

岩石の風化に関する凍結-融解の繰り返し出現頻度

Freezing-thawing frequency related to the weathering of rocks

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

播磨屋敏生・村井臣哉・橋本明弘

Division of Earth and Planetary Sciences,

Graduate School of Science, Hokkaido University

Toshio HARIMAYA, Shigeki MURAI and Akihiro HASHIMOTO

Abstract

The external meteorological environment related to the weathering of rocks was investigated, and the following results were obtained. If daily temperature changes exceed -4°C in minimum and 4°C in maximum, destruction of rocks was considered to proceed. Such daily variations in air temperature were recorded three times at Bikuni during the winter of 1995-1996. On the other hand, such occurrences in a cycle longer than daily variation were recorded nine times at Bikuni during the winter of 1995-1996. These frequencies were slightly lower than mean value over long periods and lower than the values inland.

キーワード：凍結-融解、風化、気象環境

1. まえがき

1996年2月10日朝、積丹半島古平町で岩盤崩落が起こった。北海道のような寒冷地域では、岩石の風化が、凍結-融解で促進される事は良く知られている（たとえば、木下・福田、1983）。その際に、岩体中にしみ込んだ水が、十分に凍結し、その後十分に融解するには0°Cをはさんで上下に気温が変化するだけではなく、ある温度以下まで冷却され、またある温度以上まで熱せられる事が必要だろう。福田（1982）の凝灰岩の凍結-融解の実験結果によると、-4°C以下まで冷却し、その後4°C以上まで温度が上昇して融解されるような温度変化が破壊の目安とされた。そこで、それを目安として岩石の風化に関する外的な気象環境について調査した。

気温の日変化に伴う岩体の凍結-融解が及ぶ深さは、たかだか表面から数10cmの表層付近のみに限られるだろう。一方、気温の季節変化に伴っての凍結-融解は、岩体の最大

凍結深まで及ぶが、年1回に限られる。その中間の時間帯の温度変化の場合は、両方の深さの間で凍結－融解が起こるだろう。それで気温変化に伴う凍結－融解の回数は、日変化と次に述べる周期の2種類について調査した。その周期とは、気温が4°C以上の時刻から最近の-4°C以下になった時刻間とそれに継続する-4°C以下の時刻から最近の4°C以上になった時刻間を合わせた時間を1周期と数えるものである。

2. 凍結－融解の繰り返し出現頻度

大規模岩盤崩落が発生した1995/1996年冬季の気温変化は、平年と比べてどのような状態であったかをまず見てみる。気象分野では平年値として、30年平均値を使用する。このような長期間の気象データが存在するのは、北海道内では気象官署のみである。そこで崩落現場にもっとも近い小樽測候所の気温データを採用した。小樽での日平均気温と各々の日の平年値をFig.1に示す。平年値を表わす細線より日々の平均気温を表わす太線が上にあると、その期間は平年より暖かい事を示す。1996年1月中旬までは、降雪量は多かつたものの、気温の方は平年より高めに推移した事がわかる。その後一転して崩落当日までは低めに推移した。

次に気温の日変化による凍結－融解を検討する。現在の気象観測は、気象庁のアメダス観測点で行われていて、崩落現場にもっとも近いのは美国観測点である。美国における気温の日変化を、日最高気温と日最低気温を結ぶ棒線で示したのがFig.2である。10月には最低気温がプラスで、凍結する事はなかった。11月になると、最低気温はマイナスとな

