

シュミット投影法の地すべりへの二、三の適用

田中耕平*

国立防災科学技術センター

Some Applications of the Schmidt Projection to Landslides

By

Kohei Tanaka

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

In surveying landslides it is an important step to define the shapes and movement styles of landslides from the standpoint of disaster prevention. For that purpose, data which are obtained in the field must be treated objectively and statistically. One of the methods suited to data processing in this way may be the Schmidt projection. Though this projection has not widely been utilized yet in studies of landslides, there are some cases that the shapes and movement styles of landslides can be defined easily by the projection of planar and linear structures of rocks. Several instances of practical use of the projection, as contrasted with theoretical projections, are shown in this paper.

1. まえがき

防災的見地からの地すべり調査は発生した地すべりの性状や特性を適確に把握し、最適な対策を講じる資料をうると共に、当該地すべりから一般的性質を抽出し、それを基として将来起こるであろう同様の地すべりを未然に予知し、防止する目的のため行うものである。そしてその内容は大きく地すべりの構造と運動という二つの面から行われており、その方法も多岐にわたっている。しかしながら、現在行われている地すべりの研究は地すべりの現在活動している部分の運動的側面により多くの注意が向けられ、過去の活動ないしは構造的な面での追求が十分になされていない危惧を感じる。この問題に対処するためには地すべり調査のフォーマットを早急に作成すると共に、特に過去の運動や構造的調査をもっと重視し、現地踏査による地質図・断面図の作成はもちろんであるが、さらに野外で得られたデータをより客観的に示すことが必要と思われる。ここで提唱するシュミット投影法の活用はその試みの一つである。この方法は中川(1977)により、すでにその価値は述べられているが実際の地すべりに適用した例をここに二、三紹介する。

* 第3研究部地表変動防災研究室

2. 地すべりの分類

今、対象とする地すべりの特質を把握するためには、それが地すべりの基本的な型のうちどれに属するかを見別けること（分類）から始まる。このように分類とは自然現象の認識を行うための基本的な手法であるが、認識の目的により、その基準も異なり、多種多様な分類が可能である。まず地すべりの分類を行うためにはその基準の設定が問題であるが、この問題に関しては、植村（1975）の詳しい論議がある。その整理結果によれば、いわゆる素因について、次のようなものがあげられている。

(1) 幾何学的概念の基準

形態——すべり面の形態、地すべり地塊の形態など

(2) 物理学的概念の基準

運動——運動型式・運動の持続性・運動の波及性・運動速度など

材料——種類・物性など

(3) 地質学的概念の基準

地域性——地質・地形など

時代性——活動時期・年代など

歴史性——発展・進化の段階・系列など

地すべりの純粋な学問的な考察には、(2)の材料ならびに運動に注目して、斜面角度と材料の内部摩擦角を基準とした駒村（1975）の分類が有効であろう。しかしながら、今ここで注目している地すべりの研究にはこの分類は適当ではない。この問題のためには上記の植村（1975）の整理結果のうち(1)ならびに(3)に示されているような基準を使用する必要がある。そのうち特に(1)のすべり面の形態や地すべり地塊の（運動）形態に注目する必要がある。このような点に着目した分類としては谷口（1963）、Varnes（1975）等々の分類があげられるが、ここでは D. J. Varnes（1975）の分類を表1に示す。これは移動様式と材質を基準とした分類である。表に示された移動様式は Fall, Topple, Slump, Glide, Slide, Spread, Flow である。地すべり調査では地すべりがこれらの移動様式のどれに属するかを知ることが第一に必要なことである。しかし、羽田野・大八木（1977）は Varnes の表の欠点として「①地すべり跡地の観察だけでは移動様式の判定が困難な事例が多いのではないか。②移動体は二つ以上の型の物質で構成される場合が稀（まれ）でなく……」などの点をあげている。しかしながら、シュミット投影法の利用により、岩石のもっている種々の面構造や線構造を大局的に知ることができれば、①の欠点を大きく補うと思われる。またシュミット投影法の利用はこれらの移動様式の識別のための補助手段として有効なばかりでなく、移動様式にさらに細かい検討を加えることができる。シュミット投影法は材質が Debris や Earth の場合は利用価値は半減するが、たとえこれらの材質でもすべり面上の条線のような線構造の統

