

小さなダム の 流量報告 に 基づく 鳥海山 の 残雪流出解析*

土 屋 巖**

要 旨

鳥海山の南斜面にある治水専用の月光川ダム貯水池の1979~1982年の流量報告の流入量データを用いて、鳥海山の高度1000 m以上の残雪地帯で年降水量が12000 mm以上になり、流入量の顕著な日変化が5~7月にかけて、残雪の融解によって晴天日に発生することを示した。また、衛星データによる残雪流出解析との照合解析の可能性を検証した。

1. はじめに

筆者は、さきに人工衛星ランドサットのデータを用い、鳥海山の残雪の流出解析をした(土屋, 1981)。1979年5月4日と22日の算出残雪面積の変化に基づいて、消失係数を求め、残雪面積の消失式

$$S = Ae^{-0.0258t} \quad (1)$$

を作成し、 S に消雪深を乗じて融雪期間の総流出量を算出した。(1)式は基準日 $t=0$ の面積 A が t 日後に面積 S に減少することを示したものである。実測と推定に基づく消雪深をいれた月別流出量の合計は、1979年5~9月で、 $345.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ になった。5~9月の残雪密度の平均を0.5と仮定すると、 172.8×10^6 トンになり、基準日5月4日の残雪領域 61.1 km^2 における降水量換算は約2800 mmになる。基準日以前の流出量は降水量換算で約1500 mmと仮定すると、積雪からの全流出量は約4300 mmの降水に相当し、かなり大きな数値である。これに暖候期の雨を加えるため、平地から山の中腹にかけて存在するいくつかの雨量観測所の測定値に基づく、高度増加分を考慮すると、1500 m以上の高度で年間1万 mm以上の降水現象の発生が考えられる。

鳥海山の周辺には、いくつかの小型のダム貯水池や水

路式小規模発電所があるので、流量データを用いて残雪の寄与状態を含めて、年間の山地降水現象の手がかりが得られる。

第1表に残雪の多い鳥海山南斜面にある月光川ダムと日向川草津測水所、および40 km南にあってやはり残雪の多い立谷沢川測水所の流量年表から算出した流出高を示した。

蒸発散量は算入されていないが、いずれも公式の気候図(たとえば気象庁:日本気候図第1集, 1975)から理解できるものより、かなり大量の降水量になることが想像できる。第1表の中でも、水路式発電所の測定値は、大雨等による大流量の場合に過小値になる恐れがあり、ダム貯水池のほうが精度が高いと考えられる。

ここでは、月光川ダムの管理日報に記録された毎時流量記録等に基づいて、残雪の流量に対する影響を、天候と季節および年々の気象的変動の面から考察し、あわせて衛星データによる積雪解析の役割を吟味した。

2. 月光川ダム

月光川ダムは、山形県飽海郡遊佐町に西に流れる2級河川月光川(流域面積 152 km^2)の上流部にある。第1図に示すように鳥海山の南斜面の一部 27.6 km^2 を集水域にして、中下流部の洪水氾濫防除区域は 30.1 km^2 という小型の治水専用ダムである。湛水面積 0.15 km^2 、総貯水量 178 万 m^3 の小さな貯水池からは常時開かれた2本の放流管によって放流され、計画洪水容量 $470 \text{ m}^3/\text{s}$ のうち計画放流量 $370 \text{ m}^3/\text{s}$ によって、調節流量は $100 \text{ m}^3/\text{s}$

* The snow-pack discharge analysis of Mt. Chokai based on the flow data of a small dam.

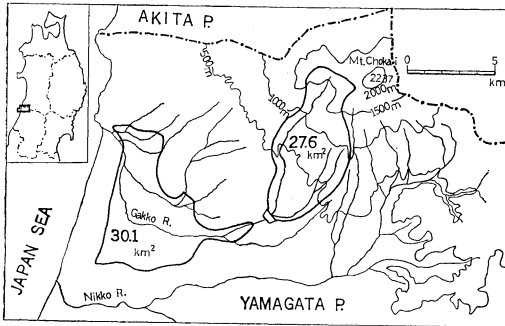
** Iwao Tsuchiya, 国立公害研究所.

