

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350417

研究課題名(和文)大雪山における下限付近の永久凍土の状態把握と監視体制の構築

研究課題名(英文)Mountain permafrost around the lower limit in the Daisetsu Mountains

研究代表者

曽根 敏雄(SONE, Toshio)

北海道大学・低温科学研究所・助教

研究者番号：10222077

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：北海道、大雪山の風衝砂礫地における山岳永久凍土分布の下限高度を気温と地表面温度の通年観測および電気探査から推定した。この永久凍土の分布下限付近で10mより深いボーリングを行い、地温観測装置を設置した。ここは永久凍土分布下限付近の地温モニタリングサイトとして期待される。また泥炭地にある永久凍土丘の衰退過程における地温の変化が捉えられた。小径の掘削孔においても深度の異なる多点での温度の観測が可能な温度記録計を開発した。

研究成果の概要(英文)：The lower limit of mountain permafrost distribution on windward bare ground in the Daisetsu Mountains, Hokkaido, was estimated by the results of air and ground surface temperatures and electrical resistivity measurements. A borehole, deeper than 10m, was dug around the lower limit of permafrost. This site is expected to be a good monitoring site for ground temperature changes. The measurements of ground temperatures in a degrading palsa, peaty permafrost mound, were carried out. The temperature logger which can measure temperatures at many different depths in a small borehole was developed.

研究分野：自然地理学

キーワード：山岳永久凍土 分布下限高度 電気探査

## 1. 研究開始当初の背景

北海道大雪山では高山帯の標高約1700-2300mの風衝地(冬季でも強風のため積雪の少ない場所)を中心に永久凍土が分布していると考えられている。これまで永久凍土に関して、標高2000m付近の風衝砂礫地と標高1700m付近の泥炭地を中心に調査がなされてきたが、地温情報も不足しているおり、いくつかの地点の地表付近(10m以浅)の温度分布が判っているのみで、正確な下限高度も調べられていない。予測される温暖化による分布下限高度の上昇を捉えるためには、現在の永久凍土の分布範囲と温度状態を把握しておく必要がある。

また気候変動の長期的な影響は永久凍土の上下端に出現する。しかし国内でもっとも安定して永久凍土が分布する大雪山系山頂部においても、その永久凍土の厚さはいまだ不明である。したがって永久凍土の厚さを直接観測し今後の永久凍土観測の基礎を構築する必要がある。2009年に設置された10m深のボアホールによる地温観測によると、標高2000m付近で永久凍土は約40-50m深まで発達すると推測された(岩花ほか、2011)。したがってここで永久凍土の上下端を捉えるためには60m級の測温ボアホールが必要であるが、山岳地のためこの掘削は困難である。

一方永久凍土分布の下限高度付近にある泥炭地(標高約1700m)での観測から、永久凍土の基底は最大約8mの深度であることが確認された。この地点は大雪山で唯一、パルサ(泥炭質の永久凍土丘)の存在する場所であり、永久凍土の基底が確認された場所である。しかしここでは泥炭の浸食など直接気候変化によらない永久凍土の変化も生じる。そこで、風衝砂礫地における山岳永久凍土分布の下限付近では、気候変動の影響が現れやすく、また永久凍土の厚さが薄いため掘削が行い易く、現状の把握や今後の変化を観測しやすいと考えられる(図1)。

