

鳳凰山における構造土の観察と実験

メタデータ	言語: jpn 出版者: 明治大学史学地理学会 公開日: 2009-02-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小疇, 尚 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/1578

鳳凰山における構造土の観察と実験

小 疇 尙

はじめに

一九五五年、鳳凰山で構造土を発見した。その後、北海道、東北、中部地方の山地を歩いて、各地で、多数の構造土を観察した。その間、定期的な観察と実験を行ないやすい場所を物色したが、適当な場所がなかなか見つからず、結局、鳳凰山の薬師が岳にきめた。このような定期的な観察と実験を行なったのは、わが国でそのような試みが行われた例が少なく、外国でも、最近ようやくそのような報告がふえてきたばかりだからである。構造土の成因を明らかにする上に、このような観察と実験が必要であることは云うまでもない。

一九五六年十一月から、榎本佳弘、斎藤隆、篠崎介二の諸君と共に観察を始め、一九六四年六月末までに、現地を十度以上訪ずれた。観察および実験といっても、ほとんど道具らしい道具はなく、その方法を詳しく記述した論文も、当時は見当らなかつたので、ごく簡単なことしかできなかった。粒度分析は、東京大学地理学教室の設備を利用していただいた。

心ない登山者に、実験地を荒らされたりはしたが、多少なりとも成果を上げ得たのは、上記の方々の協力が得られたからにはかならない。岡山俊雄教授には原稿を読んでいただき、種々御批判をいただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

鳳凰山の構造土分布

鳳凰山は、南アルプスの北東端附近にある一群の山峰の総称であつて、主峰の観音ガ岳（二、八四〇・九メートル）をほぼ中央に、その北西に地藏ガ岳（二、七四〇メートル）、南東に薬師ガ岳（二、七六二メートル）および砂払い（約二、七三〇メートル）が一直線に並んでいる。それぞれの山頂は、花崗閃緑岩の尖峰、あるいはその塊状の露出をなしている。

シラビン帯は、砂払いから南々東に延びる尾根で約二、六五〇メートル、観音ガ岳頂上から西方に派出する尾根では約二、七五〇メートルで終る。喬木限界を眞の森林限界とするなら、このシラビン帯がそれに相当し、鳳凰山の西斜面におけるその高さは、約二、六五〇メートルから二、七五〇メートルの間になる。ハイマツ・ダケカンバ帯の限界は、この森林限界よりも八〇～一〇〇メートル高く、観音ガ岳と薬師ガ岳との鞍部、薬師ガ岳と砂払いの鞍部、観音ガ岳と地藏ガ岳との鞍部、風下に当たる東斜面などは尾根上にまで達しているが、風上の西斜面では、多くの場合、稜線から一〇～二〇メートル下方を、稜線にはほぼ平行して走っている。ハイマツ・ダケカンバ帯の上方には、砂礫におおわれた裸地が拡がっていて、嫌雪性の高山植物がわずかにみられるにすぎない。

構造土は、観音ガ岳から薬師ガ岳を経て砂払いに至る間の、西側斜面上部に拡がるこの裸地に発達している。観音ガ岳以北には構造土は見当らない。そこは岩体の露出が多い瘠せ尾根で、砂礫におおわれた裸地は少なく、その上、登山者がふみつけるために、構造土が発達できないのである。構造土の下方限界は、観音ガ岳付近で約二、八〇〇メートル、薬師ガ岳頂上付近で約二、七四〇メートル、その南約二〇〇メートルの地点で約二、七二〇メートル、砂払いで約二、七〇〇メートルである。このように構造土の下限が、観音ガ岳から南へ向うにしたがって低くなるのは、稜線そのものの高度が、観音ガ岳から南下するにつれて低下するからである。前述のごとく、ハイマツ・ダケカンバ帯の上限は、稜線からほぼ一定の距離を保って走っている。つまり、稜線が高くなればハイマツ・ダケカンバ帯の上限も高くなり、稜線が低くなればその上限も低くなる。構造土の下限は、砂礫露出地の下限に一致し、これはハイマツ・ダケカンバ帯の上限とも一致している。したがって、稜線の高度が高ければ構造土限界も高なり、稜線が低くなれば構造土限界も低くなる。ただし、構造土限界は、稜線の低下につれて無制限に低くなるわけではなく、ハイマツ・ダケカンバ帯が尾根に達するところで止まる。この高さは、本地域では砂払いの約二、七〇〇メートルであ

る。ハイマツ帯の上限および構造土現象が、わが国では一種の山頂現象と見なされることは、かつて論じたことがある。^(註一、二)

A 地点での観察

薬師ガ岳頂上付近で、構造土が特に見事に発達する二地点A・Bをえらんで、一九五六年から観察を続け、若干の実験もあわせて行なつた。^(註三)Aは次のような所である。薬師ガ岳頂上から南方へ庭びる尾根を、距離にして約一〇〇メートル下った海拔二、七四〇メートル前後のところであつて、尾根の右側つまり南西に向う凸型斜面上に、左側(南側)を露岩によつて、その右側(北側)をハイマツ・ダケカンバ群落によつて限られている、中八一五メートル尾根からその下端までの距離約六五メートルの舌状にのびた部分である(第一図)。

ここに発達する構造土はすべて、*graded stripe*である。ストライプの中を、相隣なる粗粒部分の中心間の距離をもつて示すと、最も狭いものは九センチメートル、最も広いもの二八センチメートルで、一一一五センチメートルのものをもっとも多い。ストライプは稜線から約一〇メートルへだたったあたりから始まり、長いものは約五〇メートル、普通約三〇メートル下方へ延びている。ストライプの上端は、傾斜五度前後の稜線付近の緩斜面が、傾斜を八度以上に増して、はつきり凸型斜面に移行する地点に相当する。

