

# 霜柱の生長に関連せる数種の実験記録

金光達太郎・久保田治夫

荒川稔・小林登

Some Experimental Records for Studies on the Growth of Ice-column

KONKÔ-TATUTARÔ, KUBOTA-HARUO, ARAKAWA-MINORU

and KOBAYASI-NOBORU

## 目次

I 霜柱生長速度測定装置について……………	97
II 霜柱の生長速度に及ぼす雲の影響……………	99
III 樹木の霜害防止効果について……………	101
IV ベントナイトの防霜効果……………	102
V 自然状態の土壤水分測定の一方法……………	103

## まえがき

著者は 1946 年以来、霜柱の生長を中心とする各種の研究を行つて来た。その中には、生長速度そのものの研究のほか、生長曲線を解析するために必要な土壤の理化学的性質、微気象の問題なども含まれている。これらの中のある部分はすでに発表した<sup>27)</sup>、ここには未発表のものの中から断片的ではあるが興味深い問題をいくつかとり上げてみることにした。

### I. 霜柱の生長速度測定装置

#### A) 自記器械

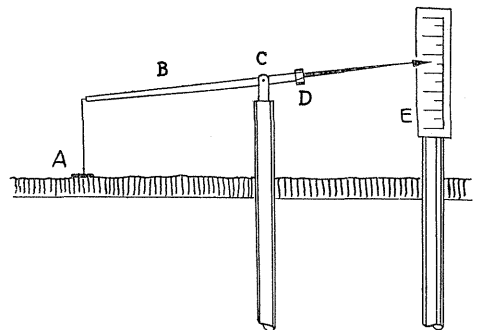
霜柱の生長速度を知るには、生長中の霜柱の長さを一定の時間をおいて物指で測ればよいようであるが、実際には次のような困難がある。

物指で長さを測るためには生長しつつある霜柱を取つてこれに当ててみなければならぬが、一度取つた霜柱を元の通りに地面に置くことは不可能に近い。そこで、次の時刻の測定に際しては、他の場所の霜柱の長さを測らねばならない。ところが、霜柱の長さや太さは土壤の状態の僅かの差によつて相当に違つて来るので、この方法は正確を期し難い。その上、霜柱は時として非常に細長いことがあり、一寸触れてもこわれるものもある。

故に、霜柱の生長速度を測るには、毎時刻に同一の霜

柱の頂点の高さを、霜柱になるべく触れないで測るのがよいことになる。

そのためには第 1 図のような装置によるのがよいことになる。



第 1 図 霜柱生長測定の方法

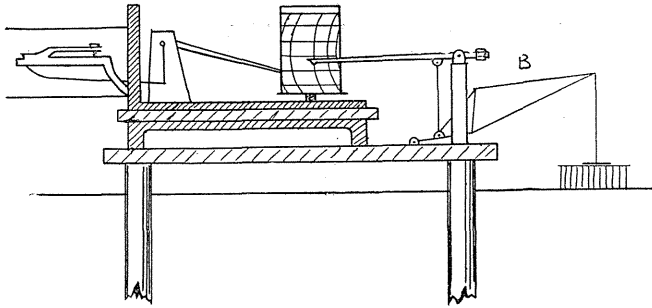
図の中の A は針金を十字に組合せたもの、B はテコ、C は支点、D はオモリで、テコのバランスをとるためのもの、E は目盛板である。

この原理により、目盛板 E の代りに自記計器用の回転ドラムをとりつければ、生長曲線の自記装置を作ることができる。

1946 年にはこの考え方により KT-1 型 (第 2 図) を製作し、実験を行つたが、ほぼ満足すべき結果を得た。

しかし、これはテコ B が短いため、測定する霜柱と、装置の主体とが接近しすぎていたため、器械が霜柱附近からの夜間輻射を妨害する結果となり、測定部分の霜柱が周囲より 30% ほど短いものになつてしまつた。

