



Title	霜柱の成長過程の観察
Author(s)	堀口, 薫; HORIGUTI, Kaoru
Citation	低温科学. 物理篇, 25, 171-177
Issue Date	1967-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18067
Type	departmental bulletin paper
File Information	25_p171-177.pdf



霜柱の成長過程の観察*

堀 口 薫

(低温科学研究所 凍上学部門)

(昭和42年7月受理)

I. ま え が き

霜柱の発生は地表面の状態に強く影響される¹⁾。僅かに凹凸があっても、凸部は凹部に比べて熱の放散が大きいので、凸部から選択的に霜柱が出る。霜柱が、一面に同時に発生せずに散在して発生するのはこの地表面の凹凸のためと考えられる。このことを確かめるために、次の実験を試みた。まず凹凸が約 0.3 mm 以下の滑らかな地表面を作る。その一部に土を散布してこまかな凸部分を作り、16 ミリ撮影機を用いて霜柱の発生状況を連続微速度撮影した。その結果 1 mm 前後の凹凸でも凸部から凍結が始まり、それが芽になって霜柱がのび出ることが解った。

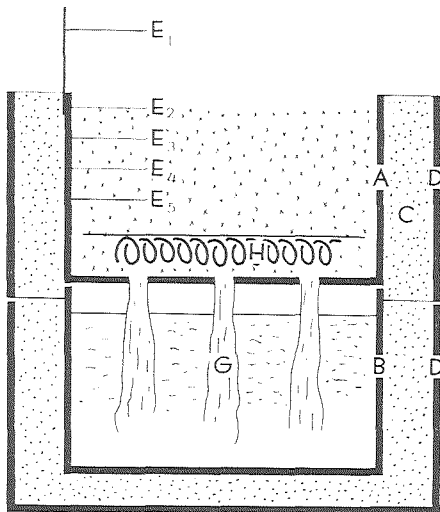
霜柱は、透明で土を含まないきれいな場合と、氷が殆んど見えず土の凍った柱になる場合とがある。後者の場合には、急激に表面が冷却されるため、土中からの水分の補給が氷の形成に適応出来ず、土の粒子を中に含み込んでしまうのである。このような土の柱と言った方がよいような霜柱は、寒冷地方ではよく見掛けられる。このように、透明なきれいな霜柱となるか、土柱状の霜柱となるかを解明する一つの方法として、ここでは、両方の霜柱で成長速度がどう違うかを調べた。

実験は昭和42年2月26日から3月15日にかけて、低温科学研究所屋上に、霜柱発生装置を据えておこなった。試料として関東ローム(粘土質ローム)²⁾を使用した。この関東ロームは、関東地方において冬によくみられる霜柱の試料である。

II. 実験方法

実験装置の略図を第1図に示す。水槽 B と試料の土を入れる箱 A は、共に厚さ 1 cm のアクリル酸樹脂で作られ、縦、横共に 10 cm、深さ 6 cm である。A、B は厚さ 2.5 cm の断熱材 C (ポリスチレンフォーム) で囲まれる。A の底に穴をあけて(6カ所)ガーゼ G を通す。試料の温度は、スライダックによって、電熱器 H で調節する。等温面が試料の表面に平行になるように、H の上に数十カ所穴の開いた厚さ 0.05 cm のステンレスの板を置いた。E₁, E₂, E₃, E₄, E₅ は熱電対で、その感温部を壁から 2.5 cm 離しておいた。E₁ は試料の表面の上 2.0 cm、

