



Title	苫小牧における凍上観測（昭和46年～47年冬期）
Author(s)	木下, 誠一; 鈴木, 義男; 堀口, 薫; 田沼, 邦雄
Citation	低温科学. 物理篇, 30, 203-210
Issue Date	1973-03-05
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/18211">http://hdl.handle.net/2115/18211</a>
Type	bulletin (article)
File Information	30_p203-210.pdf



[Instructions for use](#)

## 苫小牧における凍上観測 (昭和46~47年冬期)\*

付 土の凍結進行と電気抵抗変化について

木下 誠一・鈴木 義男  
堀口 薫・田沼 邦雄\*\*

(低温科学研究所)

(昭和47年10月受理)

### I. 緒 言

昭和43~44年冬期以来苫小牧北大演習林内において凍上観測を続け、主として凍上と地下水位との関係について研究を続けて来た<sup>1-3)</sup>。土の凍結が進むにつれ、凍上や地下水位がどのように変化するかを測定し、それによって凍上の際の土中水分移動について考察を加えて来た。この冬(昭和46~47年冬期)も観測を継続する一方、特に土の電気抵抗が凍結の進行とともにどのように変化するかを調べた。乾燥で土中水分が減少したり、又凍結で土中に氷を含むようになると、土の電気抵抗が増大する。凍上現象が起る場合には、凍結するまでは、それより上にある凍結線に向かって水分が移動するため乾燥し、又凍結するときには、下の未凍土から水を吸上げて水分量を増しながら氷を析出して行く。このような関係から、土の電気抵抗変化を測ることは、凍上に際しての土中水の挙動を把握する上に適当な方法であると想像される。

### II. 測定方法

#### 1. 一般凍上観測

従来と同じく、砂質粘土ロームが埋められたプールAと粘土が埋められたプールBの2つについて、地面凍上量、地温分布、凍結深度、鉛直に地中に埋めた管の凍着凍上、プール内の地下水位等を冬期間継続してほぼ10日毎に測定を行なった。又、凍結直前の11月29日、凍結時の1月7日、2月26日、融解後の5月8日に断面観測を行ない、試料を採取して、重量含水比、密度、土粒の比重等を測定した。これらの値から土の中に含まれる土粒分と水分の体積割合を求めた。

#### 2. 電気抵抗測定

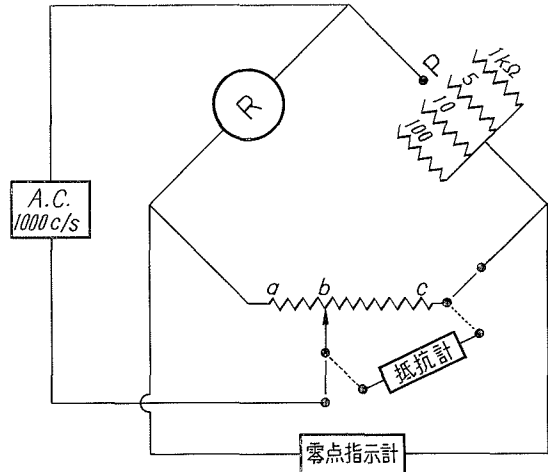
プールAでだけ行なわれた。地表面から地下90cmまで、10cmおきに10個の電極棒(長さ12cm、直径0.6cm、真鍮にクロムメッキしたもの)を水平に埋め、各10cm間の電気抵抗を交流ブリッジ法で測定した。第1図の写真に10個の電極棒を並べて、プラスチック管に

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第1220号

\*\* 昭和47年10月4日死亡



第1図 電気抵抗測定用の電極部分



第2図 電気抵抗測定回路図

とりつけた様子を示す。従って、地中に埋めても相互の間隔は変わらない。それぞれの電極から出る電線はプラスチック管に沿ってとり出され、管の上端からまとめてたばねられて、測定器の方に運ばれる。地中部分の電線にはグリースを塗りつけ、凍着凍上で電線が切れることのないように注意した。測定器の回路図を第2図に示す。電源として交流1,000 c/sを用い、ブリッジの一边Rの所に土中各10 cm間の電極からの電線を、交互に切換えながら接続する。Pの辺では測定しようとする土の抵抗の大小に応じ、1, 5, 10, 100 k $\Omega$ を切換えて接続する。acの揺動抵抗(10.43 k $\Omega$ )の中央端子bを移動させてブリッジの平衡点を求める。零点指示計としてオシロスコープを用いた。又、bc間の抵抗は、一たんその部分の電線を切換えて直流抵抗計につなぎ、直流抵抗値を読みとるようにした。従って、土の電気抵抗 $r$ は $r = \frac{ab}{bc} \times P$ で求められる。