1947 年には、この欠点を除くために、テコの支点を前方に突出し、その上テコを長くして、十字金具 A をなるべく器械の主部から離すようにした KT-2 型を作



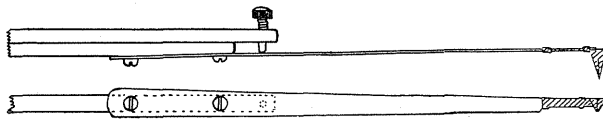
第2図 KT-1型霜柱生長自記装置

り、更に1949年には1つの回転ドラムに左右両側より2ヶ所の霜柱を同時に記録するKT-3型(第15、16図)を作つた。

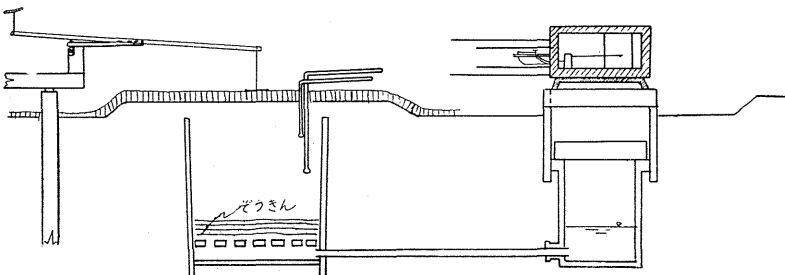
霜柱の頂上に置く十字金具は軽いほど霜柱に対する圧力が少なくてよい理であるが、軽すぎると、支点の軸受と軸の間の摩擦、及び、自記ペンと自記紙間の摩擦力に負けるため、霜柱がとけた場合に金具が宙に浮くおそれがある。

そこで、結局1.65gの重さの十字金具を用いることにした。自重は1.65gであるが、テコにバランスをつけて、この金具を吊している糸に1.10gの張力を持たしめるようにしたので、実際にこの金具が霜柱を押えつける力は0.55gにすぎない。

この金具を平板とせず、十字型にしたのは、平板とすれば単位面積当りの圧力は少くなる利はあつても、この平板が霜柱からの夜間輻射を妨害することになるからである。霜柱を構成する氷柱の一本々は、或程度隣接の柱と連絡があるので、十字又は網状の方が有利である。



第3図



第4図 給水装置

十字金具の材料は軽いアルミニウムを用いず、鉄を用いた。それは、アルミニウムは熱伝導率が大きいため、十字金具の冷却が、それによく接している霜柱によく伝わり、その柱だけがとびぬけて生長する恐れがあるためである。

同様の配慮から十字金具は白色エナメルで塗装してそれ自体からの輻射放熱を防いだ。

テコの軸、軸受など金属材料を必要とする部分は真鍮又は鉄を用いた。これには特に理由はない。

テコ、支点の支柱、台などはフシのないヒノキ材を用い、これに白エナメルを塗つて防湿と防熱を計つた。

自記ペンと自記用紙との間の摩擦をなるべく小さくし、しかも接触を確実にするためにペン先と支点の間には適当な弾力のある材料が必要である。著者は鉄、銅、真鍮、竹など色々な材料で試みたが、結局、厚さ0.5mmのセルロイド板を第3図のようにとりつけたものが最も成績がよかつた。

各部分の接合、組合せには分解して持運ぶためと、改造を容易にするため、釘、接着剤は全く用いず、ネジ釘又はボルト、ナット類で組立てた。

こうして組立てた自記装置は長さ約1m、直径約6cmの3本の杭を地上に約10cmだけ残して鉛直に打ちこみ、各々の杭の頭に3寸釘を打ちこみ、その3本の釘の頭に自記装置の台を静置した。

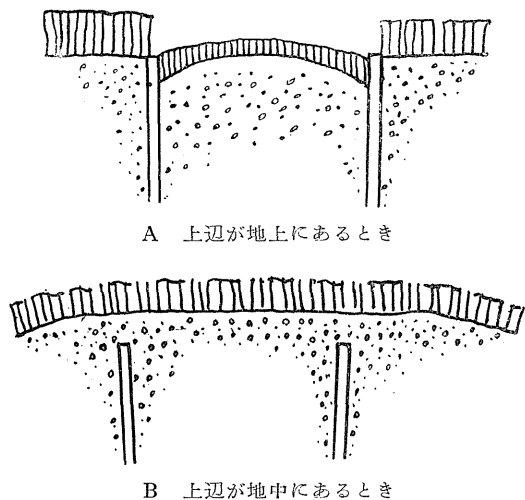
### B) 起霜地面の準備

霜柱は或程度以上水分を含んだ土壌の上でなければ立たない。しかし、多すぎる水分を持つ場合には異常に太い短い柱群が発生するので、あまり多く含ませてもいけない。又、霜柱の形状は土壌表面の凸凹状態の僅かの違いによつて著しく相違するので、なるべく自然な表面状態のまま適量の水を与えるためには、地上から水を補給するわけには行かない。又、地表から水を与えれば、地面近くの地中温度勾配が乱される害がある。

