

フロート式自記水位計と圧力式水位センサー・データロガーによる観測値の差

Comparison of discharge observed with the different recording systems:
A float and pen recorder system and a pressure sensor with a data logger.玉井幸治*¹・野口正二*¹・清水貴範*¹・飯田真一*¹・澤野真治*¹・荒木誠*¹Koji TAMAI*¹, Shoji NOGUCHI*¹, Takanori SHIMIZU*¹, Shin'ichi IIDA*¹, Shinji SAWANO*¹ and Makoto ARAKI*¹

* 1 森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba, Ibaraki 3058687

要旨：フロート式自記水位計と圧力式水位センサーによる観測値の比較を、群馬県みなかみ町に位置する宝川森林理水試験地の本流流域を対象に行った。圧力式水位センサーによる測定間隔を1分とした場合、多くの流出イベントにおいて両者の差はほとんど無かった。しかし自記水位計によって最高水位 82.8cm を観測した極めて大きな流出イベントでは約 1.7%の差が認められ、圧力式水位センサーで最高水位を測り損ねている可能性があった。また圧力式水位センサーの測定間隔を2, 3, 4, 5, 6, 10分とした場合による最高水位の測定値や瞬間最大流量、時間流量、日流量の計算値の差を比較した。その結果、測定間隔10分では顕著な差が生じる場合が多かったが、測定間隔を5分以下にした場合には大幅な改善が見込まれた。

キーワード：三面張り放水路、最高水位、瞬間最大流量、時間流量、日流量

Abstract: The water level in Honryu watershed of Takaragawa experimental watershed (located in Gunma prefecture) was observed by two different measurement systems, a float and pen recorder system and a pressure sensor with a data logger, and the outputs from the two systems were compared. The differences in the highest water level were negligible in most of the discharge events, when the recording interval of the pressure sensor was set for 1 minute. However, as the exception, about 1.7% error occurred in the largest discharge event in which the highest water level recorded by the float and pen recorder system was 82.8cm: This suggests that the pressure sensor might missed the highest water level in the extremely large discharge event. Further, we compared the values of the highest water level in each event and the maximum, hourly and daily discharges estimated from 1-minute interval records with those estimated from thinned records for various intervals supposed (2, 3, 4, 5, 6 and 10 minutes). In this study, the differences in the values were much decreased when the interval was set for 5 minutes or less.

Key-word: three sided plain waterway, highest water level, instantaneous maximum discharge, hourly discharge, daily discharge

I はじめに

森林流域からの流量観測には、従来からフロート式自記水位計が広く用いられてきた。一方近年では、機器の精度や耐久性の向上によって、水位センサーとデータロガーを用いた観測が一般的になってきている。フロート式自記水位計は、フロートの動きに連動したペンと自記紙によって、常に水位が記録されるアナログ方式である。それに対し水位センサーとロガーの組み合わせでは、一定間隔での測定値をデータロガーに記録するデジタル方式である。そのため、測定間隔と同期しない水位変動や最高水位を測り損ねるといった懸念がある。

アナログ方式とデジタル方式による最高水位の観測値を比較した例はほとんどない。また、適切な測定間隔に

関する検討事例も、自記紙の読み取り幅や解像度と誤差の関係性を報告した細田ら(1)など、わずかである。

そこで本研究では、アナログ方式とデジタル方式の双方による最高水位を比較するとともに、デジタル方式による1分間隔での測定結果を基準として、測定間隔によって生じる流出量計算値の誤差についても比較を行った。

II 方法

群馬県みなかみ町大字藤原大利根国有林内に位置する宝川森林理水試験地(東経 139° 01', 北緯 36° 51')の本流流域(流域面積: 1905.7ha, 標高: 805~1,945m)を対象に観測を行った。流域末端には、長さ 40m, 幅 13.6m のコンクリート三面張りの放水路が設置されている。放

水路下端から 5m 上流の左岸側に水位計室が付設されている。水位計室は、床下に放水路と繋がった水槽を有しており、その水位の観測値を用いて本流流域からの流出量を計算している(2)。

