

積雪のある流域における水収支について

—只見川滝ダム流域における事例解析—

On water balance in a basin with heavy snow area
—Case study in the Taki dam basin, the Tadami River—

風間 聡*, 沢本 正樹**

By So KAZAMA and Masaki SAWAMOTO

Annual water balance is investigated in the Taki dam basin, which area is about 2,000 km² and has heavy snow area. A method of snowfall correction on precipitation, the Thornthwaite method on evapotranspiration and a simple balance model on ground water are applied to evaluate each components in hydrological cycle and the total balance is discussed. Snowmelt volume is calculated from both the tank model and water balance equation and the runoff delay of meltwater is discussed. Conclusions are;

1. snowdepth distribution depends on the total snowfall volume
2. actual evapotranspiration can be estimated by the Thornthwaite method and
3. daily snowmelt runoff is almost constant.

Keywords: water balance, correct snowfall, snowmelt, Taki dam basin

1. 緒論

水循環についてはこれまで種々の空間スケールで論じられている。水循環過程を論じたものには、沖ら¹⁾のものがある。この場合、気候区分程度の特性の議論を行なっている。一方、小流域では、例えば森林地帯の流出の成分分離からその性質を論じた吉田ら²⁾の研究などがある。このスケールでは物理機構を詳細に考慮した議論が可能となる。これらの両極端を除くと議論ははなはだこみ入ったものとならざるを得ない。一方、観測に対する注意事項として、岡本ら³⁾は従来の雨量計による降雨観測の疑問点をあげ、また、山田ら⁴⁾は山岳における降水の斜面の影響と降雨毎の不均一性を調べている。これらは流域内の観測密度、高度差、地覆分布などが直接水収支の議論に関連してくる。

これらが総合的に問われた例は少ないため、年間において流域水収支を眺めた場合、どれがどの程度の影響を持つかは調べられていない。また、中高緯度地域に存在する積雪貯留効果についても不明点が多い。そこで本研究では、前報⁵⁾に引続き比較的広域の流域内の水収支を調べ、その際の問題点やその影響が全体に

* 学生員 修(工) 東北大学大学院 工学研究科

** 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

どの程度の影響を与えるかを調べ考察した。

2. 対象流域とデータ

対象流域は阿賀野川水系只見川上流域の滝ダム流域（1991.4km²）である（図-1）。本流域はそのほとんどが自然林であり、土地利用はほとんどなされていない。標高差も300mから2000mと大きく高地山岳地帯を抱えている。

流域内には多くの流域変更が行なわれている。流量データはダム地点で観測されているが、ここでは各ダム地点での流出量と流入量を差し引きし、全ダム湖へ流出してきた総量を流出量として定義している。また、流域の気象データは4地点での降水量に山岳の影響がないように分けた流域面積を乗じている。

3. 降水と積雪貯留について

この流域では降水は降雨と降雪によって、大きな特徴の違いがある。近年レーダー雨量計の発達によって細かな推定が可能になったが、データ量の膨大さと降雪粒子の推定が中長期流出適用への問題である。前報で報告したように降雨は比較的ランダムに降り、降雪については高度依存性が見られたことから、降雪についてのみ高度補正を施した。降雪の補正方法は、前報と同様である。この方法は、融雪初期の広域積雪観測から高度と積雪深の線形関係を求め、その流域の平均積雪深と観測点の積雪深を比較し、この係数を降雪量に乘じる方法である。

この際の補正係数の年変化を表-1に示す。また、図-2は冬季（12月～2月）の各月1日平均の降水量と気温の変化図である。これより、1991年が最も積雪量が多かったことがわかる。また、係数が大きいのは、1990年であり、この年は最も小雪であったことから、小雪の年には、高度による積雪深の増加率が大きいことがわかる。これは小雪年でも、標高の高い地域ではある程度の積雪があり多雪年には流域内一様に積雪が増加するわけではなく、標高の低いところの積雪の増加が比較的大きいことを示している。なお、気象観測点は流域に4点あるが、ここでは4点の平均を示している。この図から1990年と1988年は降水量に大きな違いは見られないが、松枝岐の係数が大きいことから、東側の伊南川筋では降雪が少なかったことがわかる。以上から以下のようなことがわかった。