表 1 地すべり分類表 (D. J. Varnes; 1975)
Table 1. Classification of slope movement

Type of Movement			Type of Material		
			Bedrock	Engineering Soils	
				Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS			Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES			Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	FEW UNITS	Rock slump	Debris slump	Earth slump
	TRANSLATIONAL		Rock block glide	Debris block glide	Earth block glide
		MANY UNITS	Rock slide	Debris slide	Earth slide
LATERAL SPREAD			Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS			Rock flow (Rock creep)	Debris flow (Soil creep)	Earth flow
COMPLEX			Combination of two or more principal types of movement		

計処理などには有効であろう。

このようにしてすべり面の形態や移動様式を知ることが実際の対策工事を行う上ではさぶる重要な問題である。たとえば、地図上で同じ面積の地すべりでも Slump か Slide かの違いによって、対象とする土量やすべり面深度に大きな差が出てくる。それによって行われる対策工事は当然違ったものとなる。このため対策工事を行うまえに綿密な調査が必要であり、特に概査段階で、表面構造調査やシュミット投影法が活用される必要がある。

3. シュミット投影

地表で一つの面を規定する場合、基準となるのは水平面と方位である。地質学ではこの二つの基準から、走向と傾斜によって一つの面を規定している。シュミット投影も基準を方位と水平面にとっているのので、野外調査で得られたデータをそのまま利用することができる。

そこで例として N50° E 40° SE の面を投影してみよう。図 1 に示すように半球を考え、赤道面を設定する。赤道面にはそれぞれの方位がついている。次

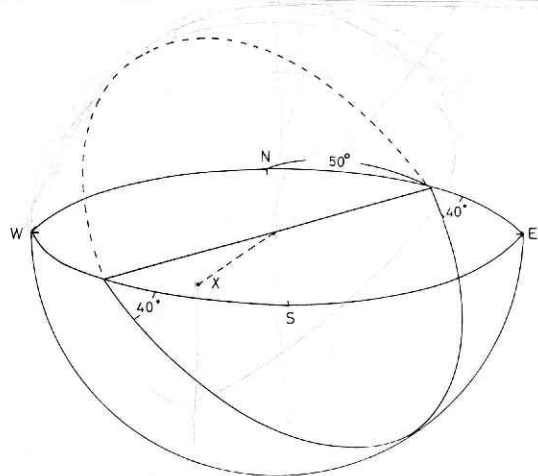


図 1 球面投影法
Fig. 1 Spherical projection

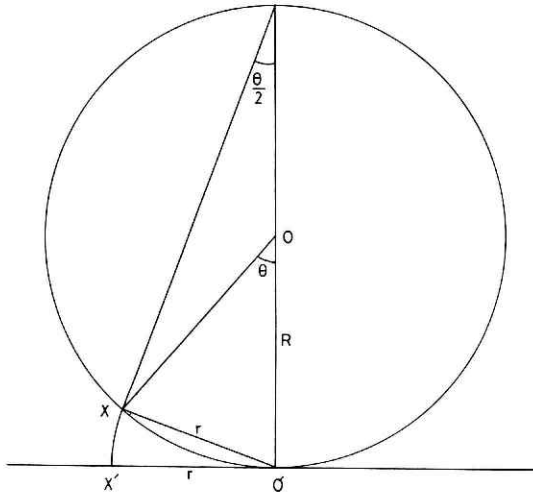


図 2 シュミット投影法
Fig. 2 Schmidt Projection

に投影される面と赤道面の交線が、北から50°東を向き、しかも赤道面と40°の角度で交わり、SE方向がさがっている状態に設定する。ここで設定した面に法線をたて、下半球との交点をXとする(球面投影)。さらに図2に示すようにXをX'に投影する。ここで、 $O'X = X'O' = r = 2R \sin \frac{\theta}{2}$ となる。傾斜が40°なので、 θ は50°である。さらにRを決めればO'X'の長さが決まる。これがシュミット投影法であるが、球面投影を一つの平面に投影する方法としては、他にステレオ投影法やグノ