表ー1 対象とした流出イベント

ID	日付	時間	最高水位(cm)	
			センサー	自記紙
1	7月15日	10:44	18.84	18.8
2	7月18日	1:29	15.67	15.6
3	7月18日	21:04	23.53	23.4
4	7月23日	1:58	13.27	13.2
5	7月23日	12:04	20.71	20.7
6	7月24日	17:07	35.37	35.2
7	7月26日	20:07	55.25	55.4
8	7月27日	16:28	36.92	36.9
9	7月28日	19:24	20.38	20.4
10	7月29日	8:53	22.05	22.1
11	7月29日	12:52	22.1	22.1
12	7月29日	17:22	26.38	26.3
13	8月6日	6:33	26.36	26.3
14	8月16日	20:49	34.37	34.2
15	8月20日	16:30	24.98	25.0
16	8月21日	5:54	15.56	15.7
17	8月21日	14:04	27.09	27.1
18	8月23日	15:25	81.43	82.8
19	8月24日	5:37	41.08	41.1
20	8月30日	18:58	14.95	15.0
21	8月31日	22:09	25.18	25.1
22	9月2日	13:44	26.73	26.7
23	9月4日	16:09	48.46	48.5
24	9月5日	2:14	46.47	46.5
25	9月5日	11:28	53.57	53.7
26	9月7日	18:11	24.71	24.6
27	9月8日	5:28	72.6	72.6

本研究の解析には、フロート式自記水位計 (HDR-115, 池田計器) と、データロガーを内蔵している水位センサー (DL/N70, STS 社) の記録値を用いた。それぞれフロート部分およびセンサー部分を水位計室床下の水槽に投入し、測定を行った。水位センサーの測定間隔は1分であり、この観測値を間引いて2, 3, 4, 5, 6, 10分間隔のデータセットを作成した。測定値の分解能は 0.01cm である。また、自記紙からイベントごとの最高水位を 0.1cm の分解能で読み取った。

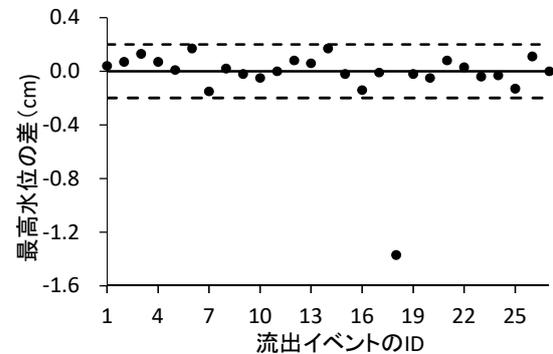
表ー1に解析対象とした21日間27例の流出イベントを示した。1分間隔での測定による水位センサーによる最高水位とその記録時間、およびそれに対応すると考えられる自記紙からの最高水位読み取り値を示している。水位センサーの記録値から、測定間隔が流量算出値の誤差に及ぼす影響について、以下の式(1)によって算出される誤差割合 (R_i) を用いて検討を行った。

$$R_{i(max, hour, day)} = \frac{Q_{i(max, hour, day)} - Q_{1(max, hour, day)}}{Q_{1(max, hour, day)}} \quad (1)$$

ここで添え字 $max, hour, day$ はそれぞれイベントごとの最大流量、最大流量が発生した時刻を含む1時間流量、および表ー1の流出イベントを含む21日間の日流量に関する値であることを表している。 Q_{1_max} , Q_{1_hour} および Q_{1_day} は1分間隔の測定に基づく流量であり、 i 分間隔の測定値から算出した流量 (Q_{i_max} , Q_{i_hour} , および Q_{i_day}) に対する基準値とした。

