

## 航空機を利用した崩壊発生地域の診断

千葉大学理学部教授

川崎逸郎

### 1. 航空機による観察の意義

地震や集中豪雨によって台地斜面（崖端）や山地斜面に崩壊（崖くずれを含む）が発生すると、崩壊の原因を探るためマスコミのTVカメラと共にたくさんの研究者が集まり、崩壊した土を採取したり、斜面を計測したりする。これらの成果の発表があったある学会で、講演者が崩壊の要因について「地質的にみると〇〇層の地域であり、採取した土の土質試験の結果はこのようになった。X線分析ではこういう結果であった……」等の話があった。そこで「では全く同じような条件であるひとつづきの崖のなかで、なぜその場所だけがくずれたのか……」という質問をしたところ十分な回答を得られなかった。無理もない。採取した土の試料を数値に置き換えただけのことで斜面を生態学的に捉えていない。これでは崖くずれの成因も予測もできない。台地斜面にしる、山地斜面にしる斜面は生きている（斜面に生育している植生と共に）……ということが忘れられている。

多くの研究者がこのような考え方をもちよようになってしまった理由は、崩壊という自然現象を一回だけのこととして扱っているからであろう。そして、斜面というものは、それが位置する空間と造型の手（地形変化の営力の働き）によって地域特有の Stress を受け

て生長したものであり、崩壊は現在の斜面が次の変化に進む過程であるということを考えていない。つまり、『自然の習性』というものは、地域によって個性（地域的性格）があるということを忘れているからであろう。このような自然の習性あるいは斜面の性格を知るには観察点を常に人間の眼の高さのみで考察するだけでは不十分である。地表の形態を調べる地形学にも同じことがいえる。人間の眼の高さのみで地形を考える眼高地形学（Eye-level Geomorphology ?）、斜面形のみで定量的表現をしようとする断面地形学（Profile Geomorphology ?）では自然の造型を理解するには不十分である<sup>1)</sup>。ここに航空機による観察が必要となる理由がある。

### 2. 航空機から斜面を観察すると

自然の造型である地形を航空機を利用して観察する大きな特徴は、上空から地表を見下す『広い視野』のほかに次のような特徴がある。①観察点を高い位置から低い位置に連続して変えられること、②対象に接近したり離れたこと、③水平方向から垂直方向に、④対象

1) このようなことにならぬよう。Davis, Penk, Jhonson, Lobeck は立体地形模型を数多く描いたが、しかし、その真意を知る人は少ないようである。

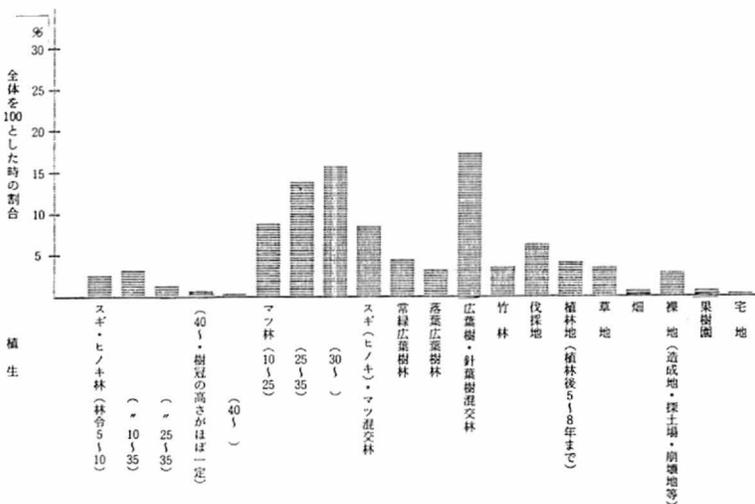
地域を中心に巡回しつゝ、観察できること、このようなダイナミックな観察を行うと、狭い視野ではわからない自然の習性や実体が刻明に浮び上ってくる。そして機上から観察するのみでなく、写真に記録することによって観察はさらに重要度を増す。ここで記録するための写真とは、測量用の垂直写真ではなく『斜め写真』である。撮影位置を変化させて撮影した『斜め写真』には奥行きがあり、垂直写真に比べて撮影した土地の生い立ちを知るストーリー（物語）がある。

