



|                  |                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Title            | 凍土の熱膨張について (序報)                                                                   |
| Author(s)        | 堀口, 薫; HORIGUCHI, Kaoru                                                           |
| Citation         | 低温科学. 物理篇, 31, 295-298                                                            |
| Issue Date       | 1973-03-25                                                                        |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/18240">https://hdl.handle.net/2115/18240</a> |
| Type             | departmental bulletin paper                                                       |
| File Information | 31_p295-298.pdf                                                                   |



## 凍土の熱膨脹について (序報)\*

堀 口 薫  
(低温科学研究所)  
(昭和48年9月受理)

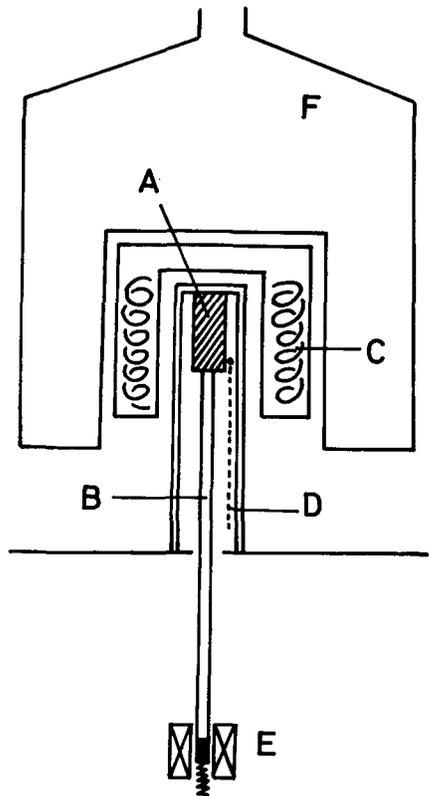
### I. ま え が き

凍土の構成要素は土粒子、氷、不凍水及び空気である。このうち土粒子、氷、空気は、一般の物質と同じく、温度が下るにつれて、収縮することが期待される。一方、不凍水は温度が下るにつれて減少し、その分だけ氷の量が増加する。従って、凍土の温度を次第に下げて行くと、不凍水が次第に氷に変わるための体積変化が生ずることが予想される。この意味で凍土の体積の温度依存性つまり熱膨脹を調べることは興味深い問題である。この報告では、特に温度を下げて行く方向、つまり、体積収縮過程について熱膨脹をとり上げた。

### II. 試料の作り方と実験方法

内径5mm、長さ15mmのビニールの管を縦に半分に割る。割られた各々をビニールテープでくっつけ、管の底に当る一方をビニールテープで封をする。次に、適当に水を含んだ土の試料を、気泡が入らないように注意しながら、このビニールの管をつめる。試料の入ったビニールの管を底の方から徐々に液体窒素の中に入れて凍らせる。試料が完全に凍ってから取り出し、ビニールの管を取り除き、凍土の試料を作った。

低温での熱膨脹の測定には真空理工 K.K. 製の熱膨脹計 DL-1500 L を用いた。この装置の試料の入る所を第1図に示した。Aは試料の凍土、Bは試料を支える石英の支持棒である。試料の伸縮量は、この支持棒を通して、下の方にある差運変圧器Eによって測定する(最大の精度は記録紙の幅25cmが50 $\mu$ )に相当する。Cは電気炉、Dは試料の温度を



第1図 実験装置

A 試料, B 石英の支持棒, C 電気炉, D 熱電対, E 差動変圧器, F 液体窒素の容器

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第1265号

知るための熱電対である。これら全体は液体窒素の入ったジユワー瓶Fの底にあり、試料の温度は電気炉のヒーターの電流を調節することによって制御する。

測定に入る前に、試料を約  $-3^{\circ}\text{C}$  の温度に十分保持し、試料にもはや伸縮がないことを確かめた。それから1分間  $1^{\circ}\text{C}$  の速度で試料を冷却した。測定が終わってから、試料を取り出し、 $110^{\circ}\text{C}$  で炉乾燥して含水比を求めた。

