

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月18日現在

機関番号： 10101
 研究種目： 基盤研究（C）
 研究期間： 2009～2012
 課題番号： 21500993
 研究課題名（和文）北海道大雪山におけるパルサの変化と気候変化

研究課題名（英文）Changes of palsas and climate in the Daisetsu Mountains, Hokkaido

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

研究成果の概要（和文）：パルサは永久凍土の丘状の地形で、日本では大雪山だけにその存在が知られている。これまで大雪山のパルサには変化が生じていると考えられてきたが、基本的な情報が不足していた。そこでパルサの分布状態を記載し、地温観測、電気探査法による永久凍土核の推定を行った。その結果、2010年に生じた急激なパルサの分布面積の減少を捉えることができた。また永久凍土の温度が高いことが判った。大雪山の高山帯の気温変化を復元した結果、現在パルサの大部分が残存しているものであると考えられた。

研究成果の概要（英文）：Palsas are permafrost mounds which indicate the presence of permafrost geomorphologically. In Japan, they are distributed only in the Daisetsu Mountains. Meteorological, ground temperature and electric resistivity measurements and survey of the distribution of palsas were conducted. The rapid degradation of them was detected in 2010. Permafrost temperatures of palsas were indicated to be near 0 °C. Most of them do not seem to be active.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 2,400,000 | 720,000 | 3,120,000 |
| 2010年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2011年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,700,000 | 1,110,000 | 4,810,000 |

研究分野：自然地理学

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：パルサ、永久凍土、大雪山、電気探査、地温、気温変化、活動層

1. 研究開始当初の背景

(1) パルサ（泥炭質の永久凍土丘）は永久凍土の指標地形であり、日本では唯一北海道、大雪山だけに存在が知られている。本地域のパルサは1986年に発見され、1988年、1992年、2003年に報告があるが、いずれも研究対象とされたパルサは限られていた。また全体の面積は1986年まで減少傾向にあることが知られていたが、その後は不明であった。近

年世界的に地球温暖化が叫ばれ、永久凍土の融解が促進されていると言われるようになった。そして日本でも気温の上昇が指摘されるようになった。しかし、日本では永久凍土と温暖化の関係は不明である。例えば富士山では、温暖化して永久凍土の下限高度が上昇したような報道もなされたが、最近の研究による（岩花ほか、2010、池田ほか、2012）と、不確かであることが明らかになった。大雪山

では、標高 1700m以上の風衝地に分布すると考えられてきたが、永久凍土の分布に関して詳しい研究はなかった。近年海外では、分布限界付近においてパルサの分布面積の減少が生じていることが報告されている。そこで日本でも永久凍土の分布の限界付近にある大雪山のパルサの現状を把握することが必要とされていた。

2. 研究の目的

パルサの変化は、永久凍土の変化の有無を地形的に表すものである。したがってパルサの地形変化を検出することで、永久凍土の変化を検出することができる。しかし、これまでは大雪山のパルサの変化を知る上で基本的な情報が不足していた。例えば、いつどこにどのようなパルサがあったのかという記載は、高橋・曾根（1988）の報告にいくつかのパルサの記載があるのみで、十分ではなかった。そこでまず GPS 測量装置を用いてパルサの測量を行ない、パルサの分布状況を把握することを目的とした。また分布地の自然環境の変化を知る上でも重要な気象観測といった基本的な情報でさえも、長期の継続的な観測は行われていなかった。同様に、永久凍土の発達状態を知る上で地温情報は大切であるが、地温観測についても、長期の継続的な観測は行われていなかった。そこで、気温を中心に継続的な気象観測体制を整えること、およびパルサの地温観測を行なうことも目的の一つとした。パルサの内部構造についてはパルサ B というひとつの例しか知られていなかった。また永久凍土核の拡がりについては、情報はなかった。電気探査はこれまでも永久凍土の探査に使用されてきたが、パルサに適用し内部の永久凍土核の探査に用いられたことは、ほとんどなかった。そこで、本パルサ分布地においても、パルサの凍結核の探査に適応出来るのかを確認し、永久凍土核の拡がりを推定することを次の目的とした。以上により今後のパルサの変化を検出することができるようになるので、最近の変化を検出したい。また過去の大雪山の高山帯の気温の推移を推定し、本調査地の過去のパルサの変化と気候変化との関係を探ることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 現状把握

