

大型ライシメーターによる積雪底面流出量の観測

石井 吉之¹、兒玉 裕二¹、新堀 邦夫²、中坪 俊一²、藤田 和之²、
池田 正幸^{3,4}、森 章一³

1. 水・物質循環部門水文気象分野
2. 技術部装置開発室
3. 技術部共通機器管理室
4. 共和暖房工業株式会社

1. はじめに

ライシメーター (lysimeter) とは、地表面を任意の大きさに切り出し、その中での水や物質の輸送状態を知ることによって、より広域での水・物質循環を解明しようとするための実験装置である。特に、測定が難しい蒸発散量を「直接」測定する手段として、これまでも多くの研究がなされてきた。これを積雪に適用したものが積雪ライシメーターであり、積雪の中層や底面に集水容器を置き、積雪内部の浸透量や底面流出量、さらにはそれらの化学成分変化を調べるために用いられる (図 1)。しかし、積雪内における融雪水の流れが不均一なため、 1 m^2 程度の限られた集水面積では表面融雪量 (流入量) と底面流出量とが 1:1 に対応しないことが多い。水文気象研究室では 20 年程前より $3.6\text{ m} \times 3.6\text{ m}$ の大型ライシメーターを用いることによって、この問題を解決してきた。また、大型のみならず、100 個の柵に分割されたマルチ・コンパートメント型や $1.8\text{ m} \times 1.8\text{ m}$ の中型、ロードセルを用いた大型秤量型など様々な形の積雪ライシメーターを用いている。この報告では、こうした大型をはじめとする各種ライシメーターを用いた積雪底面流出量の観測結果を紹介し、得られたデータの重要性や興味深い点について述べる。

2. 大型ライシメーターによる観測例

母子里の融雪観測室前の露場での積雪ライシメーターを用いた観測は 1979~1984 年にかけての小島 (1980) の観測に始まる。 $0.9\text{ m} \times 0.9\text{ m}$ のライシメーターを 2 台併設したが、それぞれの流出量変化が異なっていたり、流入量と流出量が 1:1 に対応しないなど、積雪内浸透水の非一様流下が原因と考えられる問題が

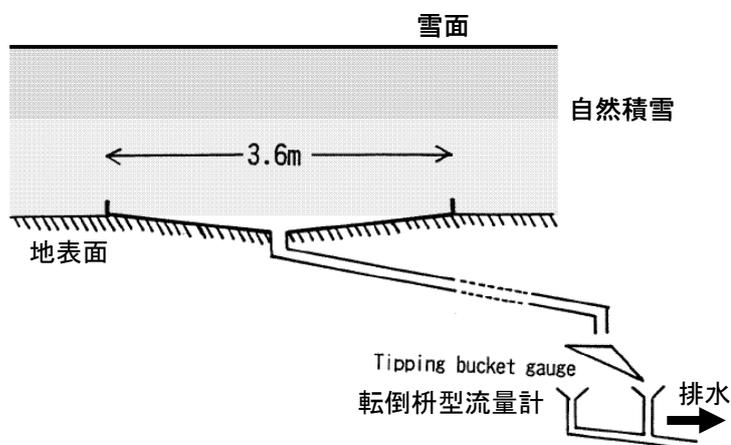


図 1. 積雪ライシメーターの概要



図 2. 積雪内での融雪水の浸透状況 (Nomura, 1994)

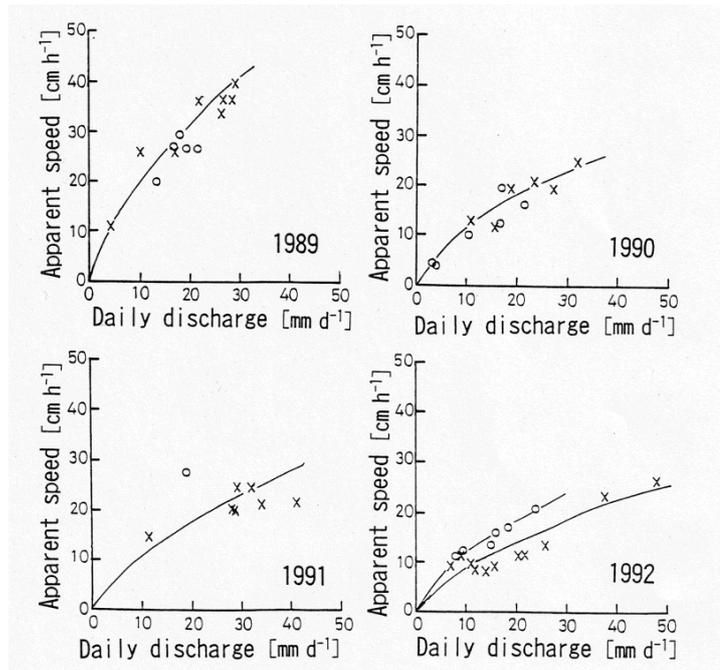


図 3. 4ヶ年分の浸透量と浸透速度の関係 (Nomura, 1994)