III 結果

1. フロート式自記水位計と水位センサー・データロガーによる最高水位観測値の差 デジタル方式によって1分間隔で観測された最高水位の値から、アナログ方式で観測した最高水位の値を差し引いた値を図ー1に示す。8月23日のイベントでは-1.37cm (水位の1.65%に相当) と比較的大きな差があった。しかしその他の26例では全て、-0.2~0.2cm の範囲内であった。差が大きかった8月23日を除いた26例での差の値の平均値は0.01cm であり、自記紙の分解能が0.1cm であることを考慮すれば、この差は無視できるものと考えられた。



図ー1 水位センサーによる最高水位値から自記紙による最高水位値を差し引いた値
実線：0.0cm を表す線，破線：±0.2cm を表す線

2. 測定間隔が最高水位観測値と瞬間最大流量計算値に及ぼす影響 デジタル方式による測定値を用いて、全27例のイベントを対象に、1, 2, 3, 4, 5, 6, 10分間隔の各データセットにおける最高水位を比較した。1分間隔のデータセットによる最高水位値を基準値として、その他のデータセットにおける最高水位の値から差し引いた値を図ー2に示す。多くは-0.4~0.0cm の範囲にあった。測定間隔が長くなるにつれ、最高水位が低くなる傾向があった。測定間隔を2分とした場合、最も大きな

差は7月26日のイベントにおける-0.30cmであった。

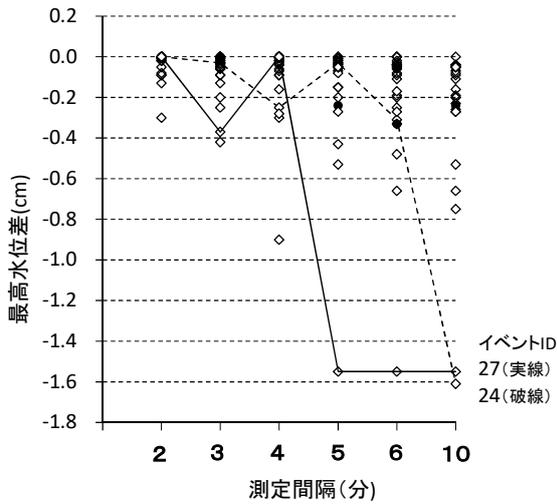


図-2 1分間隔の測定値を基準とした際の測定間隔の違いによる最高水位観測値の差

図-3より R_{i_max} の値は、多くの場合で-2.0~0.0%の範囲にあった。測定間隔が5分以上となると-2.0~0.0%の範囲を超える場合もあった。特に測定間隔10分では9月5日のイベントで、差が-1.55cm, R_i が-6.0%と非常に大きな違いが見られた。

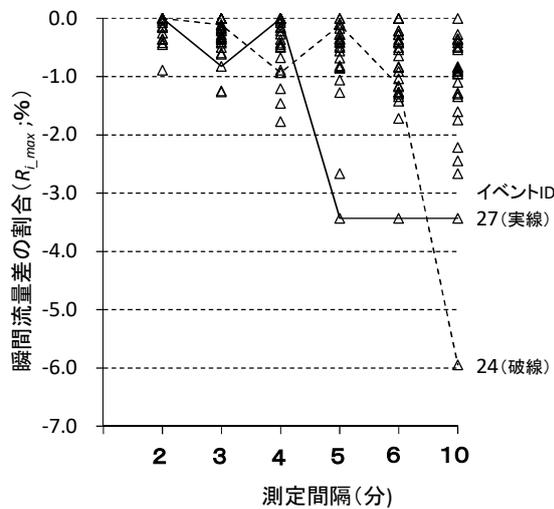


図-3 1分間隔での測定値を基準とした際の測定間隔の違いによる最高水位時の瞬間流量差の割合 (R_{i_max})

3. 測定間隔が時間流量計算値に及ぼす影響 27例のイベントを対象に式(1)による計算を行い、求めた R_{i_hour} を図-4に示した。 R_{i_hour} の値は、多くの場合で $\pm 0.5\%$ の範囲にあった。その一方で測定間隔を5分以上とすると $\pm 1.0\%$ の範囲を超える場合もあった。測定間隔10分では、 $\pm 1.0\%$ の範囲を超えたものが7例あり、そのうち

