

「ゆらぎ」が描く氷堆積域斜面

中村三郎*

1. はしがき

地形・地盤の多くは、地球自然の法則に従って風化・浸食・堆積を繰り返し、地層の示す縞々は長い歴史の痕跡をとどめ、これが各地の原風景をつくりあげてきた。しかし人間は領域の拡大とともに、人工空間も増大し原風景にも大きな影響を与えた。いわば私達の暮らしが次々と新しい風景をつくり出しているわけである。最近では、人間の活動が引き起こす大気の変化が、地球の温度環境、気候環境に大きな影響を与えている。日本列島のような中緯度帯に位置する国土は、熱帯地域などに比較して気候条件変化の影響を受け易く、これが地球自然の変化に加え、斜面環境の不安定化を助長している。

私達にとって地盤条件の現状を理解するために、過去を追跡し古い地形とのかかわりを知ることは大切でその追跡はなかなか困難な点があるが、地盤の過去を知るわずかな情報でも対策の上では貴重である。

最近、私達が経験するカタストロフィーは、その位置・規模・時期などに異常な例が報告されたり、警告されたりしているが、これも気候変化の影響であろうか、杞憂であれば幸いである。最近の調査地の一例について愚考してみたい。

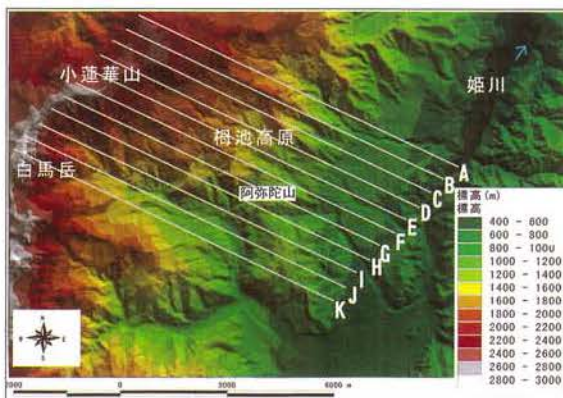


図-1 白馬岳～小蓮華山、東斜面の標高分布と山腹断面位置
(安藤潤・中村三郎 2001)
(国土地理院発行数値地図50mメッシュを使用して作成した)

2. 北アルプス山麓の緩斜面

造山帯に位置する日本列島は隆起・沈降と浸食作用の繰り返しが著しく、山地・盆地や平野をつくる運動が現在もつづいている。日本アルプスおよびその周縁山地は、第四紀の期間1500～1700m隆起したと言われている。このような中で過去1～2万年来の地学的現象は私達身辺における斜面環境にとっても重要な意味がある。造山運動に加えて、今日の地球にとって最大かつ最終のウルム氷期と、後氷期における気候条件の変化は、地形の浸食・堆積作用に大きな影響を与えた。氷河によって覆われている地域は勿論のこと、直接氷河に覆われなかった地域でも、山地・山麓における寒冷・温暖気候の影響が大きかったことはよく知られている。北アルプス白馬3山およびその周縁山地・山麓における地形も例外ではない。

図-1は北アルプス白馬岳～小蓮華山～乗鞍岳山稜とその東側斜面の標高分布と当該地域北西の山稜部分から南東方向の山腹断面図位置を示した。図-1・2はいずれしも国土地理院発行数値地図50mメッシュを使用して作成した。白馬岳(2933m)～小蓮華山(2769m)に至る山稜は険しい山容を呈し、主山稜から姫川までは水平距離にして約15km、高度差は凡そ2000mである。図-2の図中側線A、B…Kにつ

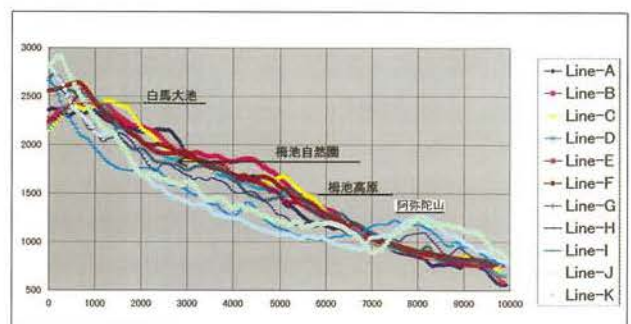


図-2 図-1のA、B…K断面 (安藤潤・中村三郎 2001)
標高1000m以上の緩斜面の多くは周氷河地形堆積面
(国土地理院発行数値地図50mメッシュを使用して作成した)