——1983年6月3日受領——

——1983年10月11日受理——

第1表 残雪の影響を受ける河川の年流量 ($\times 10^6 m^3$) と流出高 (mm).

	月光川ダム 27.6 km ²		日向川草津 54.4 km ²		立谷沢川 69.7 km ²	
	($\times 10^6 m^3$)	(mm)	($\times 10^6 m^3$)	(mm)	($\times 10^6 m^3$)	(mm)
1979	170	6100	256	4700	316	4500
1980	183	6600	206	3800	247	3500
1981	208	7500	257	4700	367	5300



第1図 月光川ダム集水域 (27.6 km²) と洪水氾濫防除区域 (30.1 km²).

になっている。

ダムは1978年に完成し、流量等の測定が開始されたが、観測装置の調整等があり、1979年以降の測定値が利用可能である。流入量は年表によると、1979年 $169.66 \times 10^6 m^3$ 、1980年 $182.78 \times 10^6 m^3$ 、1981年 $208.45 \times 10^6 m^3$ であって、集水域 27.6 km² に対してきわめて多い。蒸発量を年 600 mm と仮定すると、集水域の平均降水量は 6700~8100 mm になるからである。

ダムは治水専用であり、放流管は常時開放して、自然放流の方式を採用しているため、水位と流量の関係を示す流量曲線等の吟味が十分なされていない。貯水位と放流量の測定値に基づく流入量の精度はかなり高いものと見なせる。このダムにおける流入量の算出は、水研62型長期自記に基づく水位計の10分ごとの記録から10分間の水位変化を、貯水量変化 ΔV に換算し、毎秒の値になるように次の(2)式によってなされる。

$$Q_{in} = \Delta V / 600 + Q_{out} \quad (2)$$

ここで、 Q_{in} は流入量、 Q_{out} は放流量で単位は m^3/s である。 Q_{out} は放流管 $3.6 m \times 3.6 m$ 2条の合計値であり、流速によって求められるが、放流量 $3 m^3/s$ 以下では精度が下がるといわれている。

管理日報には、(2)式に合わせて、水位、水位増減、流入量、放流量の毎時の記録および降水量、気温等の記載があり、降水については源流部 三の滝の測定値が加えられ毎正時の値が報告されている。1982年からテレメータ日報に換えられ、それに記事を追加する形になった。また、集計表として貯水位・流入量・放流量年表が作成され、日表月報の形式でまとめられ、山形県が管理している。

開設以来、1982年8月までの間、雪どけの多い5~6月および集中豪雨の発生した場合も、計画洪水水位を十分に余裕をもって下回ることが多く、ダムは完全に機能を果たしていた。したがって、ダム貯水池の流入量に基づく流出解析はかなり高い精度で実施できるものとみなせる。

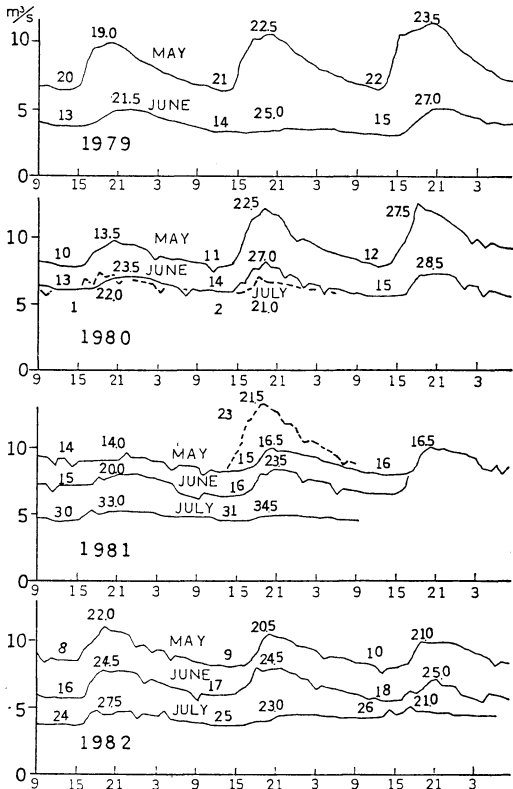
3. ダムの毎時流入量に現れた残雪の影響

山地の氷河を発電等の水資源にしている場合、春から夏にかけて流出量が増加すると同時に、気温や日射などの融雪氷に関連する要素の日変化に対応して、顕著な流出量日変化の現れることが知られている (Elliston, 1973)。しかし、日本の多雪山地の豊富な残雪が春から夏にかけて、氷河と同様の流出傾向を見せるか否かについてはほとんど知られていない。

