



Title	ツンドラ地帯の凍結
Author(s)	中谷, 宇吉郎; 菅谷, 重二
Citation	低温科学, 1, 89-94
Issue Date	1944-12-15
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/17386">http://hdl.handle.net/2115/17386</a>
Type	bulletin (article)
File Information	1_p89-94.pdf



[Instructions for use](#)

# ツンドラ地帯の凍結

中谷 宇吉郎, 菅谷 重二

ツンドラ地帯の凍上防止策の基礎研究として、その凍結状態の調査を某地のツンドラ地帯に於て行つた。調査は秋期凍結開始前に一度行ひ、其の同じ地點について、嚴冬期に再び發掘調査を行つた。その結果を報告する。

## § 1. 秋期に於けるツンドラ地帯の土質的調査

昭和 16 年 10 月 8 日調査結果による。調査ツンドラ地帯の土質垂直分布状態は第一圖に示す如く、ツンドラ層 A、泥炭層 B、泥炭泥層 C、粘土層 D よりなる。

D なる粘土層は緻密な青灰色粘土からなり、深さ 2 乃至 3 m に達し、その下は砂利層になつてゐた。この粘土層がツンドラの基盤たる不透水層をなしてゐるのである。A 及び C 層は更に 2 層及び 3 層から成つてゐて、その差は肉眼で認められた。

i) 泥炭泥及び基盤粘土層の土質的調査 此の調査地點は、表面より深さ 45 cm のところまで、即ち黄白色ツンドラ層を除去して放置してあつたところである。今回の調査では更に A<sub>2</sub>, B 層を除去し、その下の泥炭泥層 C と粘土層 D について、その含水量、灼熱損失量即ち有機物及び吸著水の量などを測定した。C 層は C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> 層にわけて測定し、D 層は各深さに於て 4 cm 厚の標本 4 個を採つて測定した。その結果を第 1 表及び第 2 圖に示す。

第 2 圖で見られるやうに、泥炭泥層と粘土層とは、やゝ不連続的に組成が變化するが、それよりも泥炭泥層の上層部分に著しく含水量の多い層がある。ツンドラ地帯での土木工事では、この種の調査をして、此の場合ならば、少くも C<sub>1</sub> 層までは除去する必要がある。

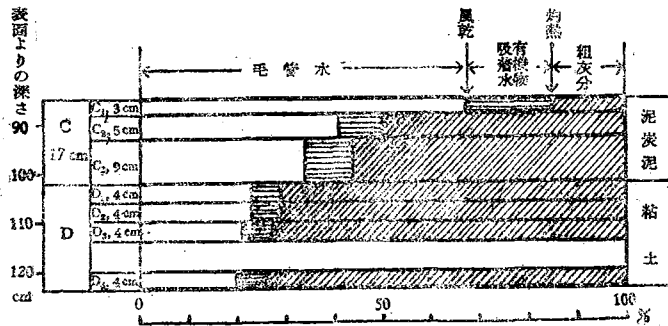
ii) ツンドラ層中の水の分布 前節調査と同日、他の場所にて、手の觸れてないツンドラ層を掘り、各深さから標本を採つて、その中の水分含有状態を調べた。その地帯はミゾゴケを主とす

A ツ ン ド ラ 層	A <sub>1</sub>	黄白色ツンドラ 45 cm
	A <sub>2</sub>	褐色ツンドラ 10 cm
B 泥 炭	B	泥 炭 30 cm
C 泥 炭 泥	C <sub>1</sub>	2 cm
	C <sub>2</sub>	5 cm
	C <sub>3</sub>	9 cm
D 粘 土	D	青灰色粘土 2~3 cm

第 1 圖

第 1 表

	體積 V (cc)	濕土 m 重量 (g)	見掛 比重 ρ	風乾 m <sub>a</sub> 重量 (g)	含水比 $r = \frac{m - m_a}{m_a}$	含水量 (%)	有機物 吸著水 (%)	粗灰分 (%)	土 質
C <sub>1</sub>	49.8	58.0	1.16	19.0	2.05	67	18	15	泥炭土 腐蝕にとむ
C <sub>2</sub>	189.2	231.0	1.22	136.0	0.69	41	9	50	
C <sub>3</sub>	230.4	356.0	1.54	234.0	0.52	34	10	56	
D <sub>1</sub>	39.0	76.0	1.94	58.5	0.29	23	平均 6	71	青灰色粘土
D <sub>2</sub>	38.3	73.0	1.91	56.5	0.29	23			
D <sub>3</sub>	36.6	71.5	1.95	56.5	0.26	21			
D <sub>4</sub>	94.0	176.2	1.87	141.0	0.25	20			



