

理学院・地球惑星ダイナミクス概論
(平成25年度後期)



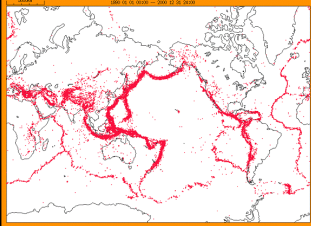
蓬田 清 (理学研究院・自然史・地球惑星ダイナミクス)
(講義の途中で、5分間の小テストをしますので、所属専攻名・学生証番号・氏名を上側に記入しておいてください。)
We shall have a five-minute test in the middle of the lecture, so please take one small sheet for each, marking your department, ID number and name on its top now.
来週からは、村上亨先生の講義となります。(講義の最後に課題レポートを示します。来週の講義時まで提出してください。)
10 October 2013

蓬田の講義内容

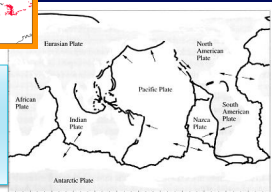
10月3日：地球の内部構造と構成物質
「地球惑星科学入門」では
第2章、第15章の一部
「新地学図表」では、主に P12-15

10月10日：地震の発生過程、含む津波
「地球惑星科学入門」では
第5章、第6章の一部
「新地学図表」では、
主に P28-29, P38-47, P164-165

地震活動と災害・断層運動による地殻変動

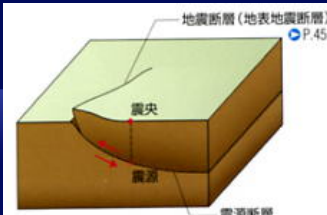


浅い地震(深さ50km以下)の分布とプレート境界
地球惑星科学入門・図5.3




プレートテクトニクスにより、プレートは1~10 cm/年水平に移動：内部はあまり変形せず、プレート境界にそのひずみが毎年蓄積

地震とは「断層が急に動く」現象



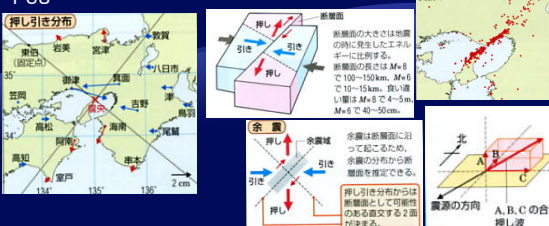
断層面の積きとすべりの方向から、地盤にはたらいに力の方向がわかる。
「ひずみ(変形)」や「応力(圧力のようなもの)」がプレート運動などである場所に徐々に集中的に蓄積(1年に数~10センチ!)
震源：断層の中心ではなく、割れ始めの点
岩石(正確には既存の弱線である断層面)がその変形に耐えられない瞬間に一気に破壊され動くのが、地震