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 823 号



第1図 実験装置

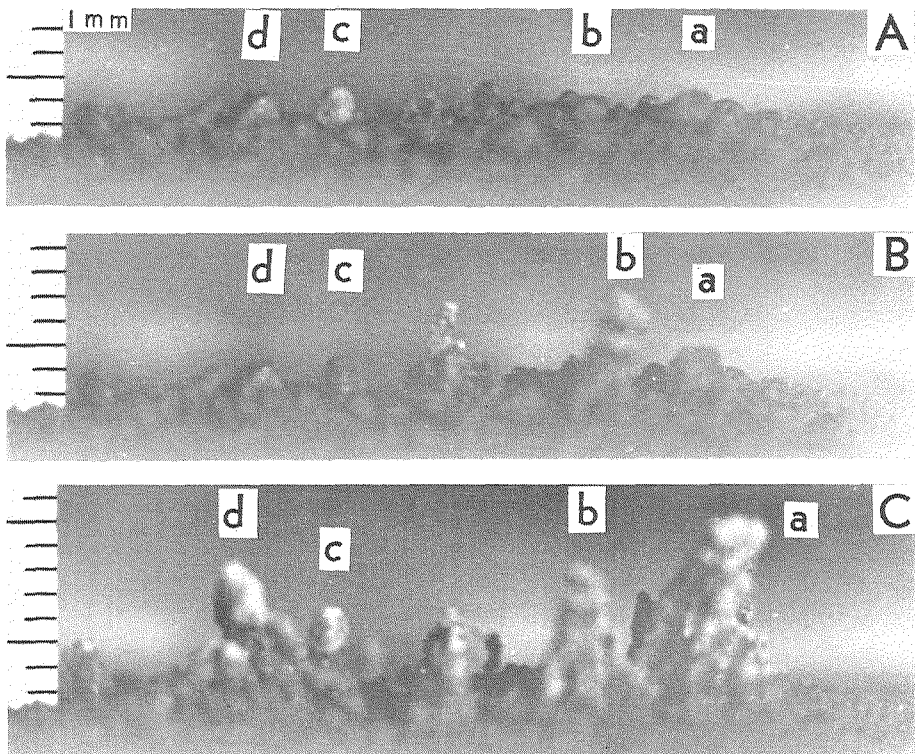
E_2, E_3, E_4, E_5 は、それぞれ、表面、表面の下 1, 2, 3 cm に位置する。全体を更に厚さ 1 cm のベニヤの木箱 D に納めた。A と B を別々に取り外すことが出来るようにした。

III. 表面の凹凸が霜柱の発生に及ぼす影響

第2図に 16 ミリカラーフィルムから転写された一連の実験の写真を示す。これが表面の凹凸による霜柱の発生の違いを示す。

この記録は 3 月 11 日 18 時 40 分から 20 時までの 80 分間にとられた。A は測定開始の時の状態を、B, C は、それぞれ、測定開始から 37 分後、80 分後の状態を示す。この撮影にあたっては、照明としてレフランプを用いた。写真 A に

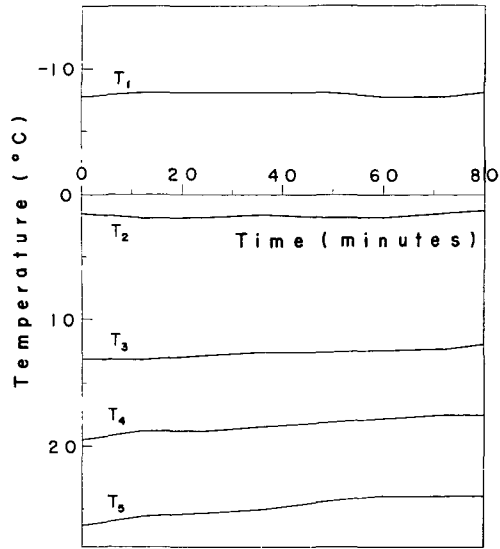
みえる一つの凸部 c のように、白く見えるのは、この部分が凍結して、そのなかの氷の部分か



第2図 霜柱の発生状況

A: 測定開始の状態, B: 測定開始後 37 分, C: 測定開始後 80 分

ら光が反射したためである。Aの写真で、凸部aから右側の部分は基盤の平らな面である。この基盤の上に厚さ1mm程度に土を散布したわけで、aから左がその部分である。この散布された土は粒団をなしている。第2図の一連の写真A, B, Cから、霜柱はaから左の凸部にだけ発生していることが解る。この実験の間中、基盤の面では凍結が起らなかった。これは写真B, Cでaの右側の基盤に霜柱及び凍上がみられないことから明らかである。この時の温度分布を第3図に示す。第3図の温度 T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 は、それぞれ、第1図の熱電対 E_1 , E_2 , E_3 , E_4 , E_5 の温度である。18時に風速3 m/sec, 湿度57%, 21時には風速3 m/sec, 湿度61%と割合穏かな晩で、又空は晴れていた。