生じた。融雪水は積雪内を上から下へ必ずしも一様には流下せず、氷板や層境界などで水平方向に位置をずらしながら流下する(図 2)。このため 1 m^2 程度の小型のライシメーターでは、融雪量(積雪表面からの流入量)に比べて著しく少量あるいは多量の流出量が観測されることが多い。そこで、1987 年からは非一様流下の影響が小さくなるように $3.6 \text{ m} \times 3.6 \text{ m}$ の大型ライシメーターを用いることにした。その結果、融雪期間全体でも、また、晴天日の 1 日単位でも、流入量と流出量とがほぼ 1 : 1 に対応するようになった。

1 : 1 対応が取れるようになった原因としては、大型化させたことに加え、ライシメーターの縁を地面から 20~30 cm 立ち上げるようにした影響も考えられる。詳細は明らかではないが、縁部での堆雪・融雪状況が周囲とはわずかに異なり、そのわずかな違いが雪の中に壁のような構造を作り、この壁が融雪浸透水の水平方向の移動を小さく抑えていることが考えられる。実際に、積雪深が 1 m 以上ある時のラジコンヘリによる空撮では、縁部に相当する雪面上に細くて白い線状模様が観察されている(石川信敬氏、私信)。また、北海道富良野の東京大学演習林内の試験地で用いた $1.8 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$ の中型ライシメーターにも同じような縁をつけたが、面積を従来の大型の $1/4$ にしたにもかかわらず融雪期間全体での流入量と流出量は 1 : 1 に対応し、縁の効果が確認された。

母子里での大型ライシメーターを用いた研究は数々あるが、Nomura (1994) は 4 年にわたる融雪期の観測から融雪水の積雪内での浸透速度が流量の $2/3$ 乗に比例することを見だし、自らの集中モデルの中に組み込んで博士論文へと発展させた(図 3)。

カナダ東部のしもざらめ雪地帯でも、ほぼ同じサイズの大型ライシメーターを用いて積雪内浸透の観測を行ない、母子里のようなしまり雪地帯に比べ、浸透速度が著しく小

さいという結果が得られた（石井ほか，1992）。この事実を確かめるために、しもざらめ雪地帯の富良野としまり雪地帯の母子里において積雪内浸透の比較観測を行なったところ、富良野ではやはりカナダ東部と同程度の遅い浸透速度が観測された（表 1）。融雪水が積雪内を浸透する速度は雪質によって異なり、母子里では積雪内での流れの集中化によって浸透速度が速くなる。また、母子里では融雪の前期・最盛期にかかわらず毎日の融雪量と積雪底面流出量が 1:1 に対応するのに対し、富良野では前期に流出過少、最盛期に流出過多となり、積雪内での水貯留のようすが明らかになった（図 4：石井，2002）。

最近では、降雨と融雪が重なって生じる融雪洪水の研究に大型ライシメーターを用いている。積雪内部で雨水や融雪水がどのように貯留され流出するかについては、相反する観測結果や意見が出され、今なお議論が続いている。母子里では 3 月下旬の積雪深 1.8 m の時に 18 mm の降雨があり、その時に図 5 のような積雪底面流出量が観測された。降雨ハイトグラフが 3~4 時間の遅れでほとんど変形されずに流出ハイドログラフとなって現れている（石井，2007）。大型ライシメーターを用いた観測によってこうした興味深いデータが得られるので、今後もさらなるデータの積み重ねが望まれる。

3. 大型以外のライシメーターによる観測例

母子里では積雪内浸透の非一様性を調べるために、マルチ・コンパートメント型のライシメーターも製作した（図 6）。底面全体が 1.4 m × 1.4 m（面積約 2 m²）の大きさを持ち、その内部を 14 cm × 14 cm の大きさに 100 個の柵に仕切り、各柵の中に流下してきた水を容器に集めて流出量とその時間変化を観測した。このライシメーターを設置す

