

## 405 融雪水の利用に関する研究

—融雪に伴う化学成分の変化—

## Utilization of Snowmelt Water

—Behavior of the Chemical Constituents with Snowmelt—

○学 木戸 千晴 (室工大・院) 正 媚山 政良 (室工大)  
 正 榎 清 (室工大) 学 菊池 泰充 (室工大)

Chiharu KIDO, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto, Muroran  
 Masayoshi KOBIYAMA, do.  
 Kiyoshi ENOKI, do.  
 Hiroaki KIKUCHI, do.

Key Word: Snow, Snowmelt Water, Water Quality, Chemical Constituents, Electrical Conductivity, Hardness

## 1. 緒言

年々、雪を冷熱源とする雪冷房システムを導入した施設が増加の一途をたどっている。これは、環境に対する意識の高まりだけでなく、雪の持つクリーンなイメージが人々の心をいっそう強くひきつけているのであろう。

また、最近では融雪水の利用も食品・化粧品等の分野で広まりつつある。雪の利用は、雪の降る地域の特権であると言っても過言ではない。

本研究では、雪の利用拡大を図ることを目的として、融雪水の化学成分に着目する。融雪時、融雪水中の化学成分は均一に流出しつづけるのではなく、ある一定の挙動（融雪が進むに伴い化学成分の流出が減少する）を持って流出する<sup>(1)</sup>。本研究ではこの融雪に伴う化学成分の変化を把握し、併せてメカニズムの解明を試みる。また、本研究が融雪水の利用拡大だけでなく、融雪水処理等の一助となることを期待する。

## 2. 実験装置・方法

Fig.1 に実験装置概略図を示す。実験装置は主に貯雪槽、融雪水採取容器、断熱蓋、ヒーター、ボルトスライダック等で構成される。試料となる雪は 2003 年 2 月に室蘭工業大学敷地内の積雪を採取し、 $-10^{\circ}\text{C}$  の冷凍室内で保存したものを使用し、実験は 6 月から 7 月にかけて行った。供試試料の底面は常に  $200 \times 200 \text{mm}$  の正方形とし、高さは各々の実験条件に従い変化させた。初期密度は常に  $500 \text{kg/m}^3$  とした。また、融雪水は主に上から下方向への一次元方向に流れるよう、側面・底面はともに厚さ  $150 \text{mm}$  のスタイロフォームにより断熱を施した。雪上面は各実験条件に従い融雪を行った。実験に先立ち、貯雪槽を  $-10^{\circ}\text{C}$  の冷凍室内で 24 時間冷却した後、初期貯雪重量分の雪を貯雪槽に投入し各実験条件に合わせて融雪を開始した。

融雪水の測定項目は電気伝導率(Ec)、硬度'(Th)、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^{-}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、PH、色度、濁度である。電気伝導率は貯雪槽からの排水量約  $150 \text{ml}$  毎に測定し、その他の項目については約  $600 \text{ml}$  毎に測定を行った。

融雪条件の違いが融雪水中の化学成分の流出挙動に及ぼす影響を調べるため、初期貯雪重量、上面の融雪速度等を以下の条件により変化させ、比較・考察を行った。実験条件を以下に示す。

a. 初期雪量  $8 \text{kg}$ 、初期高さは  $0.4 \text{m}$  とし雪上面に断熱は施さず、常温に放置し融解

- b. 初期雪量  $8 \text{kg}$ 、初期高さは  $0.4 \text{m}$  とし雪上面に断熱は施さず、常温に放置し融解
- c. 初期雪量  $8 \text{kg}$ 、初期高さは  $0.4 \text{m}$  とし厚さ  $50 \text{mm}$  のスタイロフォームで貯雪槽上面に蓋をして常温に放置し融解
- d. 初期雪量  $8 \text{kg}$ 、初期高さは  $0.4 \text{m}$  とし雪上面をヒーター( $19 \text{W}$ )により強制融解
- e. 初期雪量  $8 \text{kg}$ 、初期高さは  $0.4 \text{m}$  とし雪上面をヒーター( $48 \text{W}$ )により強制融解
- f. 初期雪量  $20 \text{kg}$ 、初期高さは  $1 \text{m}$  とし雪上面に断熱は施さず、常温に放置し融解
- g. 初期雪量  $40 \text{kg}$ 、初期高さは  $2 \text{m}$  とし雪上面に断熱は施さず、常温に放置し融解