そこで水は第4図のように地下から補給した。こうし

て、地下水位を略々一定に保つことによつて、霜柱の立つ地面の含水率を略々一定にすることができた。

この給水桶の上辺は地表面より数 cm 下になるように埋めた。これは、若し、上辺が地表に出ていると、上辺からの冷却が桶を通じて下方に伝わり、それが次第に中央部に向つて移行するためか、桶の中の土の表面には、周囲と異つた霜柱が発生し、しかも、それらが左右につながりを持つているため、第 5 図の A のような形になる。それを防ぐために上辺を地中に入れば B のように正常な様子となる。



第 5 図 給水桶の上辺の影響

## II. 霜柱の生長速度に及ぼす雲の影響

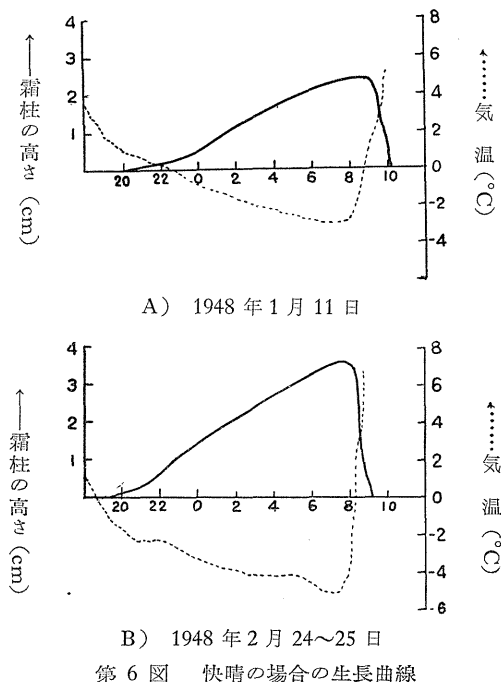
霜柱の生長の原動力は夜間輻射による地面の冷却であることはすでに発表した。そして、その夜間輻射によつて失われる熱量よりも、地中から熱伝導によつて補給される熱量が多ければ、その差が造氷のエネルギーになることもすでにのべた。

したがつて雲の如き、夜間輻射を妨げるものが出現すると、その影響は直ちに霜柱の成長速度にあらわれて来る。実験の結果、この影響は非常に敏感に表われるものであつて、雲又はそれと同じ作用をするものが現われるや否や霜柱の生長速度は急に激減し、地中温度勾配の大なる場合にはマイナスになることさえある。霜柱の生長速度を気温の函数として表わす実験式<sup>9)11)</sup>ではこの現象は説明できない。なぜならば、雲が表われても気温はただちに变化しないが、霜柱の生長曲線は気温の変化に先行して急変するからである。

以上のことを証明するために、種々の場合の霜柱の生長曲線の実例を挙げてみよう。

### i) 快晴の夜の霜柱生長曲線

快晴の場合には第 6 図の A 及び B のように、霜柱は極めて簡単な曲線を画いて生長する。



第 6 図 快晴の場合の生長曲線

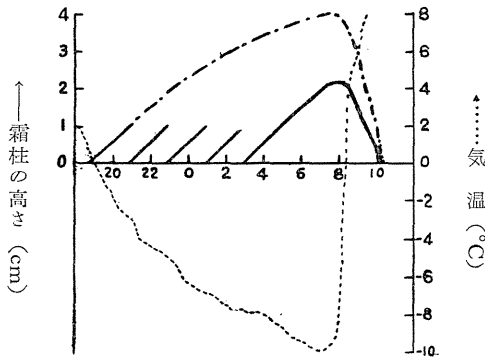
こういう場合の霜柱は、発生の初期と後期を除けば大体に於て直線的に生長している。これは夜間輻射によつて霜柱の下底部（即ち生長点）が失う熱量が一定であり、又、ここに地中から補給される熱量もほぼ一定であるため、造氷のエネルギー（即ち兩者の差）がほぼ一定となつたことを表わすものである。

初期の生長速度が遅いのは、霜柱の発生初期には霜柱の下底面が  $0^{\circ}\text{C}$  になつたばかりで、地中温度勾配がまだ大きいためである。

後期の生長速度が遅いのは、霜柱が長くなるにつれて霜柱自体が、その生長点を保温するようになるためである。

故に、生長中の霜柱を途中で取去つて、新たに発生せしめ、それが長くなつたら又取去つて更に改めて発生せしめるという操作を繰返せば、そのたびに発生する霜柱の密生度（霜柱群の見かけの体積の中に氷の実質の占める割合）さえ同一であれば、どの回も生長速度はほぼ一定となる筈である。