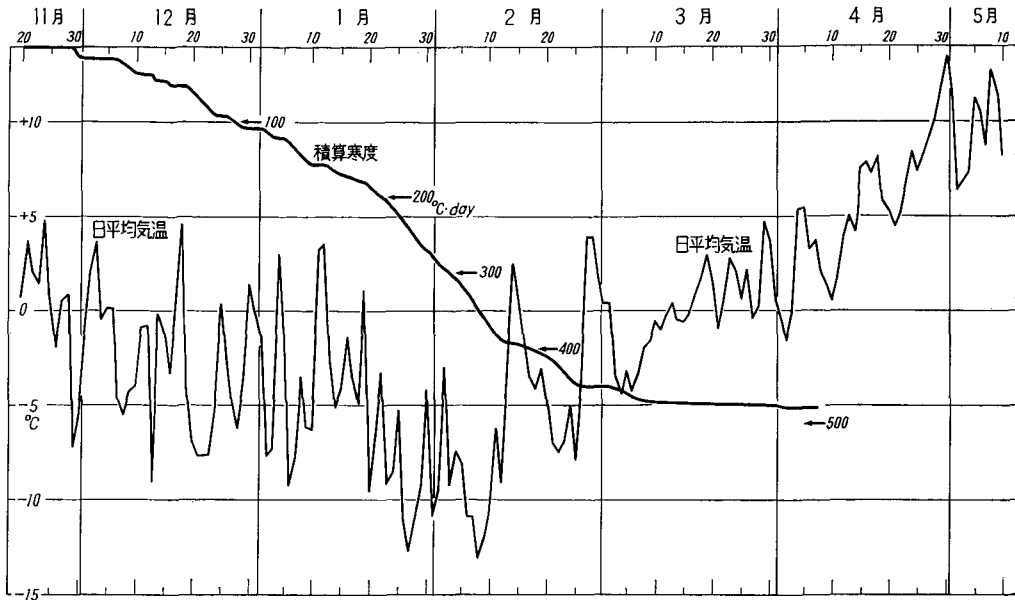
### III. 測定結果

#### 1. 日平均気温と積算寒度(第3図)

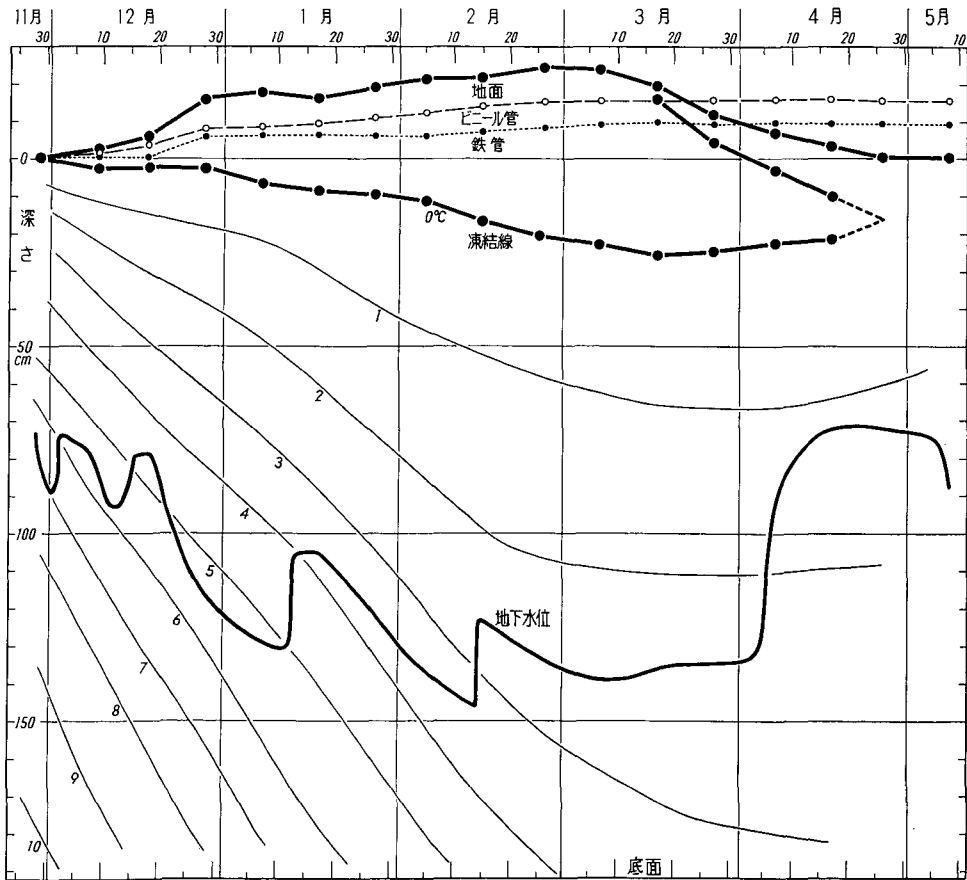
この冬の最低気温は1月27日の $-23.0^{\circ}\text{C}$ であった。積算寒度の最大値は $478^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ でこれまでの4冬のうちで一番暖かい冬であった。又この冬の特徴としては、日平均気温が $0^{\circ}\text{C}$ をこえてプラスになる日が多かったことである。

