

奥利根源流域の多雪地森林小流域における流況曲線について

Flow duration curve of a small forested watershed at snow area in Okutone

豊泉恭平*¹・加藤拓人*²・瀧澤英紀*¹Kyohei TOYOIZUMI*¹, Takuto KATO*² and Hideki TAKIZAWA*¹

* 1 日本大学大学院生物資源科学研究科

Coll. Bioresource Sci., Nihon Univ., Fujisawa 252-0880

* 2 日本大学生物資源科学部

Coll. Bioresource Sci., Nihon Univ., Fujisawa 252-0880

要旨：奥利根源流域の多雪地森林小流域の降雨流出において、12～3月の積雪は地表面に貯留され、続く3～4月に融雪流出する。調査流域の流出観測を行い、積雪・融雪期に降雨として入力された場合のタンクモデル計算値の流況曲線と比較することにより積雪・融雪期の雪ダム機能と森林流域が持つ緑のダム機能について評価した。雪ダムの平準化機能では、冬季の降水は20mm/day以上が10日間と多く、豊水流量以上の流出量の大きい区間の内2～25日目の流出量を減少させ、26～80日目を増加させる平準化機能を発揮していた。一方、冬季に降雨として供給された場合には、落葉期に緑のダム機能が発揮され2mm/day以上の安定的な基底流出が期待される。特に、流況曲線122日目付近から199日目までの区間において調節流量が増加する。

キーワード：森林流域，流況曲線，積雪寒冷地域，雪ダム機能

Abstract : In a forest watershed at snow area in Okutone, the snow were stored at surface from Dec. to Mar. and were discharged by melting from Mar. to April. This time lag was called "Snow dam effect". In a forest at snow area, there are the Snow dam effect and the Green dam effect. We have evaluated both functions by using the flow duration curve. In this report, we made two kinds of the flow duration curves, and compared the observation data to the calculation data. We assumed that there was also rainfall in winter, and the calculation data computed discharge by using the tank model. In the leveling of snow dam function, the precipitation of 20mm/day or more had 10 times in the winter, and over the plentiful discharge of the flow duration curves it reduced the amount of between 2 and 25-day discharge and increased the amount of between 26 and 80-day discharge (fig.3c). On the other hand, the stable base flow 2mm/day or more were expected by the effect of the green dam in case of the assuming that the precipitation was supplied as rainfall in winter. In particular, the controlled runoff between 122 and 199-days of the flow duration curve increased.

Keywords : forest catchment, flow duration curve, cold snow region, Snow dam effect

I はじめに

奥利根源流域は2m程度の積雪があり、降雨流出形態は降水があり流出が少ない積雪期、降水が少なく流出が大きい融雪期、降雨イベント毎に流出が変動するその他の時期（着葉期など）に大別できる。例年、積雪は12～3月に2.5カ月間地表面に貯留され、続く3～4月に1カ月弱の短期間で融雪水として流出する。この積雪・融雪期の降水と流出の時間差を雪ダム機能と呼ぶ。森林流域には緑のダムの機能があり、例えば東京大学愛知演習林では1926年より、森林総合研究所の宝川森林理水試験地では1937年より水文観測が行われ、流況曲線を用いた研究により、森林の水源かん養機能の定量的評価を試み

た研究(7)や、ダム貯水池と対比して渇水緩和機能を評価した研究(3)などがある。一般に、緑のダム機能とは流出ピークの遅延、流量平準化として説明される。雪ダム機能では、降雪と融雪流出の時間差により遅延効果は明快であるが、降雪量に対して流出量が平準化されているか明快ではない。降雨と重なる融雪出水の研究(1)など融雪期の最大流出に関する研究や、融雪と流出量をタンクモデルで再現する研究(5)などは雪ダムの平準化機能の研究と見ることができる。気候変動を背景とすればこの雪ダム機能は経年的に大きく変化すると予想され、降雪の多い現状の観測は重要な意味を持つてくる。例えば、近年の融雪開始時期の変化傾向(8)なども研

究されている。多雪森林流域では雪ダムと緑のダムの機能が存在するが、同一の流況曲線を用いて評価した研究は見当たらない。

本研究は、単年の降水と流出の観測を行い、積雪・融雪期においても降雨が供給されると仮定してタンクモデルを用いて計算した流出モデル値の流況曲線と比較し、3つの時期の出現位置・頻度、モデル値との差を求めて多雪地森林流域の雪ダムの機能を緑のダム機能を評価した。