### 3. 崩壊地の空撮について

空撮の目的は土地の情報を詳しく知ることである。そのためには目的に応じた航空機の機種を選ぶことが良い記録を残すことになる。a)対象に接近することができて一定高度の空中に停止できるもの、b)旋回性能に優れ短時間に広範囲を行動できるもの、c)高々度を飛行できるもの……等それぞれ機種によって特徴がある。災害調査のばあいa)のヘリコプターが最上であろう。地上の狭い

空間に接近してホバリングし地上付近まで高度を下げて観察することができる。しかし、時間と経費を考えるとb)のセスナが効率が良い。旋回性能はヘリコプターより劣るが、良い操縦士に出会うと効果は大きい。地上50～150m付近までの低空から撮影できる。ただしこれには撮影者（観察者）自身の肉体条件に適合性が必要である。小さい谷間の中でGがかかる急旋回、急斜面にそっての急上昇、急降下に肉体が耐えられないと写真A～Nのような撮影はできない。c)は災害地域が広範囲にひろがるときに有利である。

次に撮影機材としては35ミリカメラ2台に28～35ミリ程度のレンズを付け、フィルムはカラーリバーサルと赤外カラーの双方が必要である。赤外カラーは地表の温度分布と植生区分が可能であるという理由による。撮影したネガはフォトパターンアナライザーを使用して画像の濃度区分→濃度分布→濃度曲線を作成し解析することができる。またTVカメラを使用すると記録効果は大きい。