① パルサの認定方法

パルサは泥炭質の永久凍土丘である。本湿原においては泥炭がないと永久凍土の発達を考えにくい。永久凍土の存在をすべてのパルサにおいて確認するのは困難であるため、次の様な指標で確からしさを示した。

A 永久凍土の存在（地温）、地下深部（2-3 m以下）の凍土の存在

B 秋の凍土の存在、電気探査

C 空中写真の変化

D 形態・植生・立地

② 地形測量

GPS (Ashtek 社 ProMark3) 受信機を 2 台用いて、キネマティック測量により地形計測を行った。毎回同じ場所を基準点として基地局を設定し、解析には同社の GNN Solutions Ver. 3. 10. 11 を使用した。また国土地理院、電子基準点 (020867) 東川局の受信データも合わせて用いた。2009 年から 2011 年のデータは GPS 測量による。また空中写真の判読により、2007 年以前のパルサの分布を求めた。

③ 電気探査によるパルサの永久凍土核の推定

ボーリングによる直接的な凍土の観測に加えて、応用地質社製 MacOHM2115 を用いた電気探査法（水平二極法）によって永久凍土核の推定を行なった。

④ 気象・地温観測

地温観測は Onset 社 HOB0 U12 とサーミスターセンサーを用いて 1 時間ごとに計測を行なった。気象観測には、Visala 社 ウェザートランスミッター (WTX520) および Campbell 社製データロガー (CR1000) を用いた。

(2) 大雪山の高山帯における気温の経年変化

パルサ分布地での過去から現在にかけての気温の情報を得るのが理想であるが、ここでの観測記録は 2008 年以降からしかなく、しかも 2009 年には欠測があり、データは限られている。そこで、これまでに大雪山の高山帯での観測された気温データを収集し、大雪山の高山帯における各地点の気温の経年変化の傾向を知ることで、パルサ分布地での気温変化を推定することにした。得られたデータは 1985 年以降の白雲小屋 (標高 2000m)、白雲岳 (2230m)、黒岳 (1984m)、北海平 (2090m)、小泉岳 (2110m)、五色岳 (2035m)、高根ヶ原 (1710m) の値である。白雲小屋の気温の欠測値は、白雲岳 (1986 年)、黒岳 (1989 年) のデータを用いて補填した。

これらのデータを札幌高層 800hPa 面 (約 2000m) の気温と比較した。また白雲小屋の気温については、最も相関の良い、札幌高層 800hPa 面と旭川の気温との重相関をとって 1951 年からの外挿値を推定値とした。

4. 研究成果

(1) パルサの分布面積と最近の変化

本調査地では湿原の中ほどに分水界があり、パルサの分布地は南東側 E と北西側 W に大別できる。今回パルサの分布地域を 5 つの区域に分割した (図 1)。

分水界の南東側から見ると、E1 は最も南西側に位置する地域をさす。このなかの代表はパルサ B であり、発見当初から研究対象とされてきたパルサのひとつである。E2 は、E1

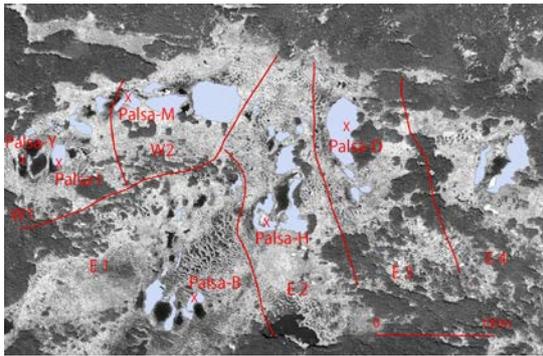


図1 2009年におけるパルサの分布(空中写真は林野 07-24(第9 タイセツザン)C18A-5, 2007年撮影を修正)