* (防衛大学校名誉教授) (財)砂防・地すべり技術センター理事

いてみる。側線A, B北西部は最終氷期以前の乗鞍火山に由来する稜線を反映し、溶岩や火砕質物よりなる緩傾斜面が卓越している。側線C, D, E…Kは、白馬岳北方山稜線東側の斜面形である。山稜線直下はベルクシュレントに由来する急崖、それに続くやや広い平地をもつカルド底の一種、更にその東南前面の梅池高原付近までは氷堆石か氷堆石堤の延長部分で、堆石堤或いはそれに付随する部分が長大な緩斜面をつくり、その斜面が梅池スキー場として利用されている。北アルプスの各地は、フォッサマグナ沿いの階段断層地形の緩斜面の部分とか、氷期・後氷期における浸食・堆積作用の繰り返しによる堆積または古い谷の埋積等によって自然の長大な緩斜面がつくられ、その一部がスキー場などとして利用されている。氷河期および後氷期における浸食・堆積にかかわる営力は、今日吾々が経験する営力と比較すると、想像以上のものである。氷河の周縁や末端付近には崩れた大小の岩片がうず高く積み上げられ特異な地塊をつくる。北アルプス槍ヶ岳山腹の槍沢U字谷は大規模で古くから著名であるが、白馬岳北東部の氷河関連の地形はやや小規模である。したがって梅池高原周縁の氷堆石や氷堆石堤などはやや判りにくい。

図-3は梅池高原およびその周縁の傾斜分布を求めたものである。この図面も建設省国土地理院発行数値地図50mメッシュを使用して作成した。50mメッシュの最大傾斜角を求め図化したものである。図中北西～北は白馬岳～小蓮華山～白馬大池、北東～南東方向には姫川が位置している。傾斜分布特性をみ

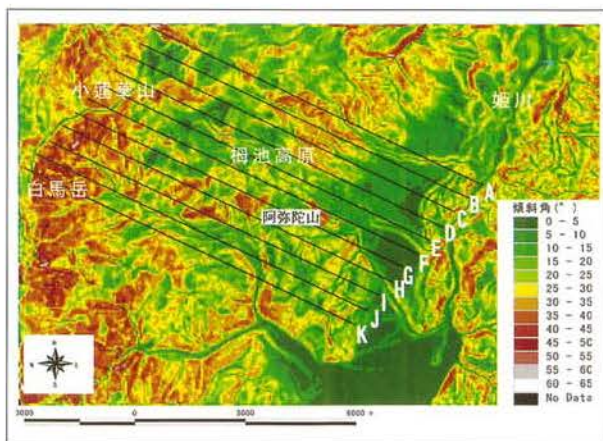


図-3 梅池高原およびその周辺の傾斜分布 (安藤潤・中村三郎 2001) (国土地理院発行数値地図50mメッシュを使用して作成した)

ると大きく三つのゾーンの区分が可能である。即ち図中西側の35度以上の急傾斜地はアルプス山地、その東側前面に分布する緩傾斜地(5度～25度)、そして南東から北東にかけて広がる姫川両岸および白馬山麓構造線前面(東側)の緩傾斜地(15度以下)のゾーンが眼につく。

3. 梅池地すべり地と氷堆石

平成12年3月4～5日にかけて降雨と融雪がくり返された。スキー場として利用されている梅池地区の標高1130m～1500mの部分で地すべり性の挙動がみられ、急遽対策のための調査が実施された。地すべ

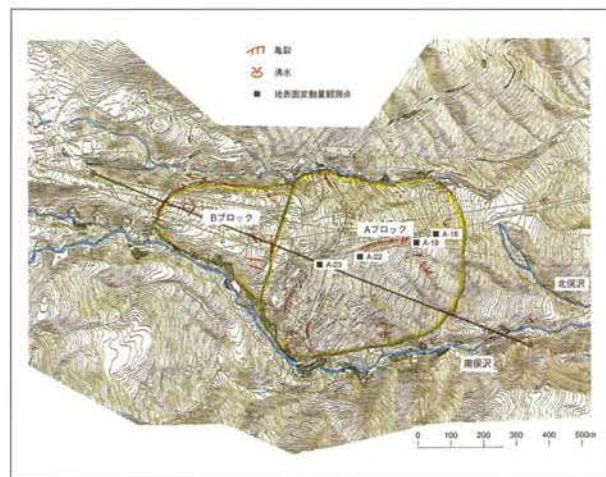


図-4 梅池地すべり平面図(長野県・砂防・地すべりセンター)