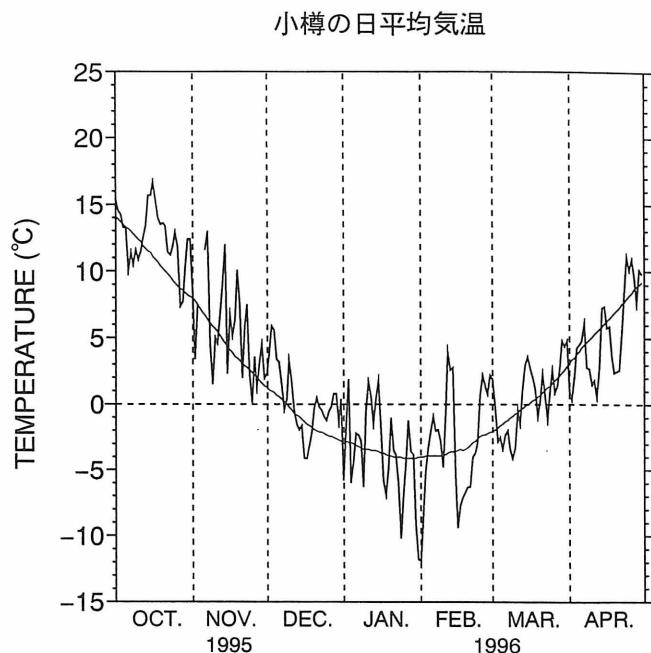


Fig. 1 小樽の日平均気温。太線は1995/1996年冬季の値、細線は平年値を示す。

る日があるが、その日の最高気温は1例を除いてはプラスとなり、夜間凍結し昼間融解するような日があった。12月に入ると、夜間凍結・昼間融解の他に、1日中凍結している日も見られるようになった。その後の1月と2月上旬には、1日中凍結している日が多くなった。

岩体表面で凍結一融解が起こるために最低限気温が0°Cをはさんで上下する必要がある。そのような日を抜き出したのが、Fig. 3である。この図からその条件を満足した頻度が80回あった事がわかる。

地表面での凍結一融解は、気温が0°Cをはさんで上下する事でよいが、岩体内部での凍結一融解を考えるにはもっと温度差が必要であろう。そこで条件をだんだんと厳しくしながら統計をとった。最低気温が-1°Cより低く、最高気温が1°Cより高い頻度は46回（Fig. 4）、最低気温が-2°Cより低く、最高気温が2°Cより高い頻度は20回（Fig. 5）、最低気温が-3°Cより低く、最高気温が3°Cより高い頻度は7回（Fig. 6）、最低気温が-4°Cより低く、最高気温が4°Cより高い頻度は3回（Fig. 7）あった。これらの条件を満足する日は、厳冬期には起こらず、その前か、後に集中していた。ちなみに-2°C以下と2°C以上、-3°C以下と3°C以上、-4°C以下と4°C以上となる日は、それぞれ厳冬期前は6回、2回、1回に対して、厳冬期後は14回、5回、2回あった。つまり融雪期に凍結一融解の頻度が多い事が示された。福田（1982）の凝灰岩の凍結一融解の実験結果によると、-4°C以下まで冷却し、その後4°C以上まで温度が上昇して融解されるような温度変化が破壊の目安とされた。その条件を満足する頻度は、1995/1996年冬季の美国では3回発生した。

上記の値は通常の年と比較して多いか少ないかを次に検討した。美国でのアメダス観測開始以来の値をプロットしたのがFig. 8である。図から見られるようにこの18年間で最高は9回、最低は0回で、年によってかなり変動している。また18年間の平均値が4.4回であるので、1995/1996年冬季の3回は少ない方に属する。

他の地域ではどんな状況であったかを見るために、凍結一融解の出現頻度（ $T_{\text{MIN}} \leq -4^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{MAX}} \geq 4^{\circ}\text{C}$ ）の水平分布をFig. 9に示す。全体的に見れば、内陸部で出現頻度が高く、海岸部で低い。特に日本海側が出現頻度が低いのが特徴である。

また長い期間の水平分布を見るために、1986/87年冬季～1995/96年冬季の水平分布をFig. 10に示す。Fig. 9に示された1995/1996年冬季の水平分布は、長期間の平均水平分布とパターンは似ているが、日本海側の海岸地方では絶対値は低い事がわかる。これから、先にFig. 8で見た美国での出現頻度の低い事は日本海側の海岸地方で見られた傾向の1例であった事がわかる。

今までの議論は気温の日変化についてであったが、次にもっと長期間にわたる気温変化を見てみる。Fig. 11は、気温が4°C以上から-4°C以下と-4°C以下から4°C以上になるまでの変化の様子を示したグラフである。この図では、-4°C～4°Cの間の観測値は煩雑になるので除いて、両端の値を直線で結んで見やすくしてある。この図から長期間にわたる気温変化から見れば、岩石の風化に関わる凍結一融解（ $T_{\text{MIN}} \leq -4^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{MAX}} \geq 4^{\circ}\text{C}$ ）は9回起こっている事がわかる。