$\pm 2.0\%$ の範囲を超えたものが3例あった。最も差の大きかった2例は7月24日と8月20日のイベントによるもので、それぞれの差は-2.9%, 2.8%であった。

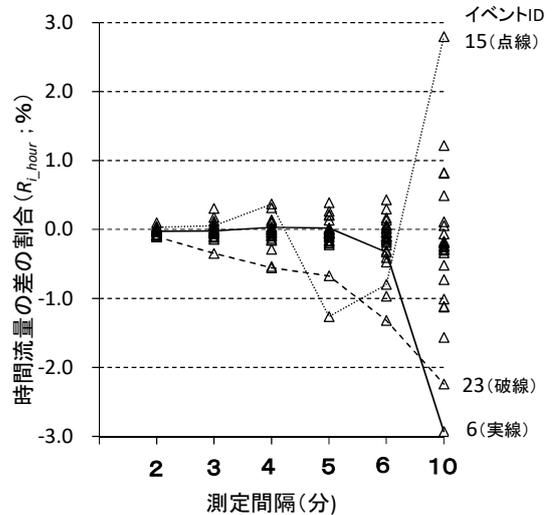


図-4 1分間隔での測定値を基準とした際の測定間隔の違いによる時間流量の差の割合 (R_{i_hour})

4. 測定間隔が日流量計算値に及ぼす影響 表-1における21日間分の日流量について、式(1)によって求めた R_{i_day} を図-5に示した。また、計算値の差を水高換算値で比較するため、 $Q_{i_day} - Q_{1_day}$ の値を表-2に示した。 R_{i_day} の値は、6例を除いた全てにおいて $\pm 0.2\%$ の範囲であった。6例は、5分間隔での測定値が1例、10分間隔での測定値が5例であった。 $Q_{i_day} - Q_{1_day}$ の値の多くは $\pm 0.01 \text{mm day}^{-1}$ の範囲であり、 $\pm 0.05 \text{mm day}^{-1}$ を超えたのは8月23日の10分間隔での測定値による 0.09mm day^{-1}

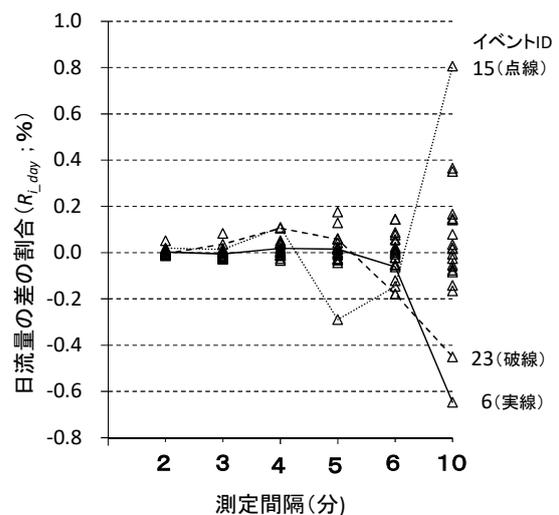


図-5 1分間隔での測定値を基準とした際の測定間隔の違いによる日流量の差の割合 (R_{i_day})

9月8日の5分間隔での測定値による $-0.06 \text{ mm day}^{-1}$ の2例のみであった。

IV 考察

1. 観測システムの違いが最高水位観測値に及ぼす影響 図-1に示したように、27例のイベントのうち26例においてアナログ方式とデジタル方式による最高水位観測値の差は、 $\pm 0.2 \text{ cm}$ の範囲に収まった。また26例における差の平均値は 0.01 cm であった。自記紙の読み取りが 0.1 cm の分解能であることを考慮すると、フロート式自記水位計と水位センサー・データロガーによる最高水位観測値の差は非常に小さいと言える。

