ネパール ヒマラヤの構造土¹⁾

岩田 修二²⁾ 藤井 理行³⁾ 樋口 敬二⁴⁾

Patterned ground of the Nepal Himalayas

Shuji IWATA²⁾, Yoshiyuki FUJII³⁾ and Keiji HIGUCHI⁴⁾

Abstract

The authors discuss about the distribution of the recent patterned ground in the Khumbu region and Hidden Valley of the Nepal Himalayas (Fig. 1) by their investigation carried out as a part of "Glaciological Expedition to Nepal, 1973 and 1974".

Being influenced by each climatic and geomorphic conditions, the distribution and development of patterned ground in these two regions show the different features.

The horizontal and vertical distribution of patterned ground in the Khumbu region are shown in Fig. 2 and Fig. 3 respectively.

Vegetated patterned ground develops in large area up to 5500 m because dense winter freezing acts over the vegetated ground fed by monsoon rain and high temperature in summer.

Earth hummocks appear just higher part of the forest line (4200 m) and occupy the alluvial plain around Periche and moraine slopes around Dzonglha Karka (Fig. 3).

Vegetated lobes are formed by solifluction on flanks of moraines and valley slopes around 5000 m typically, but turf banked terraces and ploughing blocks are also formed on vegetated slope above the forest line.

Frost cracking occurs in winter in various parts of the study area. On alpine mat vegetation of flat surface of moraines, frost cracks develop into non-sorted polygons, 0.8-1 m in diameter (Fig. 6).

Sorted patterned ground is rare in the Khumbu region and is found only at the bare ground in front of glacier terminus and at the bottom of pond which are dried up in autumn.

Neither vegetated nor sorted patterned ground is observed above the upper limit of continuous vegetation cover where mountain slopes are occupied by glaciers, steep rock walls, talus and block slopes.

The characteristic of patterned ground in the Khumbu region is found to be common to the south slope of the Eastern Nepal Himalayas.

Since most part of Hidden Valley is situated above the limit of vegetation cover,

1) ネパール ヒマラヤ氷河学術調査隊業績 No. 2

2) 東京都立大学大学院理学研究科, Graduate School, Tokyo Metropolitan University.

3) 国立極地研究所, National Institute of Polar Research.

4) 名古屋大学水圏科学研究所, Water Research Institute, Nagoya University.

sorted patterned ground distributes in large area, but vegetated patterned ground, such as earth hummocks and turf banked terraces, is found along the small atreams drained from glaciers (Fig. 10 and Fig. 14).

Sorted polygons (both large and small scale) occur on the flat surface of the valley's bottom and top of the crest, but sorted stripes (Fig. 12) and sorted lobes cover most of slopes. It was observed that the sorted stripes developed even in the steep slope over 30 gradient and the period of survey (Fig. 13).

Striated ground, reported by SCHUBERT (1973) in the Venezuela Andes, was found in many places in Hidden Valley, and its direction coincides with the wind direction in the morning and at night.

The climatic and topographic conditions in Hidden Valley are adequate to forming the sorted patterned ground in such large areas.

Though there is not so much difference in mean monthly air temperature between in the Khumbu region and in Hidden Valley, the freeze-thaw cycle is much more in Hidden Valley than in the Khumbu region (Table 1), because Hidden Valley, situated north of main axis of the Himalayas, has less cloudy days in the monsoon period.

The geomorphic feature in Hidden Valley which consists of gentle and non-vegetated slopes is also suitable for developing sorted patterned ground up to the snow line.

It seems that the characteristic of patterned ground in Hidden Valley mentioned above represents Tibetan slopes of the Himalayas.

The distribution of patterned ground on both Nepalese and Tibetan slopes of the Himalayas are found to be different from the ones of Japan Alps and European high Mountains.

I. はじめに

この論文は、ヒマラヤ山脈のクンプ (Khumbu) 地域とヒドン バレー (Hidden Valley) における各種構造土の分布をのべ、両地域での分布の特徴を、気候・地形環境を中心に考察したものである。

ヒマラヤ山脈は、その高さ、長さ、位置において、地球上でもつとも特色ある山脈である。それにもかかわらず、その自然のなりたちを解明しようという試みには、いまだに手つかずの部分が多い。われわれは、ここ数年間ネパール ヒマラヤで氷河とそれに関連する諸現象の調査をおこなってきた。

岩田は、1969年7月＝ゴザインクンド地域、1974年8月＝パンチボカリ周辺、1974年10月―75年1月＝クンプ地域、藤井は、1973年5月―8月、1975年1月―3月＝クンプ地域、1974年6月―9月＝ヒドン バレー地域で調査をおこなった (Fig. 1)。クンプ地域での滞在期間は2人を合計するとほぼ全季節 (1年) となる。ヒドン バレーでは、政治的な理由で夏期のかぎられた時期しか調査ができなかったが、クンプ地域との比較という意味で貴重なデータが得られた。

地面の凍結・融解作用のくりかえしによつて形成される地表面の微細な模様は、patterned ground とらばれ、高山や極地の地表を構成する非常に特徴的な現象である。patterned ground の訳語として、模様地面などが使われることもあるが、まだ定着しておらず、本論文では古くから用いられている構造土という語を用いる。

高山における構造土の研究は、ヨーロッパの山地や南北アメリカの山地などでは古くからおこなわれ、最近では、わが国においてもさかんである。しかし、ヒマラヤではこれまで、まとまった報告や研究がなかった。

Fig. 1 The Nepal Himalays and the study areas. 1: Hidden Valley
2: Gosainkund 3: Panch Pokhari 4: The Khumbu region

高山において構造土が形成される場所は、おおざっぱにいうと、雪線以下・森林限界以上の高度帯とみられている。しかし、構造土はこのゾーン内のすべての場所で形成される訳ではない。

風化物質をのさせない基盤岩、一年中水をたたえた池の底では、構造土が形成されないのは当然であるし、凍結・融解作用が動かしえない巨礫の集積地などでも形成されない。また、凍結・融解作用をうわまわるような、地表物質の移動がおこる場所でも形成されない。重力の作用で物質が移動している急斜面、ガリーの底など流水の営力が卓越しているところなどが、それにあたる。低木林や密度の高い草原などの密な植生地では、地面の凍結がおこつても地表物質の移動がおこらないから、構造土は形成されない。いうまでもないことであるが、土壌物質が凍結するためには水分が必要であるから、全く乾燥しきつた場所でも構造土は形成されない。

このように、高山における構造土の分布場所は気候・地形・地質・植生などのからみあいによつて、かなり限定されるはずであり、しかも複雑に入り組む。

本論文では、このような、構造土の分布を中心に議論をすすめる。土壌凍結深の分布やそれとかかわる地温などの気候要素についてのくわしい議論、凍結にともなつて移動する物質の速さ、構造土より大規模な周氷河現象については、別の機会にゆずる。