このような考えから、霜柱が発生してから 1 cm の高さになると取去つて新たに発生せしめ、その生長曲線を自記した結果が第 7 図である。



1955年2月16~17日  
第7図 快晴の場合の繰返し生長

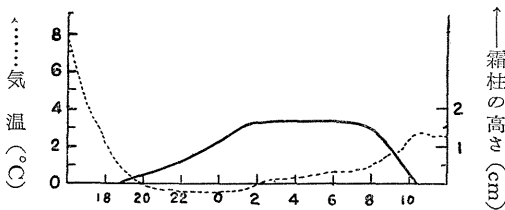
この図で破線で画いたのは、途中で除去することなく連続的に生長せしめた霜柱の生長曲線である。これを見ると21~23時、23~1時、1~3時の短い霜柱は何れも全く同じ5mm/hourの速度で生長していることがわかる。それぞれの生長中の気温(地上10cm)は-3~-5°C, -5~-7°C, -7~-8°Cと相当異つているにも拘らず、生長速度が一定であるという事実は、短い霜柱の生長速度を気温の函数と考える藤原咲平博士以来の生長理論<sup>11)</sup>は短い霜柱には適用しがたいことを示したものであり、著者が1948年に発表した次式<sup>3)</sup>

$$\frac{dl}{dt} = \frac{R_s - k_s \frac{d\theta}{dz}}{L \rho \alpha} \dots\dots\dots(1)$$

を支持するものである。式中  $dl/dt$  は霜柱の生長速度、 $R_s$  は土壌面単位面積当りの夜間輻射による放熱、 $k_s$  は土壌の熱伝導度、 $d\theta/dz$  は土壌の温度勾配、 $L$  は氷の潜熱、 $\rho$  は氷の密度、 $\alpha$  は霜柱の密生度である。

ii) 雲の出た夜の霜柱

雲が出ると(1)式の  $R_s$  が減少するため、 $dl/dt$  も減少し、 $d\theta/dz$  が大きい場合には、 $dl/dt$  が負数になる場合もある。第8図は霜柱生長中に雲が出た場合の一例である。



1948年1月12~13日  
第8図 途中から雲が出た夜の生長曲線

このときは、夕刻16時には北の風1mで曇天であ

つたが、まもなく風が止み、18時には雲が消えて快晴となつた。その時、地下2cmの地温が1.8°Cの低温であつたため、日没後19時頃より霜柱が発生し、快晴にめぐまれてぐんぐん生長したが、夜中の1時頃から急に高積雲が発生しはじめ、2時には全天が高積雲で覆われ、その後朝まで曇天が続いたため、霜柱の生長は完全に停止し、朝になると雲を通しての日射のため溶けて行つた。

霜柱はこのように、夜間輻射の増減に敏感に反応するから、われわれはこの生長曲線から、雲の夜間輻射反射率を或程度推測することができる。

この曲線では、夜中の3時の生長速度  $dl/dt=0$  である。故に(1)式より

$$R_{sw} = k_s \frac{d\theta}{dz} \dots\dots\dots(2)$$

$k_s$  は土の熱伝導率で、この場合約  $0.002 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$  と推定し<sup>9)</sup>、 $d\theta/dz$  は、地下2cmの温度が  $0.8^\circ\text{C}$  であつたから、地表面即ち霜柱下底面は  $0^\circ\text{C}$  とすれば、 $d\theta/dz = (0.8 - 0)/2 = 0.4^\circ\text{C/cm}$  である。これから当時の  $R_{sw}$  を計算してみると、

$$R_{sw} = 0.002 \times 0.4 = 0.0008 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} \quad (3)$$

となる。

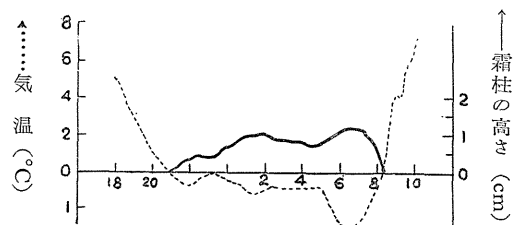
雲のない場合の土壌の夜間輻射  $R_s$  は当時の水蒸気圧力によつて変化するが、大体は  $0.00155 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$  前後と見て大差ないとすれば<sup>8)</sup>、 $R_{sw}/R_s = R_w/R_0 = 0.0008/0.00155 = 0.516$  が得られる。但し  $R_0$ 、 $R_w$  はそれぞれ、雲の無いとき、有るときの黒体の夜間輻射量である。