II 方法

1. 対象流域の概要および測定方法 調査流域は群馬県利根郡みなかみ町の日本大学演習林内に位置する標高760~900m、流域面積13.7haの三つ又沢流域である。約6km離れた藤原のAMeDASにおける2000年から2010年までの平均降水量、平均気温、平均最深積雪深はそれぞれ1755mm、14.3℃、206cmであった。流出量は90°Vノッチを設置した量水堰を用いて測定し、水位を投げ込み式水位センサー(株式会社センシズ HM-200)にて測定し、データロガー(CR-10X Campbell co)に記録した。降水量は流域から600m離れた上空の開けた露場において転倒マス式雨量計(OW-34-BP 大田計器)を用いて計測した。冬季には雨量計(TE525 Campbell Co.)にて降水量を観測した。積雪深は藤原 AMeDAS データを用いた。

2. 解析方法

2.1. タンクモデル 本研究ではタンクモデル(6)を用いて夏季の欠測期間および積雪期・融雪期の流出量の算定を行った。なお、パラメーターの決定には夏季の降雨イベントを用いた。

2.2. 流況曲線 流況曲線は直感的に流出ステージを把握でき(4)、本研究では2010年11月1日~2011

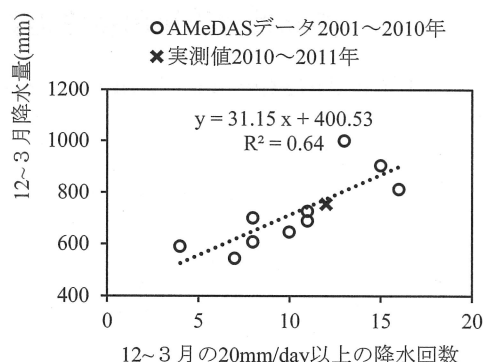


図-1. 10年間データによる12~3月における20mm/day以上の降水回数と降水量の関係

Fig.1 Relation between the number of precipitation over 20mm/day and total precipitation from Dec. to Mar. using 10 years dataset with this research, ×

年10月31日までの一年データを用いた。

III 結果と考察

1. 対象流域の降水量・降水パターン 10年間の藤原AMeDASを12~3月と4~11月に分けてそれぞれの総降水量を求めると722,1213mm、本研究では754,1335mmとなりほぼ等しかった。また、それぞれ変動係数は0.34, 0.37となり12~3月の主に降雪の方が降雨に比べ小さな年々変動であった。図-1に12~3月の20mm/day以上の降水回数と降水量の関係を示す。期間降水量では400mmを超えるとこの降水回数と比例関係にあり、20mm/day以上のまとまった降水が最大積雪深の様な冬季の総降水量に大きく影響すると考えられる。