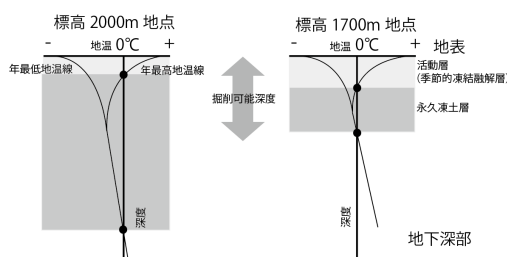


図1 永久凍土の温度プロファイル

## 2. 研究の目的

大雪山の永久凍土の現状を把握し今後の変化(地温変化、特に永久凍土面(活動層)や永久凍土基底の変化)を把握できる体制を整えたい(図2)。

このためまず大雪山の風衝砂礫地における永久凍土の分布下限高度を把握する。次に風衝砂礫地における分布下限付近の永久凍土の現状の把握や今後の変化を観測するモ

ニタリングサイトを構築することを目的とする。また変化しつつあるパルサ(永久凍土丘)の地温観測を行い、永久凍土の変化を地温変化から把握する。

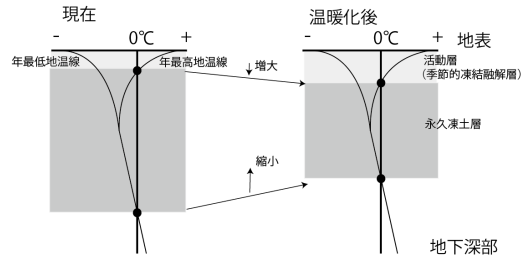


図2 温暖化による地温プロファイルの変化

## 3. 研究の方法

まず、現地調査によって大雪山中央部の標高の異なる風衝砂礫地を調査地点に選定した(図3)。調査地点は銀泉台西方、および白雲岳から忠別岳にかけての標高1665~1885mの地点である。調査地点1は、唯一森林限界を超えていない地域にある風衝砂礫地である(図4)。調査地点6(標高1875m)では、永久凍土の存在が知られている。



図3 調査地



図4 調査地点4

これらの標高の異なる風衝砂礫地において、気温・地温観測から永久凍土の存在を推定した。また電気探査によっても、永久凍土の存在の推定を行った。以上の手法から推定される永久凍土分布の下限高度付近で深さ10mを越えるボーリングを行った。今回実施した小径の掘削孔においても深度の異なる多点での地温観測が可能な多深度地温観測記録計を開発した。

地表面温度の観測方法は、各調査地点において、厚さ2cmの平らな礫の下に温度記録計(Onset Tidbid)を設置して1時間間隔で地温(ここでは地表面温度とした)を計測した。また調査地点1(標高1665m)、標高1820m地点、及びパルササイト(標高1720m)において、気温を1時間間隔で計測した。調査地点1では、深度1mまでの地温観測も行った。

電気探査は、McORM-2115(応用地質)を用いWenner電極配置で行った。

パルサ及び調査地点1における地温観測には、HOB0 U12およびUX-120を用いた。

#### 4. 研究成果

##### (1)地温・気温観測による下限高度の推定

各調査地点の地表面温度と気温の1年間の平均値(2013年10月から2014年9月、及び2014年10月から2015年9月)を図5に示す。

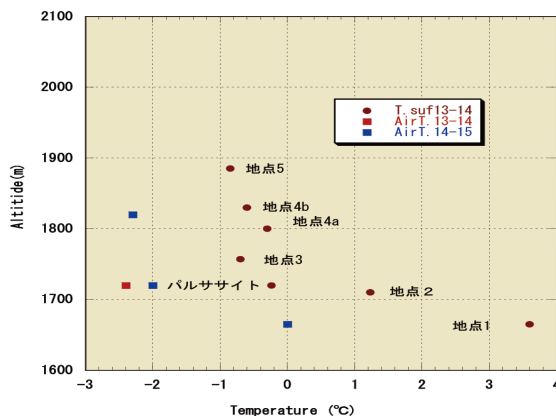


図5 地表面温度・気温の年平均値

調査地点1(標高1665m)では、2014年10月から2015年9月までの1年間の平均地温は0を上回り、また平均気温も0程度であり、永久凍土の存在する可能性は低いことが判った。1710m地点でも地表面の平均温度が+1以上であり、ここでも永久凍土の存在する可能性が低いと考えられる。

気温、地温の標高に対する遞減率が約1700m付近を境にして、これより上で小さく、下で大きくなる傾向があることが判明した。

##### (2)電気探査による下限高度の推定

凍土の存在を推定するために、約1900m以下の標高の異なる風衝砂礫地において電気探査を行った(図6)。地表から電気比抵抗値が低高低の順になっている層があり、一部を除いて標高の高い地点ほど第2層の高比抵

抗層の基底の深さが深いという結果が得られた。この高比抵抗層を凍土層と考え、標高の高い地点ほど凍土層が深いと考えられる順当な結果となった。標高1710m以下では凍土層の基底が深さ数m以下であり、おそらく永久凍土の存在する可能性が低いことが推定される。しかし、地質構造や地温状況が不明なので、ボーリング結果と合わせて検討する必要がある。

