



Title	シベリアヤクーツクの永久凍土調査
Author(s)	木下, 誠一; KINOSITA, Seiti; 鈴木, 義男 他
Citation	低温科学. 物理篇, 31, 271-277
Issue Date	1973-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18235
Type	departmental bulletin paper
File Information	31_p271-277.pdf



シベリアヤクーツクの永久凍土調査*

木下誠一・鈴木義男

(低温科学研究所)

(昭和48年9月受理)

I. はしがき

シベリアのヤクーツクは、冬の最低気温が -65°C にも達する世界の寒極と称される地域である。地下は250 mにもわたって永久に凍っている。しかし、この永久に凍る大地の上にはタイガと称される大樹林帯が存在する。又、アラス、ピンゴ、巨大な地下水氷等の特異な地形現象¹⁾が見られる。筆者等及び酒井・山本の4人は、昭和47年8月中旬文部省科学研究費補助金を得て、シベリアの永久凍土地帯に特有なこれらの現象を直接調査する機会を得た。

ヤクーツク周辺を旅行するには、ソ連科学アカデミーの許可をうけ、ヤクーツクの凍土研究所の協力をうけることが必要とされる。許可をうけたのは、ヤクーツク地域の滞在日数10日、人数4人という制限されたもので、又観測器材も携行出来るものに限られた。従って予備な調査に終始したのであるが、ここに凍土調査班の木下・鈴木の行なった調査の概要を紹介する。なお、植生班の酒井²⁾と経済調査班の山本³⁾には、それぞれ別に報告がある。

II. シベリアの永久凍土

シベリアの永久凍土の概要を次に述べる^{4),5)}。

(1) 分布状況 北は北極海沿岸から南は中ソ国境にいたり、ヨーロッパ及び西シベリアを除いたそれ以东のソ連全土にわたるもので、その広さは $9.6 \times 10^6 \text{ km}^2$ である。ソ連全土の47%、全地球上の永久凍土の46%にも達し、日本の約26倍もの面積である。厚さは北緯 50° の中ソ国境付近で10 m前後、北へ行くに従い厚さを増し、北緯 62° のヤクーツク付近で250 m、北緯 75° の北極海岸では500 mにも達する。

(2) 温度 永久凍土が存在する地域の年平均気温は大体 -2°C 以下である。年平均地面温度は年平均気温よりもいくらか高い。これは冬の間地面が断熱性のよい雪に蔽われるからである。年平均地面温度は、地下10 mの土の温度にほぼ等しい。永久凍土の厚さが250 mのヤクーツクでは、その温度は -4°C である。又500 mの厚さの北極沿岸では -10°C よりも低い。ヤクーツクの年平均気温は -10°C で、冬期間の積算寒度は $7,000 \sim 8,000^{\circ}\text{C} \cdot \text{day}$ である。しかし、夏特に7月は暑く、 30°C をこすのが稀でない。

(3) 活動層 永久に凍った地面とはいえ、夏には融ける。勿論冬になると凍るが、この夏に融け冬に凍る地面近くの層を活動層と呼ぶ。特にヤクーツクのような内陸は夏に暑く、裸地

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1269号

では2 m ほど融ける。樹林帯のなかでは、立木密度が密なほど、活動層の厚さは減る。北極海岸では夏の最高気温はたかだか20°C前後で、活動層の厚さも50 cmにすぎない。

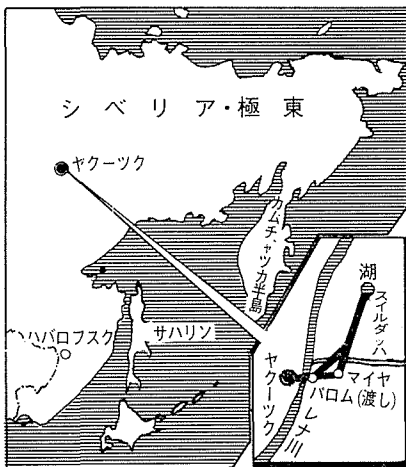
(4) 降水量 内陸のヤクーツクでは年間200 mmの降水量にすぎない。そのうち冬期の雪としては35 mm前後である。南の中ソ国境付近や北極海岸では降水量は多く400 mmにも達する。