II. クンブ地域の構造土

1. クンブ地域の地形・地質・植生

東ネパールの大河スン コシ (Sun Kosi) の支流、ドゥド コシ (Dudh Kosi) の上流域は、クンブ地域とよばれている。クンブ地域はおおざっぱにいえば、ヒマラヤ山脈主軸の南側に位置する盆地状の地形をしている (Fig. 1)。北側はチョー オユー・エベレスト・ローツエの 8000m 峰でチベットとへだてられ、西側・東側はともに 7000m 前後の高い山稜で、南側も 6000m 峰でさえぎられ、ドウト コシがその間に深いゴルジュを刻んで流れている。

われわれの氷河・気象観測所は、クンブ地域の東半分を占めるイムジャ コーラ流域の 4417m のハジュン (Lhajung) とよぶ地点にある。調査はハジュン観測所周辺とクンブ氷河下流部および観測所南側から東へつづく谷にそつておこなつた。この調査範囲はクンブ地域全体をカバーしているわけではないが、以後、この調査範囲のことをクンブ地域とよぶことにする。

Fig. 2 Patterned Ground in the Khumbu region. 1: Lhajung glaciometeorological station (4417m) 2: Lake 3: Glacier 4: Glacier covered by debris 5: Peak, rock wall and debris-covered slope (talus, block slope and rock glacier) 6: Earth hummocks 7: Vegetated lobes 8: Sorted polygons and nets 9: Debris islands 10: Sorted terraces 11: Vegetated polygons 12: Forest line D: Dzonglha K: Kalar Pattar L: Lobuche P: Pokalde (5806m) Pe: Periche

ハジュン観測所の北側 13km ほどにチベット・ネパール国境があり、エベレストを涵養源とするクンプ氷河の末端は 4 km ほど北側にある。クンプ地域の調査地には、氷河をもつた岩峰がそびえ、典型的な高山地形がみられる。雪線は、大きくみればチベット側へ高くなり、細かくみれば南向き斜面で高い。急な岩壁の面積が広く、崖錐・岩石氷河・岩塊流・粗大な岩屑におおわれた岩塊斜面も広い。Fig. 2 では、これらを岩壁と岩屑地として一括した。

クンプ地域の地質は、花崗岩・片麻岩のゾーンに含まれるが (GANSSE, 1964 ; OHTA and AKIBA, ed.; 1973), 片岩や千枚岩もある。

ハジュン周辺では、生態学的な調査がおこなわれているので (HAFFNER, 1972), 植生についての概念を得るのは、たやすい。

森林はパンボチェ付近までみられ、北向き斜面には、カンバ・シャクナゲが、南向き斜面にはビャクシン (*Juniperus* 属) が生育する。森林限界は、北向き斜面では 4200m で、南向き斜面より 2~300m も高い。

森林限界以上、4800m 付近までの南向き斜面には、乾燥に強いビャクシンの低木がパッチ状に生育し、そのあいだは、ヨモギ類・ウスユキソウなどの草地になっている。4900m 付近までの北向き斜面には、シャクナゲの低木がかなり密生している。4600~4700m までの谷底の沖積地には、マメ科の低木や *Salix* 属の低木がはえ、スゲ類も多い。

ビャクシンやシャクナゲの生育限界 (4800~4900m) 以上では、短い草本だけが生育する。南向き斜面では、密生したマット状の草原になっており、なかでも特徴的なのは、肉塊植物 (*Androsace* 属) がかなりみられることである。北向き斜面では、スゲ・イネ類 (*Carex*・*Cobresia*・*Festuca*) などが生育する。これらの草原は、標高が高くなるにつれて、しだいにパッチ状の分布になるが、5300~5400m 付近では、まだかなり連続的である。それ以上の高度になると、地形が急しゅんになると同時に氷河・岩壁・岩屑地がふえ、植物の生育に適した場所がなくなってしまう。

2. クンプ地域の構造土の分布

クンプ地域の構造土の分布を Fig. 2 に示す。構造土は、地表面の微細な現象であるから、すぐそばまで接近しないと発見できないことが多いし、山岳地では見通しがきかないから、実際には存在するにもかかわらず、見落しているものがあるかもしれない。

次にそれぞれについて説明しよう。

1) earth hummocks

もつとも低所から存在しはじめる構造土で、ペリチェの南側では 4200m でみられる。大型・小型さまざまなものがあるが、平面形は長円形が多い。ハジュン観測所の近くでは、高さ 12~36cm, 長径 40~90cm, 短径 25~55cm という小型のものが形成されている地点と、高さ 25~65cm, 長径 90~460cm, 短径 45~300cm という大型のものが形成されている場所とがある。大型のものは、湧水による湿潤地に分布し、小型のものは、モレーン表面の凹地に分布している。

earth hummocks がもつとも広く分布するのは、ペリチェから上流の沖積地と、ゾンハ (Dzonglha) 周辺 (Fig. 3) である。ペリチェ周辺のような、ヤクの放牧地に近接する場所やヤクの通路にある earth

Fig. 3 Earth hummocks on the morain slope at Dzonglha (4850m), the Khumbu region.

Fig. 4 Cross-section of an earth hummock among cattle tracks, Lhajung, the Khumbu region. 1: humic material 2: silt 3: sandy silt

火口内で観察されたもの(小嶋, 1965)とおなじように、植被多角形土と同じ成因と考えられるものもある。

2) Vegetated lobes

このグループに含めたものには、いろいろの形のものが含まれているが、典型的なものは、最大傾斜方向に長軸をもつ長さ1m以下、幅40~50cmの舌状のふくらみで、表面は全面短い密生した草本におおわれている。これは、融水で飽和状態になった融解土壌が凍土上を流下するソリフラクションによって形成される。

形態が不明瞭でも、ソリフラクションで形成されたことがあきらかなものは含めたから、長さより幅が広い階状土的なもの、lobeの急な部分にしか植生をもたないもの(turf garlands・turf banked terraces)も含めたし、礫が融解後の地面をすべったploughing blocksや、反対に大きな岩塊のうえに上方から流下した土壌がのりあげているものも、すべてvegetated lobesのなかに含めた。

vegetated lobesは、4500m付近から現われるが、5000m以下では、lobeの長さが50cm以下で小さく横長で、階状土的である。lobesがもつとも広く分布し、典型的なものがみられるのは、5000m前後のマット植生の部分であり、もつとも高所は、ヌプツェ氷河右岸の5500mの地点である。

能率よくソリフラクションがおこるのは急斜面だから、lobeは急なモレーンの側面や土壌におおわれた谷壁斜面に多くみられる。北向き斜面に分布が少なく、南向き斜面に多いのは、南北斜面の植生のちがいによるのであろう。およそ4900m以下の北向き斜面にはシャクナゲが密生しているからソリフラクションがおこらないし、それ以上の高度ではlobeが典型的に発達する密生した草原が少ない。

クンプ地方では、多くのヤク・ヤギなどの家畜が飼われているから、各所に家畜階段(cattle terraces)がみられる。ハジュン周辺でもいたるところにみられ、場所によつてはturf banked terraceと区別が困難なものもある。ハジュン観測所南側のチョルテンの北斜面には典型的な家畜階段がみられるが、断面の

Fig. 5 Cross-section of cattle terraces, Lhajung, the Khumbu region.