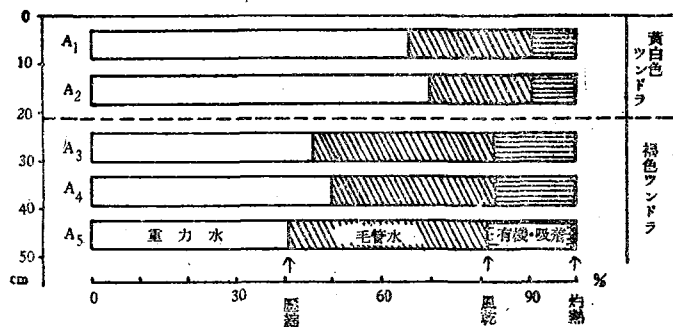
第 2 圖

るツンドラ地帯であつて、表面に成育せる植物を取り除き、その面をツンドラ表面とした。測定したのは重力水、毛管水、有機物及び吸著水、粗灰分である。重力水は壓縮によりて絞り取られる水で、壓力は  $10.2 \text{ kg/cm}^2$  で絞つた。毛管水は風乾によつて求め、有機物及び吸著水は灼熱損失量によつて求めた。その結果を第 2 表及び第 3 圖に示す。

第 2 表

	原重量 m (g)	重力水 (g)	風乾重量 (g)	毛管水 (g)	粗灰分 (g)	有機、 吸著水 (g)	重力水 (%)	毛管水 (%)	有機、 吸著水 (%)	粗灰分 (%)
A <sub>1</sub>	200	131	18.5	50.5	0.5	18	65.5	25	9	0.25
A <sub>2</sub>	200	140	18.5	42	0.5	18	70	21	9	0.25
A <sub>3</sub>	200	92	33	75	1.9	31	46	38	15.5	0.95
A <sub>4</sub>	200	100	32	68	1.3	31	50	34	15.5	0.65
A <sub>5</sub>	200	82	36	82	1.3	35	41	41	17.5	0.65

第 2 表及び第 3 圖によつて明かな如く、此の地點の上層ツンドラは大體 90% が水、10% が有機物にして、粗灰分は 0.25% にすぎない。下層の褐色ツンドラは約 82% が水で有機物及び粗灰分も大體上層の 2 倍位と見て差しつかへない事が分つた。



現生植物を除去したツンドラ表面=0

第 3 圖

§ 2. 嚴寒期に於ける調査

昭和 17 年 1 月 7 日秋期調査と同じ場所で現場を發掘調査した。気温は現場で  $-20.5^{\circ}\text{C}$  (a.m 11.00) の程度であつた。發掘の穴は 1.5 m 角、深さ 2.3 m、凍結線下約 1.5 m まで掘つた。その断面を第 4 圖に示す。第 4 圖は秋期調査の第 1 圖に合せたもので、泥炭と泥炭泥との差は今度は餘り明かではなかつたが、黑色層の厚みは穴の四壁で 63 cm, 55 cm, 62 cm, 62 cm, で平均 60 cm と見て差し支へなかつた。凍結線の深さは 73 cm で、粘土層内に約 10 cm 位の深さまで凍結してゐた。

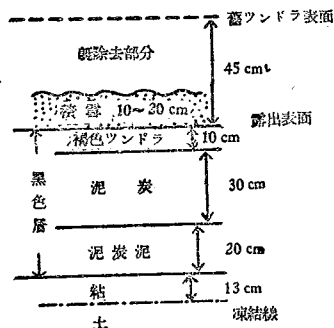
凍結線直下 地中温度  $-0.4^{\circ}\text{C}$

その 10 cm 下 "  $+0.1^{\circ}\text{C}$

i) 基盤粘土の凍結状態 一例を挙げれば中央に粘土及び黒土の柱があり、左右に泥炭層があつた壁では、粘土及び黒土には判然たる氷層が澤山入り、泥炭部分には空隙が多かつた。故に泥炭の部分は凍結線が約 5 cm 位浅かつた。泥炭部分の空隙には、天井に霜の結晶が附着し、底からは霜柱が無数に立つてゐた。寫眞 No. 61 に粘土及び黒土中に氷層の盛に發達した部分を示す。この氷層は透明にして無定形の如く見ゆるものが多い。又割目が澤山入つて白色に見えるものもある。この標本を持參歸學、低温室内で氷層の薄片を作つて顯微鏡下で調べた所、やはり氣柱及び氣泡が垂直に入つてゐて、霜柱狀氷層と同じものである事が分つた。