(5) 植 生 永久凍土とはいえ地面付近は夏にとけ冬に凍る活動層である。又活動層から下へは水が滲透して行かない。従って年間僅か200 mm前後の降水量でも活動層内に蓄えられ、植物の涵養源になる。北緯70°以北から北極海岸に到る地域は夏の気温が低く、又夏の期間が短かいため樹林はないが、苔類が生え、表土はツンドラを形成する。北緯70°以南には、ダフリカカラマツを主体とする針葉樹林帯が広く存在する。タイガと称されるものである。立木密度は密林で1 ha 当り15,000本位で、各樹木の太さは10~15 cm、高さ10~15 m、樹齢100年前後である²⁾。南方地域の密林とは違うほそぼそしいものである。

III. 調査地域

主として調査の対象となった地域は第1図の地図に示されるヤクーツク市から北東約250 kmのサルダッハ湖周辺である。サルダッハ湖は直径4 kmほどのほぼ円形の湖で、アラスの一種である¹⁾。湖岸は高さ20 mの崖で囲まれ、所々に地下水が露出している。その様子を第2~4図に示す。

アラスというのは、永久凍土地帯の樹林帯のなかに、ポツンと開ける皿状に凹んだ所である。アラスが出来るきっかけは、山火事とか或は木を切るとかで樹林帯のなかに、まず裸地が出来ることである。裸地の部分は、夏の間直接暖気に



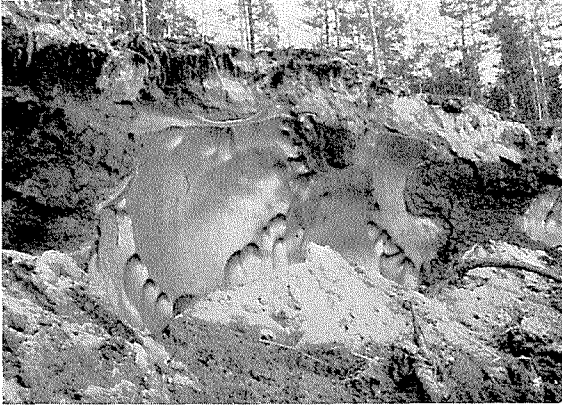
第1図 調査地点の地図



第2図 サルダッハ湖。湖岸の崖の高さ20 m。
その上の樹林の高さ10~15 m。



第3図 サルダッハ湖。湖岸に地下水が露出して融解しているの見える



第4図 地下水が露出している所。右下方に
倒れ落ちた立木が見える

さらされるため、夏に融ける活動層の厚さを増す。今まで融けなっていた地下水が融け始めるので、地面が沈下する。冬には凍るが、再び夏には融ける。1年を通じて降水量が少なく、乾燥もしているため、夏の間沈下が優先し、10年もたつと2mほども沈下する。皿状に凹んだ側面においても夏の融解が起るので、その上の立木が倒れ、皿状に凹んだ部分を更に側方へと拡げて行く。このようなことを繰返すうちに、広さ数百mから数kmにも達する大きなアラスが出来る。

しかし、深さの方は10mから20mでと

まってしまう。水が溜って湖の形状をなしているものも多いが、一般には蒸発して次第に湖が小さくなって行く。

サルダッハ湖は、アラスにできた水溜りで、その水源は湖岸の崖に露出する地下水である。この氷が夏に融けて流入するだけで、他には流入する川も流出する川もない。湖水面からの水の蒸発と地下水の夏期の融解による流入とがほぼつりあって、現在では一定の湖水面位を保っている。湖の深さは6mである。湖の底は2~5mほど融解した土であるが、その下は250mもの厚い永久凍土がつづく。

IV. 調査方法

サルダッハ湖周辺の地下水、土質、活動層内温度を調査した。又比較のため粗林帯や裸地においても活動層内温度も調査した。一方、酒井は樹林について、その密度、樹種、太さ、高さ、年齢等の林相を調査した²⁾。