#### 2. プールA(砂質粘土ローム)の凍上状況

この冬は、これまでの4冬のうちで一番暖かく、凍結深も最小を記録した。3月中旬の最深凍結線は、凍結前の基準地面から26 cm下であった。しかし、凍上量の方は従来とほぼ同じ値を示し、3月上旬には24 cmに達した。凍結層の厚さの最大は47 cmであった。3月下旬からは地面から融解が始まり、4月下旬には完全に融解が終った。地下水位は自記記録されたのであるが、冬のさい中の12月1日と14日、1月12日、2月14日ごろに急上昇がみられた。こ



第3図 日平均気温と積算寒度，昭和46～47年冬期，苦小牧演習林内



第4図 地面，ビニール管と鉄管の凍着凍上量，凍結線，地下水位及び地温の冬期間の変化，ブールA，昭和46～47年冬期，苦小牧演習林内

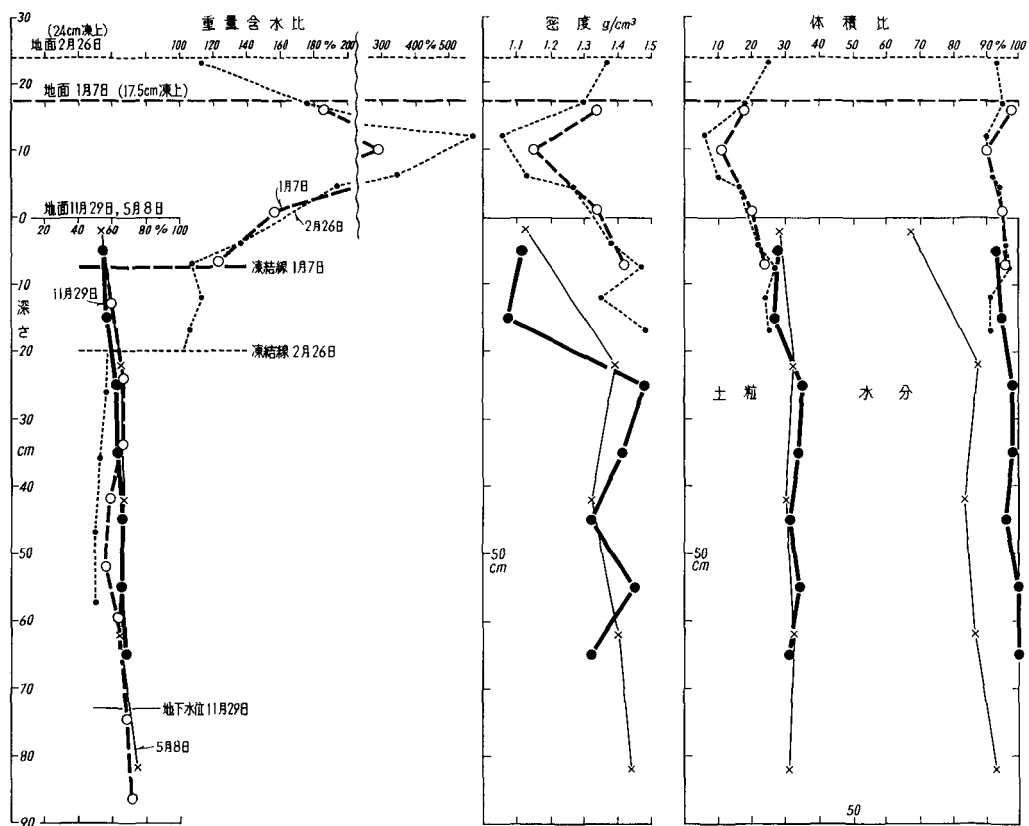
のときは気温も上昇し  $0^{\circ}\text{C}$  をこしているのに、恐らく地面に残る積雪がとけ、その融解水が凍土層を通過したため、地下水位が上がったと考えられる。融解が激しくなった4月4日以降も地下水位は急上昇した。