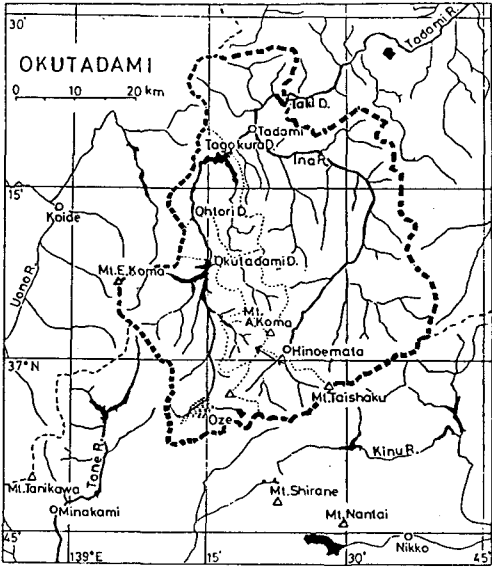


図-1 対象流域図

表-1 降雪補正係数と積雪水当量の年次変化

	奥只見	田子倉	松枝岐	滝	流域積雪水当量(km ³)
1989/3/9	1.05	2.74	3.06	2.98	2.08
1990/3/7	1.03	3.60	5.16	3.18	1.71
1991/2/27	1.14	1.07	1.69	1.23	3.49

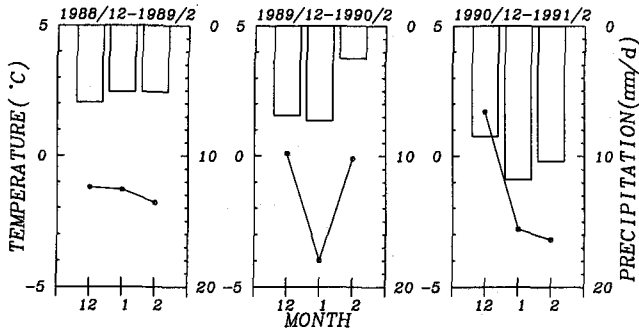


図-2 冬期(12月~3月)の平均気温、降水量の年次変化

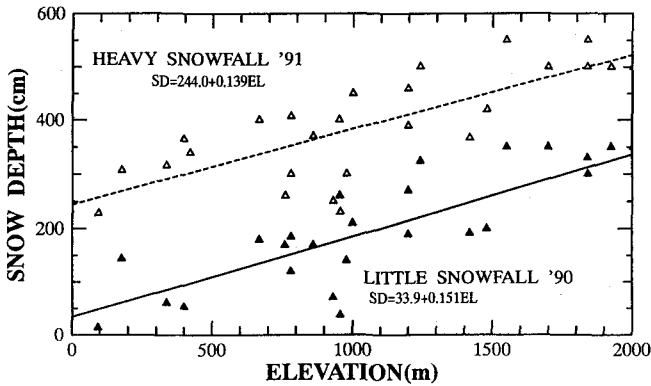


図-3 多雪年と小雪年の積雪パターン

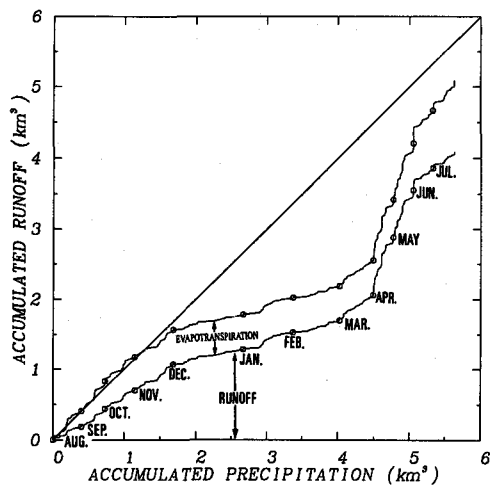
1. 小雪の年は、標高の低い部分での降雪が少なくなる。
 2. 逆に多雪の年には、標高の低い地域での降雪の増加が大きくなる。
 3. 年によって降雪のパターンが変化する。
- これらの概念図を図-3に示す。