の東よりの地域である。かつて大きなパルサの中央部にサーモカルスト池が形成され、その池が拡大することにより3つに分別されたパルサのひとつであるパルサHを代表とする。E2の東側がE3で南北に延びるパルサDが代表である。最も東側に位置する区域がE4である。

分水界の西側をみると、最も西側がW1である。サーモカルストによる池に隣接するパルサYは衰退傾向を示しており、2010年にはほとんど消滅した。W2はW1の東側の地域で、2010年以降急に衰退傾向にある小型のパルサが多い。W1、W2の南寄りの地域には、かつてパルサと考えてきたハイマツに囲まれた高まりがあるが、地温や内部構造から、パルサではないと考えられた。表1に2009年における各区域におけるパルサの面積を示した。パルサの総面積は約70a程である。1955年の総面積の約3分の1程度にまで減少した。

表1 2009年におけるパルサの面積(a)
A-Dは確度、E1-W2は区域

| | E1 | E2 | E3 | E4 | W1 | W2 | 計 |
|---|-----|------|------|----|-----|------|------|
| A | 1.4 | 3.4 | 11 | 0 | 1.9 | 0 | 18 |
| B | 0.8 | 7.4 | 0 | 7 | 0 | 1.9 | 17 |
| C | 2.3 | 2 | 1.9 | 2 | 3.2 | 17 | 28 |
| D | 4 | 1.1 | 0 | 0 | 0.9 | 0 | 6 |
| 計 | 8.5 | 13.9 | 12.9 | 9 | 6 | 18.6 | 68.9 |

表2 最近の大雪山パルサの面積(a)

| 年 | 2007 | 2009 | 2010 | 2011 |
|-------|------|------|------|------|
| 面積(a) | 68.5 | 68.9 | 43.8 | 32.8 |

最近の変化について、パルサの総面積を2007年と2009年を比較すると2009年に若干増加している(表2)。しかし測定方法が異なることを考慮すると、必ずしも実際に増加したかどうかは明らかであるとは言えない。2010年

における面積の急激な衰退については後で述べる。2011年の面積の減少は2010年の影響を受けたものもあろう。2010年の最大融解深はこの年の測量時(10月1日)以降に発生したので、2010年の測量結果に、2010年の融解沈下の結果すべてが表現されていないためである。2007-2009年のようにほとんど大きな変化がない期間もあれば、2010年のように急激な変化が生じることもあることが明らかになった。

(2) パルサの地温変化

大雪山では初めて永久凍土層を貫いた地温の観測結果が得られた。ここでは比較的安定しているとパルサDの地温と以前に地温観測が行われたことのあるパルサBの地温観測結果を示す(図2)。

パルサD、パルサBともに、表層部1-2mまでの間で地温の季節変動があるが、それ以下の深部では地温の変化はほとんどない。これは、活動層中に多量の水(氷)を含み、その凍結融解のために熱が使われて、深部での温度変化が少なくなるというパルサの特徴的な地温変化を示している。また永久凍土の温度が0°Cに近いことから、ここでは温度が高く、融解しやすい状態にあると考えられる。

パルサBについて、1989-1990年と2010-2011年の地温プロファイルと比較したところ、約5mの永久凍土の基底の深さに大きな変化はないが、活動層の厚さには1989年の約1mから2010年の約2.2mと大きな変化が見られた。1987年にもパルサBの活動層の厚さは約1mが観測されている。

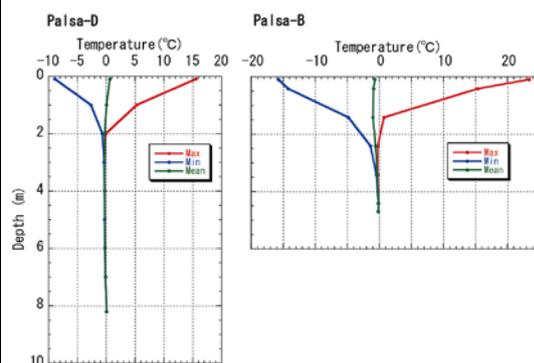


図2 パルサBとパルサDにおける2010-2011年の地温の年変化のプロファイル

(3) 電気探査によるパルサの永久凍土核の推定

電気探査の結果の例を図3に示す。電気比抵抗値は、一般に水分の多い場所では低く、凍土層では高くなる。ここではパルサの丘状の部分で比抵抗値が高く、パルサの永久凍土核の存在が示唆された。パルサBではボーリングおよび地温観測から(図2)、永久凍土の