積算寒度  $F^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$  と凍結層の厚さ  $D$  cm との関係を見ると、ほぼ  $D=2.16\sqrt{F}$  で表わされる。

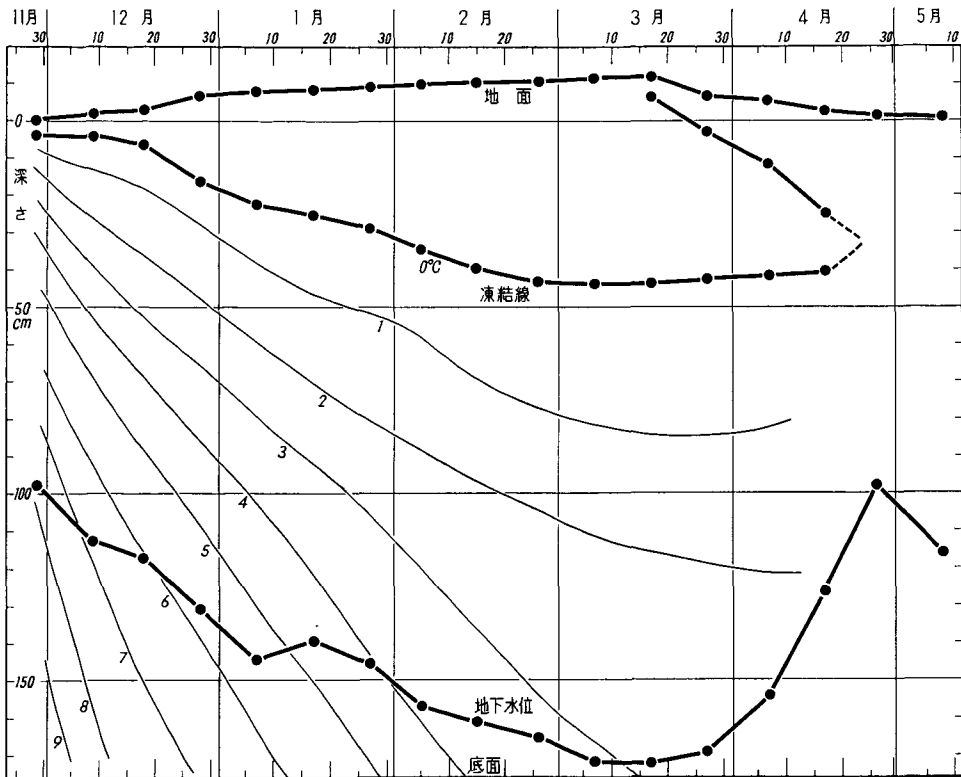
### 3. プール A の断面観測結果 (第5図)

1月7日、2月26日の地面は、凍結前の11月29日及び融解後の5月8日の地面よりも、それぞれ17.5 cm と24 cm 凍上している。凍結線は1月7日が7.5 cm、2月26日が20 cm で、凍結層の厚さは、それぞれ25 cm、44 cm である。凍結後の重量含水比は非常に大きく、特に地面付近では300%から500%にも達した。凍結線の下では、逆に凍結前よりも重量含水比が小さい。

凍結前の土のなかに含まれる土粒分は27~34%、水分は66~80%、残りの空気分は0~8% である。凍結すると、土粒分6~27%、水分70~84% (凍土内に含まれる氷と不凍水とを合計して水分に換算した値) になる。残りの空気分は、凍土内に含まれる氷と不凍水との割合に関係するので、一義的にはきめられないが、ほぼ数% である。融解後は、土粒分が凍結前とほぼ変わらないが、水分が減少して39~55%、空気分は増大して7~33% になっている。



