

蒜山の森・W1 量水堰堤における水位－流量曲線

芳賀弘和, 米原朱音, 清水笑子, 山中貴裕, 辻本佳奈

Water level-discharge curve at W1 gauging station, Hiruzen Experimental Forest

Hirokazu Haga, Akane Yonehara, Emiko Shimizu, Takahiro Yamanaka and
Kana Tsujimoto

広葉樹研究 第14号 別冊

平成23年3月

鳥取大学農学部

広葉樹開発実験室

Reprinted from

HARDWOOD RESEARCH

No. 14

March, 2011

Hardwood Laboratory

Faculty of Agriculture, Tottori University

Tottori, 680-8553 Japan

研究資料 Research Notes

蒜山の森・W1 量水堰堤における水位－流量曲線

芳賀弘和^{1*}, 米原朱音¹, 清水笑子¹, 山中貴裕¹, 辻本佳奈¹

Water level-discharge curve at W1 gauging station, Hiruzen Experimental Forest

Hirokazu Haga^{1*}, Akane Yonehara¹, Emiko Shimizu¹, Takahiro Yamanaka¹ and Kana Tsujimoto¹¹鳥取大学農学部生物資源環境学科 (〒680-8553 鳥取市湖山町南 4-101)

Department of Biological resource and environment, Faculty of Agriculture, Tottori University, Tottori, 680-8553, Japan

*E-mail: haga@muses.tottori-u.ac.jp

要 旨

中国山地中央部に位置する鳥取大学・蒜山の森において 1980 年に設置された量水堰堤 W1 を対象に、水位－流量曲線を作成することを試みた。2009 年 9～12 月に水位と流量を 15 回実測し、そのデータに対して理論式と多項式のフィッティングを行った結果、次の水位－流量曲線を得た。

$$\begin{cases} Q = 2.72017H^3 + 0.31146H^2 + 0.00277, & H \leq 0.153 \\ Q = 1.90655H^{5/2}, & 0.153 < H \end{cases}$$

ここで、Q は流量 (m³/s)、H はノッチの頂点における越流水深 (m) である。0.153 < H での妥当性を今後検証する必要があるが、この曲線は流量を長期的にモニタするための基礎資料として重要である。

キーワード：水位－流量曲線、蒜山の森、長期モニタ

I. はじめに

従来から、流域の水資源や水環境の保全に果たす森林の役割が注目されており（例えば、恩田、2008）、河川流量の時間変化を精度よく、かつ長期的にわたってモニタすることが重要な課題となっている。

一般に、短い時間スケール (< 1h) での流量の時間変化は、基準点からの水位と流量の関係を介して、水位の観測データから算出される。自動記録器付きの水位センサを用いて水位を観測すれば、記録インターバルに応じて水位変化を捉えることができ、同時にこのインターバルに対応した流量を求めることができる。この水位と流量の関係は、厳密には水位の上昇期間と減少期間で異なるとされるが（江川、1997）、基本的には 1 本の水位－流量曲線で表現される。

水位を観測するには、流路の縦横断形状を一定に保つことが重要であるため、流路内に量水堰やパーシャルフルーム等の構造物を設置することで精度の高い観測を行うことができる。流路の縦横断形状が変わらない限り、水位と流量の関係は変わらないと考えることができるため、一度その関係を把握しておけば流量を直接観測する必要はない。

鳥取大学蒜山演習林（現、蒜山の森）では、1980 年に 2 基の量水堰堤（W1, W2）が設置された。当時、量水堰堤のデータを管理していたのは砂防工学研究室（現、緑地防災学研究室）であり、この研究室に保管されているこれまでの学位論文やレポート（例えば、田中ら、1984）を調べたところ、設置後約 5 年間は水位観測がなされていることがわかった。しかし、水位と流量の関係を示す実測データを見つけることはできなかった。また、その後は、観測が十分に行われることはなく、ほとんど放置された状

態であることがわかった。著者らが 2008 年に量水堰堤を観察したところ、水の越流部（ノッチ）に錆があったり、ノッチと堰堤の継ぎ目から若干の漏水があったりするものの、流量をモニタする上で問題となるような老朽化はみられず、水位と流量の関係を整備できれば今後も量水施設として利用可能であると判断できた。

中国山地では継続的に観測が行われている水文試験地が少ないため、蒜山の森において流量をモニタできる体制を整えば、蒜山の森は中国山地を代表する試験地となり得る。特に近年、中国山地ではナラ枯れの被害が拡大しており（日本海新聞、2010）、ナラ枯れに伴う水・物質循環の変化を把握することは下流域の水資源や水環境の保全を考える上で重要となるため、ナラ類が多く分布する蒜山の森において流量を継続的にモニタすることは大きな意味がある。