りの規模は巾600m長さ850mである(図-4)。

地すべり地塊部分は糸魚川～静岡構造線の西に位置している。更に西に接する部分は飛騨外縁帯に属する古生層や、結晶片岩類など古期岩類と、それに併入・狭在する蛇紋岩類によって構成されている。これを白馬乗鞍溶岩・火砕流堆積物・新しい土石流堆積物などが複雑に被覆している。長野県姫川砂防事務所の調査成果によれば、上記土石流堆積物は、主として上記古期岩類の混在岩、蛇紋岩及び第四紀安山岩類由来の岩屑が主であるが、場所によって厚さや広がり異なる。

今日の地すべりによる変動域は楠川上流域の北股沢と南股沢に挟まれた部分であるが、南股沢沿いのA・Bブロック境界付近から先づ変異が観察されたとの報告がある。この部分がたまたま南股沢の遷移点のゾーンでもあり、新しい堆積面の一部である。

河床に近い部分には前記混在岩の露頭も散見される。県調査の断面図によれば、蛇紋岩体上に位置する混在岩は、Bブロック上には認められるがAブロック上には欠けている。Bブロックは堆石堤の側端部か末端部の可能性が大きい。各種計測器に因る計測結果から、すべり面はBブロックでは混在岩類上位の安山岩礫主体の新しい土石流堆積物層内の深さ30m、Aブロックは蛇紋岩体上位に位置する土石流体堆積物層内の深度40mと考えられている(図-5・土木研究所)。新しい土石流の一部は阿弥陀山の山腹、標高1200m~1300mの付近にも到達堆積していることは古くから指摘されている。

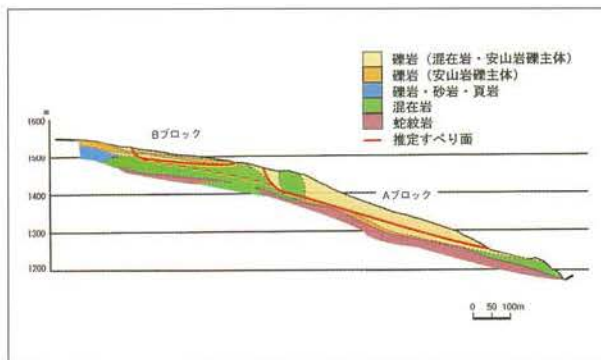


図5 桐池地すべり断面図(長野県・砂防地すべりセンター)

地盤の地すべり性挙動の誘因となる地下水の関わりをみると、蛇紋岩体の存在は勿論のこと、その上位混在岩表層の一部が、地盤体内における水の貯留層或は通水帯の役割を果たしているということも考えられる。Bブロックでは混在岩類中の貯留水或は通過水がBブロック上位の土石流体或はAブロックの土石流体に供給され、地盤の安定条件に変化をもたらしていることが考えられる。2度3度押し出されたり、被覆し合ったりする氷堆石の厚さの分布は様々である。したがって現在地形表面で認識できる氷堆石が、かつての氷河中のテイル(漂礫土)であるのか、氷河表面テイルであったのか、それとも氷河底削摩部分の削剥岩体の一部であったのかの判別は困難である。

不明瞭乍ら、これらの氷堆石の存在と今日の地すべり性の挙動とのかかわりは無関係とはいえない。最近では中部日本の高山地域一標高1200m以上のゾーンにおいて、今日まであまり挙動のなかった地帯で思いもよらぬ地区における地すべり性の崩壊や挙動

が見えはじめています。そこで化石岩屑斜面石分布の様相と崩壊域との関係を、写真濃度画像によって類推してみた。

4. 写真濃度の「ゆらぎ」と堆積物

従来、航空写真による土地分類では、地盤高の相対的な差を判別し、地形・地物の形態とその規模、植生の樹冠・疎密状態などは、写真の濃淡が反映し総合されたトーン(階調)によって肉眼判定を行ってきた。これに写真濃度読取装置による測定を加え、地盤条件判読標準の目安を求めその意味を考えた。(航空写真は国土地理院撮影の2万分之1大のモノクロ写真を利用して、画像解析を行い図-4~13を作成した。)