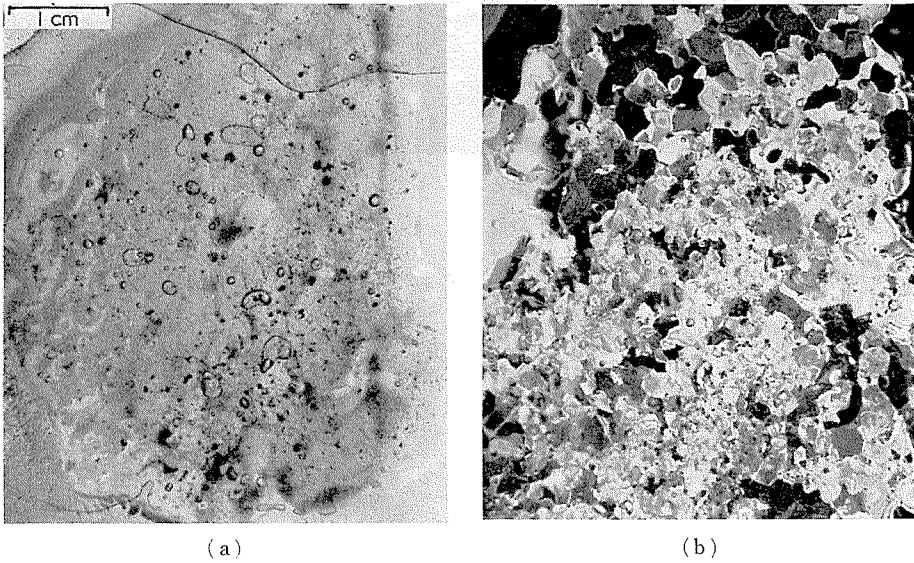
(1) 地下水の観察 第4図に示されるように、湖岸の地下1.5mから下へ伸びている。幅は数mで、深さは30mにまで達するといわれる。上端近くの部分をハンマーで叩き割るようにして、拳ほどの氷塊を採取した。この氷塊を厚さ1mmの平らな鉄板の上のせ、携帯用固形燃料の燃える上にかざした。氷塊を鉄板の上にこすりつけるようにして融かす。このように融かすことによって薄片を仕上げた⁶⁾。およそ1mm位の厚さにして接写台の上のせ、自然光を反射板でうけて下の方から透過させ、写真にとった。又、薄片を上下2枚の偏光板にはさみ、クロスニコルにして偏光写真も撮った。

(2) 土質 地下水の側方の凍った土については、地下水と同じようにハンマーで削って拳ほどの試料を採取した。地下水の上の活動層内の融解土については、スプーンで採取するか、又は雪密度計用のサンプラー⁷⁾で採取し、その重量を測って密度を求めた。採取した試料をポリビニールの小型容器に格納し、乾燥しないようにして日本に持ち帰った。実験室で含水量や土粒比重を測定した。

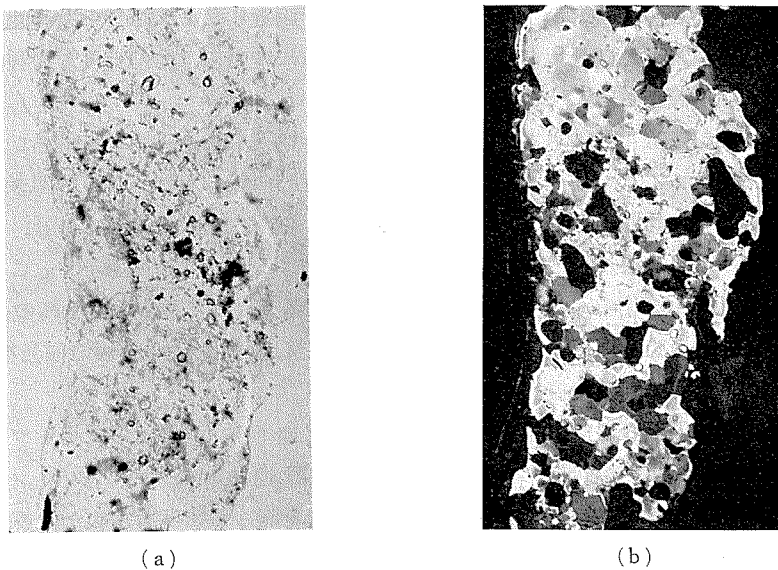
(3) 活動層内温度 長さ1mの検土杖を地下の色々な深さまでつき立てて作った穴の中へ、サーミスター温度計の感温部を底に達するようにさしこんだ。