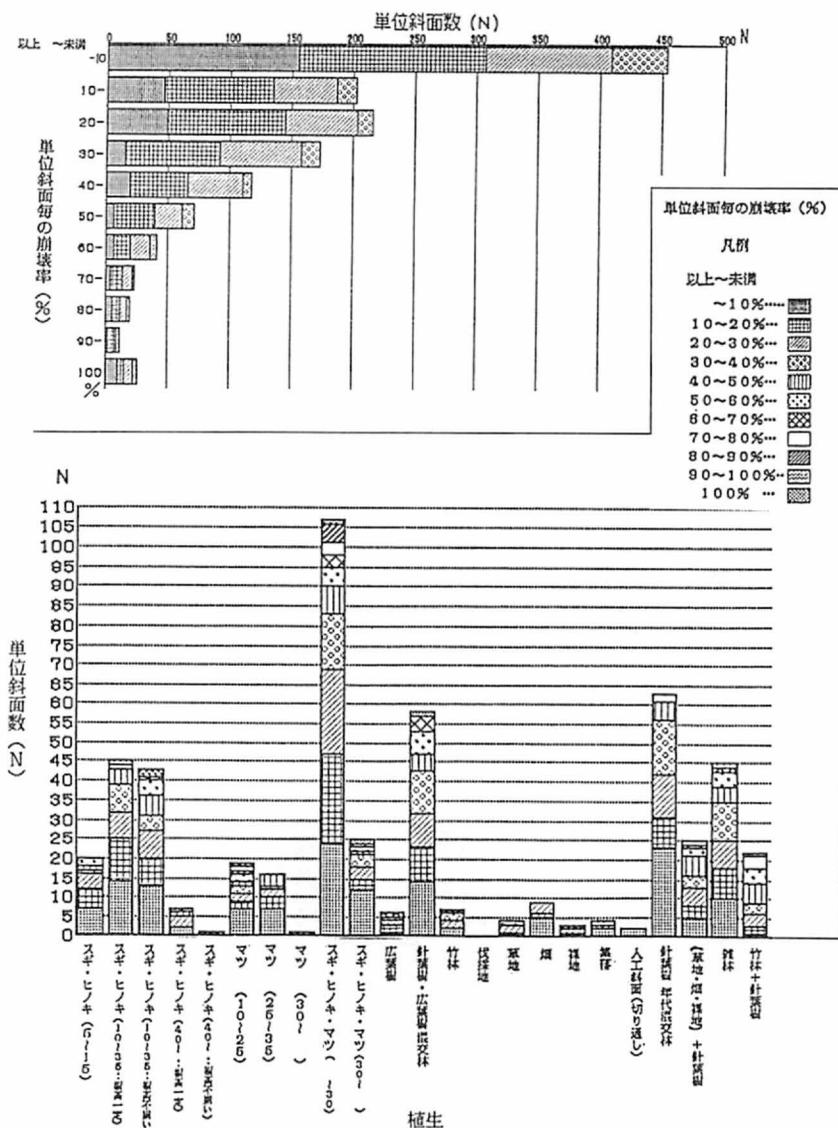
第1図 崩壊地と植生の関係（崩壊発生総数373）—佐原地域のばあい—

#### 4. 航空機からみた斜面の生態

豪雨のあとセスナ機に搭乗して、新らしく崩壊を起した斜面に沿って飛んでみると、斜面と植生分布と崩壊との間には妙な関係があることに気がつく。(第1図、第2図参照)。

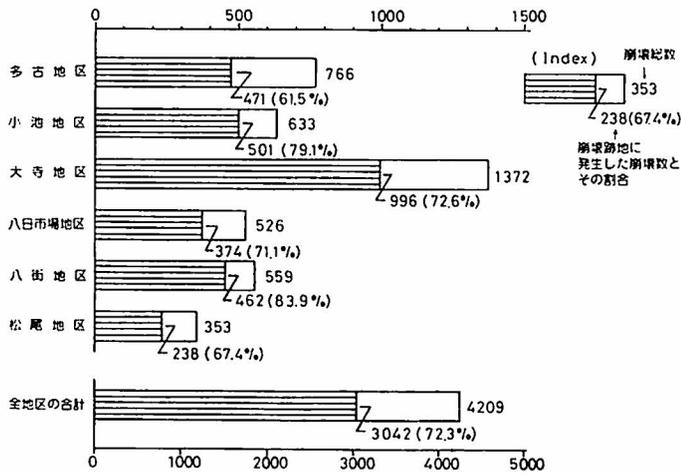
① 常緑針葉樹であるスギ・ヒノキの一斉林が根本から土と一緒にくずれて基盤岩が露

出し、斜面は表皮を剥ぎとられたようになり土砂もろとも斜面下に移動し水田に押出す(写真A~C, J~N)。この斜面では写真C.I.Mのように一斉林の高さの違いが各所に見られる(人間の頭の虎刈りのように)。崩壊の度に植林を行うので生育の度合が樹高の違いとなるのであろう。した



第2図 調査地全域の斜面における植生別崩壊率と単位斜面数

傾斜10°以上20°未満の斜面 (崩壊発生総数1,380) —成東~東金地域のばあい—



第3図 崩壊跡地に発生した崩壊数

がって古い崩壊地と新しい崩壊地の区別が容易である。これは同じ斜面に崩壊が繰返されていることを証明するものである。

- ② 常緑樹、広葉樹、灌木、竹林が混交している斜面では、斜面の肩や中腹以下が馬蹄形のりんかくにえぐりとられるようにしてくずれているところがある(写真D~F)。この斜面では樹種ごとに群落をつくり生育状態も一様ではない。また同一樹種でも生育状況が異なるものもある。これは崩壊によって植生が斜面から剥落した後に同一樹種が生育するかあるいは植林するからであろう(写真I, M)。
- ③ 斜面の裾に竹林の生育の良好なところでは、必らず……と云って良い程近接して崩壊が発生している。これは房総半島のみでなく日本列島の崩壊地に共通に見られる現象である。竹林は親水性植物の代表であることを考えると斜面付近の地下水の挙動と密接な関係にあるといえよう。
- ④ 常緑広葉樹や落葉広葉樹が生育する斜面では崩壊の発生はあまり見られない。広葉