写真濃度波形と濃度パターンを活用した地形・地盤条件の認識を主として1) 濃度レベル 2) 波高(階調)などの2つの面から考えた。即ち

1) 濃度レベル；各スリット(写真上の0.2mm四方)の平均濃度：対象となる物体の種類(岩体一岩種、岩塊、岩層、土壌、植生種類、植生の成長度合、枯渇状況など)や地物の凹凸によって写真撮影時の反射率が変わるので、写真上を走査すると細かく振動する濃度波形が得られる。走査用スリットが小さければ、それに比例して細かい振動が多く、スリットが大きければ濃度波形はなだらかなカーブとなる。濃度レベルは対象区域の等質地盤・地物に対応して同レベルを示す。

2) 波高(振幅)とその変化；測定対象となる地形・地物によって出力が異なりこれが各波形の波高値となって表現される。また氷堆石など或時期に押し出された岩層体とか、ほぼ等質の漂礫体などが存在する場合、類似の波高値が複雑に変化し「ゆらぎ」を示す。時期の異なる土塊は、その上の植生の成長度合いや植生の種類等は時期別にはほぼ等質(土塊の風化度合、堆積時の岩層・岩体の類似性)の場合が多いため、複合濃度の波高・波低等の特徴が類似する。

上記の1)、2)の特徴から、図-6に示す当地域の濃度波形の例についてつぎのような各濃度レベル、波高変化と地盤条件を対応させてみた。即ち図中1、2...5について

1. 写真上の区域区分のためのグリッド線

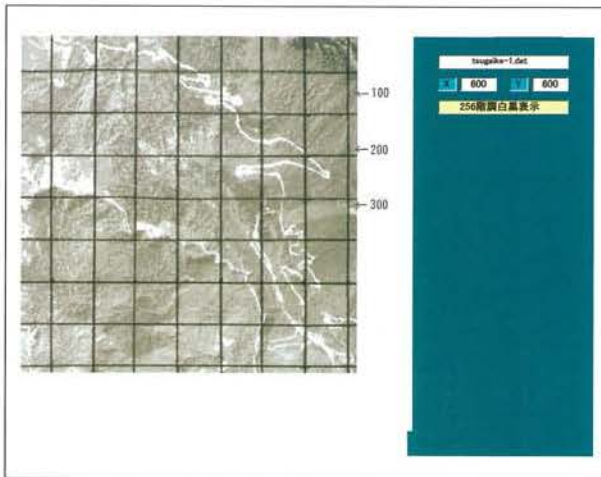


図-6 桐池高原とその周辺の256階調白黒表示画像

ここでは0.2mm四方スリットを用い、写真上のX軸Y軸方向に順次走査し、各移動点の濃淡に比例して変化する光電子倍增管の出力電圧の差を信号にかえ、濃度波形・分布等の資料を抽出した。本図を基本に図-6～13を解析図化した。

2万分の1航空写真を使用した場合、現地における4m四方の平均濃度を把握していることになる。本図の画素数は600×600画素である。図中100, 200, 300等の線は濃度波形位置を示している。

(中村三郎 2001)

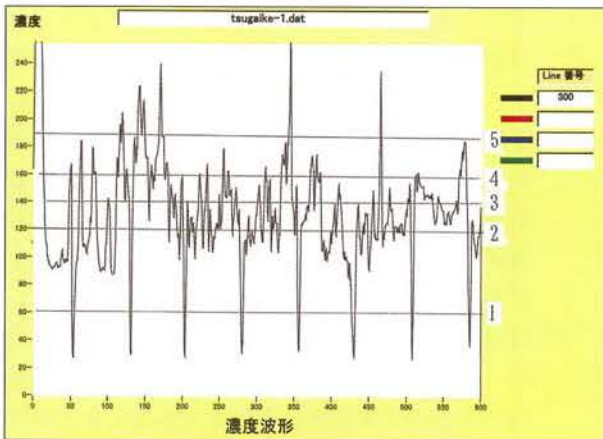


図-7 図-6、Y300位置の濃度波形

各波高位置(1, 2, 3, 4, 5)と地形・地物条件、レベル120～190の区間ほぼ類似の波高・波低値のレベル範囲で示される「ゆらぎ」がみとめられる。

(中村三郎 2001)

2. 岩盤およびミヅナラを主とする落葉広葉樹林地帯
3. 岩屑土(時に氷堆石岩屑土)とダケカンバ、高茎草原帯
4. 氷堆石等の卓越する化石岩屑土帯およびオオシラビソ、シラビソ帯
5. 基盤岩体の滑落跡、崩壊域、人工構築路面とそ