hummocksは、周囲を家畜に踏みかためられており、家畜がきまつた場所を歩くことが原因で形成されたようにみえる。しかし、そのような場、所でも断面(Fig. 4)をみると、典型的なearth hummockの形状を示しており、土壌凍結が原因で形成されたことは疑う余地がない。

earth hummocksをおおう植生は、*Carex・Cobresia*などの草本であるが、ペリチエ付近のものの中には、シャクナゲやメギ(*Berberis*)の低木におおわれたものもある。

高度5000m以上では、earth hummocksの分布は断片的となる。earth hummocksの形成に必要な植生の条件が満足され、かつ豊富な水分にめぐまれる場所が限られるからであろう。クンプ氷河右岸のカラパタール、ヌプツェ氷河右岸、チュクンカルカ北の台地などでは、後に述べる植被多角形土と連続してearth hummocksが存在し、大雪山白雪岳

観察からは、turf banked terracesとのちがいはない(Fig. 5)。ここでは、すぐ接して疑う余地がないturf banked terracesがあり、階状土と家畜階段とは密接な関係をもっているにちがいない。

3) 植被多角形土(vegetated polynog)

この多角形土は、われめタイプのもの(小嶋, 1965)で、マット状の草原にみられる。われめは、深さ5~10cm、幅数cm~5cm、底はたいらで、それによつて、できる多角形は中央がややふくらんだ80~100cmの大きさで全面植生におおわれている(Fig. 6)。

多角形土の分布する場所は、カラパタル、チュクン カルカ北の台地、クンプ氷河右岩とヌプツェ氷河右岸のモレーン上で、すべて 4900m 以上の高度である。なかでもカラパタルの 5200m での発達がもつともよい。

礫質多角形土は、平坦な場所にしかみられないが、この植被多角形土は平坦地から 20°以上の傾斜地でもみられる。ロブチェの東側では、傾斜 24°のところでもみられたが、傾斜が急なところでは、多角形が傾斜方向に長細くひきのばされ、さらに下方では vegetated lobe に移行していた。

ハジュン周辺の草地では、冬に地面が凍結した時に、凍結われめがみられる。凍結われめは幅 1~2cm、深さ 5 cm ほどで多くの場合多角形をつくる。多角形の大きさや形はさまざまであるが、ペリチュの北西 2.5km の地点 (4350m) でみられたものは、植被多角形土とおなじ大きさ、形態をしており内部には、より小型のパターンをもっていた (Fig. 7)。

Fig. 7 Frost cracks near Periche (4350m) on January 28, 1975. By March 11, all cracks closed. The numbers in figure indicate depth of the cracks in cm.

ハジュン観測所から尾根をへだてた北東側の氷食谷をわれわれはコンマ (kongma) 谷とよんでいる。コンマ谷の 5100m と 5250m の氷食谷底の沖積地に大型の礫質円形土 (debris islands) がみられる。円形土が形成されている場所は、モンスーン期には池になるところで、その周囲には earth hummocks が分布している。

円形土の直径は 3~5 m、中央部は細粒砂礫からなるややコンベックスな面で、その周囲を粗粒礫からなるみぞがとりかこんでいる。円形土の中央の細粒部分の表面には、小型の多角形土が形成されているところがある。周囲の粗礫部では、現在、礫が動いているようすはみられない。

礫質多角形土や網状土が観察できた場所は、わずかである。ドゥオ氷河末端の池は、ポストモンスーンになると水位が下がり、池底が露出する。池の北西岸ちかくの池底には、多くの礫質多角形土がみられ

Fig. 6 Vegetated polygons, Lobuche (4950m), the Khumbu region.

凍結われめは、地面が凍結するときの土壌の収縮によつて形成される。凍結われめの幅が広がって、夏になつても閉じなくなると、凍結われめから多角形土となり保存される。われめの幅が広がる原因は、凍土や積雪からの融水が、閉じる前のわれめを侵食したからである。

4) 礫質構造土 (sorted patterned ground)

上にのべた earth hummocks・vegetated lobes・植被多角形土はどれも、植生におおわれた構造土で、調査地内ではよく発達している。いつばう、植生と関係なく、礫のふるいわけによつて形成される礫質構造土の発達は悪く、分布域もせまい。

ハジュン観測所から尾根をへだてた北東側の氷食谷をわれわれはコンマ (kongma) 谷とよんでいる。コンマ谷の 5100m と 5250m の氷食谷底の沖積地に大型の礫質円形土 (debris islands) がみられる。円形土が形成されている場所は、モンスーン期には池になるところで、その周囲には earth hummocks が分布している。

円形土の直径は 3~5 m、中央部は細粒砂礫からなるや

た。高度は 4700m で、ハジュン周辺ではもつとも低所でみられる礫質構造土である。

イムジャ谷南側のチュクン氷河の末端のモレーンの表面には、20~30cm の大きさの礫質多角形土や礫質網状土がみられる。整った典型的なパターンをもつものは少ないが、かなり広い範囲に分布している。

コンマ谷源頭部にあるコンマ氷河の末端から流れ出す融氷水流がつくつた砂礫地には、小型のわれめ型土質多角形土があるが、発達はよくない。

ボルカデ岩峰西側にある圏谷入口のモレーン上 (4900m) に礫質階状土がある。上面の幅は 1~2 m, 前面の高さは 30~50cm で粗礫があつまり等高線に平行にのびている。きれいな形態をもつ階状土は、1~2 段しかなく、それ以外は斜面上のわずかな傾斜の変換線となつてにすぎない。

MÜLLER (1959) は、カラパタール付近において多くの礫質構造土を報告しているが、われわれは、ほとんど発見できなかった。クンプ地域の氷河周辺の裸地には、われわれが未発見の礫質構造土が存在するかもしれないが、その分布面積は広くはないであろう。

3. クンプ地域の構造土の垂直分布

以上にのべた、それぞれの周氷河現象の分布をおおざっぱにくりかえすと、次のようになる。

earth hummocks・vegetated lobes・植被多角形土のような植生におおわれた構造土は、沖積地・古いモレーンの表面や側面・山腹斜面など各所にみられ分布面積も広い。いつぼう、礫質構造土は氷河舌端付近の砂礫地や、モンスーン期には水没するような限られた場所にしか分布せず、発達もよくない。

Fig. 8 Vertical distribution of the patterned ground in the Khumbu region. SL: Snow line, UV: Upper limit of vegetation cover, FL: Forest line

垂直分布についてまとめてみると、Fig. 8 のようになる。植被構造土は森林限界から上、草原植生上限までのほとんど全高度帯に分布するが、礫質構造土は一部の例をのぞくと 5000m 以上に分布し、上限は植被構造土のそれと一致している。

一般的にいうと、高山草原上部から雪線までのあいだには無植生地がひろがり、礫質構造土が広く分布する。しかしクンプ地域では、草原植生の分布上限付近から上では、ほとんどのところが急しゅんな岩壁や岩屑地になつているため構造土が分布する余地がない。いいかえると、構造土と植生の分布できる風化物や土壌におおわれた地表面の分布の上限が地形条件によつて規定され、それが植生と構造土の上限を決めているといえる。

