

気象要素が融雪及び融水流出過程に及ぼす役割の実験的研究

An Experimental Study on Effect of Atmospheric Factors Influencing Snowmelt Runoff

By T. Kumekawa, M. Hasebe, F. Tamura and M. Hino

衆川 高德* 長谷部正彦* 田村 文直* 日野 幹雄**

In this paper, the authors made a fundamental experiment to investigate the effect of atmospheric factors influencing snowmelt runoff, that is, wind speed, solar radiation, air temperature and terrestrial heat.

The amounts of snowmelt runoff was measured by the experiment under the condition considered solar radiation, air temperature and terrestrial heat which were controled and under the condition considered above mentioned factors in addition to wind speed.

Keywords: snowmelt runoff, atmospheric factor, solar radiation

1. はじめに

地球規模の環境変化すなわち気候温暖化に伴うことによって、河川の流出機構の見地からみると、春季の融雪が早く生じ、河川のピーク流出量の増加や到達時間が早くなることが予想される。一方、融雪水の流出が早く終え、流域内での日射、蒸発等により地面が乾燥化し、河川では渇水化することが考えられる。このような場合、融雪水を算定することが水資源上重要な問題となる。

さて、融雪出水の解析方法は、一般に熱収支に基づく方法すなわち融雪の原因となる熱量としての大気からの熱、大気中の水蒸気の凝結熱、日射熱などを熱力学的に計算して融雪量を見積る方法と、経験に基づく

* 学生員 宇都宮大学大学院 工学部建設学科

(〒321 栃木県宇都宮市石井町2753)

* 正会員 工博 宇都宮大学教授 工学部建設学科

(同上)

* 学生員 宇都宮大学 工学部建設学科

(同上)

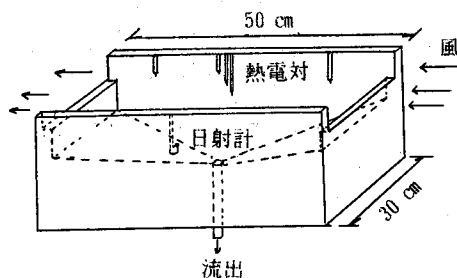
** 正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科

(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

方法として融雪の原因となる気象要素として、気温（温度分布）、風速（風速分布）、湿度、日射量、地熱、降雨からの熱、アルベド等があるが、これらの気象要素の代表として積算気温を用い融雪量を算定するのだが、気温のみでは日本のような高度差があり、かつ小流域では推定した融雪量は、地域及び解析ごとに気温融雪率が異なり、融雪量の予測を行うには不十分である。このように従来方法では、融雪の流出過程の物理的プロセスさえ、正確に自然の状態を表しているわけではない。ここでは、ある特殊な制御された条件下ではあるが、まず融雪現象を測って融雪流出過程の素過程をしらべて、ここから出発して融雪現象を解明しようとするものである。そこで、本研究では、融雪流出の基礎研究として、融雪流出過程に関与している気象要素として気温・日射・風・地熱を取り上げ、それらが融雪及び融氷流出過程に与える役割を実験的に検討し、融雪（氷）流出過程の素過程を調べることを目的とする。

2. 実験装置と内容

融雪流出過程の素過程を調べるのに実験装置1、2（文献1）、3（図1）を製作し、シャーベット上の氷または雪を用いて、気温・日射・風速・地熱を実験項目として、それぞれを組み合わせ、制御しながら実験を行った。装置1は主に気温のみを調べることを目的とし、保温型ジャーで製作した。底板はアクリル板で、排水のための排水口及び傾斜が施されている。装置2、3は主に風速（風速分布）の役割を明確に評価できるように製作した。装置2では風が氷または雪の表面積の一部分を通過するだけであったが、装置3では、風が装置内の全体を通過するように改良したものである。外壁は発泡スチロールで断熱効果は高い。底板はアクリル板により仕切り、傾斜をつけ、排水口を取り付けてある。実験内容は以下の通りである。



図一 装置3

実験装置内の気温を一定にし、

- ① 単位時間（10分毎）の流出量（融雪量と融氷量とをここでの流出量とする）を測定する。
- ② 日射量のある段階づつ増加（または減少）させように制御し、日射量をパラメータとして日射量と流出量との関係を調べる。（日射量：0.5～4.0 mV）
- ③ 風速を0.1～6.0 m/sの範囲で制御し流出量を測定し、風速（分布）と流出量の関係を調べる。
- ④ 風速・日射を制御しながら流出量と（風+日射）の関係を調べる。

