

環境地質学と地すべり・崩壊

木野 義人 (環境地質部)

1. 環境科学としての環境地質と地すべり崩壊の研究

環境科学を自然科学の範囲で定義づけるものとして環境資源・インパクト・影響および保全対策が挙げられる。ここに環境資源とは 生命の維持や安全・快適性などを支えるために不可欠の資源で 中でも土地地盤・水・大気及び太陽エネルギーは基本的な四大資源でありこれらを元にして食糧資源 森林資源等が生み出される。このような環境資源の安定性に影響を与えるインパクトには 自然的営力と人為的作用とがある。すなわち環境科学は インパクトの種類と規模によって環境資源の安定性がどのような影響を受けるかを究明し その保全対策を講ずるまでの 事前評価・予測を含む一貫した過

程を前提として成り立っている。

したがって土地地盤を対象とする地質学においても上記の過程を前提とする分野は環境地質学として環境科学の一環として位置づけられる。また地すべり・崩壊に関する研究は元来災害～防災科学と呼ばれている分野であるが 斜面という土地地盤に対して自然的営力または人為的作用が加わった場合の変化と危険性を問い 予測や保全対策を目指す以上 それは環境科学そのものであり これを地質学サイドから行う場合 それは環境地質学の中に位置づけられる (第1表)。

2. 地すべり・崩壊研究の現状と問題点

現在行われている地すべり・崩壊の研究には 発生機

第1表 環境科学における環境地質学の位置づけ

環境科学の要件 環境地質学の対象		生命の維持 安全・快適・活力の維持・向上				
		環境資源	インパクト		影響(予測)	対策 (影響事前評価以外)
		土地・水・食糧等	自然的営力	人為的作用		
侵食・堆積	山地・斜面	安定した山地・斜面	風化 暴風 豪雨 水 流 地震 噴火	伐採 切取 盛土 建 造物 ダムの水位変化	地すべり・崩壊 土石流	土地利用計画 災害防 止工
	河川沿岸	定常的な河川の運搬作 用	豪雨 氾濫	水路変更 ダム 浚渫	異常侵食・堆積	土地利用計画 防止工
	海岸	安定した海岸線	暴風 噴火	水路変更 港湾護岸施 設 埋立 浚渫	異常侵食・堆積 (海岸線の変化)	土地利用計画 堆積物 供給経路遮断条件の排 除 防止工
	海底	安定した水質・底質お よび海底斜面	暴風雨 火山活動	浚渫 廃水 建造物	異常侵食・堆積 海底 地すべり 水・底質汚 濁 生態系変化	異常侵食・堆積原因の排 除 廃水規制
地盤	表層	安定した表層地盤	自然圧密 地震 噴火	荷重 盛土 排水 地下 掘き 地表被覆改 変(土地利用・舗装な ど)	地盤沈下・陥没その他 の地盤変動 地温・土 壌の変化 生態系変化	土地利用計画 防止工
	深部	安定した地殻	地殻変動	地下注・排水 溶解・ 拡散物質投入	地盤変動 環境汚染	安全評価 モニタリング
水文	河川水	安定した水温・水質・ 流況・流路	雨量変化 噴火	水路変更 ダム 浚渫 取水 廃水 森林伐採	流況変化(濁水～洪水) 水質汚濁 異常湧出 生態系変化	森林保全 土地利用計 画 用水計画 廃水規 制
	地下水	安定した水温・水質・ 水位・水量	雨量変化 地震 火山 活動	掘き 切取 盛土 注排水 廃水 地表被 覆改変	水位変化・水温水質変 化 異常濁水・湧出	森林保全 用水計画 廃水規制 地下水涵養

第2表 地すべり・崩壊研究の概要

種別	対象		調査・測定項目
発生機構の解明	物性変化	移動ブロックの変動観測	写真・測量・伸縮計・パイプひずみ計・傾斜計・応力・音 粘着力・剪断強度・摩擦角・含水比・遊性限界 水位・間隙水圧・湧水量・水質・電気抵抗
		土質 地下水	
	誘因	降雨 地震 人為作用	累加・24時間・1時間・10分間降雨強度 切取・盛土・集排水
	素因	被覆要因(植生) 地表面態要因(地形) 地盤要因(地質)	緑被度・林相・根系・樹冠密度・土壌 起伏量・水系網・縦断形・比高・勾配 基盤……構成・岩相・岩質・走向傾斜・層理(片理)・不連続面・断裂系(断層・割れ目・節理等) 表層堆積物……構成・岩相・不連続面 鉱物……岩石の風化過程 粘土の生成機構
分類	地すべりタイプ 地質分類	スライド・スランプ クリープ等 第三紀層型・変成岩型等	
予測	観測網による 短期的予知 危険度判定	定量的 定性的	統計確率的解析手法 経験的に知られる地質構成・水文地質構造 林相 人工改変等
対策	避難	土地利用の適正化 家屋等の移転	土地利用の誘導・規制
	災害防止工	抑制工 抑止工	発生原因の除去……排土・排水 緑被 防壁