地温の移動観測の結果、5000 m 以上には、永久凍土が存在している場所があることがわかつた (FUJII, 1976)。5000m 前後から、急に構造土の発達がよくなるのは、永久凍土の存在が原因しているのかもしれない。

このような構造土分布のありさまは、クンプ地域の南西側にあるリクー コーラ上流部のパンチボカリ周辺や、カトマンズの北側にあるゴザインクンドでもみられた。両地域とも、地形・植生ともクンプ地域とおなじ性格をもち、植被構造土がよく発達し、

岩壁・岩屑地の下端まで分布している。礫質構造土は裸地が少ないため分布がせまく、圏谷底の池の底などに限られている。

ネパールの東どなりの、シツキム ヒマラヤの地形・植生・凍結作用のようす (KAR, 1969) も、クンプ地域とおなじ性格をもっている。

このことから、クンプ地域でみられる構造土の分布は、シツキム ヒマラヤから東部ネパール ヒマラ

で全体に共通してみられるとおもわれる。

III. ヒドン・バレーの構造土

1. ヒドン・バレーの概要

調査地域は、中央ネパールのドウラギリヒマールの北側、すなわちヒマラヤ山脈主脈の北側に位置する谷で、東側のカリガンダキ (Kali Gandaki) や、南側のマヤンディコーラ (Mayandi Khola) とは、5100~5300m 以上の山稜で区切られている。このため、気候的には、モンスーンの影響は残るものの、チベット型の乾燥した気温較差が大きく日射が強い気候となっている。

ヒドン・バレーは、5000~6700m 程の山稜で囲まれた開けたU字谷で、傾斜は緩い (Fig. 9)。その中を、西から東へ流れるリカワンバ (Rikha Samba) は、その方向を北へ変え、ゴルジュの中へ消える。そしてさらに東に向きを変えて、ヒマラヤ山脈を横切つて流れるカリガンダキの上流部に合流する。

ヒドン・バレー内の氷河は、4900~5400m の間に末端をもち、その周囲は切りたつた露岩となつている。調査地一帯は、チベット・ターチス堆積岩帯に属し、石灰質の片岩や千枚岩からなる (GANSSE, 1964; OHTA and AKIBA, ed., 1973)。地表面の礫は細粒のものが多く、大部分が風化のため赤色化している。

ヒドン・バレー内の植生は極めて貧弱で、リカサンバが流れの向きを北に変えるあたりに、背丈 30cm 程の低木が見られる以外は、草本植物群落が水流に沿つて散在しているにすぎない。団塊クッション植生や地衣類すらも、非常にまばらで、ヒドン・バレーのほとんどの部分は、裸地である。カリガンダキの西斜面、ダンブシパス (5196m) までの植生は、針葉樹林帯が 3750~3850m で終わり、それより上は約 4600m 付近まで高山草原となり、それぞれ、明瞭な限界線を見せている。

調査は、ヒドン・バレーの中央、高度 5055m 地点に設置したベースキャンプを中心に、1974年6月未から9月初旬までの約2ヶ月半実施した。この間、氷河や地形調査に並行して、ベースキャンプにおいては、クンプ地域のハジュン観測所での気象観測に準じた定常観測が実施された。ダンブシパス~カリガンダキ間の調査は、往路と復路にのみ実施した。

Fig. 9 Aspects of Hidden Valley from east, near the Base Camp. Rikha Samba (in the center) flows in the dry and non-vegetated glaciaded valley.

2. ヒドン・バレーの構造土の分布

ヒドン・バレーでは植生が貧弱であるから、植被構造土の発達は良くない。発達がよいのは、礫質構造土である (Fig. 10)。ここでは、クンプとは反対に、礫質構造土からのべていく。

1) 礫質多角形土 (sorted polygon)

多角形土は、リカサンバ氷河の古いターミナルモレーンの凹地内の平坦地にあつた土質多角形土 (non-sorted polygon) を除き、観察したのはすべて、粗粒物質と細粒物質がふるいわけられてできた礫質多角形土である。

多角形土は、傾斜 3°前後までの平坦地に広く分布し、新しい沖積地の一部を除いては、多角形土の分

Fig. 10 Patterned in Hidden Valley. 1: Base Camp (5055m) 2: Glacier 3: Debris covered part on glacier 4: Ridge and rock wall 5: Earth hummocks 6: Turf-banked terraces 7: Sorted polygons (small) 8: Sorted polygons (large) 9: Sorted stripes (small) 10: Sorted stripes (large) 11: Sorted lobes 12: Striated ground indicating the direction of its long axis.

Fig. 11 Sorted polygons in Hidden Valley

布は、平坦地の分布を示しているということもできよう。平坦地は、リカサンバ沿いの段丘面上と、ラテラルモレーン上に分布している。

多角形土のうち、砂礫質の段丘面上に発達したものは、礫のふるいわけが貧弱で、直径 20cm 程の小型のものが多く、細粒物質を多く含むラテラルモレーン上や、U字谷壁斜面途中や稜線の平坦部に形成されたものは、小型のものでも礫のふるいわけが良く、形の整った多角形をなしている。小型多角形土は、更に大きな多角形土に、いくつかいつしよにとり囲まれていることが多いが、まわりをとりかこむ大型の方が粗粒部の礫の立ち上りが顕著である。

大型多角形土は、ベースキャンプ東方約 1 km の所にある直径数 10m の池の周囲の平坦地と、ダンプシパスの平坦地に最もよく発達している。池の周辺の大型多角形土は、直径 1 ~ 1.5m であるが、モンスーンの最盛期ごろから、増水で水面下に没するようになる。

大型多角形土の粗粒部分は、径 20cm 程のやや扁平で角ばった礫で構成されている。多くのものは、直立している。

小型多角形土は植被階状土の平坦部（上面）にも見られた。この多角形土は、直径約 15cm で、階状土の平坦部の傾斜は、4～5°であり、特にベースキャンプ裏（南西）の階状土の平坦部では、形の整った小型多角形土の発達が良い。

2) 礫質線条土 (sorted stripes)

ヒドン・バレーでは、露岩帯や段丘斜面の崩壊地などを除く斜面によく発達している構造土である。線条土は、粗粒部間の間隔が 10cm 位の小型のものと、1m 位の大型のものとに分けられるが、礫のふるいわけは、大型の線条土の方がよい。

小型線条土 (Fig. 12) の縞模様は、リカサンバ氷河の左岩の斜面、高度約 5680m 付近での観察の結果、傾斜が 5°以上になると明瞭になりはじめ、ほぼ 20°以上になると砂礫の細粒粗粒のふるいわけがさらにすすみ、それぞれの縞の幅が広がる。30°以上の傾斜地での線条土の記録はほとんどないというが (WASHBURN, 1973), 40°近くでもよくふるい分けられた線条土を観察できた。

この斜面で、線条土を構成する礫の移動量の測定を実施した。測定は、7月13日に 14m の距離をおいた 2つの露

岩の割目に測量釘を打ち込み、ひもを張り、その下の 5～10cm の長径をもった扁平な礫 6 枚にペンキマークをつけた。ひもは、線条土の縞にほぼ直交するように張った。これを 8月29日に、ひもの下から、礫のペンキマークまでの距離、すなわち 47 日間の各礫の移動量を測定し、その結果を傾斜との関係で (Fig.