次に、気温を変化させて（気温：10～20℃）

- ⑤（日射・風速）を一定として流出量と気温及び温度分布との関係を調べる。
- ⑥ 地熱を底面より与え（実験装置のアクリル板の下に被覆のある熱線を入れる）①～⑤までの実験を行い、流出量と地熱及び日射・風速（風速分布）・気温（温度分布）との関係を調べる。
- ⑦ 蒸発散量を次式より求める。

$$\text{蒸発散量} = \frac{\text{実験前の雪（氷）の重量} - \text{実験後の流出量の重量}}{\text{実験前の雪（氷）の重量}} \times 100 (\%)$$

- ⑧ 日射量を一定とし、風速を段階的に変化させて流出量を測定することにより日射量と風速（分布）との関

係を調べる。

ここで、実験装置内の気温一定という条件は氷を用いた場合、装置1では18℃、装置2では10℃に制御して行った。また、雪を用いて行った場合には7℃～18℃の間で実験した。装置3では14℃～20℃の間で実験した。各実験毎の融雪（氷）水の温度、シャーベット状の氷温、雪の中の温度、日射量、温度分布及び風速はデータオールにより測定した。温度の測定には熱電対温度計を用い、他の要素からの影響を受けないように測定した。風速の測定にはクリモマスターを使用し、装置内の各点の風速を測定し風速分布を推定した。さらに、日射のある場合には、風速測定により日射が影響を受けないようにして測定した。シャーベット状氷の充填に関しては、氷をシャーベット状に砕き、実験装置内に自然に充填した。又、実験に使用した雪または氷の量はそれぞれほぼ等量になるように配慮した。

3. 実験結果と考察

3. 1 装置1の場合

図2、3にシャーベット状の氷（試料の大きさは1cm³程度）を用いた場合の実験結果を示す。

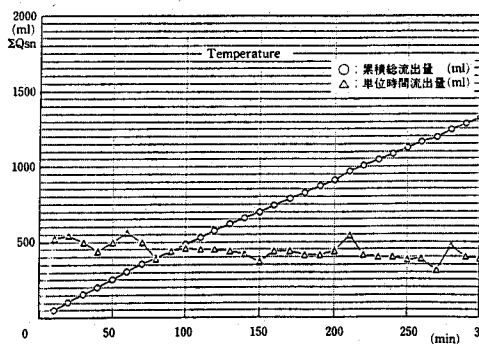


図-2 流出量（気温）

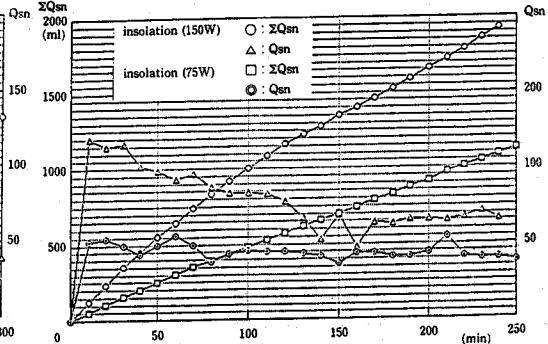


図-3 流出量（日射）

この図から、単位時間流出量は温度のみの場合には、ほぼ一定であるが、気温を一定にして日射を強くしていくと流出量が初期に大きくなり、当然のことながら積算流出量（Qsn）が大きいことがわかる。また、流出量は日射量の強さに比例していることが示されている。次に、雪の場合についての実験結果を図4に示す。日射のみを加えた場合に90分位の遅れ時間を経過してから融け出し、単位時間流出量は、氷の場合と同様にほぼ一定であることがわかる。このときの時間の経過と共に変化する温度分布を図5に示す。図より、時