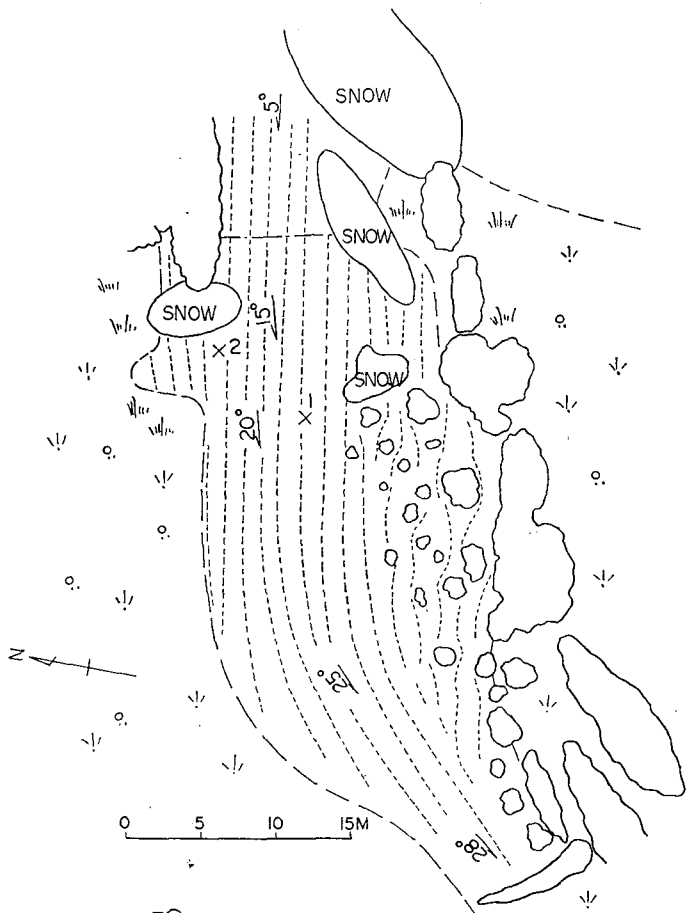
斜面の傾斜は、中央部付近で二〇度に達し、裸地の下端では三〇度弱である。ストライプの形は、傾斜が二〇度を越えるときずれはじめ、また裸地の両側に近いところで識別しにくくなる。なお、裸地の中央部でも、傾斜が二五度に達するあたりから、ストライプの形は不明瞭となり、傾斜が三〇度に達しないうちに露岩に接して消滅してしまふ。ちなみにこの地域で最も急斜面上にあるストライプは、A地点南東約一〇〇メートルの西向凸斜面上のもので、斜面の傾斜は三三度である。







注一 小嶋尚(一九六二)日本の氷河周辺地形の研究、駿台史学、第十一号、一七二—一九六頁。

注二 小嶋尚(一九六一)日本の構造土分布について、日本地理学会一九六一年度秋季大会発表要旨。

注三 その一部は一九五七年度の駿台史学会大会において発表した。

小嶋尚(一九五八)南アルプス薬師ガ岳の構造土、駿台史学、第八号、一七〇頁。



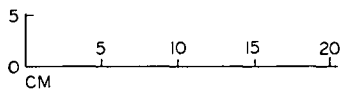
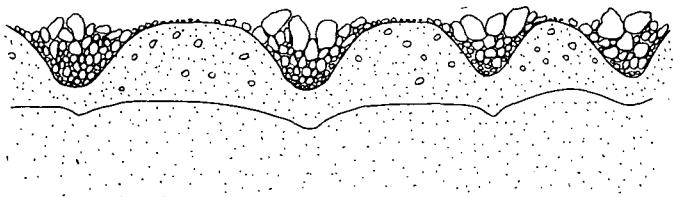
-  露岩
-  1957年5月初旬の残雪
-  sorted stripes
-  傾斜
-  × 1, 2 穴を掘ったところ
-  ———— 1956年11月の sorted stripes の上限、ここから上はそれ以降に形成されたもの

第1図 薬師ガ岳A地点

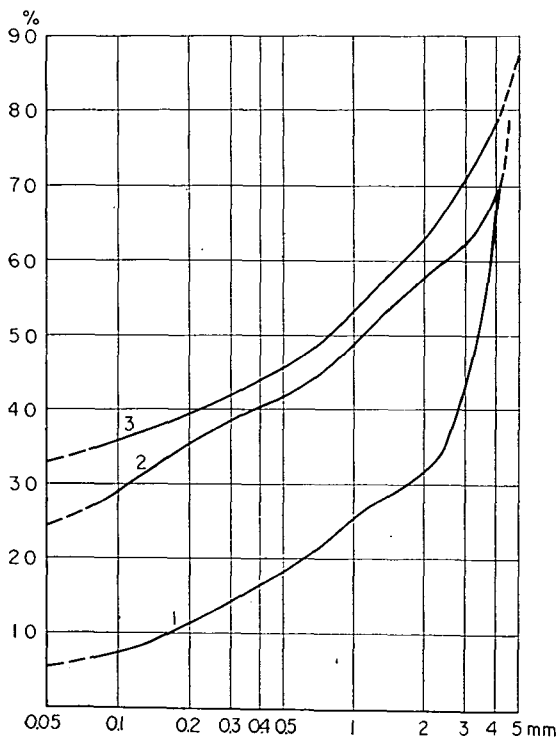
ストライプの構造は、平面的には粗粒部分と細粒部分が、最大傾斜方向に延びる平行な縞である。粗粒部分は、上方の露岩と下層の母岩からもたらされた花崗閃緑岩の角礫の集まりであって、大部分、径三センチメートル以下四ミリ以上、粗粒部分の表面における最大の礫は一五×七×五センチメートルであった。細粒部分は後に述べる細礫を含んだ土が直接地表に出ているか、粗砂あるいは径一・五センチメートル以下の礫が表面を薄くおおっているとはいえ、その〇・五—一・五センチメートル下には細粒土層がある部分である。

ストライプに直角な断面の構造は次のようである。細粒部分が低いうね状の高まりを作り、そのうねとうねの間のV字形の溝状凹地に、砂礫がたまっている(第二図)。この砂礫のたまった部分が平面的には粗粒部分の縞となって目にうつる。夏期の状態では、細粒部分のうね状の高まりは、頂部がほぼ平らで、粗粒部分へ移行するあたりから、両側面の傾斜が大きくなり、その下端では傾斜が四〇度に近い。その最大のものは七〇度であった。ストライプの中の狭いもの、あるいはうねとうねの間の溝の深いものは、うねの頂部が平らにならず、丸味を帯びる。夏期には、粗粒部分の表面は、細粒部分の中央部よりも、約一センチメートル高い。細粒部分は粗砂および細礫を含んだ暗茶褐色の土で(第三図)、その厚さは、うねの中央部で約一〇センチメートル、礫が集積している溝の部分で三—五センチメートルである。その下部は、明かるい茶褐色の、径四ミリメートル以上の粗粒物質をほとんど含まない土となっている(第三図)。この明かるい茶褐色土層とその上位の暗茶褐色の土層との境界は、ストライプの巾に対応する波状起伏を示し(第二図)、一方、明かるい茶褐色土層の下部は基盤に達している。基盤の深さは、最も浅いところで七センチメートル、深いところでは一メートルを少し越える。一般に斜面の上部では浅く、ほぼ三〇センチメートル内外であり、斜面の下部では深く、一メートル近くなる。また、裸地の最下部付近では、この明かるい茶褐色の土層の間に、厚さ一五センチメートル前後の粗砂あるいは、径一〇センチメートル以下の礫層を二、三枚はさんでいる。