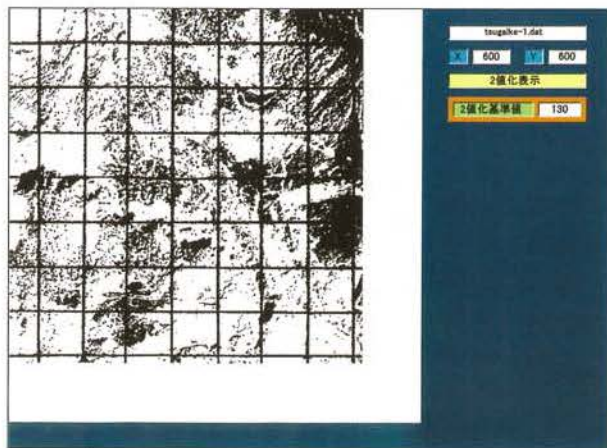


図-8 2値化画像(レベル130)

(中村三郎 2001)

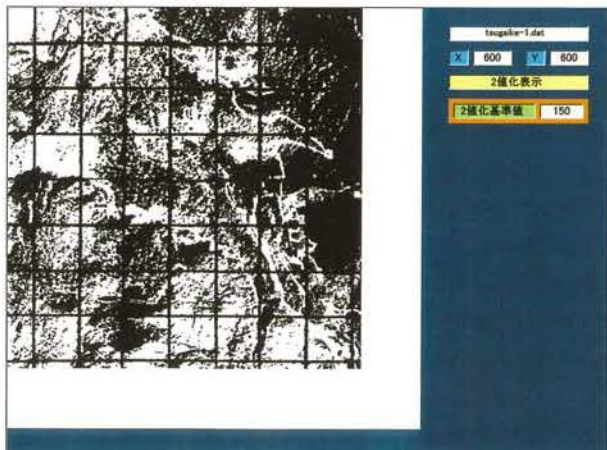


図-9 2値化画像(レベル150)

(中村三郎 2001)

の周辺の地形改変部分

氷堆石体域は漂礫体は勿論のこと、山腹・山麓の押し出し地形・地盤は、形成された当初比較的わかり易い形態を示しているが、年数の経過とともに浸食による地塊の低平化・土地利用変化などによって周縁地形との差がなくなり、判別が困難となってくる。しかし低平化しても地塊部分を構成する物質が異質であれば、例え起伏は小さくとも写真上のトーンが異なるため、濃度レベル、波形等に微妙な差が現われる。当該地区の標高1000m以上の部分には、新旧の氷堆石ゾーンの分布が多く、濃度波高の変化ゾーンも広域にみとめられる。

当該地域における濃度分布と地盤の凡その特性について、大きく2つのゾーンを考えることができる。1つは基盤岩地域或は長期間安定している沖積地帯と一部の植生域である。濃度レベルは一般に低く、

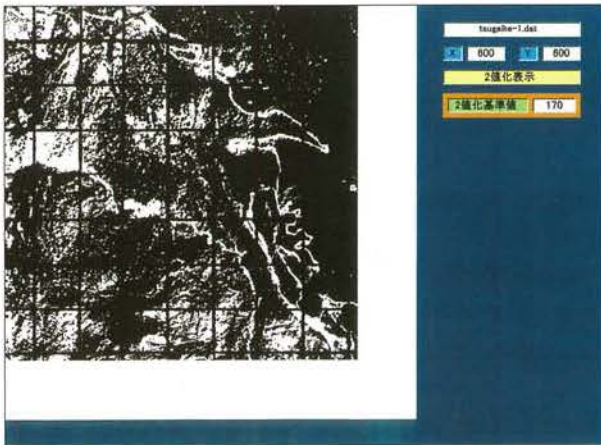


図-10 2値化画像 (レベル170) (中村三郎 2001)
氷堆石域、岩屑流体部分が現れている。

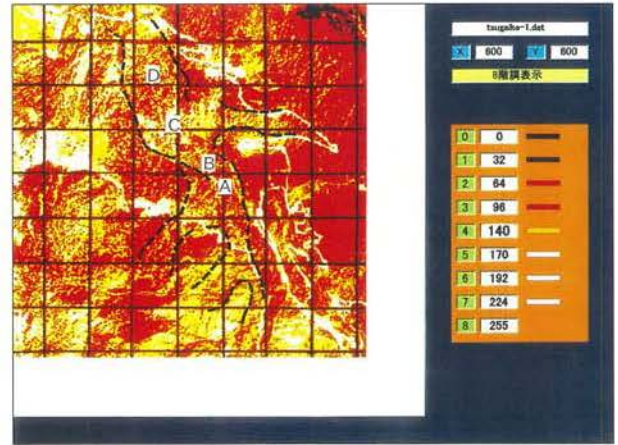


図-12 8階調表示、4値化画像 (中村三郎 2001)



