

How to Find an Active Fault



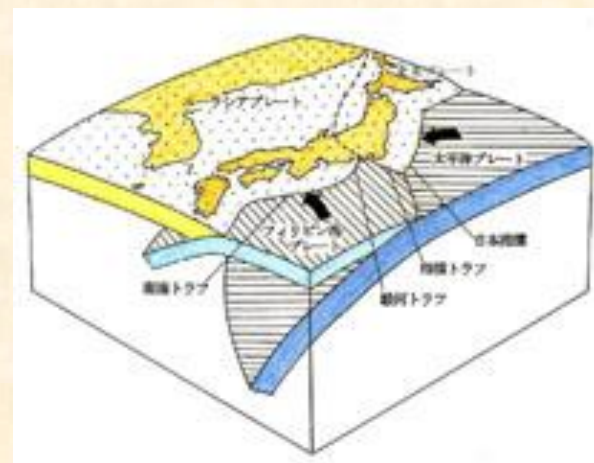
**Earth & Environmental Sciences,
Faculty of Science,
Kumamoto University**

Dr. Hisayoshi YOKOSE

What Is an Earthquake?



地球表層部を構成するプレートが、相互作用を行った結果として地震が発生する。



地震の種類

沖合型地震

(一般に震源が深い)

プレート境界

沈み込むプレート内部

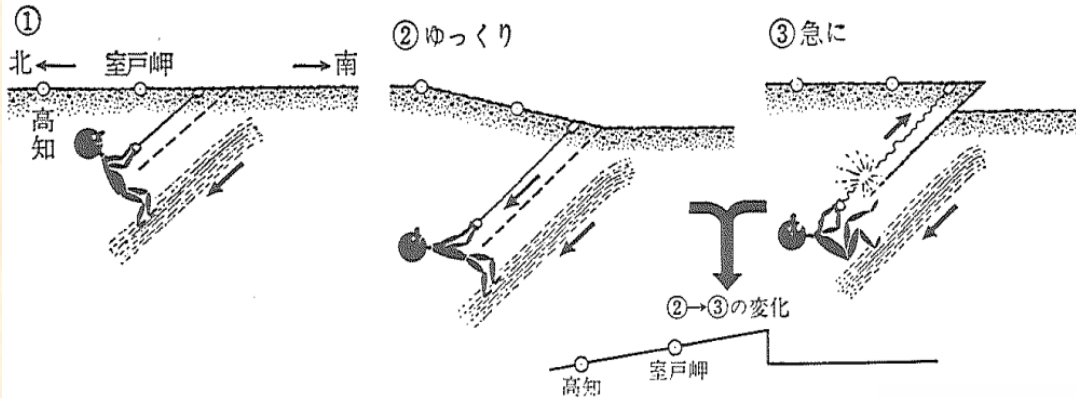
直下型地震*
(地表から15 km位)

内陸の地殻上部

*：“直下型地震”という用語に違和感を唱える人もいる。

日本列島は、常に押されている状態だから弱いところが壊れる!!

地震断層



弾性はねかえりの考えによる南海道地震の説明 ①は初めの状態、②は地震前の状態、③は地震の時の状態、②から③への地盤の変化は図の右下に小さなグラフで示したようになる。

プレート間の相互作用のみならず、同様の応力場が発生すると、同じような現象になる。

上盤側が跳ね返る!

プレート境界で片方が沈み込んでいる場合、反対側のプレートがある程度まで引きずられるものの、ある限界を超えると緊張の糸が切れて反発する。その結果、上盤側が上昇し、盛り上がる。

地表地震断層

震源断層

震源

図 10 地震断層と震源断層(震源断層の奥のほうは地表に達していない、手前の小さなき裂は根なしの地表断層)

断層と地震は一心同体!! 地盤の切れ目に気をつけろ!!

活断層とは

- **活断層ってなに：** 最近の地質時代(第四紀:約200万年前から現在)に繰り返し動き、将来も活動することが推定される断層とされています。でも全ての断層が活断層ではありません。遠い昔動いていた断層が、今は動きをやめてしまったことも多くあります(地質断層とも呼ばれる)。
- **活断層調査：** 国は、国内に2000以上あるとされる活断層の内、もし活断層が活動した場合、社会的、経済的に影響の大きなものを98選んで、交付金で調査を実施しています。
最近に活動した活断層は、一般に動いた痕跡(地表面の落差や河川のズレなど)を地表面に起こしているので、まず空中写真でその痕跡を抽出して調査対象を決めます。
- **なぜ活断層調査をするの：** 活断層は、地表に残された地震活動の足跡であり、調査でいつ頃、どの程度の規模の地震がどのくらいの間隔で発生する可能性があるかを確かめるものです。
- **地震が起きてこわいのは、なに：** 地表の変状(段差や地割れ)とゆれです。活断層が動くと地表に落差や地割れができます。ほぼ前に動いた場所がまた動く(数千年前とほぼ同じです)のでその場所は危険。

活断層を探そう!

“地震予測”と“地震災害予測”は根本的に違う!

地震災害の予測

我々の関心

- | | |
|---------------|--|
| 1. どこで(where) | どこが被害にあうか? |
| 2. いつ(when) | いつごろ発生するか? |
| 3. どのくらい(how) | 想定される被害は? |
| 4. どんな (what) | どのようなタイプの
災害が付随するか
津波, 崖崩れ, 地割れ
液状化 |

地震学者の関心

- | |
|----------------------|
| どこに震央があるか? |
| いつ発生するか? |
| 震央における規模(M X) |
| 発震機構, 地球の内部構造
etc |

そして誰のための予測や研究 ?

地球物理学者の中で“**頭の悪い**”人は、この違いが理解できず、数式ばかりをマニュアルにいじくりまわして悦に浸っている。人々が求める予測は、地震災害予測であり必ずしも震源に関する予測ではない。それに較べ、地球科学的研究は、災害の危険性を指摘することが可能となってきた。多くの場合は事前準備で破局的な災害を避けることができる。たとえ正確な震源地の予知ができていなくても。

丹那断層(北伊豆地震)

1930.11.26. M7.3; 死者 272

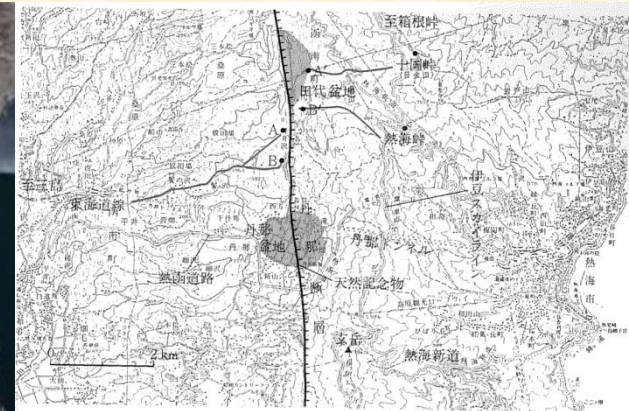
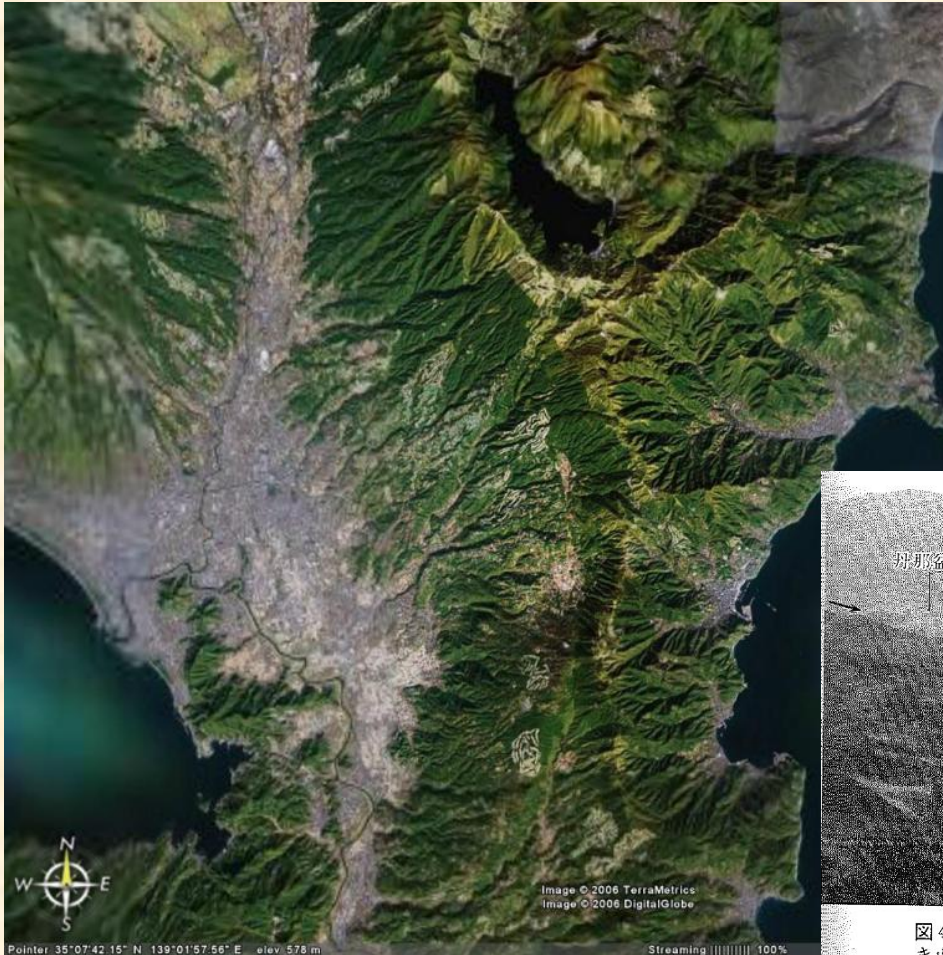


図 4.18 丹那断層付近。A, B の各谷の上流が、丹那断層の運動のため、それぞれ A', B' に移動したと考えられる。その移動量は約 1000 m. (国土地理院 5 万分 1 地形図熱海、沼津)



図 4.21 田代盆地。矢印は丹那断層。断層の遠岸側が隆起したために、土砂がせき止められて、このような平坦な盆地ができた。(撮影=松田)

左横ずれ断層らしいのだけれども？

丹那断層2

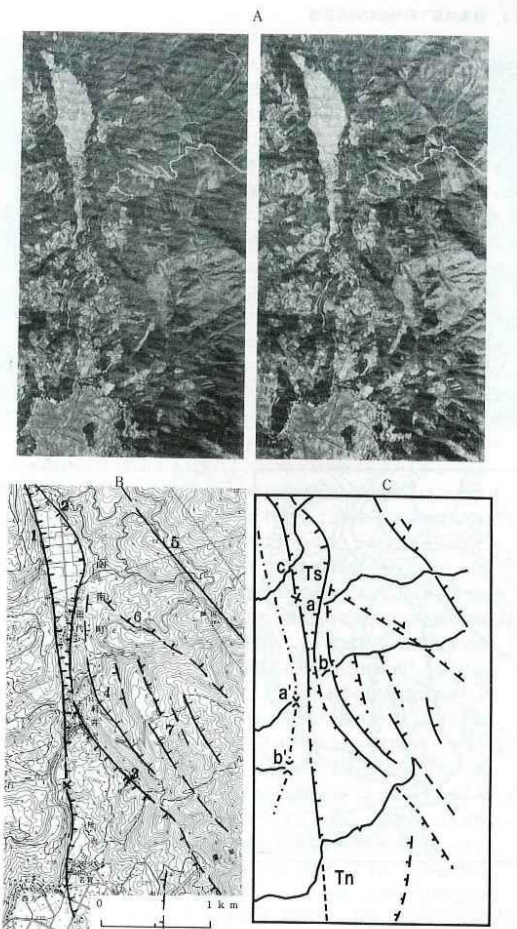
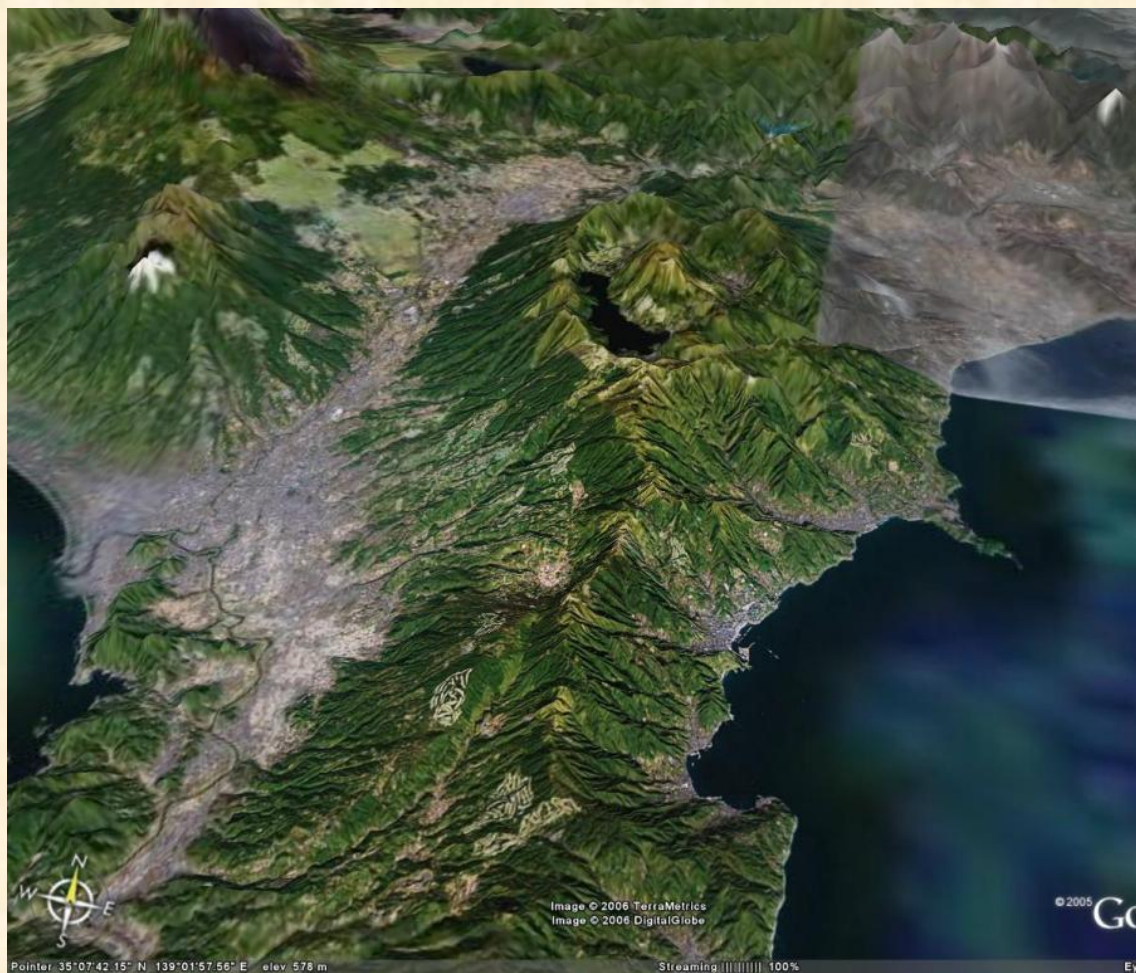


図-2 北伊豆地域の丹那断層。
A : 空中写真(番号 CB-67-IX, C 6-12・13)。B : 地形図(2.5 万分の 1「熱海」)と判読結果
C : 地形の解説図

なんだか、傷だらけ！ 歳頭谷発見！ 教えてやらないよ。

あなたの住んでいる地域は大丈夫？

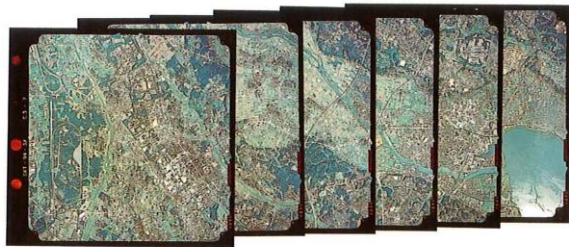
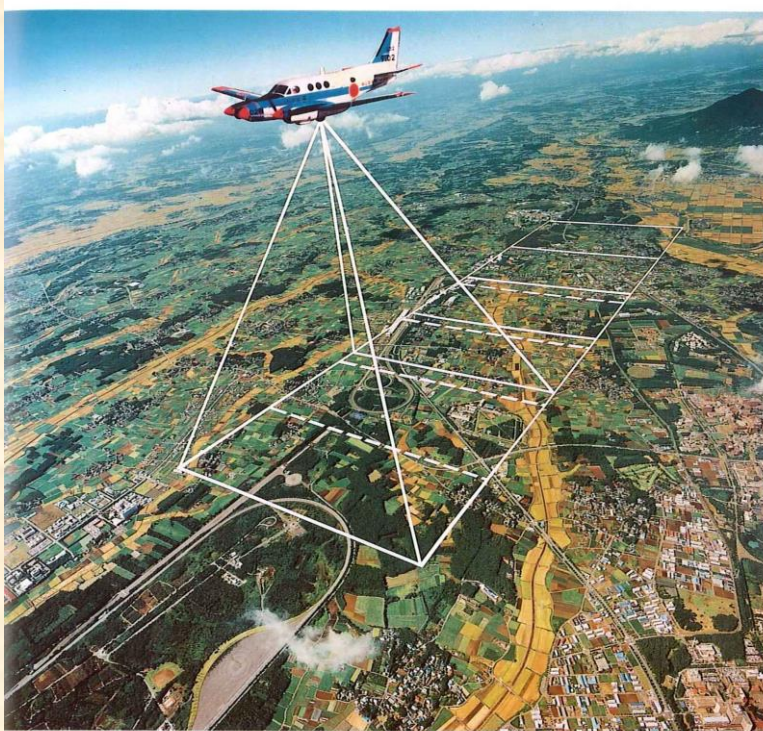
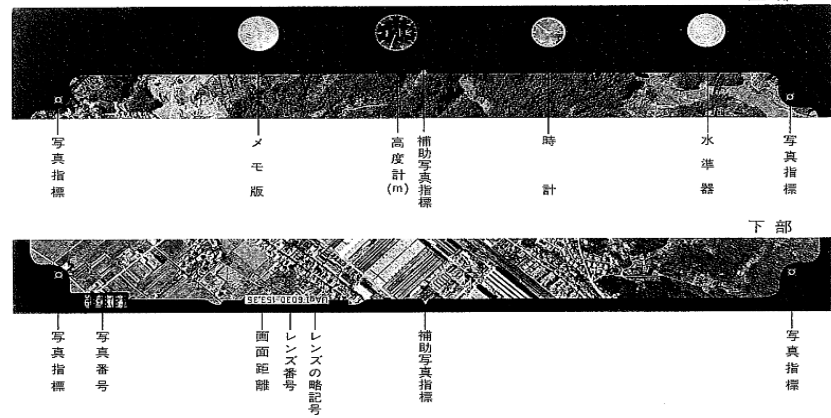


図61 空中写真の撮影

A-2 ウィルド社製カメラの計器 RC10型 (2/3倍)



最初のローマ字は地方記号で次のように分類しています。

HO 北海道 TO 東北 KT 関東 CB 中部 KK 近畿
CG 中国 SI 四国 KU 九州 OK 沖縄

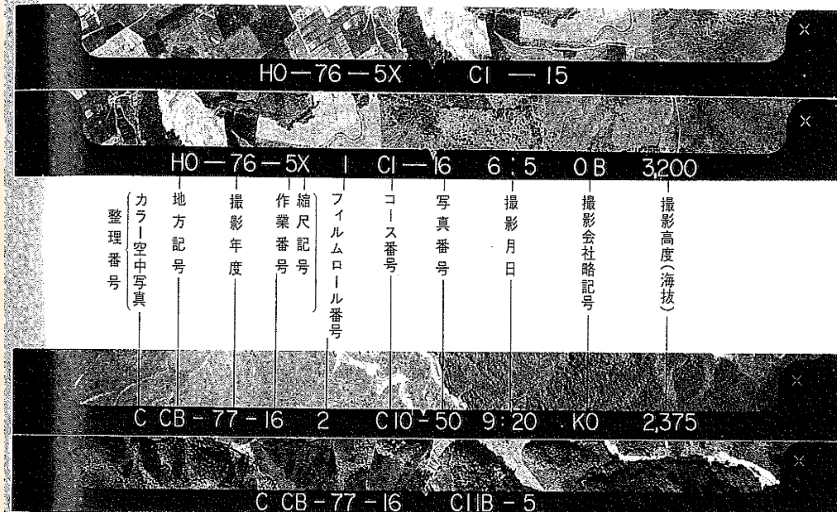


図9 空中写真の注記

If I were a bird, I could fly to you!

Three Dimension Image

活断層を探すための道具（空中写真の立体視）

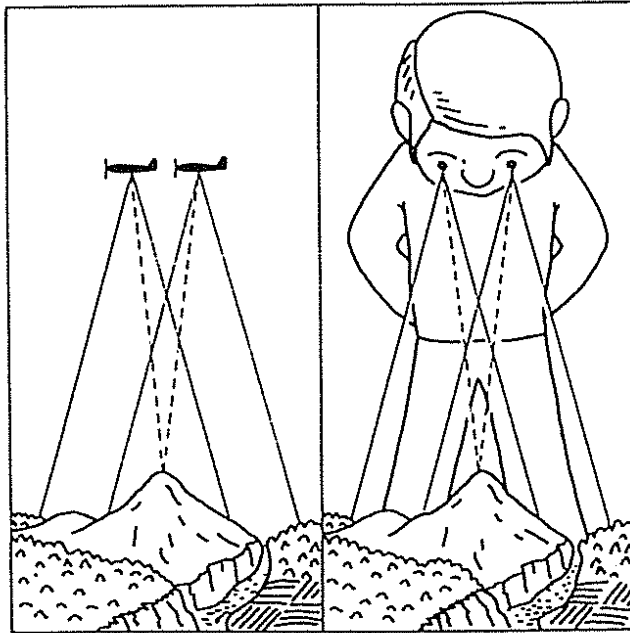
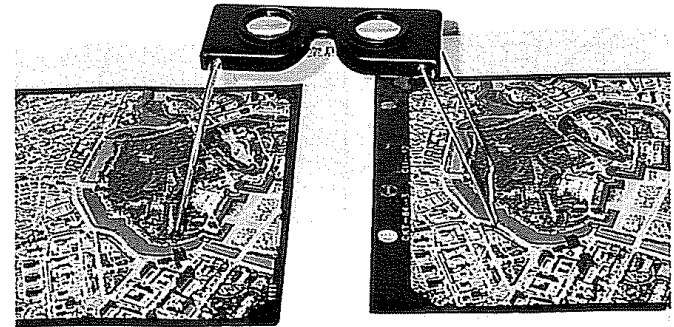
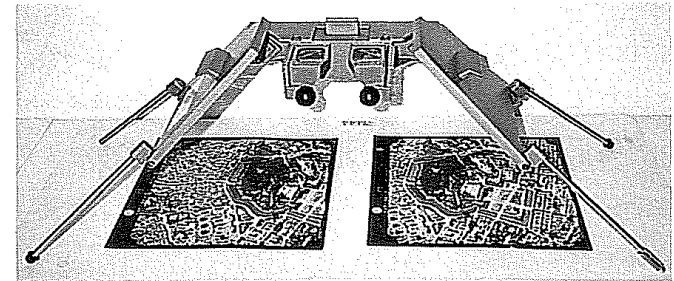


図26 実体写真撮影と巨人の実体感
写真測定入門(西尾元充)より



(a) レンズ式実体鏡



(b) 反射式実体鏡

図31 実体鏡

やべ! マジ立体じゃん!

中心投影(空から撮った写真は見える?)



図21 建物の画像の長さから高さを測る

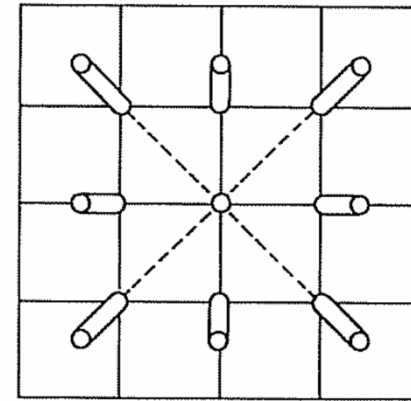


図12 中心投影の性質

写真測定入門(西尾元充)より

空中写真は、無限遠から
平面に投影ではない。
そのため、周辺部は外側
に向かって、倒れこむように
映し出されている。

この写真の場所は？ 新宿駅西口じゃん！

活断層に伴う地形の分類

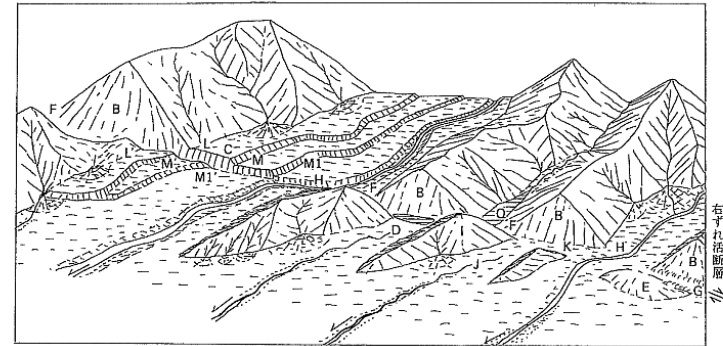
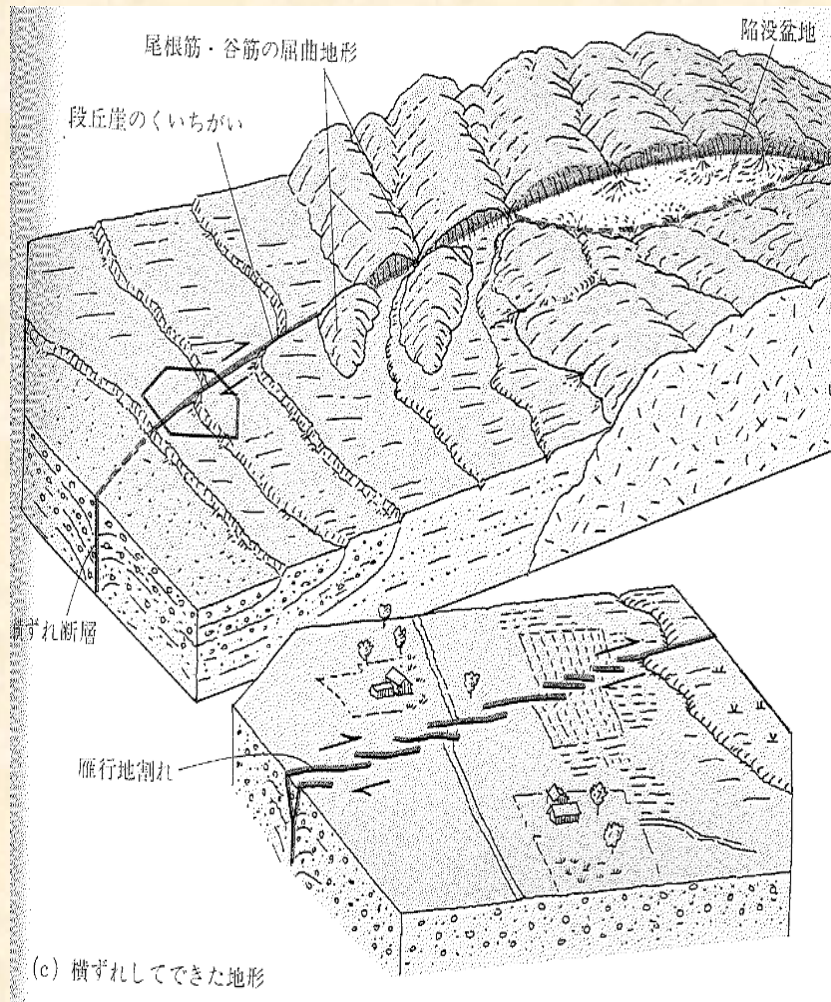


図 2.5 右ずれ断層による変位地形の諸例 (岡田, 1979 を改訂)

B: 三角末端面, C: 低断層崖, D: 断層池, E: ふくらみ, F: 断層鞍部, G: 地溝, H: 横ずれ谷, I: 閉塞丘, J: 截頭谷, K: 風障, L-L': 山麓線のくいちがい, M-M': 段丘崖 (M, M') のくいちがい, Q: 堰止め性の池.



写真 2.1 鈴鹿山脈北部東麓の断層運動によってできた三角末端面 (岡田撮影)

一志断層系に沿う鈴鹿山脈北部東麓の断層崖。山麓にある急斜面が三角末端面。後方中央は御池岳 (1242 m), 左手は藤原岳 (1143 m)。山麓の集落は右手 (北側) より、三重県員弁郡藤原町の山口・坂本・大貝戸。

いろいろなスケールでみかけが
違って来るぞ.

サンカクマッタンメン? 担麺食べてー!!

断層でないリニアメント

活断層以外で空中写真上に直線的な特徴(リニアメント状)が観察される場合.

1. 人工的線状模様
道路, 鉄道, 流水溝, 送電線
地下埋積線, 植生界,
水田, 畑の耕作境界線
2. 表層的線状模様
風, 波, 流水, 氷河などの
自然現象によって作られた
もの
3. 地質的線状模様
活断層以外の線状模様には,
たくさんの種類がある. 層理,
岩石の境界, 節理, 地質の
境界が原因となる植生, 地形
土壌などの変化

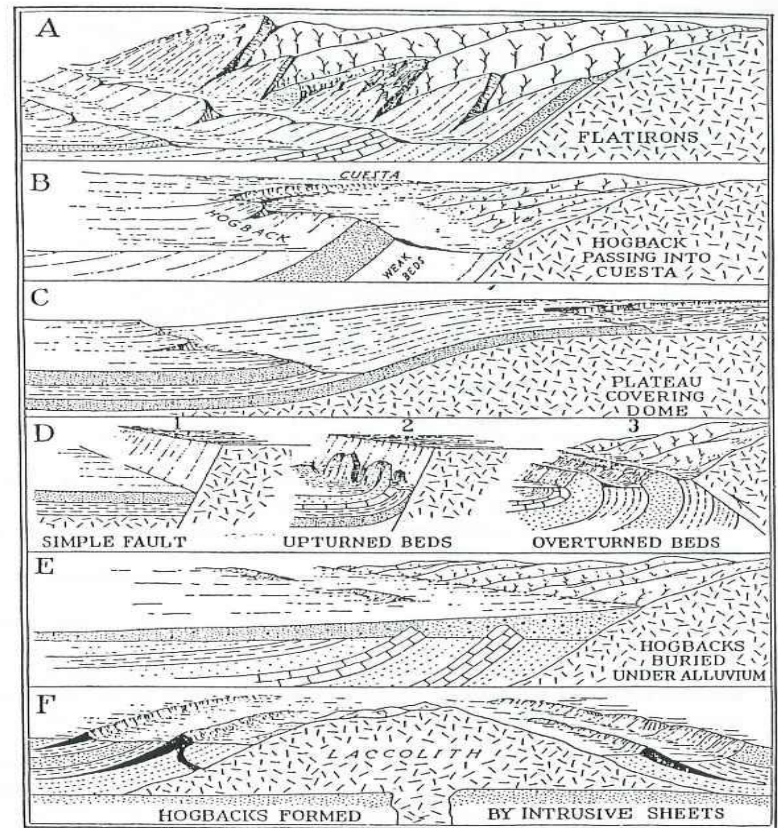
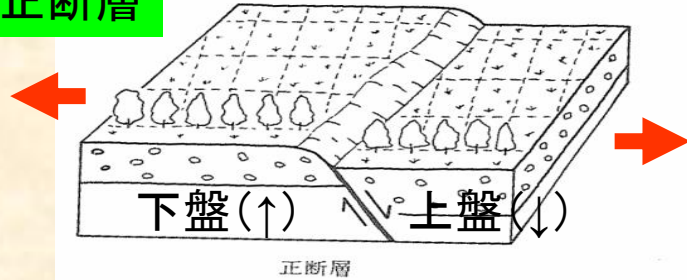


図-4.8 リニアメントを形成する各種の地形 (Lomick, 1939 による)
A: フラティロン (ホグバックの一種で、ドーム山地を覆う堆積岩の最下部が硬固であると、山地山腹斜面にへばりついた形の走向山稜) B: ケスタに移化するホグバック C: ドームを被う台地とケスタ D: 1: 単純な断層 2: 断層によって上方に引きずられた地層 3: 逆断層による逆転層 E: 沖積層下に埋没したホグバック F: 侵入岩体によって形成されたホグバック

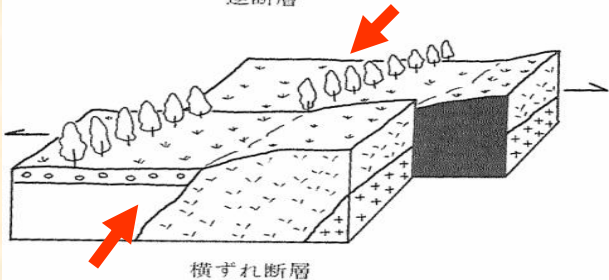
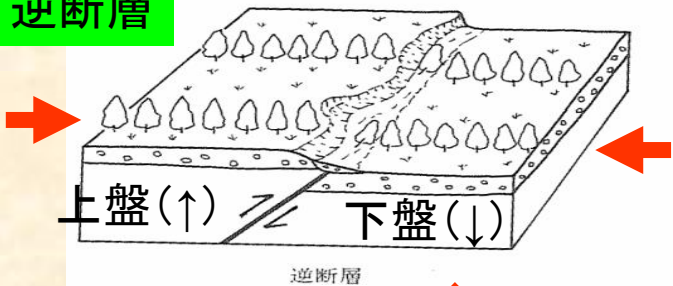
地層の積み重なりで、直線状に見えるケース.

地盤の動き方を検討する

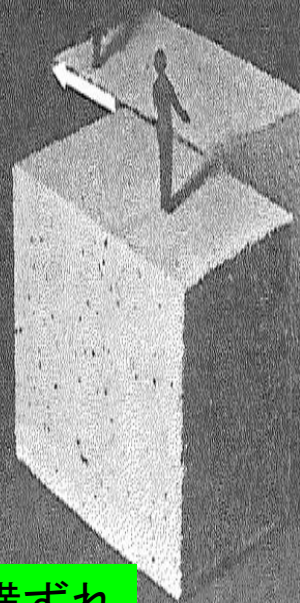
正断層



逆断層

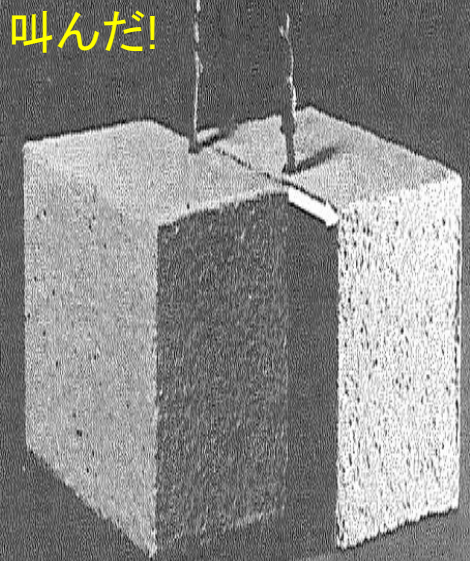


私達、お別れね.彼女は
左側に去っていった.



左横ずれ

あ～行かないでくれ!
とヒロシは右に向いて
叫んだ!



右横ずれ

左ずれ断層と右ずれ断層 左, 左ずれ断層は, どちらの側から見ても左にずれている. 右, 右ずれ断層.

へ～～, そんな話, むかし聞いたような.....
可愛そうな二人, いつもすれ違い. 二人の間には深い溝が.....

様々なスケールで現れる活断層

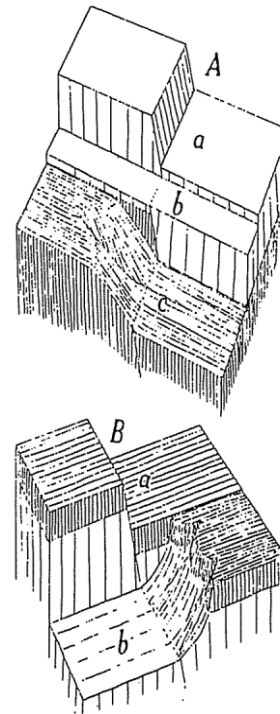
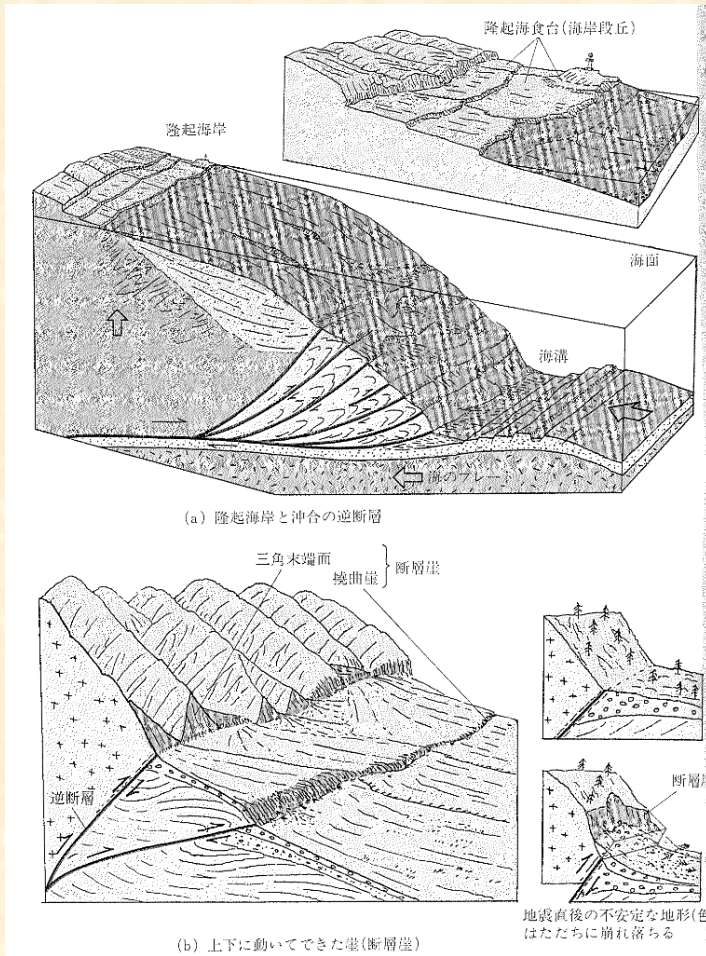
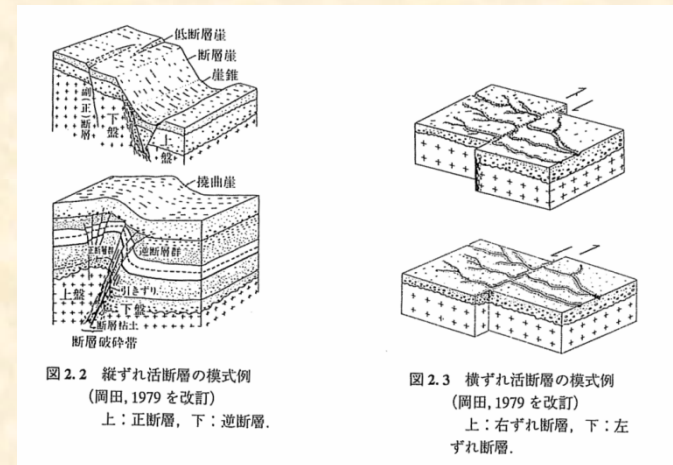
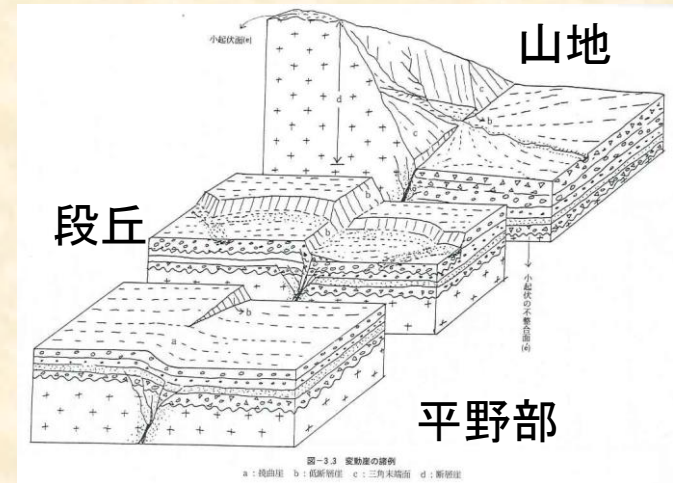


図-3.1 断層線崖の形成過程
(COTTON 1958による)

A-a: 断層崖の形成 b: 浸食による平坦化
c: 再断層崖の形成
B-a: 断層崖の形成 b: 隆起側の浸食低下による逆断層崖の形成



断層の性質はわかるかな？

兵庫県南部地震 (断層沿いの震度七)

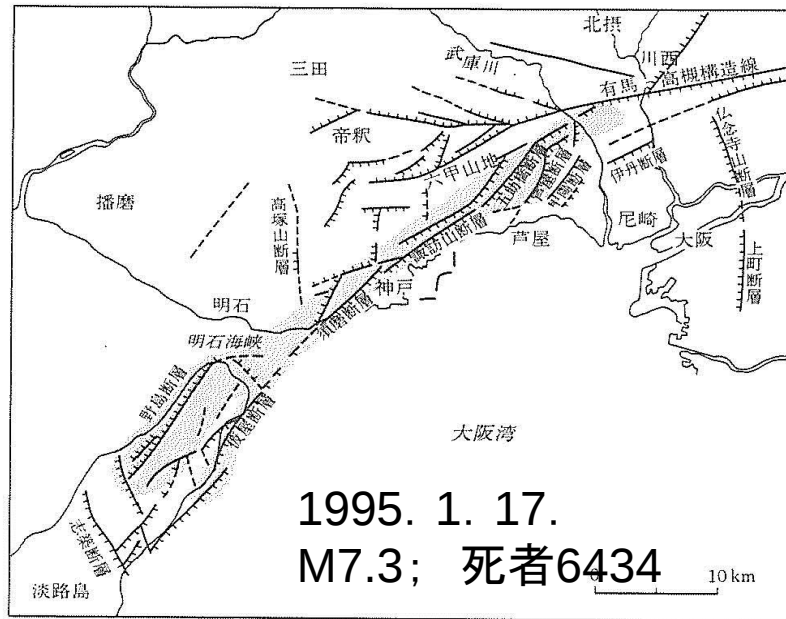
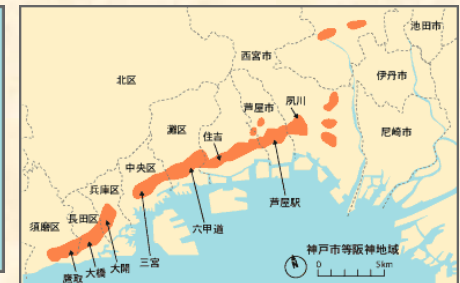
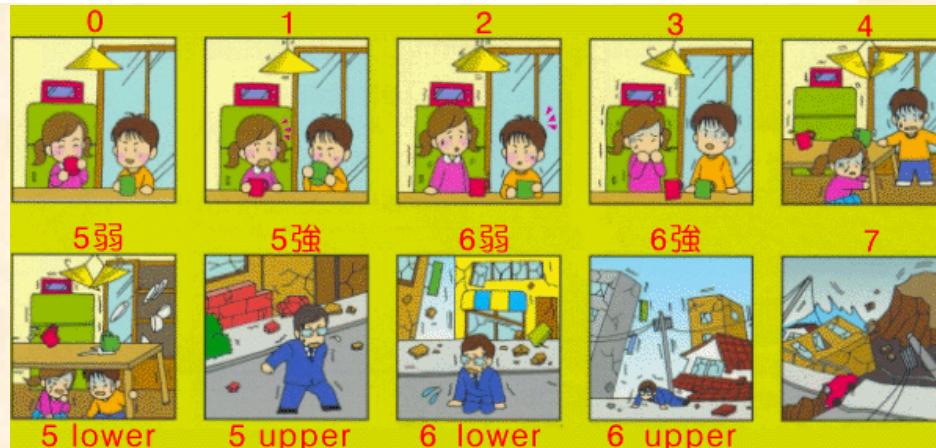
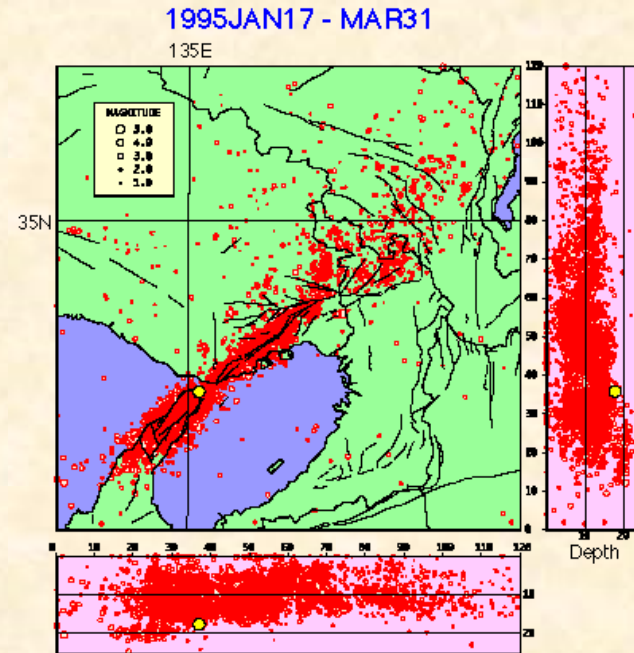


図7 阪神・淡路地域の活断層とおもな余震分布(1月25日まで)



(気象庁のホームページより)

活断層の上に被害が集中してるじゃん!!

地震と地形1

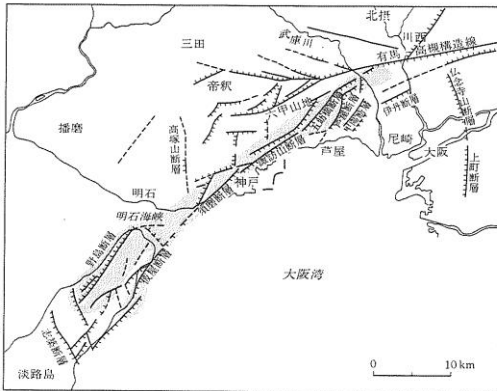
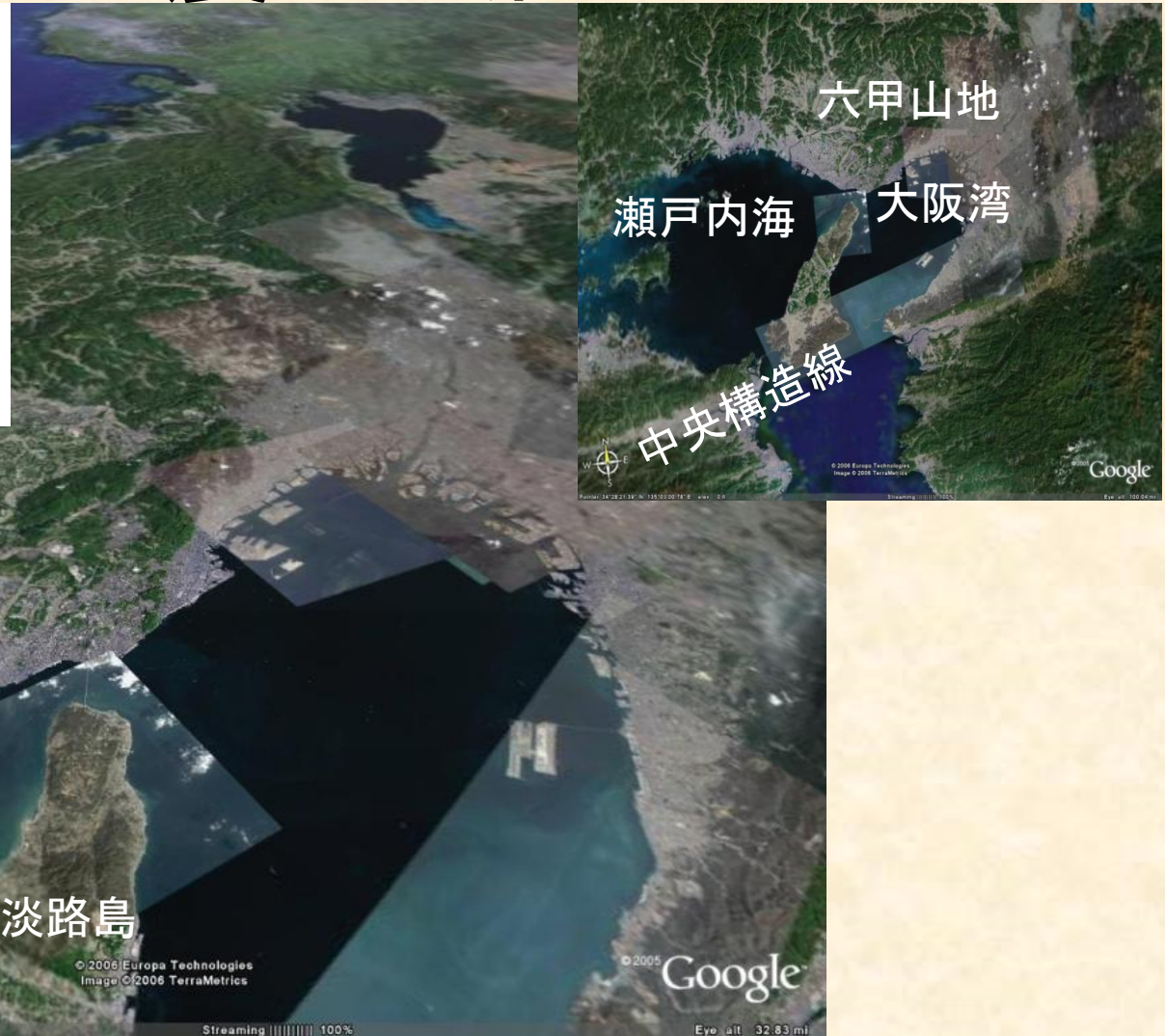


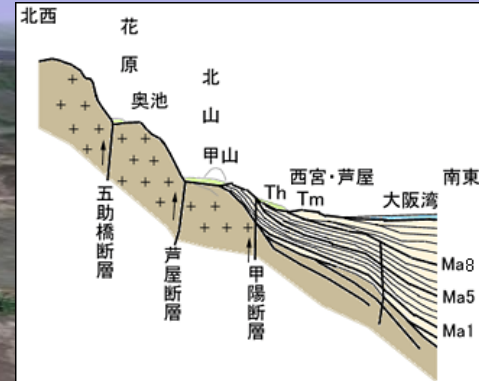
図7 阪神・淡路地域の活断層とおもな余震分布(1月25日まで)



いろいろな線が見えるけど. これってすべて活断層?

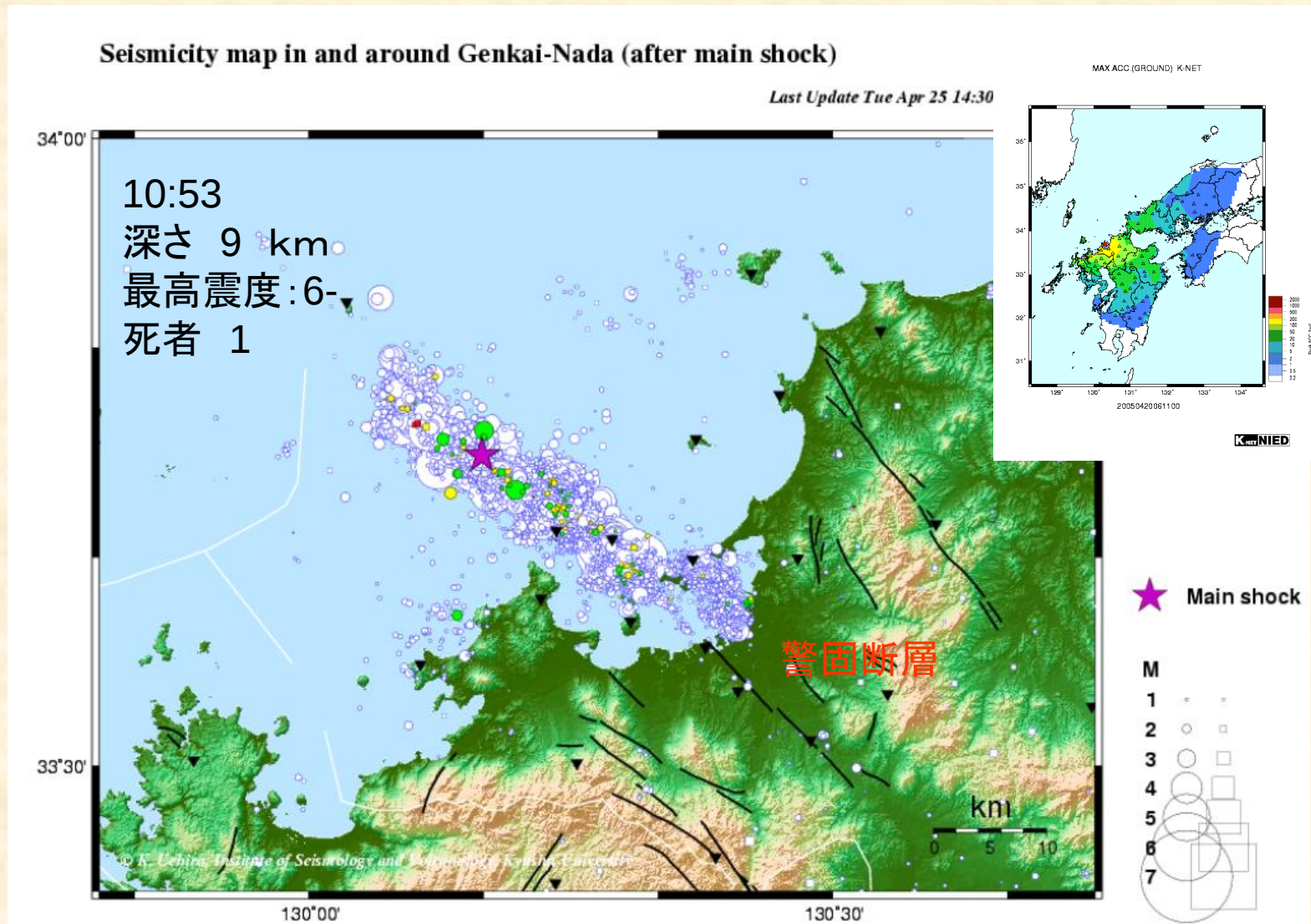
地形と地質と活断層

六甲山地は、
間欠的な
断層活動の
結果上昇した
と考えられて
いる。



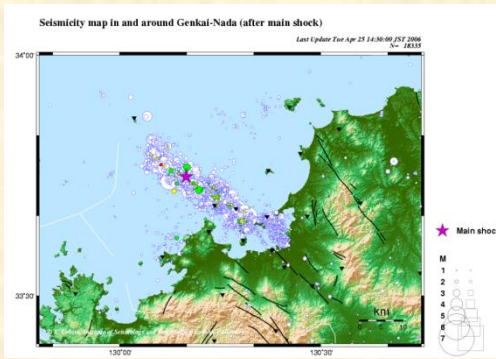
山と平野の境目が危ない！！

福岡県西方沖地震(2005.3.20; M7.0)

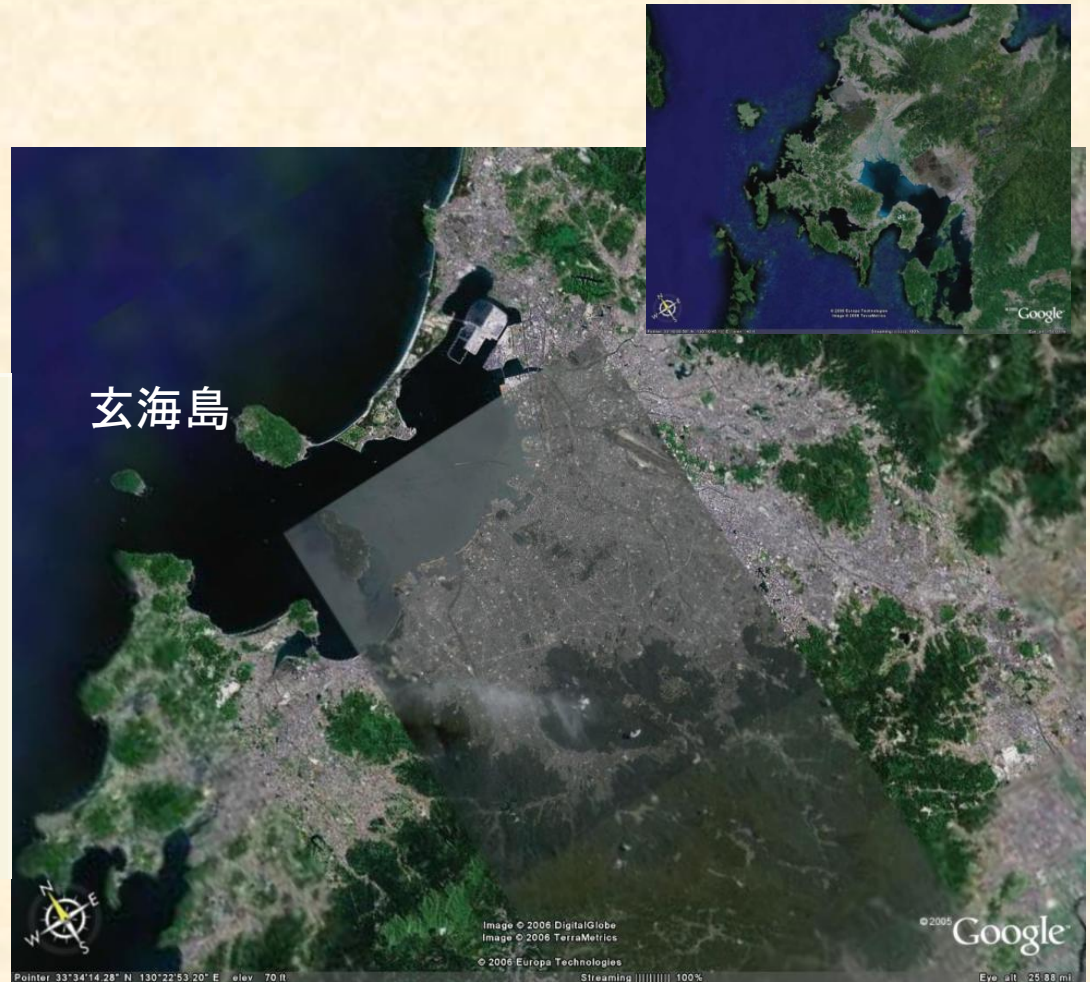


九州にも活断層が、あつとですか？—そぎゃんです！

地震と地形（福岡県西方沖地震）

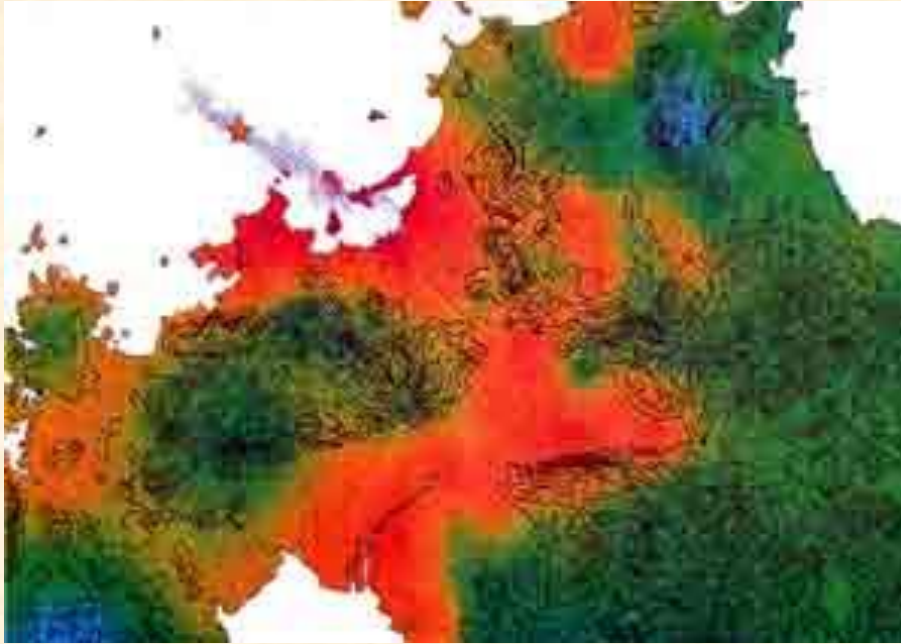


2005. 4.20. M5.8;
最大の余震（震度5強）

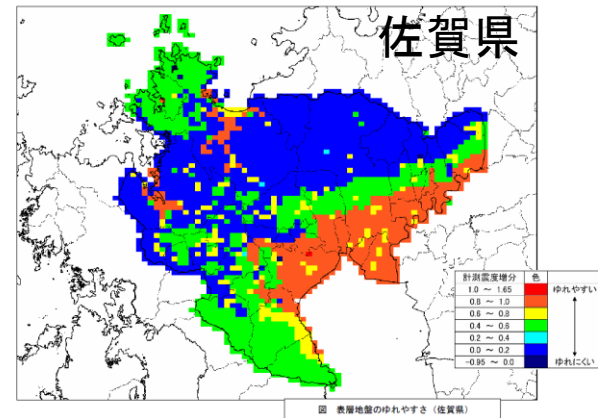
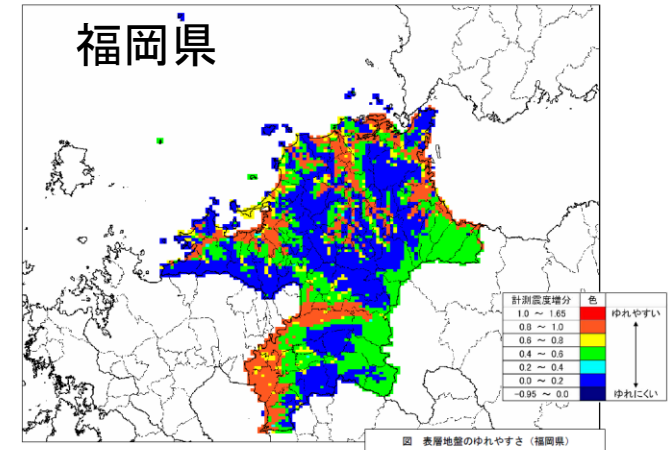


そぎゃんここに、活断層が通りよるですか!!

揺れやすい地域



揺れの激しかったところが赤で示されている.
どうみても,平野部に揺れの強いところ集中しているように見える.



軟弱地盤に気お付けろ! 地震の揺れは半端じゃない.

軟弱地盤が揺れを増幅する

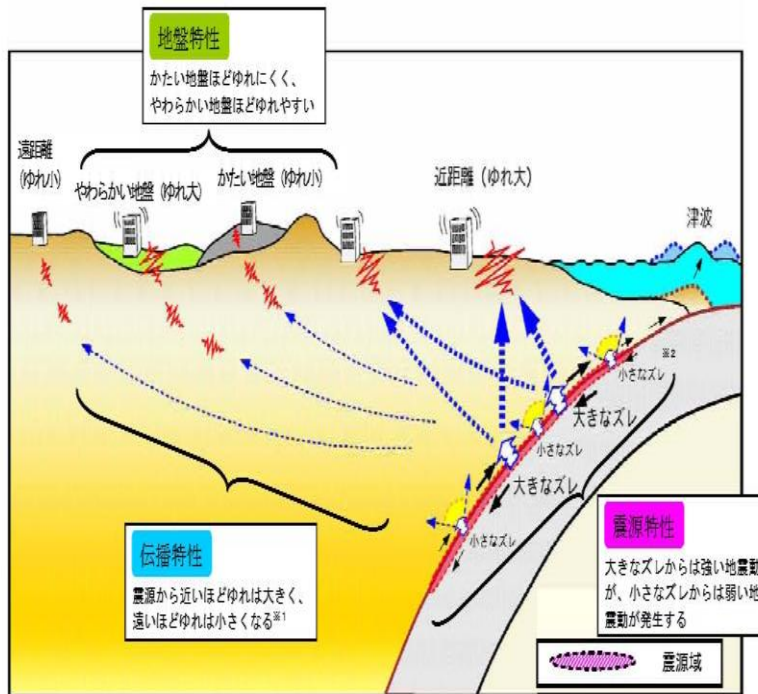
◆軟弱地盤が揺れる理由

地中を伝わる地震波は硬い地盤ほど速く伝わり、軟らかい地盤ほどその速度は遅くなります。この遅いというのは、1周期の間に波の進む距離（波長）が短くなるということ。ひとつの波長に含まれるエネルギーは土の種類によって変わることはないので、硬い地盤から軟らかい地盤に到達した地震波は波長が短くなる分、振幅が増大して、エネルギーを一定に保とうとします。これが、軟弱地盤のよく揺れる理由なのです

$$v = \lambda / T$$

$$u = 2\pi\rho a^2 f^2 \dots u: [J/m^3], \rho: [kg/m^3], a: [m], f: [Hz]$$

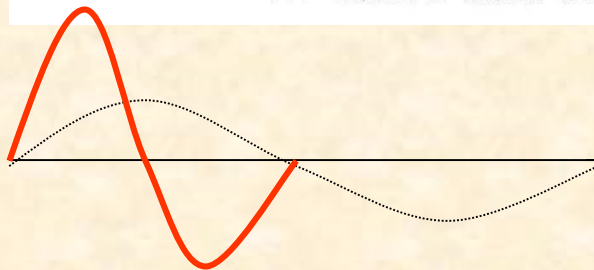
となり、媒質の振動のエネルギーは振幅の2乗と振動数の2乗と媒質の密度とに比例する



※1 盆地で地震波が集中する場所などでは、震源から遠くても大きいゆれとなる場合がある。

※2 地震は断層（震源域）の急激なずれによって生じる。一つの地震でも、震源域では、大きなずれを生じる場所や小さなずれしか生じない場所がある。

図1 地震のゆれ（強震動）の伝わり方



って
こんなイメージ

根尾谷断層

(濃尾地震:明治24年)



1891年10月 濃尾地震(M 8.0)

震源地: 岐阜県根尾村

地裂線: 福井県から愛知県まで
80 km

土地のずれ: 最大 8 m
(世界最大でも12 m)

死者: 7273 名

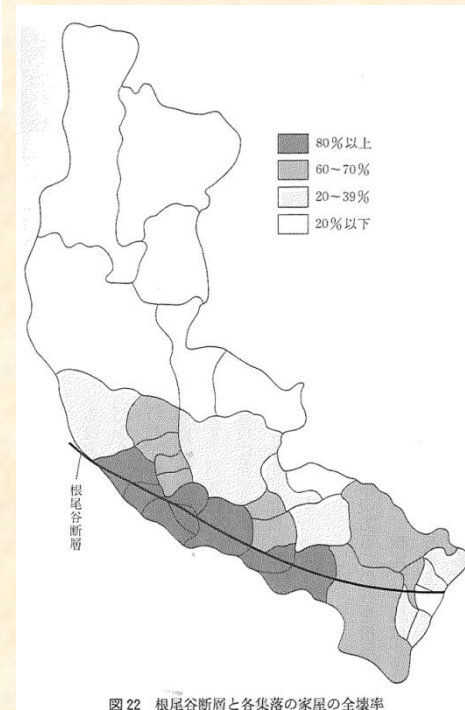
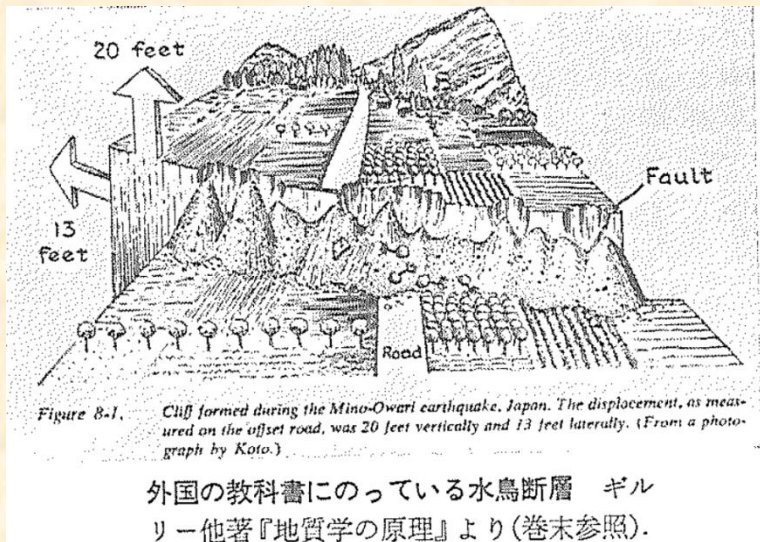
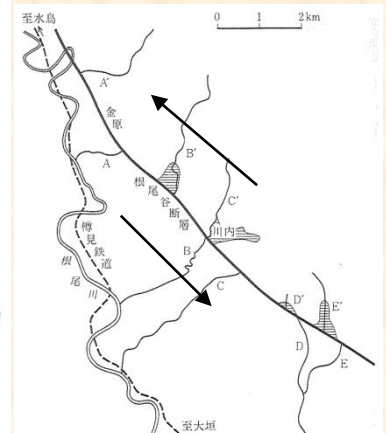


図 22 根尾谷断層と各集落の家屋の全壊率

被害は、活断層
沿いに集中
している。



8mとね? そぎゃん, 一気に動きよったら, たまらんばい!!

よし！ 活断層とやらを，一丁掘ってみるべ！（断層の周期性）



で？掘ったら何がわかるの？

トレンチ調査の中身

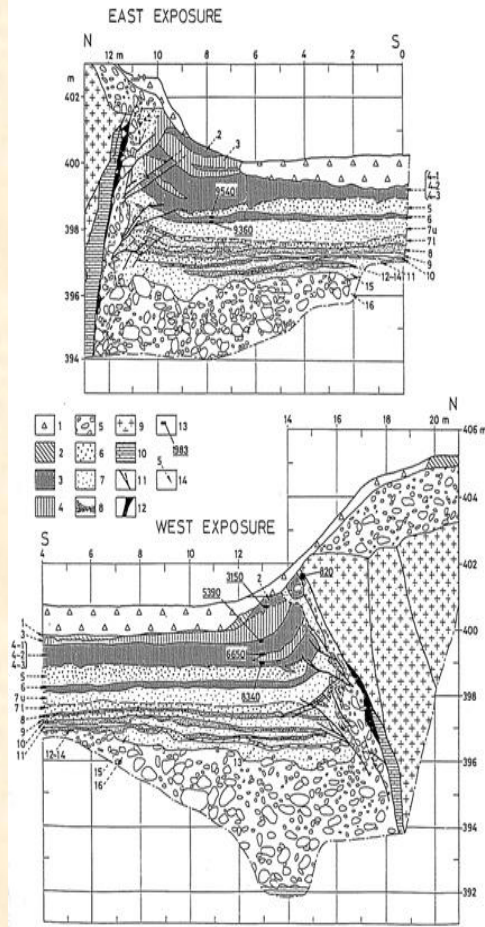


図2 跡津川断層 ④野首トレンチ断面のスケッチ(跡津川断層発掘調査団^④)
(A)東壁面、(B)西壁面。1. 礫土および崩土、2. 水田土礫、3. 腐植土、4. 腐植質砂、5. 礫、6. 粗砂、7. 中砂、8. 細砂-シルト、9. 花崗岩、10. 石灰岩、11. 断層、12. 断層粘土、13. 年代試料の採取位置およびその年代(y. B. P.)、14. 地層番号。

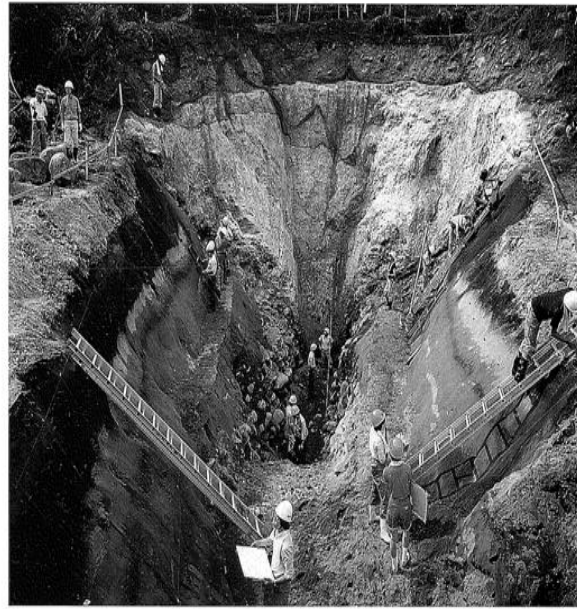


写真2 跡津川断層 ④野首トレンチの状況(岡田撮影)
このトレンチは低断層崖を横切って南北方向に掘削されたために、トレンチ底から段丘面上まで比高約13mもある。日本で行われたトレンチ事例としては最深のもの。写真左右の法面は勾配が約45°で、その途中には大走りが作られた。

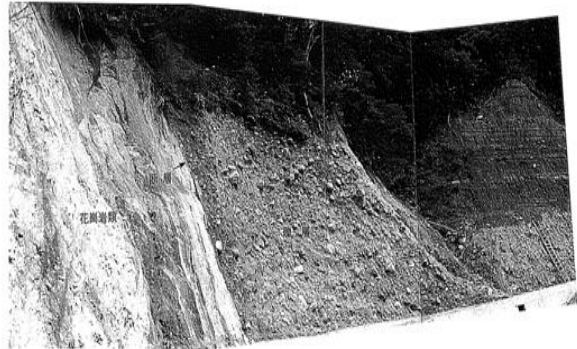
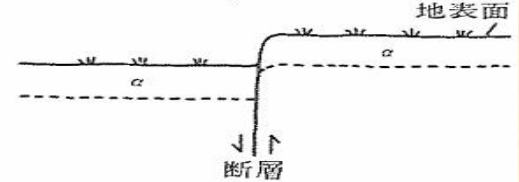
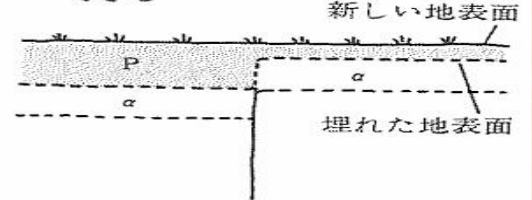


写真3 跡津川断層 ④真川流域の大露頭(神崎撮影)

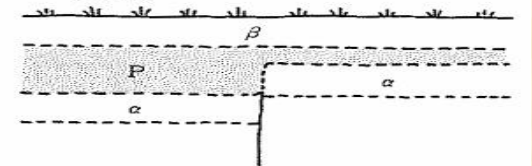
①地震の直後、平坦だった地表面に段差ができる



②その後、低い側に厚い地層Pができる



③それ以後、同じ厚さの地層βができる



④つぎの地震の直後、以後①→④がくりかえされる

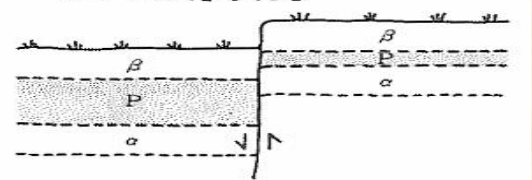


図19 過去の断層の活動を記録する地層(活動で地表に段差ができると厚さのちがう層として記録される)

具体的な活断層の動きがわかるわけか！

地震の発生頻度(満期を迎える活断層)

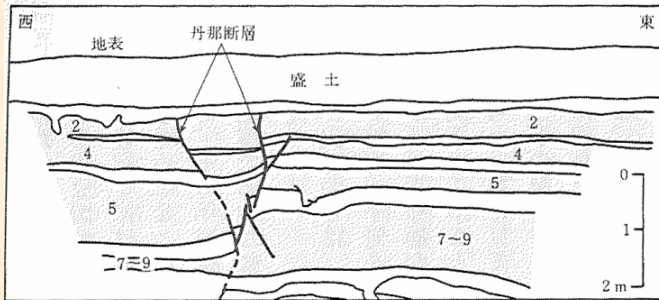


図 20 トレンチ壁面の地層(事件を記録している)

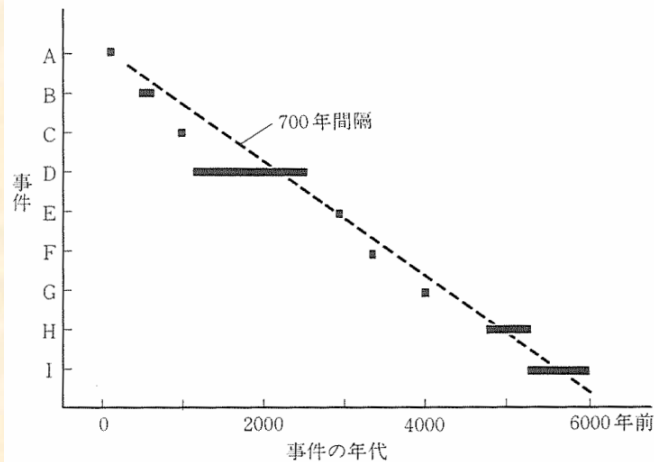


図 21 トレンチ壁面から読みとった9回の活動(活動の年代が横長なのは決定できる年代に幅があるため)

堆積物の年代測定に基づいて
断層の周期性を調べる.

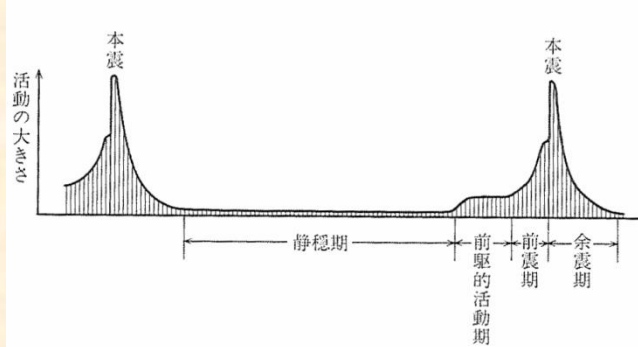


図 39 活断層の活動サイクル(1サイクルは4時期からなる)

地震活動の
基本パターン
前震はあったり
なかったりする.

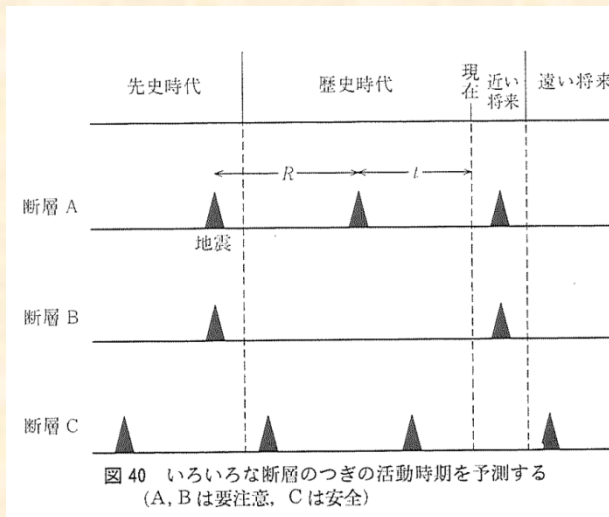


図 40 いろいろな断層のつぎの活動時期を予測する
(A, B は要注意, C は安全)

地震活動の
周期がわかれば,
大雑把に, 次の予
測が可能となる.
頻繁に活動する
断層と長いこと
沈黙を守っている
断層は要注意!

ストレスがかかっているのに, 黙ってるやつが, 怒り出すと大変だもんな!

活断層の規模と地震の関係

表-2.3 活断層の平均変位速度による区分と断層変位地形の一般的特徴

(松田, 1975; 岡田・安藤, 1979に加筆)

区 分	1,000年間の平均変位速度 S	例	断層変位地形の一般的特徴
AA級	$100\text{m} > S \geq 10\text{m}$	日本海溝沿いの断層 南海トラフ断層 相模湾断層 San Andreas断層	ランドサット衛星映像や大地形に表現されているような大断層で、ほとんどの場合プレート境界に相当する
A級	$10\text{m} > S \geq 1\text{m}$	中央構造線 糸静線中央部 阿寺断層 丹那断層 跡津川断層	4万分の1空中写真の判読で地形線や地形面が切断されているのがよくわかり、変位の向きが確実に判定できる。断層変位地形はきわめて明瞭
B級	$100\text{cm} > S \geq 10\text{cm}$	立川断層 深谷断層 長町-利府断層	4万分の1空中写真の判読で、断層変位地形がどうか認定でき、条件がよければ変位の向きもわかる。断層変位地形はやや不明瞭
C級	$10\text{cm} > S \geq 1\text{cm}$	深溝断層 郷村断層 吉岡断層	2万分の1空中写真の判読で、断層変位地形がどうか認定できる程度。リニアメント(線状構造地形)は明瞭
D級	$1\text{cm} > S \geq 0.1\text{cm}$		第四紀に活動したことは確かであるが、断層変位地形は不明瞭ないし、ほとんどわからない。リニアメントもやや不明瞭

帰納法的に求められた経験式

$R = D/S$ (R : 地震発生間隔, D : 一回のずれ量(メートル), S : 平均変位速度)
 $\log D = 0.6M - 4$ (M : マグニチュード) $M=8 \rightarrow D=6\text{m}$; $M=7 \rightarrow D=1.5\text{m}$
 $\log L = 0.6M - 2.9$ (L : 断層の長さ(キロメートル)) $M=8 \rightarrow L=80\text{km}$
 $M=7 \rightarrow L=20\text{km}$

式がlogなのに注意しよう！ 地質現象はフラクタル次元なのじゃよ！

活断層を探そう!

まとめ

地球科学的手法を使った場合
地震災害は、かなりの確率で予測可能である.

- 危険なもの :
1. 活断層の直上およびその周辺
 2. 軟弱地盤からなる場所
 3. 崖のそば
 4. 沖合型地震の場合は海岸
 5. 行政や研究機関
- (嘘つきではないが、本当のことはなかなか言わない.)

結論: ちゃんと勉強(情報収集)して,
自分の身は自分で守ろう
At your own risk!