Fig. 13 The relationship between slope angle and mean diurnal movements of painted stones of the sorted stripes in Hidden Valley.

13) に示した。この図には、同斜面近くのモレーン表面（斜面）の 10～30cm の長径をもった扁平な礫の移動量も示してある。

礫の移動量は、ほぼ傾斜の平方根に比例しており、約 30°で、0.4～0.8cm/day (150～300cm/yr) であった。この値は、傾斜や、礫の大きさ、気象環境など条件は異なるが、鳳凰山の 2～5°の斜面での 3～6cm/yr (小嶋, 1964), グリーンランドでの 10～14°の斜面における 0.9～3.7cm/yr (WASHBURN, 1967), スピッツベルゲンでの 7～15°の斜面での 5～12cm/yr (JAHN, 1960) 等の測定結果に比べると、1～2 桁のオーダーで大きい。

斜面の 20～30cm 以上の大きな礫の下方は、礫でおおわれておらず、10～20cm の長さで細粒物質が尾を引くように現われていた。これは、小さな礫の移動速度が、大きな礫の移動速度に比べて大きいことになるものである。

同地点での 8月29日の 50cm 深地温は、+1.1°C, 79cm 深地温は +0.6°C であった。後述のように、ヒドン・バレーには氷久凍土が存在するから、この地点での活動層厚は約 110cm と推定される。この活動層は、凍土の融解によつて、含水率は大きく、地表面付近でも湿潤状態になっていて、斜面を下る時、くるぶし近くまでもぐるような状態であった。

これらの観測観察結果から、この線条土斜面では、斜面全体のソリフラクションと、礫径の違いによつて起こる差別的な frost creep とが同時に起つているものと考えられる。また、大きな移動速度は、永久凍土面 (permafrost table の仮訳) 上の湿潤な融解層が、30°近い急斜面に置かれたという条件が強くさいことになるものと思われる。

Fig. 12 Sorted stripes on a 22° gradient slope in the experimental site for mass movement, Hidden Valley.

小型線条土としたものには、礫のふるいわけをほとんど伴わないで、礫種とそれによる色の違いで美しい縦縞模様を作っているものがある。稜線部や斜面途中の露岩や巨礫から、frost shattering によつて生産された礫が、frost creep やソリフラクションで斜面を最大傾斜方向に移動した結果と考えられる。これは、リカサンバ氷河中流の左岸の斜面や、ベースキャンプ東方にある氷河右岸の露岩の下の斜面に顕著なものが見られた。

大型線条土は、大型多角形土の形成域に接して分布していることが多く、ダンプシパスやフレンチコル周辺や、ベースキャンプ東方の池の周囲の斜面によく発達している。ベースキャンプ東方のものは、線条土が $2\sim 3^\circ$ の傾斜の平坦地になると、しだいに閉じた多角形土に移行していくのが認められた。他のものは、多角形土から移行して形成されたものであった。

大形線条土は、ベースキャンプ東方の氷河の末端部の厚い土砂に被われたところでも見られた。この土砂の厚さは、120~200cm で (NAKAWO, 1970)、ここでの礫のふるいわけは強くはないが、礫が 45° 近くに立つた線条が幾筋もあつた。これは、この部分の氷河氷体が dead ice 化していることを示すものと考えられる。

3) sorted lobe

ヒドン・バレーでみられた soliflaction lobe は、植生をもたず、細粒礫と粗粒礫のふるいわけがすすんだ lobe 状を呈しているので、クンプの vegetated lobe と区別して、sorted lobe と呼ぶ。

sorted lobe は、5050m から 5500m の高度範囲の緩斜面によく発達している。傾斜 $15\sim 20^\circ$ の斜面での lobe の大きさは、傾斜方向の軸が $3\sim 5$ m、幅は 2 m 前後、厚さは 30cm 程である。lobe の周囲は、溝状凹地になっていて、径 10~20cm 程の礫がつまっている。lobe の前方（下方）は、比較的細粒な物質からなり、平坦となつてることがあり、ここに小型の多角形土が形成されているのも観察された。

地温の移動測定 (FUJII, 1976) の結果から、ヒドン・バレー内の永久凍土の分布の下限高度は、約 5000 m と考えられるが、sorted lobe の分布は永久凍土の分布とよい一致を示す。

永久凍土の活動層でおこるソリフラクションは、非常に効果的であるから、このような大型の lobe が形成されるのであろう。

ソリフラクションが起つている地表層の厚さは、最大で活動層の厚さと考えてよい。lobe が発達している斜面での地温の測定の結果、活動層厚は、5055m 地点で約 220cm、5240m 地点で約 190cm、5340m 地点で約 165cm であつたので、ソリフラクションを起こしている地層の厚さは、最大でも数 m ($2\sim 3$ m) といえるであろう。

4) 植被構造土 (vegetated polygon)

植被構造土としては、earth hummocks と、turf-banked terraces (植被階状土) がある。これらは、高山草原の分布とほぼ一致し、earth hummocks は、このうち、リカサンバ沿いの湿地に、turf-banked terraces は、U字谷底付近の緩傾斜の場所にみられた。しかし、いずれも植生が貧弱なため、分布も限られ、分布高度は、4850~5150m と狭い。

ダンプシパス東のカリガンダキ西斜面では、earth hummocks の発達 はよく、森林限界から 200m 程上の高度 4000m 付近から、草原植生の上限付近 (4600m) まで見られる。

turf-banked terrace は、幅が 1.2~1.6m、前面の高さ 15~20cm、長さ 10m 以内の規模のものが多く、平坦部の傾斜は $4\sim 5^\circ$ であつた。 $4\sim 5^\circ$ の傾斜にもかかわらず、形の整つた小型礫質多角形土が形成されていたのは、前述のとおりである。

5) striated ground

striated ground (SCHUBERT, 1973) は、高さ 1~3 cm、長さ 10cm 位の線条のたかまりで、 $2\sim 3$ cm の平行な溝でへだてられている規模の小さな構造土で、リカサンバや、氷河からの流れに沿つた湿つた平坦な砂地の上によくみることができた。

Fig. 10 に示した短い線は、調査期間中に測定した striated ground の方向で、全体としては、SW~NE の方向が卓越している。ダンプシパス付近では、W-E ないしは WNW-ESE 方向のものが多く、これは地表付近の雲の動きに近い。