粗粒部分は、前記のごとく、細粒部分間の溝の中に礫がたまつたような状態を示している。礫は表面に近いほど、また、粗粒部分の中心線に近いほど大きく、それから離れるにしたがって小さくなり、かつ、粗粒部分の最下部ではほとんど粗砂のみとなる。細長い礫は、長軸をほぼ最大傾斜方向に向ける。扁平な礫は三〇度ないし四五度の角度で立つ傾向がある。その場合の礫の扁平な面の走行は、ストライプの延びる方向、すなわち最大傾斜方向にはば一致す



第2図 A地点の sertes stripes の断面



- 1 粗粗部分
- 2 細粒部分の表面
- 3 細粒部分の下層

第3図 薬師ガ岳A地点の構造土の粒度組成

る。

A 地点上部で、一九五六年十一月、一九五七年五月、十一月および十二月に、構造土の凍結と融解のメカニズムを観察し、あわせて気温と地温の測定を行ない、その結果の一部はすでに発表した。^(注四)ただし、サーミスターがなく、棒状水銀寒暖計を用いたため、地温測定値の信頼度が低く、資料としては使用できなかった。ここでは参考のため記載したが、ある程度の誤差を含んでいると考えられたい。

一九五六年十一月初旬および翌年五月初旬の観察では、凍結・融解のメカニズムは次のようである。

(1) 地上一メートルの気温（以下、単に気温と記す）が三・五度以上、地下五センチメートルの地温（以下、単に地温と記す）が〇度以上になると構造土は融解を始める。夏および春、秋の日中、地表が凍結していないときの構造土の状態は第二図のごとくである。

(2) 山上では、気温は午後になると下がり始める。地温の低下は気温より約二時間おくれ、午後三時頃から始まる。気温が零下一度、地温が〇・五度になると、地表面の凍結が始まる。まず細粒部分の表面がコンクリート状に凍結し、厚さ一・五―二センチメートルのコンクリート状凍結層を形成する。日没後約一時間で、夜間の気温はほぼ一定になる。この頃地温はまだ下降を続け、コンクリート状凍結層の下部に霜柱層が伸び始める。最初にコンクリート状凍結を生ずるのは、日没と同時に急激に気温が低下するため、大気に接している地表面では、毛管水が分離析出されることなく、そのまま凍結してしまふからである。^(注五)このような地面の表層部をのぞけば、寒気の地中への侵入は、気温の低下する割合よりははるかにゆっくり行われる。その結果、表面のコンクリート状凍結層の下部に、土中の毛管水が氷として分離析出され、霜柱層を成長させる。この場合、霜柱層の下部の土は〇度以上に保たれていることが必要である。もし〇度以下になれば、コンクリート状凍結あるいは霜降り状凍結を生じて、霜柱層の成長は止まる。^(注六)

注四 小崎 尚 前掲注一、注三。

注五 中谷宇吉郎・孫野長治（二九四四）凍上の機構についてI、低温科学、第一輯、一一一―一〇頁。

注六 自由学園自然科学グループ（一九三七）霜柱の研究、自由学園学術叢書、第一、一一四―一三頁。

中谷宇吉郎・孫野長治、前掲 注五。

ここでの観察では、霜柱層の厚さは二―四センチメートルに達した。霜柱は冷却方向すなわち寒気の進入方向に向って成長するから、地表面は垂直にはなく斜面の傾斜に対して直角の方向に、霜柱層の厚さだけ持ち上げられたことになる。霜柱層は、細粒部分の中心線の下部でやや厚い。その結果、凍結前にやや高かった粗粒部分と細粒部分の表面はほとんど同じ高さになる。粗粒部分は毛管水を保持しえないから、礫や粗砂の間げきに保持された水が凍るだけだけで、コンクリート状凍結を生ずることもなく、霜柱層もできない。したがって、目に見えるような体積の変化は起らない。そういう状態であるから、ストライプの粗粒部分のみを、手で簡単にすくい取ることができる。粗粒部分を取り去ると、細粒部分のうねが表われる。うねは霜柱層によって持ち上げられているので、側面から力を加えると、これも簡単に取り除くことができる。粒度組成をはかるためのサンプルはこのようにして得たものである。

(3) 日の出とともに、気温は急速に上昇する。それにもなつて、まず粗粒部分に付着していた水が融解し、少しおかれて細粒部分の表面が融けはじめ。砂礫の熱伝導率は土壤のその一〇倍以上であり、また砂礫の間に空間が多く、空気の対流が自由に行われる。その結果、粗粒部分の方が早くあたためられ、融解する。細粒部分は粗粒部分に接した部分から融解が進む。融解は下部からも行われ、表面のコンクリート状凍結が完全に融解した頃には、その下部の霜柱層も融解が進み、ぎっしりつまっていた霜柱はまばらになる。霜柱も粗粒部分の下部が、まず融ける。霜柱層が融けて、下からのささえを失なうと、粗粒部分が沈下する。細粒部分の中心線下部の霜柱層は、最後まで融解せずに残る。このようにして、正午頃には粗粒部分とその下部が完全に融解して、凍結前の位置まで沈下する。これに対して、細粒部分の中心部は、下部の霜柱層がまだまばらに残っているので、両側の粗粒部分から一種ほど盛り上がっている。つまり、構造土が凍結していない時の、粗粒部分と細粒部分の高さの關係が逆になって、細粒部分の上に乗っている礫は粗粒部分中に集積しやすくなる。午後一時頃には、細粒部分の高まりも沈下しはじめ、二時過ぎには、融解が完了して、凍結前の状態にもどる。

ストライプがほぼ東西方向に走っている場合は、粗粒部分の融解が終つて沈下したあと、霜柱層によって持ち上げられ、カマボコ状に盛り上がった細粒部分の南側だけが日射を受けるため、カマボコ状盛り上がりの頂から南半分が