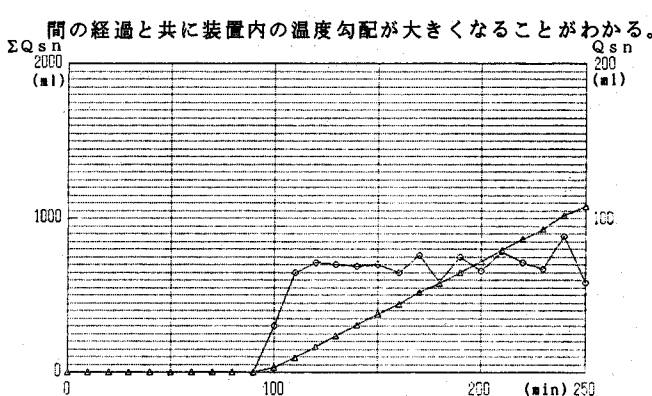


図-4 流出量（日射）

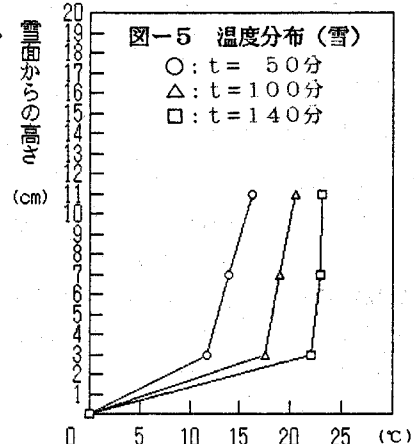


図-5 温度分布（雪）

図6は氷を用いた場合のある時点での温度分布を示す。この装置では温度のみに比べて T50、T100（50分100分経過時の温度分布）は日射を加えた場合の方が温度勾配がきついことがわかる。次に、雪を用いた実験結果の温度分布を図7に示す。

T50、T100 共に温度のみに比べて、日射を加えた方が氷の場合と同様に温度勾配が大きい。

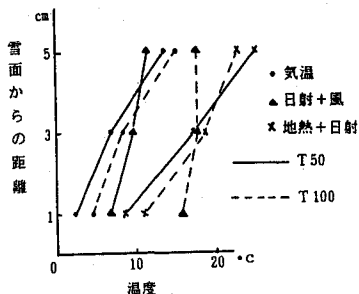


図-7 温度分布（気温、日射、地熱）

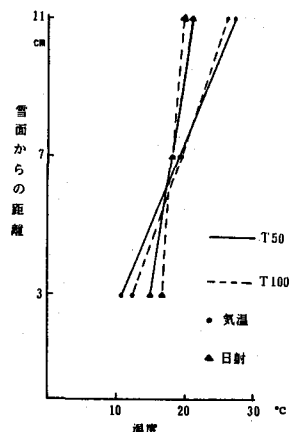


図-6 温度分布（気温、日射）

3. 2 装置2の場合

氷を使用した場合の結果を図8に示す。図より、積算流出量は風のみより日射を加えた方が日射量に比例して大きいことがわかる。雪を使用した場合の結果を図9、10に示す。融雪までの遅れ時間は50分から60分になっており風速の速い方が遅れ時間が短い。図10は風のみ、風+日射、風+地熱を比べたものである。風のみに比べて日射、地熱を加えた方が融ける時間が速くかつ大きい。

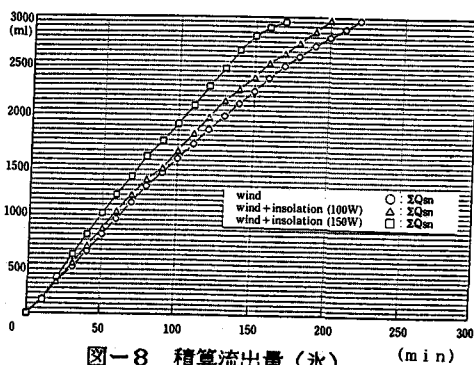


図-8 積算流出量（氷）

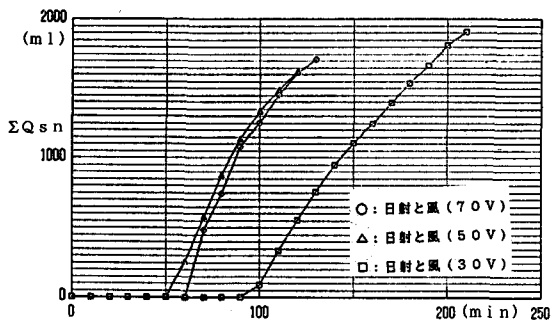


図-9 積算流出量（雪；日射、風）

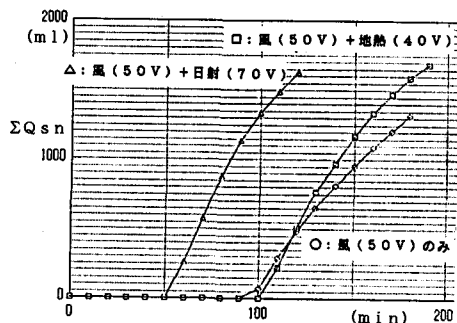


図-10 積算流出量（雪；日射、風、地熱）

ある時点での温度勾配は、この装置でも装置1と同じことがいえる。しかし、地熱を加えた場合にはそれほど温度勾配は大きくなっておらずかなり緩やかになっている。流出特性を調べるために、積算流出量を総流出量で除して無次元化したグラフを図11に示す。これらより、雪の融ける場合のグラフの勾配は上に凸であり、氷の場合には下に凹になっていることがわかる。