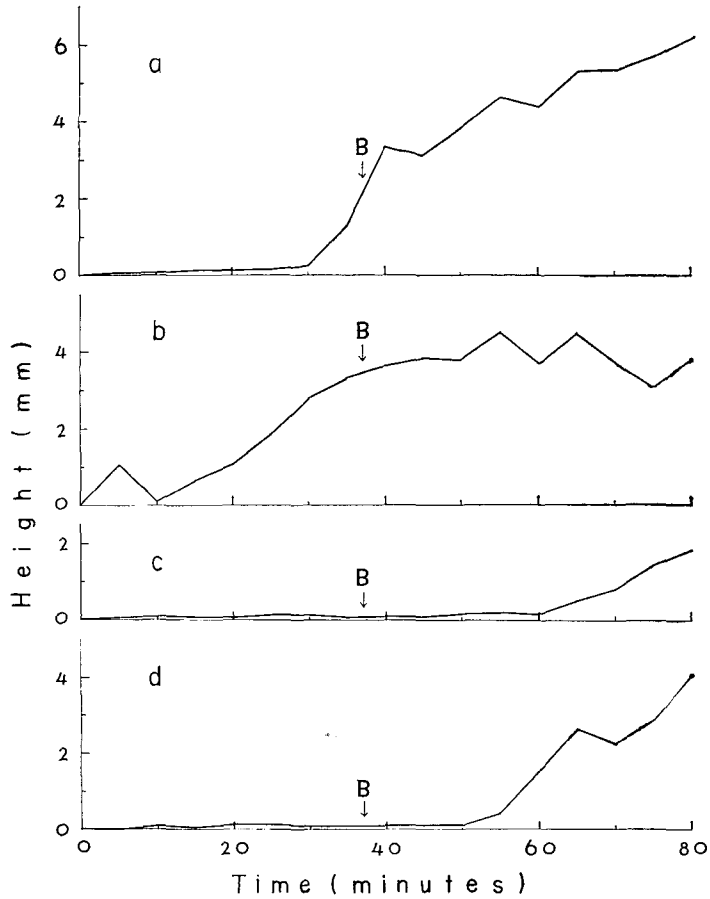
第3図 第2図の実験の時の温度分布

つぎに、第2図にみられる霜柱a, b, c, dの成長過程を、16ミリ映画フィルムから5分間隔で測定した。そのグラフを第4図に示す。このa, b, c, dは、それぞれ、第2図の霜柱a, b, c, dに対応する。又それぞれのグラフに付した記号Bは、第2図のBの時刻を示す。この第4図からわかることは、まず、成長を始める時間が霜柱によって違うことである。次に、成長を始めても成長速度が霜柱ごとに違い、しかも同じ霜柱でも時間によって違うということである。

例えば、aとbは約2mm離れているにすぎないのに、成長を始める時間に約10分間の差があり、その後の成長過程にも違いがみられる。10分から30分までの間、aでは目立った成長がみられないが、bは平均 $2.3 \mu/\text{sec}$ の速度で成長をしている。30分から40分にかけてはbの成長速度は $1.4 \mu/\text{sec}$ であるが、aのそれは $5.3 \mu/\text{sec}$ という大きな値である。測定開始後40分には、霜柱の高さはaでは3.4mm, bでは3.6mmに達している。このように、ある時刻にほぼ同じ高さに成長した霜柱a, bをとってみても、その後の成長過程を比べると、a, b共に同じ速度で成長する場合もあり、又逆に一方が成長し他方が減少する場合もある。

このように、表面に僅か1mm程度の凹凸があっても、それが原因で、霜柱が出たり出なかったり、又出ても、その時期がずれたり、又その後の成長の過程にも大きな差がみられるということが、顕著な事実として解った。しかし、これがどういう微機構で起るかとなると、この1mm前後の範囲にわたる微気象状態や、土中の水分の分布及び移動に関する研究が、現在のところ、まだ不十分な段階なので、量的な説明を与えることは出来ない。