構の解明→予測→対策の過程があり それぞれ素因としての地形・地質・植生 誘因としての降雨等の観点から研究が行われている。その概要を第2表に示す。

発生機構の解明は 居住地・耕作地・森林資源地帯として また道路・鉄道等の通過地としての斜面に対して 自然的営力としての降雨や時に地震 人為的作用としての斜面形状の改変(切取・盛土・集排水・伐採など)が加わった場合の斜面変動の実態とその原因を究明しようとするものである。そのためブロックの移動 雨量・地下水水位の変化など 変動の状態や変動量を種々の方法・機器を用いて把握し 各種変動量相互の関係を求めようとする。またインパクトとして同一の条件が作用しても それに対する反応は個々の斜面によって異なるので 不均一性を持つ地形・地質・植生などに関する諸条件と地すべり・崩壊発生との関係を究明する必要がある。これらのうち地質的要因に関する研究は最も立遅れており

基盤岩の構成・岩相・各種構造などに加えて 表層堆積物や風化層に対する精査や鉱物の研究が行われる余地は極めて大きい。

予測については 地すべり・崩壊の常習地帯においては 各種観測結果に基づく変動量相互の関連性を充分見極めることによって 短期予知の精度は向上するであろうが 予めあらゆる斜面についての危険度を判定し 個々の斜面についての発生予知を行うまでには 方法的にも物量的にも困難な問題が山積している。最近では 統計確率的な手法による危険度判定規準の設定が試みられつつあり その進展が期待されるが 実用化までには 多くの豪雨期や各種の地域における実地検証を経る必要がある。

地質学の立場からも 経験的に危険度が大きいと見ら

第3表 「結晶片岩地帯地すべり発生機構に関する総合研究」の概要

研究項目	目的	担当機関
1. すべり面の形成過程に関する研究 1) すべり面の物理的・力学的特性の研究 2) すべり面形成に関する地質・鉱物学的研究 3) 地すべり地の地下水理学的研究	すべり面（または層）の性状・動態を明らかにするため 地下至及び土圧の現場における測定手法と現地力学試験手法を研究するとともに 試験地に掘削する観測堅坑内のすべり面等について その力学性・物理性等を解明する 地すべり地の地質特性 岩石や土の風化・変質がすべりに及ぼす機構等を明らかにするため 地質及び地球化学的調査 粘土鉱物等の分析を行い 地すべり粘土の生成等を解明する 地すべりに及ぼす地下水の影響を明らかにするため 帯水層・地下水位・水質・降水量・地表流量等の調査・観測 観測堅坑における湧水観測等を行い 地下水の分布・挙動とすべり面形成との関連等を解明する	農業土木試験場 地質調査所 林業試験場
2. 地すべり地の変形構造に関する研究	地すべりの発生・発達に伴う地形学的特性を明らかにするため 試験地及び比較地の空中写真計測・精密調査等を行い 地表及びすべり面周辺に見られる変形構造の実態 地すべり変動の発展と変形構造との関連等を解明する	防災科学技術センター
3. 地すべり移動様式に関する研究 1) 地すべり地の植生・土壌学的研究 2) 地すべり土層の降水浸透に関する実験的研究	表層における移動機構を明らかにするため 試験地における森林構成・根系・土壌等の調査・分析を行い それらと移動機構との関連等を解明する 降雨等によって誘発するとされる地すべり現象を実験的に明らかにするためピット掘削 土質試験 降水実験等を行い 土層の水分浸透に関する土質学的特性と地すべり機構との関連等を解明する	林業試験場 防災科学技術センター
4. 総合的推進		研究調整局

(科学技術庁 1978)

れる岩層構成や水文地質構造の特徴が断片的には知られているが 有意要素の抽出とその数量化や解析手法は将来の課題として ほとんど空白のまま残されている。地すべり・崩壊と地質学的な構造線とは しばしば関連させられ勝ちであるが 実際には必ずしもそうではない場合が多い。第1図は地すべり分布を極めて大ざっぱに概観したものであるが これによると例えば中央構造線沿いに 地すべり分布が線状配列をしているようにも見られる。しかし第2図の四国における地すべり分布密度を見ると それはむしろ帯状配列に近いことが分る。さらに大縮尺図によって調べてみると それは河川流路沿いであったり 特定の岩層分布と一致したり 細部的な構造(褶曲・傾斜など)の形状・方向と調和的であったりする。とくに表層堆積物との関連は見逃され勝ちである。