次に寫眞 No. 61 中の一部、即ち粘土中に厚い氷層の入つた部分を更に擴大して寫眞 No. 62 に示す。これで見ると、粘土が完全に氷から分離してゐるのがよく分る。この水中に介在した凍結粘土層の含水比を測定する爲に、 $-0.5^{\circ}\text{C}$  乃至  $0.0^{\circ}\text{C}$  の恒温箱中に標本を放置して、氷層と凍結粘土層とを分離し、凍結粘土だけについて含水比  $R$  を測定した。その結果は

厚い土層  $R=0.30$ , 薄い土層  $R=0.35$



第 4 圖

であつた。この結果は秋の含水比  $r=0.29$  と大體等しく、即ち粘土は秋末の含水比の儘コンクリート状に凍結し、氷層は下から吸ひ上げた水が凍つたものと説明される。

次に寫眞 No. 61 の一部分、凍結線直上の部分から 10 cm 厚の土柱を採り、その含水比を上、下二部に分けてそれぞれ測つた。上部はやゝ黒褐色を帯びて氷層細く、下部即ち凍結線直上部分は黄色を帯び厚い氷層が入つてゐた。その結果は

$$\text{上部 } R=0.67, \quad \text{下部 } R=0.83$$

であつた。即ち後述の如く凍結線下の粘土の  $R \doteq 0.21$  程度に比し著しく水を吸ひ上げてゐる事がわかつた。この粘土は著しく稠密で  $\rho \doteq 2$ 、即ち粘板岩に近い稠密度なる爲、その状態で最大含水量は測定出来ないが、せいぜい  $r_0=0.45$  位であるから、この凍結をとかすと、勿論上澄水が澤山出て来る。

ii) 泥炭の凍結状態 今一つの壁では、泥炭層（泥炭泥を含む）と粘土層との境に空隙が盛に出来てゐた。その空気層の断熱の爲、凍結線は (i) の場合より 10 cm 浅く、63 cm であつた。即ち粘土層と泥炭層との境で凍結は止つてゐた。

兩層の境に限らず、泥炭中には空隙が多く発生し、その空隙の底からは霜柱が立ち、天井には霜の結晶が澤山見られた。霜の結晶の中珍らしい中空角柱の結晶があつたので寫眞 No. 63 に示す。この霜の結晶は美麗なる點、及び珍稀なる點に於て多分今迄世界中で知られてゐなかつたものと思はれる。しかしこの種の結晶は今回の調査でも稀れで、多くは角板、扇形、コップ型の普通のものであつた。

霜柱は多くは彎曲してゐた。その中で霜柱の單柱があり、これも稀れに見るものであつた。

凍結泥炭層の一部を持參、歸學後調査した。その部分より細長い角柱を切り出し、その凍結状態を寫眞 No. 64 に示す。下部は粗なる霜降、中央部は密なる霜降、上部はやゝ蜂巢状の霜降凍結であつた。これを 3 分して各部分について、種々の量を測定した結果は、第 3 表に示す如くである。

粗灰分が風乾土の 17%~12% といふのは、第 1 表の泥炭泥 (C 層) より著しく小さい。故にこの層は前出の B 層、即ち泥炭層である。この層の秋の含水比が測つてないので確定は出来ないが、 $R \doteq 2.5$  といふのは大きい含水量で凍結に従つて下から水を吸ひ上げたことが分る。

第 3 表

	上 部	中央部	下 部
見 掛 比 重	0.80	0.98	0.87
含 水 比 $R$	2.56	2.06	2.79
灼 熱 損 失	83%	88%	87%
粗 灰 分	17%	12%	13%

この泥炭の霜降状凍結状態を、顯微鏡で見た例を寫眞 No. 65 に示す。この寫眞でわかるやうに、泥炭の霜降状凍結も粘土と同様であるが、この場合は氷の分離析出がさらに判然としてゐる。又はじめの含水量が多いために、氷中に土が混入した形になる場合が多い。寫眞 No. 65 は氷層

が分離した霜柱の集合よりなる例であるが、一様に透明な水からなつてゐる場合も屢々あつた。泥炭の蜂巢状凍結部分は、氷層が獨立分離した霜柱からなり、その間の土層は塊状をなして多孔質なのが特徴である。そしてその空隙のなかには霜の結晶、無定形の氷粒などがある場合が多い。

iii) 白色ツンドラの凍結したものは、纖維がそのまま氷の中に埋つた形で凍結し、特に氷層の分離は起きない。その顯微鏡寫眞を寫眞 No. 66 に示す。此の凍結ツンドラをとかして測定した結果、

