スピッツベルゲン, ニューオールスンにおける地温の観測

澤 口 晋 一* 三 枝 茂**

Ground Temperature Measurement in Ny Ålesund, Spitsbergen

Shin-ichi SAWAGUCHI* and Shigeru SAIGUSA**

Abstract

Ground temperature was continuously measured during 1994-1996 on a debris-mantled slope near Ny Ålesund, Spitsbergen. Measurements were taken at one-hour intervals using a digital data logger connected to four platinum thermistor sensors, which were inserted at 0, 10, 40, 80 cm in depth.

Diurnal freeze-thaw cycles occurred only five times during the 1994 freezing period and 14 times during the 1995 freezing period. The average frost depth during these diurnal cycles was 4.7 cm. Small daily temperature ranges at the ground surface indicate that the slope was covered with snow from middle September to June or July. The late-lying snow cover was responsible for the absence of diurnal freeze-thaw cycles during the thawing period. Seasonal freezing began in middle to late September, and the freezing front penetrated to a depth of 80 cm during these weeks. The seasonal frost began to melt in mid-June, and the thawing front reached a depth of 80 cm in two weeks. The thickness of the active layer was estimated to be about 110 cm on the basis of the distribution of the mean ground temperature profile in July. Seasonal freeze-thaw cycles are considered to be much more selective in producing periglacial landforms in this region than diurnal cycles.

Key words : Spitsbergen, ground temperature, diurnal freeze-thaw cycle, seasonal freezing, active layer

キーワード : スピッツベルゲン, 地温, 日周期的凍結融解サイクル, 季節凍結, 活動層

I. はじめに

スピッツベルゲンには多種多様の周氷河地形が分布し, 古くから多くの研究がおこなわれてきた(例えば, ビューデル, 1985; Jahn, 1960; Åkerman, 1980; Hallet and Prestrud, 1986)。しかし, 周氷河プロセスを議論するうえで基本となる

地温観測例は意外に少なく, Chmal *et al.* (1988) が同島南部のホルンスン (Hornsund) において, Bakkehøi and Bandis (1988) が中部沿岸のスベアグルーバ (Sveagruva), Matsuoka (1993), 澤口 (1995) が中部内陸のアドベントダーレン (Adventdalen) において実施した例がみられる程度であり, さらなるデータの蓄積が必要と考え

* 新潟国際情報大学情報文化学部

** 株式会社日本工営防災部

* Niigata University of International and Information Studies

** Nihon Koei Co., Ltd.

られる。

筆者らは1994年7月中旬から1996年8月中旬までの約2年間、これまで観測例のなかった、スピッツベルゲン北西部ニューオールスン(Ny Ålesund)において地温の通年観測を実施した。本稿では、このデータ解析結果をもとにスピッツベルゲン北西部地域における凍結融解作用の特性について報告する。

II. 観測地点と観測方法

地温の観測は、スピッツベルゲン北西部のブレッカー半島(Brøggerhalvøya)東岸ニューオールスン(78°58'N)付近の北東向き岩屑斜面(傾斜8°, 標高40m)において実施した(図1)。斜面の構成物質は、シルト・粘土をマトリックスとし、これに石炭紀~ペルム紀の砂岩・チャート礫等を多量に含む氷成堆積物(テイル)である(Lehman and Forman, 1992)。地表面には粗粒部の間隔が20~30cm程度の条線土が不規則に分

図1 観測地点。
等高線間隔50m。

Fig. 1 Survey area.
Contour intervals are 50 m.

布し、細粒部には蘚苔類の付着がみられることも多い。また、本地域には永久凍土が分布するが、厚さが200~500mに達する内陸部に比べるとかなり薄いと予想される(Hisdal, 1985)。

地温観測には、8チャンネルデータロガー(データマーク Ls3000ptv : (株) 白山工業)を使用し、これに白金測温体温度センサーを接続した。センサーは上述した角礫質土層中の深度0(地表)、10, 40, 80cmにそれぞれ埋設した。計測は、1994年7月24日00:00~1996年8月14日14:00まで1時間インターバルで実施した。その間、1995年8月20日20:00~23:00までの4時間の記録はデータ回収と電池交換のため欠落している。そのほかのデータはすべて異常なく保存されていた。

III. 観測結果

1) 地温の年変化

1日24回の地温測定値から求めた地表面温度の日較差の年変化を図2-aに、また0, 10, 40, 80cmの各深度における10日間の平均値から描いた地温のアイソプレスを図2-bに示した。これによると、観測期間中の地表面温度の最高値は17.4℃(1995年7月14日)、最低値は-15.9℃(1995年1月4日)であった(図2-a)。日較差は平均的には7月に最も大きい、最大値は1995年6月25日に記録された12.3℃であった。9月下旬以降は1994年、1995年とも地表面温度の日較差が小さくなる傾向が認められることから、この時期以降は積雪層が形成されるとみられる。2月以降にはさらに日較差が小さくなることから、これ以後は温度変化が抑えられる程度の厚さの積雪層に覆われた可能性が高い。上述した地表面温度の日最低値は、積雪がなければさらに低下すると思われる。なお、この時期は極夜に相当しており、それによる日射量の減小も日較差の小さくなる原因となっていよう。

季節的凍土層の形成は、1994年においては9月22日、1995年においては9月30日に始まり、凍結前線が80cm深に達したのは、前者が24日後、後者が19日後であった(図2-c, d)。これから計算される凍結前線の平均降下速度は、それぞれ

図 2 地表面温度と表層地温のアイソプレス。
影の部分は凍結層，右端の矢印は温度センサーの埋設位置を示す。

Fig. 2 Annual fluctuation in ground temperature and subsurface isotherms.