V. 調査結果

(1) 地下水 第3図に示すように、地下水は湖岸の到る所にあるというわけではない。又夏の間に地下水は融けて1mほど後退する。筆者等が採取した地下水の組織を第5, 6図に示



第5図 露出地下水の水平薄片。bは偏光写真



第6図 露出地下水の鉛直薄片。bは偏光写真

す。第5図は水平薄片で、aが普通写真、bが偏光写真である。ところどころに土粒や気泡が点在する。又多結晶体で一つ一つの結晶の大きさはほぼ1mm前後である。鉛直薄片の写真は第6図に示す。水平薄片と余り変らない様子である。露出した地下水の表面部分の水をとったのであるが、表面はたえず融解水で洗われる状態になっているためか、アラスカの場合⁸⁾のような顕著な層構造は見られなかった。

この地下水を融解した水について、電気伝導度を測ったところ $3.6 \sim 3.9 \times 10^2 \mu\Omega/\text{cm}$ という値を得た。これは水道水と蒸留水の間程度の純度である。

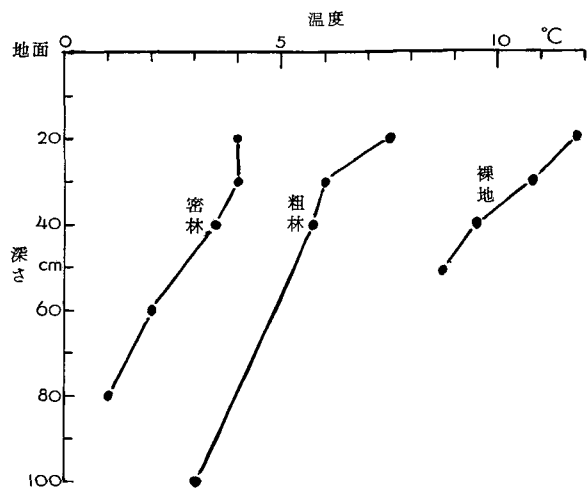
(2) 土 質 土質と含水比(単位重量当り)、土粒比重を、又そのうち密度を測定した試料については、土を構成する土粒分、水分、空気分の体積割合を第1表に示す。水分が少なく、空気分が多いが、かなりしまった土の状態である。この程度の少ない水分であるため、樹木の高さはたかだか15m、太さもたかだか20cm程度にすぎない。

第1表

試 料	土 質	現場密度 (g/cm ³)	含 水 比 (%)	土粒比重	体 積 割 合		
					土粒分 (%)	水 分 (%)	空気分 (%)
地下水の横	シルト質	1.45	18.6	2.49	49	23	28
"	"	1.44	17.5	2.48	49	21	30
地下水の上	"	1.61	19.9	2.36	57	27	16
林内地下40cm	"		10.7	2.52			
ヤクーツクトルネン内	砂 質		33.5	2.62			

第1表最下欄のヤクーツクトンネルというのは、サルダッハ湖とはレナ河をはさんで西側にあるヤクーツク市の凍土研究所の研究用地下壕である。地下13mの凍土(-4°C)である。サルダッハ湖岸とは土質が違い砂質である。かつてレナ河の底であったということで含水量は多い。

(3) 活動層内温度 密林帯(1ha当り15,000本位)、粗林帯(1ha当り5,000本位)及び裸地で測った活動層内地温分布を第7図に示す。融解層の厚さは、それぞれ1m、1m50cm、2mと推定される。測定したのは8月中旬で、以後気温が下がる一方であるため、融解速度はおそくなって行く。9月上旬には気温が0°C以下になり、地面から凍結が始まるので、融解層のこれらの値はそれまでには10~20%ふえるであろう。