予測を結果論に終らせないためには その現象が発生した場所よりも発生しなかった場所に注目する必要がある。すなわちある条件をその現象の発生原因とするならば 同一条件の範囲では全ての場所にその現象が発生しなければならない筈である。その究明は最大の難問ではあるが 少なくとも複雑に交錯しているであろう細部の諸要素を常に考慮することが肝要であろう。

3. 地すべり・崩壊研究における地質学の果たす役割

環境科学全体がそうであるように地すべり・崩壊研究も総合的科学であり 地形・地質・土壌・土質・植生・水文・気象・土木工学など多くの分野によって行われている。また地質学分野から行う場合もそれ自体総合地質学とも言うべきものである。対象岩類は堆積岩・火

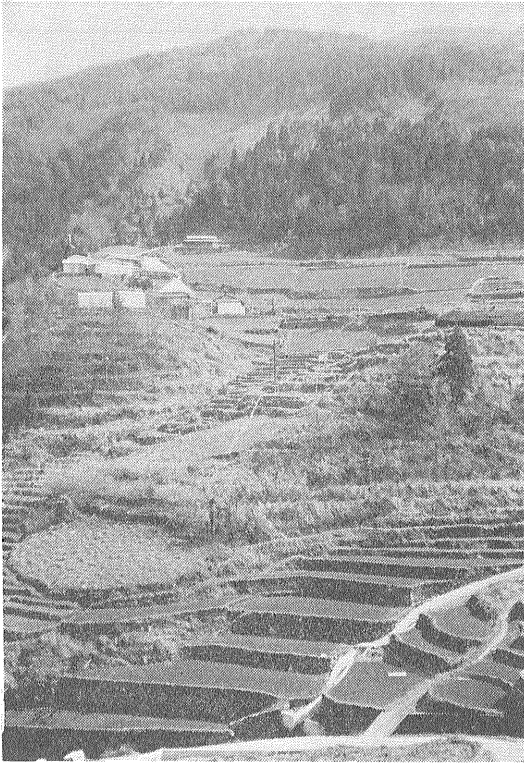
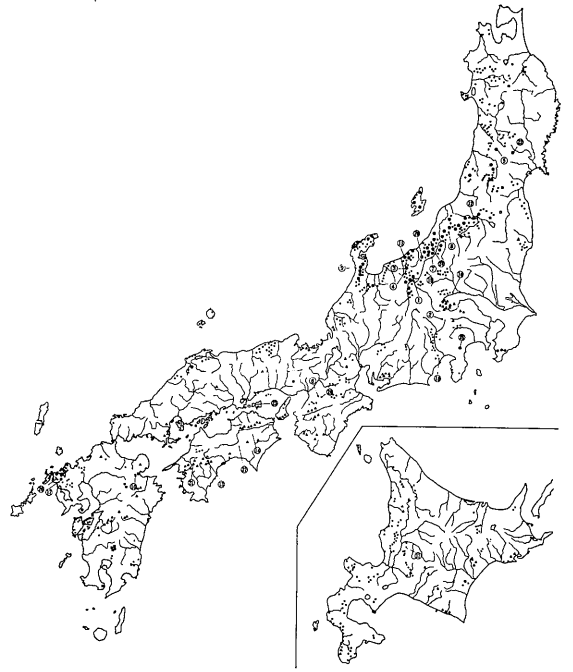
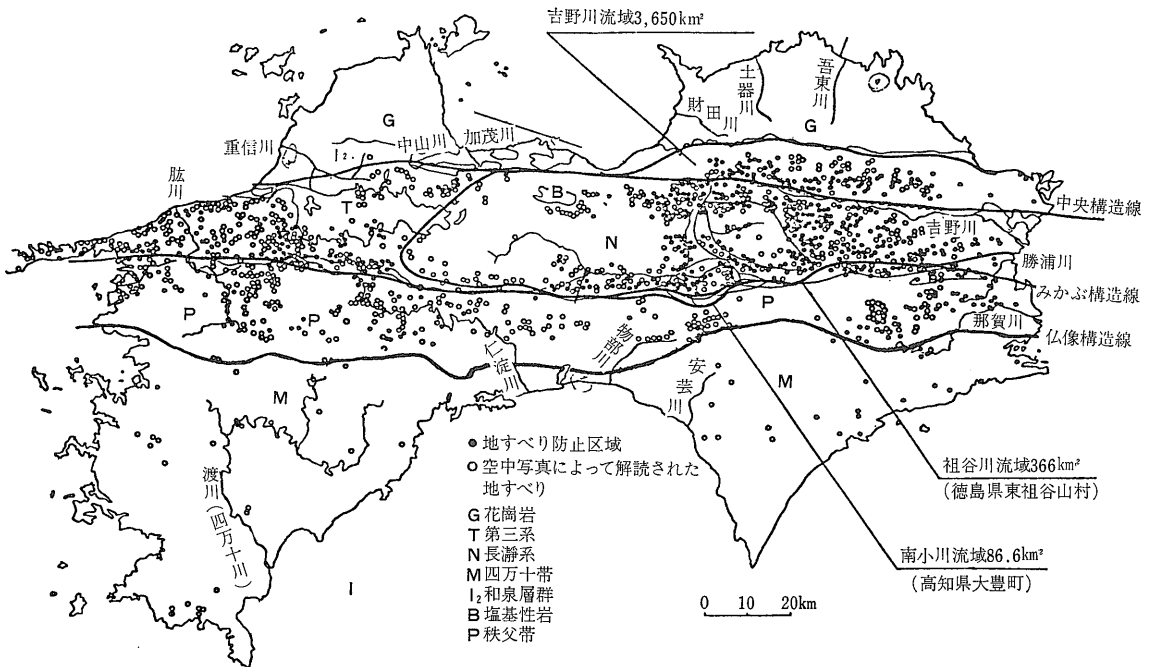