The shaded parts show frozen layer, and the arrows at the right margin show the depth of temperature sensors.

図 2 つづき.

Fig. 2 Cont.

3.3 cm/日, 4.2 cm/日である。ただし, その速度は必ずしも一定ではなく, 急速な降下と停滞を数回繰り返しながら階段状に位置を深めていく (図 2-c, d)。すなわち, 1994 年には, 季節的凍土層の形成開始 (9 月 22 日) から 10 日間は地表面にごく薄い積雪が存在したとみられ, 凍結前線は 10 cm 深前後に停滞したままであった。しかし 10 月 1 日には, 地表面温度の低下にともなって凍結前線も 2 日 1:00 頃から急速に降下し, 3 時間後の 4:00 には凍結前線の深度は約 30 cm に達した。凍結前線は 10 月 5 日までこの深さに停滞するが,

同日 19:00 頃から再び降下し始め, 約 9 時間後の 6 日 3:00 には約 70 cm の深さに及んだ。1995 年における季節的凍結層の形成もこれと類似した経過をたどった。

一方, 季節的凍土の融解は 6 月中旬頃から始まっているとみられるが, 斜面上には積雪が残存しているために地表面温度はこの時期でも 0℃前後で推移している (図 2-e, f)。とくに 1996 年は残雪期間が長かったため凍土の融解が遅れた (図 2-f)。このため, 残雪消失後地温は極めて急激に上昇し, 凍土はごく短期間に深くまで融解した。残雪消失

図 3 深度別平均地温の分布.

a) 年平均值, b) 月平均值

Fig. 3 Profiles of the mean ground temperature at various depths.

a) Annual mean temperatures, b) Monthly mean temperatures

後から凍土融解前線が80 cm深まで到達するのに要した日数は、1995年の18日間に対し、1996年は10日間であった。

2) 日周期的凍結融解サイクル

1994年8月31日、1995年8月27日に各年次における最初の日周期的凍結融解が発生した。1994年(図2-c)については、上述したように積雪が影響し、凍結融解深度は平均3.7 cm(最大5 cm)、凍結融解回数は5回にとどまった。

1995年(図2-d)に関しては、季節的凍土層形成以前にほとんど積雪がなかったとみられ、顕著な日変化が記録された。この年には、8月27日以降、季節的凍土層が形成される9月30日まで日周期～数日周期の凍結融解サイクルが14回発生した。最初の凍結が記録された8月27日から9月19日にかけては、10 cm深以浅の地温が日中4～5℃まで上昇することもある、凍結融解深度

は平均2.7 cmにすぎなかった。しかし、9月20日以降、季節的凍土層形成直前の9月30日までの間には、地温が0.5～0.5℃に収まるいわゆるゼロカーテン(Chambers, 1966)が少なくとも80 cmまでの深度に出現し、それとともに日周期的凍結融解の深度も平均7.8 cm(最大11.0 cm)まで降下した。地温はこの後も低下したが、12月3～4日にかけて急激に地表面温度が上昇し、一時的に地表面付近が融解した(図2-a)。

一方、季節的凍土層融解前後の時期(6月中旬)には、前述したように斜面上に積雪層が残っているため日周期的な凍結融解は発生していない。積雪層融解後地温は急上昇するが、とくに地表面温度が5～6℃に達するとその直後から融解前線は急激な降下を示した。1996年7月11日(図2-f)には約8時間で32 cm融解が進んだ。

内陸部に位置するアドベントダーレンでは、融

解進行期においても日周期的凍結融解は4回記録されたにすぎない(澤口, 1992)。このことからみると、融解進行期の凍結融解回数が凍結進行期のそれを大きく上回することは考えにくい。したがって、本地域では日周期的凍結融解回数は多く見積もって20回程度であろう。