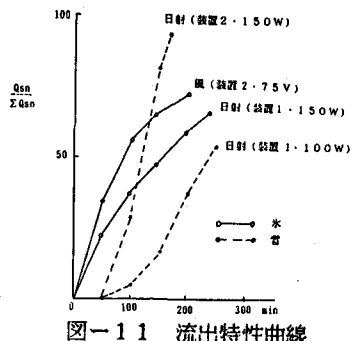


図-11 流出特性曲線

図12, 13に氷の場合の風速の強さと流出量 ($Q_{sn} 30\%$ の値/ $T 30\%$ の時間/平均温度) との関係及び積算流出量を示す。風速の大きさに比例して流出量が増加することがわかる。

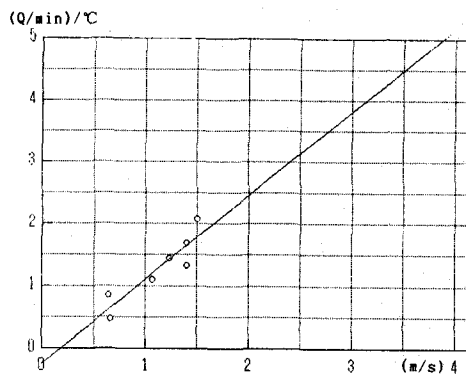


図-12 流出量

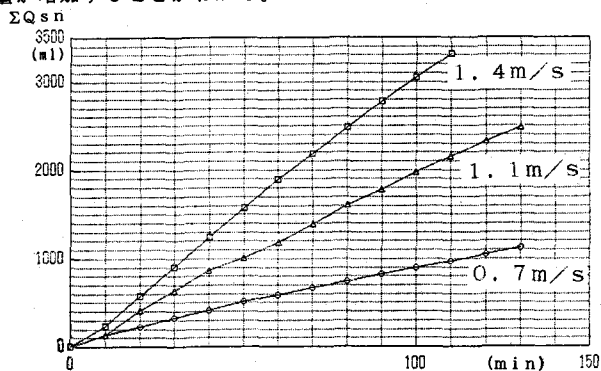


図-13 積算流出量

3. 3 装置3の場合

図14に氷の場合の風速と流出量 ($Q_{sn} 30\%$ の値/ $T 30\%$ の時間/平均温度) との関係を示す。風速の増加につれて単位時間流出量が増加することが示される。このときの温度分布、湿度分布および風速分布を図15に示す。また、このときの積算流出量曲線を図16に示す。

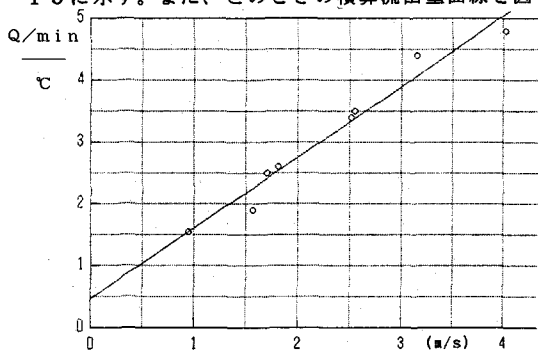


図-14 流出量 (風)