まず融けて沈下する。南半分が沈下すると、北半分の霜柱層が日光にさらされて、三〇分ほど後に融解が終り沈下する。この場合の方が融解が早く進み、正午少し過ぎには凍結前の状態にもどる。しかし、カマボコ状の高まりの両側が時間的にずれて別個に沈下するので、細粒部分のうねの中央には、割れ目の部分が重なって、モグラが通った後のようなあとが残る。

十二月上旬には、粗粒部分と細粒部分のごく表面が融解・凍結をくり返すのみで、形成された霜柱層はもはや融解しないため、上記のような活発な動きは認められなかった。なお、一九五八年十二月十六日正午頃、ピッケルとシャベルで一時間ほどかかって、凍結した構造土を掘ってみたが、三〇センチメートルまで掘り下げてもなお凍結限界線にまで達しなかった。その時の状態は、細粒部分の表面が約一センチメートル融解し、その下に厚さ約二センチメートルのコンクリート状凍結層、さらに約三センチメートルの霜柱層、その下部は霜降り状凍結層になっていた。四月上旬、十月上旬には、右に記述したほど活発ではないが動きは認められる。六月下旬にはもはや凍結は生じない。したがって、構造土の動きが激げしいのは、四月中旬から六月上旬までと、十月中旬から十一月下旬までの期間である。一方、六月下旬から九月下旬までは凍結せず、十二月上旬から三月下旬までは、ほとんど凍結したままである。その間、構造土には著るしい変化は生じない。

A地点の中央付近に、一九五七年十一月、一×〇・五メートル、深さ三〇—五〇センチの穴を掘り、そのまま放置しておいた(第一図の×1)。一九六四年六月末現在、穴は斜面下方末端の部分が、まだ一〇センチメートルほど窪んでいるほか、大部分埋められていた。穴を埋めた物質の大半は、径三センチメートル以下の礫で細粒物質は、底部に少し集積していたにすぎない。しかも、細粒物質は穴の壁面下部に、礫を混じえて崖錐状に堆積しており、その上をほとんど細粒物質を含まない前記の礫がおおっている。堆積状態からみて、細粒物質は、上方の斜面から匍行によってたらされたものではなく、穴の壁から崩落したものと考えられる。これに対して粗粒物質は、上方の斜面から上記のような凍結と融解の反復による物質の移動、すなわち *congelintation* によってもたらされたものと考えられる。

日日の凍結と融解のくり返しによって、土は斜面に対して直角の方向に上下する。これによる斜面下方への土の移

動は、理論的には考えられるとはいへ、短時間では、感知しうるような動きはないといつてよい。しかし礫は、一九五七年十月二日に偶然見かけた例では、粗粒部分が融解して沈下してやや後に、細粒部分の盛り上りの上から粗粒部分へ約二センチメートルほど転落した。勿論すべての礫がそれほど早く動くわけではなく、これはむしろ極端な例である。要するに、土は *congeliturbation* によって、上下には活発に動くが、斜面下方への移動は緩慢である、これに對して、地表面にある礫は、礫間の空隙に保持された水分の凍結と融解によつては、ほとんど移動せず、周囲の土の動きによつて、ストライプの粗粒部分を形成しつつ、斜面下方に移動する。その移動は土よりもはるかに早い。穴を埋めた物質がほとんど礫ばかりであるのは、このような原因による。

なお、この穴を埋め立てた物質の表面には、構造土は形成されていない。その表面直下に霜柱層を成長させるような、細粒物質がないのであるから、前記のような凍上・沈下が起こらず、したがって構造土はできない。

一九五六年五月、この穴の左上方、斜面の北端近くに突出した露岩から約五メートル下方で(第一図の×2)、一米メートル、横約五〇センチメートルの面積を、深さ二〇センチメートルまで掘り、ストライプの粗粒部分と細粒部分、およびその下層の土を混ぜ合わせ、表面を周囲の斜面と同じ傾斜にならして、放置した。そして、上方の斜面から礫が供給されるのを防ぐため、その上縁にそつて中、深さとも約二〇センチメートルの溝を掘つておいた。一九五八年十二月の観察では、溝は上方の斜面からもたらされる物質を完全に阻止する役目を果していた。そして前記の場所には、地表下約五センチメートルまでの粗粒物質が、土中の霜柱層の押し上げによつて、大部分地表に押し出され、やや不完全ながら、ストライプを形作っていた。

また、一九五六年十一月、ストライプの上限としてマークしておいた地点から、斜面の上方に向う中約五メートル、長さ八・五メートルの範囲内において、ストライプのほとんどすべての粗粒部分の上に、巾一センチメートル弱、深さ約三センチのクラックが、約三〇本延びているのを観察した。それが翌年五月には、ストライプの粗粒部分として、見事に形を整えているのが認められた。

なお、夏期には、砂礫が斜面上をほとんど全面的におおつていて、ストライプがはっきりしないような所でも、春秋の *congeliturbation* が著るしい時期には、細粒部分に當る部分のうね状の盛り上りによつて、ストライプを容易に

認めうる場合が多い。

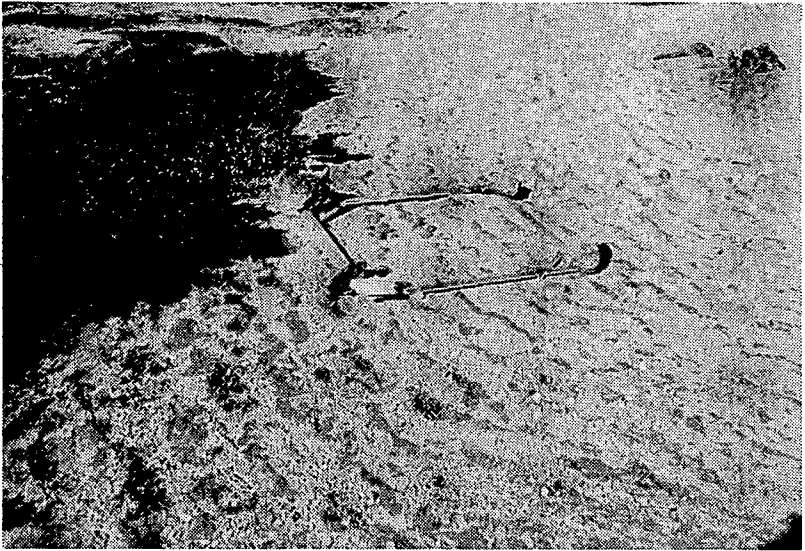
B 地点における実験

B 地点は薬師ガ岳の頂上北東方約一五〇メートル、海拔約二、七五〇メートルの地点であつて、現在は化石化した、巾五〇メートル深さ一〇メートルほどの浅い雪蝕凹地によつて、主稜線からへだてられた二重山稜上にある。実験地は北ないし北東に、二度から五度傾斜した凸斜面の最上部で、事実上二重山稜の稜線上といつてよい。構造土は sorted stripe と sorted net である。