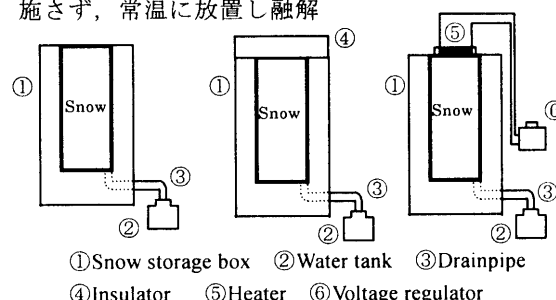


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

## 3. 実験結果および考察

## 3.1 融雪条件に伴う電気伝導率変化の挙動

上面の融雪条件の違いが融雪水中の不純物量に与える影響を調べるため、水に含まれる不純物量を示す一つとしての値・電気伝導率・の測定を行った。融雪条件 a~d で融雪を行った結果を Fig.2, Fig.3 に示す。Fig.2 に融雪水の電気伝導率と経過時間の関係を、また、Fig.3 に融雪水の電気伝導率と融雪率の関係を示す。ただし、融雪率は初期貯雪重量にしめる排水重量の割合とした。

Fig.2 より融雪水排水開始時刻が遅い融雪速度の遅い条件ほど開始時の Ec が高く、不純物が多く含まれていることがわかる。これは、雪内部の氷粒子が変態による凝固・融解に伴い、不純物の固相での平衡濃度と液相での平衡濃度の差により固相から不純物の排除が起こっているためと考えられる<sup>(2)</sup>。本実験範囲内の融雪速度では、融雪速度の遅い条件ほど初期の不純物量が多くなったが、これは本実験範囲内の融雪速度では、雪内部の氷粒子が定常状態（氷粒子の固液界面での固相から液相への不純物排除量と液相で遠方に流れ拡散する量がつりあう）に達する前の初期過渡状態で融雪水の排水が開始しているためである。したが

って、融雪水の排水開始までに雪内部の氷粒子が定常状態に達するような十分に遅い融雪速度をかわきりに、Ecの上昇が見られなくなる限界が存在するものと考えられる。融雪水排水開始後、Ecは減少の一途をたどる。これは排水開始後は、固相からの不純物の排除による液相の不純物濃度の上昇よりも、雪の含水率の増加により透水性が上昇したことで、水の降下作用が支配的になっているためと考えられる。Ecは著しい減少を終えた後、緩やかな減少へと遷移する。この遷移が起こるのは、不純物濃度の上昇した液相が排水されたことに加え、氷粒子内部に存在する不純物量が減少したためと考えられる。

Fig.3 より、融雪時の融雪速度を遅くすることで、より不純物量の少ない融雪水をより多く得られることがいえる。

また、2003年2月に北海道池田町で採取した雪約30tにブルーシートをかけ露外に保存しておいた雪の水質を6月に測定したところ、Ecは7.53であった。融雪条件bで融雪を行ったところ、Ecの最小値は3.37  $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。これは蒸留水(5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下)<sup>(3)</sup>に相当する値であり、融雪に伴う不純物の排除によりかなり不純物の少ない融雪水が得られることがわかった。

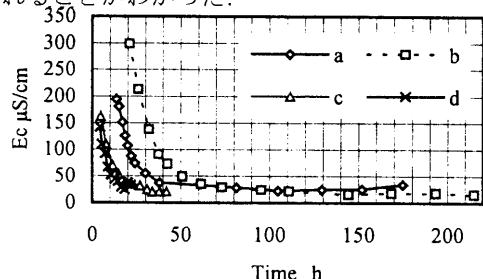


Fig.2 Ec of snowmelt water vs. Time

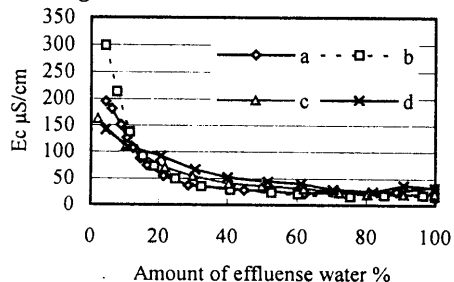


Fig.3 Ec of snowmelt water vs. Amount of effluense water

次に、上面で溶けた融雪水が排水されるまでに雪内部を通過する距離の違いが、融雪水の電気伝導率に及ぼす影響を調べるため、条件 a, e, fで融雪を行った結果を Fig.4, Fig.5 に示す。Fig.4 に融雪水の電気伝導率と経過時間の関係を、また、Fig.5 に融雪水の電気伝導率と融雪率の関係を示す。どの条件においても特に大きな違いは見受けられず、排水された融雪水中の不純物量は融雪水の雪内部通過距離に依存しない、即ち、雪内部通過距離の増加に伴い、水中に取り込む不純物量は増加しないといえる。