図-11 2値化画像 (レベル190) (中村三郎 2001)
氷堆石、岩屑流体主要部

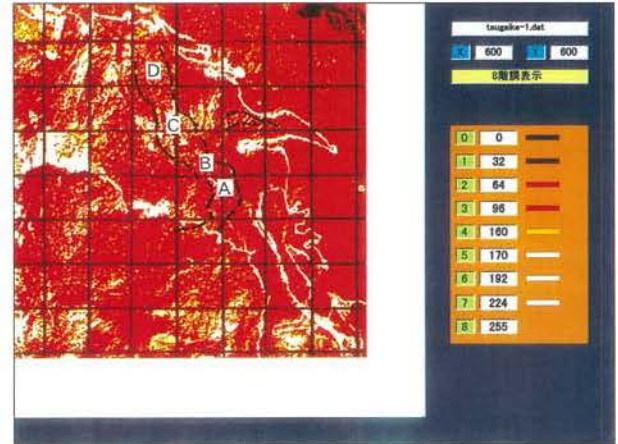


図-13 8階調表示、4値化画像 (中村三郎 2001)

前記1・2の地帯である。他は岩屑土帯、氷堆石地帯、火砕質物地帯、土石流帯および人工構築路面と地形改変部分。前記3・4・5等の濃度レベル帯で示される。濃度レベル5のゾーンは画像で判読し易いが、3・4の中間濃度帯の描く波形の「ゆらぎ」と地盤条件の対応は複雑である。基本的には基盤岩層・岩屑土（氷堆石）と地表の植生との関係であるが、当該地域はたまたま高山帯・亜高山帯であるため、樹種等が限られており、一般に低木のために岩盤との関係が濃度パターンに反映し易く、地盤条件を認識し易い。ダケカンバ、高茎草原、ミヤマハンノキ、シラビソ、コメツガ等亜高山帯の植生状況は岩屑土等の地盤条件が微妙に反映する。岩塊流或は土石流体の一部が再度崩壊したり、風化のため土壌成分が卓

越したり、湧水などの影響があると、植生の樹冠や活性の度合や、繁茂の度合に反映し易く、それが濃度パターンに微妙に反映する。一般に岩塊の卓越するいわゆるガラ場の濃度レベルは反射率が高い。そして安定域であればその濃度帯は団塊状のブロックで認識できる場合が多いが、そんな条件の中でも不安定化すると、一部が徐々に団粒状の白色パターン、或は黒色パターンに様相が変化してゆく。この場合は現地の露頭や植生とのかかわりをチェックする必要がある。

図-8, 9, 10, 11は当該地域濃度の2値化画像の変化を求めた例である。ここでは多数の2値化画像のうちレベル130, 150, 170, 190のみを取り出してみた。その結果白・黒パターンが消去したり増加したりす

表-1 濃度分布パターン（判読の目安）

濃度レベル	白ゾーン	黒ゾーン	氷堆石の目安
150	<ul style="list-style-type: none"> 人工構築路面地形改変部分（道路） 山腹の崩壊域 岩屑・岩盤部分 河川河床礫等のゾーン（団塊状） 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤・岩屑域で植生繁茂域 人工構築植生域（スキー場など） 岩屑・土石流域 山腹山頂植生域（団塊状） 	<ul style="list-style-type: none"> 不明
170	<ul style="list-style-type: none"> 山腹・山麓の崩壊堆積域 河川・河床礫等のゾーン 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤・岩屑域で一部で風化変質のすすんだ植生域（団粒状分布） 人工構築植生域（スキー場など） 山腹山頂植生域 	<ul style="list-style-type: none"> 一部氷堆石或は側堆石ゾーンと考えられる部分が帯状に観察できるが、現地における堆積物の確認が必要（団粒状・粒線状）
190	<ul style="list-style-type: none"> 人工構築路面地形改変部分 岩屑等の押し出し堆積面 岩盤部分の変質（団粒状に変化） 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤・岩屑土塊の風化、変質のすすんだ植生域（団粒状の変化） 	<ul style="list-style-type: none"> 氷堆石の末端堆積域、粒線状にみられる部分は側堆石パターン。団粒状部分は変質しつつあるゾーン。

