

滝ダム流域における融雪期の積雪深モデル

Snowdepth model during snowmelt season in the Taki dam basin

風間聡*・沢本正樹**・Jirayoot KITTIPONG***

By So KAZAMA, Masaki SAWAMOTO, Jirayoot KITTIPONG

An evaluation method of total precipitation (snow and rain) volume in the Taki dam basin from a few meteorological points is discussed. This method is based on comparison of snow depth data at observation points with the snow survey conducted once a year. 1)Evapotranspiration and groundwater balance are evaluated by Thornthwaite method and by simple model respectively. 2)Water balance in the basin is studied in snowmelt season. 3)Taking account of the relationship between snow moisture volume and snow area from NOAA-AVHRR data, snow depth distributions is estimated.

Keywords: water balance, snowmelt, snow depth, NOAA-AVHRR data

1. はじめに

山地の積雪深が高度にしたがって増加することはよく知られている。これらについての研究や報告は山田¹⁾や小池²⁾などにみられ、流域内において積雪水当深と高度の関係が直線で表わせることが示されている。しかし、比較的大きな流域を扱う際、いくつかの違った地形の小流域を含むため、全流域一律にこの直線関係を適用することはできない。斜面の勾配、植生、人工物の存在など様々な影響を受けて融雪が起こるため、積雪深の空間分布状態は、複雑で一意的には決まらない。またその測定の高難しさから不明の点も多い。観測機器の密度の低さのため、山地内の降水空間分布を正確に把握出来ないことも、積雪分布を知ることを困難にしている。観測代表点から分布状態を知るにはThiessen法がよく知られている。しかし、この方法は平地での適応性は良いが、起伏を伴う地域では正確さに欠ける。近年レーダー雨量計の整備が進み、空間分布を知る有効な手がかりとなったが、レーダーのレンジに入っていない箇所があったり、降雪粒子の不均一さから相対的な強度が判る程度にとどまっているなど、今後の研究成果を待たなければならない。

流域内では、定期的に得られるデータとして、ダムサイトの出水量、気温、降水量がある。国土数値情報

* 学生員 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
*** 学生員 工修 東北大学大学院工学研究科
(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

や衛星データもデータベースとして使えるだろう。本研究では以上のようなデータを用いて、各種観測地点の密度の低さを補い、山岳地帯の融雪期の積雪深分布を知ろうとするものである。そして、この結果について考察した。

2. 対象流域と観測点

対象流域は図-1に示す阿賀野川水系の只見川上流の滝ダム集水域である。この流域は奥只見ダムを含む西側の只見川流域と、檜枝岐を含む東側の伊南川流域とに二分され、越後山脈の2000m級の高峰が並ぶ日本有数の豪雪地帯である。その水資源の豊富なことから多くのダムが建設されている。流域面積は1991.4km²で、そのほとんどは森林で占められている。

対象流域内には5ヶ所のダムがあり、流入量と流出量を計測している。また、小規模な取水ダムによる流域変更も多く、一部は流域外の発電所に放流されている。流量計算の際にはこれらの値はすべて考慮にいたれた。気象データは、このうちの3ヶ所のダムと1ヶ所のAME-DAS観測点において観測されている。取得データは降水量、気温、積雪などである。また無雪期間の6月中旬から10月中旬まではロケット雨量計2ヶ所の観測が行なわれている。