写真1 試験地斜面における階段状の水田地帯



第1図 本邦の地べり分布概観図(地すべり学会 1972)

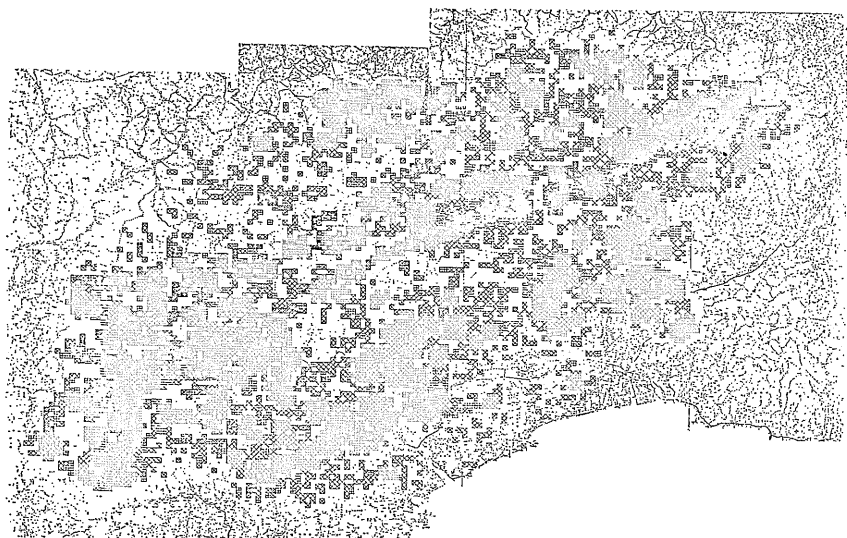


第2図 四国の地すべり分布(中国・四国農政局 1971)

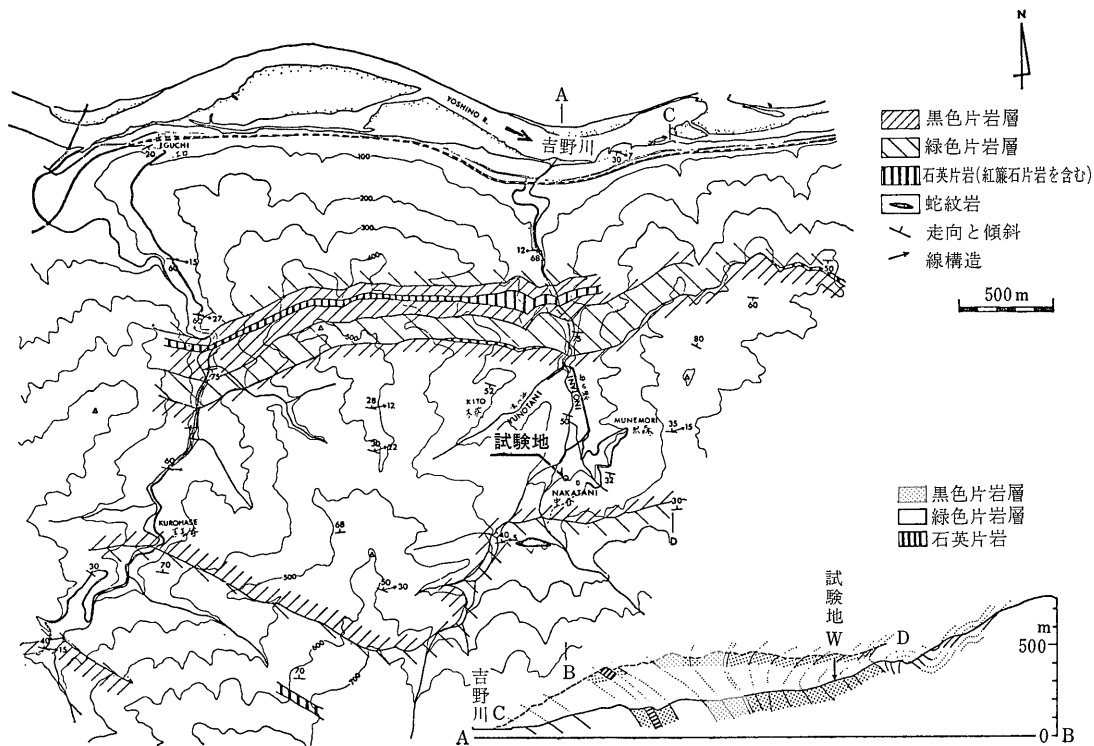
山岩・深成岩・変成岩を含み堆積岩については第四系から古生層までを含んでいる。また地下水の挙動も密接に関連する。したがって各種岩類・構造・鉱物・表層・水文等の専門分野による有機的な研究が必要でまた移動地塊の規模や不連続面を探るための試錐や物理探査を要し 岩石や地下水の化学成分について 地球化学的