故に、この時の雲の夜間輻射反射率は

$$\lambda = \frac{R_0 - R_w}{R_0} = 1 - 0.516 = 0.484 \dots\dots(4)$$

となる。これは St. Asklöf 及び A. Ångström<sup>5)</sup> が中層雲(高積雲、高層雲など)の夜間輻射反射率を  $\lambda = 0.2 \sim 0.9$  とした値によく合致している。

次に、雲が断続的に去来した場合の例を示すと第9図の如きものがある。



1948年3月2~3日  
第9図 雲が去来した夜の生長曲線

この例のように3月にもなると地温はすでに相当高くなっている。そのため、雲が出て夜間輻射  $R_s$  が押えられ、地中からの熱  $k_s d\theta/dz$  が勝つて霜柱の生長速度はマイナスになつて来る。雲が去れば再び生長するのでこんな凸凹の曲線になるのである。

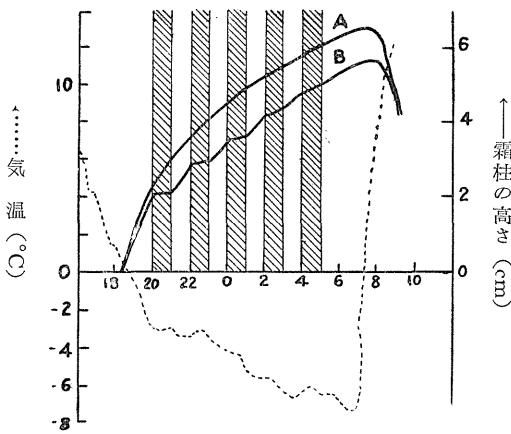
この夜は2日夕刻より3日早朝まで高積雲及び層積雲が上空を断続的に通過しており、風は弱い北風が吹いていた。3日朝8時頃には高積雲が全天を覆つたが、後次第に晴れて行つた。

このように風の弱い夜には、雲の影響は地表面温度にすぐ表われるため、地上10cmで測つた気温は霜柱の消長と面白い対照をなしている。

### iii) 輻射を妨げられた霜柱

夜間輻射を妨げるものなら雲に限らず、どんなものでも霜柱の生長を押える作用を持つている筈である。これを確認するために、霜柱から約30cmの高さに約1m四方の木枝を横たえて夜間輻射を妨害してみた。

自記装置により2ヶ所の霜柱の生長を同時に記録しつつ、その長さが約2cmに達した時に一方の霜柱の輻射を木板で妨げ、1時間後にこれを開放し、又1時間後に木板をかぶせた。片方の霜柱は何もせず普通に生長を続けさせた。こうして得た生長曲線が第10図のAとBである。



1955年1月27~28日

第10図 輻射を妨げられた霜柱と開放された霜柱の生長の比較

図に於て、斜線をほどこした部分がBの霜柱の上方に木板を置いた時間である。

このような極所的輻射妨害を行つても、霜柱の上を流れて行く空気温度は他の部分と変るものではない。したがつて、BとAの二つの曲線の違いは、同じ気温、風速のもとにおいて、輻射が妨げられたかどうかだけの

違いに基因しているということが出来る。

特に霜柱が短く、又、地面近くの気温が0°Cよりあまり低くないときには、輻射の相違は生長曲線の上に極めて純粹に、敏速にあらわれている。

この事実も、短い霜柱の生長理論としては、夜間輻射を主体とする(1)式が適切であることを裏付けるものである。

尚この夜は西の風極めて弱く、全天に雲を認めず、銀河を非常にはつきりと見ることが出来た。地温は深さ5cmにおいて夜10時2.1°C、翌朝7時に0.3°Cであつた。

輻射妨害は、木板のほか竹の枝でも数回比較してみたが、竹の枝の輻射妨害の効果は木板のそのほぼ半分であつた。

### III. 樹木の霜害防止効果

雲、木板、竹枝などが霜柱の生長速度を著しく減少せしめるのは、それらが地面から天空へ向つての夜間輻射を遮断し、それらの物と地面との間に相互輻射しか行われなないようにするためである。相互輻射は両者の絶対温度の4乗の差に比例するものであるが、両者の温度差はあまり大きくないので、絶対0°Tの宇宙へ放散される夜間輻射に比べると比較にならぬほど小さい。

従つて天を遮ぎるものは何であろうとそれが地面の温度輻射を通過させないものでありさえすれば、輻射妨害の効果は殆んど同一であり、その効果は単に地面から見た全天を遮つている面積の割合に比例する。