月光川ダムの日報の毎時流入量を見ると、5月以降残雪がわずかになる7月ごろまで、雨の降らない日には、最高気温の出現時刻から数時間遅れでその日の最大流入量になることが多い。しかし雨が降ると1~2日間は最大値の時刻が乱れる。第2図は、5~7月について雨による乱れが解消した日から、2~3日間の晴天連続期間の1時間ごとの流入量の推移の、各年の代表例である。

1979年の7月は流量も少なく、また日周期現象もほとんど見られなかったので省略した。

残雪の主要部が存在する源流部から、ダム地点までほぼ 10 km ほどあるため、最高気温の出現時刻からほぼ数時間遅れて流入量が最大になり、昼間が低極になるこ



第2図 月光川ダムにおける晴天日の流入量日変化 (数字は日付と日最高気温を示す)。

とは氷河の場合と同じであるが、日変化の振幅の最大は5月に現れて、6月、7月と小さくなる。氷河の場合は4月、5月と振幅と流量は共に増加し、7月に最大になる。残雪がそれほど多くないと4月下旬に最大になる例が報告されているが(小林, 1979), 鳥海山のように多数の越年性残雪の存在する山地では、越年はしないまでも真夏まで残る残雪はかなり多く、第2図はそのような残雪の存在が7月になっても晴天日の日変化現象の原因になっていることを示唆している。

1979年の5月についての衛星データに基づく残雪深度分布図(土屋, 1981)では、月光川ダムの集水域には、冬季北西季節風の風下斜面で高度1000m以上の場所に豊富な残雪が存在し、中には10mを越す厚さの残雪も表示されている。10mの厚さがあると、5月だけでなく6~7月にかけて融解し、ダム湖の流入量に残雪効果の証拠を残すことになる。

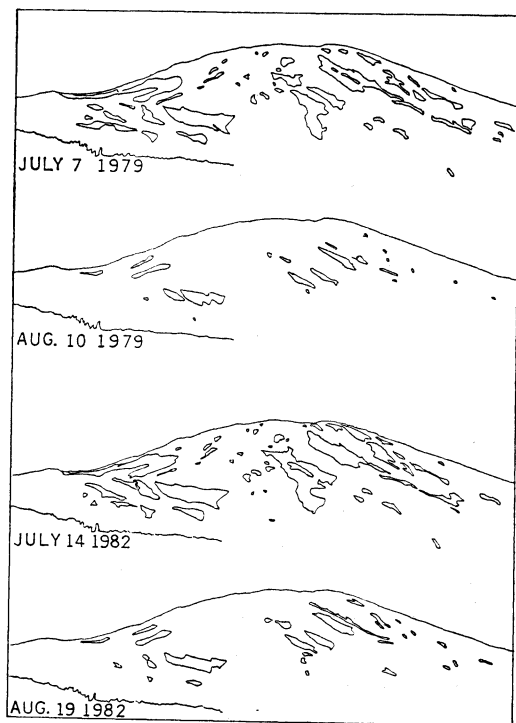
典型的な氷河になると氷体の厚さも数10mを越すよ

うになり、夏の高温日にだけ流入量を増やすものといえる。厚い残雪は氷河に近い流出形式を取るが、集水域のごく一部に存在している場合には、流入量の記録から検出するのはかなり困難になってくる。月光川ダムでは、(1)式によると、5月はじめの残雪面積約9.0km²は6月7月のそれぞれはじめの頃4.2km²および1.9km²に減少し、残雪効果は少なくなる。これは、1979年の例であるが、晴天日の流入量に大きな年々変動の示されたことは、残雪量の年々変動、すなわち冬の山地積雪量の年々変動がかなり大きいのではないかということを示唆している。たとえば、5月はじめの残雪面積が20%大きく、消失係数が20%小さいとすると、7月はじめの残雪面積は3.1km²になり、60%以上増えるので、残雪効果の及ぶ日がさらに延長されることになる。