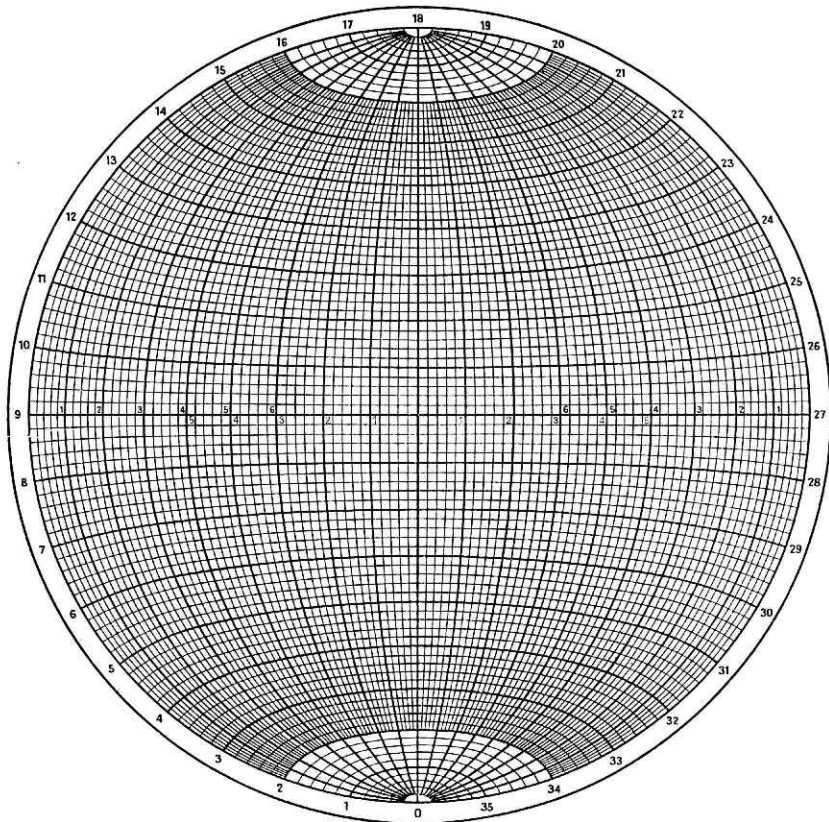


図 3 シュミット・ネット
Fig. 3 Schmidt net

モン投影法等がある。ステレオ投影法は球面上の投影点と球面の南極（または北極）に相当する点とを直線で結び、この直線が赤道面と交わる点を求める。この投影法の特徴は、球面上の大円、小円いずれも円として投影され、作図が容易であること、球面上での大円と大円との間の角はステレオ投影上の相当する円と円との交角に等しいことである。グノモン投影法は球面上に投影された各点をその球の中心と結び、その直線の延長が球の北極に接する平面と交わる点をもって投影点とする。この投影法では投影面に垂直なものと球の大円は直線として、また投影面に垂直な小円は双曲線として投影される。これらに比較して、シュミット投影法では球面上の等しい面積は、投影面上でも等しい面積として表現される。このため単位面積当りの頻度を調べるにはシュミット投影法が便利である。この目的のため、 2° 刻みの角度で投影された等面積のネットが作成されている(図3, シュミット網)。通常はこのネットを使用して簡単にシュミット投影図を作成できる。線構造の場合は、設定した面にたてた法線のかわりに、得られた線構造の方向をそのまま利用すればよい。このようにして円内に多数の点がプロットされるが、その点の配列の仕方により種々の考察が可能となる。