以上を踏まえ、蒜山の森において 1980 年に設置された量水堰堤を対象に、水位－流量曲線を作成することにより今後の長期水文観測に資する情報を示すこととした。

II. 調査地

調査は、鳥取大学・蒜山の森の 22 林班にある量水堰堤 W1 で行った（ $35^{\circ}18'40.6''N$, $133^{\circ}34'47.3''E$; 図 1）。W1 が抱える流域面積は、航空機 LiDAR データから作成した地形図（長澤・大木場、2011）に基づく 5.9ha であった。流域の地質は大山凝灰角礫岩層、土壌は黒色火山灰土（田中ら、1981）であり、植生は林床がチマキザサに覆われたコナラ林であった。流域の下流部右岸側の一部は、ヒノキ人工林（約 30 年生）となっていた。

W1 は、高さ約 3m、幅約 8m の堰堤を利用した直角三角堰であり、90°V 型のノッチが取り付けられていた（写真 1）。堰堤上流側の貯砂ポケットは堰堤から 15m の範囲にあり、堆積した土砂がノッチの頂点付近まで達した状態であった。ただし、堆積した土砂がノッチに接しているわけではなく、堰堤上流側 2m の範囲では深さ 0.5~1m のプールになっていた。

III. 方法

水位－流量曲線を作成するためには、水位と流量を実測する必要がある。今回の場合、水位についてはノッチの頂点における越流水深を計測することに

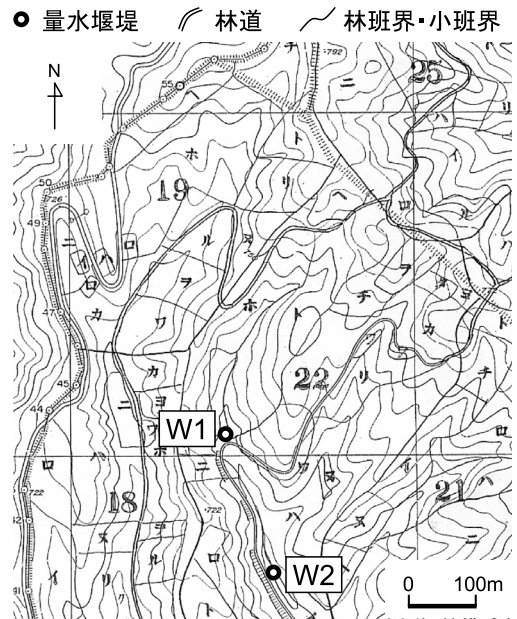


図 1 量水堰堤 W1 と W2 の位置。蒜山演習林基本図（1976 年測図）上に示しており、図中の数字は林班名、カタカナは小班名を意味している。



写真 1 量水堰堤 W1 と下流側に取り付けた作業用足場。

より把握することとし、流量については越流直後の水を一時的に集水することにより把握することとした。ただし、堰堤の下流側からではノッチの位置が高くて計測しづらかったため、2009 年 9 月に単管パイプで足場を組み（写真 1）、ノッチにアクセスしやすいようにした上で計測した。

水位の計測には、厚さ 0.07 cm、幅 1.5 cm、長さ 30 cm のステンレス定規を用いた。ノッチの頂点にこの定規をあてて計測するが、その際にノッチの上流側の面と定規の背が一直線になるよう注意し、定規の背と水面との交点の目盛りを読んだ。なお、流量を計測する前後で水位は変わらないことを確認した。

流量の計測には、越流水を導くための貯水槽とストップウォッチを用いた。貯水槽は流量の規模に応

じて, タンク (容量 62.50 L), バケツ (容量 8.12 L), メスシリンダ (1 L 用) を使い分け, 単位時間あたりに貯まる水量に基づいて流量を算出した. この計測を約 10 分間に 3~5 回繰り返して, その平均をとって流量とした.

三角堰の水位-流量曲線は, 理論的には次のように表される.

$$Q = KH^{5/2} \tag{1}$$

$$K = \frac{8}{15} C \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} \tag{2}$$

ここで, Q は流量, H は水位 (越流水深), C は流量係数, θ はノッチの角度, g は重力加速度である. 実際には, K は H と Q の実測値から決められる (志水, 1999). W1 における水位-流量曲線も, 基本的にはこの理論式に従うはずであり, 2009 年 9~12 月に得た水位と流量の実測値に基づいて K を決定することとした. ただし, この式に従わない範囲については, 多項式でフィッティングすることとした.

