土壤の凍結現象について

梅 谷 博 貞

(中央氣象臺産業氣象課)

On the freezing phenomena of soil.

H. UMETANI (Central Meteorological Observatory)

1. 緒 言

冬季、武蔵野の地面附近には霜柱や土壤凍結が見られぬかるみや飛砂の成因にも関係し、その生成、變化を解析して被害防止法を確立することは農業上重要である。

霜柱及び土壤凍結については既に幾多の研究があるが^{1,2)3)4)5)6)}、筆者もこの現象につき埼玉縣大和田で觀察、實驗を行つたのでその要點を報告する。

同一時刻でも場所の差により、同一地點でも日時の違ひによつて霜柱、氷粒狀凍結、コンクリート狀凍結となるが、これは温度、土壤水分、土壤密度等に大きく左右される結果と考えられる。今回は主として土壤水分の立場からその狀況、變化、限界を調べて見た。

2. 土壤凍結と霜柱の狀況

霜柱は地表面及び凍結土の下に發生し、氷粒狀凍結層¹⁾の中にも微細霜柱として見出された。凍土層は0.5~3.0 cm 位の層に剝離出來、剝離層下面には霜の結晶が一面に見られたが剝離層未發達な水平裂目には霜柱層となつたものも觀察された。一般に霜柱は皇路等の土壤密度の大なる所に立ち易く粗鬆な採土場、畠等は氷粒狀凍結層となる事が多かつた。又コンクリート狀凍結¹⁾は蔭の多い通路、比較的人通りの多い畠道等に多く見られた。

霜柱として觀察出来る場合は土壤水分(重量%で、以後も同様)多く、1月28日採土場通路に出來た土入霜柱はその上の凍團子土塊も含めて56.8%、採土場に出來たものでは2月5日0.5 cmの凍土層を持ち上げた1.0 cmの霜柱は凍上層を含めて50.8%、同6日同じ様な4.0 cmの霜柱の場合は53.6%で、かなり多量な土を含んでいてもその水分は50%以上であつた。然して1 cm²にどれ程の水で成されているか調べて見ると2月24日採土場間通路に出來た細長い約4 cmの土入り2段霜柱は0.72 gr/cm²の水からなり土壤水分としては69.6%で、25日同所に發生した約2 cmの密生した霜

柱では0.60 gr/cm²の水、75.4%の土壤水分であつた。

氷粒狀凍結層の水分は土壤密度と關係があり一概には云えないが粗な狀態の土壤では40~50%で、水を含んだ土壤密度が約0.6 gr/cc位になると後述實驗の如く33~40%位が氷粒狀凍結の範圍と考えられる。

コンクリート狀凍結層については2月6日稍々蔭のある道路上面で42.0%、3月2日空罐の中に作つたものは47.2%(1.1 gr/cc)、45.5%(1.3 gr/cc)でやゝ軟い固飴狀凍結層の水分は41.1%であつた。

霜柱によつて土壤表面に團子狀土塊が日時と共に生長するが、凍結團子狀土塊については觀察例が少いためその水分の範圍は明らかでないが、一般にその下にある凍結層の水分より少い。

上述のようにコンクリート狀凍結と氷粒狀凍結の水分は似通つているが、土壤密度が異なるため絶対水量に大きな差がある。第1圖は採土場(含水土壤密度1.0 gr/cc)と

第1圖 土壤水分垂直分布
(2月23日11時)

含水土壤密度 { 採土場 1.0 gr/cm³
 { 通路 1.8 gr/cm³

通路(1.8 gr/cc)の水分垂直分布の狀況であるが絶対水分量は約2倍になつている。従つて絶対水分量が土壤凍結の様相を決める主因ではないかと考えられる。

霜柱直下の水分は37~40%³⁾、氷粒狀凍結層直下の水分はこれよりやゝ

少く36~38%であつた。氷粒狀凍結層が10時迄地中にあつた際の地中5 cmの水分を1950年1,2月の觀察原簿より拾つて見ると第1表の如くなる。空罐に氷粒

状凍結層を作つた際の直下水分は 38 %であつた。

第1表 1, 2 月 10 時の氷粒状凍結下の土壤水分

月 日	凍 結 状 況	地中5cm 土壤水分
1 月 21 日	地 中 1~3 cm 間氷粒状凍結	88.2 %
1 月 24 日	" 1~2 cm 間 "	38.2 %
1 月 26 日	" 1~3 cm 間 "	37.5 %
2 月 24 日	" 2.5~3.5 cm 間氷粒状凍結と短い霜柱	36.1 %
2 月 28 日	" 1.5~3.0 cm 間氷粒状凍結	36.7 %