樹は常緑針葉樹と違って根は深く土中に侵入しているからである。

- ⑤ 一度、崩壊を起した斜面(崩壊あと地)に再度崩壊が発生しているところが多い(写真B, D, E, F, K) その状況は写真を検討されると了解されよう。これが「崩壊の繰返し特性」といわれる

現象である(第3図参照)。

上記のそれぞれの斜面に発生した崩壊について、①は表層剝離型(写真A~C, Kは典型)、②は馬蹄型崩壊と命名されている。表層剝離型崩壊は、斜面に火山灰層や風化土層が薄く堆積しているところに発生し、馬蹄型崩壊は、火山灰層や風化土層が厚く堆積しているところに発生している(写真D, G, F)。

以上の観察から、植生は斜面と密接な関係にあり、植生は斜面を構成する重要な要素であるといえよう。ここに斜面と植生と崩壊は深い関係にあることが証明される。

#### 5. 航空機からみた地割りのパターン(形状)

崩壊が発生した斜面のすぐ下にある水田の地割のパターンを地籍図によってみると、崩壊を繰返している斜面と、崩壊の発生が全くないか少ない斜面に接するところでは、地割のパターンにはっきりとした違いを認めることができる。崩壊が発生していない斜面に接する水田には古い地割りがそのまま残り、崩壊を繰返している斜面に接するところでは、

