HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	凍上過程における地中熱流量の変化について
Author(s)	福田, 正己
Citation	低温科學. 物理篇, 35, 329-332
Issue Date	1978-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/18350
Type	bulletin (article)
File Information	35_p329-332.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

短　　報

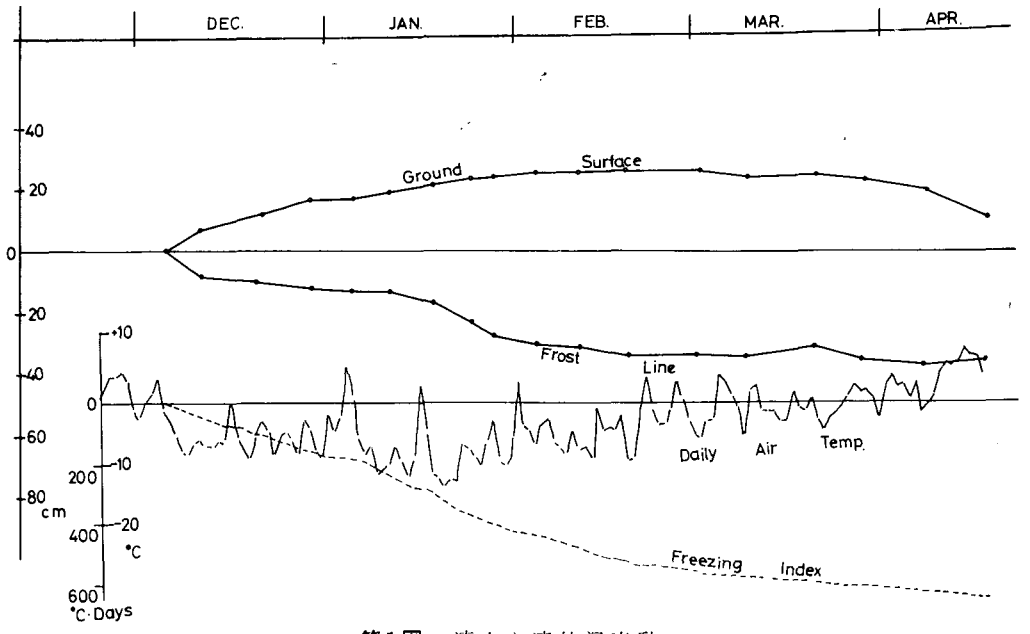
Masami FUKUDA 1977 Short Report: A Heat Flux Measurement in Freezing Soils.
Low Temperature Science, Ser. A, 35.

凍上過程における地中熱流量の変化について*

福　田　正　己
(低 温 科 学 研 究 所)

(昭和 52 年 10 月受理)

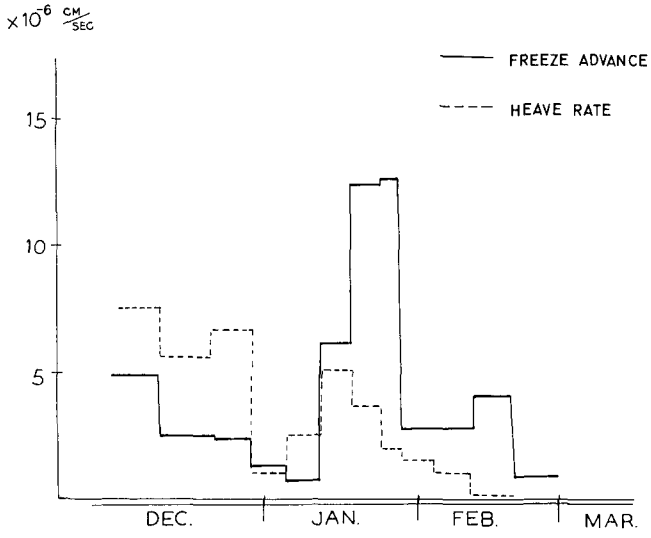
土の凍上過程では，凍結面へ向って水が移動する。この水の移動と相互に関連して未凍結層から凍結層へ熱が流れる。この地熱流量は土の表面温度，地殻熱流量，凍土，未凍土の熱伝導率といった熱的条件と性質のみに依存しない[1)]。凍結面へ移動する水の流れと凍結面での潜熱発生という，水の移動と相変化によっても影響を受けるからである。とくに凍上過程で，レンズ状構造を示しながら氷の析出が行なわれる場合には，潜熱発生量とそれに関係する水の移動量は一定にならない。潜熱発生量の変動を凍上速度の変化に関連ずける試みとして，土の各層に熱流板を埋設し，時間ごとの熱流量値を実測し，これらの測定量の変動と凍上量との関係を求めてみた。測定は，苫小牧凍上観測室で行なわれた。第 1 図に，昭和 50～51 年冬シーズンにおける凍上試験水槽 A での凍上と凍結深変動を示す。図中下方のグラフは日平均気温と積算