2. ハイドログラフ・ハイトグラフ 降水量、流出量を図-2に示す。図中には積雪・融雪期のみタンクモ

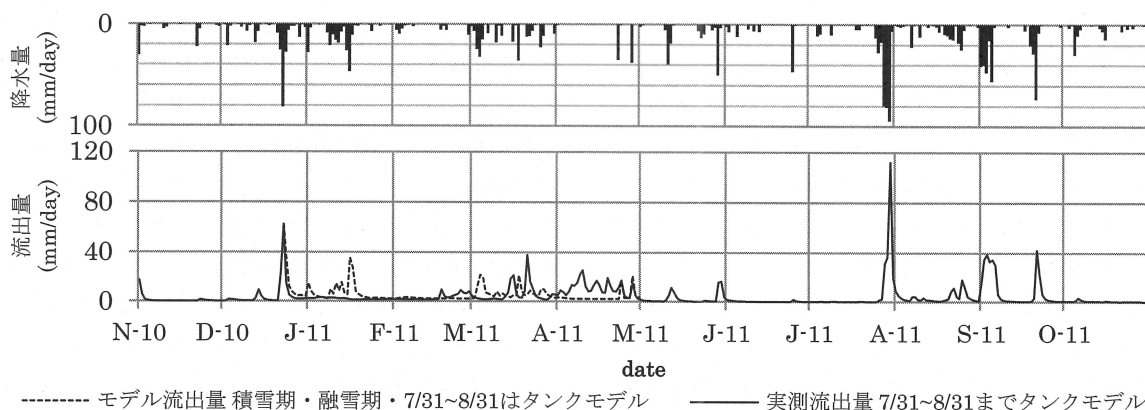


図-2. 実測値とモデル値の流出量と降水量

Fig.2 Discharge and Rainfall of the observation data and the calculation data

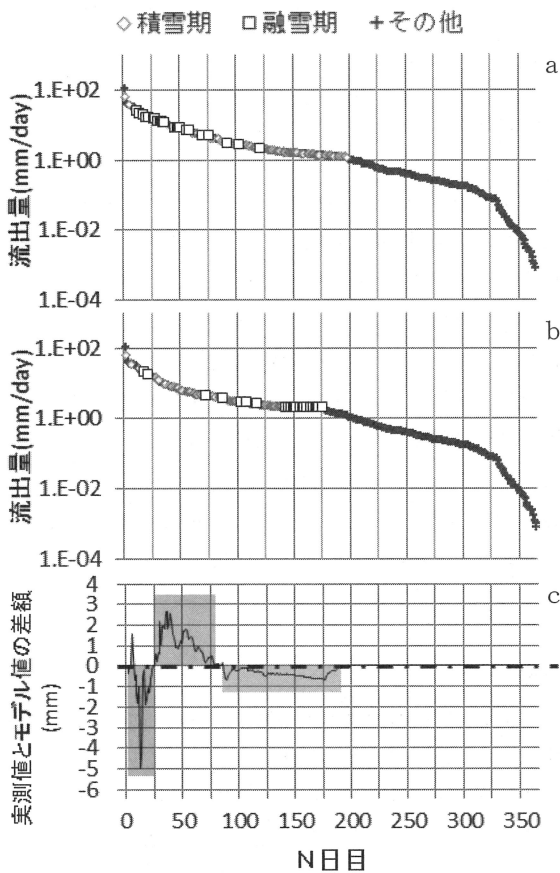


図-3. 実測値 a とモデル値 b の流況曲線およびその差額 c

Fig. 3 The flow duration curve of the observation data, a, and the calculation data, b, and difference., c

表-1. 期間別の実測値とモデル値の流出量と期間別降水量

Table 1 The amount of rainfall, discharge observation and calculation in each periods

名称	降水量	実測 流出量	モデル 流出量	期間	日数
積雪期	653	471	650	12/23~4/6	105
融雪期	73	269	89	4/7~4/30	24
それ以外	1380	772	772	11/1~12/22, 5/1~10/31	236
期間合計	2106	1512	1511	—	365

降水量, 流出量の単位はmm

デルを用いたモデル値を示した。また表-1に期間別の降水量など統計量を示す。対象期間では、最深積雪深188cm, 積雪・融雪期の総降水量726mm, その他の時期は1380mmであった。特に、積雪期の主に降雪は20mm/dayを超えるものが10日あった。また、融雪は、2m程度の積雪が約1か月弱で消失し、最大値は25.1mm/day(4月10日)の流出であった(図-2)。

3. 実測値とモデル値の流況曲線 図-3 a, 図-3 bにそれぞれ実測値とモデル値の流況曲線を、図-3 cに二つの曲線の差を求めた。なお、積雪・融雪期の流出量のモデル値と実測値が一致するようにタンクモデルを調整して流況曲線を作成した。また、図-4に豊水、平水、低水、渇水流量などで区切られる期間の実測値とモデル値の出現日数の変化を示す。

図-3 aでは積雪期は多くが平水流量以上に出現し、積雪期間中に流出量が1mm/dayを下回することはなかった。流況曲線のモデル値と実測値を比べると、積雪期ではモデル値は2から185日目まで実測に比べて広く分布した。積雪期では降雨があれば流出は増加するので2日目からデータは存在し、蒸発散量が小さい時期で積雪底面などの融雪が影響して1mm/day以上の安定した流出を示し、185日目以上に多く存在したと考えられる。

融雪期は短期間に大きな流出量が続くので主に豊水流量以上に多かった(図-3 a)。しかし、1日の最大融雪量は熱収支として数mm/dayの上限値があり、連続しても100mm/dayを超えるオーダーは存在せず(図-2)、24日間の融雪期間となった(表-1)。モデル値の融雪期はそれより大きく低下し(図-3 b)、96から185日目に集中した。対象年の様に融雪期に降水が少ない場合はその他の時期よりは大きい、積雪期より小さい曲線部位に分布したと考えられる。

図-4では1から95日目までの区間において融雪期日数が大きくプラスとなり、積雪期日数が大きくマイナスとなった。また、96から185日目までの区間では融雪期日数が逆に大きくマイナスとなった。図-3 cでは、豊水流量以上の内、1から25日目までは大きくマイナスとなり、26から80日目までは大きくプラスとなり、85から199日目までは若干マイナスとなった。これらの実測値とモデル値の違いは積雪期・融雪期の雪ダム機能の

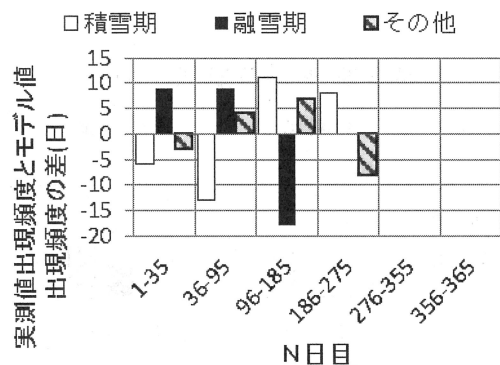


図-4. 実測値出現頻度とモデル値出現頻度の差

Fig. 4 The difference of frequency histogram between the observation data and the calculation data