さて、霜害は、時ならぬ時期に作物の葉の温度がその耐え得る最低温度より下つた時に起るものである。葉の温度が下るのには次の二通りの場合がある。

- A) 葉の周囲に非常に冷い気流が流れて来てこれを包囲した場合
- B) 葉面自身が夜間輻射によつて周囲の空気より低温になつた場合

このA)は山の上から冷い気流が下つて来た場合と、極めて強い寒冷前線が通過した場合に起るものであり、あまり一般的ではない。しかし、B)は大面積の平野部でも屢々起ることである。B)のような霜害は、夜間輻射を遮るものがあるところでは局部的にまぬがれる場合がある。

第17図の写真は、さつまいも畑の霜害を松の木が部分的に救つている例である。第18図は、その松の木の枝を下から見上げたものである。この程度に天を遮つている樹木によつて、図のような効果があらわれているのである。

写真には撮れなかつたが、附近のさつまいも畑に約10m 間隔にキリが植えてあるところがあつた。さつまいも畑が霜害を受けて黒化した当時には、まだキリの葉は大部分枝に残つていた。そのキリの葉の影響で、そのさつまいも畑は、ほとんど黒化していない状況を目撃した。

以上は 1957 年 10 月 19 日の朝、関東平野が急な低温に見舞われ、茨城県南部のさつまいもの葉が一斉に霜害を受けたのを、2 日後、葉がはつきり黒化するのを待つて調査して廻つた結果である。

IV. ベントナイトの防霜効果

ベントナイトは  $Al_2O_3$  1 分子に対し、 $SiO_2$  を約 5 分子の割合で含んでいる粘土岩の粉末であるが、これは吸水により数倍に膨潤する性質を有するため、近年土壌堤、床締など、土壌中の水の滲透を制止しようとする場合に利用されるようになって来た。

霜柱は、地中の水分が土壌中の毛細管を通じて表面に移動して氷柱を形成するのであるから、地中の水が地表に上昇して来ないようにすれば霜柱は生長しないことになる。

ベントナイトを土壌に混入すれば、その粉末は土壌空隙の中で水を吸つて膨潤し、土壌空隙を充たしてしまうから、これを利用すれば、霜柱下底面への地中からの水の補給を遮断することができる。

そうなれば霜柱は発生しなくなるし、発生してもあまり生長しない筈である。このことをたしかめるために次のような実験を行つた。

i) 実験方法

第4図の給水桶の代りに、長さ 1m、幅 70cm、深さ 12cm の大型ホーローバットを地下 20cm の深さに埋め、この中に粒径 1~2cm の砂利を 5cm の厚さに敷

き、その上に粒径 0.5~2mm の砂を 5cm のせ、その上に約 15cm の厚さに壤土をのせ、その上にガーゼを敷き、その上を 8 区画に分けて、それぞれの区画にベントナイトを異つた割合で含ませた試料を 5cm の厚さに敷いた。

水はゴム管で砂利層に直接注ぎ、砂利層から上方にしみ上げるようにした。

試料は当学部圃場の風乾細土 500g にベントナイトを混入し、これを上記のようにガーゼの上に敷いて下から吸水せしめた。

設置したのは 1955 年 2 月 22 日の午後 2 時であつたが、試料の上面まで水が行きわたつたのは 6 時頃であつた。7 時 50 分には周囲の畑にはすでに霜柱が発生しはじめていたが、この部分は水分が多いためまだ発生してゐなかつた。

ii) 実験結果

翌 23 日の朝 7 時 20 分に観測した結果が第 1 表及び第 2 表の通りであつた。

第 1 表

	ベント ナイト 混入量 (g)	霜柱の 長さ (mm)	凍結層 の厚さ (mm)	計 (mm)	状 態
A	0	24	0	24	柱性明瞭、凍 結層なし
B	2	14	7	21	
C	6	10	9	19	半ば柱性あり
D	12	3	12	15	柱性少しあり
E	25	1	12	13	ごくわずか柱 性あり
F	50	0	20	20	
G	100	0	22	22	〃
H	150	0	27	27	〃

第 2 表 その夜の気象状態

	1955. 2.22				2.23		
	7h 50m	8h 56m	11h 00m	12h 00m	1h 00m	3h 25m	7h 00m
雲形・雲量	0	0	0	0	0	0	KC 2
風向・風速 (m/sec)	SSE 1	0	0	0	0	S 1	NW 1
空の明澄状態	銀河不明	銀河不明	銀河不明	銀河不明	銀河不明	5 等星不明	—
畑の表面温度 (°C)	0.5	0.0	-1.0	-1.9	-3.0	-3.6	-2.8
深さ 10cm の地温 (°C)	6.0	5.5	4.5	4.2	3.7	3.5	3.2