4. 面構造と線構造

地層中には種々の面が存在するが、単に1枚だけの面が存在したのでは、それをシュミット投影に利用することはできない。だが一般に地層中の面構造はある規則性をもったいくつかの面の集合体であることが多い。すなわち堆積岩では層理面や偽層面があるし、火成岩では流理面などから柱状節理や板状節理などの節理面、時にはある特定の鉱物の存在により一つの面が形成されることもある。さらに変成岩なかでも結晶片岩には多くの面構造が存在する。図4は結晶片岩の面構造と線構造を示した図であるが、層理面から発達した層面片理面をはじめとして、軸面劈開面や細密劈開面が特定の方向をもって配列している。このように岩石ないしは地層の形成と同時ないしは直後に形成された面とは別に後の地殻変動によって形成された断層面なども多くの示唆を地すべりの解析に与えてくれる。さらに線構造も同様であるが、これは一般に面と面の交線によって形成される場合が多い。特に顕著なものとしては結晶片岩の軸面劈開面と層面片理面の交線である“縮緬(チリメン)ジワ”の線構造があげられるが、これも特定の方向をも

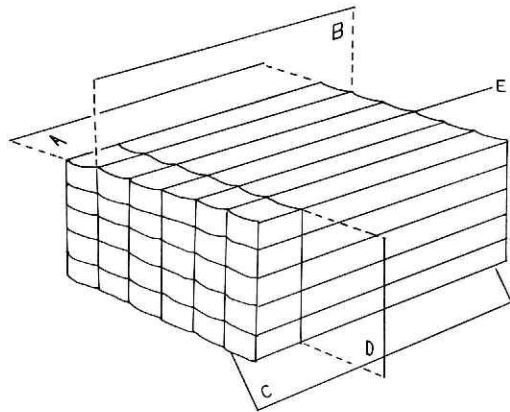


図4 結晶片岩の面構造と線構造
A: 層面片理面, B: 軸面劈開面, C: 細密劈開面,
D: 横断節理面, E: 線構造

Fig. 4 Planar and linear structures of crystalline schist

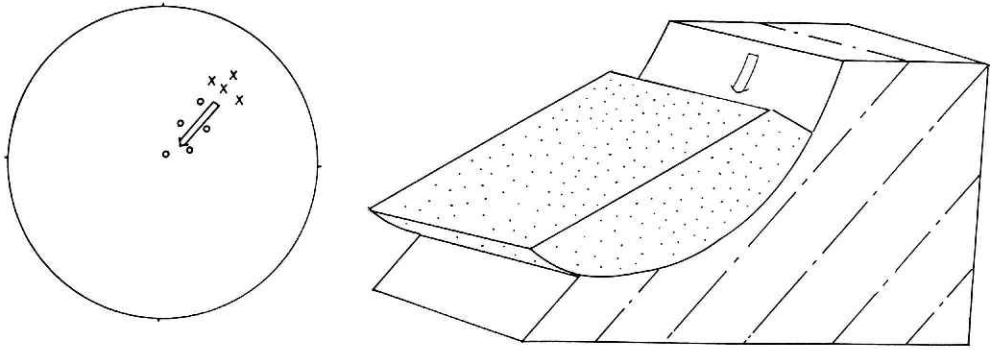


図 5 Slump 型

× : 不動域の面構造の極の投影点
○ : 変動域

Fig. 5 Slump type

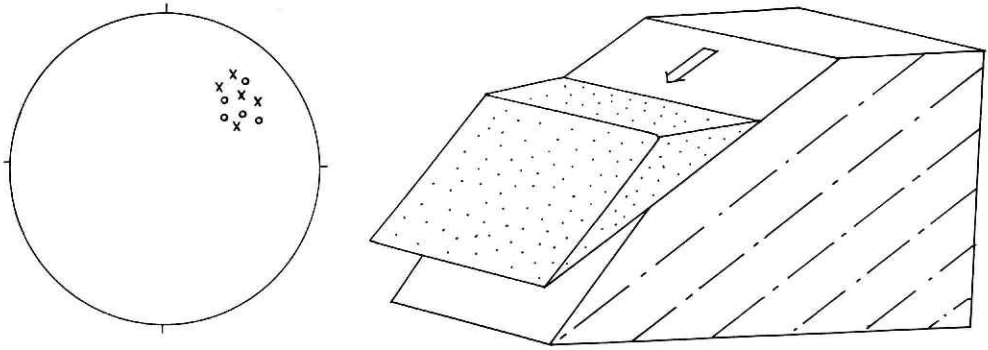


図 6 Glide と Slide 型

× : 不動域の面構造の極の投影点
○ : 変動域の面構造の極の投影点

Fig. 6 Glide and Slide type

って配列している。なお鉱物の配列や特殊な岩石構造から線構造が形成される場合もある。また後の地殻変動により地層が褶曲(しゅうきよく)している場合も地すべり地以外のデータの解析から知ることができるので、その効果を前もって差し引けば、同様の解析を行いうる。