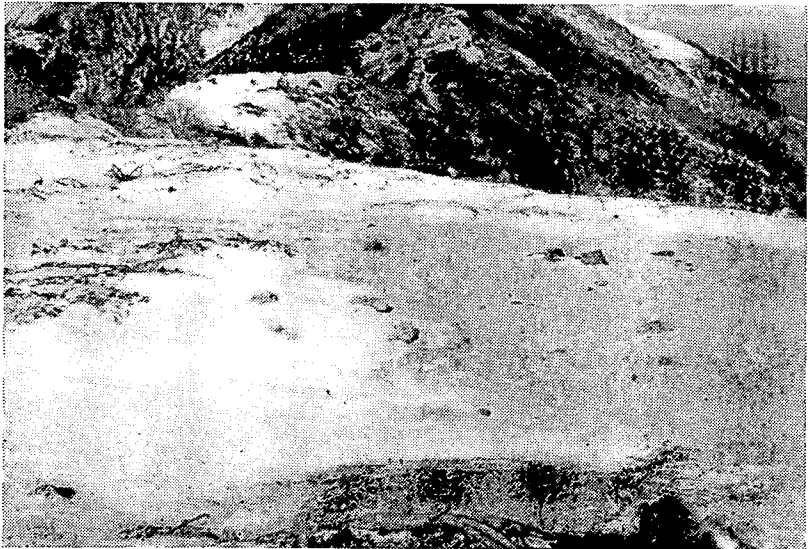
一九五七年十一月二日、ここに五センチメートルの方眼状に針金を張つた、一辺八〇センチメートルの正方形の木枠を設置し、礫の動きを測定することにした(第四図)。密生したハイマツが、前記の雪窟をすっかりおおい、それが二重山稜の稜線にまで達しているので、B 地点の西端部は西からの風から保護されている。木枠はこの部分に四隅に礫を乗せて固定した。礫の移動をチェックしやすきよう、sorted net に幾らか移行しかかった sorted stripe の細粒部分上に持参した黒耀石の円礫を並らべた。そのほかにも、粗粒部分中の、比較的大きくかつ特徴ある礫をいくつか選んでマークした。

同年十二月十六日、この木枠はすっかり雪におおわれていた。積雪深は、木枠の西端で一三センチメートル、東端で五センチメートル、そこから約三〇センチメートルのところでは雪はなくなり、地面は露出していた。したがつて、期待どおりハイマツの防風効果はあつたとみなされる(第五図)。礫を動かさないよう、木枠から上の部分の積雪を手で取り除き、その後微温湯をかけて雪を融かし、礫の位置を記録した。その結果、大部分の礫が、十一月の位置からわずかではあるが東へ移動したことが確かめられた(第六図)。(注七)

注七 一九五七年十一月二日から十二月十六日までの間、東京で降雨をみたのは、十一月二六日、十二月四・五・八・九日であつた。そのうち最も雨量が多かつたのは、十二月四・五両日であつた。したがつて、B 地点の積雪は十二月四日にもたらされたものと推定される。また、この積雪後には礫の動きはなかつたと考えられる。したがつて、実際には礫は十一月二日から十二月四日までの十二日間に、これだけ動いたと推測される。



第4図 薬師ガ岳B地点 1957年11月22日の状態
左(西)側のハイマツによって、木枠の部分は西風から保護され、風によって礫が移動するのを防いでいる。



第5図 B地点 1957年12月16日の状態
木枠はすっかり積雪におおわれている。積雪があるのは風が弱い証拠で、西側のハイマツが防風林の役割を果たしたことを物語っている。

翌一九五八年五月四日、雪融けを待って、再び礫の位置を記録した(第七図)。その結果は第六図に示すとおりで、前年十二月の位置から、北あるいは北東に動いたものが多い。十一月二二日の礫の位置から、翌年五月四日のそれを直線を結んだ距離でいえば、礫は最大約四センチメートル、最少約一センチメートル位置を変えている。この間に十二月二二日の位置を考慮すれば、礫の移動量は、最大約六センチメートル、最少約三センチメートルである。^(注八)

構造土の粗粒部分の位置も、全体として東ないし北東に一—三センチメートル移動している。もしこれが、斜面全体のマス・ムーヴメントを示すものであるとすれば木枠そのものも同じ方向へ移動したはずであり、記録された礫の移動はこれによってある程度相殺された可能性がある。

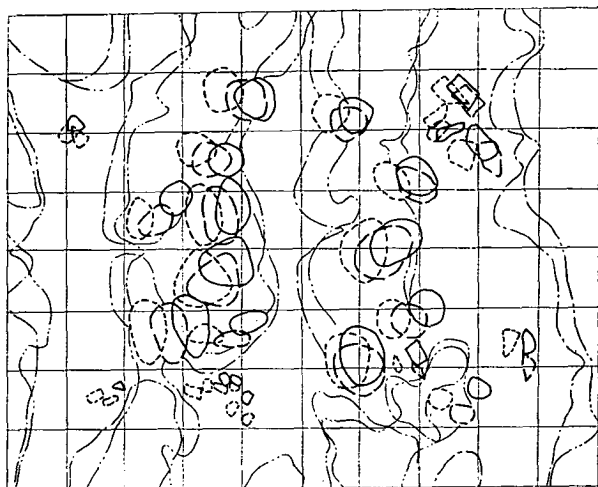
木枠の近くに散在していた大形の礫のうち、消え残りの雪の状態から粗粒部分上に位置すると判断された、二五×二〇×一〇センチメートルの礫を起こしてみると、果してそれが構造上の粗粒部分の上に乗っていたことが明らかとなった(第八・九図)。その礫は斜面の下方に向う部分がより多く地表にめり込んだ状態で斜面上に存在し、かつその前面の地表がわずかに盛り上がっていた。このことは、構造土が形成された後に、この礫が上部斜面からもたらされ、その粗粒部分が、これより細粒の付近の物質より速かに下方へ移動していったことを物語っている。この礫の移動は、礫の下に霜柱が立って礫が斜面に対して直角に持ち上げられ、霜柱の融解とともに垂直に沈下する結果、わずかずつ斜面を匍行するような形で行われたものと考えられる。Sharpe の分類では、*slow flowage* のような *frost heaving* ^(注一〇) による *rock slide* である。わが国では、羽田野誠一・馬部正久が霧ガ峯で巨礫の移動を観察しており、^(注一一) それとメカ

