

防災工学

第3回

千葉大学 工学部 都市環境システムコース

丸山 喜久

<http://ares.tu.chiba-u.jp/marulab/index.html>

[ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp](mailto:yमारुヤム@tu.chiba-u.ac.jp)

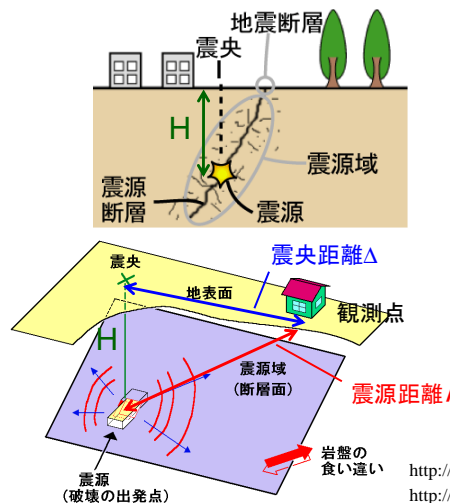
1

地震の発生機構

地震とは？

地球内部で岩石の急激な破壊が発生する現象→

それによって引き起こされる地面の振動→



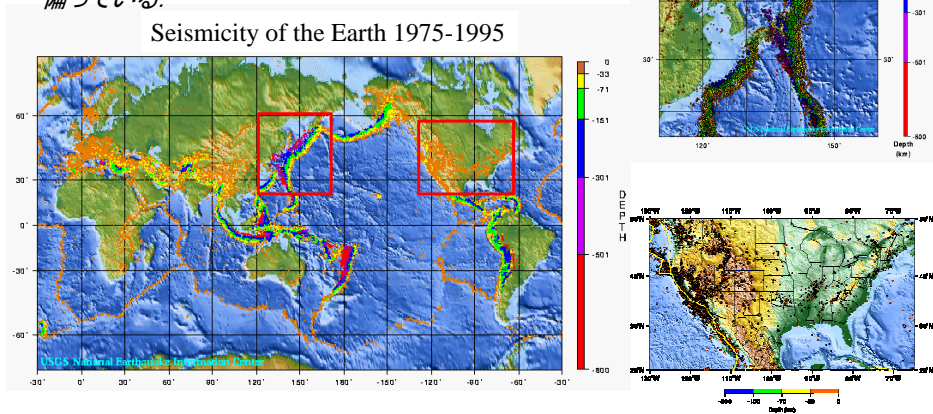
破壊の開始点
hypocenter (focus)
震源の真上の地表の点
epicenter
focal depth
岩石が破壊した領域
hypocentral region, focal region
断層面と同義, 点ではない
fault plane

<http://contest.thinkquest.jp/tqj2000/30295/glossary/singen.html>
http://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/PNG/fig2.2.png

地震の起こるところ

地震活動度: ある地域における地震の発生頻度
seismicity

地震のよく起きる場所とその震源深さは, 世界的に偏っている。

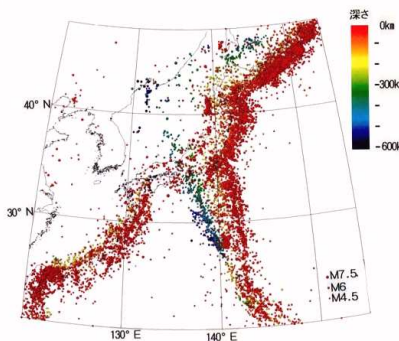


http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/seismicity_maps/index.php

3

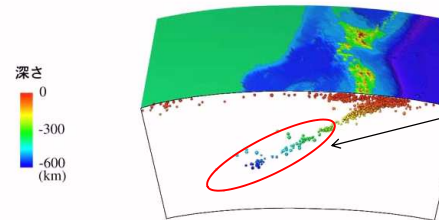
日本列島とその周辺の地震活動

(1904年~1995年, M4.5以上)



日本はサイズシティが高く, 世界の地震の約1割が日本周辺で発生
太平洋側に浅い地震が多い

- : 深さ60km以内の地震
- : 60km-200kmの地震
- : 200(300) km以深の地震
- 670km以深では地震は発生しない



Wadati-Benioff zone
プレートの沈み込み帯にある活発な震源領域

<http://www.hp1039.jishin.go.jp/eqchr/eqchrfrm.htm>

4

地震学と地震工学

:地震の発生機構, およびそれに伴う諸事象を解明する

seismology **理学**:

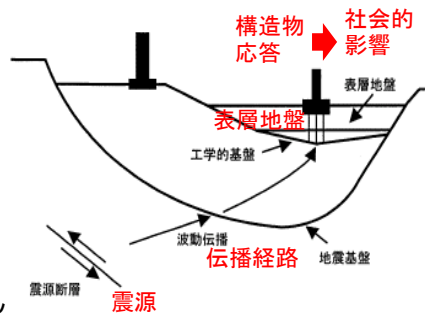
細かくは, 地震発生物理学, 強震動地震学, 地震活動, 地震予知, 地殻構造, 地殻変動, 地球内部物理学 などの分野を含む

:地震動, 地盤震動, 構造物の地震応答, 耐震設計, さらに

には社会に及ぼす影響を研究する

earthquake engineering **工学**:

細かくは, 地震動学, 地盤地震動, 土木耐震, 建築耐震, 機械設備系, ライフライン人間行動, 社会経済的影響, などの分野を含む



は, 理学と工学の中間

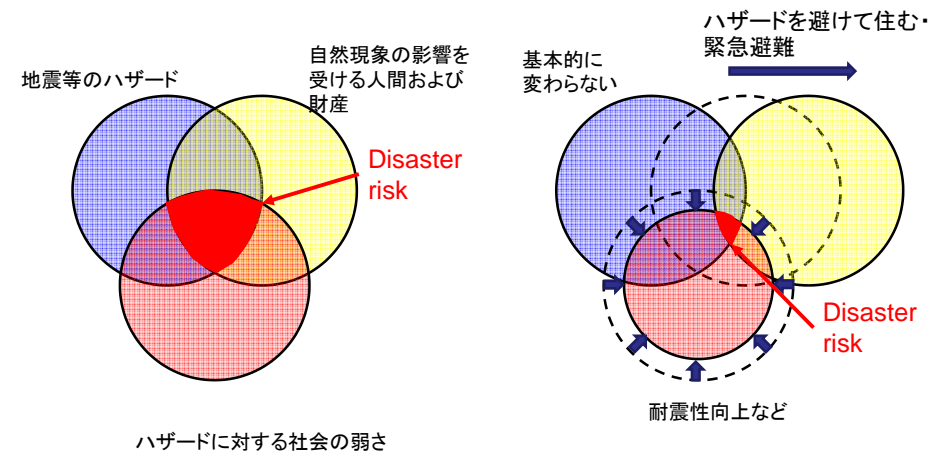
engineering seismology

最近では, 社会科学研究も盛ん

social science

自然災害からの被害軽減メカニズム

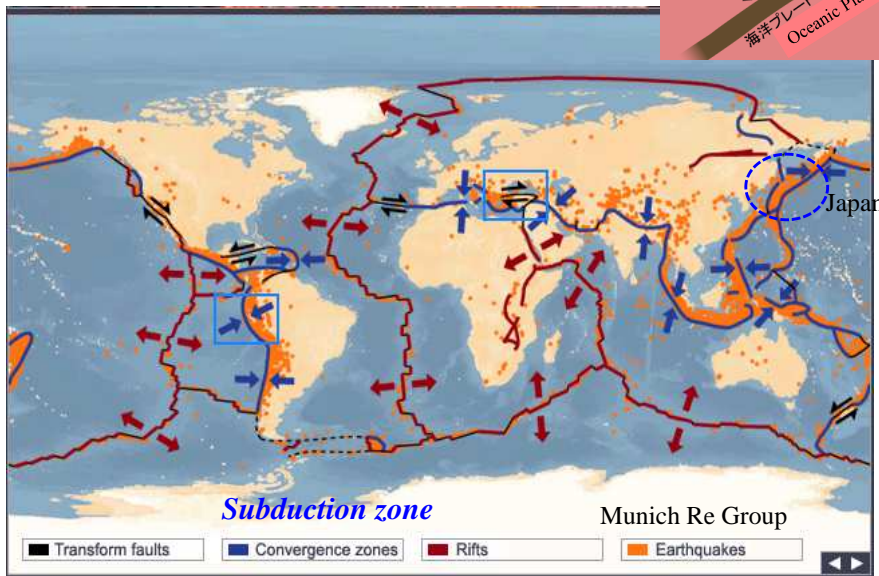
Mechanism of natural disaster reduction



Hand Book of Total Disaster Risk Management-Good Practices, ADRC, Japan, 2005

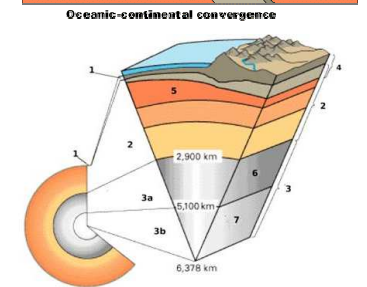
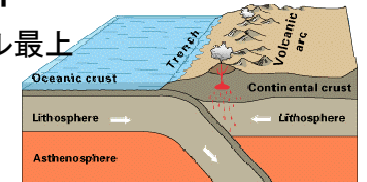
プレートテクトニクスと地震