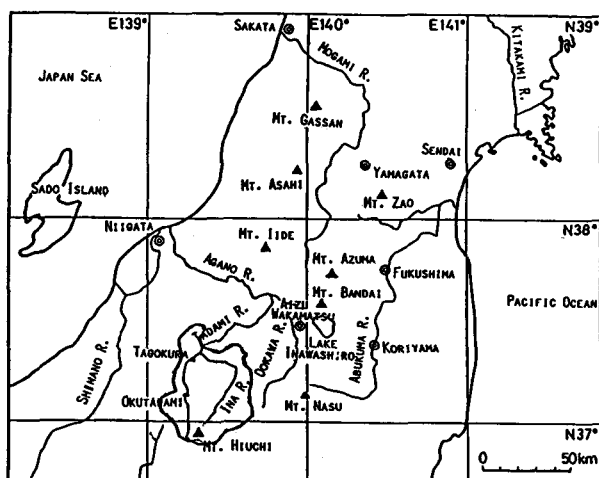


図-1 対象流域

3. 山岳地域の降水量について

山岳地域は地形が急峻なため、地形の影響を受けて複雑な降水分布をする。従って流域内の数少ない代表の観測値をもって流域全域を代表しようとする場合には、慎重な考慮が必要となる。具体的には、滝ダム流域ではダム地点での降水量で流域内の降水量を代表させ、年間の累積降水量と累積流出量とを比較すると、流出率が1をやや越えた値となり、物理的に説明がつかないことになる。これは、冬期の降雪分布が標高の影響を強く受け、ダム地点の降雪量が小さめの値となっているためと推測される。そこで、本研究では冬期の降水について、近藤ら³⁾の降水量補正の考え方を、滝ダム流域に適用し、年間流出機構について考察する。

近藤らの方法は以下の通りである。流域において、電源開発側の融雪期直前に行なう25地点の広域積雪深調査から、積雪深と標高の回帰式を導く。標高別流域面積に回帰式の積雪深をかけあわせ、融雪時期の密度0.45を乗じて流域全域の積雪水当量を求める。この積雪水当量を流域面積で割ることで、流域平均の積雪水当量を求める。この値と観測所の積雪水当量を比べ、その比から降水量の補正を行なうものである。近藤らはこの倍率を12年間に渡って調べ、平均1.22倍の値を求めた。年間を通じて流域降水量は観測点降水量にこの値を乗ずる方法を用いている。

上の方法の適用性は、降雪と降雨では当然異なると考えられるので、まず、その点を調べる。滝ダム流域内の降水分布を知るため、図-2に2年間の夏期における標高と月間降水量の違いを、図-3に年間総降水量と標高の関係を3年間プロットしている。なお、2点はロケット雨量計のため降雪期に動いていない。標高930m付近である伊南川筋の檜枝岐観測所を除いて考えると、この両図から、年間は標高による降水量の増

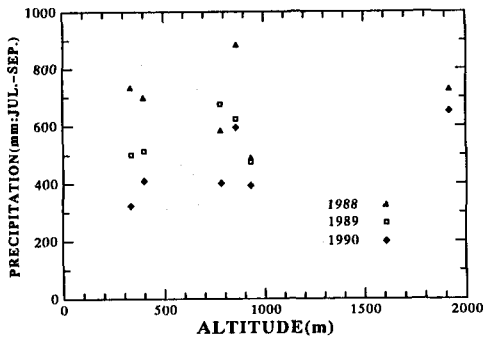


図-2 標高と夏期降水量

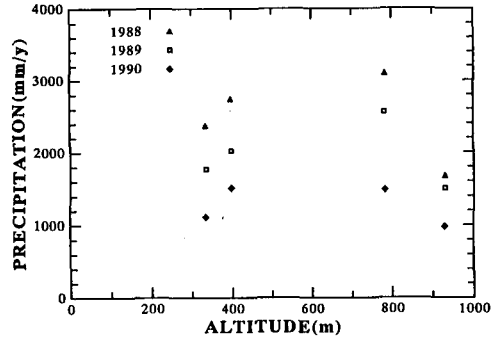
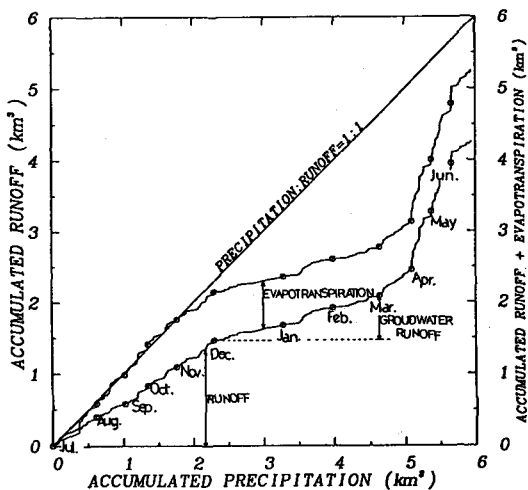