美国の気温の日変動

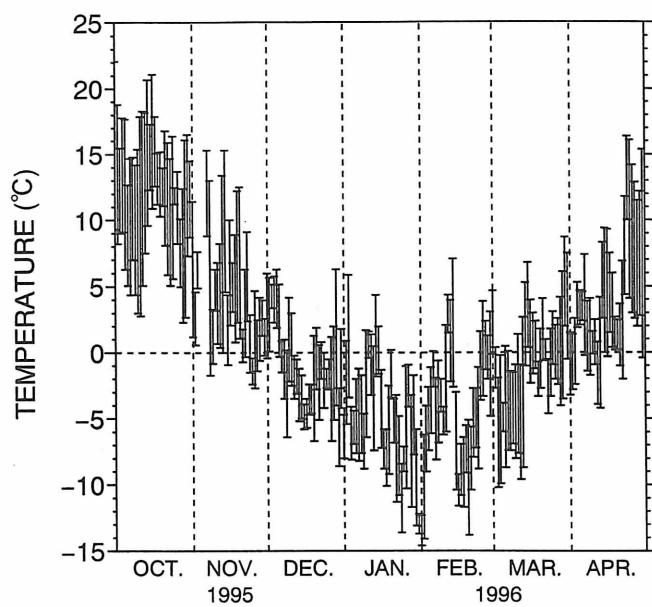


Fig. 2 美国 の 気温 の 日較差。棒線の上端は日最高気温、下端は日最低気温を示す。

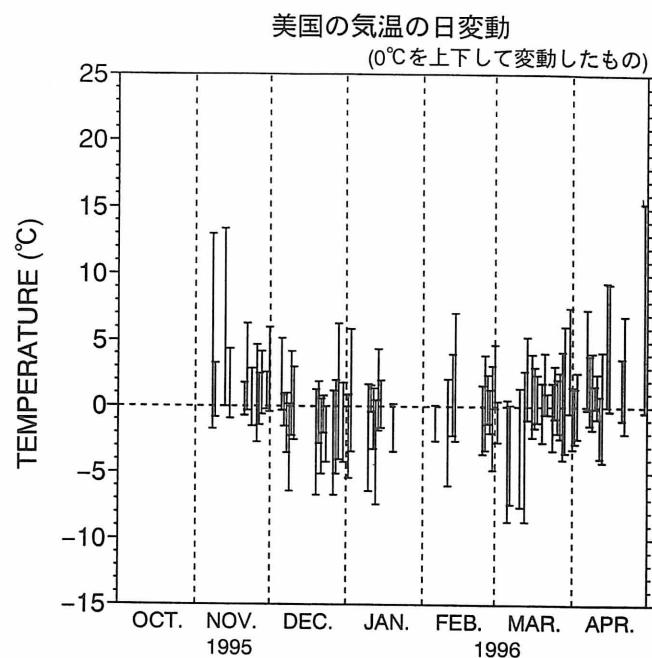


Fig. 3 美国 における 凍結-融解 の 出現 頻度 (日變化で $T_{\text{MIN}} < 0^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{MAX}} > 0^{\circ}\text{C}$) 。

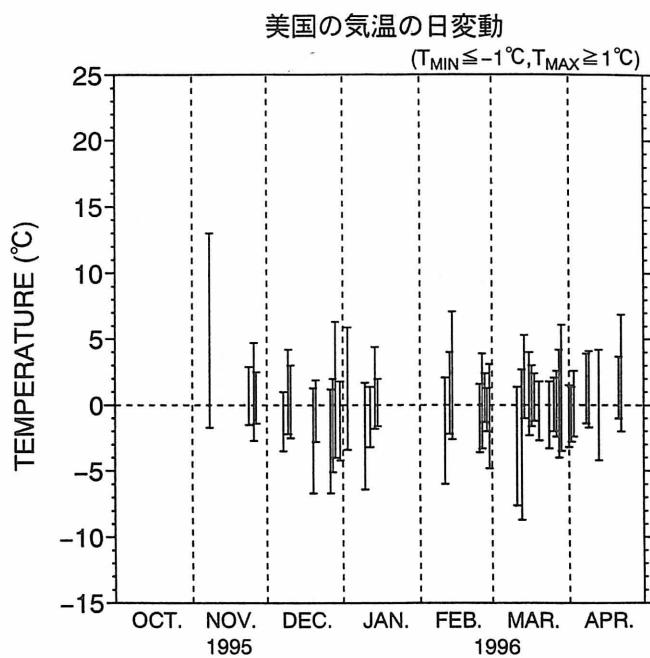


Fig. 4 美国における凍結－融解の出現頻度（日変化で $T_{\text{MIN}} \leq -1^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{MAX}} \geq 1^{\circ}\text{C}$ ）。