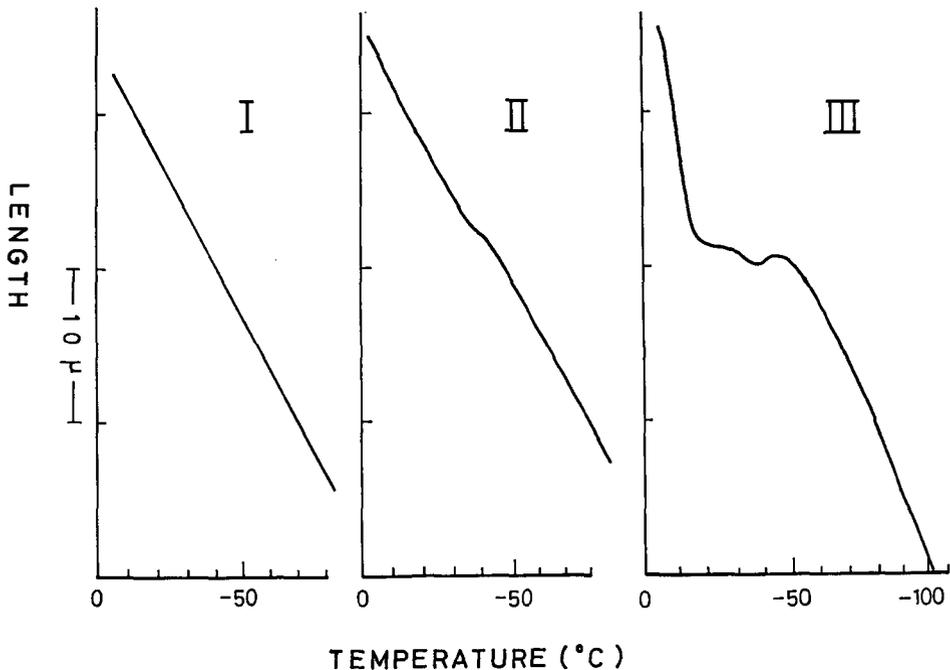
比較のため試料として土の代りにガラス球やカーボランダムのような粒状物質も用いた。

### III. 結果と考察

ガラス球 (粒径  $66\sim 84\mu$ , 含水比 11.2%) では、測定した温度範囲の全域にわたって、温度を下げるにつれて一様に収縮した。この収縮状況を第2図の曲線Iに示した。この収縮曲線の温度依存性から線収縮率\*を求めると  $2.41 \times 10^{-5}$  であった。

カーボランダム (粒径  $4\mu$ ) の場合にも、ガラス球のときと同じように、温度を下げるにつれて試料は一様に収縮した。その線収縮率は含水比が 35.5% のとき  $3.40 \times 10^{-5}$ , 43.0% のとき  $2.69 \times 10^{-5}$  であった。

苫小牧地方の風化した火山灰 (砂質粘土ローム) の含水比が 42.9% のときの収縮曲線を



第2図 凍土の収縮曲線

- I ガラス球 ( $66\sim 84\mu$ ), 含水比 11.2%
- II 苫小牧の火山灰, 含水比 42.9%
- III モンモリロナイト, 含水比 54.0%

\* 一般には線膨脹率に相当するのであるが、ここで収縮過程に注目して実験を行なったので、特に線収縮率と称した。

第2図の曲線IIに示した。ガラス球の収縮曲線にくらべて火山灰の場合には途中で収縮状況が変わっている。つまり一様な収縮をしない。この曲線からわかるように、温度が $-8^{\circ}\text{C}$ から $-33^{\circ}\text{C}$ までの範囲では $1^{\circ}\text{C}$ 下がるごとに $2.33 \times 10^{-5}$ の割合で収縮するが、 $-33^{\circ}\text{C}$ から $-43^{\circ}\text{C}$ までの範囲では収縮の割合が小さくなっている。これは凍土の構成要素である土粒子や氷は温度が下るにつれて一様に収縮するにもかかわらず、不凍水がこの温度領域で氷に変わったために膨脹し、その結果、凍土全体としての収縮が小さくなったものと思われる。 $-43^{\circ}\text{C}$ から $-80^{\circ}\text{C}$ までは、再び一様に収縮し、その線収縮率は $2.00 \times 10^{-5}$ であった。含水比が66%の場合にも、温度が $-30^{\circ}\text{C}$ より高い領域と $-50^{\circ}\text{C}$ よりも低い領域では線収縮率が異なる(第1表参照)。凍土が一様に収縮する場合の線収縮率の値を比較してみると、いずれの含水比の場合にも、温度の高い方が低い方よりもわずかではあるが大きいことがわかる。このことは液体に比べて固体の方が膨脹係数が小さいことを考慮すると、低い温度領域の方の線収縮率が小さいのは不凍水が氷に変わったここによるものと思われる。