図-3 標高と年間降水量

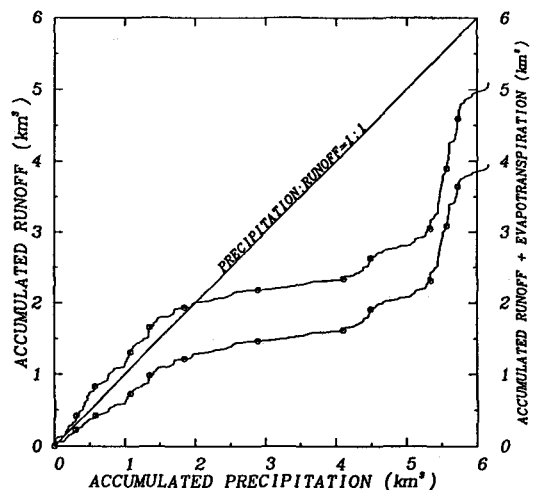
加が認められるが、夏期は決まった傾向がなく、値に大きな差はない。1990年の降水量は3年間の中で最も小雪の年であり、大きな増加は認められない。しかし、ダム地点の観測によると積雪は標高による増加が認められる。そこで、今回は近藤らの方法を各年毎に求めた降水量補正係数を降雪期（12月～2月）にのみ適用し、その他の時期にはデータを補正しない方法を適用した。滝ダム流域には電源開発㈱の広域積雪深調査点が26点あり、そのデータにダム地点のデータとAMeDASのデータを加えて標高積雪深回帰式を求めた。積雪密度は近藤らと同じ0.45を用いた。補正係数を求めた結果を表-1に示す。

表-1 補正係数

8 Mar. 1989	DENSITY	0.45
AREA NAME	SNOW DEPTH (cm)	RATIO
BASIN AVERAGE	236	1.00
OKUTADAMI	229	1.03
TAGOKURA	93	2.53
TAKI	78	3.02
HINOEMATA	85	2.78



1988, 6-1989, 7



1989, 7-1990, 6

図-4 流域水収支図

4. 融雪流出量

図-4に'88年と'89年の7月から翌年の6月までの累積降水量と累積流出量を横軸と縦軸にプロットする。併せて、流出量と蒸発散量の和の累積量を縦軸に表わす。降水量は3節で求めた補正係数を乗じたものである。蒸発散はThornthwaite法により求め、日平均にしたもので表わしている。この図から夏期に流出量と蒸発散量が降水量と一致しており、夏期の流域からの支出は、出水と蒸発散だけであることが図からわかる。降雪期に出水量は減り、融雪期には増加している。年間を通して10%ほどの損失があるが、降水量の補正や冬の蒸発散量がうまく表現されていないことが挙げられる。

流域内の気温が零下で融雪がまったく起こらないなら、冬期の出水は地下貯留水の出水量となる。このことから対象流域の水収支を、3つの季節に分け、図-5のようなサイクルで表わす。すなわち、融雪期には降水量と融雪量が、冬期に低下した地下水位を元に戻すまで供給するものになっている。このことから融雪量は次の式から求められる。

