

探査機で表面は多く観測されてきた
小惑星イトカワ(長軸が約500m)

探査機「はやぶさ」
2005年9-11月に接近

Release 051101-1 ISAS/JAXA 12時間周期で自転

太陽系のほとんどの
天体は探査済み!

人工衛星から地球のどこの地表面
や海面も詳しく調べられる

国土地理院の
電子基準点 (GPS) の
地震前後の移動量

断層近くの点で最大変化:
水平成分で約15cm
上下成分で約5cm

水平変動		上下変動	
緯度	27.6427	緯度	27.5117
経度	138.5537	経度	138.5477
標高	1.2967	標高	10.7067
国	11.0000	国	11.0000
都	9.0000	都	9.0000
道	222	道	222
支庁	64	支庁	64
市町村	1.6476	市町村	1.6476
電子基準点	07-2101-1	電子基準点	07-2101-1
名称	08	名称	1107
設置日	1.3001	設置日	1.3001
設置者	0.834	設置者	0.834
Total Num: 6.58			

地殻変動

電子基準点から見た日本列島の地殻変動
期間: 1999.4 ~ 1999.7.19 図例: 0.4
国土地理院 <http://net.koge.go.jp/>
電子基準点の観測データを利用して、今までの観測データを統合し、高精度に地殻変動の分布を算出しています。

距離 210 km
尺目 50 cm
15万画素単位

4年間にわたる日本列島の変形の様子
(40万倍に誇張)

合成開口レーダーの
干渉による地震前後の
変位の「全体的」観測

衛星「だいち」

観測日: 2007/1/16 ~ 2007/7/19
傾角: 50° 南行軌道

地上の観測点不要

Radar Altimetryによる海水面高度
の測定: 往復時間より測定

平均海面高度=Geoid の分布

約100m
最大の凸凹

地球の形の定義に用いられるジオイド面
(平均海水面に対応: 人工衛星からの
送信されるレーダー波の往復時間の測定より求まる)

Geoid height: undulations of average sea surface
(due to density inhomogeneous distribution in the solid earth)

一番低い所で約 - 100 m

携帯電話でわかるが、
これらすべてはレーダー・電波を通信・探査手段として用いる

These missions depend on radar or radio tele-communication.

講義の最後で説明する「地震波トモグラフィー」によって、確かな証拠として認められた

↓

地震観測網の発展で、より詳細な内部の「地図」が作成されつつある

静的な内部構造から動的な挙動も論じられ、対応する物質・物性の知識も飛躍的に向上している

全マントルトモグラフィーモデル

深さ 60km

深さ 2770km

S波の速度。青が速い領域、赤が遅い領域を示す。

2.2 -1.4 -0.6 0.6 1.4 2.2 (%)

Werner, Luder, Sapiro, Steinberger (2005) p.22

P29

赤い部分：速度遅→周囲より高温 (深さ60キロ)中央海嶺 (深さ2770キロ)ホットスポットの根っこ

2013/10/03

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

深さ50kmくらいまでしか地震活動はない(特別な場所でも、670kmが最深:来週へ)

深い所で何故発生しないか?

2013/10/03

日本、いや世界の地震学の父：ユーイング(左)とミルン

「地球惑星科学入門」Box 5.1

英国からの明治初期の外国人教師(クラーク博士と同じ立場)で、来日後、地震を生まれて初めて体験。地面の揺れを記録する装置、地震計を試作。

1881年3月8日、東京近くの地震からの世界最初の地震記録。

(1) EWだけ小さく初め揺れ、NSも9秒後に別の大きな揺れ

(2) 2つの揺れには約9秒の差

初動部分を拡大

2013/10/03

ユーイング地震計の模型

ユーイング地震計：「入門」Box 5.1

観測される地震記録の例

大森公式と震源からの距離

大森公式と震源からの距離

観測点A, 観測点B, 観測点C

S波, Ts, P波

震源距離(震源と観測点との距離)

地球惑星科学入門 図5.1

$$Tp = L/Vp, Ts = L/Vs$$

$$\Rightarrow L = (Ts - Tp) \frac{1}{1/Vs - 1/Vp}$$

$Vp, Vsが\approx 6.0, 3.5 \text{ km/s}$ で係数は8km/s

2013/10/03

ミルンは函館の堀川トネと結婚・20年間日本に滞在。世界初の日本地震学会を創設。日本の研究者を育て英国に帰国。(左は、函館山の東麓の二人の墓)

先月まで東京・上野の国立科学博物館にて「ミルン没後100周年記念展」

http://www.zisin.jp/modules/bjco/index.php?content_id=2649

地震学会 ミルン 検索

興味ある方へ

2013/10/03

2011年6月23日岩手沖地震の最大振幅値の分布

Shake map of maximum amplitude

Shake map of velocity amplitude

Trigger date: 2011/06/23 06:51:04

Date: 2011/06/23 06:50:57

Center of ground motion: 142.5 39.9

Center of ground motion: 142.5 39.9

Start time of ground motion: 2011/06/23 06:51:02 (base time) -5

2013/10/03

震源の位置と時刻の推定

P波の到達時間

地震記録から場所(震源の位置と深さ)および発震時刻を求める:
最近では走時曲線(P12)の距離・到達時刻の関係が前もってわかるので、複数の観測点の到達時刻から、直接推定する