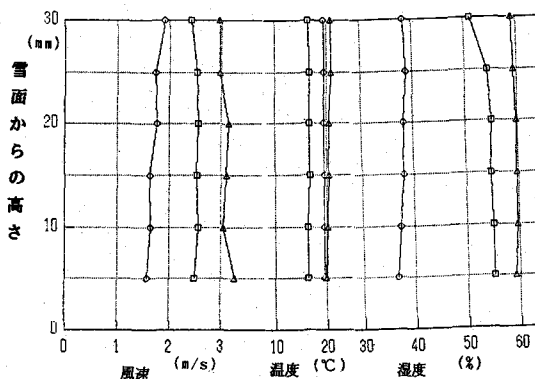


図-15 風速と温度及び湿度分布

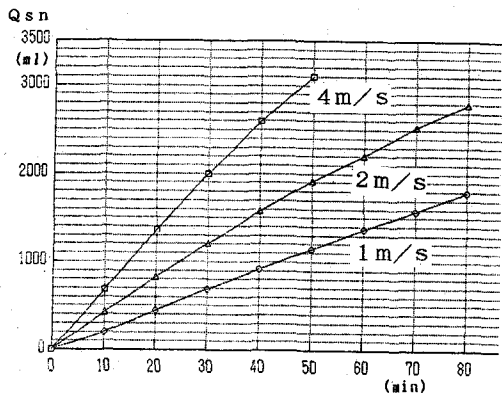


図-16 積算流出量 (風)

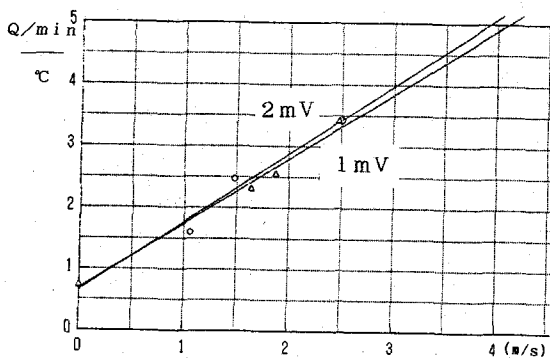


図-17 積算流出量 (風、日射)

図17に(日射+風速)と流出量($Q_{sn30\%}$ 値/ $T_{30\%}$ の時間/平均温度)との関係を示す。この図から風速の増加に比例して流出量も増加することがわかるが日射の効果はほとんどみられない。日射量と流出量との関係は日射量に比例して流出量が増加している。

4. 結論

実験装置1、2、3について氷と雪についての実験結果を示す。

- ① 同一条件のもとでは(気温と風が一定)日射の強さを变化させた結果、流出量は日射量の変化に比例していることから日射の効果が融雪に影響していることがわかる。
- ② 日射のみに比べて、地熱を加えた場合の方が流出量が増加している。
- ③ 風速を大きくした場合(他の条件が同じ)には流出量がそれに比例して増加している。
- ④ 氷を用いた場合と雪を用いた場合の違いは、雪を用いた場合に融雪までの時間が長く、積算流出量曲線は氷の場合上に凸で、雪の場合に下に凹である。
- ⑤ 実験装置内の温度分布は時間と共に高さ方向の温度勾配が大きくなり、気温のみの場合より日射や風速を加えた場合の方が温度も高い。
- ⑥ 風速を与えた場合には風速の大きさにより日射の効果が減ぜられ風速と日射の相乗効果における日射の役割は小さい。
- ⑦ 実験では装置内に送る外気の温度により蒸発量が負になることがある。

以上のような結論が得られたが融雪流出過程には気温のみばかりではなく、日射・風速・地熱も大きく寄与し、特に、風速のある場合には風速の効果が卓越していることが示された。また、風の温度も大きな要素となっており、気温の取扱について示唆している。気温をパラメーターとして、風速、日射等の効果を調べ、融雪流出過程の素過程に働く役割を調べることも大切である。実験は定性的ではあるが、気温以外の気象要素も考える必要のあることが裏付けられた。また、気温・風・日射及び地熱等の役割を定量的に把握していく必要があると考えられる。

5. 参考文献

- (1) 衆川高徳、長谷部正彦、日野幹雄；気温・日射・風・地熱等の気象要素が融雪流出に及ぼす特性の実験的研究、水文・水資源学会、1990年研究発表会要旨集、1990年8月
- (2) Wilson, W.T: An outline of the method of the thermodynamics of snowmelt, Trans. Am. Geop. Union, 1941
- (3) Martinec, J: Snowmelt runoff model for stream flow forecasts, Nordic Hydrology, No. 6, 1975
- (4) 日野幹雄、長谷部正彦、野田賢治；雪線高度の気温、残雪量を考慮した融雪量の算定式について、土木学会論文集、第338号、1983年10月
- (5) 小島賢治、本山秀明、山田芳則；気温等単純な気象要素による融雪予測について、低温科学物理篇第42号昭和48年
- (6) 長谷部正彦、衆川高徳、日野幹雄；融雪流出に影響を与える気象要素についての予備実験、東工大土木工学科研究報告、No. 41、1989