注八 この礫は五月四日の観察時には針金にひっかかっていた。これがなければもう少し動いたと考えられる。また、礫は回転して移動したものであるので、厳密な意味での位置の変動量はこの値よりやや大きい。しかしこの場合それは重要な問題ではないので、考慮する必要はない。

注九 Smith, J. (1960) Cryoturbation Data from South Georgia. *Biol. Perygl.*, Nr.8, pp.73—79. に *よれば* South Georgia C—1 一度の斜面では土中に形成される水層とその融解によって地表は年平均二五センチメートル斜面下方へ移動するという。

注一〇 Sharpe, C. F. S. (1960) *Landslides and Related Phenomena*. 137p. Pageant Books, New Jersey. 初版 *は* Columbia Univ. Press (1938).

- 1957年11月22日の礫の位置
 - 1957年12月16日の礫の位置
 - 1958年5月4日の礫の位置
 - 1957年11月22日の粗粒部分
 - 1958年5月4日の粗粒部分
- メッシュは15 CM



第6図 薬師が岳B地点における礫の移動



第7図 一冬を経た、礫の移動を測定するための木枠
 木枠は一辺80cmの正方形で、5cmごとに針金が張ってある。黒っぽい円礫は黒曜石、白っぽい角礫は花崗内緑岩、右側の列の最も手前の円礫と手前から三番目の円礫は針金にひっかかっていた。1958年5月4日



第8図 B地点の構造土上の礫

構造土は細粒部分が盛り上がっているので、雪はそれより少し低い粗粒部分に残っている。この礫は霜柱による持ち上げと、その融解によって、斜面上方から徐々に匍行して来た。礫の大きさは $25 \times 20 \times 10$ cm。



第9図 同上の礫を取り除いたところ

礫の下は構造土の粗粒部分となっている（細粒部分にもまたがっている）。さらに斜面の下方に当たる部分が押されてやや持ち上がっている。

ニズムは同じらしい。

このことから、木杵が全く動かなかったとは考えにくく、斜面上層部の動きによってある程度動いたことが予想される。したがって、上に述べた礫の動きは、木杵との相対的な位置の変動量である。なお、もし木杵が西南西に、すなわち斜面の上方へ、二―三センチメートル動いた場合には、構造土も円礫もほとんど動かなかったという結果になる。つまり、動いたのは木杵自体であって、礫ではない、という場合である。しかし、地表に密着し、しかも四隅に重しをした木杵が、わずが二度強の傾斜とはいえ、斜面を上方に向って移動したとはどうしても考えられない。したがって、礫が動いたことは確実であって、測定された移動量も実際の値に非常に近いと考えられる。このような礫の移動量は、Anders Rapp^(注二)、小林国夫^(注三)らが測っているが、報告がまだ少なすぎて、^(注四)ただちに気候、地形、土壌などの条件の異なる場所のものと比較して云々することはできない。

その後、一九五八年十一月までの間に、木杵はこわされてしまい、以後の測定は不可能になった。A地点でも同様の実験を試みたが、十一月に設置した木杵が十二月には登山者に破壊されてしまったので、完全な失敗に終わった。

一九五八年五月、congeliturbation と congelifraction がどの程度行われるかをみるために、木杵の周囲で若干の実験を試みた、材料には、他の礫との区別が容易であること、congelifraction を受けやすいことの、二つの条件を満足させるものとして、厚さ一・五センチメートルの黒色尾根瓦を用いた。これを、最大一七×一一センチメートル以下に砕いて、次のような実験を行なった。

(1) 木杵の南隣りに、一・四×一・四メートルの区劃をとり、まず、構造土を形作っている上層部を、粗粒部分、

注一 羽田野誠一・馬部正久(一九六三)霧ヶ峯の周氷河地形について、地理学評論、第三六卷、第二号、七四四頁(要旨)。

注二 Anders Rapp(1960) Recent Development of Mountain Slopes in Karkevasge and Surroundings, North Scandinavia, Geogr. Ann. Bd. 47, Nr. 2-3, pp. 65-200.

注三 Kobayashi, K. (1956) Periglacial Morphology in Japan, Biol. Perygl., Nr. 4, pp. 15-36.

注四 礫が動かなければ構造土が形成されるはずがないので、構造土に関する論文には礫の動きを記述したものが非常に多い。しかし、それがどのようにして、一定期間内にどの位動くかという記載は意外に少ない。

細粒部分とも取り除いた。つぎにその下部の細粒土層を、地表下一〇センチメートルまで掘り下げて、砕いた瓦を平らに並らべた。その上にまず細粒土層をかぶせ、さらに構造土の粗粒部分と細粒部分をまぜ合わせたものをかぶせて、表面を軽くならし、周囲に目じるしの礫を置いた(第一〇図)。

(2) この区劃の西隣りでは、構造土の粗粒部分と細粒部分を取り除いて、下部の細粒土層の表面を平らに削り、一五×一〇センチメートル以下の瓦を五つ並らべた。そして瓦の表面だけが地表に出るように、構造土の粗粒部分と細粒部分をまぜ合わせたもので、瓦の周囲を埋めた(第一二図)。

(3) 木枠から北に五〇センチメートル離れて、四五×四五センチメートルの区劃をとり、地表二七センチメートルまで掘り下げて、径三―五センチメートルに砕いた瓦を、たまたま達した基盤岩上にばらまき、その上に掘り出した礫と土の混合物をかぶせた。

