 < = < 0.01	1102	34	-
0.01 < = < 0.1	1175	215	1
0.1 < =	101	156	19
増加量累計 (mm/6 year)	63.751	54.661	37.73
減少量累計 (mm/6 year)	-64.699	-55.607	-38.68
最大増加量 (mm)	1.142	2.805	5.50
最大減少量 (mm)	-0.536	-1.043	-6.99

引用文献

九州支場防災研究室 (1982) 林試研報 317 : 147-190.
 丸山岩三ほか (1960) 林試研報 123 : 45-68.
 宮縁育夫ほか (2007) 地形 28 : 127-142.
 清水晃ほか (1999) 日林九支研論 52 : 103-104.
 竹下幸ほか (1987) 日林九支研論 40 : 275-276.
 (2007年11月19日受付 ; 2007年12月27日受理)