

「改良Degree-Hour法」による 融雪水量係数推定に必要な 積雪調査地点の設定に関する検討

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム ○坂本 尚弘
日外 勝仁
倉橋 稔幸

積雪地域では春先に融雪による斜面災害が多く発生している。そのため、筆者らは、融雪による斜面災害回避に向けて、複数地点の積雪調査結果から気温に掛け合わせることで簡便に融雪水量を推定できる融雪水量係数の、算出方法を検討してきた。その結果、日射の当たり方に大きく関係する斜面の向きが融雪水量係数に影響することなどが明らかとなった。

キーワード：防災、融雪災害、気温、融雪水量

1. はじめに

積雪寒冷地である北海道では、融雪期の4月と5月に斜面災害が多く発生する傾向にある(図-1)。原因として、この時期は降雨こそ少ないものの、融雪水が地盤を緩ませるためであり、その融雪水量の把握が課題となっていた。現在でもライシメーターを設置して融雪水の流出量を直接計測する方法はあるが、観測施設の規模とコストが大きいことから、多くの調査点を設置することは困難であった。そのため、現地条件を踏まえた融雪水量を精度良く簡便に求める方法が求められてきた。そこで、筆者らは気温情報のみから簡便に融雪水量を推定できる「改良Degree-Hour法」¹⁾を考案し、現地での調査を続けてきた。

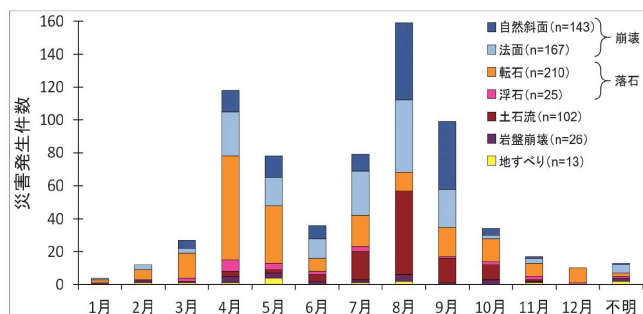


図-1 北海道での国道における道路斜面災害月別発生件数 (1996~2016年)¹⁾

実測したデータを基に、積雪調査地点が積雪水量係数に与える影響を、GISで解析した累積全日射量と組み

合わせ分析した。その結果、日射の当たり方に大きく関係する斜面の向きが融雪水量係数に影響することなどが明らかになり、どのような場所で調査を行い、融雪水量係数を算出すべきなのかを述べる。

2. 方法

(1) 改良Degree-Hour法による融雪水量推定方法

改良Degree-Hour法では、以下の計算式により融雪水量を推定する(式1a)。

$$\text{融雪水量} = \text{時間積算暖度} \times \text{融雪水量係数} \quad (1a)$$

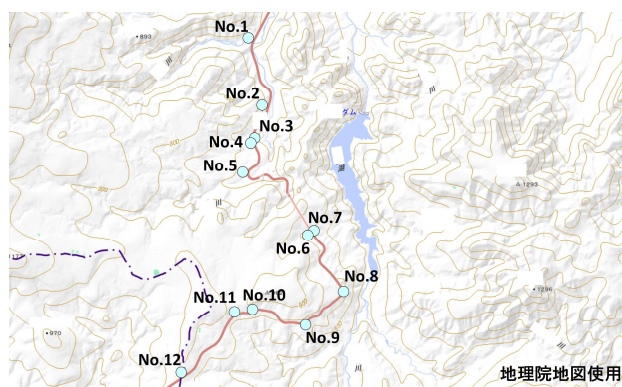


図-2 積雪調査箇所位置図

ここで時間積算暖度とは、プラスとなった時間気温の積算値であり、融雪水量係数と掛け合わせることで、融雪水量を推定するものである。融雪水量係数の算定にあたっては、前もって融雪水量を観測して確認する必要が