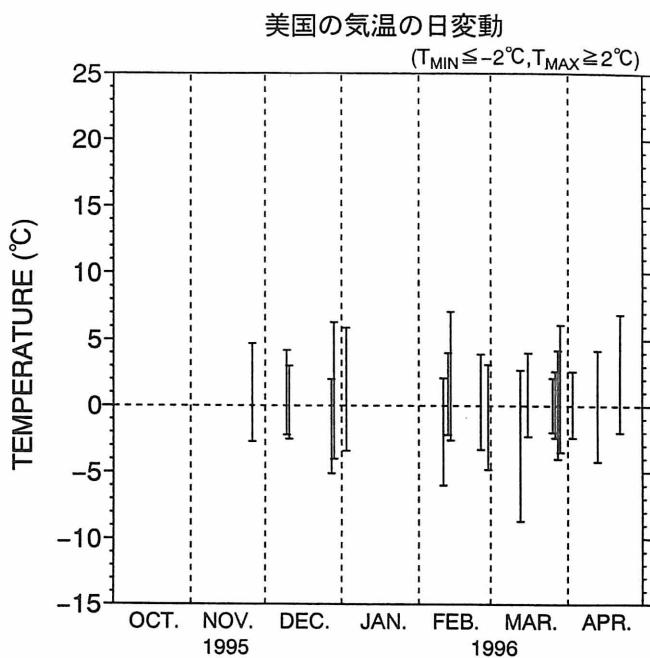


Fig. 5 美国における凍結－融解の出現頻度（日変化で $T_{\text{MIN}} \leq -2^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{MAX}} \geq 2^{\circ}\text{C}$ ）。

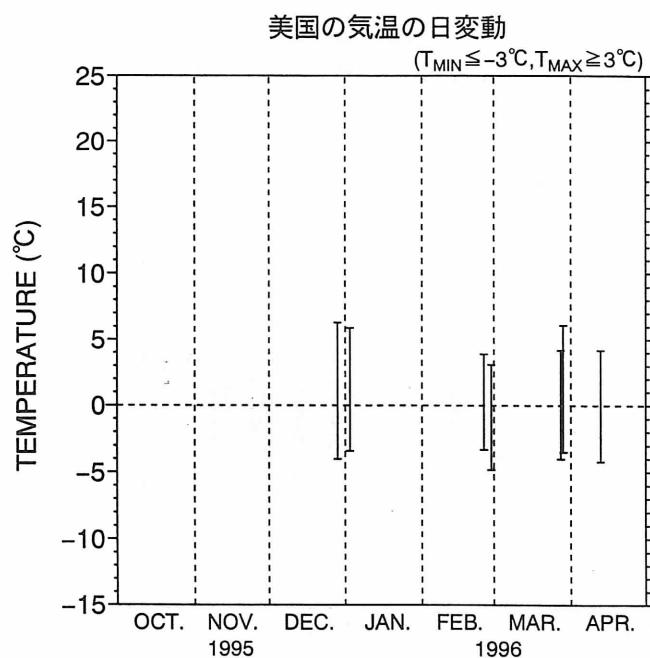


Fig. 6 美国における凍結一融解の出現頻度（日変化で $T_{\text{MIN}} \leq -3^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{MAX}} \geq 3^{\circ}\text{C}$ ）。