（中村三郎 2001）

表-2 濃度分布パターンと地盤条件追跡の目安

濃度レベル	カラー表示	地盤条件
0～63	黒色	安定した岩盤・植生域
64～139	赤色	安定した岩盤・植生域・一部漂礫土
140～169	黄色	氷堆石・岩屑流と考えられるゾーン
170～255	白色	岩塊・道路等人工構築路面等地形改変地

（中村三郎 2001）

るが、図示した例で白色パターンが順次団塊状・団粒状或は粒線状に縮小・変化・変形している（図-9）。150, 170, 190の各濃度レベルにおける白黒パターンと地形・地物の関係、更に氷堆石の状況把握との関わりの目安について次の表のようにまとめてみた（表-1）。

更に白黒パターンの変化のはげしい部分を4値化カラー画像として表現してみた（図-12, 13）、（表-2）。図-12の図中濃度レベル140～169（黄色部分）は岩屑流体或は氷堆石体で、特に図-13の160～169のゾーンはその主要部分が表現されているものと考ええる。図-12C地区付近とD地区は濃度パターンの変化が激しく、現在の地すべり性挙動域A・B地区北西部のC・D地区周縁部分については地塊安定上留意すべき「ゆらぎ」のゾーンと考えた。A・B地区の地すべり性変異に加え、図-12・13の破線で囲った部分は、氷堆石・氷堆石堤或は漂礫土の一部であろうか。このゾーンの中の特に団粒状に変化する部分は、本来安定な氷堆石の



写真-1 姫川左岸褥池高原と北アルプス山地の地形

（長野県提供 1999）



写真-2 カレッジフィヨルド沿いの大氷河と山腹の周氷河緩斜面
氷河が融けると北アルプスとそっくりの景観が予想される
(中村三郎 2001)



写真-3 ハーバード氷河南西末端
(中村三郎 2001)

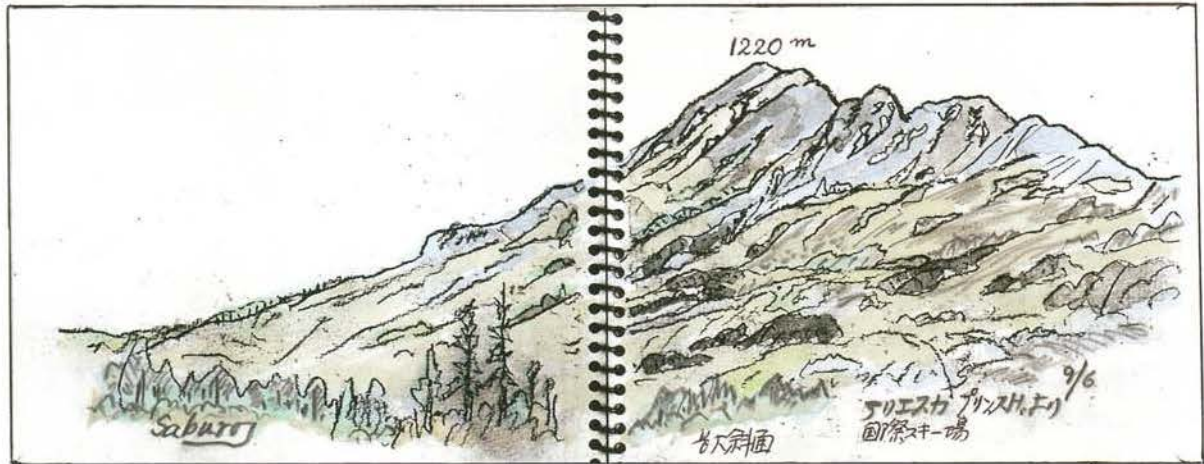


図-14 アンカレッジ南東 アリエスカリゾートの長大斜面
(中村三郎 2001)

部分に変質し、徐々に不安定化しつつある部分と考えられる。崩壊域でこの種の計測作業をすると、崩壊転移ゾーンの濃度パターンが、しばしば地塊状から団粒状に変化している場合が認められる。更なる調査による確認が必要である。

5. 長い歴史をこえた共通の地形

写真-1は北アルプス梅池付近の景観である。梅池(Ts)高原背後の長大なスキー場、更にその上位背後には、巾広い緩斜面(Gs₁,Gs₂)が白馬～小蓮華山の峰をとりまくように発達し大規模な埋積性の地塊をつくっている。氷期～後氷期における河川的作用をみると、氷河期、上流部では岩屑の供給が河川の