断層運動の3つのタイプ

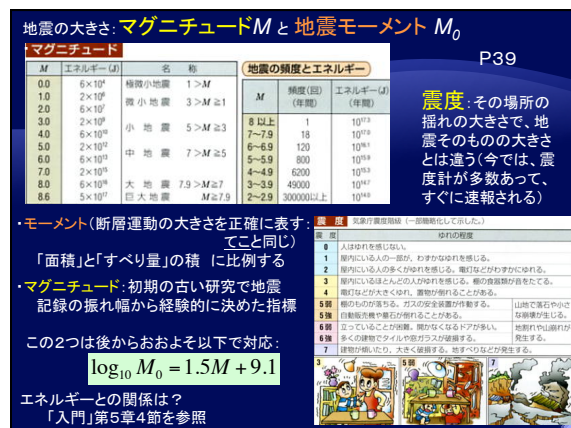
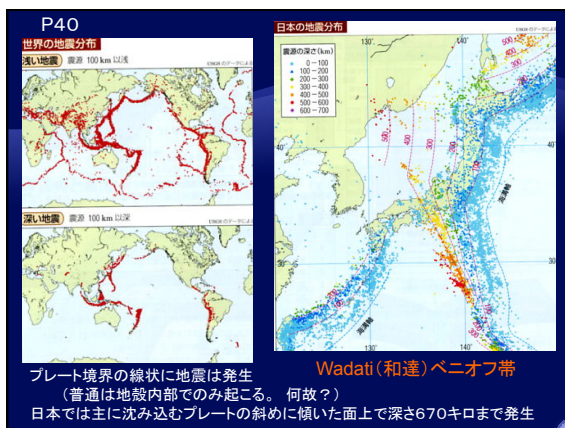
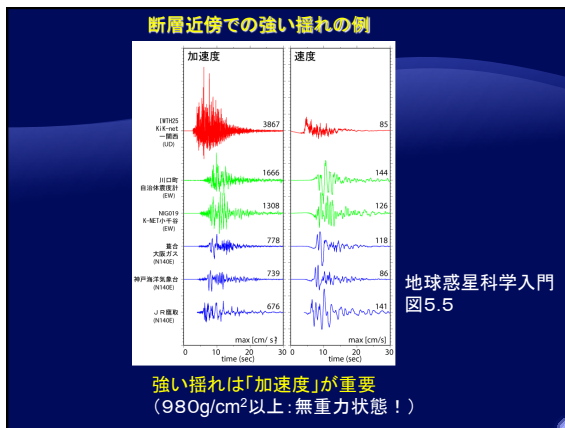
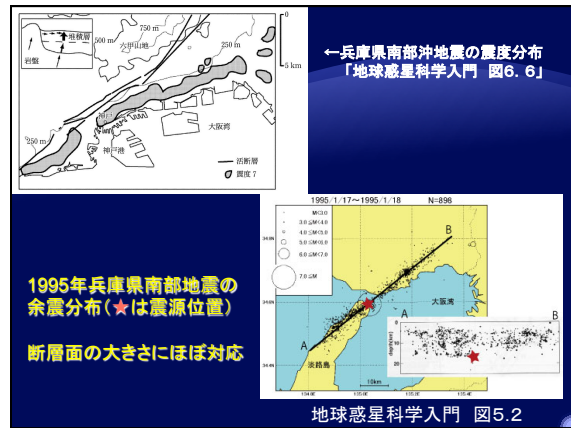
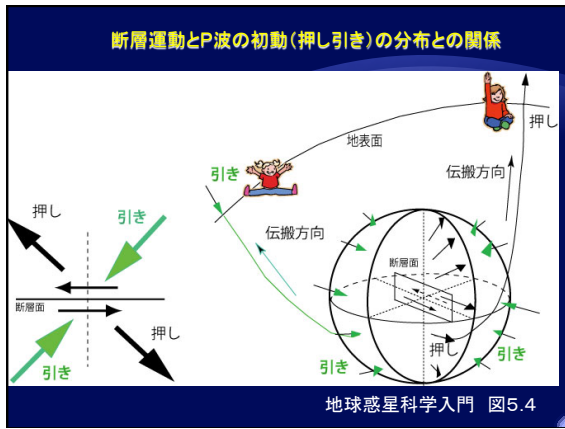


「地球惑星科学入門 図6.1」

断層運動の推定：震源と発震時刻が求まったら、次に断層面とすべりの方向を定める。



断層面の大きさは地震の時に発生したエネルギーに比例する。
断層面の長さはM=8で100~150km、M=6で10~15km、同じ深さの震はM=8で4~5m、M=6で40~50cm。
P波の初動(上下成分が最初に上か下のどちらに揺れるか)と余震分布を利用



マグニチュードMと地震モーメント M_0 の関係 新地学図表のエネルギーの使い方は間違い!!!

(地震のエネルギーは推定が困難: 地球惑星科学入門P54下の解説参照)

	M	M_0 (10^{20} Nm)	P165下
1995/01 阪神大震災	6.8 (7.0)	0.24	
2003/09 十勝沖地震	8.1 (8.0)	15	
2008/05 四川大地震	7.8	6.8	
2010/02 チリ・マウレ	8.8	180	
1960/05 チリ	9.5	~2700	
2004/12 ストラ沖	9.1	~1000	
2011/03 東北沖	9.0 (8.4)	530	
(今年4月に発生した地震)			
2013/04 淡路島南部	5.8 (6.3)	0.007	
2013/04 イラン・パキスタン	7.8	5.0	
2013/04 四川地震	6.6	0.1	