IV. 水位-流量曲線

2009 年 9~12 月の間に, 水位と流量の実測を 15 回行うことができた (表 1). この実測データを式 (1) に代入し K を求めたところ, 1.9~5.0 の値となった. 水位と K の関係を調べると, K は水位が高くなるにつれ減少し, 水位が 0.08 m を超えるとほぼ一定の値 (約 1.9) で推移した (図 2). これらのことは, 水位が低い範囲 ($H < 0.08$) では K が一意に決まらないが, それよりも高い範囲では一位に決まる可能性を示唆している. そこで, 実測データの存在範囲 ($H \leq 0.153$) において, 特に水位が低い範囲に注意しながら, 多項式でのフィッティングを試行錯誤した結果, 式 (3) に示す 3 次式を得ることができた.

$$Q = 2.72017H^3 + 0.31146H^2 + 0.00277 \tag{3}$$

ここで, H と Q の単位はそれぞれ m^3/s , m である. 式 (3) は, 結果的に水位が低い範囲のみならず, 実測データの存在範囲において良好なフィッティングをもたらしていた. また, データの存在範囲外 ($H > 0.153$) では式 (1) に従うと考え, 実測水位の最大値 ($H = 0.153$) において式 (1) と式 (3) が交わるように K を定めることとした. 2 つの曲線の交点は座標 (0.153, 0.01746) であり, 式 (1) は次のようになった.

表 1 水位と流量の実測値. 流量は 3~5 回繰り返して測定したので, 平均値, 最小値, 最大値を示している.

測定時刻	水位 (m)	流量 (m^3/s)		
		平均値	最小値	最大値
2009/09/18 16:03	0.0140	0.0001121	0.0001102	0.0001132
2009/09/24 11:40	0.0130	0.0000964	0.0000939	0.0000980
2009/09/24 16:47	0.0125	0.0000876	0.0000865	0.0000886
2009/09/29 16:16	0.0170	0.0001209	0.0001177	0.0001230
2009/10/07 13:02	0.0140	0.0001156	0.0001151	0.0001162
2009/10/09 13:10	0.0860	0.0042194	0.0042042	0.0042379
2009/10/20 10:19	0.0270	0.0003248	0.0003200	0.0003297
2009/10/27 09:50	0.0265	0.0002938	0.0002907	0.0003000
2009/11/02 12:05	0.0455	0.0010189	0.0010063	0.0010323
2009/11/02 12:10	0.0440	0.0010108	0.0009929	0.0010235
2009/11/05 09:10	0.0555	0.0015149	0.0015137	0.0015157
2009/11/12 08:55	0.1530	0.0174732	0.0159620	0.0184169
2009/11/13 15:20	0.1030	0.0064511	0.0062381	0.0066773
2009/11/17 08:55	0.0775	0.0035789	0.0035499	0.0036051
2009/12/08 09:10	0.0395	0.0007570	0.0007410	0.0007809

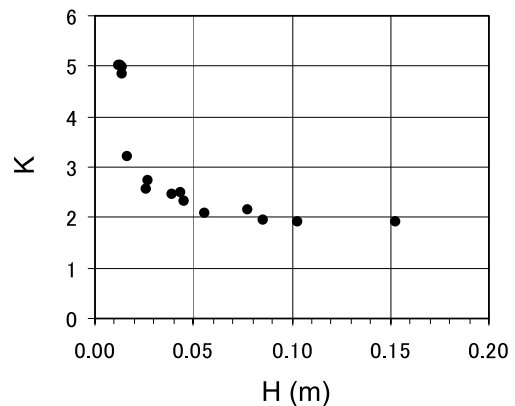


図 2 水位と K の関係.

$$Q = 1.90655H^{5/2} \tag{4}$$

したがって, 式 (3) と式 (4) を W1 における水位-流量曲線として採用し, 水位が 0.153 m 以下の時には式 (3) を, 水位がそれよりも高い時には式 (4) を用いることとした. 図 3 に水位-流量曲線を示す.

V. おわりに

2009 年 9~12 月の実測データを基に, 蒜山の森にある量水堰堤 W1 の水位-流量曲線を次のように決定した.

$$\begin{cases} Q = 2.72017H^3 + 0.31146H^2 + 0.00277, & H \leq 0.153 \\ Q = 1.90655H^{5/2}, & 0.153 < H \end{cases}$$