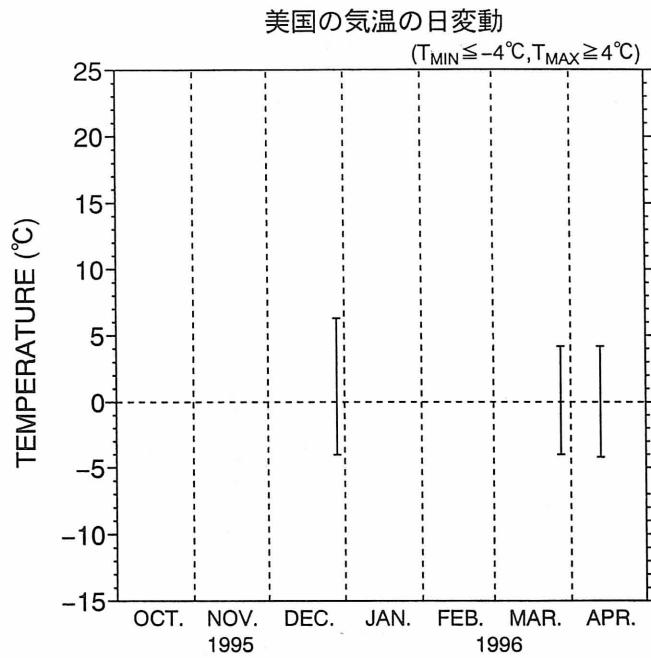


Fig. 7 美国における凍結一融解の出現頻度（日変化で $T_{\text{MIN}} \leq -4^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{MAX}} \geq 4^{\circ}\text{C}$ ）。

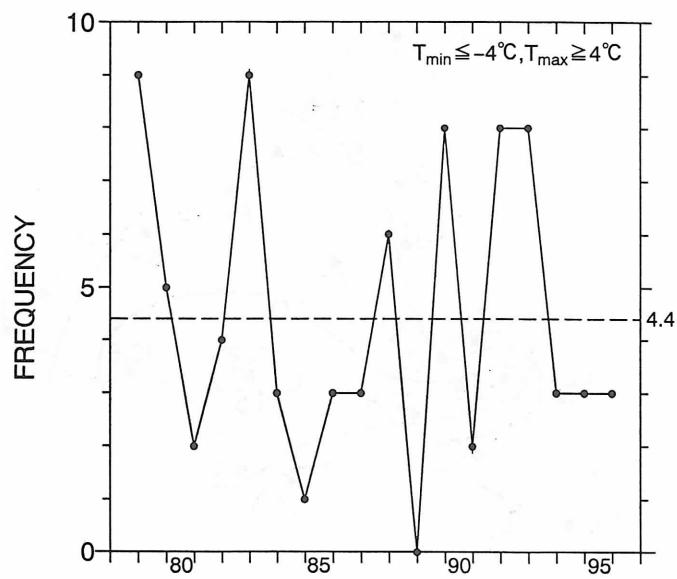


Fig. 8 美国における凍結-融解の出現頻度（日変化で $T_{\min} \leq -4^{\circ}\text{C}$, $T_{\max} \geq 4^{\circ}\text{C}$ ）の経年変化。

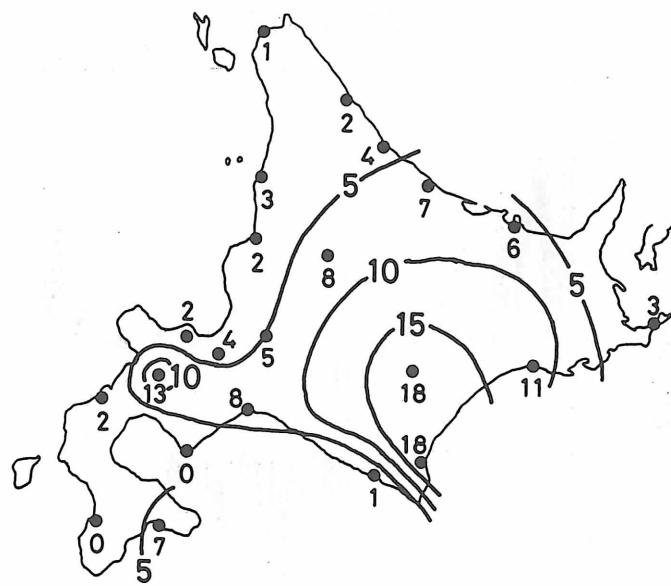


Fig. 9 1995/1996年冬季の凍結-融解の出現頻度（日変化で $T_{\min} \leq -4^{\circ}\text{C}$, $T_{\max} \geq 4^{\circ}\text{C}$ ）の水平分布。