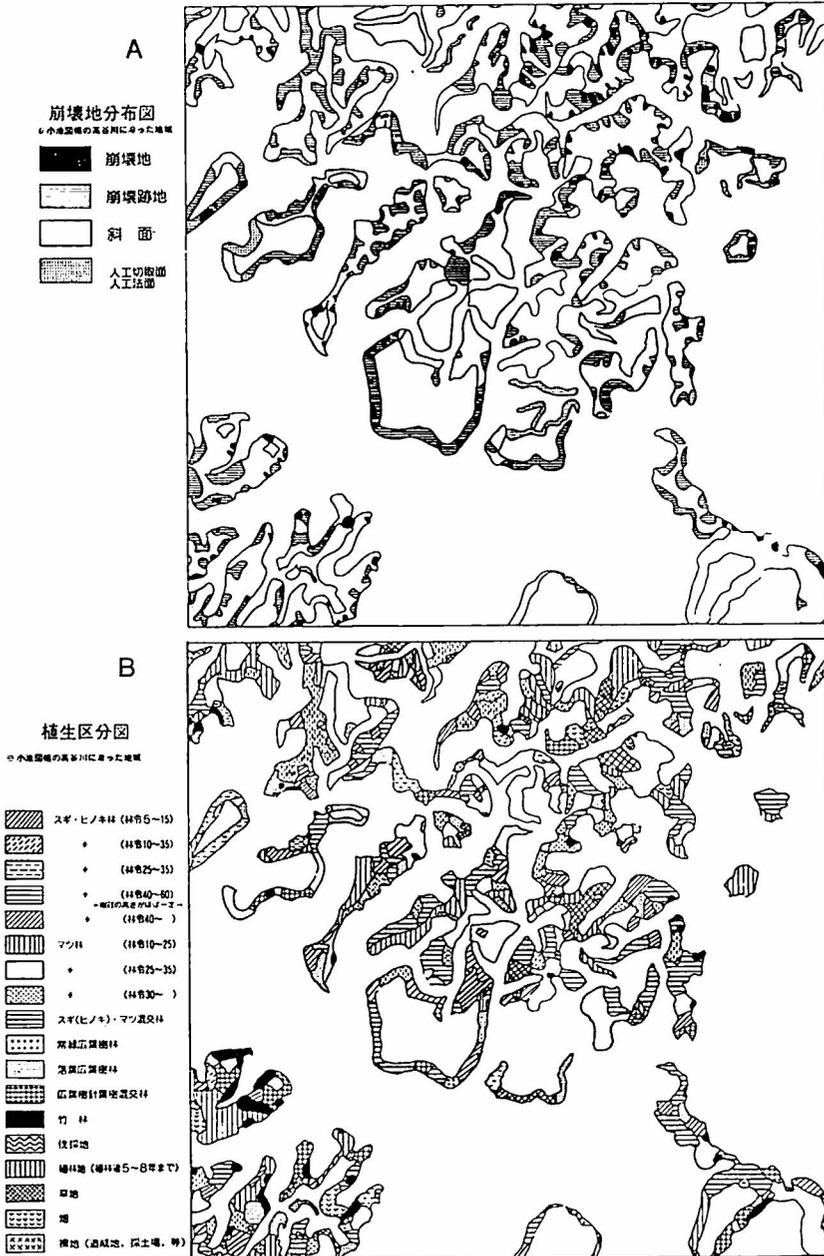
古い地割りのパターンは新しいパターンに姿を変えている（写真H, K, L）。

この地割りのパターンの変化を今少し詳しくみると次のようになっている。

a 古い地割りのパターンより単純となる

b 古い地割りのパターンより複雑となる

aは斜面の崩壊の規模が大きいばあい、大量の土砂が水田に押し出し（前にあった地割りを厚く覆って単純化する）のであろう。多古町千枚田（明治の名称で今は千枚もない）が良