8月23日は、最高水位が最も高く観測された流出イベントであった(表-1)。その際、1分間隔の測定でも最高水位を測り損ねた可能性が考えられる。

2. 測定間隔が流量計算値に及ぼす影響 図-3~5より、瞬間流量・時間流量および日流量のいずれにおいても、多くのイベントで R_t 値は比較的小さい範囲に収まっているが、差が比較的大きい事例が1~数例、認められる。測定間隔が4分から5分へ、あるいは6分から10分へ測定間隔が伸びると差が大きくなることが認められ、そのような事例数が増える。差が最も大きくなるのはいずれも10分間隔の場合である。その最大誤差は、瞬間流量で5.9%、時間流量で2.9%、日流量で0.8%であった。これらの数値は、5分間隔ではそれぞれ3.4%、1.3%、0.3%、4分間隔ではそれぞれ1.8%、0.6%、0.1%となる。必要とする流量の精度に応じて測定間隔を選択する際に、これらの数値を判断材料とすることができる。

宝川森林理水試験地の本流流域では日流量データベースが 0.01 mm 単位で公表されている。測定間隔を10分とした場合、対象とした21日分のうち、測定間隔1分での基準値に対する差が 0.00 mm day^{-1} となったのは11日分であった。最も差が大きかったのは、8月23日における 0.09 mm day^{-1} であり、21日分の平均の差は 0.01 mm day^{-1} であった。以上より、月~年流量を対象とする場合には、10分間隔での測定値を用いても誤差の影響は大きくないといえる。しかし日流量を対象とする場合には、10分間隔での測定値に加えて自記紙の読み取り値などによる最高水位データの補完が望ましい。また、測定間隔を5分とした場合、基準値との差が 0.00 mm day^{-1} となったのは18日分、最も差が大きかったのが8月23日における 0.05 mm day^{-1} と、差の生じる頻度や程度は飛躍的に小さくなった。

表-2 1分間隔での測定値を基準とした際の測定間隔による日流量の差

	2分	3分	4分	5分	6分	10分
7月15日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7月18日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7月23日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7月24日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03
7月26日	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.02
7月27日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7月28日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7月29日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8月6日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
8月16日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01
8月20日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
8月21日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8月23日	0.01	0.02	0.01	0.05	0.02	0.09
8月24日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
8月30日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8月31日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9月2日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9月4日	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03
9月5日	0.00	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	-0.02
9月7日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9月8日	0.00	0.00	0.01	0.00	-0.06	0.04

単位は mm day^{-1} 。0.00ではない数値は太斜字で表している。

V まとめ

1) フロート式自記水位計(アナログ方式)と水位センサー・データロガー(デジタル方式)による最高水位観測値を比較したところ、多くの流出イベントにおいて両者の差はほとんど無かった。しかし極めて大きな流出イベントの1例においては、デジタル方式による1分間隔の測定でも最高水位を測り損ねている可能性があった。

2) デジタル方式での測定間隔が流量計算値に及ぼす影響を検討したところ、測定間隔を1分から10分に変更すると21日間のうち10日間で 0.01 mm day^{-1} 以上の誤差が生じたが、測定間隔を5分とすると大幅に改善した。

本研究で対象とした流域は、流域面積が 1905.7 ha と我が国の一般的な森林流域試験地に比べて非常に広く、量水施設はVノッチではなく三面張りの放水路である。これらの特徴により、一般的な森林流域試験地に比べて水位変動が穏やかであること、水位増加に対する流量増加の割合が小さいこと、が考えられる。したがって本研究の結果を他の流域に直ちに適用することは難しく、それぞれの試験流域で同様の検討を行って、流量データの精度を確保する必要がある。

引用文献

- (1) 細田育広・村上 亘・Sidle, R. C. (2007) 水位計自記紙の記録解像度が流出水量の値に及ぼす影響について. 水文・水資源学会誌 20(6):505-518
- (2) 農林省林業試験場(1961) 森林理水試験地観測報告(日降水量と日流出量) 255pp.