$\log_{10} M_0 = 1.5M + 9.1$

Mが1大きくなると、エネルギーは約32倍になる。

(括弧は気象庁発表のマグニチュード)

マグニチュードもモーメントもその測定・推定に困難で、不確かさが大きい場合もあるので注意。いずれにしても、モーメントでないと本当の大きさの違いはわからない。

大きい地震は少ない Gutenberg-Richter則 (べき乗則)

$n(M)$: マグニチュードM前後の発生数 (M以上の発生数としても係数bは同じ)

$\log_{10} n(M) = a - bM$ $b \approx 0.8 \sim 0.9$

b値は時空間に依存せず、ほぼ一定

Mが1増えると約1/10の発生数

M	3	4	5	6	7	8
個数	16,110	3031	379	51	9	1

日本付近5年間 (地球惑星科学入門 表5. 1)

右図の傾きがb値で、自己相似則が成り立つ自然現象に共通: フラクタル characteristic earthquakes?

→ 非線形で確率が導入できない

(1) 大きな地震の発生パターンは、上の特徴に反して規則的か?
(2) べき乗則はどこまで続く、上限はあるのか?

火山での地震の特異性 (2008年の雌阿寒岳の火口群下での地震の例)

Location determined by P-wave travel times

Low-frequency EQ: Usu Volcano 2000 eruption (Matsubara and Yomogida, 2004)

We cannot estimate its location at all with travel times!

火山性微動

P40

火山ではバネが震動するような変わった地震がよく発生する
→ マグマや水蒸気など液体・気体の振動現象

異常震域: 遠く離れた揺れが単純に小さくならない
→ 斜めに沈み込むプレートは冷たく固く、波がよく通る

「地球惑星科学入門 Box6. 8」

日本近辺の大地震

P41

いくつかのプレートが複雑に沈み込むプレート境界でほとんどの地震は発生

- (1) 東からの太平洋プレート: 北海道・東北・関東・伊豆
- (2) 南からフィリピン海プレート: 関東・東海・四国・琉球
- (3) 日本海側のユーラシアプレート: 活動が始まったばかりか?

「地球惑星科学入門 図6. 8」

海溝型地震

東北沖地震など真に超巨大な地震 特に巨大なのは(3月11日のように)海溝浅い部分のプレート境界で発生しかも繰り返し起こる(何故か?) P164下の図を参照

空白域

北海道・東北の太平洋沖での海溝に沿って繰り返す大地震

「地球惑星科学入門 図6. 2」と同じ

和達・ベニオフ帯での地震活動

スラブ内地震

深発地震面 (和達-ベニオフ帯)

50
100
150
200 (km)

実際のデータによる

沈み込むプレートは周りより冷たくて堅いので、ひずみがたまり、内部で深さ670キロまで海溝から斜めに地震が発生：**深発地震**

地震の化石

内陸での地震：活断層の動き
断層面を直接観測できることがある

直線状の断層面に沿って、黒い帯状のシュードタキライトが見られる。

東北沖地震の断面図を掘削の作業中：
鉱物などを調べて、地震時に断層が動いた際の摩擦熱を推定

断層の長さ：100m
水平変位：50m

北米プレート
日本海溝
海溝地震
断層を押し上げ
津波を発生

高圧計設置
震源から近い位置に
断層面の測定

震源
今掘削した
プレート境界(約)
約100m
沈み込む太平洋プレート
上部マントル

P42 活断層の重要性

活断層

ひずみの累積

岩石を押しつぶす

割れた部分で地震が起こる

ひずみの開放

地震時に動く断層の一部を地表で直接観測

1995年1月18日早朝(大地震の翌朝) 淡路島北部での野島断層の活動の発見

<ここでコマース>
淡路島・北淡町の「野島断層保存館」には、いっしょに断層を発見した時の、私の若い写真があるので一度は見に行ってくださいね！

1891年岐阜県での濃尾地震

近代の日本で最大の内陸地震(プレート境界の地震でない)：長さ80km、ずれ最大5m
博物館があり、断層面を見ることができる

活断層の調査からの活動履歴の復元

P43

このような活断層は、トレンチ(断層面を掘り出す)によって、繰り返し活動の様子が推定できる(数万年以上もたどれる場合もある)