な分析を必要とする。ここではその一部を紹介する。

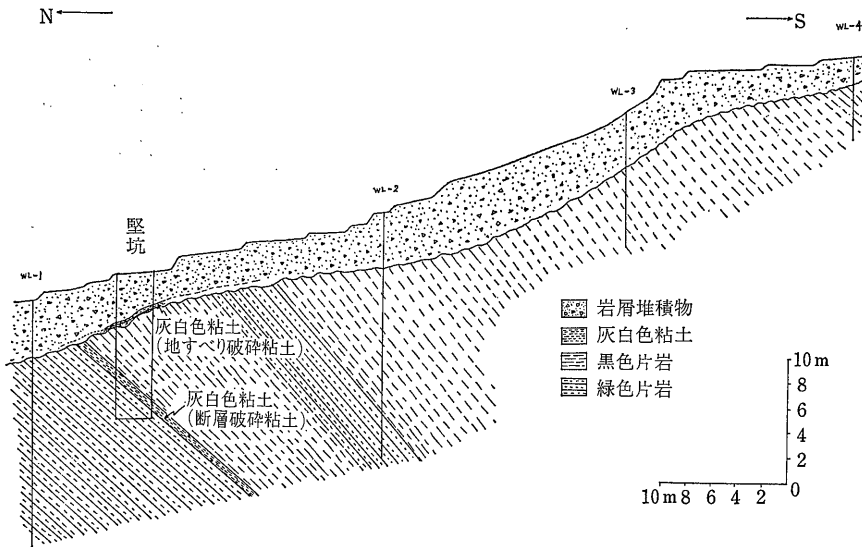
結晶片岩地帯における地すべり研究の事例
 科学技術庁による総合研究として最近行われたものに「結晶片岩地帯地すべり発生機構に関する総合研究」(科学技術庁研究調整局 1978)がある。これは昭和50年



第3図
 高知県中央部の地すべり地密度
 (岡林ほか 1978)



第4図 試験地付近地質図 (科学技術庁 1978 牧本原図)



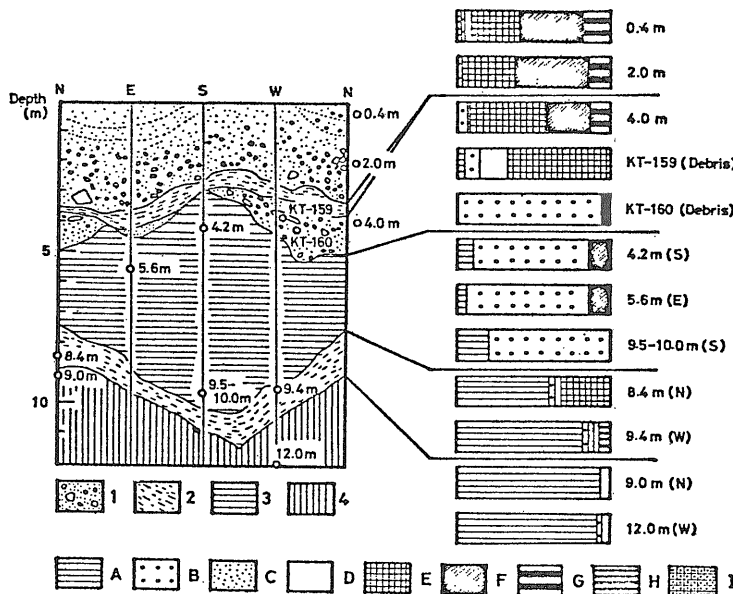
第5図
試験地における表層地質
断面図
(科学技術庁 1978)