第5図 断面観測の結果、プール A、昭和46~47年冬期、苫小牧演習林内



第6図 地面、凍結線、地下水位及び地温の冬期間の変化、  
プール B, 昭和 46~47 年冬期, 苫小牧演習林内

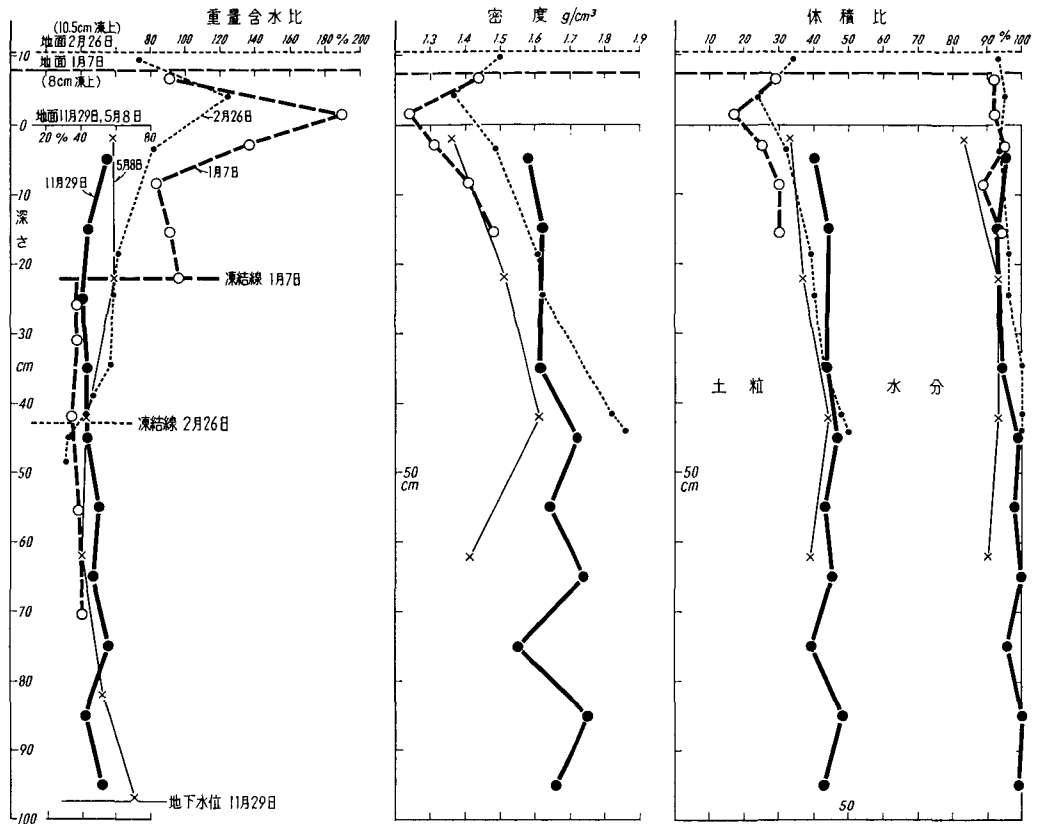
4. プール B (粘土) の凍上状況 (第6図)

凍上量の最大は3月17日の11.5 cm, 凍結が最も進んだのは3月7日の44 cmである。凍結層が最も厚いのは3月上旬の55 cmである。3月中旬から地面の融解が始まり, 地下水位も上昇した。4月下旬には凍結層は完全に融解した。従来は完全融解が5月上旬であったので, この冬はこの点からかなり暖かったと言える。積算寒度と  $F^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$  凍結層の厚さ  $D$  cm との間には,  $D=2.49\sqrt{F}$  の関係が得られた。

5. プール B の断面観測結果 (第7図)

1月7日と2月26日には, 凍結前に比べて地面がそれぞれ48 cmと10.5 cm凍上している。凍結線は1月7日が22 cm, 2月26日が43 cmで, 凍結層の厚さは, それぞれ30 cmと53.5 cmである。プール A に比べて凍上量が小さいため, それだけ凍結時の潜熱発生も少なく, 凍結はより深く進んでいる。しかし, この冬の暖かのため従来よりは凍結層は薄い。一方, 凍上量の方は, むしろ従来より多い位である。重量含水比の分布の傾向はプール A の場合と変りない。