第7図 活動層内温度分布(1972年8月中旬シベリアのヤクーツク地域サルダッハ湖付近)

観測器材、観測期間、観測地域が制限されたため、広大なシベリア永久凍土のごく一部のしかも地面付近だけについて、地下氷、土質、温度を調べた。次の機会にはもっと広い規模で調査を進めたいものと思う。植生との関係については、地表近くの土中水分で決まるものが多く、かなりのことが解明されたと云える。

この調査に当り、現地旅行を許可されたソ連科学アカデミー外事部長コルネーエフ氏、協力をいただいたヤクーツク凍土研究所メリニコフ所長、カメンスキー副所長、ネクラソフ博士、チェルヌイシエフスキー支所ボーリン所長に厚く感謝の意を表明します。なお、この調査は昭和47年度文部省科学研究費補助金(海外学術調査)によって行なわれたものである。

文 献

- 1) 木下誠一 1971 永久凍土. 極地, **6**, 39-49.
- 2) 酒井 昭 1973 ヤクーツク地方の森林の生態的特性. 低温科学, 生物篇, **31**, 49-66.
- 3) 山本 敏 1973 シベリア開発. 講談社現代新書, 206 pp.
- 4) Достовалов, Б. Н. и Кудрявцев, В. А. 1967 Общее мерзлотоведение. Издательство Московского Университета, Москва, 404 pp.
- 5) Гаврилова, М. К. 1973 Климат центральной якутии. Якутское Книжное Издательство, Якутск, 118 pp.
- 6) 中村 勉 1966 熱板による積雪薄片の作製. 低温科学, 物理篇, **24**, 133-137.
- 7) 清水 弘 1967 積雪観測法. 北海道大学低温科学研究所, 24 pp.
- 8) 渡辺興亜 1969 永久凍土層の氷について. 雪氷, **31**, 53-62.

Summary

In the middle of August, 1972, field observations were carried out on permafrost around Lake Surdakh, which is located 250 km northeast from Yakutsk Siberia (Fig. 1). Lake Surdakh is an alas, which is a depression formed by a thermokarst development in which local deep thawing has taken place in permafrost masses accompanied by the melting of ground ice (Figs. 2 and 3). The shape of the alas is nearly round and the diameter of Lake Surdakh is about 4 km. The lake is surrounded from all sides by a larch forest. The height of the basin cliffs is about 20 m. At some places along the cliffs underground ices are exposed (Fig. 4). The top of the ices is 1.5 m below the top of the cliffs and the ices sink into the ground in a wedge-like shape. The water source of the lake is only the melt of the exposed ices during the summertime.

(1) A lump was picked up from an exposed ice by using a hammer. It was put on an iron plate being heated by a portable heater. The bottom of the lump was melted to form a flat plane. After some minutes the lump was turned upside down and the opposing side was melted to form a flat plane. Repeating this process, a thin section (vertical or horizontal) was prepared. It was found from its microscopic observation that the underground ice contained a small amount of dirt and air bubbles and that the texture of the ice was polycrystalline: the crystal sizes were 1-2 mm (Figs. 5 and 6). The electro-conductivity of the melt water was $3.6\sim 3.9\times 10^2 \mu\sigma/\text{cm}$

(2) Soil samples were collected around the exposed ices and under the forest.

They were silty. Their water contents were about 15% ; the density of soil particles contained was 2.50 g/cm^3 . The volume ratios of soil particles, water and air composing the soil were 50, 20 and 30% respectively.

(3) The thickness of an active layer, which is an uppermost layer of permafrost repeating melts in summers and freezes in winters, depends on the condition of surface coverings. We measured temperature profiles below the ground surface at dense and thin parts of the forest and a number of tree-less spots on the ground (Fig. 7). The results: the thicknesses of the active layers were 1, 1.5 and 2 m at the dense and thin parts of the forest and tree-less spots on the ground respectively.