度から52年度にわたり 四国の吉野川南岸における三波川帯北帯を試験地として行われたもので 研究の概要一覧を第3表に示す。この研究において地質調査所は地質・鉱物学的研究を分担した。〔担当者は筆者のほか黒田和男・石井武政(以上環境地質部) 金原啓司(地殻熱部) 藤井紀之(鉱床部) 牧本 博・服部 仁(以上地質部) 永井茂(当時技術部) 安藤 武(元所員 当時環境地質部)であった〕

まず基盤である結晶片岩と表層二次堆積物について 岩層構成・岩相・分布・構造・断裂系などを調査し この地域の結晶片岩類が全体として緑色片岩相に属するも

の 地すべり地が黒色片岩分布地域に集中して帯状分布をなすこと 地すべりの地塊が表層二次堆積物であること 及び試験地の基盤である黒色片岩を主とする地層が斜面に対して逆層 すなわち受け盤構造を呈していることなどを確認した。その際このような問題解決のための研究においては 実用に堪える高精度の地質図作成が重要な基礎となった(第4図・第5図)。

次に表層二次堆積物は上・下部の岩層堆積物に区別され 両者の間に帯緑灰白色粘土が挟在し これが現在の



第6図
観測堅坑内地質の概要およびその主要鉱物組成
(科学技術庁 1978 金原原図)

1. 岩層堆積物
 2. 粘土層
 3. 黒色片岩層
 4. 緑色片岩層
- A. 緑泥石
 - B. セリサイト
 - C. 滑石
 - D. 陽起石
 - E. 緑泥石/パーミキュライト混合層鉱物
 - F. カオリン
 - G. Al-パーミキュライト
 - H. サポナイト
 - I. セリサイト/Al-パーミキュライト混合層鉱物

地すべり粘土に相当するものであることが判明した。
 また上部岩屑堆積物が後背斜面からの崩壊物質によって構成される崖錐性堆積物で かつ風化が著しく進行しているのに対し 下部岩屑堆積物は相対的に新鮮で かつ段丘礫層に似て水流の影響を受けた形跡を示していることが指摘された (第6図)。

一方鉱物学的研究によって 黒色片岩や緑色片岩の鉱物組成は風化の進行に伴って次に示すような一定の変化系列を示すこと 及び二次堆積物においても 供給源岩の種類に応じて同様の変化が見られることが明らかにされた。

黒色片岩における粘土鉱物組成変化

セリサイト → セリサイト / Al-パーミキュライト
 混合層鉱物 → Al-パーミキュライト → カオリン

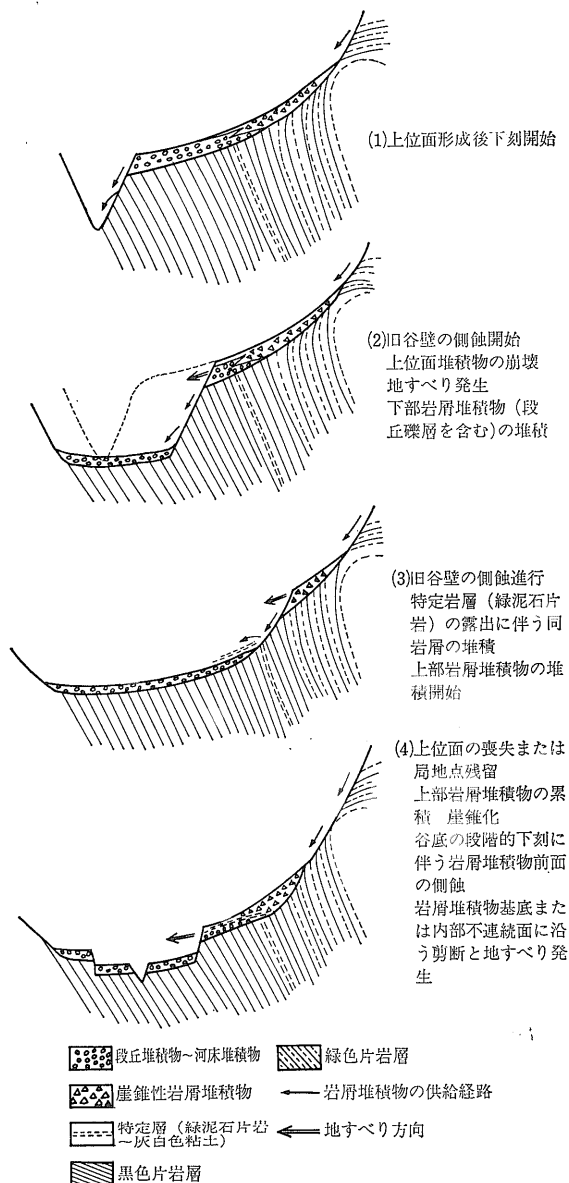
緑色片岩における粘土鉱物組成変化

緑泥石 → 緑泥石 / パーミキュライト混合層鉱物 → パーミキュライト → Al-パーミキュライト → カオリン

緑色片岩における緑泥石は一般に Fe 質であるが すべり面を形成する粘土は Mg 質である。 またこの粘土は主として緑泥石と緑泥石 / パーミキュライト混合層鉱物から成っていて カオリンを生じていない。 以上の事からこの粘土が緑色片岩起源ではなく 試験地付近の露頭で見られる黒色片岩中に挟在する緑泥石片岩起源のものであること 及びそれが化学的風化によって生成されたものでなく 上・下両岩屑堆積物間の不連続面に沿って既に発生した滑動に伴って 機械的な圧碎作用を受けた結果として形成されたものであることが解明された。