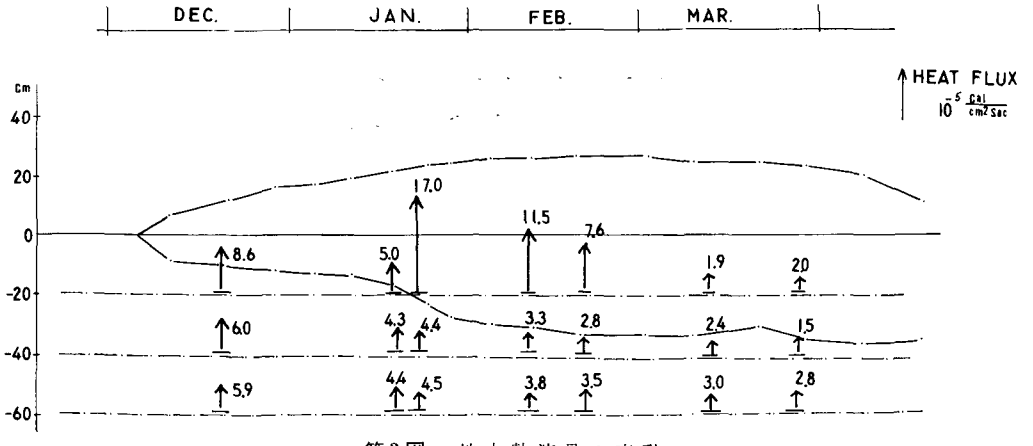
第 1 図　凍上と凍結深変動
昭和 50 年～51 年冬シーズン，苫小牧凍上試験水槽 A

北海道大学低温科学研究所業績　第 1866 号

寒度を示している。気温の変化の特徴としては，1月初旬の暖候間期であろう。この期間中日平均気温はプラスとなり若干の降雨をみた。暖候期間では，凍結面はほぼ停止した。第2図は約1週間ごとに測定した凍上速度と凍結深移動速度の変動を示している。この図で1月上旬の暖候期間中，凍上・凍結深移動の速度が急減していることがわかる。これは，例年の観測と比較して例外的な観測値といえる。1月中旬に再び厳しい寒波が訪れた。この寒候期間中に，凍結深移動速度は最大値を示した。例年は凍結開始直後の12月初旬に発生する事象である。第3図に熱流板による地熱流量の測定結果を示す。熱流板を埋設した深さは20, 40, 60 cm の各層である。12月中では各層を通っての熱流量は比較的大きい。1月中旬に，20 cm 深の熱流量が急増した。この時期は凍結面の通過した時期と一致している。熱流板が凍結面の下方に位置する



第2図 凍上速度と凍結深移動速度の変動
苫小牧凍上試験水槽 A



第3図 地中熱流量の変動
熱流量は 20 cm, 40 cm, 60 cm 深で測定，単位 $\times 10^{-5}$ cal/cm²·sec
(鎖線は，地表面と凍結面の位置を示す)

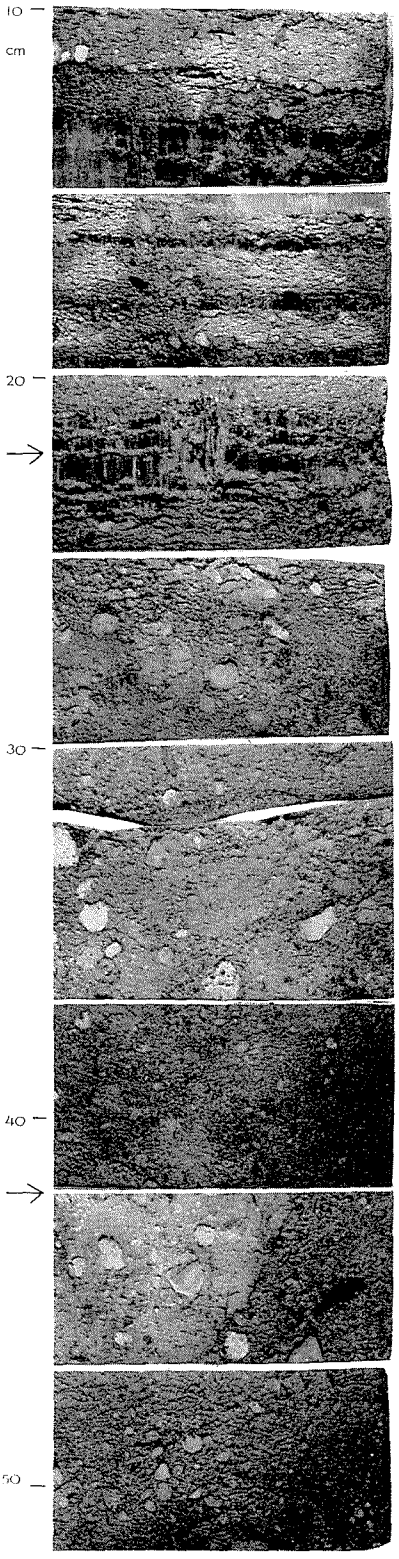
場合には，読み取り熱流量は未凍土側から凍結面への流入熱流量を示す。次に凍結面が熱流板を越えて下方に進んだ場合には，凍結面を通って凍土層に向う熱流量が測定される。20 cm 深の熱流量は2月から3月にかけ次第に減少し，とくに3月中旬になると最小値を示した。これは気温の上昇に伴って凍土層内の温度が 0°C に近ずくためである。この期間には，凍上，凍結面はほぼ停止した。またこの時期は，最大凍結深発生期に一致している。