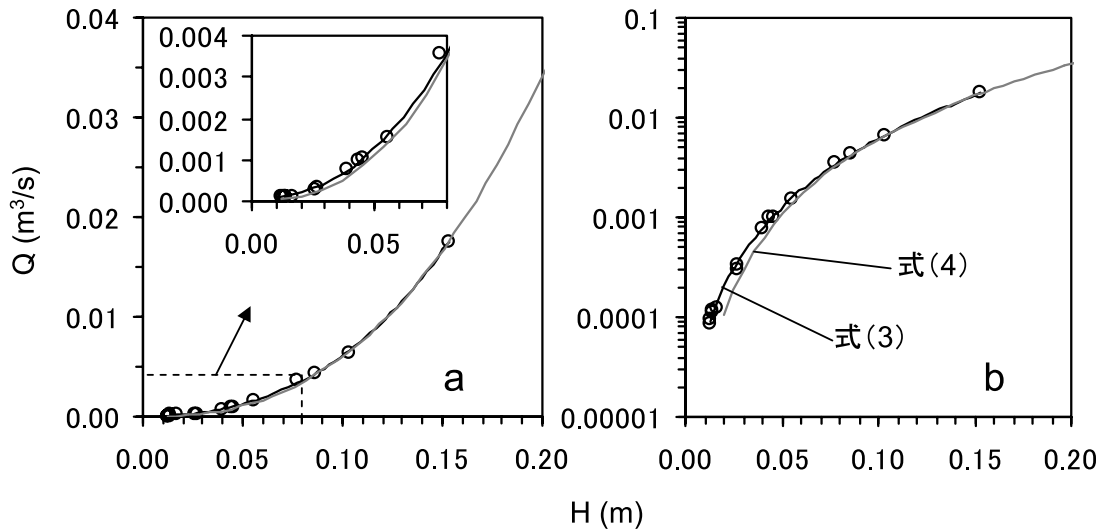


図3 W1における水位－流量曲線. a) 普通軸での表現, b) 片対数軸での表現.

式(3): 黒色のライン, $Q=2.72017H^3+0.31146H^2+0.00277H$, $H \leq 0.153$

式(4): 灰色のライン, $Q=1.90655H^{5/2}$, $0.153 < H$

ここで、 Q は流量 (m³/s)、 H はノッチの頂点における越流水深 (m) である。0.153< H の範囲では実測データが得られていないため、厳密には今後の観測を待って式の妥当性を検証する必要がある。しかし、0.08< H の範囲において、水深の5/2乗に比例する理論式によって流量は上手く表現できているため、0.153< H の範囲に対する外挿結果は妥当である可能性が高い。

今後、W1での流量の時間変化をモニタするためには、水位計を介してノッチの頂点における越流水深を把握すればよいと言える。ただし、モニタする期間が長期に及べば、定期的に水位と流量を実測し、今回の水位－流量曲線上にプロットされるかどうかグラフ化して確認することが不可欠である。この確認作業により、量水堰堤の老朽化による変形や漏水により観測上の不具合が起きていないかどうかチェックすることができ、流量の観測精度の維持につながる。簡単に言えば、保証書付きの流量データの蓄積につながり、蒜山の森の森林水文試験地としての価値が高まると思われる。

謝 辞

調査に際し、蒜山の森のスタッフの皆さんにご協力いただいた。特に、松原研一さんには、調査計画の段階から相談に乗っていただき、我々の意向を汲みながら安全で効率の良い作業手順を提案していただいた。小谷好正さん、福富昭吾さんには、流量観測に不可欠な観測用足場を組んでいただいた。また、楨本小百合さんには、事務手続きの面のみならず宿

舎利用の面でも我々に不都合が生じないように頻繁にご配慮いただいた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 江川太朗 (1997) 河川工学入門. 218pp, 河川情報センター, 東京.
- 長澤良太・大木場紫 (2011) 高分解能衛星画像と航空機 LiDAR を用いた森林情報の抽出. (広葉樹資源の管理と活用. 鳥取大学広葉樹研究刊行会編, 242pp, 海青社, 大津), 191-208.
- 日本海新聞 (2010) ローカルニュース, ナラ枯れ対策で中国 5 県が情報交換, 2010/90/08.http://www.nnn.co.jp/news/100908/20100908009.html.
- 恩田裕一 (2008) 人工林荒廃と水・土砂流出の実態. 245pp, 岩波書店, 東京.
- 志水俊夫 (1999) 河川流量. (森林立地調査法. 森林立地調査法編集委員会編, 284pp. 博友社, 東京), 176-179.
- 田中一夫・奥村武信・井上 昌・下野 清 (1981) 広葉樹林における水源かん養機能に関する研究 (I). 鳥取大学農学部演習林報告 13: 37-48.
- 田中一夫・奥村武信・後藤郁男・長谷川剛司 (1984) 広葉樹林における水源かん養機能に関する研究 (III). 鳥取大学農学部演習林報告 14: 43-57.