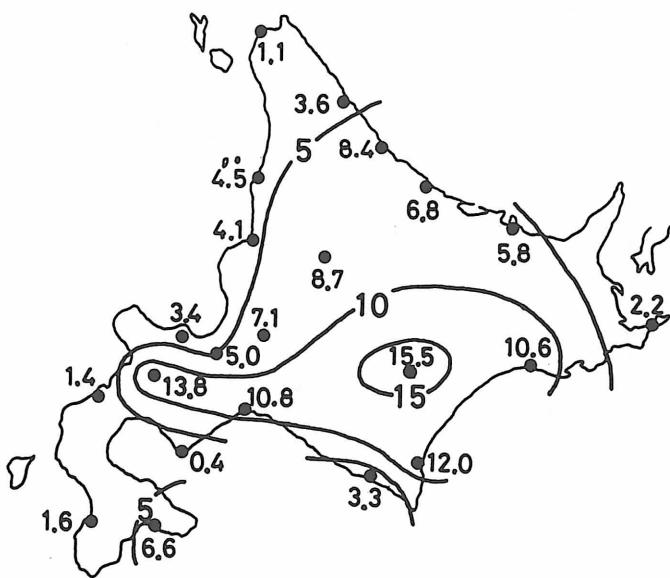


Fig. 10 1986/1987年冬季～1995/1996年冬季の凍結－融解の出現頻度（日変化で
 $T_{\text{MIN}} \leq -4^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{MAX}} \geq 4^{\circ}\text{C}$ ）の水平分布。

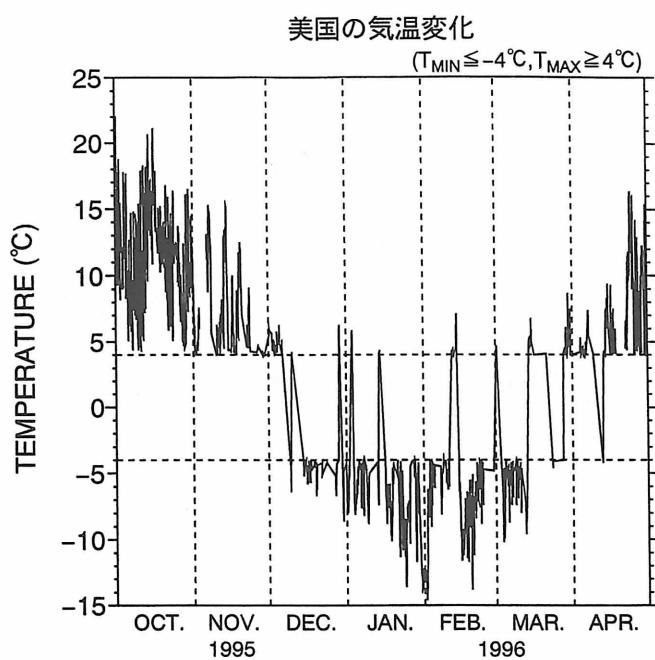


Fig. 11 美国における凍結－融解の出現頻度 ($T_{\text{MIN}} \leq -4^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{MAX}} \geq 4^{\circ}\text{C}$)。

3. まとめ

岩石の風化に関わる外的な気象環境について調査した結果、次のような事がわかった。1995/1996年冬季は前半は平年より暖かく、後半は寒かった。その気温変化に対応して、凍結－融解の出現頻度にも変化が見られた。気温の日変化に伴い、福田（1982）が指摘する岩石の破壊の目安となる -4°C 以下まで冷却し、その後 4°C 以上まで温度が上昇する状況は、崩落現場にもっとも近い美國観測点で3回認められた。この回数は、18年間の平均値である4.4回より少なく、この冬の気温変化傾向によっていた。またこの傾向は日本海側の海岸地方各観測所においても見られる一般的傾向であった。次にもっと長期間にわたる気温変化に伴い、岩石の破壊の目安となる気温が 4°C 以上から -4°C 以下になり、ひき続いて 4°C 以上になる期間は9回認められた。岩石の風化に関わる凍結－融解の繰り返し出現頻度は、1995/1996年冬季は上記の程度であった。なおこれらの回数は、平均値より低い回数である事も示した。

文 献

福田正己, 1982 : 北海道における凍結－融解の繰り返し出現頻度の分布－ソリフランクションに関連して－. 昭和54－56年度北海道大学特定研究経費成果報告書, 75－86.

木下誠一・福田正己, 1983 : 泥流発生と関連する雪氷現象について. 文部省科学研
究費自然災害特別研究成果, No. A-57-7, 有珠山における泥流災害とその
対策に関する研究, 36－46.