$M=66.25\text{ g}$ ,  $V=75.5\text{ cc}$ ,  $\rho=0.88$ ,  $R=5.9$ ,  $m_d=9.6\text{ g}$ ,  $W=56.7\text{ g}$ , 最大含水量=68.0 g であつた。故にツンドラは夏期の最大含水の状態に近い状態でその儘凍るのである事が分る。

iv) 含水比の垂直分布 凍結層の含水比の測定の外に、凍結線下の未凍結粘土の含水比分布も測定した。一壁について詳しく測定した結果を第 5 圖に示す。凍結線上の含水比は著しく大きく、直下は乾き、その水が凍結によつて上方へ吸ひとられてゐることをよく示してゐる。又全體として下ほど乾いてゐる點も温度傾斜による水の移動を示してゐる。第 5 圖中點線は秋末の調査の時に測つた含水比で、それとくらべて凍結線下の粘土が乾いてゐるのは凍結によつて上方へ水を吸ひとられた爲である。

他の断面でも、凍結線下の粘土の含水比を測定した。その結果は

凍結線下約 5 cm,  $R=0.25$ ,

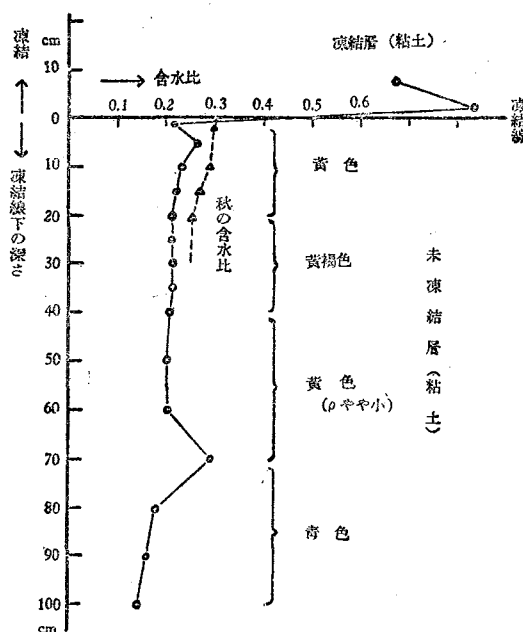
凍結線下約 15 cm,  $R=0.22$ ,

であつた。即ち第 5 圖の場合と殆ど同じ結果を得た。以上の結果から、ツンドラ地帯の基盤をなすやうな稠密な粘土中でも水の動きがあり、その凍結様式竝に凍上状態は北海道内地で調べた粘土又は普通の黒土などと同じことを知つた。

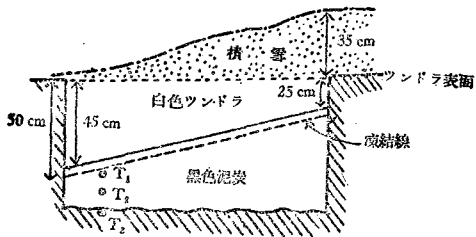
v) ツンドラの斷熱作用 上述の觀測個所は秋より上層のツンドラを除去してあつた爲、凍結線がずつと下迄入つてゐた。上層のツンドラがそのままある所では、凍結線はずつと浅かつた。調査個所

は防雪柵の影響で、雪が半分を蓋つてゐた所であつた。掘つた穴は 1.5 m 角、深さ 80 cm であつた。

白色ツンドラと泥炭との境には全般に互つて空隙があり、積雪の斷熱作用がよく見られた。白



第 5 圖



第 6 圖

色ツンドラの断熱作用も大きく、積雪の殆どない所でも、凍結線の深さは 50 cm に止り、前述の 73 cm に比すれば著しく浅い。又地中温度は

$T_1$	凍結線直下	$0.0^{\circ}\text{C}$
$T_2$	15 cm 下	$+0.1^{\circ}\text{C}$
$T_3$	30 cm 下	$+2.3^{\circ}\text{C}$

で、凍結線下の温度が泥炭中では著しく高い事が分つた。

以上によりツンドラ地帯は、自然のままに放置された所では、1 m 位のツンドラ層があれば基盤の粘土層までは凍結線が下らないであらうといふ事が推定される。