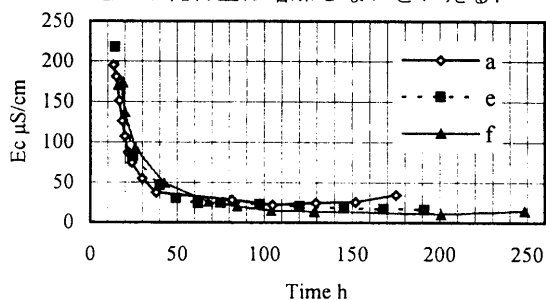


Fig.4 Ec of snowmelt water vs. Time

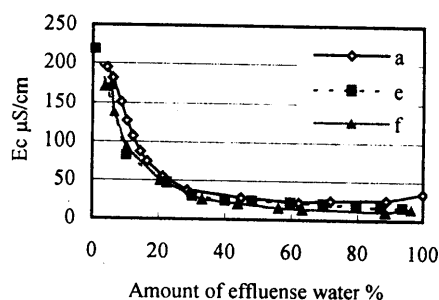


Fig.5 Ec of snowmelt water vs. Amount of effluense water

### 3.2 融雪水中の化学成分濃度

Cl<sup>-</sup>以外の項目については測定可能範囲を下回る場合が多く、Mn<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+,3+</sup>, 色度, 濁度は常に測定範囲以下であった。硬度, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+,3+</sup>, K<sup>+</sup>はどの条件においても初期は検出されるが、最大で融雪率20%を超えると、どの項目も測定範囲以下となった。これより、融雪に伴う融雪水中の不純物排除効果により硬度5mg/l以下の超軟水が得られることがわかった。Cl<sup>-</sup>は常に検出され融雪水排水開始直後、最大値をとり、その後はEc同様の傾向で減少した。PHについては初期6.4程度の値をとり徐々に中性を示す値である7へと近づいた。各化学成分の最大値・最小値をTable1に示す。なお、Table1の一例としてThの変化をFig.6に示す。

Table 1 Data of some chemicals in snowmelt water

unit : mg/l

	Cl <sup>-</sup>		Fe <sup>2+,3+</sup>		K <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>		Th	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
a	28.33	2.23	0.09	0.01 ↓	6.89	1.00 ↓	7.77	0.50 ↓	5.46	1.20 ↓	41.25	5.00 ↓
b	31.82	2.09	0.09	0.01 ↓	11.57	1.00 ↓	10.10	0.50 ↓	7.34	1.20 ↓	54.60	5.00 ↓
c	20.21	3.47	0.02	0.01 ↓	5.10	1.00 ↓	8.39	0.50 ↓	3.24	1.20 ↓	33.92	5.00 ↓
d	16.03	2.65	0.03	0.01 ↓	2.84	1.00 ↓	6.68	0.50 ↓	3.88	1.20 ↓	32.23	5.00 ↓
e	27.78	2.35	0.08	0.01 ↓	7.27	1.00 ↓	7.46	0.50 ↓	5.82	1.20 ↓	40.75	5.00 ↓
f	27.32	2.14	0.09	0.01 ↓	6.84	1.00 ↓	7.35	0.50 ↓	4.70	1.20 ↓	42.51	5.00 ↓

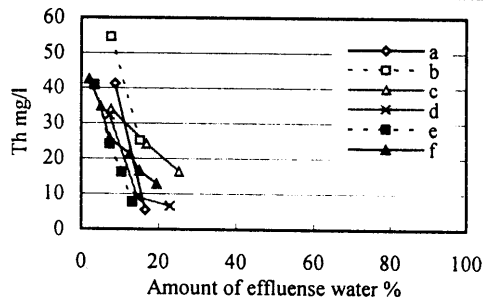


Fig.6 Th of snowmelt water vs. Amount of effluense water

### 4. 結言

本研究の結果から以下のことがわかった。

- 融雪時の融雪速度を遅くすることで、より不純物量の少ない融雪水をより多く得られる。
- 融雪水中の不純物量は融雪水の雪内部通過距離に依存しない。
- 融雪に伴う融雪水中の不純物排除効果により硬度5mg/l以下の超軟水が得られる。

### 参考文献

- 飯島和明, 雪氷と空気との間で直接熱交換する蓄熱冷房装置に関する研究, 室蘭工業大学 博士学位論文, 29-30
- 前野紀一・福田正己, 基礎雪氷学講座 雪氷と物性, 古今書院, 1986, 69-71
- JIS K0557 用水・排水の試験に用いる水