4. 鳥海山の残雪の年々変動と流出

1979~1981年の衛星データに基づく残雪面積の解析では、1979年が最小であるが(土屋, 1982), 暖候期の山地雨量について、ダム集水域の東境界近くにあるロボット雨量計(高度1199m: 地域気象観測降水量月報)の6月下旬~10月上旬の合計値をみると、2490, 1841, 1820mmとなり1979年が最大である。流量に対する積雪の寄与量を第1表から判別するのは困難であるが、残雪効果の明らかな6月までの半年流入量を積雪寄与量とすると、ダムの流入量年表によって、それぞれ96.6, 90.8, 106.7(×10⁶m³)となり、1981年が最大である。1980年が最小になったが、1979年には6月にほぼ残雪効果が終わって、7月に持ち込量が少なかったのに対して、1980年には7月に至るまでかなりの残雪があったためと考えられる。なお、6月の雨量についても、1979年のほうが雨が多く、残雪の寄与量に算入されてしまったことも考える必要がある。いずれにしても年流出量の半ば近くを積雪が受け持ち、山地雨量と同様にかんりの年々変動があることがわかる。

積雪の年々変動は、残雪の季節の始まる5月以降に衛星データを用いることで判別できることを前述したが、地上における定点写真も定性的な判断資料になる。第3図にその例を示したが、1982年は1981年とほぼ同様の残雪効果を第2図によって推定できることに対応して、1979年の場合より明らかに残雪量が多いことがわかる。残雪の推移は暖候期の気象に影響されることが多く、簡単に冬季積雪の指標にはならないが、定性的な指標になり得ることがわかる。



第3図 鳥海山の残雪分布 (山頂の南約10kmからの定点写真から作成。写真は、高田行光・萩野幸雄両氏の撮影)。

第3図は鳥海山で最も残雪の多い南および南東斜面を示している。第1図のダム集水域は西の山かげにはいつているため見えないが、残雪分布の衛星データ解析によって、年々の変動傾向はほぼ同じであると判断できるため、1982年が1979年より残雪が多く、7月になるまで流入量に残雪効果を示したことの推定できる資料になる。なお、1979年には残雪が少なく、7月には残雪効果が認められなくなったことも符合する。

第1表に示したように、月光川ダム集水域の平均降水量は、流入量から算出すると、1981年に流出高が約7500mmになり、蒸発散量を約600mmと仮定すると年間降水量は8100mmにもなり、ダム地点の降水量2430mmから考えて、大幅な山地の降水量増加量が必要になる。湿潤気流の斜面強制上昇による降水が指数関数的に増加するとみなして、高度 h (m)の降水量 P_h (mm)を

$$P_h = P_0 + kh_a \quad (3)$$

で表現すると、高度0mの降水量 P_0 を2000mm、年による変動係数 k を1、 a を1.3にした場合、 h (m)が

350, 750, 1250では、 P_h (mm)がそれぞれ4029, 7465, 12617になって、平均値は約8000である。ここで与えた各高度は、集水域27.6km²が200~500, 500~1000, 1000m以上の各高度帯にほぼ3等分されるので、それぞれの平均高度に相当するが、ほぼ1981年の降水量の状態を表現した数値である。1000m以上の高さに豊富な残雪の地帯が散在するが、その地帯の年降水量が12000mmを越え、積雪の寄与はそのほぼ半分であると言える。はじめに1979年の積雪からの流出量を約4300mmと推定したが、残雪量が多く、したがって積雪量が多かったと考えられる1981年がほぼ6000mmに算定されたので、衛星データによる流出の算出が量的にほぼ妥当な値を示したことになる。

5. おわりに

洪水対策専用のダム貯水池の精度の高い流入量データを用いて、日本海沿岸多雪山地の降水量とそのなかの積雪の占める割合を算出し、概数としては衛星データによる流出算定値とはほぼ一致することを示した。利用した残雪の消失式、および降水量の高度別算出式はいずれも、現実の観測値に基づく経験式として係数を求めたので、観測データの蓄積によって修正改善の必要はあるが、大量の降水が高度1000m以上の場所で発現し、それが河川流出に大きな影響を与えていることは示すことができたと考えられる。