また 下部岩屑堆積物直下の基盤岩 (黒色片岩) も比較的新鮮であることが分かり 地すべり粘土の形成に関し 風化生成説など従来の見解に再検討の余地があることを示した。

これらの結果から 岩屑堆積物は層序的に細分され得ること したがって地すべり面は基盤岩に対する不整合面を含めて複数の不連続面に沿う剪断によって形成され得ることが結論づけられた。 なお 基盤表層部が比較的新鮮であることは 下部岩屑堆積物の初期堆積の場が水流の影響を受けつつある谷底面であることを裏づけるものであり 段丘の形成過程を含む侵食・堆積輪廻の一環として 地すべり斜面形成の場を位置づけることも可能であることも示唆された (第7図)。



第7図 侵食・堆積輪廻と地すべり斜面形成を示す模式図

崩壊・土石流と地質

上述のように地質学サイドからの地すべり常習地帯に対する研究については 明るい見透しが得られつつあるが 急激な地すべりや崩壊・土石流に対する調査研究については 残念ながら未だ暗中模索の域を出ないのが実情である。 したがってここでは 最近の災害例を中心として述べ 今後の研究方向を示唆することにしたい。

いわゆる風水害は 昭和30年代前半までは主として台

風災害によって特徴づけられ 強風による倒壊や堤防欠壊などによる河川の氾濫 それに高潮など 文字通り風水害が主流を占めて 昭和34年の伊勢湾台風においてその最高潮に達する。しかし昭和30年代後半からは 6月から7月にかけての梅雨前線豪雨による災害が目立つようになり また台風時を含めて斜面崩壊と土石流による被害が卓越し 地盤災害の様相を呈してきた。さらに地震時における崩壊も問題となり とくに昭和49年の伊豆半島沖地震や 53年の伊豆大島近海地震においては 死者・行方不明者のほとんど全部が崩壊及びこれに類する地盤災害の犠牲者であった。

昭和47年7月豪雨災害は広域にわたり 被災地の基盤

岩は 花崗岩類から火山岩類 第三系から古生層に至るまでの各種岩類を包含した。とくに大規模な崩壊・土石流の発生地と基盤の岩種は次の通りで 最大日雨量 200~400mm 最大時間雨量は 40~130mm に達している。

- えびの市真幸地区 ……新第三紀安山岩変質帯
- 天草上島東南部 ……古第三紀~白亜紀堆積岩 (一部 珩岩・変成岩など)
- 高知県山田町繁藤地区 ……秩父帯古生層
- 中国山地一帯 ……花崗岩類及び変成岩類など
- 北三河・東濃山地 ……花崗岩類
- 丹沢山地 ……花崗岩類 (石英閃緑岩)



写真2 祖谷川沿岸に見られる地すべり緩斜面(1)

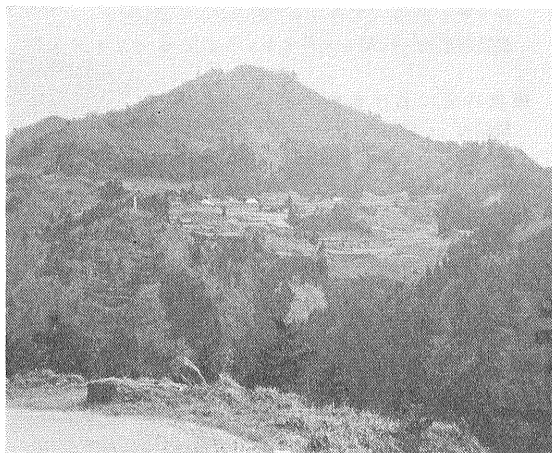


写真3 祖谷川沿岸に見られる地すべり緩斜面(2)



写真4
高知県中部における蛇紋岩地帯の地すべり地形
50年 51年災害時においては著しい変動は認められなかった

昭和50年台風5号災害は高知県中部を中心として発生したもので 時間雨量 100mm前後を契機として無数の崩壊・土石流が起り このときの死者・行方不明者77人のほとんど全てが 崩壊・土石流による生き埋め 家屋の下敷き 流失によるものであった。このときの滑落・侵食土塊はほとんど表層風化層か二次堆積物と見られている。