Plate Tectonics and Earthquakes



地球の内部構造とプレート

(岩石圏): 地球の地殻とマントル最上部の固い岩盤を併せた部分の総称



深さ約10km~30kmまで: 地殻
深さ約670kmまで: 上部マントル
深さ約2,900kmまで: 下部マントル
深さ約5,100kmまで: 外核(外部コア)
中心: 内核(内部コア)

1=地殻; 2=マントル; 3a=外核; 3b=内核;
4=リソスフェア; 5=アセノスフェア

地震の発生する場所

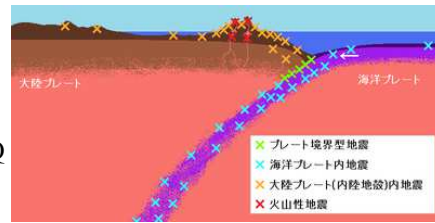
■ プレート境界付近の地震

Interplate EQ

プレート同士の境界で発生する地震。

例) 海溝型: 1923年関東地震

例) トランスフォーム断層: 1906年サンフランシスコ地震



Intraslab EQ

沈み込む海洋プレート内部で発生する地震。

例) 1993年釧路沖地震

Intraplate EQ

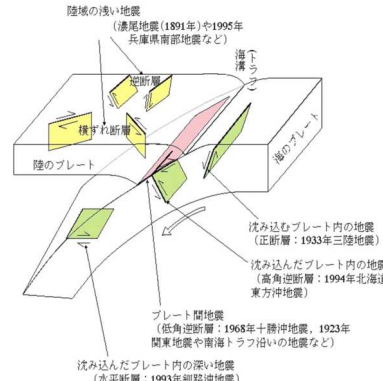
(内陸地殻内地震)

Crustal EQ

陸のプレート内(活断層)で発生する地震。

震源が浅いことが多い。

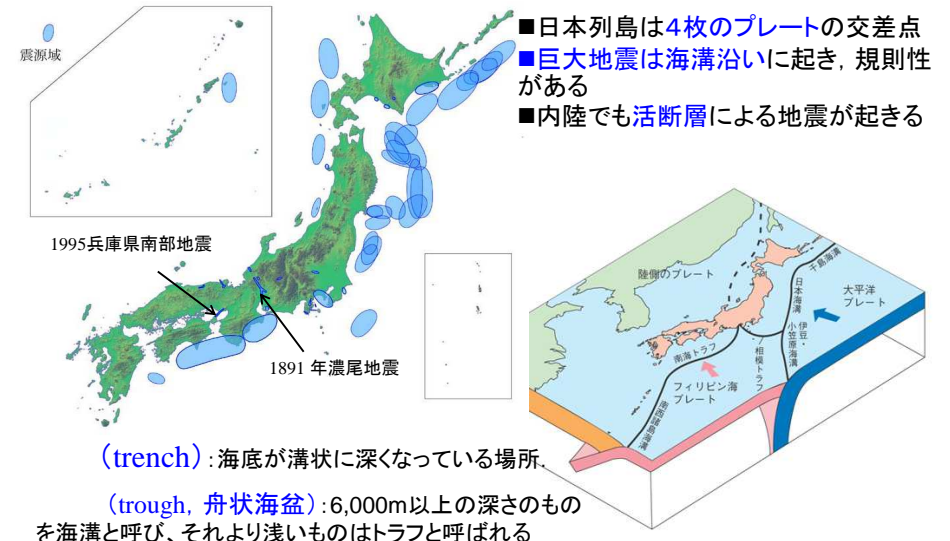
例) 1995年兵庫県南部地震



<http://www.hp1039.jishin.go.jp/eqchr/f2-18.htm>

日本列島とその周辺の主な被害地震の震源域

(1885年~1995年, 深さ100km以浅)