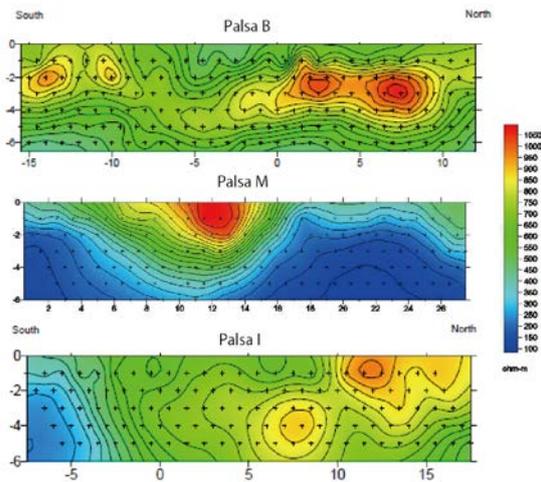


図3 パルサにおける電気探査結果（見掛け比抵抗分布）

基底が約 5m であることが判っている。これから、永久凍土の基底はパルサ M において 3 m 程度と、パルサ I では 6m よりも深いと推定される。

しかし測線付近に池がある場合パルサの地形から推定される永久凍土核の分布と、電気探査の見掛け比抵抗値分布との対応が良くない部分が見られた。これは、本来なら高比抵抗値を示す部分でも、周辺の水の影響を受けるために、比抵抗値が高くならなかったものと考えられた。したがって周囲の水（池）の分布を考慮し、ボーリングと併用することで、パルサの地下の凍土の広がり、基底の深さを探るために電気探査の結果を利用できることが判った。

(4) 小型パルサの急な衰退

ここでは 2010 年以降にみられた急激なパルサの変化について述べる。

顕著な形状変化が認められたのは比高の小さなパルサである。例えば、パルサ M は、2009 年には約 50cm 程度の比高を持っていたが、2010 年秋には、パルサの頂部が低下し冠水するようになった。このパルサ M では、地温やボーリングのデータはないが、2008 年に行った電気探査から、約 3m の深さに永久凍土の基底があると推定される（図 3）。一方で、形態的に大きな変化が見られないパルサも存在した。例えば、以前よりボーリング等によって内部構造などがよく知られている、比高 1m を超えるパルサ B には大きな変化は見られなかった。そこで、パルサ B をパルサ M の比較対象とした。

パルサ B について、前述したように 2010–2011 年の地温プロファイルと比較したところ、活動層の厚さには 1989 年の約 1m から 2010 年の約 2.2m と大きな変化が見られた。また 1987 年にもパルサ B の活動層の厚さは



図4 パルサ M

約 1m と観測されている。

このパルサ B は、永久凍土層内の地下 3m 以深にアイスレンズが多数みられ、これらの存在により丘状の地形が形成されたと考えられている。したがって活動層が厚くなり地表から永久凍土層の融解が進んでも、丘状地形を作る骨格部分となるアイスレンズを多数含む永久凍土部分が残存しているために、地表面の形態には大きな変化が見られなかったと考えられる。

大雪山の高山帯の風衝地の地温は、2010年に高かったといわれている(岩花ほか、2011)ことから、パルサMでもパルサBと同様な地温上昇が生じ活動層深さが増大したと考えられる。パルサMでは、永久凍土の基底の深さが約3mと浅く、丘状地形を維持する層はパルサBより浅い部分にあると考えられる。そのため、活動層厚の増大に対してより敏感に応答し、今回のような地表面沈下を引き起こしたと考えられる。

以上より、内部構造の違い、特に高含水率層の存在する深さが、地温変化に対するパルサ地形の変化に大きく影響すると考えられた。本調査地域には、多様な発達過程や内部の構造を持つパルサが分布しており、外部の環境の変化にตอบสนองする速さも異なることが明らかになった。