第 1 表でベントナイトの混入量というのは 500g の風乾土に混入したベントナイトの重量である。霜柱の長さは長短があるので、各区における平均の長さを記した。

凍結層というのは土壌空隙中の水がそのまま凍結したため土壌がコンクリート状に固まっているものを指す。

第 2 表の畑は、実験地から 50m 以内の距離にある畑

であり、地温はその畑の地温である。

コンクリート状の凍結層は霜柱の生長に比して下層からの水の補給が間に合わないときに出来るものであるがこれが、僅か 0.4% のベントナイト混入によつて発生していることは注目に値する。

この日よりもつと冷却の急激な場合や、水分の少ない場合には更に凍結層が発達すると考えられる。即ち、普通の畑地の霜柱を減少させるために必要なベントナイトの量は、あまり多くないように思われる。

### V. 自然状態の土壤水分測定の一方法

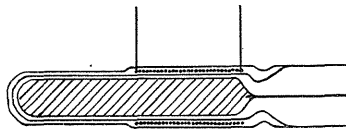
霜柱の生長速度の研究には、地下からの伝導による熱の移動量を知ることが重要な意味をもっている。土壤の熱伝導度はその含水率によつて変化するから、土壤の水分含量を時々刻々いろいろな深さに於て自然状態のまま知る方法があると便利である。

自然状態の土壤水分を測定する方法としては、物理的方法、化学的方法及びその他種々あるが、ここでは簡単で、原理的にもすぐれていると考えられる次のような方法をとつてみた。これはインドの Poona の農業気象観測所において、A. U. Momin が行つたものと同じ原理を用いたものである<sup>10)</sup>。

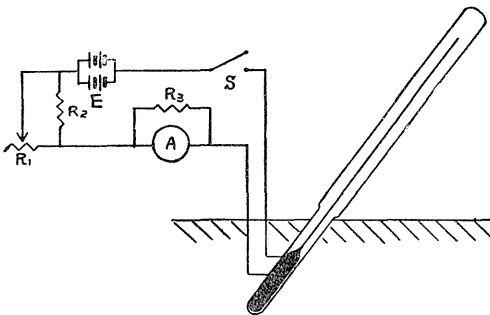
Momin は普通の地中温度計の水銀部の半分に加熱線として、コンスタンタン線を巻き一定の電流で水銀部を加熱し、5°C 上昇するに要する時間を測定している。

#### i) 実験方法

温度計は、第 11 図のように水銀部の長い(約 3 cm)棒状温度計を用いた。加熱線は、エナメル鉄線(S.W.S 28 番)を約 40 cm 巻き、全抵抗 0.39Ω とした。加熱



第 11 図 測定装置の構造 (1)



第 12 図 測定装置の構造 (2)

線には念のため絶縁ワニスを塗つた。

加熱用電源としては、1.5V 大型乾電池 4 個を直並列にして、3.0V とし、圃場にも持ち運ぶことができるようにした。電流は第 12 図に示すように可変抵抗器をもちいて、4.85A にたもつた。測定に際しては温度が、6°C 及び 10°C 上昇する時間(秒)をストップウォッチを用いて 1/10 秒まで記録する。

試料は 500 cc の容器に入れ測定用の温度計はその中央部に固定した。この温度計の水銀部の深さは表面より約 5 cm とした。

測定は 3 日に 1 回行つた。

#### ii) 実験材料

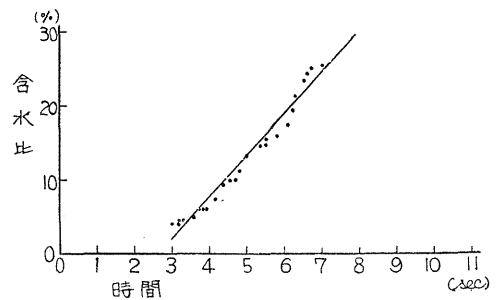
材料としては、実験の容易な砂土を用いた。この砂は、茨城県霞ヶ浦西岸土浦市大岩田町地内より採取したものを、水洗して有機物及び微粒子を除いたものである。この砂土の物理的性質は、第 3 表の通りである。