5. 地すべりの移動様式別のステレオ投影図

地すべりの各々の移動様式がシュミット投影図上でどのように表現されるかを見てみよう。

(1) Slump 型

図 5 に示すようにこの型は円弧すべりであるから、地層の傾斜は地すべりの末端に行くほど水平に近くなり、投影図では円の中心に点が移動してくる。また地すべり上部は移動がすくないためもとの地層の傾斜に近い。このため、不動域の面構造の投影点の集中域から、投影図の中心に向かって地すべり地の面構造の点が順次ならぶ。実際の Slump 型の地すべりは下端部の上に後からきた部分が乗りあげ一部逆傾斜を示すような場合も存在する。この場

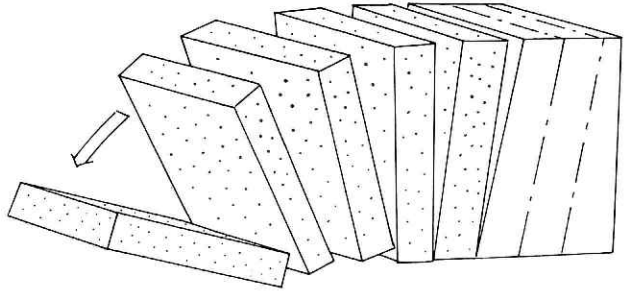
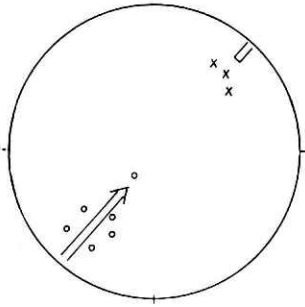


図 7 Topple 型
 × : 不動域の面構造の極の投影点
 ○ : 変動域
 Fig. 7 Topple type

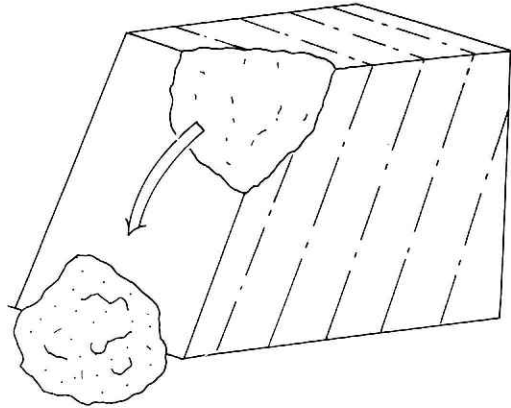
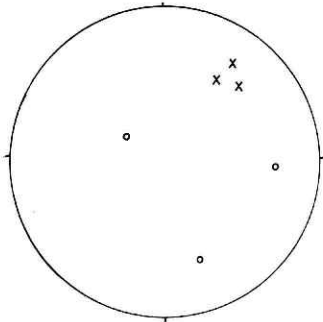


図 8 Fall 型
 × : 不動域の面構造の極の投影点
 ○ : 変動域
 Fig. 8 Fall type

合は面構造の極が投影図の中心を越えて、一部は反対側に分布するようになる。

(2) Glide と Slide 型

図 6 に示すように層すべりであるから、地層の傾斜に変化はない。このためシュミット投影では、ある点を中心として、変動域、不動域の点が集中する傾向となる。これだけからでは Glide 型と Slide 型の区別は困難であるが、さらに線構造などを利用して細かい検討を加えれば、両者を別けることが可能な時もある。

(3) Topple 型

図 7 に示すように、いわゆる前倒れであるから、Slump 型と同様に地層の傾斜は末端にいくほど水平に近くなり、図の中心に点が集中してくる。しかし、Slump 型とはその回転の方向が逆となるため、区別が可能である。