シルト5%と粘土5%を含んでいる砂(含水比23%)の場合にも、上記の火山灰と同じような型の収縮曲線が得られた。この場合には、温度が $-33^{\circ}\text{C}$ から $-40^{\circ}\text{C}$ までの範囲を境として線収縮率が異なり、 $-33^{\circ}\text{C}$ よりも高い方では $2.57 \times 10^{-5}$ 、 $-40^{\circ}\text{C}$ よりも低い方では $2.00 \times 10^{-5}$ であった。このときも温度の低い方の線収縮率が小さい。

粘土鉱物のモンモリロナイトの収縮曲線を第2図の曲線IIIに示した。傾向は火山灰の場合と同じであるが、収縮の温度依存性はより顕著である。 $-10^{\circ}\text{C}$ から $-16^{\circ}\text{C}$ までの線収縮率は他の試料に比べて約1桁大きく $12.22 \times 10^{-5}$ であった。 $-60^{\circ}\text{C}$ 以下の温度では線収縮率は $2.66 \times 10^{-5}$ であり、これは他の試料とほぼ同じぐらいの大きさである。温度が $-18^{\circ}\text{C}$ から $-50^{\circ}\text{C}$ の範囲にわたっては収縮曲線は複雑である。特に、 $-38^{\circ}\text{C}$ から $-43^{\circ}\text{C}$ の間では、試料の温度が低下しつつあるにもかかわらず、試料は膨脹している。又、 $-20^{\circ}\text{C}$ から $-30^{\circ}\text{C}$ まで

第1表 凍土の線収縮率

|   | 試料                  | 含水比 (%)      | 測定温度範囲 ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 線膨脹係数 ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )              |
|---|---------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------------------|
| A | ガラス球 (66~84 $\mu$ ) | 11.2         | -9~-80                        | $2.41 \times 10^{-5}$                          |
|   | カーボランダム (4 $\mu$ )  | 35.4<br>43.0 | -8~-80<br>-10~-80             | $3.40 \times 10^{-5}$<br>$2.69 \times 10^{-5}$ |
| B | 砂 (シルト以下10%含)       | 23.0         | -8~-33<br>-40~-80             | $2.57 \times 10^{-5}$<br>$2.00 \times 10^{-5}$ |
|   | 砂質粘土ローム (苦小牧)       | 42.9         | -8~-33<br>-43~-80             | $2.33 \times 10^{-5}$<br>$2.00 \times 10^{-5}$ |
|   |                     | 66.0         | -15~-30<br>-50~-80            | $1.77 \times 10^{-5}$<br>$1.60 \times 10^{-5}$ |
|   | モンモリロナイト            | 54.0         | -10~-16<br>-60~-110           | $1.22 \times 10^{-4}$<br>$2.66 \times 10^{-5}$ |

の間及び  $-30^{\circ}\text{C}$  から  $-35^{\circ}\text{C}$ の間ではほぼ一定の収縮をしている。これらのことから、 $-18^{\circ}\text{C}$  から  $-50^{\circ}\text{C}$ の間では、少なくとも数回にわたって不凍水が凍結したものと思われる。

Anderson 等<sup>1)</sup>のモンモリロイトについての示差熱分析の結果によると、約  $-20^{\circ}\text{C}$  から  $-50^{\circ}\text{C}$ までの間で、多い場合には4回の相変化がある。これと収縮曲線を比べてみると、 $-18^{\circ}\text{C}$  から  $-50^{\circ}\text{C}$ までの温度領域における試料の収縮の非一様性は、これらの相変化に対応するものと思われる。

以上得られた結果のうち、広い温度範囲にわたって線収縮率が一定であった値をまとめて第1表に示した。

凍土の温度を次第に下げていくと、凍土は収縮する。この収縮の仕方に2通りあることがわかった。即ち、一様に収縮する場合(第1表のAグループ)と一様に収縮しない場合(第1表のBグループ)である。一様に収縮しないものについては、一般に、低い温度領域での収縮率が高い温度領域の値よりも小さい。

この実験に際し、討論をいただいた木下誠一教授に感謝の意を表します。又、実験に要した費用は凍上臨時事業費によってまかなわれた。

#### 文 献

- 1) Anderson, D. M., A. R. Tice. 1970 Low temperature phases of interfacial water in clay-water systems. *CRREL Res. Rept.*, **290**.