4. 流域水収支について

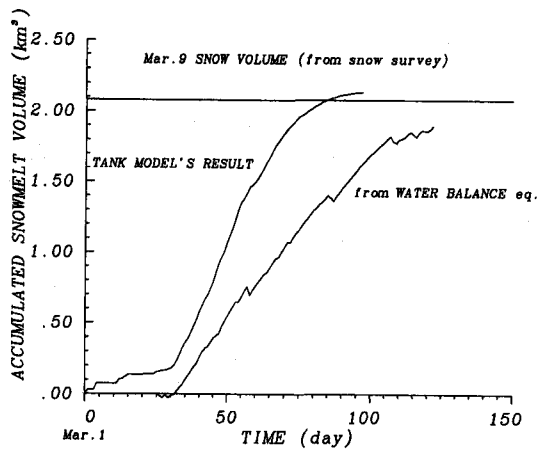
4. 1 水収支の年次変化

図-4に各年の毎年の8月から7月までの累積降水量と累積流出量を示している。併せて、Thorntwaite法から求めた累積蒸発散量を示している。1988年から1990年までについては報告済みである。前報では7月から水文年をとっていたが、この場合、7月にも融雪出水がみられ、この時期の水収支が一致しなかった。そこで水文年を8月から始めたが、この場合の方が夏期秋期の水収支が合っている。Thorntwaite法は可能蒸発散量を表わしているものであるが、この結果は流域規模で見たときには実蒸発散量に極めて近いと考えられる。これは野上の報告⁶⁾からも日本の流域では近い値をとることが述べられており、同じ結果が確認された。冬季においては、積雪面で流域が大きく被われるためと気温が零下のため、0としている。降雪量は補正係数が乗じられている。また、この水収支を計算する際には、簡単な地下水収支が考慮されている。これは、降雪時の流出が地下水位の減少分とし、融雪が開始された日から6月いっぱいかけて地下水位を元に戻すまで同じ

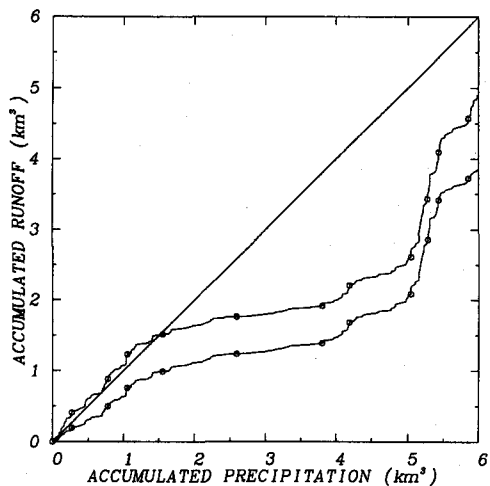
$$\text{融雪出水量} = \text{流出量} + \text{蒸発散量} + \text{地下貯留量} - \text{降水量} \quad (1)$$