運搬作用を上まわり、下刻のすすんだ河谷は氷河性の岩屑によって埋積もされている。更にその下流域も、水位の上昇或は水量の増加に伴い堆積がすすみ一連の緩斜面が形成されている。

凡そ北緯60°以北に位置するアラスカには、大小10,000もの氷河がある。したがってその周縁には、標高の低い位置においても現実に形成されつつある周氷河地形を観察することが出来る。アラスカ南部に点在する氷河は、今も活発な動きをみせている。最近は、温暖化の影響もあり、これらの氷河の流出は以前の5倍のスピード(コロンビア氷河では、1～2m/日が今日7～10m/日)に達しているという。氷河の跡にはエゾ松や、アメリカ桐が繁茂している。

アンカレッジ南東約60kmにスキー場として有名なアリエスカリゾートがある。山頂1220mの山腹には、長大斜面を利用した滑降距離5kmの見事な国際的スキー場である。この長大斜面を眺望すると梅池高原の景観とそっくりである。更に北東のカレッジフィヨルド沿いに発達する氷河および周氷河の氷雪を剥ぎ取った状況を考えると、梅池周辺とよく似た地形を推測することが出来る。梅池上部の地形主体は、過去2万年以降数千年前につくられた緩斜面であり、アリエスカやカレッジフィヨルドで見る写真-2の景観は、今日つくられつつある周氷河地形である。緯度を変えて観察すれば、長い歴史をこえた共通の周氷河地形をみる事が出来る。

今日と異なる気候条件下で大規模崩壊や周氷河地形がつくられ、その後安定している場合、もし古環境にすこしでも近い環境がととのえば、この種の潜在地盤が挙動し、大規模崩壊が発生する可能性も考えられる。地球の温暖化が取沙汰され、しかも予想以上のテンポで温度環境がかわりつつある今日、中・高山間地における周氷河地形由来の地塊の不安定化も例外ではない。最近北アルプスでは、標高1000m～1300m以上に分布する周氷河性堆積面と考えられる部分の変異もしばしばみとめられる。これらの徴候も画像上大きな“ゆらぎ”となって認識把握出来る筈である。航空写真で把握し得る単純なトーン、そして濃度波形の描くゆらぎであるが、今後貴重な情報として見過し得ないものがある。

本小文をまとめるにあたり、現地において和沢伊久夫、山辺康晴、飯沼達夫、野田聡の各氏に終始お世話になった。また、地すべり地形図・断面図・現在までの地すべり変動に関する見解等は長野県及び土木研究所の資料に困った。図-1, 2, 3の調整作業等に際しては、菊山浩喜、安藤潤両氏のお世話になった。記して深く謝意を表します。

参考文献

- 貝塚夾平 (1977) : 日本の地形, 岩波新書, 234P
吉川虎雄 (1985) : 湿潤変動帯の地形学, 東京大学出版会, 132P
小畦尚 (1988) : 第四紀後半の日本の山地の地形形成環境, 第四紀研究, 第26巻, 第3号, PP.255~263
小崎尚 (1982) : 日本の高山地形, 地理, Vol.27, No.4, PP.13-20
小崎尚、国沢修一 (1977) : 白馬・朝日連峰東斜面の氷河地形、日本第四紀学会研究発表会要旨。
小林国夫 (1955) : 日本アルプスの自然, 築地書館, 258P
清水文健・東郷 正美・松田時彦 (1980) : 日本アルプス・野口五郎岳付近における小崖地形の成因, 地理学評論, 53-8, PP.531~541
信州植生研究グループ (1971) : 長野県現存植生図, 長野県
信州地学教育研究会 (1980) : 長野県地学図鑑, 信濃毎日新聞社, 300P
第四紀地殻変動研究グループ (1969) : 第四紀地殻変動図, 国立防災科学技術センター
土木研究所地すべり研究室 (2000) : 土砂災害の考察, (財) 砂防・地すべり技術センター, 土砂災害の実態2000, PP.36-37
中村三郎 (2001) : 白い馬の見える風景, 砂防だより (神奈川) 第6号, PP.7~9
平林照夫 (1971) : 北安曇誌編集委員会編「北安曇誌」第1巻自然, 第1編地形・地質, PP.25~247.
丸山泰隆、森孝之、内藤哲、塚原健太郎 (2001) : 杉ノ木地すべりの発生機構, 林野庁地すべり対策協議会資料, pp1-4