表 1. カナダ東部、富良野、母子里における浸透速度の違い

場所	浸透速度(cm/h)	
	ピーク	重心
富良野	21.6	16.1
母子里	42.2	23.6
カナダ	17.9	15.6

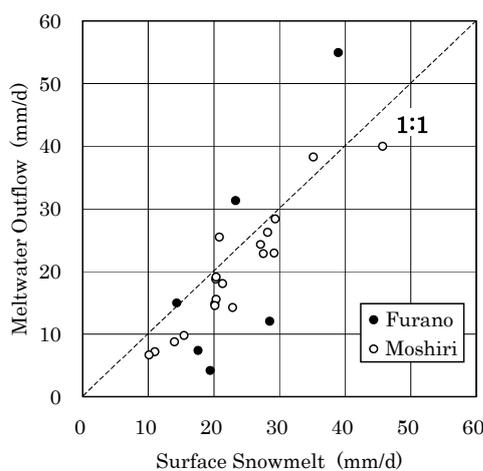


図 4. 富良野と母子里における融雪量と流出量の対応（石井，2002）

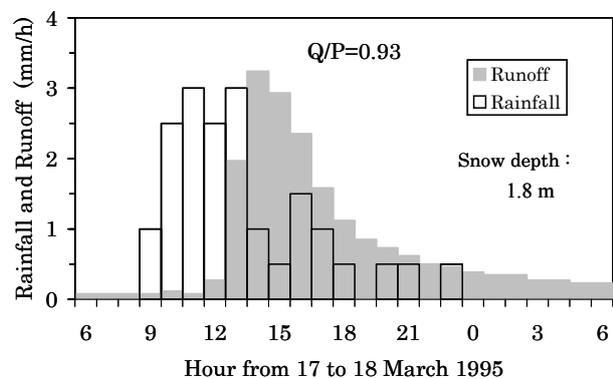


図 5. 融雪初期に 18 mm の降雨があった時の積雪底面流出（石井，2007）

るためには、積雪期前の露場に地下壕を設け、冬期はこの地下壕に天井をつけて周囲と同じように雪が堆積するようにした。融雪期直前に天井を取り除きライシメーターを地下から積雪底面に押し付けることによって、ライシメーター設置に伴う積雪構造の乱れを最小限に抑えるようにした（図 7, 8）。図 9 に観測結果の一例を示す。融雪水は積雪底面の特定の場所に集中して流出し、その場所は融雪期間を通じてほとんど変化しない。つまり、積雪内部には時期が進んでも変化しない集中流下経路が存在する。Nomura（1994）は集中流下の強度の頻度分布から「大きい集中」「小さい集中」「集中なし」にパターン分類し、それぞれの存在比率と集中強度をモデル化して実際の集中流下のようすを説明した。

ライシメーターを用いての観測は融雪期だけとは限らない。兒玉らはロードセルを用いた大型の秤量型ライシメーターを積雪面上に設置し、ひと冬の雪の堆積・消耗過程の連続観測を行なっている（図 10 : Suzuki et al., 2010）。