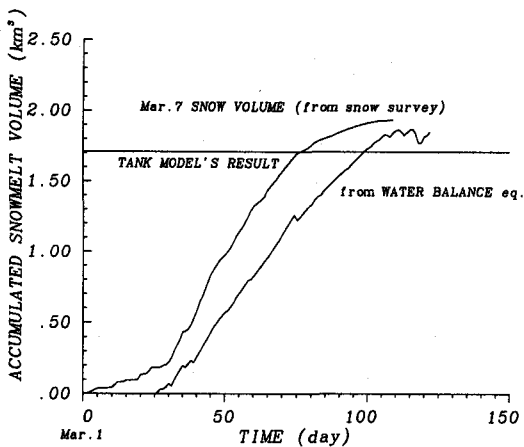
(a)1988-1989年



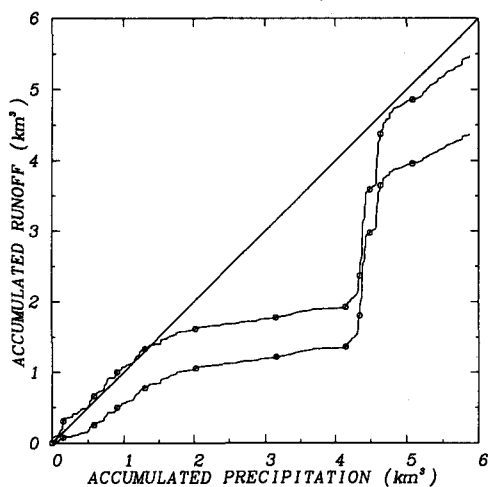
(a)1989年



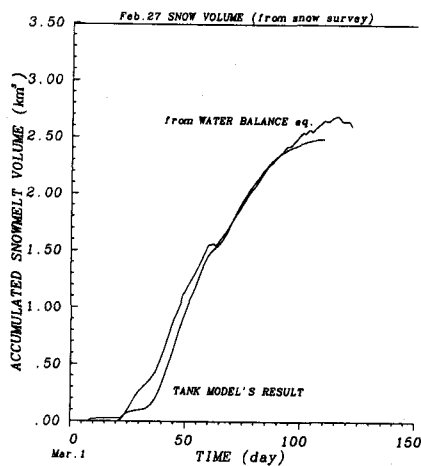
(b)1989-1990年



(b)1990年



(c)1990-1991年



(c)1991年

图-4 各年度(8月~7月)累积水收支

图-5 各年度融雪量

割合で貯留されるものである。

夏期から秋期にかけてほぼ流出率は一定の値をとる。11月下旬頃から流出率は小さくなり、冬期には低い流出率になる。この際の流出+蒸発散：降水=1:1の直線と流出+蒸発散の間が積雪貯留の分となる。3月上旬頃から始まる融雪期には流出率は大きくなり、6月中旬頃まで続く。年間降水の内、4割から6割が4カ月ほどの降雪であり、その多くを占めている。

上の水収支の方法では、各年に10%程のマイナスが必ず生じる。これは、降雪の補正がうまく行なわれていないことが第一に挙げられる。冬季の降雪量の補正は、上述の方法が行なわれているが、流域が広いため補正しきれない部分がでてくる可能性がある。結果からは降雪量を多く評価していることになっており、補正係数が過度に計算されている。この理由としては、いくつか考えられる。一つには、補正係数を計算する際に、流域内の積雪層内の密度を0.45一定とおいていることが考えられる。この密度は融雪期に層内の密度分布が0.4~0.5になることからその中間値をとっている。融雪期以前では0.2~0.4付近の値をとる。そのため、標高の高い地域においては、融雪期に達してない場合、流域一律ではないと思われる。そのため補正係数を求める際に密度を別途考慮されなければいけないものと考えられる。今後は層内の密度と高度の関係を正しく評価する必要がある。2つ目には広域とはいえ観測点に偏りがあることが挙げられる。そのため補正係数を計算する際に流域全域の性質を網羅されていないことも考えられる。

4. 2 融雪出水について

1989年と1990年、1991年の融雪量を水収支式(1)から求めたものを図-5に示す。この図に加えて融雪タンクモデル⁷⁾から求めた融雪量を示している。横軸は3月1日から経過日数、縦軸は累積融雪量である。また、広域積雪観測から求めた流域積雪水当量も描き加えている。両モデルから求めた融雪量はほぼ同じ値を示している。また、1989、1990年の広域観測から求めた値もほぼ等しい値を示している。しかし、1991年の観測積雪量は大きな値を示している。この理由は以下の通りである。積雪量を水当量に直す際に密度を0.45一定とおいている。これは融雪時の密度が0.4~0.5の値をとるためだが、1991年は、図-2からもわかるように、3月の高地部分では融雪が十分に進行していないことが考えられる。そのため一律0.45の密度を適用すると、積雪水当量は過大評価する事になる。

両モデルから求めた融雪量の特徴は以下の通りである。水収支式の方法はダムサイトでの流出量と流域内の降水量、蒸発散、地下水収支から求められている。そのため、前報ではダムサイトでの融雪出水量と考えられた。また、タンクモデルの場合には、集中型融雪タンクからの出水量であり、積雪層内での融雪量と考えらる。流域に1タンクである全積雪面積一律の融雪である。

1989年や1990年のような小雪年では、タンクモデルも水収支も同じ様な傾向を示す。タンクモデルの層内融雪が始まり遅れて融雪出水が起こっている。その遅れはほぼ25日前後である。しかし、多雪の1992年では、層内融雪と融雪出水が、ほぼ同時に起こっている。これは図-6のようなためと考えられ、標高の低い地点で層内融雪の量が多いためである。つまり、積雪が多い場合、融雪洪水は早い時期に起こることになる。

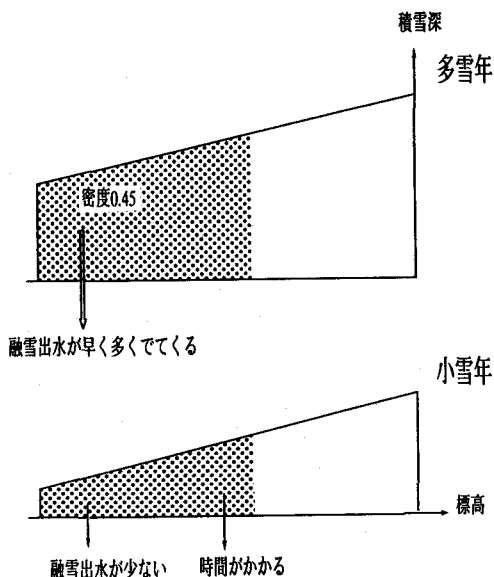


図-6 融雪出水概念図

地下水の挙動は不明であるため、これらの出水の差を予想するのは困難である。前報において水文年を7月

からにした場合、収支において流出の方が多く得られた。これは融雪のためと考え、面積情報から6月の中旬には積雪は認められないため、2カ月半から3カ月の遅れがあるものと考えられる。これは、標高差が大きくなればなるほど差は大きくなる。

多くの融雪はおよそ60日から70日で完了することがわかる。また、1990年は小雪であり、このような年は融雪量と融雪出水量の立ち上がりの傾きがほぼ等しくなっている。これは積雪層内での貯留の容量が少ないためと考えられる。また、層内の融雪は積雪面積の減少とともに、日融雪量も減少するが、融雪出水量は日割合はほぼ一定である。

5. 結論

本研究から得られた知見を以下に示す。

1. 年間の降雪補正は本研究において示した方法でおおよそ可能である。
2. 流域積雪パターンは多雪小雪の時によって違う。
3. 実蒸発散量はThornthwaite法でよく表わせる。
4. 融雪出水の日割合はほぼ一定である。

ここで得られた水収支の知見は、より広域に拡張された場合の留意点となるだろう。より正確な水収支を求めるには、積雪層内の密度の挙動を性格に把握することである。また、長期間の観測や、他の流域に適用することで、より降水や融雪の形態が明らかに成るだろう。

謝辞：本研究のデータは電源開発㈱と東北電力㈱のものを利用して戴いた。ここに便宜をはかって戴いた関係者各位に感謝の意を表明します。本研究に当たり文部省科学研究費補助金（特別研究員奨励費）と河川整備基金の補助を得た。また、公表に当たり小川基金の援助を得た。併せて謝意を表します。

参考文献

- 1) 沖大幹, 虫明功臣：地球規模でみた世界主要河川の流域水収支, 第48回年次学術講演会講演概要集, 第2部, pp.62-63, 1993.
- 2) 端野道夫, 吉田弘, 村岡浩爾：森林水循環モデリングと水収支の評価, 水工学論文集, 第36巻, pp.521-528, 1992.
- 3) 岡本芳美, 石橋邦彦, 米沢富信：距離40kmにわたる連続的な雨量観測, 水文水資源学会研究発表会要旨集, pp.216-217, 1993.
- 4) 山田正, 藤田睦博, 茂木正, 中津川誠：山地流域における降雨観測と降雨の特性について, 水工学論文集, 第34巻, pp.85-90, 1990.
- 5) 風間聡, 沢本正樹, JIRAYOOT Kittipong：滝ダム流域における融雪期の積雪深モデル, 水工学論文集, 第36巻, pp.611-616, 1992.
- 6) 野上道夫：暖かさの指数と流域蒸発散量-気候値メッシュデータによる解析-, 地学雑誌, Vol.99, No.6, pp144-156, 1990.
- 7) Kittipong Jirayoot, So kazama and Masaki Sawamoto：The Application of Snowcover Area Evaluation from Remote Sensing Data to Snowmelt Runoff Tank Model, 水工学論文集, 第35巻, pp.57-62, 1991.