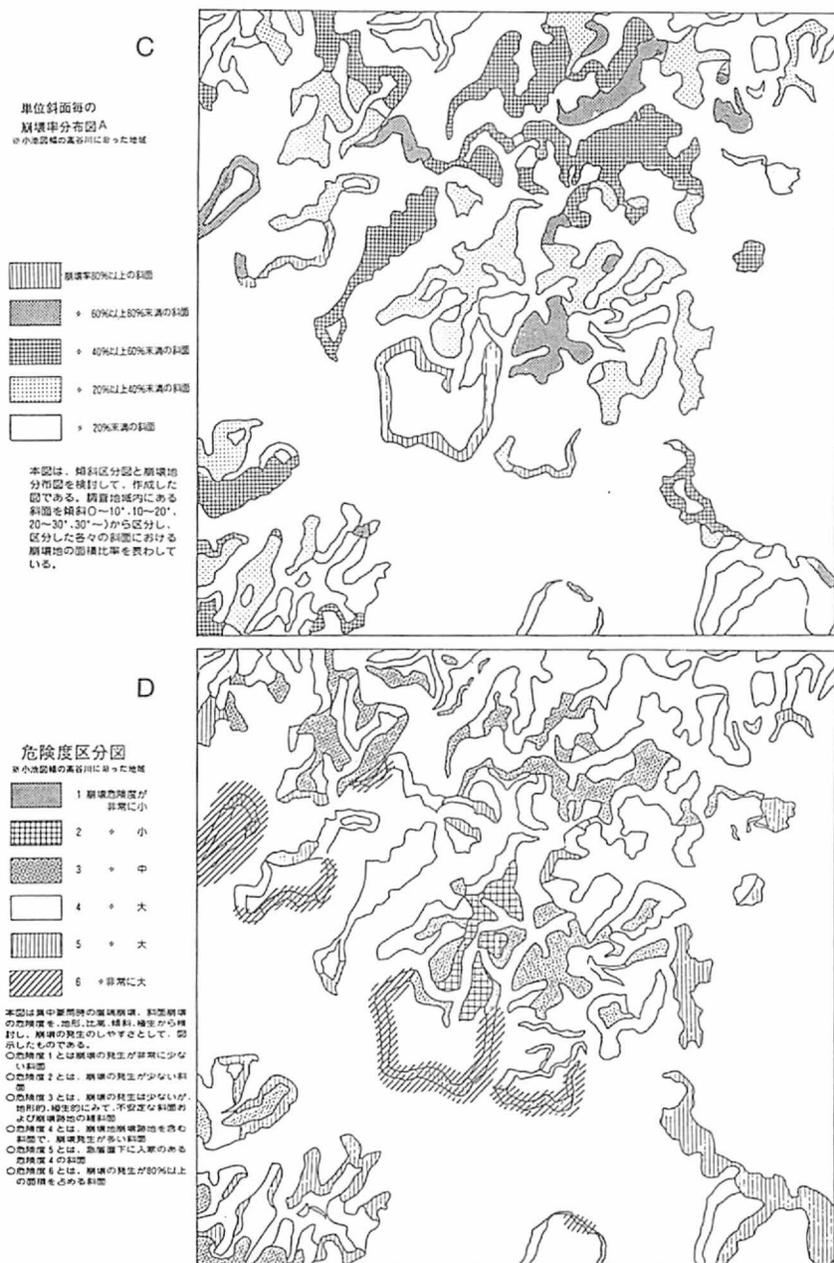


第4図 崩壊地分布と植生区分B（千葉県多古町の例）

い例である。bは、小規模の崩壊を繰返すことによって崖（斜面）が後退して小さい地割りをつくる（写真I, J, K, L, M, N）。小見川町、多古町には写真Oのように背後の崖から水田にくずれ落ちた土砂が厚いため、

現在は『宅地』となっているところ、この家には当時の被災者の老夫婦が住んでいる。

このa, bいずれのばあいにも、共通することは、新しい地割りのりんかく、は古い地割りの形を切っていること、そしてレベル



第5図 斜面ごとの崩壊率分布と危険度区分（千葉県多古町の例）

は古い地割りよりも高い位置にあること、また、地割りのパターンは斜面に近いほど一区画の面積は小さくなることである写真H、J～N。崩壊の規模が大きいものは、大量の土砂が押出て広い面積を厚く覆ってしまうので古い地割りのパターンは、単調なものとなるのであろう。

## 6. まとめ

以上から航空機を利用した広域調査から見た崩壊発生地域の診断をまとめると

前項4の斜面の生態の項において①、②、③、⑤それぞれの斜面の形態の特徴について記載したが、上記のa、bのような地割りのパターンは、これらの斜面の下には必ず存している（写真J～N）。ここに斜面形態と植生、地割りのパターンと崩壊発生位置とは密接な関係にあることが証明された。

すなわち、航空機からの観察による地域診断は極めて有効であり、災害予測を行うには地域における「自然の習性」を先づ知ることが必要である。それには地表踏査のほかに広い視野と三次元的な観察が必要であることを記す次第。

第4図崩壊地分布と植生区分図、第5図の斜面ごとの崩壊率分布と危険度区分図は航空機からの診断を中心に千葉県北部林業業務所の協力を得て現地調査を行って作成した。

また第5図Cの危険区分図は昭和55年度に完成したがその後の集中豪雨時の斜面崩壊は、まさに本図の通りで確率は98%以上であった。

昭和62年11月千葉県東方沖地震が発生し崩壊地が多数発生した。地震によって発生した崩壊地は、集中豪雨時における崩壊発生予測

（危険度）と全く一致していることがわかった。そして、集中豪雨で崩壊を発生するような斜面は地震動でも崩壊することことが証明された。千葉県の成東一東金地域にての典型を見ることができるこれが下総台地東部地域の自然の習性である。

\*

## 表層剝離型の崩壊



A  
安房丘陵梅ヶ瀬層に発生した状況

植生は幅広く尾根部から剝離している。  
常緑針葉樹の人工林に覆われたところ  
である。  
崩壊密度の最も高い地域。

(昭和47年撮影)



B  
下総台地北東部干潟の周縁に発生した状  
況

常緑針葉樹と落葉広葉樹が混交する斜面  
に発生した崩壊。  
一度崩壊したところに再び崩壊を起した  
斜面であることがわかる。

(昭和47年撮影)



C  
安房丘陵東部天津泥岩層に発生した状況

林令(樹高)に関係なく崩壊が発生した。  
とくに北向き斜面には幅広く剝離してい  
るところが多い。

(昭和45年撮影)