凍結前の土のなかに含まれる土粒分は40~48%, 水分は52~55%, 残りの空気分は0~7%である。凍結すると, 土粒分が17~50%, 水分が50~77%になる。融解後は土粒分が33~44%, 水分が50%前後, 空気分が7~17%になっている。プール A の場合と同じく, いった



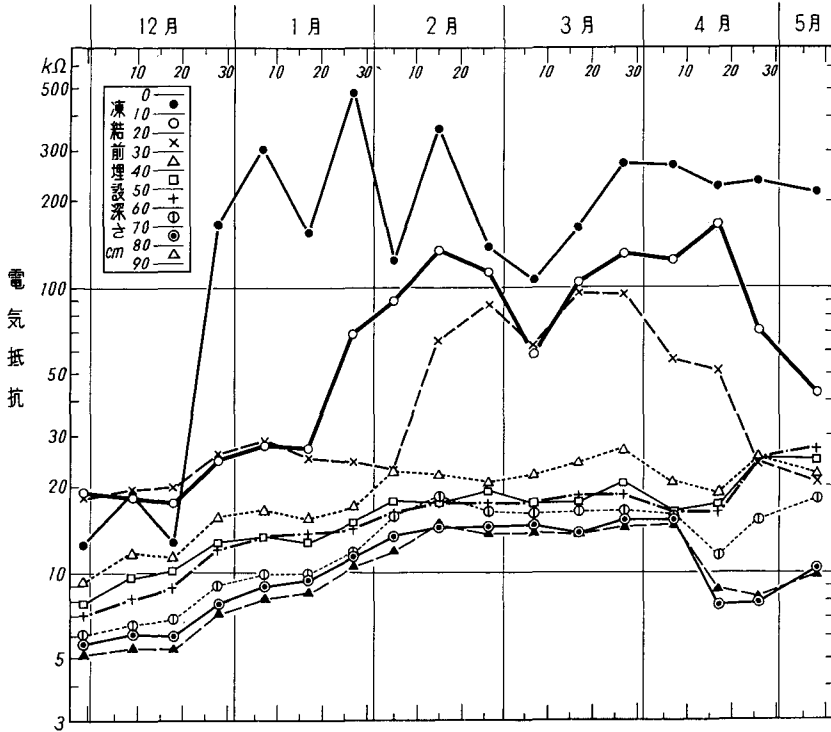
第7図 断面観測の結果、プールB, 昭和46~47年冬期, 苫小牧演習林内

凍結し、凍上の起った土が融解すると、水分が脱落し、空気分がふえることがうかがえる。

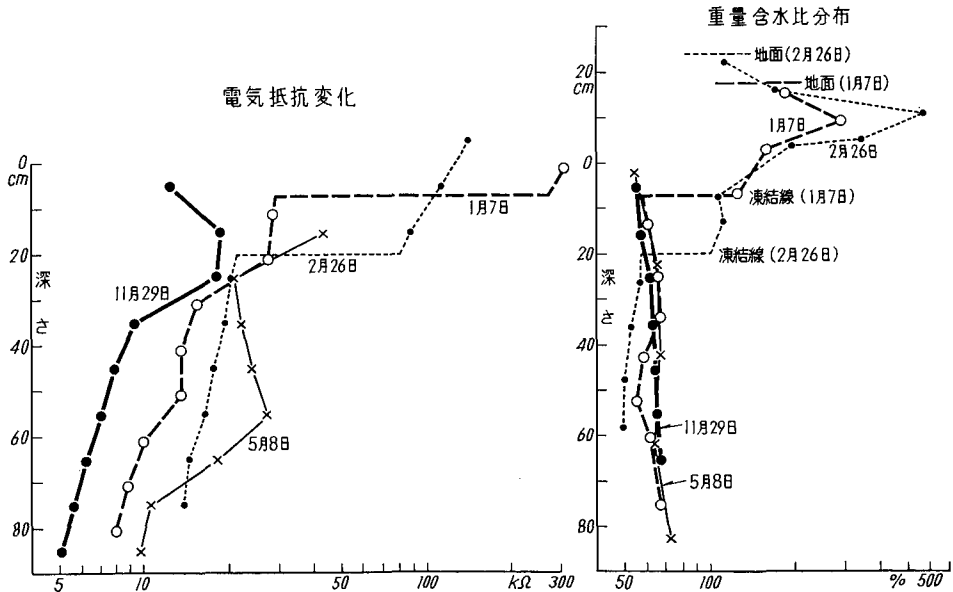
### 6. 電気抵抗変化 (第8図, 第9図)