コンクリート状凍結層直下水分の資料は少いが氷粒状凍結層直下の水分と大體同範圍のようである。

凍結層直下の水分は上述のようであるが、それより深層は第 4, 5 圖に示す如く次第に増大している。¹⁾³⁾

3. 土壤凍結、霜柱の際の水分變化

第2圖 霜柱の際の土壤水分 isopleth (2 月 19 日~20 日, 1950)

霜柱及び氷粒状凍結層が発生消失する際の土壤水分の變化狀況を第 2, 3 圖に示す。但し團子土塊を霜柱が持ち上げるため 0.0 cm を團子状土塊直下にとり、霜柱と團子状土塊の水分は一緒に測定した。

第2圖で分る如く霜柱に影響するのは

10 cm 迄の水分で霜柱の生長と共に水分傾度が急になり、霜柱直下の水分が少くなる。10 時には霜柱融解して地表附近の水分が増大し、12 時には乾燥形態に變り始めている。

第3圖は地中 1.5~3.0 cm 間が氷粒状凍結層の際の變化の圖で、8 時に凍結盛期となり凍結層下の水分は幾分減少しているが霜柱の際程顯著ではない。9 時には既に日射があり表面は融解しその水分は下降するが凍結層附近はこの頃最低温度を示し、凍結層附近の水分はこの時最大となる。氷粒結晶が融解消失すると 10 時の水分分布は連續的となる。第3圖はその後の乾燥狀況を示している。

第3圖 氷粒状凍結層消失時の土壤水分 isopleth (2 月 25 日, 1950)

示している。

コンクリート状凍結の際の水分變化は今回は観測出来なかつた。

4. 土壤凍結の成因に関する小實驗

土壤凍結の生成條件を確めるため徑 7.5 cm 深さ 10.0 cm の空罐に土壤をつめ、その際密度、水分を變えて凍結狀況を觀察した。その結果を第 2~4 表に示す。罐中の水分が時間と共に水分傾度を作るのを最小限にするため、野外地温が氷點下になつてから設置するようにした。

第2表 土壤密度差による凍結狀況 3 月 1 日~2 日 (土壤水分 40 %, 温度は缺測)

區 分	氷 粒 状 凍 結 區		コ ン ク リ ー ト 状 凍 結 區		
容積比重	0.44 gr/cm ³	0.67 gr/cm ³	0.89 gr/cm ³	1.11 gr/cm ³	1.30 gr/cm
凍結狀況	表面より 2 cm 迄氷粒状凍結層、2~5 cm 間土色結合。	表面より 1.5 cm 迄氷粒状凍結層、1.5~4.0 cm 間土色凍結 (含小キラ)。	表面より 0.5 cm 迄は氷粒状凍結層で剝離層、その下 4 cm 迄弱コンクリート状 (固胎状) 凍結。	表面より 4 cm 迄コンクリート状凍結層。	表面より 4 cm 迄コンクリート状凍結。

第3表 土壌水分差による凍結状況 3月3日～4日 (容積比重 0.9 gr/cm³ 温度降下率 0.4°C/h)

區 分	無 氷 粒 區		氷 粒 狀 凍 結 區		コンクリート狀凍結區		
土壌水分	25.9%	32.4%	35.6%	39.7%	41.9%	43.9%	49.1%
凍結狀況	表面霜の結晶、中に氷晶なし、上部の土は稍結合を感ず、	表面霜の結晶、上部土稍結合。	氷粒狀凍結層 3.5 cm 迄	上方1.5 cm 間氷粒狀凍結層、微霜柱を含み盛上る、その下 1.5 cm 間粗固凍結 (間隙多し)。	上方0.5 cm 迄粗固凍結、その下 1.5 cm 間コンクリート狀凍結。	裏面突出部より水平に氷成長、その下コンクリート狀凍結。	表面上氷板 0.5 cm、土壌不凍結。