図 6. マルチ・コンパートメント型ライシメーター



図 7. 地下壕の中から積雪底面を薄く削っているようす



図 8. 地下壕での観測のようす

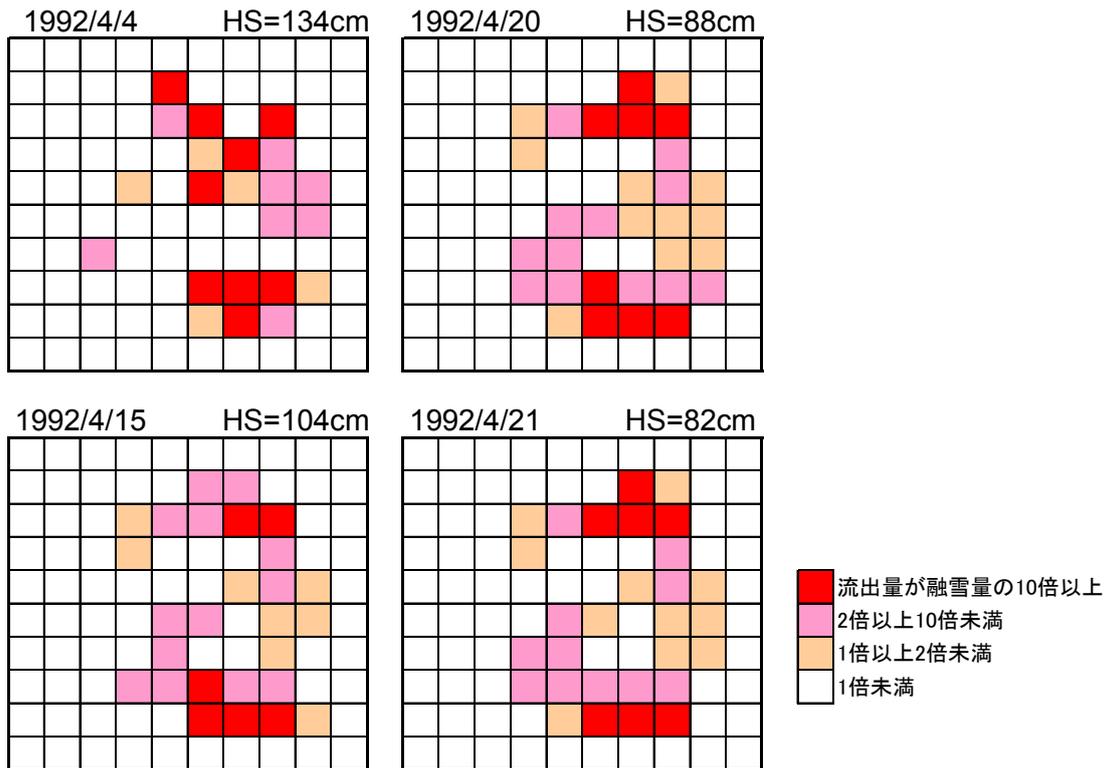


図 9. 積雪底面における融雪水の流出の分布 (HS は積雪深)
(Nomura, 1994 を一部改変)

なお、大型ライシメーターは夏期には分解能 0.04 mm の雨量計となる。気象観測用には一般に分解能 0.5 mm (または 1 mm) の雨量計が用いられるが、地表に落ちてからの雨水の流動を議論する水文学の立場から見て、気象観測用の分解能が妥当か否かは十分に議論されていない。こうした面でも大型ライシメーターで得られたデータの活用が期待される。

4. 大型ライシメーターを設置する際の留意点

母子里では例年の最深積雪が 2 m あり、密度を 500 kg/m³ とすると大型ライシメーターには約 13 t の積載荷重がかかる。設計上はこの点を考慮しなければならない。また、屋外に放置されるので -20~+30℃ の温度環境にさらされる。動植物



図 10. 大型の秤量型ライシメーター

の遺骸による目詰まりも頻繁に生じる。容積も大きいので材料単価の違いが製作費に大きく効いてくる。こうした点を考慮して、現在は木製の骨組み上にコンパネを敷き、その上にテント用防水シートを被せた構造にしている。他所では、ステンレス製市販品やモルタル製特注品なども用いられているが、価格と設置費は 100 万円以上となる。しかも縁がないので、1:1 対応が取れないなどの問題がある。低温研技術部製作の大型ライシメーターは価格面でも得られるデータの質の面でも十分な成果を出していると言えるだろう。

ライシメーターで集めた水は流量を計測した後には低所に排水させる必要がある。近くに開削された水路や川などがあると、排水は比較的容易であるが、平坦地では穴を掘ってポンプ揚水によって排水しなければならない。設置の際には重要な留意事項である。

5. おわりに

水文気象研究室での大型ライシメーターを用いた研究歴は 20 年以上に及ぶ。この間、技術部のスタッフからは精力的な協力と提案をいただいた。すでに退職されたが、長い間この仕事に携わった松本慎一技官と石井弘道技官には、この場を借りて深く感謝する。

参考文献

- 小島賢治, 1980. 冬期間の積雪下面における融雪量の連続観測(序報). 低温科学, **39**, 101-108.
- 石井吉之, 鈴木啓助, 兒玉裕二, 小林大二, 1992. カナダ東部, 北方針葉樹林地における融雪水の流出 I -融雪特性と流出応答-. 低温科学, **51**, 77-92.
- 石井吉之, 2002. 融雪水の積雪内浸透に及ぼす雪質の効果. 北海道大学地球物理学研究報告, **65**, 53-68.
- 石井吉之, 2007. 水資源としての雪. 水環境学会誌, **30**, 58-61.
- Nomura, M, 1994. Studies on the delay mechanism of runoff to snowmelt. *Contributions from the Institute of Low Temperature Science*, **A39**, 1-49.
- Suzuki, K., Y. Kodama, T. Nakai, G. E. Liston, K. Yamamoto, T. Ohata, Y. Ishii, A. Sumida, T. Hara, T. Ohta, 2010. Potential impact of land-use change on snow and water balance in heavy snowfall forested region of northern Hokkaido, Japan. *Water Resources Research*, Revised.