凍結前は5~19 kΩで、含水比の大きい深い所ほど抵抗値は小さい。12月下旬になると、0~10 cm間の抵抗が飛躍的にふえ、1月下旬には、10~20 cm間の抵抗が、又2月中旬には20~30 cm間の抵抗が飛躍的にふえる。この飛躍的増加を除いては、すべての値は、時日がたつにつれ、次第に抵抗値を増して行く。これは、凍結による抵抗値の急激増と乾燥による漸増を示すものである。急激増の方は、凍上現象に伴う凍結線における氷の析出によるもので、又漸増の方は、同じく凍上現象に伴う上層の凍結線に向う水分の移動によるものに他ならない。このような抵抗値の変化は、すべて凍上現象に伴う土中水分の挙動に対応するものである。それで、11月29日、1月7日、2月26日、5月8日断面観測のときの重量含水比分布をとり出して、それぞれの日の電気抵抗値と並べて、第9図に書いてみた。重量含水比の方は、第5図と同じく、それぞれのときの地面の高さをもとにして書いてあるが、電気抵抗の方は、1月7日に4 cm、2月26日に10 cm地面を上げて書いてある。第9図では、凍結前の未凍土の乾燥にもとづく抵抗値の漸増、又凍結時の氷析出にもとづく、つまり含水比急増にもとづく抵抗値の急増がよく対応されている。

ここで、各電極の位置関係が冬期間どう変るかが問題である。一つのプラスチック管に全



第8図 各電極間の抵抗値の冬期間の変化, プール A, 昭和46~47年冬期, 苫小牧演習林内



第9図 電気抵抗変化と重量含水比分布との比較



電極がそれぞれ 10 cm 間隔ではめこまれているので、相互間の距離には変りがないのであるが、全体として土の凍上とともにどれだけ上昇するかが問題である。第 9 図では、1 月 7 日に 4 cm、2 月 26 日に 10 cm だけ、電極全体が上昇したと仮定したのであるが、含水比のグラフと比べて非常によい一致を示したので、恐らくその上り方は正しいものと思われる。地面に比べて電極の上り方が少ないのは、鉛直なプラスチック管から水平に 10 cm ほど 10 個の電極棒がのび出ているため、それが周囲の土の凍上に対するさまたげとなったためであろう。いずれにしろ凍上のはげしい土のなかに埋めこんだ電極棒の位置を正しく把握することが大事なことで、今後検討を加えて行きたい。

現場の観測にあたって北大苫小牧演習林の皆様は大変お世話になった。また、気温の資料は演習林の観測結果をそのまま使用させていただいた。ここに厚く感謝の意を表する次第である。

#### 文 献

- 1) 木下誠一・鈴木義男・堀口 薫・田沼邦雄 1969 凍上と地下水位との関係 I. 低温科学, 物理篇, **27**, 367-378.
- 2) 木下誠一・鈴木義男・堀口 薫・田沼邦雄 1970 凍上と地下水位との関係 II. 低温科学, 物理篇, **28**, 325-336.
- 3) 木下誠一・鈴木義男・堀口 薫・田沼邦雄 1971 凍上と地下水位との関係 III. 低温科学, 物理篇, **29**, 245-256.

#### Summary

Electric resistances of soil were measured approximately every ten days throughout the winter of 1971~72 at the frost heaving observation site at Tomakomai, Hokkaido, together with the heave amount, frozen depth, soil temperature distribution, and underground water level (Figs. 4, 5, 6, and 7). Ten electrodes made of chrome-plated brass of 12 cm in length and 0.6 cm in diameter had been buried in the soil before winter at depths of every 10 cm from 0 to 90 cm. An a. c. (1 kHz) bridge was used to measure electric resistances between the two neighboring electrodes. The resistances which had been several kilohms before freezing increased gradually to about 20 kilohms and then rapidly to 100 or more kilohms. It was considered that the first gradual increase was caused by a decrease in water contents due to water migration to the freezing front while the second rapid increase by the transformation of water into ice. This was confirmed by actual measurements of water contents of soil samples taken on Nov. 29 (before the beginning of soil freezing), Jan. 7 and Feb. 26 (during soil freezing), and May 8 (after complete thawing) (Fig. 9).