一見、一様に成長するとみられる自然の霜柱においても、単調な成長を続けるのではなく恐らく増大したり減少したり、いくつかの段階を経ながら成長するものと思われる。



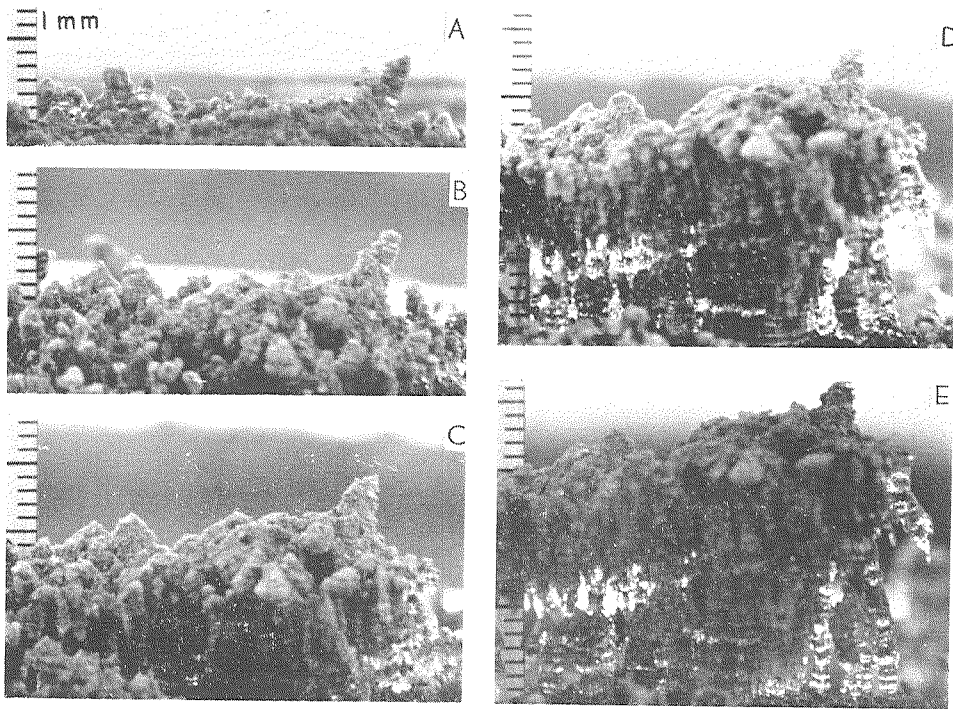
第4図 霜柱の発生及び成長過程

a, b, c, dの各グラフは第2図の霜柱a, b, c, dに対応する

IV. 霜柱の成長速度について

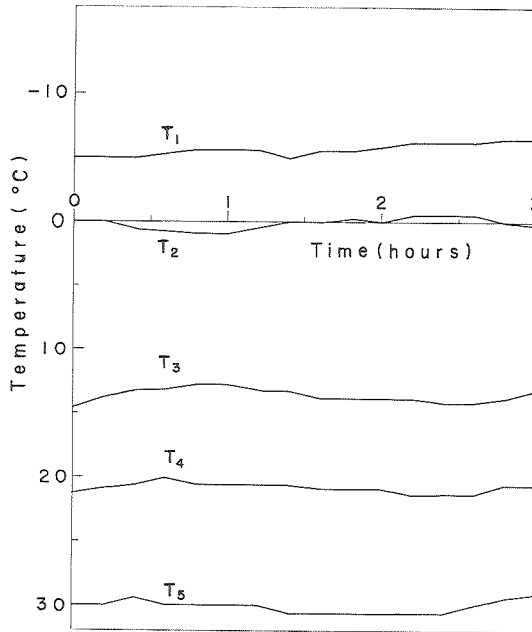
この実験は、霜柱の成長速度を調べるために行なったもので、表面に土を散布しなかった。第5図の一連の写真A, B, C, D, Eは、昭和42年3月11日14時35分から17時35分までの間に成長した霜柱の成長過程を16ミリカラーフィルムから転写したものである。この実験の時には15時に風速7 m/sec, 湿度47%, 18時には風速3 m/sec, 湿度56%で快晴であった。実験地点は、すでに、建物の蔭になり、直射日光を受けなかった。この時の温度分布を第6図に示す。第6図の T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 は、それぞれ、 E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 の温度である。

第5図aでは、即ち凍結線が表面下に入っているために、第2図のように、孤立した霜柱にならず、全体として連なり合っのびている。第5図の一連の写真から、その平均の高さの増大過程を第7図のグラフに示す。第7図のA, B, C, D, Eは、それぞれ、第5図のA, B, C, D, Eに対応する。A, B, Cの段階では土柱状の霜柱としてのびているが、D, Eの段階

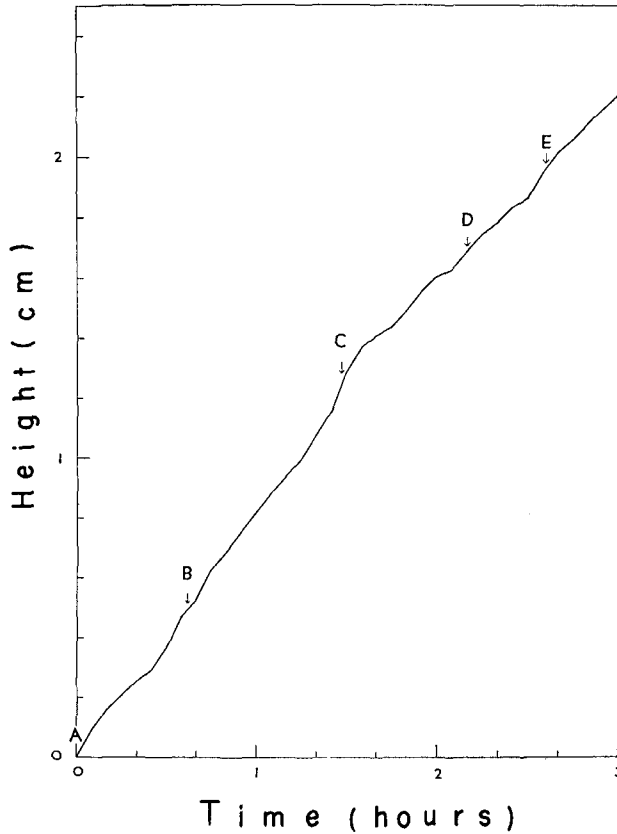


第5図 霜柱の成長過程

A: 実験開始時の状態, B: Aより37分後, C: Aより83分後, D: Aより130分後, E: Aより156分後



第6図 第5図の実験の時の温度分布



第7図 霜柱の成長過程

A, B, C, D, E 点は、それぞれ、第5図の
A, B, C, D, E に対応する

になると、土層入りではあるが、割合氷の部分が多い霜柱が下の方からのび出ている。一方、第7図では、A点からC点までは平均の成長速度が $2.3 \mu/\text{sec}$ であるのに、C点からE点までは $1.6 \mu/\text{sec}$ である。つまり、氷の部分の多い霜柱は遅い速度で成長しているわけである。

しかし、このC点よりE点に至る間でも、5分間の平均成長速度をみると、最小 $0.9 \mu/\text{sec}$ 、最大 $2.8 \mu/\text{sec}$ である。第5図のD, Eで、右側の下より成長した数本の霜柱は土粒子を層状に含んでいる。これらから、土粒子が氷柱に含み込まれる臨界速度を求めると、約 $1.3 \mu/\text{sec}$ となる。自然の状態では、一夜に成長する霜柱の高さは5, 6 cm である¹⁾。仮に一夜霜柱が成長を続ける時間を10時間として成長速度を求めると $1.4 \mu/\text{sec}$ 前後で、われわれの実験値に近い。

Uhlmann, Jackson³⁾によれば、固体粒子の分散水溶液を一方向から凍結させた場合に、凍結面の進行がおそくて凍結面で粒子を押しやりながら凍結が進むか、逆に凍結面の進行がはやくて粒子を捕えながら進むかの臨界速度は、半径 2μ の粒子では、計算値が約 $200 \mu/\text{sec}$ 、実験値が約 $20 \mu/\text{sec}$ で、われわれの実験値と違う。

V. ま と め

平らな土の表面に、粒団状の土を散布し、そこから霜柱を発生させることによって、基盤の凹凸の効果を観察した。又割合に氷の部分の多い透明な霜柱となるか、或は土柱のような霜柱となるかを、成長速度の違いから検討してみた。その結果、次のことが明らかになった。

1. 1 mm 程度の凹凸でも、必ず凸部から霜柱が発生し成長する。又わずか数 mm 離れていても、霜柱が成長を始める時間及び成長速度に違いがあることがわかった。

2. 透明なきれいな霜柱となる場合は、成長速度が約 $1.3 \mu/\text{sec}$ 以下であり、それより成長速度が大きいと、土粒子を含んだ霜柱となることがわかった。

これらのことは、地表面における微細気象、又土中の水分分布及び移動等が原因して起ることに間違いない。又霜柱の発生には、輻射が重要な因子であることが知られているが、今回は装置全体が小さいので、試料表面から出る輻射量を測定出来なかった。この点も留意して、今後研究を進めたい。

終りに、この報告の作成に当り、いろいろと御討論をしていただいた木下誠一教授、鈴木義男助教授、小林禎作助教授に厚く御礼を申し上げます。

文 献

- 1) 自由学園自然科学グループ 1937 霜柱の研究. 自由学園, 東京, 37 pp.
- 2) 中尾清蔵 1932 機械的組成成分並びに鉱物成分より見たる所謂関東ローム (第2報). 地質学雑誌, **38**, 97-121.
- 3) Uhlmann, D. R. Chalmers, B. and Jackson, K. A. 1964 Interaction between particles and a solid-liquid interface, *J. Appl. Phys.*, **35**, 2986-2993.

Summary

The growth processes of an ice column from soil ("Shimobashira") were recorded on 16 mm cine color film. No ice columns grew from a smooth soil surface (the right of a in Fig. 2). All ice columns appeared on the convex parts of a roughened surface, but not simultaneously (the left of a in Fig. 2). There two stages during the growth processes: soil containing and clear (Fig. 5). The growth velocity of the former was larger than that of the latter (Fig. 7). The critical value was about $1.3 \mu/\text{sec}$.