(4)大雪山高山帯における気温変化

本調査地での気象観測の結果、年平均気温は約 -2°C であり、パルサの分布限界に近い環境下にあることが示された(図5)。

高橋(2010)は、小泉岳(2110m)では期間年平均気温 $-4.4(+0.7\sim-0.8)^{\circ}\text{C}$ で推移することなどから、1993-2006年の気温推移をみる限り、大雪山の気温動向はほぼ横ばい状態であり、富士山における気温推移にみられるような温暖化傾向($0.04\sim0.07^{\circ}\text{C}/\text{year}$)は認められないとした。

しかし図5によると、大雪山高山帯における各観測値の変動パターンは、札幌高層気象800hPa面の平均気温の変動パターンと良く合っている。これによると1950年代以降で年平均気温が最も高かったのは、1990年であろうと推定できる。また1960年代前半から1980年代の後半にかけては、年平均気温は低下傾向にあり、異常に高温だった1989-1991をはさんで、1990年代前半から現

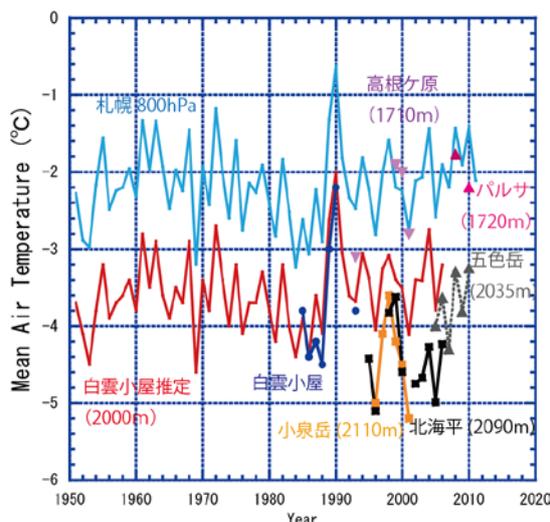


図5 大雪山高山帯の各点と札幌高層800hPa面の年平均気温の変化

在にかけてはやや上昇傾向にあると見られる。

(5)パルサの面積の変化

高橋・曾根(1988)によると、この地域のパルサの総面積は1955年から1982年にかけて約36%減少したという。1960年代から1980年代にかけての期間の年平均気温は、図5から低下傾向にあったと考えられる。それにもかかわらず、この期間にもパルサの総面積が減少した。現在では1955年の総面積の約1-2割しかない。このことは、少なくともここ50年間は多くのパルサが存在を維持できる条件では無くなってきていることを示す。すなわち、それらが現在よりも寒冷な時代(小氷期?)に形成され、その後は残存しているに過ぎないのではないかと考えられる。ここ約50年間に新たに成長したと考えられるパルサも存在するが、ごくわずかである。したがって active なパルサはごくわずかであり、ほとんどが inactive の状態と考えられる。2010年に生じたような変化が今後も生じる可能性があり、これからも注意深く見守る必要がある。

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)

岩花 剛、澤田結基、片村文嵩、石川 守、曾根敏雄、大雪山系における永久凍土観測-2005~2010-、北海道の雪氷、査読無30、2011、147-150

[学会発表](計2件)

①曾根敏雄、原田鉦一郎

「北海道、大雪山における永久凍土丘の変化」、東北地理学会、2011年10月8日、仙台市戦災復興記念館(仙台)

②曾根敏雄、原田鉦一郎

「北海道、大雪山平ヶ岳南方湿原におけるパルサの永久凍土の電気探査」、日本地理学会、2010年3月28日、法政大学(東京)

[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

(4)研究協力者

原田 鉦一郎 (HARADA KOICHIRO)

宮城大学・食産学業学部・准教授

研究者番号：60331279

岩花 剛 (IWAHANA GO)

北海道大学・地球環境科学研究院・助教

研究者番号：70431327

森 淳子 (MORI JUNKO)

北海道大学・低温科学研究所・学術研究員

研究者番号：50372272