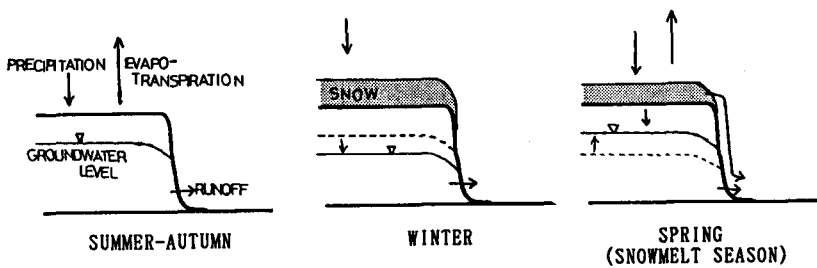


図-5 水収支サイクル

$$\text{融雪量} = \text{流出量} + \text{蒸発散} + \text{地下貯留} - \text{降水量}$$

ここで地下貯留量は、12月から2月の流出量が全て地下水流出とし、この量が3月から6月の期間に毎日同じ割合で補われる量とした。上の式からの累積融雪量と3節で求めた'89年3月8日の積雪量、併せて同じ時期に同じ流域で行なった融雪タンクモデル⁴⁾から得られた累積融雪量を図-6に表わす。両累積融雪量はほぼ同じ値を示している。標高積雪深回帰式から求めた積雪量が大きめの値を示すが、積雪密度のばらつき、積雪深が回帰式では表わしきれないなどの理由が考えられる。タンクモデルとの立ち上がり角度の違いについては次のように考察する。タンクモデルは気温を関数としているため、気温がプラスになると融雪することになる。水収支から求めた量は、流出量に大きく依っているため、ダム地点に流出してこない融雪量が得られ

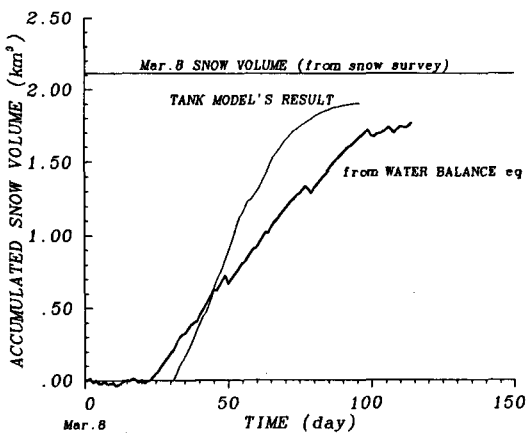


図-6 累積融雪量

ない。そのため、両者の立ち上がりの違いは融雪量と融雪出水量の違いであると考えられる。また、タンクモデルの計算は4月1日からなので累積融雪量はこの図より多いことも考慮されなければならない。

5. 積雪分布

4節で求めた累積融雪量が一定になった箇所の値が、3月8日の積雪量である。この値と融雪量との差が流域にある積雪量となる。この量とNOAA衛星のAVHRRから判断した積雪面積とを突き合わせて、山間部の積雪深を求める。NOAA衛星からの積雪面積の判断は可視、近赤外、赤外を用いたアルゴリズムによる⁵⁾。4月4日、4月26日、5月4日、5月27日に観測した積雪域の雪線を流域内に引いたものを図-7に示す。それぞれの日の積雪量、積雪面積を V_i 、 A_i とすると、台形公式より、各日間の積雪水当深 Δh は、

$$\Delta h_i = \frac{V_i - V_{i+1}}{0.5 \times (A_i + A_{i+1})} \quad (1)$$

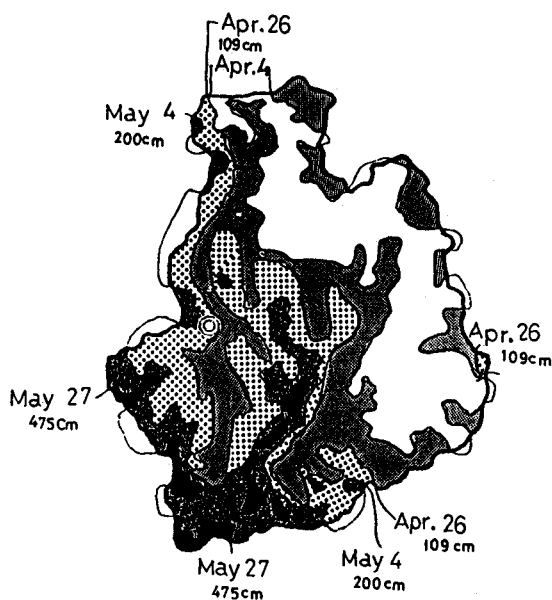


図-7 流域積雪深図 (1989, 4, 4)