(4) Fall 型

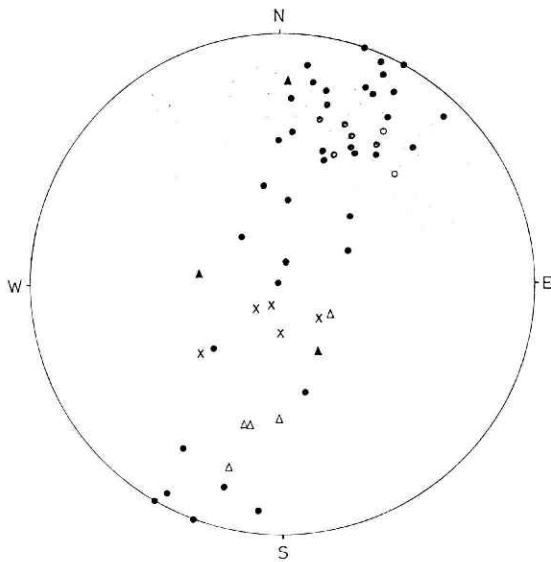


図9 木藤地域の層面片理面のシュミット投影図
 ●：不動域，▲：調査地すべり以外の地すべり変動域，○：調査地すべり上部の砂質片岩，△：調査地すべり中部の黒色片岩，×：調査地すべり下部の緑色片岩

Fig. 9 Schmidt projection of the bedding schistosity in the Kito area.

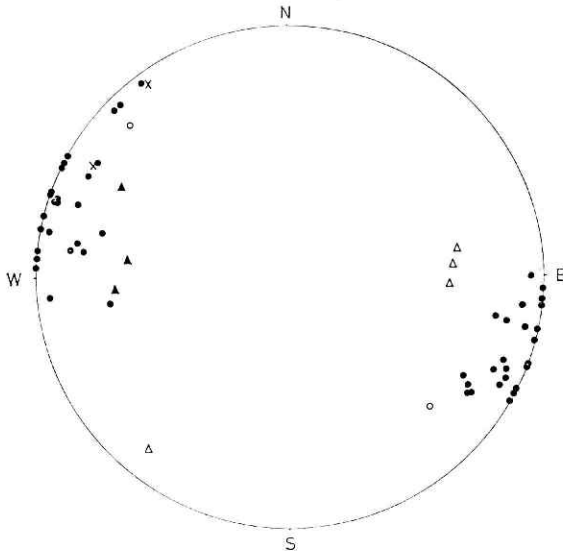


図10 木藤地域のリネーションのシュミット投影図
 ●：不動域，▲：調査地すべり以外の地すべり変動域，○：調査地すべり上部の砂質片岩，△：調査地すべり中部の黒色片岩，×：調査地すべり下部の緑色片岩

Fig. 10 Schmidt projection of the lineation in the Kito area.

図8に示すように、この型は今までの型とは異なり、移動体がもとの岩石の面構造とはなんら関係のない運動をしているので、投影図上でもその傾向が示され、不動域の面構造の点の集中域と変動域の面構造の点の間には、なんら関係を見出すことができない。

6. 適用例

いままで述べてきたシュミット投影法を実際の地すべりに適用してみる。

(1) 徳島県三好郡三加茂町木藤地すべり

この地すべりは現在は表面の崩積土だけが移動していて、基盤は動いていないが、過去に岩盤すべりを起こしたことがシュミット投影法の利用により知ることができる例である。地すべりは南西から北東に向かって伸びる尾根の南東側斜面に位置し、地質構造はN70°Wで傾斜が60~80°Sの単斜構造と考えられる。この地すべり地と周辺の結晶片岩の層面片理面のデータを投影したのが、図9である。この図からN70°W(地質構造の走向方向)・水平を軸とする回転の影響が考えられ、その運動はSlump型である。しかし、地形(尾根の伸びN45°E)方向での回転は、その方向が、点の分布する方向と近いためわからない。中腹の黒色片岩は北東側側方滑落崖付近からのToppleか、あるいは末端に乗りあげたSlumpの二通りの可能性が考えられる。さらに図10は同じ場所の“縮緬ジワ”線構