また、高度1250mにおける12000mm以上の年降水量は、もし2000mの高度でも同じ(3)式で表現できるとすると、20000mmの降水量の発現可能性を示したことになる。かつて、筆者は1974年4月6日の飯豊山の万年雪地帯(高度1600~2000m)の積雪深を航空写真測量によって算出し、直径1kmの円内の平均積雪深が17mに達することを見出した(土屋, 1976)。厚い積雪の場合には、密度も高いので残雪密度を0.5とすると、降水量換算で約8500mmになり、雨量が暖候期にほぼ同じ程度であれば、年降水量は約17000mmになって、前述の20000mmにほぼ相当する数値である。

水資源、防災対策および自然保全の分野での山地降水量の実態を知ることは必要欠くべからざることであるが、測定手段が制約されるため観測はきわめて困難であった。衛星データによる解析その他の技法による推定を導入することで、概数ではあっても事実を反映した算定値の得られる可能性を示した。

謝 辞

月光川ダムの流量データの利用について便宜を与えてくださった山形県、および1972年以来鳥海山定点写真を継続撮影して下さった酒田測候所の方々にお礼を申し上げます。

文 献

Elliston, C.R., 1973: Water movement through the Gornergletscher, IASH Pub. 95, 79-84.

小林大二, 1979: 融雪水の流出, 気象研究ノート, 136, 39-48.

土屋 巖, 1976: 飯豊山・月山・鳥海山の大量積雪および小規模氷河現象発生についての序報, 雪氷, 38, 178-187.

———, 1981: ランドサットデータによる鳥海山の残雪の季節推移の数値解析, 雪氷, 43, 155-161.

———, 1982: ランドサット MSS および RBV による山地残雪の解析—鳥海山と月山について, 昭和57年度日本雪氷学会 秋季大会 講演予稿集, 118.

第22期第4回理事会協議内容

日 時 昭和58年10月19日(水) 18.00~20.00

場 所 仙台市, 旅館「梅林」

出席者 岸保, 荒井, 嶋村, 杉村, 二宮, 村山, 田宮, 菊地, 柳原, 田中, 森安

協議内容(注: 理事会が定数不足のため成立しなかったので, 協議内容の報告にとどめる.)

(1) 昭和59, 60年度の第1次予算(案)について

担当理事から, 学会費値上げの必要理由について, 次の項目について説明がなされた.

ア. 機関誌の維持拡充

長年の懸案であった「天気」, 「気象集誌」の頁数をふやしたい.

イ. 事務局体制の確立

会員数も増えているので, 事務局長プラスアルバイト制を確立して, これに対処したい.

ウ. 支部活動の強化

今回は支部交付金を2割アップして, 支部活動の活発化, 強化をはかりたい.

エ. 国際交流の促進化

中国との交流が手はじめであるが, 国際的な情勢に対処するようにしたい.

オ. 予備費の確保

これまで程度の予備費では, 学会の機能を十分に果たし得ないので, 増額の方向に持って行きたい.

以上の項目について, 各理事から活発な意見が出さ

れ, 値上げ幅を2割にするか3割にするかは, 常任理事会において検討のうえ, 各地方理事に御連絡するので, 後日意見を知らせていただくことになった.

(2) 日本気象学会国際学术交流委員会(案)について
理事長から, 提案理由の説明がなされ, 今後外国の研究者と交流を強めて行きたいと提案された.

(3) 「日本学術会議法の一部を改正する法律案」について
これについてはさきの理事会に提案された時点での問題について, 色々討論が行われた.

(4) 気候変動国際協同研究計画について

田中理事から計画書に基づいて

(目標Ⅰ) 長期予報の物理的基礎の確立

(目標Ⅱ) 大気大循環の年々変動の解明

(目標Ⅲ) 長期気候変動の機構と気候に対する人間活動の解明

についての要旨の説明がなされた.

(5) その他

ア. 昭和58年度日本気象学会奨励金受領者の決定の報告について

イ. 「天気」の10月号の目次及び11月号の予定目次について

それぞれ報告があり,

ウ. 「天気」編集委員の交替について

エ. 会員の新規加入の承認について

は, それぞれ第12回常任理事会に持ち越しとなった.