表-1 積雪調査箇所の融雪水量係数及び属性

地点名	標高 (m)	区分	最大傾斜方向(°)	最大傾斜角(°)	植生の有無	構成	枝の密度(上空)	斜面傾斜方向	累積日射量 (MJ/m ²)	融雪水量係数 (kg/m ² /C° /day)
1	402	平坦地	-	-	○	草木混在	疎	南東	1449	2.92
2	478	傾斜地	120	10	○	草木混在	-	南東	1419	3.95
3	501	平坦地	-	-	○	草木混在	疎	南東	1464	3.48
4	524	傾斜地	80	15	○	草木混在	疎	北	959	3.21
5	561	平坦地	-	-	×	-	-	南東	1495	3.81
6	656	傾斜地	50	15	○	木本主体	密	北東	1240	3.74
7	648	傾斜地	190	20	○	草木混在	疎	南	1505	4.29
8	726	傾斜地	100	30	○	草木混在	疎	南東	1560	4.23
9	779	傾斜地	15	10	×	-	-	南西	1575	3.57
10	809	平坦地	-	-	○	木本主体	疎	南西	1602	4.80
11	830	傾斜地	160	15	○	草木混在	疎	南東	1640	4.65
12	850	平坦地	-	-	○	草木混在	-	南東	1630	5.71

ある。実際に融雪水量を推定するためには、融雪水量係数と、現地積雪調査により求めた融雪密度を、プラスとなった気温の積算値である時間積算暖度で除して、あらかじめ融雪水量係数を算出しておく必要がある。実際の融雪水量を算出するにはライシメーターを用いれば正確になるが、簡便な方法とはいえない。そのため、融雪水量の観測にあたっては、全層の積雪水量を1週間毎に計測し、その減少量を固有の融雪水量と示すこととした。筆者らはNo.1からNo.12までの12地点(図-2)の実測値から融雪水量係数を算出した。

(2) 融雪水量係数算出の必要性

融雪水量が必要な場面として、融雪により、のり面崩壊した箇所の融雪水量を把握したい場面や、事前通行止め規制区間の雨量として融雪水量を使用したい場面などの活用が想定される。融雪水量を知りたい箇所があれば、知りたい箇所の積雪重量を現地積雪調査し、時間積算暖度から割り戻すことで、その地点の融雪水量係数を算出すればよい。しかし、現地積雪調査を実施していない地点で融雪による融雪災害が発生した場合は融雪水量係数がなく、速やかな水量算出が出来ない。今後、任意の地点での融雪水量を推定が必要となる場面に備えて、融雪水量係数の空間分布を補完する必要がある。調査地点には地象や気象など場所毎に特性があると考えられており、12地点を調査することとした。また、融雪水量係数と日射量は相関があることが知られており²⁾日射量は地形のデータさえあれば、GISにより、太陽の運行を模擬して解析日射量を算出することができる。そこで、融雪水量の算出には融雪水量係数と日射量との相関を用いることとした。

(3) 分析方法

積雪調査箇所12点で得られた融雪水量係数との傾向を分析した。融雪水量係数は積雪調査の実測値を使用した。累積全天日射量は、地面と太陽との位置関係をGIS上で解析することで算出し、3月1日から5月31日までの日射量を使用した。これらに、地点毎の標高、植生、斜面傾

斜方向等の属性と併せて、表-1にまとめた。相関や傾向を確認するため、線形1次の回帰式を用いて、それらの属性ごとに分析した。また、決定係数R²を求めることで式の適合性を確認した。

3. 結果

(1) 融雪水量係数

積雪調査箇所12地点の観測結果から算出した。融雪水量係数はNo.1が2.92と最も低く、No.12は5.71と最も高く算出された。

(2) 線形1次回帰式による融雪水量係数と日射量との相関

融雪水量係数と累積全天日射量との相関を図-3及び図-4に示す。

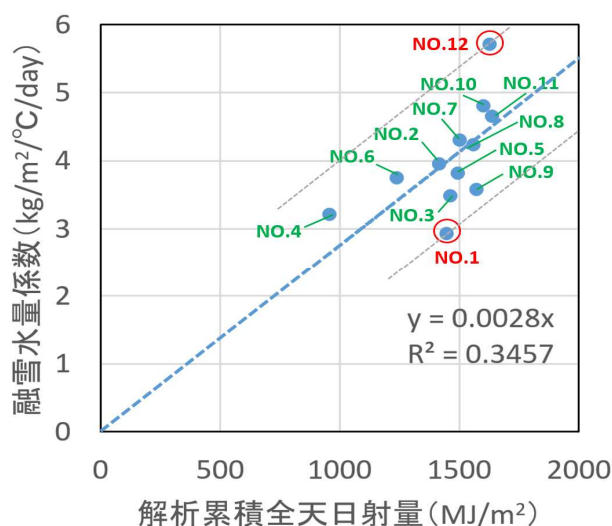


図-3 原点を通る全12点の相関

図-3の、回帰式は(式2a)と算出され、その決定係数R²は0.3457と低い値を示した。特に、式2aの傾きと平行な補助線を上下に引くとNo.1とNo.12は最も離れてい