で表わされる。いま融雪が流域全域で均一に進むとすると、 Δh を積雪密度0.45で割ることで、図-7に示した雪線間の積雪深が求められ、雪線の内側に加算することで4月4日の積雪分布が得られる。図-7に付記されたcmの単位が積雪深の分布を表わしている。この時、図中に示した◎が奥只見ダムの位置であるが、この積雪は4月4日が197cm、4月26日が100cmであり、一致している。また、他の積雪観測点も標高の低いところであるがよくマッチしている。

この図から積雪状態を考察すると、標高の高い所と、高度1000~1500mの所に豊富な積雪がある。西側、伊南川筋では積雪も少なく、融雪も早い。斜面が急な個所では積雪深は急激に増えている。また融雪は4月下旬から5月上旬にかけて急激に進んでいる。

6. まとめ

山岳流域内の降水量を観測代表点の測定値から求める方法を考案した。積雪深を広域的に測定している地域では有用な方法であると考え。また、この方法から求めた累積降水量とダム地点の累積出水量から流域水収支を、降水、出水、蒸発散、融雪、地下貯留、地下流出に分けて考えた。蒸発散はThornthwaite法、地下水収支は簡易モデルによって推算し、水収支式より融雪量を求めた。また、融雪量とNOAA衛星AVHRRデータ

の積雪面積から流域の積雪分布を求める方法を示した。この方法は衛星画像のシーン数が多ければ、より細かく分布を知ることが出来る。しかし、融雪機構や地下貯留など不確かなものも多く含んでおり、年間収支において10%程度の未知の損失が見受けられた。

この方法を流域内において長期に渡って適用することで、流域内の積雪分布の傾向を知ることが出来る。積雪分布を知ることによって融雪を含んだ流出モデルが精度よく開発出来ることであろう。

謝辞：本研究を行うに際し、電源開発㈱と東北電力㈱の貴重なデータを利用させていただいた。ここに便宜を図っていただいた関係各位に深甚なる謝意を表します。NOAAデータの処理にあたっては東北大学理学部川村宏助教授、東北緑化環境保全㈱枝松芳枝氏に多大のご助力をいただいた。併せて、謝意を表します。本研究における衛星データは東北大学と東北電力㈱との共同研究の一環として解析されたものである。また、文部省科学研究費重点領域研究『衛星による地球環境の研究の解明』の補助を受けた。併せて謝意を表します。

参考文献

- 1) 山田知充：山地における降雪と積雪の分布，日本気象学会北海道支部だより第28号，pp.13-25，1983.
- 2) 小池俊夫・高橋裕・吉野昭一：融雪量分布のモデル化に関する研究，土木学会論文集，第363号，II-4，pp.165-174，1985.
- 3) 近藤純正・渡辺力：広域陸面の蒸発－研究の指針－，日本気象学会誌「天気」，38，pp.19-30，1991.
- 4) Kittipong Jirayoot・So kazama・Masaki Sawamoto：THE APPLICATION OF SNOWCOVER AREA EVALUATION FROM REMOTE SENSING DATA TO SNOWMELT RUNOFF TANK ANALYSIS，水工学論文集，第35巻，pp.57-62，1991.
- 5) 風間聡・沢本正樹・Kittipong Jirayoot：NOAA-AVHRRデータを用いた残雪域の把握と融雪出水，水文・水資源学会誌，VOL.4，NO.1，pp.33-37，1991.