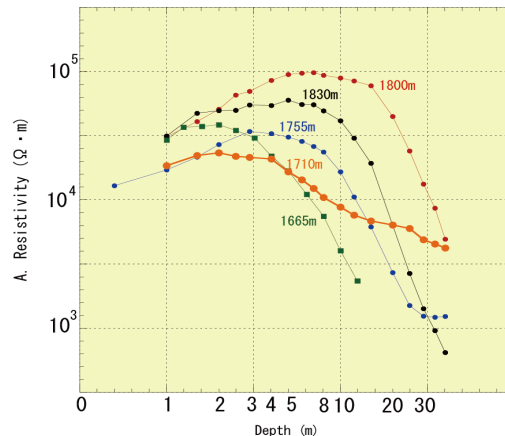


図6 風衝砂礫地における電気探査の結果

##### (3)1755m風衝砂礫地での掘削

上記のように大雪山の風衝地では、標高1710m以下には永久凍土が存在する可能性が低いことが判明した。そこで標高1755m地点(図7)で永久凍土の基底を越えることを目標としたボーリングを行った。

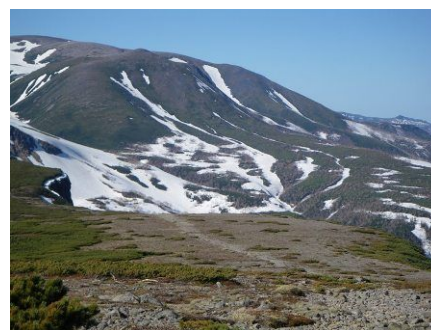


図7 調査地点3 (標高1755m)

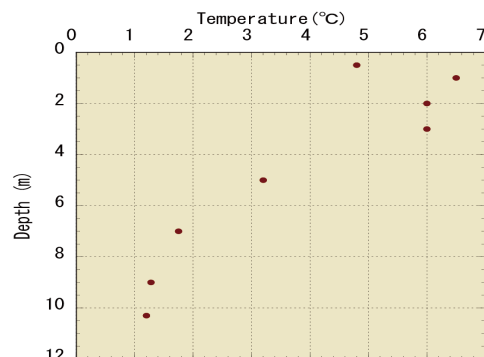


図8 地点3における地温(2015/10/05)

これまでの大雪山での掘削は最深で10mであったが、今回10.6mとより深い深度まで達

することができた。またこのボーリング孔を利用して地温観測装置を設置した。しかしこの地点の地質が含水率の低い安山岩の基盤であり掘削時の温度攪乱の影響を受けたため、2015年秋の段階では、永久凍土の基底にまで達したか否かは不明である(図8)。これは今後の地温データの回収を待って明らかにされるが、本地点は永久凍土分布の下限付近における地温モニタリングサイトとして期待される。

#### (4) パルサの衰退と地温変化

衰退過程にあったパルサ(図9,10)は2015年にほぼ消滅した(図11)。地表面は沈下したが、地温観測地点では記録計が水没せず、破壊を免れたため、衰退過程にあったパルサの地温の変化を捉える事が出来た(図12)。



図9 衰退過程にあるパルサ(2013年7月)



図10 衰退過程にあるパルサ(2014年6月)



図11 消滅したパルサ(2015年8月)

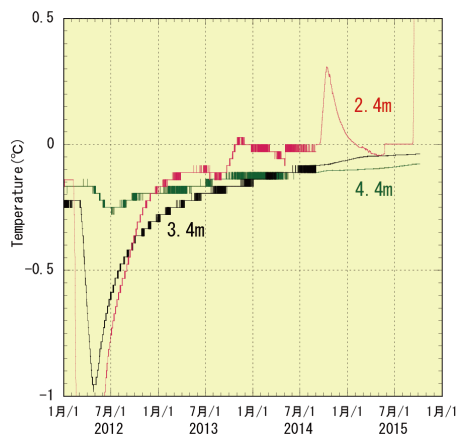


図12 パルサBの地温変化

2012-2013年にかけての冬期の積雪が例年に比較して異常に多かったため、冬期に地温がほとんど冷却されなかった。そしてこの年に融解が2.4m深まで達した。3.4m以深では2013年以降地温の季節変化がなくなり、地温は上昇傾向になった。2015年には、深度3-5m付近にわずかに永久凍土は残存しているものの丘状の地形は消滅した。