ることから、群から分かれていると判断でき、No. 1とNo. 12の2点の値は、回帰式から大きく外れた値となっている。2点を図-2で確認すると、北側と南側に分かれ、最も距離が離れていた。また、表-1では、No. 1は最も標高が低く、No. 12は最も高い標高を示していた。

$$y=0.0028x \quad (2a)$$

$$y=0.0024x+0.5706 \quad (2b)$$

一方、図-4に原点を通らない線形1次の回帰式を示す。回帰式は(式2b)と算出され、その決定係数 R^2 は0.3553と低い値を示した。これはNo. 4及びNo. 6の影響を強く受けているとみられ、北向きに相当する。南向きと北向きで傾向が異なることが期待される。

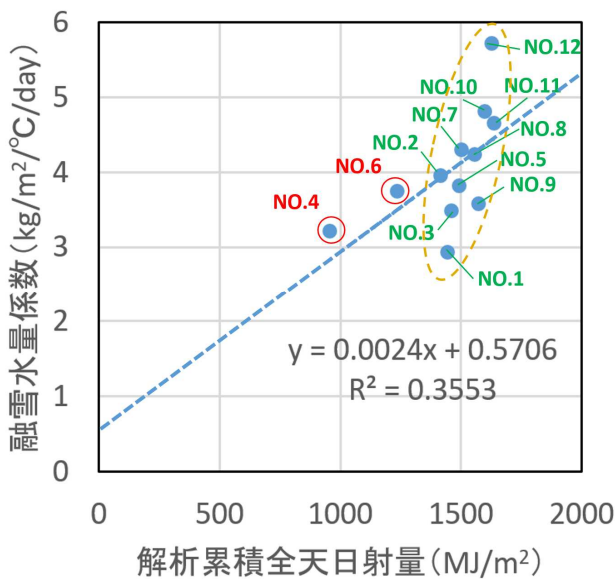


図-4 原点を通らない全12点の相関

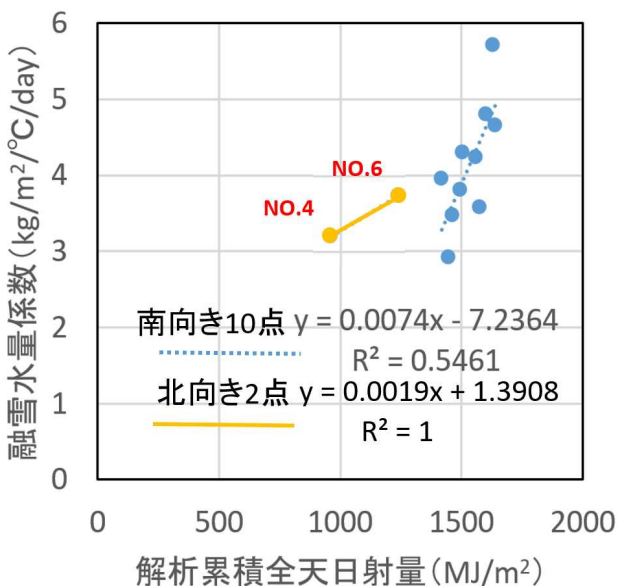


図-5 南向き斜面と北向き斜面の相関

(3) 積雪調査地点の設定による相関の分析結果

表-1に記載された、積雪調査箇所12点のうち、円周の360°を3時から9時方向を境に南北に分けたときの、南向き斜面10点と、北向き斜面2点に分けて相関を分析した(図-5)。まず、傾きのみに着目すると、南向きは $0.0074x$ 、北向きは $0.0019x$ であった。南向きの傾きは北向きの傾き約4倍を示し、明らかに傾向が異なることがわかった。南向き斜面のみの場合は決定係数 R^2 が12箇所全ての場合と比べて0.5461に向上し、急な傾きとなった。

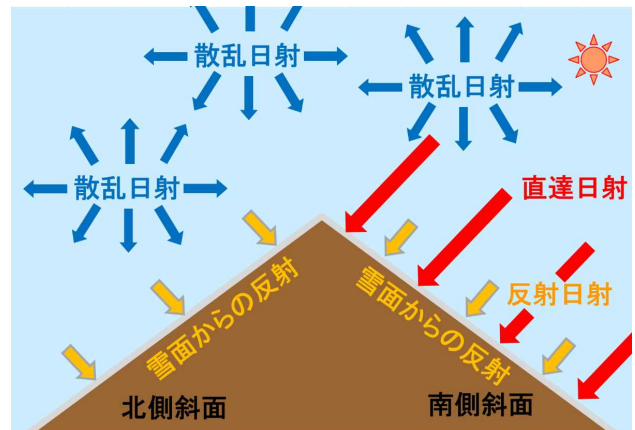


図-6 直達日射、散乱日射、反射日射のイメージ

一方で北側斜面は2点しかないものの、緩やかな正の傾きとなった。北側斜面の日射量が上手く表現できていない原因として、日射量は、直達日射量+散乱日射量+雪面からの反射量で示される(図-6)。直達日射とは、直射日光を指す。散乱日射とは、空気中のチリや水蒸気が反射し地面まで届いたものを指す。雪面からの反射は、反射日射と呼ばれ、地面や雪面に到達した日光が反射し、調査地点まで届いたものを指す。本報告で、日射量算出に使用したGIS上では反射日射が計算されない仕様であった。反射日射量を考慮する場合、谷地形など光が集まりやすいか、地面からの反射面は草木か雪面かなど、現地条件により左右される要素が多く設定が困難なため、一律の係数による設定を避けたと推察される。北向き斜面だと、太陽の高さが斜面勾配によっては直達日射が極端に小さくなる。そのかわり、雪面では、雪が白いために実際には反射日射量がかなり大きいと思われるが、用いたGISプログラムでは直達日射量相当のみしか調査地点まで達しておらず、正しい解析値ではないと考えられる。現時点では雪面反射量を算出することは困難であるため、北側斜面の計測値は取り除いた方が良い。今後は北側斜面において、散乱日射量に掛ける係数を見直す等、実測に近づくよう検討する必要がある。

線形1次の回帰式について、No. 1とNo. 12の融雪水量係数が乖離していた理由は、距離が北と南で最も離れた点であった。距離が離れているため、周辺環境が異なっており、地象、地形条件によることが原因と考えられる。

標高の差もあることから風の向きや強さなどの影響を受けた可能性がある。今後もこの部分は検討が必要である。

当初は、累積全天日射量が少しでもあれば融雪が開始し、原点を通る直線が正しいと考えられた。しかし、実際には図-5のように一定の日射量を浴びた後に融雪が開始するという結果になった。この理由としては、直射日光である直達日射であれば融雪が進むと考えられるが、累積全天日射量には日陰となる散乱日射量も含まれている。日陰では融雪水量係数への寄与が小さく、原点を通る線形1次の回帰式が上手く機能しなかった要因だと考えられる。このことから、原点を通らない線形1次の回帰式とした方が、実現象と近くなることを確認できた。

(4) 運用に向けて

融雪水量の算出には、知りたい地点の時間積算暖度が必要となるが、算出するにあたり、近傍にテレメーターがあれば良いが、ない場合はアメダスや気象庁予報の気温を使うことを想定している。これらは、数日後の予測にも使えるため、融雪災害に対し事前に備えることができる。また、時間積算暖度算出には、標高を利用した気温減率を用いた補正も有効と考えられるが、アメダスデータを使ったものよりは精度は劣ると考えられる。

4. まとめと今後の課題

本報告の結果は、以下のようにまとめられる。

- ・北側斜面は、GIS上では雪面反射量が反映されず、累積全天日射量が過小となったと考えられる。融雪の観測では北側斜面は避け、南側斜面のみを調査箇所とすることが望ましい。
- ・原点を通る線形1次の回帰式ではなく、原点を通らない線形1次の回帰式とした方が、実現象と近くなることを確認した。

今後は、積雪調査箇所を設定する上で、適切な配置数や、調査期間など検討すべき課題は残されている。今後とも着実に研究を重ねることで課題を解決していきたい。

参考文献

- 1) 吉野恒平、日外勝仁、浅井健一：斜面災害における地質課題、寒地土木研究所月報、No. 785、pp. 44-55、2018.
- 2) 吉野恒平、日外勝仁、倉橋稔幸：改良 Degree-Hour 法に基づく面的な融雪水量推定手法の検討、寒地土木研究所月報、No. 802、pp. 160-165、2020.