ベースキャンプ前の平坦な砂地上の striated ground の方向は、7月17日の測定で N75E、9月7日では、N86W であった。それぞれ、過去3日間のベースキャンプでの卓越風向は、05:40NST~17:40 NST 間の3時間毎の測定によると、前者が NE~ENE (午前)、W~WSW (午後)、後者が、午前、午後ともに WSW であった。8方位法での風向測定ということを考えると、striated ground の方向は、卓越風向、特に風向の測定時間内では、午前中の風向に一致するようである。これは、SCHUBERT (1973) の報告のように、striated ground は、夜間凍結時に、霜柱が卓越風向の影響で、直線的に並ぶことによつて形成されたと考えることができる。

striated ground は、周氷河現象の中でも、形成速度の最も短い現象のひとつであるが、昼間、地表部が融解しても形は保たれているし、観測例は多くはないが、その方向も少くとも数週間は保たれている。したがつて、striated ground の方向から、ある期間内の夜間の卓越風向を知ることができる。Fig. 10 の短い線に谷を下る方向に矢印をつければ、ヒドン・バレーにおける、モンスーン期間中の夜間の卓越風向を示すことになるであろう。

Fig. 14 Vertical distribution of the patterned ground in Hidden Valley: SL: Snow line, UVH: Upper limit of vegetation cover in Hidden Valley, UV-K: Upper limit of vegetation cover on Kali Gandaki slope, FL: Forest line

6) 垂直分布

ヒドン・バレーにおける構造土の垂直分布を Fig. 14 に示した。ヒドン・バレー自体の高度が 4800m 以上であるから、それ以下については、ダンプシパスのカリガンダキ斜面も含めた。クンプ地方と同様にもつとも低位置から現われる構造土は、earth hummocks であり、森林限界よりやや高いところから現われはじめる。クンプ地方で広くみられた vegetated lobe は、ヒドン・バレー内ではみとめられなかつたし、カリガンダキ斜面では充分な調査を行っていないので詳しいことは分からない。

礫質構造土は、4800m 以上で急に豊富になるので、5200 m 近くまでは、植被構造土と共存している。この範囲内では、凍結作用による礫や土壌の移動のために、植物の根切れがおこり、それが植生の拡大を阻止している。このように、ヒドン・バレーでは礫や土壌の移動と植物の生育の競合関係で、周氷河作用の方が優っている所が一般的である。むしろ植生の成育が構造土の形成を抑制しているクンプ地域とは、対照的である。しかし、植生と構造土との関係については、今後のよりくわしい調査が必要である。

sorted lobe と大型の礫質構造土は、もつとも高所から分布のはじまるが、その原因は、これらが永久凍土層の存在と関係して形成されているからであろう。

礫質構造土の上限は、ほぼ雪線と一致している。ヒドン・バレーでは、クンプ地域とは違って、露岩や岩壁などの地形が構造土の上限を決めているのではなく、雪

線という気候的な原因で上限が決っている。礫質線条土の分布は、雪線以上にまで伸びているが、それは、雪線以上の部分でも裸地が存在するからである。ヒドン・バレーでは、地表面のほとんどの部分に礫質構造土が発達しているといえる。

IV. ネパール・ヒマラヤにおける構造土の形成

これまでみてきたように、クンプ地域では、植被構造土がよく発達しているのに対し、礫質構造土の発達は悪い。一方、ヒドン・バレーでは、氷河と岩壁以外の地表面では、いたるところ礫質構造土が見られるといえる程発達がよく、クンプとは対照的な違いをみせている。

この違いは、ヒマラヤ山脈主脈の南側・北側という両地域の位置のちがいと、それから生じた気候条件の差（ネパール型湿潤ヒマラヤ気候とチベット型乾燥ヒマラヤ気候）および地形条件の差（急しゅんな地形とゆるやかな地形）によつて生じたと考えられるので、以下で考察を試みる。

1. 気候環境の違い

構造土の生成にかかわる最も重要な気候要素は、温度条件である。Fig. 15 には、1974 年の気象観測の結果のうち、気温・20cm 深地温・降水量（Glaciological Expedition to Nepal, 1976）を示した。ハジュンでは月間値を、ヒドン・バレーでは、観測期間が短かつたので10日平均の値を用いている。

Table 1 Temperature conditions related to frost action with each altitude in the Khumbu region and Hidden Valley, using extrapolated value from the date obtained at Lhajung Station and at Jomoson Weather Station (2615m), the nearest station from Hidden Valley, respectively.

Altitude (m)	Region	Mean annual air temperature (°C)	Freezing index (degree-day)	Thawing index (degree-day)	Freeze-thaw cycle (days)
6000	Khumbu	-10.2	3722	0	0
	Hidden Valley	- 9.9	3579	0	125
5500	K	- 6.9	2536	0	143
	H	- 6.7	2393	0	212
5000	K	- 3.7	1555	202	218
	H	- 3.4	1473	267	273
4500	K	- 0.4	885	703	192
	H	- 0.2	771	757	293
4000	K	+ 2.8	412	1398	188
	H	+ 3.1	300	1480	248
3500	K	+ 6.1	107	2268	134
	H	+ 6.3	43	2391	207

ハジュン観測所では、月平均気温は約5ヶ月間、20cm 深地温の月平均値は約4ヶ月間が氷点下であった。ハジュン観測所より高度の高いヒドン・バレーの気温と地温はともに、より低い値を示すから、氷点下の期間ももつと長いはずである。

このように、観測地点の高度が異なり直接比較することができないので、気温減率で高度補正²⁾して高度別に比べる必要がある（Table. 1）。これから、平均気温では、それほど大きな差異がないことが分るが、気温較差³⁾を比較してみると、ヒドン・バレーが約9°C であるのに対し、クンプ地域では約6°C と小さい。これは、主に雲による日射あるいは夜間の長波長放射の遮断効果の違いにあると思われる。ヒドン・バレーの方が、モンスーンの影響が小さく、雲量の少ない日が多いからである。

気温の較差が大きいということは、ひんぱんに凍結融解のくりかえし（freeze-thaw cycle）が起こることを意味し、その結果、凍結破碎作用・霜くさび作用・融凍攪拌作用が強く作用する。

凍結融解のくりかえしは、凍結が起こらなくなる高度以上、融解が起こらなくなる高度以下であるが、

気温較差が大きいということは、この高度範囲が広いということで、これによつて引き起こされる構造土の分布高度の範囲も広いことになる。気温の較差の大きなヒドン・バレエの方が、凍結融解日数のはるかに大きく、高度範囲も広がっている。

地表面温度は、気温より日平均で $5 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 高く、特に日射の強い昼間は、この差はさらに大きくなる。従つて、地表面温度の較差は、気温較差に比べると、かなり大きく、table 1 の凍結融解日数は、実際の地表面での日数に比べ、相当小さ目になっている。

構造土の形成に大きな役割を果たす作用として、凍上作用 (frost heaving) と凍結割目作用 (frost cracking) がある。これらは、年間を通じた積算寒度 (freezing index) であらわされる凍結の強度が大きいほど強く働くと考えられる。table. 1 にみられるように、クンプ地域、ヒドン・バレエとも、積算寒度には、あまり大きな違いは認められない。

従つて、構造土形成に関する両地域の気温条件は、積算寒度、平均気温など、凍結の強度や期間といった点では大きな差異はないが、凍結、融解のくりかえしに強く関与する気温の較差の相違は、非常に大きい。これは、ヒドン・バレエでは、礫のふりい分けを併う構造土の発達がよくことを説明するものであらう。