造のシュミット投影図である。

この図からは地形（尾根の伸び、 $N45^{\circ}E$ ）方向での回転の影響が認められる。このことから、この岩盤すべりは地質構造と地形の規制を受けた **Slump** 型のすべりであることが理解できた。

(2) 徳島県三好郡山域町黒川地すべり

この地すべりは現在活動していて、県の治山林道課によって対策工事が行われている。地質構造は三波川結晶片岩が走向 $N60^{\circ}E$ 、傾斜 $15\sim30^{\circ}NW$ で単斜構造を示している。また地形と地質構造の最大傾斜の方向は大略一致しているが、地質構造の方がやや東寄りである。この地すべり地と周辺の結晶片岩の層面片理面を投影したのが図11上図である。図に示されるように不動域の点と変動域の点はほぼ同じ場所に分布する。これは前節で述べた層すべりの傾向である。また図11下図は“縮緬ジワ”線構造のシュミット投影図である。この図で点線は層面片理面の点の集中域に対する直角方向の軌跡の **Girdle** で、この点線沿いに点が分布するから、線構造からみても層すべりであることが示されている。また岩体は多少時計回りの回転をしていることもわかる。この回転は地形

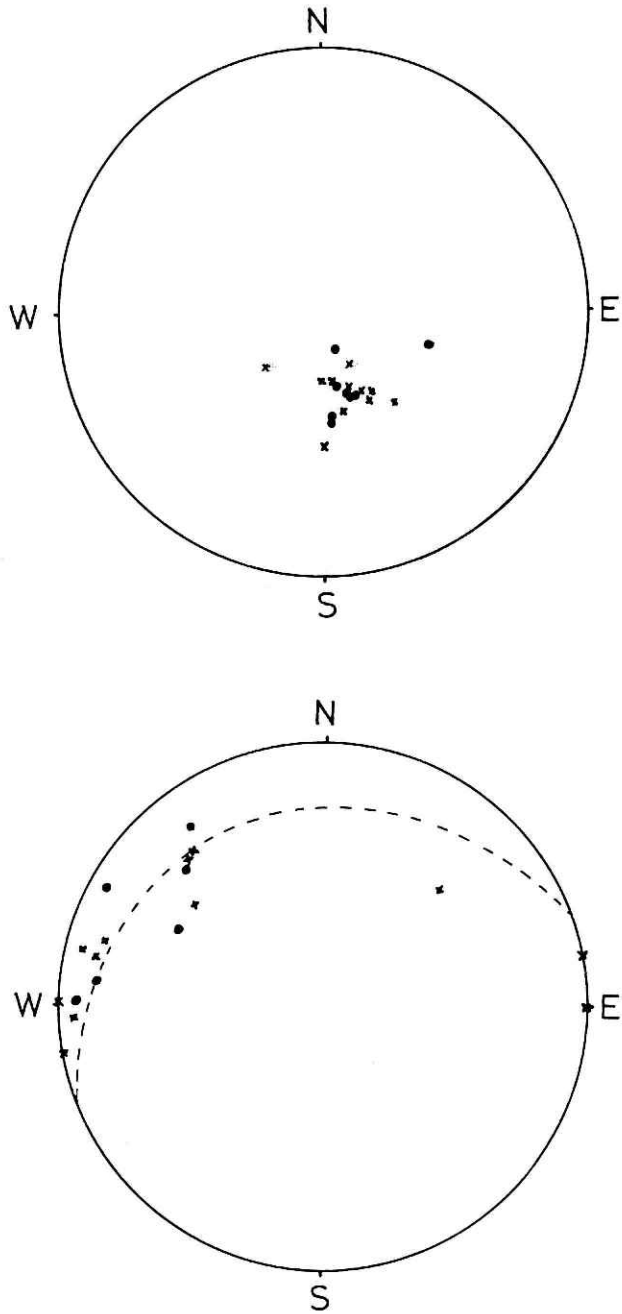


図 11 黒川地域の層面片理面とリネーションのシュミット投影図

×：不動域，●：変動域

Fig. 11 Schmidt projection of the bedding schistosity and the lineation in the Kurokawa area.