冬シーズンの実測でとくに興味ある点は，1月中旬に 20 cm 深の地熱流板の位置を，凍結面が通過したときの熱流量の変化である。さきに述べたように，凍結面が地熱流板のすぐ上にあるときと，下方へ移動したときの熱流量の差をとれば，これが凍結面で発生する潜熱分と凍結深前進に要する熱分となる。打点記録計で，この変動を連続記録してみると，凍結面が熱流板の位置に達してから，熱流量は急増しはじめる。ほぼ 24 時間後に一定値（最大値）を示した。第2図でわかるように，このときの凍結深移動速度は約 1 cm/day である。つまり最大値は熱流板と凍結面の間隔が 1 cm になったときに示された。この 1 cm の厚さの凍土層を考慮すると，読み取り熱流量は，凍結面から凍土層に向う熱流の下限値と言える。1 cm 厚の凍土層が間に存在するからである。以上の点を考慮し，凍結面でのマクロな熱収支を考えてみる[2~4]。

$$K_f \frac{\partial \theta_f}{\partial x} - K_u \frac{\partial \theta_u}{\partial x} = \rho_w L_w v + \rho_s L_s \frac{dX}{dt} \qquad (1)$$

K_f, K_u：凍土，未凍土の熱伝導率
θ_f, θ_u：凍土，未凍土内の温度
ρ_w, ρ_s：氷，土の密度
L_w, L_s：水，土の凍結潜熱
v：凍結面へ移動する水の速度
$\frac{dX}{dt}$：凍結面の下方移動速度

左辺の熱流差は，さきに実測した凍結面通過前後の熱流



第4図　凍土の断面写真
（矢印の部分が熱流量を測定した位置）

板読み取り値の差とみなす。今回の実測では 12×10^{-5} cal/cm^2·sec であった。右辺の第1項は凍結面で発生する潜熱分で第2項は凍結面の前進に要する熱分である。福尾ら[4]によれば，左辺の熱流差が 1.0×10^{-4} cal/cm^2·sec のときには，流入水分量は 2.7×10^{-6} cm/sec であると述べている。また Haas[3] は，Penner[2] の実験結果を検討し，熱流差が約 1×10^{-4} cal/cm^2·sec では，凍上速度は 2.5×10^{-6} cm/sec となるとのべている。今回の実測値によれば，凍上速度は 3×10^{-6} cm/sec 以下であって，上にのべた事例とよく一致している。ただ，凍結深の移動速度は 1.2×10^{-5} cm/sec とはるかに大きい。このことは，未凍土層自身が乾燥していたことによると考えられる。第1図には示されていないが，この時期に地下水位は最低位となっている。つまり，凍結過程では，凍結面への水の移動も少なく，また土自身が乾燥していたために，凍土には顕著なレンズ状構造はみられなかった。第4図にボーリングによって得た凍土の断面写真を示す。

水分移動量 (v) を直接測定する方法については，抵抗計型水分計を試作し，測定を行なった[5]。その結果に基づき水分量を別に求めて，熱流量差と凍上量の関係を得る予定である。今後の課題としては，熱流と水流の混合モデルを実際の凍上現象へ適用するべきであろう。この実測例は熱流量測定の一方法を示すものである。

苫小牧での測定では，凍上学部門の皆様に御協力いただいた。深く感謝いたします。

文　　献

1) Havlan, R. L. 1973 Analysis of coupled heat-fluid transport in partially frozen soil. *Water Resou. Res.*, **9**, 1314–1323.

2) Penner, E. 1960 The importance of freezing rate in frost action in soils. *Proc. A.S.T.M.*, **60**, 1151–1165.

3) Haas, W. M. 1962 Frost action theories compared with field observation. *Highway Res. Board, Bull.*, **331**, 81–97.

4) 福尾義昭・北岡豪一・有賀祥夫 1969 凍上量と温度分布・吸水量との関係について．京大防災研年報，**12**, 169–176.

5) 福田正己・矢作　裕 1977 土壌水分計の試作．低温科学，物理篇，**35**, 325–327.