気温条件の次には、降水量を比較してみる。クンプ地方では、7～8月のモンスーン期に年降水量のほとんどが集中して降るのに対し、10月から4月にかけては、ほとんど降水をみない (Fig. 15)。

ヒドン・バレエでの、モンスーン期の降水量は、クンプの約半分である。降水量だけでなく、相対湿度・蒸発量の点でもより乾燥した条件におかれている。

このような、モンスーン期の降水量のちがいは、ヒマラヤ山脈主軸の南側と北側 (ヒドン・バレエ) の違いの反映である。しかし、ネパール全域の降水量分布 (Climatological Records of Nepal, 1970) の中では、クンプ地域も、ヒマラヤ内陸の比較的乾燥な地域と位置づけることができる。

南側に前山をもたず、直接モンスーンにさらされるヒマラヤの南側斜面では、モンスーン時の降水量はもつと多い。

ヒドン・バレエでの、冬期の降水については、観測値がないので不明であるが、クンプにくらべより西に位置するので、冬期の西方擾乱を受け、積雪量、積雪期間ともまさっていることが推定される。冬にヒドン・バレエにもたらされる積雪は、凍結に対し負の作用をするかも知れないが、そのかわり、融雪水を供給するから、乾燥による凍結の低下をおぎなうであらう。

このような降水の量と季節変化の特色は、植生の発達と雪線高度に、大きな影響を与えている。クンプ地域では、気温が高くなる時期に充分の降水があるから植物の生育には都合がいい。ところが、ヒドン・バレエでは、モンスーン期さえ、蒸発量の方が降水量をうまわわっており、植物が生育するためには、乾燥しすぎている。このため、植生限界が低くなる。

クンプ地域では、雪線がもつとも高くなるモンスーン後の乾期に、山腹をおおう積雪の下限高度は、南側の北向き斜面で 5500m、もつとも高くなるチベットよりの南向き斜面で 6000m 近い。連続する植生の

Fig. 15 Mean monthly air and soil temperature and total monthly precipitation at Lhajung station (4417m), the Khumbu region in 1975 and mean air and soil temperature and total precipitation in each 10days from July to August, 1975 in Hidden Valley.

上限は、クンプでは 5500~5600m であるから、それから雪線までの高度差は、平均すると 200m 程で、狭い。ヒドン・バレーでは、その高度差はクンプの倍以上である。

このような気候環境の違いの原因は、ひとことでいえば、ヒマラヤ主軸に対する南側斜面と北側斜面という位置の違いである。

2. 地形環境の違い

現在われわれが見ているヒマラヤの地形は、ヒマラヤ山脈が形成されはじめた時以来の地殻の隆起と、それを侵食しつづけてきた営力との相互作用の結果であり、共通の地史的環境を経験した場所では、同じような特徴をもつ。

クンプ地域でみられる 5300~5400m 以上が急しゅんという地形的配置は、東ネパールヒマラヤ南側斜面に共通してみられる。ヒマラヤ主軸から南にはなれた山頂高度 6000m 以下の部分でも、山稜頂部は急な岩壁になっており、植生がまばらになる高度以上には、平坦な地形は存在しない。

クンプ地域で、構造土が発達しているところは、すでにみたように、圏谷底・U字谷底・モレーン表面・氷河合流の背後の台地上などである。これらの地形が分布する上限は、だいたい 5300~5400m であつて、それより高い場所は、岩屑地・岩壁・氷河になつてしまい、構造土が分布する余地はない。急斜面が多いから岩壁が広く、そこから生産される岩屑も、花崗岩・片麻岩という岩質のため、大きなブロックになり構造土の形成にはつづがが悪い。

ヒドン・バレーは、これとは対照的で、山稜頂部まで比較的緩斜面が存在し、岩壁の面積も少ない。5100~5200m の植生限界より高い位置に、モレーンのような平坦面をもつ地形も存在する。クンプでは、雪線以上の氷河・積雪におおわれていない部分はすべて岩壁であるが、ヒドンバレーでは、砂礫地になっている地表面が存在する。

ヒドン・バレーでは、礫質構造土の形成に適した高度に、構造土形成に適した地形が用意されているといえる。基盤地質も、ヒドン・バレーの堆積岩や石灰質片岩・千枚岩は、細かい礫に分割されるから、構造土の形成にはつづががいい。このような地形は、ヒマラヤ主軸の北側からチベット高原にかけて広くひろがつており、そこでは、礫質構造土がよく発達していると考えられる。

3. 他地域との比較

これまでみてきたクンプとヒドン・バレーの気候と地形環境は、それぞれヒマラヤ山脈主軸の南側斜面（ネパール側斜面）と北側斜面（チベット側斜面）⁵⁾に共通しているといえる。従つて、クンプ地域とヒドン・バレーの構造土の分布の特徴は、それぞれ、ネパール側とチベット側斜面を代表しているといえよう。

しかし、クンプ地域は、ネパール側斜面の典型よりは乾燥しており、ヒドン・バレーには、モンスーンの影響が残っているから、典型的なネパール側斜面およびチベット側斜面では、構造土の分布は、われわれが調査した両地域よりさらにそれぞれの特徴をより強くみせているだろう。

ヒマラヤの構造土の分布と形成環境の特徴をさらにあきらかにするために、他の地域の高山と比較してみる。ここでは、日本とヨーロッパをとりあげ、垂直分布帯を模式的に比較してみる。

まず、地形的な制約が全くなく、気候的条件のみによつて垂直分布が決定される場合を考えてみる (Fig. 16-A)。

雪線と森林限界との間の高度差がどの山地でも一定だとすれば、気候の違いに応じて植生限界が上下する。ヒマラヤのネパール側斜面では、雪線近くまで植生地があり、植被構造土が広く分布できる。そして、裸地の割合は小さく、礫質構造土の分布面積は狭くなる。

チベット側斜面では、植生地の面積が狭く、礫質構造土の発達が著しい。

ヨーロッパ (HÖLLERMANN, 1967; GRAF, 1971; RUDBERG, 1972) では、礫質構造土と植被構造土ともに充分発達できる。一方、日本では、ヒマラヤのネパール側斜面に似ているが、森林限界以上には、ハイマツが優占するから、植被構造土が発達できない (小嶋, 1974; 小嶋ほか, 1974)。

Fig. 16 Schematic comparison of vertical zonation. A: relating to climatic conditions, B: relating to topographic differences, E: High mountains in western Europe, HT: Tibetan slopes of the Himalays, HN: Nepalese slopes of the Himalays, J: Northern part of the Japan Alps, 1: Snow and ice, 2: Sorted patterned ground, 3: Vegetated patterned ground in alpine glass land, 4: Rock wall, 5: Subalpine Krummhorz vegetation (*Pinus pumpila*), 6: Forest

次に、これに地形条件が加わった場合を考えてみよう (Fig. 16-B). 地表面の微起伏は、すべての限界線を、直線から複雑なジグザグの線に変えるから、どの場合でも礫質構造土と植被構造土とが同時に出現する高度帯を生じさせる。