#### (5) 多深度地温観測記録計の開発

開発した装置の概要を示す。温度センサーには、1-Wire方式のDS18B20+ (マキシム)を用いた。この方式では1組の信号・電源線上の任意の位置に複数の温度センサーを配置することが出来る。このセンサーの大きさは一般的なトランジスタ(TO-92)と同じ大きさであり、1cm間隔以下でも配置可能である。それぞれのセンサーは固有のシリアル番号を持ち、温度計測値とともにデジタル信号としてマイコンと通信を行う。この温度センサーの精度は0.5、分解能は0.0625である。内径10mmの孔に挿入し、温度センサーを1cm間隔で配置できる基盤を作成した(図13)。記録部のマイコンには、開発が比較的容易であるArduino (Pro Mini 3.3V)を用いた(図14)。リアルタイムクロックにより測定時間になるとマイコンが作動して計測を開始し、測定が終わるとマイコンは休止する。測定データは測定時間とシリアル番号とともにSDカードに保存される。電源にはリチウム単3電池を用い長期間連続的に観測することが出来る。マイコンにAT meag328Pを用いて、さらに省電力化した基板も作成した(図15)。

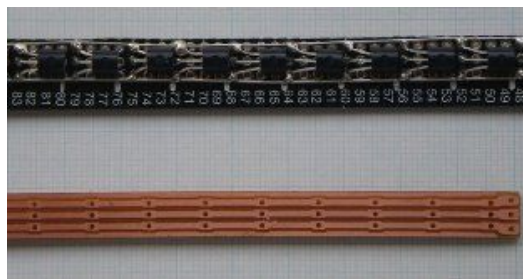


図13 温度センサー配置用の基板

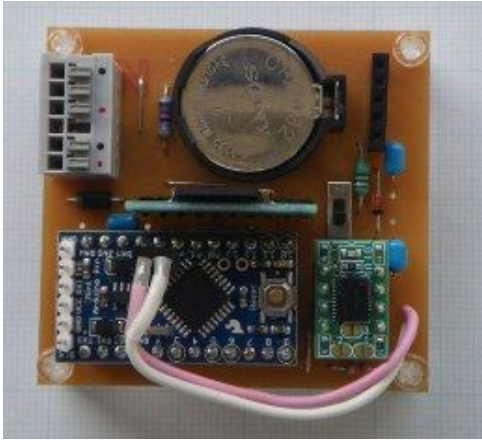


図 14 記録計部 (Pro Mini 使用) 基板



図 15 記録計部 (AT mega328P 使用) 基板

<引用文献>

岩花剛ほか、大雪山系における永久凍土観測 -2005 ~ 2010 年 -、北海道の雪氷、No.30,2011、147-150

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

森 章一・曾根敏雄(2014)多深度地温測定装置の製作,北海道大学低温科学研究所技術部技術報告,査読無,20,13-17.

[学会発表](計 4件)

曾根敏雄、北海道、大雪山における永久凍土の分布下限,日本地理学会,早稲田大学(東京都新宿区),2016年3月21-22日

曾根敏雄・森 淳子・森 章一、多深度地温測定装置を用いた土壌凍結深の観測,日本雪氷学会学術大会,八戸工業大学(青森県八戸市),2014年9月20日

Toshio SONE, Recent changes of permafrost mounds in the Daisetsu Mountains, Japan. 11th annual meeting AOGS, 2014年7月31日, 口イトン札幌(北海道札幌市)

Toshio SONE, Recent permafrost changes in the Daisetsu Mountains, Hokkaido, Japan. 4th European Conference on Permafrost, Evora, Portugal, June, 20, 2014

[図書](計 0件)

[産業財産権]  
出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]

ホームページ等

<http://moshiri.lowtem.hokudai.ac.jp/frame3a.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

曾根 敏雄(SONE, Toshio)

北海道大学・低温科学研究所・助教

研究者番号:10222077

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし