

# 山地災害の『免疫性』の本質について

アジア航測株式会社  
今村遼平

## 山地災害における<免疫性>の概念の提唱

小出博：昭和28年のカスリーン台風の災害結果にもとづいて考えられた概念

<『日本の国土』(1973)の要約>

「免疫性という言葉が生物学的であるため、適当な表現でないかもしれない。他にうまい表現があれば改めるにやぶさかでないが、要するに山地における崩れや土石流などは、一度起こればその同じ地点には再び同じ現象は起こらないというだけのことである(強調は引用者)。その理由は極めて簡単である。これらの自然現象は山地の浸食というより、わかりやすくいえば山地の崩壊現象である。免疫性の問題の核心はここにあり、この条件が整い、再びそこに同一現象が発生する契機は何か、それはどの程度の年月を要するかということである。この問題はしかし、経験的に追及するほかに方法はないだろう。いま言うことは、大きな地変例えば大地震でもない限り、山地被害の免疫性は少なくとも数百年(400~500年)は有効に作用すると考えている。

これに対し、溪流洪水災害を含め、一般に平地に起こる水害は反復災害である。周囲の条件に著しい変化がない限り、同じところに同じ現象が反復して起こる。

## <免疫性>という語が現在、あいまいな意味で使われている

<その主な原因>

- (1) 免疫性の<根本原理>が、明確に述べられていないこと
- (2) 時間の概念(特に時間スケールと時間単元ならびに歴史性など)との関連において明示されていないこと

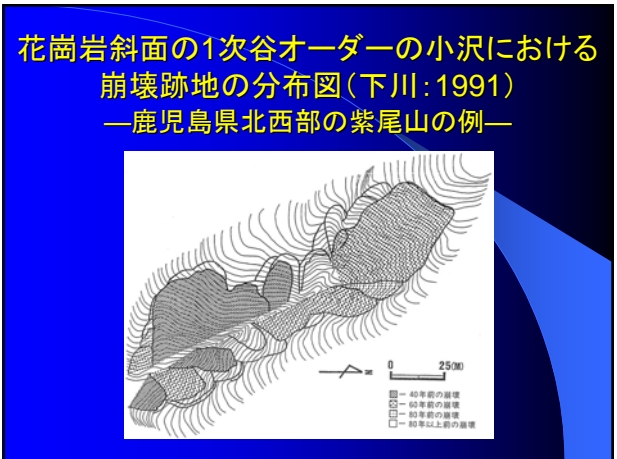
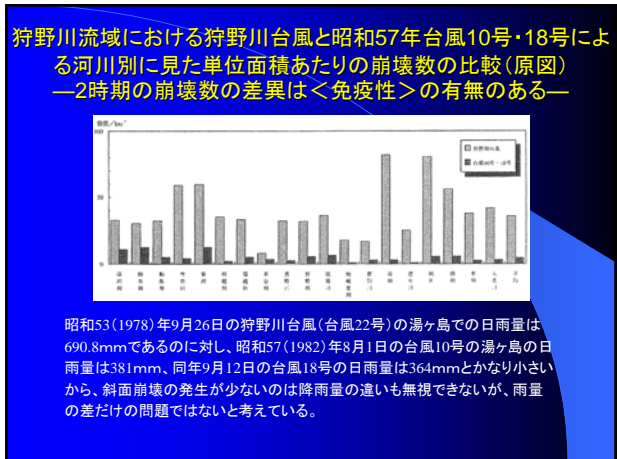
これらをふまえて、山地災害の<免疫性>の本質について述べてみたい。

## 1. 山地災害における<免疫性>の実際

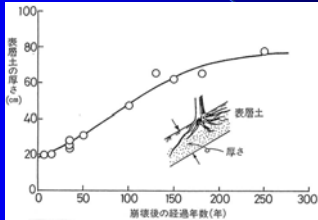
1) 斜面崩壊

- (1) 小出博
- (2) 下川悦郎ら
- (3) 飯田智之などに詳しい。

ここでは、(2)、(3)の事例も引用しながら説明する

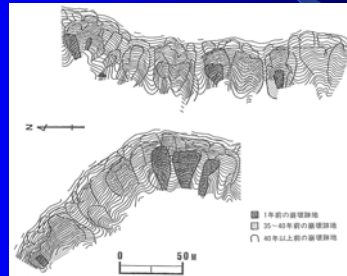


花崗岩斜面での表層土の経年変化(下川:1983)  
—鹿児島県北西部の紫尾山の例—

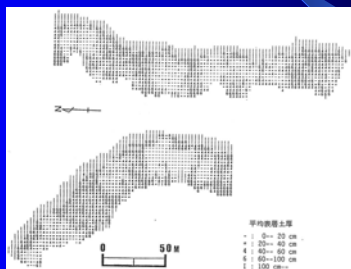


- 表層土の発達速度(厚土の増加度)は、250年間の平均値で0.24cm/年
- 崩壊周期は200~250年と推定している

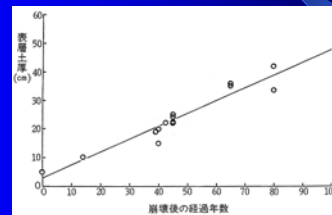
しらす斜面での表層崩壊跡地の時間的・空間的分布図(下川ほか:1989)  
—鹿児島市南部の山田町の例—



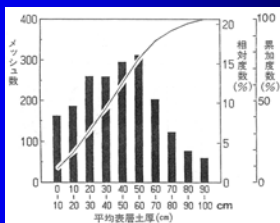
しらす斜面での表層土厚の空間的分布図(下川ほか:1989)  
—鹿児島市南部の山田町の例—



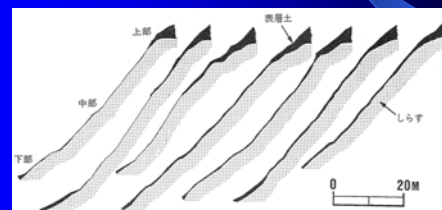
しらす斜面での表層土の発達速度(下川ほか:1989)  
—鹿児島市南部の山田町の例—



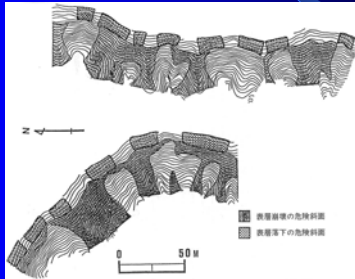
しらす斜面での斜面中位の最急傾斜部における平均表層土厚の頻度分布(下川ほか:1989)  
—鹿児島市南部の山田町の例—



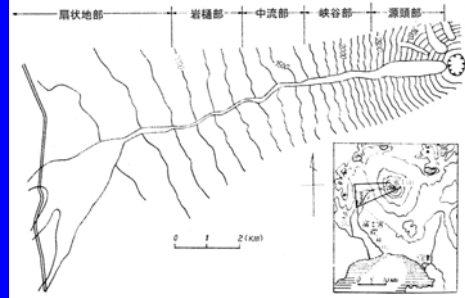
しらす斜面での斜面縦断面図における表層土の分布(下川ほか:1989)  
—鹿児島市南部の山田町の例—



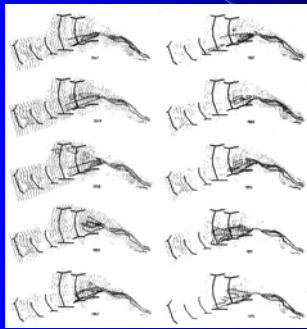
しらす斜面での表層崩壊と表層落下(斜面上部)の危険斜面分布図(下川ほか:1989)  
—鹿児島市南部の山田町の例—



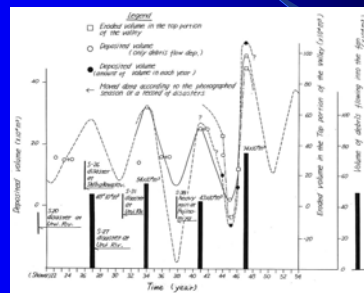
2) 土石流  
富士山大沢崩れの形態と各部の名称



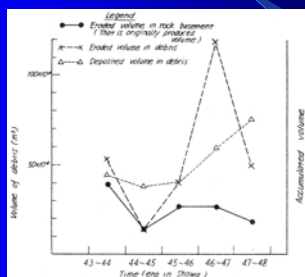
富士山大沢における土石流の流出・堆積状況 (IMAMIRA:1977)



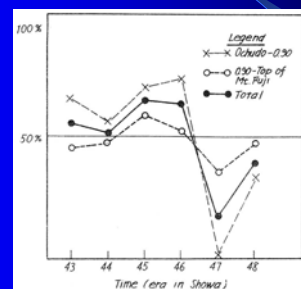
富士山大沢における土石流の経年流出量の変化(今村ほか:1975)



富士山大沢における昭和43年～48年間の岩盤と土砂の侵食量と土砂の堆積量の経年変化(今村ほか:1975)



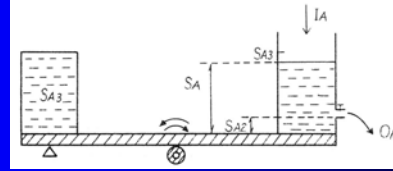
富士山大沢源頭部における土砂の貯留実態(今村ほか:1975)



## 富士山大沢における土石流発生の本原因

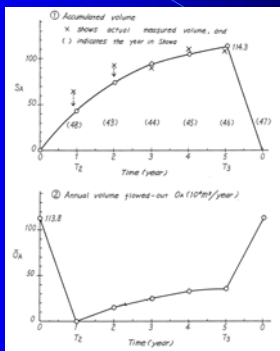
- 土砂の生産は、降雨量など誘因にあまり規制されず年平均21万m<sup>3</sup>(平成15年に10.5万m<sup>3</sup>と修正)とほぼ一定
- 大沢からの破局的な土石流の流出は、6~8年の周期性がある
- 周期性の主因は、スプーン状をした大沢源頭部における土砂貯留にある
- この周期的な土砂流出を、タンクとシーソーを組み合わせてモデル化した(今村ほか:1975)

## 富士山大沢における土砂流出の経年変化モデル—シーソーモデル—(今村ほか:1975)

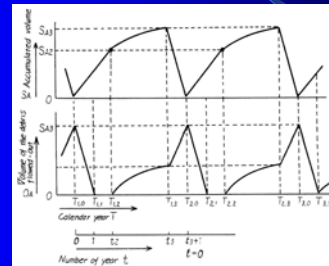


- IA: 生産土砂量
- SA: 源頭部の貯留量
- OA: 源頭部からの流出量
- SA2: 下流への流出が始まるまでの貯留量
- SA3: 限界貯留量
- SA: 源頭部における土砂生産量(毎年ほぼ一定)

## シーソーモデルでの経年変化グラフ(源頭部)(今村ほか:1975)



## シーソーモデルでのシミュレーション結果(源頭部)(①貯留量、②経年流出量)(今村ほか:1975)



## 2. 免疫性の起こる本質

### 1) <免疫性>の定義

「免疫性がある」とは、ある任意の山地空間にひとつの災害現象(地すべり・崩壊・土石流など)が起きたあと、その同一空間での同一種の現象発生は、周辺よりきわめて低い確率でしか起きないことをいう

### 2) <免疫性>が生まれる原因

あるものの<貯留現象>の有無、すなわち貯留現象が自然的に起こり得るかどうかにある

### 3) <貯留>の定義

①ある<容器>があって、②それにある<物体(物質)>が静的に容れおかれている状態をいう。それが時間とともに増大したり減少したりすることが<貯留量の変化>である。これは<開放されやすい位置エネルギーの蓄積>と言い換えることができる。

<貯留量が増える>とは<開放されやすい位置エネルギーが増大すること>  
→エネルギー開放に至る1ステップ

### 4) 自然界における災害現象の発生と貯留量増大との関係

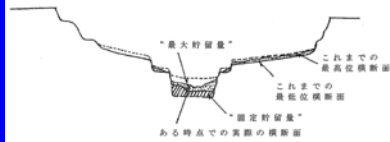
主要な災害現象と“貯留”—重力が直接的な原因となる現象の場合—

主要な災害現象	貯留のタイプ	貯留される物質	“容れ物” (貯留空間)	備考
1 洪水	—	—	—	地盤では貯留されない
2 鉄砲水	物質の貯留	水	渓床	
3 土石流(土砂流)	物質の貯留	岩塊・土砂	渓床	
4 地すべり	せん断力低下部の貯留 顕化部の貯留	風化層 (水)	山腹	
5 斜面崩壊	せん断力低下部の貯留 顕化部の貯留	風化層 (水)	山腹	
6 崖崩れ	不安定部の貯留* 顕化部の貯留	不安定風化層 (水)	急崖	
7 高石	不安定部の貯留*	不安定石塊 風化層	急斜面	
8 なだれ	物質の貯留	雪 (雪の溶け)	“なだれ斜面”	

\*必ずしも顕化を伴う必要はない。

## (1) 土石流

- 貯留される物質— 溪床の土砂
- “容れ物”—— 溪床(それぞれに限界貯留量を持つ)  
(ただし、溪流斜面で新規崩壊が起こると、その分の土砂が加わる)
- これに引き金となる豪雨や融雪水などの誘因があって発生する



大沢源頭部における貯留容量に関する諸量を説明する模式図

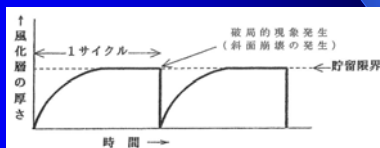
## 大沢源頭部における土砂貯留の容量を示す諸量(単位m<sup>3</sup>)

記号	諸量項目	説明	量	(A)に対する%
(A)	絶対貯留量 (B) + (E)	実際問題としては、(B)の量だけ貯留されることはあり得ないから、あくまでも非定常の量である。(B)と(E)を加える量にすぎない。	2,678,000	100.0
(B)	最大貯留量 (B)	これまでの横断測線図から判断した、S43~48年間における、堆積層上面と基下面間の土砂貯留量(実際にある時点でのこれだけ貯留されることはない)。	1,751,000	65.4
◎(C)	限界貯留量 (B) × 0.65	S47年の大量土砂流出直前(S46年)の状態が貯留の限界と想定して算出したもの、最低河床縦断面から計算して、(B)の65%になった状態が、実際的には限界と考えることができる。	1,138,000	42.5
(D)	安定貯留量 (B) × 0.165	S47年の大量土砂流出によっても流れ得なかった量は、ほぼ安定な貯留量と考える。(B)の約16.5%である。	289,000	10.8
(E)	固定貯留量 (E)	これまでの最低河床よりも更に下位にある潜在的な谷底堆積物の量。横断面と、その部分の写真判読により下限を推定して算出した。	925,000	34.6
(F)	局部流出をおこさない貯留量の限界 (D) + ?	—	289,000 + ? 422,000	26.6

注)各量の名称については、今回適当に付したにすぎない。  
なおこれらの諸量は、参考文献<sup>1)</sup>の時点(1975)で明らかにされていた量であって、最近では再調査され、変更されている。

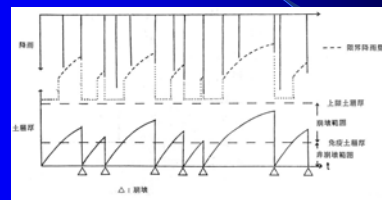
## (2) 斜面崩壊

- 貯留される物質— 風化層(表層土)の貯留(形成)
- “容れ物”—— 現位置での山腹斜面  
(地質と斜面勾配によって限界風化層厚がある)
- これに引き金となる豪雨などの誘因があって発生する



風化層の形成と山崩れの発生の時間モデル

## 風化等による土層の回復と崩壊による土層の除去の繰り返しを示す概念図(飯田:1996一部原著者改変)

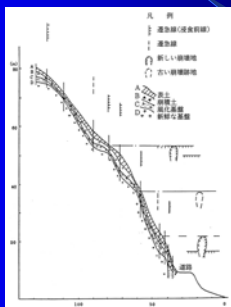


■飯田(1993)は下川(1983)のデータに対して次式をあてはめている

$$L = Aw \log(Bwt + 1) + Cw$$

L:土層厚(m)、t:時間(年)、Aw=1.0、Bw=0.004、Cw=0.15

崩壊地は遷急線付近に発生しやすい(高速道路調査会:1976に加筆)—淡路島発向部花崗岩地域の例—(表土、崩壊土、風化基盤の厚さは誇張して描かれている)



## (3) 地すべり

地すべりに関しては不明な部分が多いが

- (1)山田ほか<sup>8)</sup>のいう地すべりの幼年期から老年期をへて完全停止に至る期間を、地すべりの活動期間とみる長期的見地に立った場合と、
- (2)(1)の各periodの中で間欠的に繰り返される“動き”の起こる期間を活動期間とする。短期的見地に立った場合、の二つの見方があり、免疫性の問題は基本的に(2)に関する問題である。

- (1)のperiodが進むにつれて、すべり面の粘土化の貯留(粘土化の進行)がある。
- 貯留される物質—— 地すべり土塊への地下水の貯留
- “容れ物”—— 対象空間は、ひとつの地すべりブロック内部  
(とくに移動ブロック別の貯留が問題?)



### 5) 山地災害現象の発生と免疫性

- “貯留量の増大”は“解放されやすい位置エネルギーの増大”を意味し、降雨や融雪などの引金(きっかけ)—それ自体も“水の貯留”をもたらす—によって、破局的に急激な貯留量の減少(すなわち位置エネルギーの解放)へと向かう。
- 一度エネルギーが解放されると、次の十分な貯留までの間には破局的な解放は起こらない。つまりこの間は、山地災害に対して「免疫がある」状態といえる。

### 6) 貯留現象の有無

- 貯留の有無すなわち、貯留が起こり得るか否かの違いは一体何か。貯留が行われるには、次の二つの条件が必要となる。
    - (1) 貯留される物質は、連続的(継続的)もしくは断続的(長期的にみるとほぼ連続的)に供給され続けること
    - (2) 供給された物質の再移動(安定化)は連続的ではなく、時間的・空間的に中断がある(不連続である)こと
  - すなわち、根本的に破局的な物質の移動は常に不連続\*である。まさにこの点に貯留の有無の差異が生じる。貯留は、地表にある各種の“容れ物”を「場」として行われるので、貯留現象の有無は“容れ物の有無”にもかかっている。
- \* 洪水をもたらす水の移動は、時間的・空間的に連続性があるので、免疫性はないといえる。

### 7) <免疫性の有無>とは何か

- <貯留現象>が起こり得るか否かが山地災害に周期性をもたらす。つまり免疫性の有無を規制する
- ところが<免疫性の有無>は、時間スケールを決めた上で議論でないと意味がない
  - (例) 4、5年サイクルで災害が
    - (1) 10年オーダーでみると、「免疫性はない」ことになる
    - (2) しかし1年オーダーでみると「免疫性はある」ことになる
- したがって、「免疫性がない」にも
  - (1) 本質的に免疫性があり得ないのか
  - (2) ある時間スケール下で免疫性があり得ないのか
 違いがある
- 「免疫性のある現象」では
  - (1) 貯留速度が小さい(遅い) — 「免疫周期が大きい」
  - (2) 貯留速度が大きい(早い) — 「免疫性が小さい」

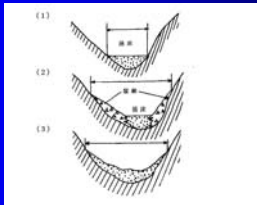
### 3. 免疫性の有効期間(貯留周期)を規制するもの

- 免疫性の有効期間は、
    - “容れ物”の大小(限界貯留量)
    - 貯留される物質の供給(形成)速度の大小(供給量の大小)の関係で決まる(あくまでも相対的なもの)
- 3.1 “容れ物”とは
- 1) 土石流—— 溪床部(谷底部)
  - 2) 斜面崩壊—— 現位置斜面だが不確定(ただし、過去の崩壊跡地からある程度推定可能)
  - 3) 地すべり—— 旧地すべりブロック

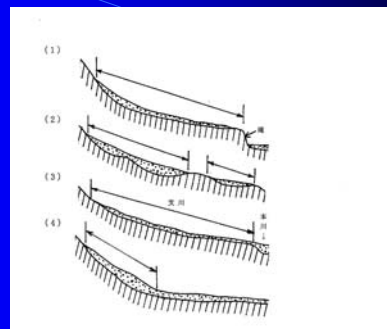
### 4. 免疫(貯留)の及ぶ空間(同一地点—小出)の意味

- 貯留が行われる单元空間(すなわち“容れもの”の範囲)
- (かつ、ひとつの現象の発生する最小单元)

#### 1) 土石流



横断的にみた土石流発生地部における免疫の及ぶ空間



縦断的にみた土石流発生地部における免疫の及ぶ空間

## 2) 斜面崩壊

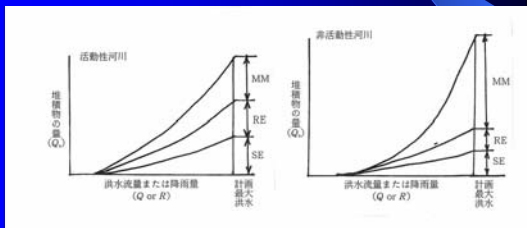
- 単一斜面全域ではなく次の部分に崩壊は起きやすい傾向がある
  - 1) 山腹斜面上の山ひだ(いわゆる0次谷)の部分。(確定しやすい)
  - 2) 山腹斜面上の凸地部分—地震の場合。(確定しにくい)
  - 3) 地下の風化層と岩盤との不連続面が深くなっているところ。(確定しにくい)
- 崩壊の発生は、遷急線付近でその直上側から起こりやすい。
  - 3) は確定しにくいですが、このことは風下層の貯留の大きい部分—すなわち免疫性のより少ない部分—が崩れやすいことを示すものといえる。

## 5. 活動性河川と非活動性河川(休眠性河川)

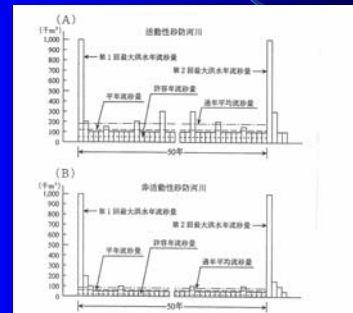
■ 砂防技術者・柿徳市(1958)の区分である

- (1) 活動性河川
    - 常願寺水系の湯川筋・多枝原
    - 信濃川水系の梓川筋・焼岳の千堀沢
    - (下堀沢・中堀沢・上堀沢・上々堀沢)
    - 鬼怒川水系の大谷川左支川の稻荷川筋
    - 最上川水系立谷沢川筋の崩壊地
  - (2) 非活動性河川
    - 六甲山系の諸河川
    - 天龍川水系三峰川
    - 富士川水系釜無川
    - 安倍川水系大谷川
    - 鈴鹿川水系安楽川
    - 利根川水系諸河川
- (注: 活動性河川は「(平年流砂量) > (最大洪水流砂量)」であり、非活動性河川は「(平年流砂量) < (最大洪水流砂量)」である。

村野(1971)による活動性河川と非活動性河川についての概念図  
 MM: Mass movement\*, RE: River bed erosion, SE: Surface erosion  
 (\* 土石流を考えている(筆者注))



柿(1958)による、活動性河川(A)と非活動性河川(B)の説明図(1サイクルの流砂量曲線)



## 活動性河川と非活動性(休眠性)河川の差異—山地災害の「免疫性」の観点から—

項目	活動性河川	非活動性河川
(1) 貯留速度 (不安定化の速度)	大	小
(2) 1サイクルでの貯留量 (貯留容量)	小	大
(3) 破局的土砂流出の頻度	大	小
(4) 破局的の大きさ	小	大
(5) 下流へ流出する土砂量の総量 (きわめて長い時間スケールを考慮)	大	小

2,3の河・溪流を例にした、これまでの土砂流出からみた貯留から破局的土砂流出(エネルギーの解放)に至るサイクルの違い

河川・溪流名	1サイクルの時間	備考
上高地焼岳上々堀沢 立山多枝原(西谷) 富士山大沢	1年± 3~5年 6~8年	活動性河川**
天龍川支川の三峰川 狩野川	100~200年(?)* 200~300年(?)*	

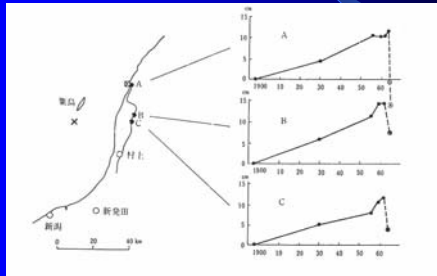
\* 1サイクルの時間はきわめて不明確であるが、河川の沖積段丘地形やその上の植生などにもとづく。

\*\* 柿(1958)の呼び方、これらの溪流自体をいうのではなく、これらを含む河川をこのように分けて呼んでいる。

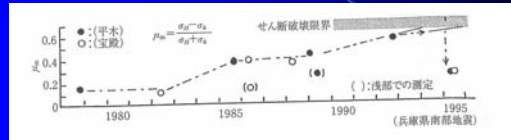
■ 活動性が非活動性かの違いは、土砂の貯留から破局的な流出(エネルギーの解放)に至るサイクルの大小すなわち、土砂流出に対する「免疫性の有効期間の大小」を言っているにすぎない。

## 類似した諸現象

—新潟地震で起こった地域東方の朝日山地での3水準点の上下変動—  
A地点の地震直前と直後の2点は鼠ヶ関の検潮記録による。(鈴木:1975)



$\mu m$ (ミュー) =  $(\sigma H - \sigma h) / (\sigma H + \sigma h)$  の値が0.6になると地震が起きるといわれている(塚原・池田:1989)

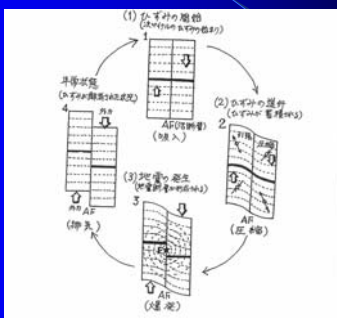


$\sigma H$ : 最大の水平地圧

$\sigma h$ : 最小の水平地圧

■測定地点の平木と宝殿は、兵庫県南部地震を起こした断層から約25km離れた地点にある。

## 地震発生と活断層形成—弾性反発説モデル— ( )はガソリンエンジンのサイクル(今村:2004)



<天地の道は極まれば即ち反り、益つれば即ち損ず>(泰族訓)ということか?

今後の問題

- 1) 地すべりにおける貯留メカニズムの明確化
- 2) 地すべり・崩壊・土石流における次のものの推定方法
  - ①限界貯留量
  - ②貯留の現状
- 3) こういふ見方でのデータの収集
- 4) それをふまえて「山地災害の免疫性の点から見た危険度ランク区分図」といったものの作成手法の確立

—御清聴ありがとうございました—