(4) は(3)の東隣りで、三五×一〇センチメートルの区劃を、地表下二〇センチメートルまで掘り返えし、礫と土を混ぜ合わせて、軽くならしておいた。

(5) 木枠の東に接した部分で、〇・五×メートルの区劃を、地表下一〇センチメートルまで乱した。

一九五八年十一月二五日の観察では、実験地(1)区劃の北端部近くに、二×一・五×〇・五センチメートルの瓦が一個だけ地表に出ている。(2)区劃の、下部だけを地中に埋めた瓦は、五つとも表面が周囲の地表より約一センチメートル高くなっていた。瓦は一樣に持ち上がっているのではなく、多少傾いていた。これは、瓦が霜柱によって持ち上げられ、それが融けて元の位置にもどらないうちに、周囲の礫が瓦の下に転り込んで、瓦が浮き上がってしまったことを示している。五つの瓦は五月に埋めた時とは、それぞれの位置関係を幾分変えていたが、記録を取っておかなかったのも、正確なことは不明である。ただし割れたものはなかった。そのほか、瓦を埋めたり、土を掘り返えして構造土を破壊してしまった所は、すべて、不完全ながらも構造土ができたかかっていた。以上のほか、全体としては著しい変化は認められなかった。

一九六四年六月三十日の観察結果は次のようである。

(1)の区劃。地表面には、不完全な sorted net ができていた。垂直方向の淘汰は良好で、瓦を埋める時掘り返えし

た、地表下一〇センチメートルまでの間では、径三センチメートル以下の礫がほとんど完全に *congeliturbation* によって地表に押し出されていた。しかし、水平方向の陶汰がまだ悪く、そのためネットの形が整っていない(第一一図)。一九五八年十一月の観察以来、新たに地表に表われた瓦はなかった。少なくとも目に止まる大きさのものはない。発掘したところ、五×五センチメートル以上の瓦一七個はほとんどその位置を変えていないことがわかった。それよりも小さな瓦は、注意深さがしたにもかかわらず発見できなかった。細かく割れてしまったのか、発掘の際誤って土と共に掘り返えしてしまっただのか、いずれかであろう。九×五センチメートル以上の瓦は、下部の土との間に、五ミリメートルほどのすき間ができていて、ここに昆虫が巣を作っている場合が多い。このすき間は *congeliturbation* による瓦の上方への移動量を示すと考えられる。割れた瓦が四個あった。これらはいずれも、瓦に衝撃を加えた場合の割れ方とは異なり、瓦の表面と平行に割られるような割れ方をしていた。土中の水を吸った瓦が、上方から冷却されたとき、さまざまな条件が重なって、瓦の内部に霜柱層が成長し、*exfoliation* と同じような形で割れたものと考えられる。実験地の上を人が歩いたため、瓦が割れたとは考えがたい。もしそのような原因で割れたのなら、瓦は薄片状には剝離せず、普通の割れ方を示したはずである。

以上、この区劃の実験で明らかになった事実を要約すれば、次のとおりである。(1) *congeliturbation* は、少なくとも地表下一〇センチメートルまでは行われる。(2) 地表下一〇センチメートルでは、五×五×一五センチメートル以上の物質はあまり動かないらしい。(3) しかし、地表下一〇センチメートルでも *congeliturbation* はある程度行われる。(4) 水平方向の礫の陶汰は、垂直方向のそれよりも遅れる。

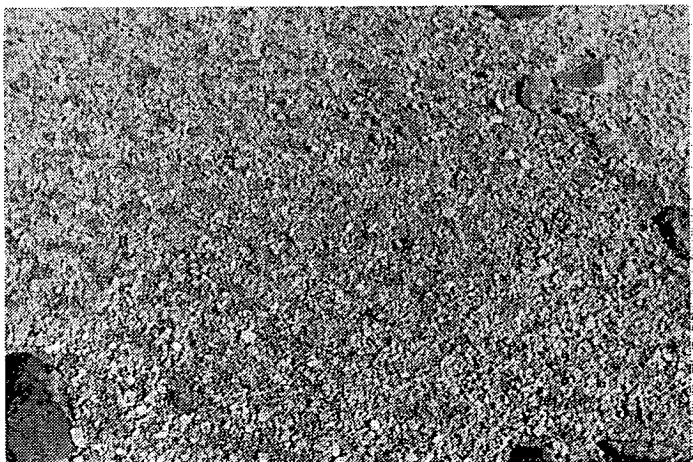
(2)の区劃。直径約三〇センチメートル以内に置いた五個の瓦(第一二図)は、全部割れて、六〇個以上の細片となつて集まったものと、下部の土の中から押し上げられてきたものが、上にふたをするような形で瓦が乗っている、それより上に移動することができず、ここに集積したものと二つの原因によるものと考えられる。そのうち、後者の場合によるものの方がはるかに多いであろう。Vilborgも同じような観察をしている。

Vilborg, L. (1955) *The Uplift of Stones by Frost*, Geogr. Ann., Bd. 37, Nr. 3—4, pp. 164—169.



第10図 B地点での実験

木柱の手前のやや暗い正方形の部分が、瓦を埋めた実験区画(1)，その左側，地表に瓦が見えるところが実験区画(2)，白い棒状のものは1mの折尺，その先の長方形のものはクリノメーター。木柱の先方が実験区画(3)，(4)，(5)。1958年5月4日



第11図 B地点，実験区画(1)の1964年6月30日の状態
sorted net ができかかっている。黒っぽく見える部分が細粒部分。表面に瓦の破片は見当たらない。

り、一辺約八〇センチメートルの正方形の範囲内に散らばっていた(第一二図)。したがって、六年間の瓦の破片の移動量は最大約六〇センチメートルと考えられる。しかもこれは最も大きな破片であった。この破片の大きさは九×六×〇・八センチメートル。大部分は、大きさ四×二×〇・五センチメートル以下である。割れ方は、薄片化するような割れ方が主で、普通の割れ方は、いったん薄片となった後に行われたものと考えられる。これらの瓦の破片は、大部分が、ほぼ形の整った sorted net の粗粒部分に集まっていた。

(1)の結果と比較して、次のようなことがいえる。(イ)地表下約三センチメートルしか乱さなかった(2)区劃の方が、地表下一〇センチメートルまで掘り返した(1)区劃よりも、構造土の形成がはやい。(ロ)このことと、破片の移動量からみて、地表面と地表下一〇センチメートルでは congelimbation の強さに相当の差がある。(ハ)瓦の割れ方からみて、地表面と地表下一〇センチメートルでは、数値で表わすことはできないとはいえ、congeliraction の強さに非常に大きな差がある。