昭和51年17号台風災害は6日間にわたる台風の停滞と日本列島を縦断した前線との相乗作用による豪雨災害で関東以西の各地に記録的な連続豪雨をもたらした。とくに小豆島における災害は著しく 最大総降雨量は1,400mm 最大日雨量800mm 最大時間雨量は100mmに達し 昭和49年における台風8号災害に続いて おびただしい崩壊と土石流が発生した。その場所はほとんど花崗岩地帯に限られ これを覆う第三系火山岩地帯にはほとんど発生していない。また崩壊は風化花崗岩の典型的な表層崩壊と見られている。なおこの豪雨時には 高知県下などの前年被災地域に新たな崩壊と土石流が生じており 小豆島の場合と同様に連続災害として注目される。

崩壊・土石流災害は毎年どこかで必ず起り その都度数10人から数100人の犠牲者 数百億から数千億円に達する被害額を生じている。これに対して多大の経費を投じて防災対策がとられているものの 土地利用の適正化を含む事前対策は決して充分ではない。災害は所を変え品を変えて現われ神出鬼没である。当面は住民自らが自らの土地条件と過去の出来事に対する知識と経験を生かして行動しなければならない。

過去の災害記録が教えるところによれば 危険箇所は言うまでもなく比高の大きい崖下と崖上 狭い河谷低地 急勾配河谷の合流点などである。同じ崖でも その構成岩層の組合せによって 豪雨に対する反応は著しく異なる。

例えば 泥質岩など不透水性岩層の上に砂礫層・シラス・ローム層などの非固結・透水性岩層が載っている場合は 崖くずれの危険度は大きく 固結砂岩や熔岩のような硬質岩から成る崖の危険度は比較的小さい。但し同じ砂岩でも割れ目が発達していたり 破碎されていたり また表層風化が進行している場合は注意を要する。地層が成層している場合は 地層の下り傾斜側の崖 とくに人工的な切取面が危険である。また崖錐状の二次堆積物や埋土・盛土は最も危険な存在である。少なくとも居住地としてはそのような場所を避けるべきである

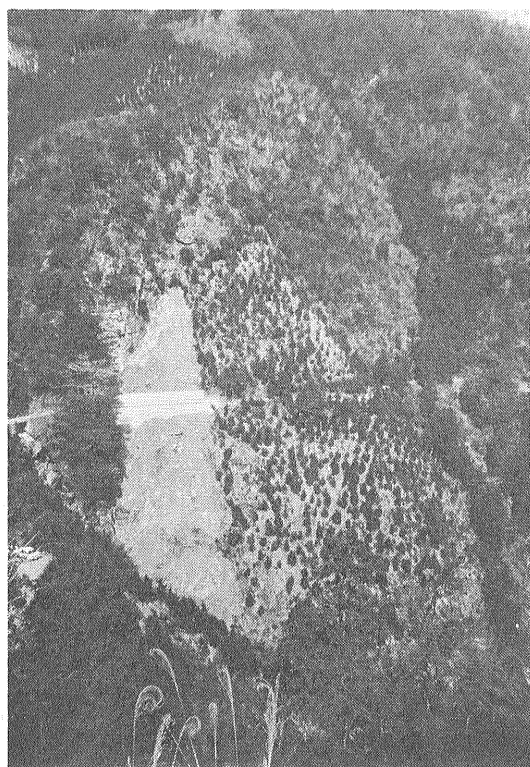


写真5 高知県中部における急斜面崩壊
崩壊は崖錐(杉の若令林の見られる部分)と背後のチャート(露岩と松の自然林の見られる部分)との境界に発生している

が やむを得ず崖や急斜面に接近して立地する場合は 背後の斜面や崖下は全て保安林で被覆する必要がある。過去の災害を通覧する限り 50年以上の樹令で樹冠密度の大きい自然林地帯が崩壊する例は極めて少ない。

最近の崩壊・土石流による被災は神社・仏閣や旧家には少なく 分家や新興住宅地に多いと言われる。危険箇所はその土地の人が最もよく知っていた筈である。それは親から子 子から孫へと炉辺の語り草として受け継がれていたであろう。社会構造の変革は生命にかかわる情報の断絶をももたらしたのであろうか。昭和33年の狩野川台風は 伊豆半島から関東西部を中心にして死者・行方不明1,000人を超える災害をもたらしたが この20年間 それに匹敵する試練を経ないまま 首都圏近郊の丘陵・台地地帯の自然条件は著しく変貌している。

訂正

地質ニュース No. 300 (1979-8) の口絵 4頁目下の写真8
「過去の海底火山の活動の記録」の写真は 天地逆に印刷されております。ここにお詫びして 訂正します。