## 馬蹄型の崩壊



D  
利根川に面する飯岡台地北縁に発生した  
状況

砂層と泥岩層の上に火山灰層がのっている。  
画面中央部に新しい崩壊地その左右は  
古い崩壊あと地に生育した樹高不揃いの  
常緑針葉樹の林。  
この崖の比高は40m。

(昭和46年撮影)



E  
下総台地北東縁、砂層の上に火山灰層が  
厚くのっている斜面に発生した。

階段状に発生した崩壊で中央は新しい  
崩壊、その左右には古い崩壊のあとが階  
段状に見えるこの急斜面は、大規模に崩  
壊する可能性がある。

(昭和46年撮影)



F  
下総台地北東多古町付近の谷とその両側  
の斜面

泥岩の上に砂層と火山灰層がのっている  
ところ。  
谷斜面にある馬蹄型の崩壊あとに残る樹  
高の不揃いが特徴である。  
谷底にある地割りのパターンが斜面の据  
で細くなる。その上に新しい崩壊土  
砂がのっている。

(昭和52年撮影)

## 地割りのパターンの変化を見る (1)



G  
多古町役場に残る地籍図の一部（明治28年作製）

中央部に天神山の林地の記入がある。その左には短形の畑地の地割りがあある。天神山の下谷地には谷頭（右側）からの水を利用するための一段ごと低くなる地割りがあある。

（明治28年地籍図の写し）



H  
上の地籍図の範囲の航空写真

明治28年と比べ天神山下の谷には魚鱗状の小さい地割りがあある。天神山の斜面の状況から地籍図が作られて以後も相次いで崩壊が發生していることを証明するものである。

（京葉測量K.K. 昭和58年撮影）



I  
谷底の地割りの上に新らしい崩壊土砂と倒木が斜面からすべり落ちてはいる。

上記の航空写真のような小さい地割りのパターンが生成する過程がここに見られる。

## 地割りのパターンの変化を見る (2)

以下の3枚の写真は地上から見ると不思議な風景である。この頁の3枚の写真は崩壊の繰返し特性を示すもので斜面下にある水田の小さい地割の上に新らしい崩壊土砂と林がのっている状況。



J  
水田の中に突然林地が出現している状況を示す。

急斜面の下に配置する小さい地割は前頁Iのように斜面が繰返し崩壊し後退することによって生れたものである。

(昭和45年撮影)



K  
一度崩壊した斜面に再び崩壊が発生した状況で水田に突然林が出現した状況

斜面から水田に林が動いたのである。崩壊した背後の斜面は常緑針葉樹と落葉広葉樹の混交林である。

(昭和46年撮影)



L  
斜面下にある魚鱗状の地割り

斜面が崩壊を繰返すことによって後退することによって魚鱗状の地割りがひとつづつ増えてゆく。

斜面のすぐ下に背後からすべり落ちた古い杉の木が水田に直立している。

(昭和46年撮影)

## 地割りのパターンの変化を見る (3)



M

画面中央の谷の地割りは蛇の腹の鱗の模様似ている。

右手に方形に垂直の崖があり、その下に崩壊した土砂がのっている。この崖も周囲の植生を見ると、度々崩壊を起していることがわかる。

画面全域に見える黒い樹木が常緑針葉樹スギ、ヒノキの一斉林が多い。ところどころ樹高が違うのは、一度崩壊したあとに植林されたからである。



N

新しい崩壊と古い地割

上の写真の崖下の地割りを良く見るため、目標を崖下に決めてセスナ機を急降下して撮影した。

新しい地割りの「りんかく」は古い地割を切っており、その上に再び崩壊した土砂・倒木がのっている。

(昭和46年撮影)



O

新しい地割

上の2枚の写真と同じ状況のところで、画面中央の垂直の崖から崩壊した土砂が手前の水田に押し出し水田のりんかくを覆ってしまった。そして宅地となった。新しい地割りの誕生である。(多古町にて)

(昭和47年撮影)