(3)、(4)、(5)の各区劃。木杵がこわされたうえ、持ち去られてしまったので、これらの区劃は正確な位置がわからなくなってしまう。しかし、sorted stripe と sorted net が B 地点全体に、部分によってよって発達程度にある程度の違いがあるとはいえ、再び形成されていた。実験区劃(3)、(4)、(5)は当然その内に含まれるから、破壊された構造土が形をとりもどしつつあることは確かである。ただし、垂直方向の再淘汰がどの程度行われたかは、場所不明のため確かめることができなかった。

鳳凰山の構造土の成因について

構造土の成因については、非常に多くの仮説が出されている。Washburn は多くの文献を整理して大きく一に分類している。^(注一六)これをさらに小さく分類すれば、大変な数になり、考えられることはすべて網羅されている。構造の成因は一つではなく、種類や大きさが異なるのは、成因がそれぞれ違うからであると考えられている。Corte は氷河の表面を平らに削ずって、その上に砂礫をばらまき、氷の不等融解によって構造土ができることを、実験によって証明

注一六 Washburn, A. L. (1956) Classification of Patterned Ground and Review of Suggested Origins, Geol. Soc. Am., Bull.

vol.67, pp.823—866.



第12図 B地点(2)区画

構造土ができている地表面を約3cm すくい取って瓦を並らべ、瓦の表面だけが地表にでるよう、礫まじりの土で周囲を埋めた。折尺の写真に写っている部分長さは、上縁で46cm。1958年5月4日



第13図 同地点の1964年6月30日の状態

第12図の5箇の瓦は congelifraction によって60箇以上の破片となり、80cm 四方の内に散ばらった。灰色に見れるのは瓦の剝離面、黒く見えるのは瓦の本来の表面。瓦の最初の位置は、右上の破片が最も多く集まっているあたり。左手前の折尺の先端が乗っている破片が最も大きく、 $9 \times 6 \times 0.5$ cm。

(注一七) 野外実験で証明された成因論は、おそらくこれが唯一のものであろう。他はすべて単なる仮説にすぎない。

筆者は、A地点における地面の凍結と融解についての観察結果から、構造土の成因論を論じた。(注一八) その要旨は、地面の凍結によって地表面が収縮して割れ目ができそこに礫が落ち込んで粗粒部分のきっかけができる。その後は霜柱層による凍上と、粗粒部分の下部の霜柱層が細粒部分よりもはやく融解して、沈下し、そこに次第に礫が集積して、構造土は形を整えて行くとするものである。最近 Caine が Lake District で、筆者とまったく同じ観察をし、その当然の結果として、筆者と同様の構造土成因論を述べている。(注一九) 構造土が発達している場所のさまざまな自然条件が違えば、構造土の成因もそれぞれ違っていかも知れない。しかし Markov の写真に示されている、南極の南緯七〇度のヌナタク上の構造土は、型も大きさも鳳凰山のものに非常によく似ていて、成因が全然違うとは考えられない。構造土についてのこれまでの観察は、少なくともわが国に関するかぎり夏に限られていた。つまり構造土が動いていない時しかみていないわけであって、この状態で成因を考えても、仮説の段階から一步もふみ出すことができない。ここに述べた一九五六年以来の観察および実験の結果は、すべて以前に論じた筆者の構造土成因論を裏すけるものばかりであるし、Caine の観察でもそれが正しかったことが証明された。したがって、ここでこれ以上前説を補なう必要はないと考える。

なお、永くわが国で信ぜられていた、藤原咲平の対流説は、(注二〇) 高橋基生によって理論的にも、実験的にも構造土を作りえないことが証明されている。(注二一) 前記 Washburn もはなはだ疑わしいとしてゐる。葉師が岳における実験でも、

注一七 Corre, A. E. (1960) Experimental formation of Sorted Patterns in Gravel Overlying a Melting Ice Surface, *Biol. Pergl.*, Nr. 8, pp.65—72.

注一八 小嶋 尚 前掲注一。

注一九 Caine, T. N. (1963) The Origin of Sorted Stripes in the Lake District North England, *Geogr. Ann.*, Bd. 45, Nr. 2—3, pp.172—179.

注二〇 Markov, K. K. (1960) Zonalite des Phenomenes Periglaciaires en Antarctide Biol. *Pergl.*, Nr. 8 pp.43—48.

注二一 藤原咲平 (一九二八) 乗鞍岳亀ヶ池付近の亀甲形礫堆に就て、地理評、第四卷、第八号、八一五—八一九頁。

対流説を否定する証拠は数多くえられたが、それを証明する材料は何一つ発見されなかった。

注二一 高橋基生（一九四〇）北部東亜大陸を一括せる植物生態学的概観（その五）地理学、第八卷、第五号、七七三—七七七頁。

結論

(1) 鳳凰山の、観音ガ岳を経て砂払いに至る間の、ハイマツ・ダケカンバ帯上部に拡がる稜線西側直下の裸地には、小型の構造土が発達している。このうち二カ所で観察と簡単な実験を行なった。

(2) 十一月中旬A地点で行なった地面の凍結と融解の観察では、次のようなことがわかった。(イ)構造土は凍上によって、粗粒部分も細粒部分もほぼ一様に持ち上がる。(ロ)融解が始まると粗粒部分とそれに接する部分が先に融けて沈下し、細粒部分は下部の霜柱層によってささえられ、粗粒部分より約一センチメートル盛り上がったまま残る。この間に不安定な礫は粗粒部分に集積する。(ハ)粗粒部分が沈下して約一時間後に、細粒部分も融解が進んで沈下し始め、約一時間かかって沈下が終了する。

(3) このような、日々の凍結と融解が活発に行なわれるのは、四月中旬から六月中旬から六月上旬までと、十月中旬から十一月下旬までの間である。

(4) 径三センチメートル以下の礫の方が、土よりもはるかに速く斜面を下方に移動する。

(5) B地点での実験では、径約三センチメートルの以下の礫は、一冬で最大約六センチメートル移動した。

(6) 礫の垂直方向の淘汰、つまり地中の霜柱層の押し上げによる礫の地表への押し出しの方が、水平方向の淘汰より速かに行われる。

(7) Congelirurbation と congelifraction は、地表付近で最も著しく、地表下一〇センチメートル付近から急激に弱まる。

(8) 構造土は、地面の凍結にともなう地表の収縮による割れ目の形成と、凍結と融解の反復による、凍上と不等沈下のくり返し、およびそれによる礫と土の示差的運動によって形成される。