ヒマラヤの場合は、すでに述べてきたので省略する。ヨーロッパのアルプス・ピレネー・スカンジナビアでは、地形的条件も満足され、植被・礫質構造土ともに良く発達する。

日本アルプスでは、山の高さがハイマツ帯上限を越えないが、強風による山頂現象として礫質構造土が形成される。日本海沿岸の多雪な高山では、残雪のため裸地や草原がハイマツ帯の中にパッチ状に分布し、そこに礫質構造土や植被構造土が形成されることもある。

このように、ヨーロッパの高山でも日本の高山でも、構造土の分布は、それぞれの気候・地形の条件を反映しており、これらの環境条件との関連で、ヒマラヤ山脈のネパール側斜面、チベット型斜面の構造土は、ユーラシア大陸東、西端の高山の構造土の分布とも異なる分布をしていることが明らかになった。

V. 結 論

クンプ地域では、植被構造土の発達がよく、earth hummocks, vegetated lobes は、森林限界以上から植生限界付近まで広い面積に分布し、5000m 以上には植被多角形土が分布する。

植被構造土が発達する原因は、夏のモンスーン期に充分な降水にめぐまれて、植生が高所まで生育し、そこに寒期には、凍結作用が働くからである。礫質構造土は、主として、5000m 以上に発達するが、分布場所は限られ、面積も狭い。植生限界以下では、豊富な植生が形成を阻止しているし、それ以上では、急な岩壁や粗大な礫地によつて占められ、構造土の形成に適した場所に欠けるからである。

このようなクンプ地域の構造土の分布のありさまは、ヒマラヤ山脈のネパール側斜面に共通してみられるものである。

ヒドン・バレーでは、礫質構造土の発達がよく、大型、小型の多角形土・lobes・線条土・階状土などさまざまなタイプのものが分布する。

ヒドン・バレーで礫質構造土の発達がよいのは、気温較差が大きく、凍結融解のくりかえしがひんぱんに起こることと、乾燥気候のため、植生地の面積が少なく砂礫地に富むこと、高いところまで緩斜面が多いことによる。さらに、ヒドン・バレーは、全体の高度が高いから、植生の分布もそれだけ限定されている。すなわち、気候・地形などの環境条件は、礫質構造土の発達にとって非常に有利に整っているのである。

このような、ヒドン・バレーの構造土の分布のありさまは、ヒマラヤ山脈チベット側斜面に共通してみられるものである。

ネパール側斜面、チベット型斜面ともに、そこでみられる構造土の分布は、日本やヨーロッパでの構造土の分布と比べても独特であり、ヒマラヤの高山帯の自然のなりたち、とくに、気候地形営力の理解のための重要な鍵となるであろう。

最後に、本研究は、1973年度ネパール ヒマラヤ氷河学術調査隊(日本雪氷学会・氷河情報センター)と1974年度の同名の調査隊(文部省科学研究費海外学術調査、研究代表者樋口敬二)に参加しておこなわれたものである。調査にあたっては、調査隊のすべてのメンバーそれに地元の多くの人々から御援助をいただいた。ここに厚くお礼を申し上げる。

注および引用文献

注 1) ここでは、9月上旬における山腹の大部分が積雲におおわれている下限を雪線とした。

2) ヒドン・バレーの年間を通した観測値はないので、最も近いネパール気象局の測候所、Jomosome(2615m)のデーターを、高度補正して用いた。(Climatological Record of Nepal, 1970)

3) クンブとヒドンの両方のデーターがある1974年7月・8月についての月平均最高気温と、月平均最低気温の差を比較した。

4) 東(1954)によれば、北海道では、積雪が15cmに達すると凍結の進行は止まる。

5) ヒドン・バレーは、ネパールに属するが、気候・地形環境がチベットの意味である。

Climatological Reports of Nepal (1970) : Department of Irrigation, Hydrology and Meteorology, Ministry of Food, Agriculture and Irrigation, His Majesty's Government of Nepal.

FUJII, Y. (1976) : Ground temperature measurements in the high altitudes of Nepal Himalayas. Scientific Report of Glaciological Expedition to Nepal 1973-1974 Japanese Society of Snow and Ice, In Press.

GANSSER, A. (1964) : Geology of the Himalayas. Interscience Publishers, London, 289p.

Glaciological Expedition to Nepal (1976) : The Data Report of Glaciological Expedition to Nepal 1973-1974, Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice, In Press.

GRAF, K. J. (1971) : Beiträge zur Solifluktion in den Bündler Alpen (Schweiz) und in der Anden Perus und Boliviens. Juris Druck Verlag Zürich, 152p.

HAFFNER, W. (1972) : Khumbu Himalaya, Landschaftsökologisch Untersuchungen in den Höhtälern des Mt. Everest-Gebietes. In, TROLL, C. ed., Geoecology of the High-Mountain Regions of Eurasia. Weisbaden. 299p.

東 晃(1954) : 北海道の土壌凍結・積雪との関係. 農業物理研究所報告, No. 3, 145-157.

HÖLLERMAN, P. W. (1967) : Zur Verbreitung rezenter periglazialer Kleinformen in den Pyrenäen und Ostalpen. *Göttinger. Geogr. Abh.*, Vol. 40, 198p.

JAHN, A. (1960) : Some remarks on evolution of slopes on Spitsbergen. *Zeitschr. Geomorphologie, Supplement band I.* 49-58.

KAR, N. R. (1969) : Studies on the geomorphic characteristics and development of slopes in the periglacial zones of Sikkim and Darjeeling Himalaya. *Biul. Perygl.* Nr. 18, 43-47.

小嶋 尚(1964) : 鳳凰山における構造土の観察と実験. 駿台史学, 15号, 53-75.

——(1965) : 大雪火山群の構造土. 地理学評論, 38巻, 179-199.

——(1974) : 凍結・融解作用がつくる微地形. 科学, 44巻, 708-712.

小嶋 尚・杉原重夫・清水文健・宇都宮陽二郎・岩田修二・岡沢修一(1974) : 白馬岳の地形学的研究. 駿台史学, 35号, 01-086.

MÜLLER, F. (1959) : Eight months of Glacier and soil research in the Everest Region. *The Mountain world.* 1958/59, 191-208.

NAKAWO, M. (1976) : Bubble structures of un-named glacier near Tukche peak, Hidden Valley. Scientific Report of Glaciological Expedition to Nepal 1973-1974, Japanese society of Snow and Ice. In Press

- OHTA, Y., AKIBA, C. ed., (1973) : Geology of the Nepal Himalayas. Himalayan Comitee of Hokkaido University. 286p.
- RUDBERG, S. (1972) : Periglacial zonation—a discussion. *Göttinger Geogr. Abb.*, Vol. 60, 221-233.
- SCHUBERT, C. (1973) : Striated ground in the Venezuelan Andes. *Journal Glaciology*, Vol. 12, 461-468.
- WASHBURN, A. L. (1967) : Instrumental observations of mass-wasting in the Mesters Vig district, Northeast Greenland. *Med. Dm Grønland*, Vol. 166, No. 4, 303p.
- WASHBURN, A. L. (1973) : Periglacial processes and environments. Edward Arnold, London., 320p.

(1976年1月23日受理)