3) 深度別平均地温

1994年8月~1995年7月および1995年8月~1996年7月における深度別の年平均地温のプロファイルを図3-aに、同様に月平均地温のプロファイルを図3-bに示す。年平均地温は、各深度とも $-3.6 \sim -3.3^{\circ}\text{C}$ (1994~1995年), $-3.0 \sim -2.7^{\circ}\text{C}$ (1995~1996年)の間にあり、各深度間の地温差が小さい。一方、月平均地温(図3-b)では、80 cm深までの地温がプラスとなるのは7月~9月までの3カ月間で、ほかの月はすべて氷点下(1995年6月は20 cm深で浅くプラス)である。このなかで地表面と80 cm深の地温の温度勾配がとくに大きくなるのは7月と10月で、その温度差は前者が 6.1°C (1995年), 5.2°C (1996年), 後者が 3.2°C (1994年), 4.1°C (1995年)である。この時期はともに凍結融解期に相当することから、地表面付近での急激な温度上昇(7月)、あるいは温度低下(10月)の影響がまだ地中に十分達しておらず、これによって温度勾配が大きくなっていると考えられる。これに対して、5月と9月には温度勾配がとくに小さくなっている。この原因については以下のように考えられる。6~8月の3カ月間は、地表面の温度が最も高く、地中に向かって低くなる左下がりの温度勾配を示すのに対し、1~4月および11~12月に関しては、地表面の温度が最も低く、地中に向かって逆に温度が高くなる右下がりの温度勾配となる。このような温度勾配とその月別変化は、地温が地表面から低下あるいは上昇していく過程で生じている。そしてこの過程に、いずれの深度でも地温が一時的に一定となる時期が現われることになる。5月と9月はこれに相当する。

なお、地温が最も上昇する7月の平均温度勾配をそのまま下方に延長すると、深度110 cm前後で 0°C に達する(図3-b)。このことから、本地域

の最大融解深度(活動層厚)は110 cm前後と見積もられよう。活動層厚に関しては、スピッツベルゲン中部のスベアグルーバで80~100 cm程度(Bakkehoi and Bandis, 1988)、南部のホルンズンで230 cm(Chmal *et al.*, 1988)という記録があり、場所による差が大きくなっている。

今回の地温観測から得られた結果は、スピッツベルゲンを始めとする高緯度極地域の典型的な地温推移を示している。いずれにせよ、本地域では日周期的凍結融解作用の影響はごく小さく、周氷河プロセスは基本的に年周期的凍結融解作用に支配されて生じているといえよう。

謝 辞

本稿は、文部省科学研究費補助金国際学術研究「北極における氷河末端域の生態系変動」(代表者: 星合孝男, 課題番号06044224)の1994年における調査結果の一部をまとめたものである。現地では、神田啓史氏(国立極地研究所)・増沢武弘氏(静岡大学)・南 佳典氏(平岡環境研究所)・木部 剛氏(静岡大学)の方々にデータ回収を含め、お世話いただいた。また、明治大学の梅本 亨氏には地温観測について助言を受けた。以上の皆様に心から感謝いたします。

文 献

- Åkerman, H.J. (1980): Studies on periglacial geomorphology in West Spitsbergen. *Meddelanden Fran Lunds Universitets Geografiska Institution Avhandlinger LXXXIX*, 297 p.
- Bakkehoi, S. and Bandis, C. (1988): Meteorological conditions influence on the permafrost ground in Sveagruva, Spitsbergen. *Proceedings of the 5th International Conference on Permafrost, Trondheim*. Tapir Press, Trondheim, 39-43.
- ビューデル, J. 著, 平川一臣訳 (1985): 気候地形学. 古今書院, 392 p.
- Büdel, J. (1977): *Klima geomorphologie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin and Stuttgart, 304 p.
- Chambers, M.J.G. (1966): Investigations of patterned ground at Signy Island, South Orkney Island: I. Interpretation of mechanical analysis. *Br. Antarct. Surv. Bull.*, 9, 21-40.
- Chmal, H. *et al.* (1988): Thermal currents of active layer in Hornsund area. *Proceedings of the 5th International Conference on Permafrost, Trondheim*. Tapir Press, Trondheim, 44-49.
- Hallet, B. and Prestud, S. (1986): Dynamics of

- periglacial sorted circles in Western Spitsbergen. *Quat. Res.*, **26**, 81-99.
- Hisdal, V. (1985): *Geography of Svalbard*. Norsk-Polarinstitutt, Oslo, 75 p.
- Jahn, A. (1960): Some remarks on evolution of slopes on Spitsbergen. *Z. Geomorph. Suppl.*, **1**, 49-58.
- Lehman, S.J. and Forman, S.L. (1992): Late Weichselian glacial retreat in Kongsfjorden, West Spitsbergen, Svalbard. *Quat. Res.*, **37**, 139-154.
- Matsuoka, N. (1993): Monitoring of ice-wedge cracking and ground temperature in Adventdalen, Svalbard. *Programme with Abstracts, 3rd International Geomorphology Conference*, 196.
- 澤口晋一 (1992): スピッツベルゲンとわが国の高山・山地における凍結融解による斜面物質移動. 地理学評論, **65A**, 92-104.
- 澤口晋一 (1995): スピッツベルゲンの周氷河岩屑斜面における斜面物質の移動速度とプロセス. 地学雑誌, **104**, 874-894.
- (1998 年 4 月 9 日受付, 1998 年 5 月 25 日受理)