第 3 表 砂土の物理的性質

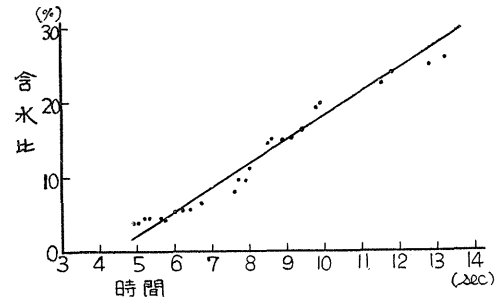
	真比重	仮比重	空隙率
砂 土	2.66	1.40	48.1%

#### iii) 実験結果

加熱電流 4.85A で、6°C 及び 10°C 上昇させるに



第 13 図 含水比と温度上昇時間との関係 (6°C)



第 14 図 含水比と温度上昇時間との関係 (10°C)

要する時間 ( $t$ ) を測定し、同時に試料全体の重量を計量して、含水比 ( $W$ ) を求めた。但し含水比測定範囲は、4~25%、砂の温度は、3.0°C~11.0°Cであつた。

実験の結果、上昇時間と含水比の関係を図示すれば、第13図及び第14図である。

実験式は A.U. Momin が示したものと同型となり、

$$W = at + b$$

なる一次関数で表わされた。

即ち、6°C 上昇においては

$$W = 5.79t - 15.9$$

$$\text{確率誤差 } \pm 2.8$$

10°C 上昇においては

$$W = 3.15t - 13.4$$

$$\text{確率誤差 } \pm 2.9$$

含水比と上昇時間との関係を、土性及び構造の異つた各種の土壌について、予め実験式を求めておけば、この方法によつて自然状態のまま簡単に迅速に土壌水分を測

定する事ができる。

#### 文 献

- 1) Fukuda, H: 1936. Jour. Coll. Agric., Vol. XIII, No. 5. p. 470.
- 2) 福田・金光: 1948. 応用物理 17 卷, 1~2 号 21 頁
- 3) 福田・金光: 同 上 22 頁
- 4) 藤原: 1924. 気象集誌, 2 輯, 2 卷, 2 号
- 5) Geiger, R: 1929. Das Klima d. Bodennahen Luftschicht. s. 41.
- 6) 川野: 1932. 気象集誌, 2 輯, 10 卷, 4 号, 221 頁
- 7) 金光: 1956. 茨大農學術報告, 4 号, 135 頁
- 8) 金光: 同 上 138 頁
- 9) 芝 : 1944. 物理常数表, 189 頁
- 10) 谷 : 1950. 農業気象, 6 号, 1 頁
- 11) 田島外 6 氏: 1942. 中央气象台彙報, 19 冊, 2 号

#### Summary

Since 1946, we have made a pretty amount of experiments on the growth of ice-column. What we show here are some of the most interesting experimental records among them.

I. We explain the self-recording apparatus which register the growing velocity of ice-column.

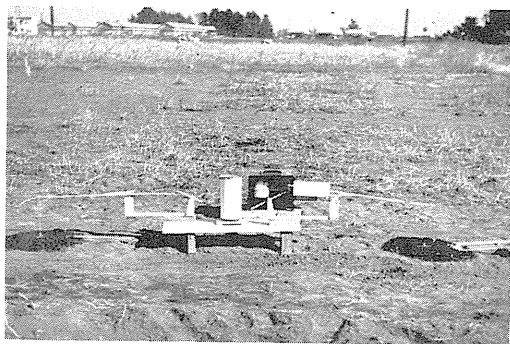
II. We relate that the influence of the cloud upon the growing velocity of ice-column is extremely direct and conclusive.

III. We present the pictures which show the effect of trees against the frost-bite.

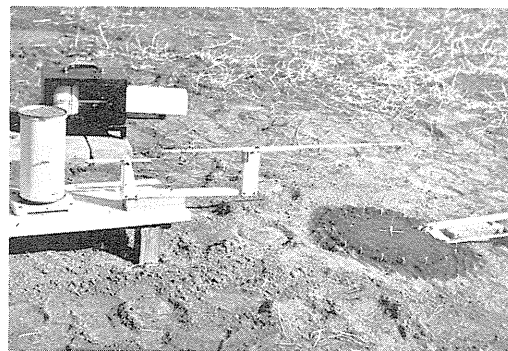
IV. We describe the extent of prevention against the growth of ice-column by admixing Bentonite into soil.

V. We illustrate a method to measure the water content of soil using the variation of heat-conductivity.





第 15 図 KT-3 型霜柱自記装置による実験地



第 16 図 KT-3 型霜柱自記装置



第 17 図 松の木がさつまいもの霜害を妨いでいる



第 18 図 左図の松の木を見上げたところ