P44

地震の発生周期

Gutenberg-Richter則と矛盾 (規則性なし, 確率論が使えない)

こんなにきれいに周期的ではないが、
トレンチ調査と繰り返し活動より、危険度を推定できる場合もある

トレンチ調査 真上断層 (有馬-高槻構造線活断層系)

最近話題の原発の敷地内の活断層もこのように調査中 (決定的な証拠を得るのはまれ)

日本の活断層

3月11日の地震: 大きい、海溝沿いなので距離が離れている
活断層による地震: 小さい、直下で起こるのでやはり被害大

活断層の特徴 ■ 阿曾断層 (岐阜)

阿曾断層

リニアメント ■ 中央構造線

活断層の繰り返し運動: 地形によってわかる

土石流

P45

断層の出現

地震・津波による被害は何度もご覧になったでしょうが、

東北大震災でも離れた茨城県・千葉県で激しい液状化の被害

遠く離れていても「地盤の液状化」の被害も、今回で有名になった

2008年岩手・宮城内陸地震での震源近くでの大規模地すべり

「地球惑星科学入門 口絵13」

地震(=断層運動)による地面の動き

P44

関東大地震 1923.9.1, M7.9 海溝型地震

北海道地震 1927.3.7, M7.3 内陸型地震

海床の変化

関東大地震による隆起約130cm

長年のひずみの蓄積 vs 地震による一瞬の断層運動
GPSなどの地殻変動として詳しく観測できるようになってきた

2011年東北地方太平洋沖地震

地震波の伝わるようす

地震波が位置の異なる地点に異なる順序で届く。

シミュレーション

5分後 34分後

地表の上下動変位。同心円状に広がっていく。

震度分布

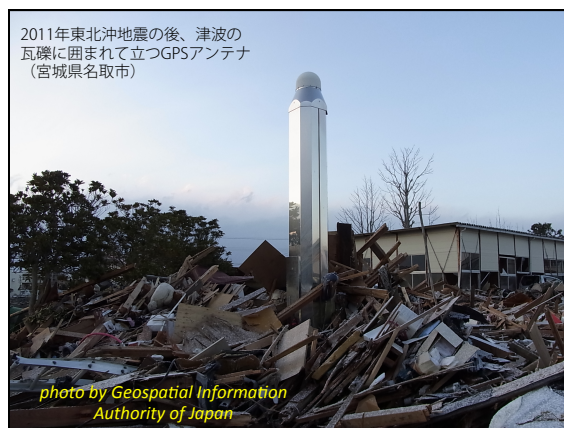
震度: ゆっくりした揺れなので被害は小
余震: 400 x 200 km²以上の断層面上に広がる
地殻変動: 金華山のGPS点で東に約5m (中間テストで触れた)

P164

国土地理院のGEONETからのすべり分布モデル

Contour interval: 5mm

海底GPS点(船の位置はGPSで決め、海中に設置した音波反射板と船の位置を計測)から最大50m以上のすべり



しかし、何とんでも最近の大災害は1000年に一度あるかの**2011年大地震**それに伴う**大津波の発生**

“地震とは断層が急に動く現象”

大きさ: 500x200km²
すべり量: 最大50m以上
地震モーメント(教科書P54)
 $M_0: 530 (x10^{22} \text{ N}\cdot\text{m})$

2003年十勝沖地震
200x100km²
最大5m $M_0: 10$

1995年阪神淡路大震災
50x20km²
最大2m $M_0: 0.24$

真に超巨大な地震とは

海溝浅い部分のプレート境界で発生しかも繰り返して起こる

例: 東北沖の日本海溝では太平洋プレートが日本列島の下に8cm/年で沈み込んでいる

1000年に1度発生ならば、2011年東北沖地震で「断層面上の最大すべり量は80m程度」と推定されたことは調和的!(1000年貯めた歪みを一度に解放した!)

海溝型地震

大陸プレート 固着面 海洋プレート

プレートの動き

太平洋 日本列島 太平洋プレート 北アメリカプレート

電磁気圏深さ約50km移動、上方へ約10m隆起した。

30m移動

地震直後の地形

海底調査でみつけた巨五

P41 P164