第4表 土壌水分差による凍結状況 3月12日～13日 (容積比重 0.7 gr/cm³ 温度降下率 0.7°C/h)

區 分	氷 粒 狀 凍 結 區			移行區	コンクリート狀凍結區		
土壌水分	34.8%	36.3%	38.3%	39.9%	41.7%	42.3%	44.4%
凍結狀況	表面より約 1.2 cm 迄氷粒狀凍結層、深さと共に氷粒減少、2 cm 附近より 4.5 cm 迄土色凍結。	0.7 cm 盛上る、2.0 cm 迄氷粒狀凍結層、氷晶減少し、4.5 cm 迄土色凍結 (含む小キラ)	約 1.0 cm 盛上る、2.5 cm 迄強い氷粒狀凍結層、その下 4.5 cm 迄土色凍結 (含む小キラ)	約 1.0 cm 盛上る、約 1.7 cm 迄結合した氷粒狀凍結層、この間微細霜柱様のものを含む、その下 5 cm 迄小キラの多い弱コンクリート狀凍結。	約 1.5 cm 盛上る、表面より約 1 cm 微細霜柱、2 cm 間粗固凍結、約 5 cm 迄弱コンクリート狀凍結。	約 1.6 cm 盛上る、その間微細霜柱のある粗固凍結、4.5 cm 迄弱コンクリート狀凍結。	上面約 0.5 cm 固い凍結土粒層、その下 1.0 cm 霜柱、1.5～4.0 cm 間コンクリート狀凍結。

密度差については 40 % の時 0.8 gr/cc 位で氷粒狀とコンクリート狀に分れ、水分差については 0.7～0.9 gr/cc で温度降下率が 0.4～0.7°C/h の範圍で大體 33～40 % が氷粒狀凍結、それ以上ではコンクリート狀凍結となる。33 % 以下では氷粒結晶は見られず、46 % 以上では水が分離析出して狀況が異なつて來た。

5. 結 語

以上今冬の觀察と小實驗により土壌凍結及び霜柱について主として土壌水分より限界を調べて見たが、なお温度、密度の面から検討すべき問題があり、霜柱と土壌凍結の關係についても今後の調査にまたねばならない。諸賢の御批判と御指導を乞ひ次第である。本調査にあたり始終懇切な御指導を戴いた日下部正雄、市川壽一兩氏並

びに寫眞撮影の勞をとられた藤澤馨氏に感謝の意を表する次第である。

引用文献

- 1) 中谷宇吉郎：凍上の機構について 氣集Ⅱ, 18, 19 卷。
- 2) 中谷宇吉郎：凍上の實驗的研究 氣集Ⅱ, 20 卷。
- 3) 山中 閑利：畑地の土壌の水分變化 産氣報告No. 14 (農業及び園藝近刊掲載豫定)
- 4) 自由學園自然科學グループ：霜柱の研究 第 1, 第 2 自由學園學術叢書。
- 5) 稿恒 乙丙：農業氣象學。
- 6) 藤原 咲平：霜柱について 氣集Ⅱ, 2 卷。

R é s u m é

As a result of observation and measuring soil moisture content in connection with freezing phenomena of the soil, it was obtained that the various forms of the frozen soil were almost due to the soil moisture content on condition that soil-density were about 1 gr/cm³ (by apparent specific gravity) and cooling rate of air temperature over the surface of earth was 0.4°C/h～0.7°C/h.

For this reason, the forms of frozen soil were classified as follows;

The frozen soils like the concrete contained water more than 40 per cent in soils, stratification of ice crystals and soil-grains contained it 33～40 per cent but there were about 42 per cent often in the field, frost columns contained it more than 50 per cent even if they contained much soil-grains.

When soil water was less than 33 per cent, there were no grains of ice crystal.

Appearance of change due to soil moisture content was shown as isopleth.