有無であると考えられる。モデルでは積雪は無く融雪による流量増加は存在せず、豊水流量以上の融雪期の流出が大きく減少したが、夏季の渇水期（その他の時期）の基底流出に比べて大きい2 mm/day以上の基底流出を維持したことが影響したと考えられる。一方、冬季の降水量20mm/day以上が10日あることより、豊水流量以上でモデル値の積雪期日数が増加した影響と考えられる。

3 調節流出量について 日降水量を同様に大きい順に並べた雨量曲線は、降雨がただちに流出する場合の流況曲線と考えられる。降水量と流出量の差（但し年平均流出量以下の部分）は調節流出量と呼ばれ、流出の平準化の程度を表す指標値になる(2)。実測値とモデル値それぞれについての調節流出量を図-5に示す。図-5の各値の調節流出量は、発生から199日目までモデル値の方が若干調節流量は増加し、200日目以降は同様の値であった。この図-5の異なる波形を示す122-199日目の曲線部の積雪期、融雪期、その他の出現頻度を図-6に示す。図-6の実測値とモデル値の出現頻度を比較すると、実測値ではほとんどが積雪期で構成されていたのに対し、モデル値では積雪期が減少して融雪期が16日増加した。このことから、122日目付近から199日目まで

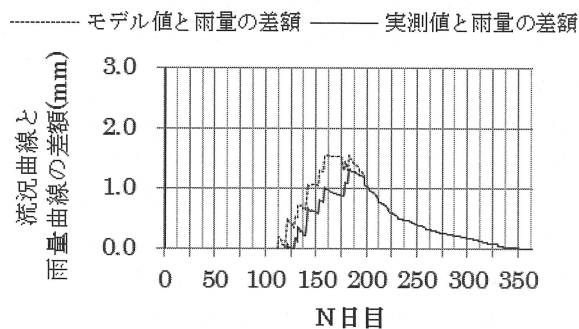


図-5. 実測値とモデル値の調節流出量

Fig. 5 Controlled runoff of the observation data and the calculation data

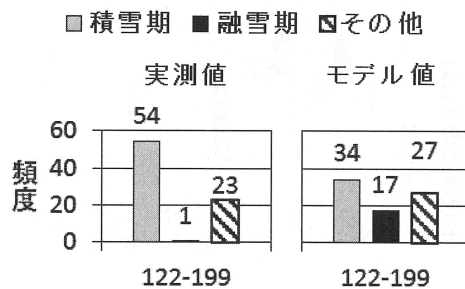


図-6. 122 - 199 日目の各期の出現頻度

Fig. 6 Periods histogram of the observation data and the calculation data in 122 - 199 days

の区間において雪ダム機能による流出の平準化機能を、冬の緑のダム機能が上回ったと考えられる。

IV まとめ

本研究では多雪森林流域における単年度の降雨流出データを用い、積雪・融雪期にタンクモデルによるモデル値と実測値の流況曲線を比較し、多雪地森林流域の雪ダム機能と緑のダム機能を評価し、以下のことが判明した。

雪ダムの平準化機能では、冬季のまとまった降水は20mm/day以上が10日と多く、豊水流量以上の流出量の大きい区間において、2~25日目の流出量を減少させ、26~80日目を増加させる平準化機能を発揮していた。

一方、冬季に降雨として供給された場合を想定すると、落葉期の緑のダム機能が発揮され2 mm/day以上の安定的な基底流出が期待される。特に、122日目付近から199日目までの区間において調節流量が増加する。

引用文献

- (1) 石井吉之 (2012) 降雨と融雪が重なって生じる融雪出水. 日本水文科学会誌42(3) : 101-107
- (2) 地頭菌隆・下川悦郎・寺本行芳 (2000) 屋久島土面川流域の降雨・流出特性. 鹿大演研報28 : 13-25
- (3) 久米朋宜・窪田順平 (1998) 森林流域におけるダム貯水池の流況平準化効果の評価. 水文・水資源学会誌11(4) : 317-323
- (4) 真板英一・鈴木雅一 (2008) 森林植生の伐採が山地小流域の流況曲線に与える影響—流況の流域間変動に対する植生要因の大きさの検討—. 日林誌90(1) : 36-45
- (5) 本山秀明・小林大二・小島賢治 (1984) 融雪期における小流域の水収支 II : 流出解析. 低温科学A42 : 135-146
- (6) 菅原正巳 (1972) 流出解析法. 共立出版, 東京 : 257pp
- (7) 鈴木雅一 (1988) 山地流域の流出に与える森林の影響評価のための流況解析. 日林誌70 : 261 - 268
- (8) YAMANAKA, T., WAKIYAMA, Y. and SUZUKI, K. (2012) Is snowmelt runoff timing in the Japanese Alps region shifting toward earlier in the year? . Hydrological Research Letters 6 : 87-91