- 日本列島は4枚のプレートの交差点
- 巨大地震は海溝沿いに起き、規則性がある
- 内陸でも活断層による地震が起きる

(trench): 海底が溝状に深くなっている場所。

(trough, 舟状海盆): 6,000m以上の深さのものを海溝と呼び、それより浅いものはトラフと呼ばれる

<http://www.hp1039.jishin.go.jp/eqchr/eqchrfrm.htm>

地震と断層

： 地下の岩盤に力が加わって割れ、ずれ動いた食い違い
fault

： 地震を起こした断層。通常は地下にある。

earthquake source fault

： 地震時に地上に出現した連続した食い違い。

earthquake surface fault 通常は震源断層の上端に相当する。

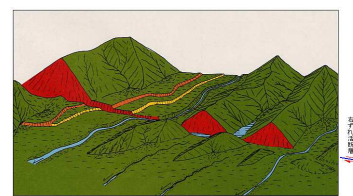
： 最近の地質年代*まで地殻運動を繰り返した断層であり、

Active fault 今後も活動する可能性のある断層

* 第四期: 数十万年前~約200万年前

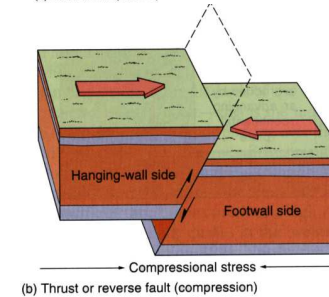
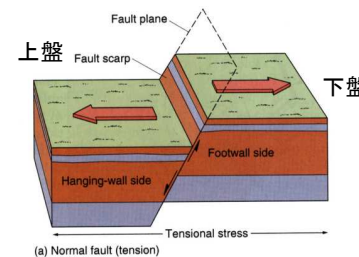


The 1990 Luzon EQ

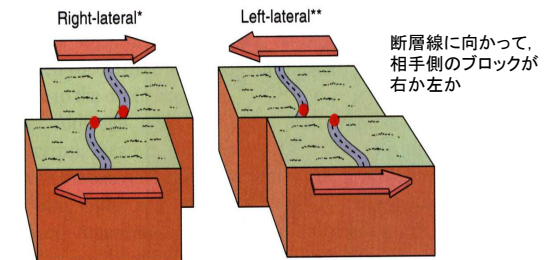


活断層のずれによってできた地形

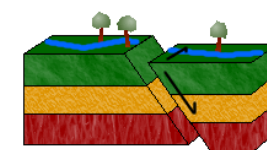
断層の4つの基本型



縦ずれ Dip-Slip



横ずれ Strike-Slip



混合型が一般的 Oblique-slip

例) 右横ずれ逆断層(野島断層)



1891

根尾谷断層

1891年濃尾地震(M=8.0)



Dv= 6m
Dh= 4m



1996



地震断層観察館・体験館

<http://research.kahaku.go.jp/rikou/namazu/04nobi/noubi.html> 3

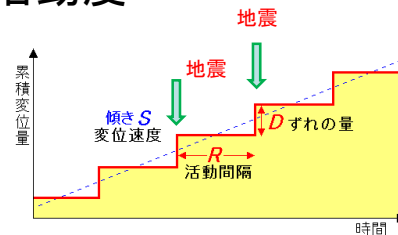
活断層の活動度

分類	活動度による定義
A級活断層 (約100)	1,000年あたりの平均的ずれ量 S(m/1,000年)が 1m以上10m未満のもの
B級活断層 (約750)	S(m/1,000年)が 10cm以上1m未満のもの
C級活断層 (約450)	S(m/1,000年)が 1cm以上10cm未満のもの (C級活断層はもっと多いはず)

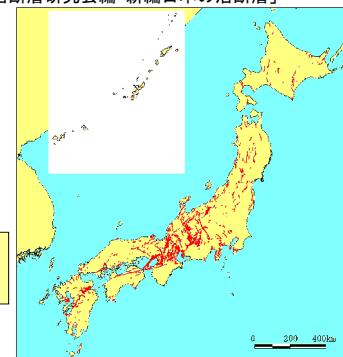
確実度 I : 活断層であることが確実なもの
 確実度 II : 活断層であると推定されるもの
 (位置・変位の向きを特定できるが、決定的資料に欠ける)
 確実度 III : 活断層の可能性のあるもの

同一の活断層での大きな地震の発生は、数百年から数十万年に1回の頻度

http://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/sec6.2.html



我が国における陸域活断層の分布
(活断層研究会編「新編日本の活断層」)



14

地震調査推進研究本部

活断層調査

1995-2005 98活断層

- 地震は内陸活断層でも起きる。
- 頻度が低いので、発生予測が難しい
- 日本の活断層は約2,000

2004年新潟県中越地震

- 26 月岡断層帯
- 27 長岡平野西縁断層帯

2005年福岡県
西方沖地震

- 91 西山断層帯

2005.7

- 12活断層帯新たに調査へ
- 警固断層帯
- 六日町断層帯

2007年新潟県中越沖地震後、
更に海底活断層も要調査

<http://www.jishin.go.jp/main/katsudanso/index.htm>



<http://www.asahi.com> 15

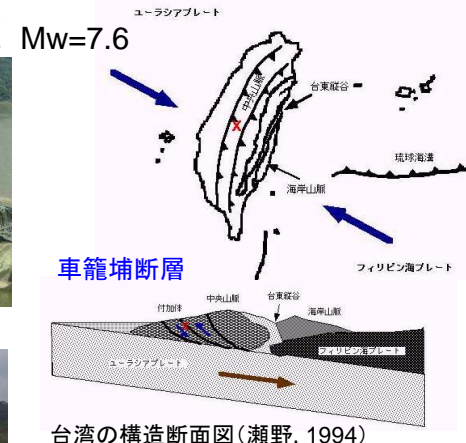
1999年台湾集集地震 Mw=7.6



石岡郷石岡取水堰



豊原市大甲溪



台湾の構造断面図(瀬野, 1994)

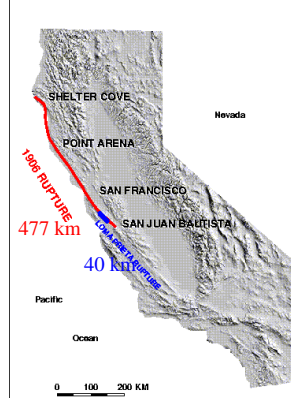


霧峰郷坑日光復新村

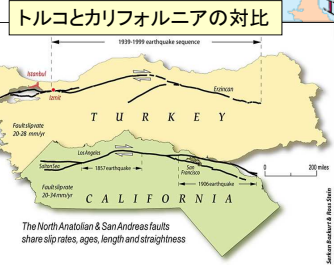
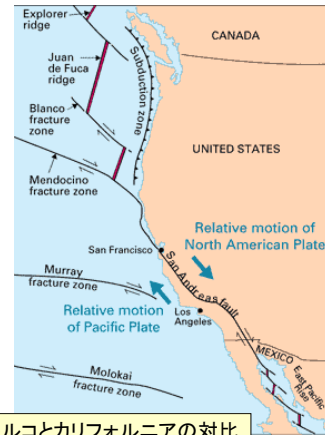
16

サンアンドレアス断層 The San Andreas Fault

太平洋プレートと北アメリカプレートの境界をなす
全長約1,300km



1906年サンフランシスコ地震と
1989年ロマプリエタ地震の比較

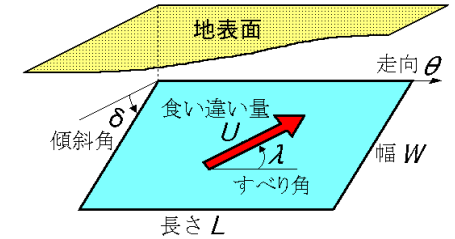
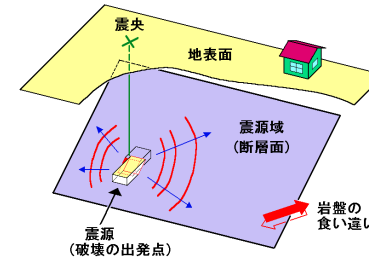


断層モデル(1)

断層運動を記述するためには、断層面の位置(緯度, 経度, 深さ)のほか、(長さ L , 幅 W)と向き(走向 θ , 傾斜角 δ), および断層面上での(食い違い量 U)と向き(すべり角 λ)の、計6つのパラメータが必要。

: 断層面の向きとその面上での食い違い方向を表わす3つのパラメータ(θ, δ, λ)を求める作業

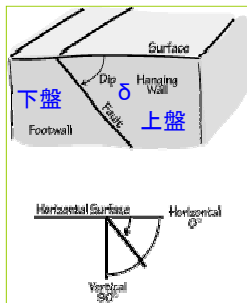
断層面の大きさ(L, W)と食い違い量(U): 余震分布や地震波形, 地殻変動などから、別途推定する。



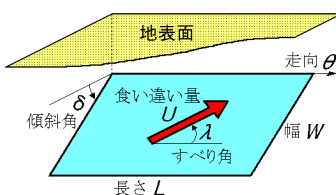
断層モデル(2)

- : 断層が水平方向でどの方向に伸びているかを示す
- : 断層面が水平面からどれだけ傾いているかを示す
- : 断層がどの方向に動いたかを示す

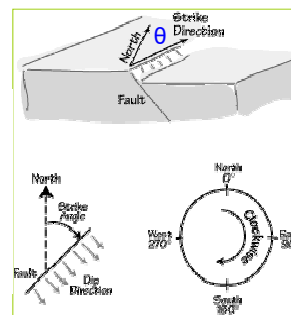
傾斜角 δ : Dip angle



すべり角 λ : Slip angle



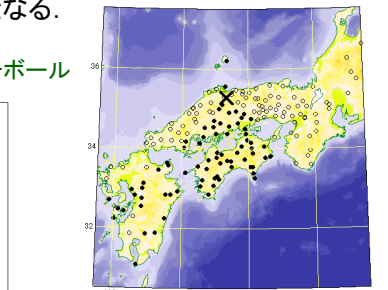
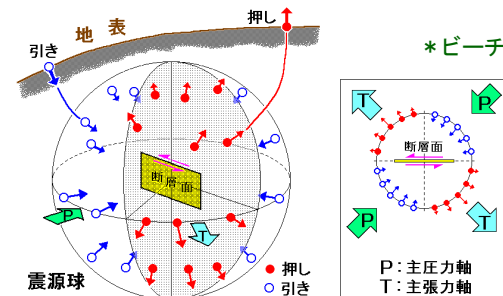
走向 θ : Strike angle



発震機構解の決定(1)

- 発震機構解を求めるには、各観測点での地動の \dots を用いる。
- 震源を取り囲む仮想的な小球面(\dots) * を考え、観測された初動極性データを波線に沿って震源球まで戻してやると、震源球面上に「 \dots 」(初動up)と「 \dots 」(初動down)の分布ができる。

■ 断層運動によって周囲の媒質は \dots に動くことが期待され、直交する2枚の平面(\dots)によって震源球面上の押し引き分布を上手に分離することができる。その \dots となる。



2000年鳥取県西部地震のP波初動極性分布 (黒丸は上向き、白丸は下向きに地面が動いた)

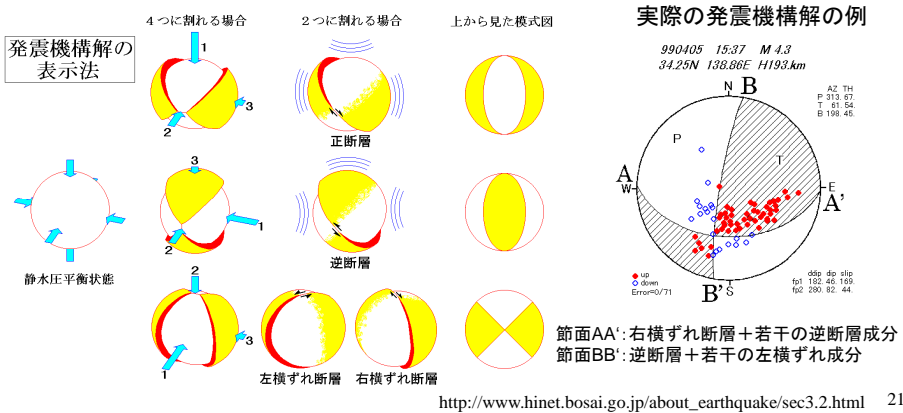
発震機構解の決定(2)

静水圧平衡状態が破れて力が不均衡になると、様々なモードの破壊が生じ、震源球は4つまたは2つに割れる。周囲から働く圧力が最大である(P軸)、最小である(T軸)と呼ぶ。断層面とP軸・T軸は45度。

P軸が鉛直, T軸が水平:

T軸が鉛直, P軸が水平:

P軸, T軸ともに水平:



アスペリティ asperity

荒々しい、ざらざらしたという意味の英単語。

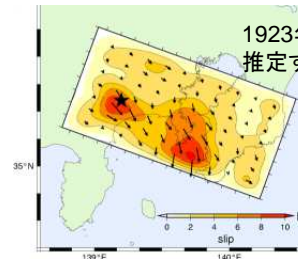
地震学では「通常は強く固着していて、あるとき急激にずれて地震波を出すところ」:

断層面上のずれの分布は均一ではない

→大きいずれのところ=

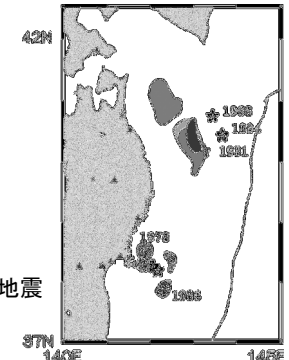
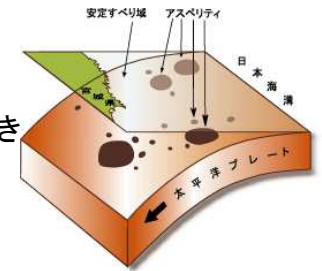
:断層上で推定される**ずれの大きい領域**と考えられている

アスペリティ位置の同定→巨大地震の震度予測へ



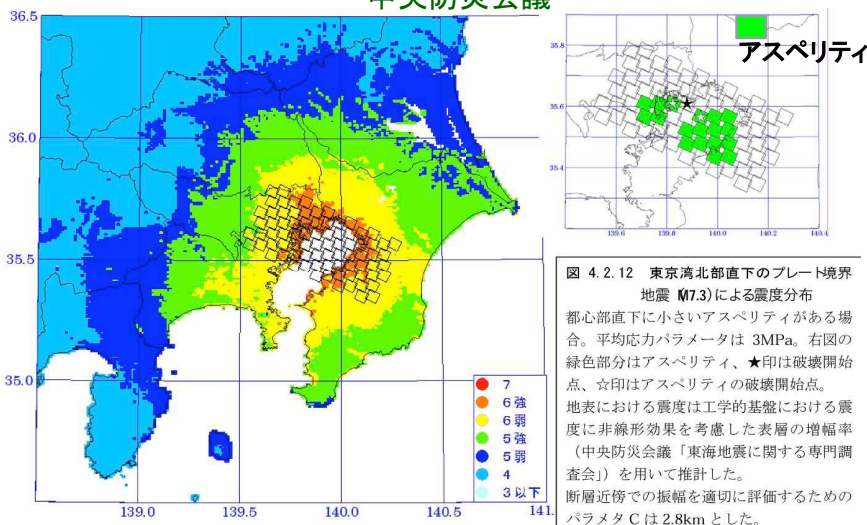
日本海溝沿いの大地震のアスペリティ

http://www.soc.nii.ac.jp/ssj/naifuru/vol33/v33p4.html 22



想定東京湾北部地震による震度分布 (M=7.3, 千葉県側に大きなアスペリティがある場合)

中央防災会議



http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/12/shiryo2-2.pdf

マグニチュード(規模)と地震エネルギー

- マグニチュードは地震に固有 (震度は場所による)
- マグニチュードが1上がると、エネルギーは30倍となる

グーテンベルグ・リヒターの式: $\log_{10} E_s =$
(Gutenberg and Richter, 1956)

Mが0.2大きくなると、 E_s は 倍になる

Mが1.0大きくなると、 E_s は 倍になる

Mが2.0大きくなると、 E_s は 倍になる

$$M=8 = M=7 \times 30 = M=6 \times 1,000$$

日本付近で解放される地震のエネルギーは、世界中で起きている地震のエネルギーの約10%にもなる。

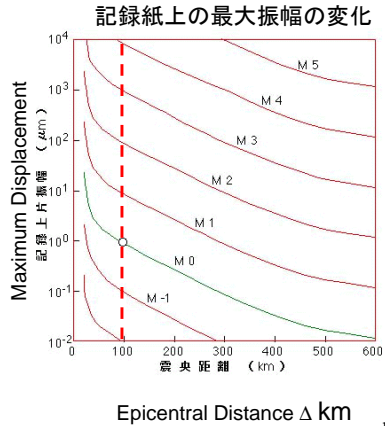
各種のマグニチュード(1)

■ Richterの

1935年

Wood-Anderson型地震計(2800倍)の最大振幅A(単位:μm)を震央距離100kmのところの値に換算したものの常用対数.

$$\mu: 10^{-6}$$



Richterによるマグニチュードの最初の定義(1935)

$$M = \log A + \log B$$

Aはウッド・アンダーソン型地震計(固有周期0.8秒、減衰定数0.8、倍率2800、水平動)の記録紙上最大片振幅(単位はμm)で、log Bは下に示すような震央距離Δ(単位はkm)の関数である。log Bは地震波の減衰を補正する項であり、基準の震央距離100kmでゼロとなるよう決めている。カリフォルニアの浅い近地地震に対して定義されたもので、ローカルマグニチュードM_Lと呼ばれることがある。リヒターによるマグニチュードの定義の要点は、**振幅の常用対数**を用いることであり、これがその後のさまざまな定義の基準となっている。(理科年表)

Δ	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
log B	-0.37	0	0.29	0.53	0.79	1.02	1.26	1.46	1.62	1.74	1.84	1.94

<http://www.eprc.eri.u-tokyo.ac.jp/CSS/magnitude.html>

各種のマグニチュード(2)

マグニチュード M _s	地震計で観測した周期20秒程度の表面波の最大振幅と震央距離から求める方法。 浅い地震について用いる。8.3程度で頭打ちするために、巨大地震には適さない。 日本の気象庁が発表している「気象庁マグニチュード」も表面波マグニチュードの一種	$M_s = \log Ah + 1.656 \log \Delta + 1.818 + C$ Ah: 表面波水平成分の最大振幅 Δ: 震央距離 C: 観測点ごとの補正值
マグニチュード m _B	地震計で観測した地震波の実体波(P波とS波)の最大振幅と周期、震源深さなどから求める。深発地震の規模を表すために用いられている。M7以上の値は表現できない	$m_B = \log(A/T) + Q(h, \Delta)$ A: 実体波の最大振幅 T: その周期 Q: 震源の深さhと震央距離Δの関数
マグニチュード M _w	Kanamori (1979)による。震源断層のずれの量、断層面積、断層付近の岩盤の性質などの、断層運動から求める。頭打ちがなく、巨大地震の規模を表すのに適する。1960年チリ地震のモーメントマグニチュードは9.5	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$ 地震モーメント: $M_0 = \mu \times D \times S$ S: 震源断層面積 D: 平均変位量、μ: 剛性率
マグニチュード M _t	阿部(1981)による。地震で生じた津波の大きさから求めるマグニチュード。地震の規模の割に津波が大きい、「津波地震」の規模を表現するのに役立つ。	$M_t = \log H + \log \Delta + 5.80$ H: 津波の高さ(m) Δは伝播距離(km) (Δ ≥ 100km)

各種のマグニチュード(3)

M_{JMA}

日本の気象庁の定める地震のエネルギー量を表す指標値

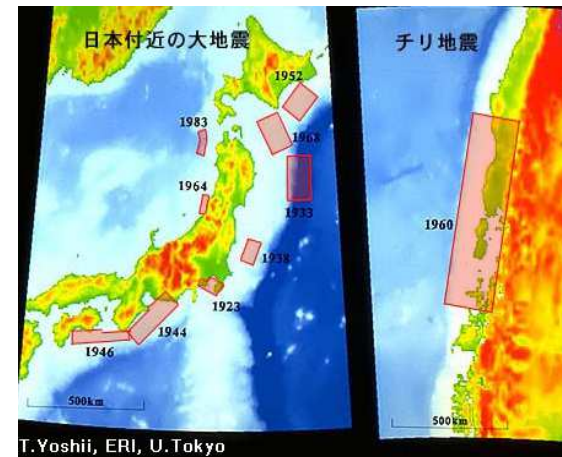
日本で単にマグニチュードといえばM_{JMA}の値のこと

M8を超える巨大地震に対しては過小評価するため、気象庁でもモーメントマグニチュード(M_w)を使用している

例: 東北地方太平洋沖地震 M_w 9.0, M_{JMA} 8.4

規模が大きくかつ浅い(H ≤ 60km)地震については、気象官署に置いてある計測震度計の加速度データを二階積分して得られた変位最大振幅を用いて計算する。各観測点でのマグニチュードを計算しその平均値を求める

巨大地震の断層面と各種のマグニチュード

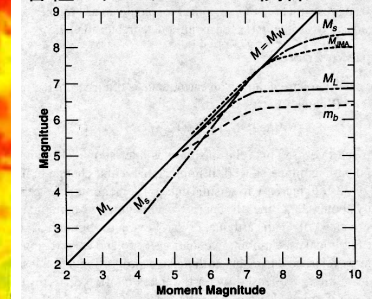


T. Yoshii, ERI, U. Tokyo

1923年 関東地震
M_w=7.9, M_s=8.2
A=130km × 70km

1960年 チリ地震
M_w=9.5, M_s=8.3
A=800km × 200km

モーメントマグニチュードと各種マグニチュードの関係



M_L, M_s, m_Bなどは巨大地震を表現するのに適さず