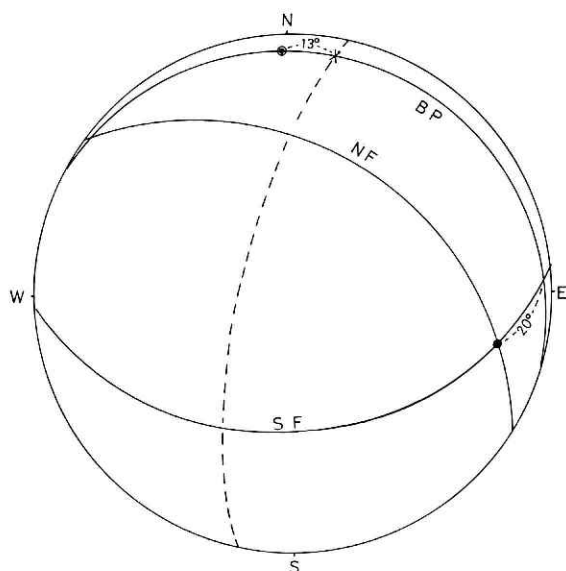


図 12 地すべり地末端部江迎川左岸にみられる褶曲軸と地すべり移動方向との関係

シュミット網による南半球投影
BP: この地点周辺の一般的な地層面, NF: 褶曲の北翼, SF: 南翼をあらわす, ●: 褶曲軸 (b 軸), ×: 一般的な地層面上で褶曲軸に垂直な方向 (≒ a 軸), ●: 地すべりの移動方向. この褶曲が地すべりで形成されたとすれば, 理想的には●と×は平行すなわちこの図上で一致しなければならないが, 13° 斜交している.

Fig. 12 The relation between the folding axis and the movement direction of the landslide on the left bank of Emukae river.

と地質構造の最大傾斜方向の小さな違いに起因するであろう。点の分散からして岩盤はいくつにも割れて動いている傾向がある。

(3) 長崎県北松浦郡江迎町鷲尾岳地すべり (大八木ほか, 1970)

この例は, シュミット投影を地すべりの移動様式の識別のために利用したのではなく, 地すべり地末端の褶曲と地すべりの移動方向との関係を論じるのに利用したものである。図12に示すごとく, 褶曲軸に垂直な方向と地すべりの移動方向は 13° 斜交している。この原因としては, 地すべりの変動にともなって, この部分が分離し, 回転して河床上にのし上げたためと推定されている。

7. あとがき

防災の見地からの地すべり調査では, 地すべり形態や移動様式を明確にすることが重要な課題である。今まではそれは調査者の経験から大局的に判断されることが多かった。しかしながら, ここで示したシュミット投影法を利用すれば, 簡易な器具で走向と傾斜を測るだけで地すべりの移動様式やその他の考察をすることができ, 地すべりの構造調査に多少とも客観性をもたせられる。この方法が広く利用され, 地すべり調査に益することを願う。

最後に, 日頃指導していただいている大平成人所長, 大八木規夫室長に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 羽田野誠一・大八木規夫 (1977): 地くずれ (landslide) と関連現象の分類試案. 第14回自然災害科学総合シンポジウム, p.321.
- 2) 駒村富士弥 (1975): 第三紀層地すべりの発生と予測に関するレオロジー的研究. 第三紀層の地すべり発生と予測の研究. 79-88.

シュミット投影法の地すべりへの二、三の適用—田中

- 3) 中川衷三 (1977) : 徳島県の地すべりの骨組. 破碎帯地すべりの地質学的な特性, 農業土木学会中国四国支部, 16-21.
- 4) 大八木規夫・大石道夫・内田哲男 (1970) : 北松鷲尾岳地すべりの構造要素. 防災科学技術総合研究報告, 第22号, 115-140.
- 5) 谷口敏雄 (1963) : 地すべり調査と対策. 山海堂.
- 6) 植村 武 (1975) : 地すべりの分類と予測. 第三紀層の地すべり発生と予測の研究. 3-12.
- 7) Varnes, D. J. (1975) : Slope Movements in the Western United States Mass Wasting, 4th Guelph Symposium on Geomorphology, 1975, 1-18.

(1978年6月7日原稿受理)