例: 大森公式(PとS波の到達時間差に8km/sくらいかけた値がその観測点からの距離)を3点以上の記録に適用 → 各観測点からの距離がわかるので、3点以上で震源の位置・深さが推定可

震源の決定

3地点で観測し、震源距離を半径とする円を地表面に描くと、共通点の交点Aが震源

震源の深さ E_0P は E_0h, E_0g に等しい

P39

P波とS波の到達時間差
地震計による波形記録

3成分の地震計

上下方向 南北方向 東西方向

おもりは地面がゆれても動かない
記録ドラムは地面とともにゆれる

緊急地震速報の概略図(S波が到着する時刻を事前に推定)

地震発生 → 1観測点による震源、規模、震度等の推定 (気象庁) → 2〜3観測点による震源、規模、震度等の推定 (予測高精度化) → 3〜5観測点による震源、規模、震度等の推定 (予測高精度化)

発生直後 10秒後頃 20秒後頃

近い観測点で震源位置が決められると、遠くの点でS波(遅い)の到達時刻が計算・予測できる!

「地球惑星科学入門」Box 5.2

地球の内部構造: 電波など通らないので「地震波」を用いる

P波やS波の到達時刻(地震発生時から)を測定

地殻とマントル: 上の地震波速度が速い地殻と、下の速いマントルの2層構造
(この境界が、モホロビッチ不連続面(モホ面))

走時曲線

地殻の構造

大陸の近くの厚さは約35キロ、海洋は7キロ → 同じ速度だとして、観測はどこが違ってくる?

P12

地殻・マントル上部での地震波の伝搬経路と走時曲線

「地球惑星科学入門 図15.5」

マントルの方が速いので、遠くの観測点では通ってくる距離は長くなるが、マントル上部の深い部分を通った**屈折波(赤線)**の方が、まっすぐ浅い部分を通る**直達波(青色)**より早く到達する。

2種類の地震波あり (動画参照)

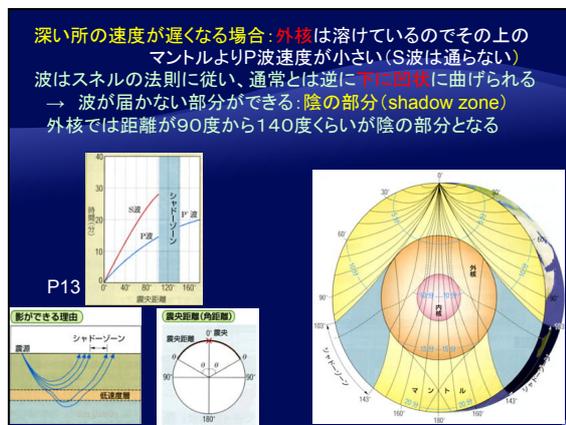
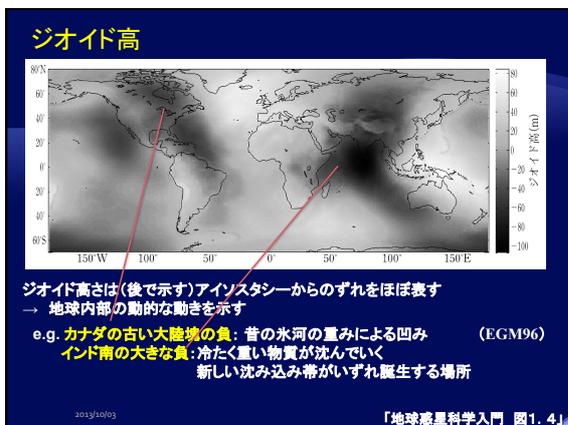
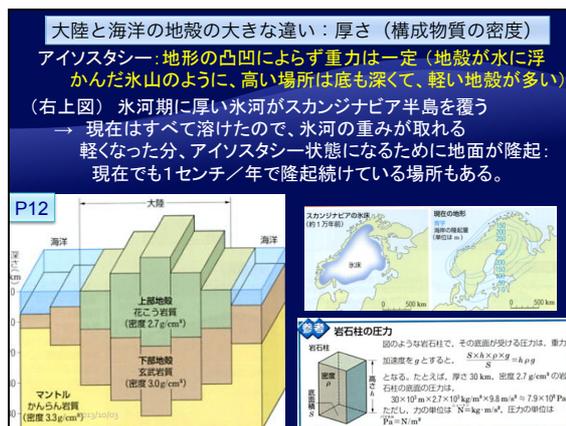
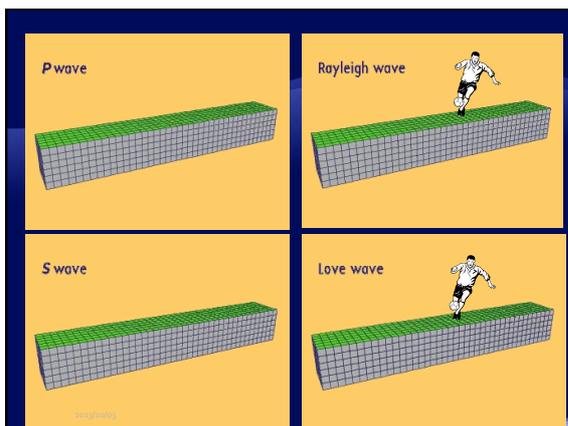
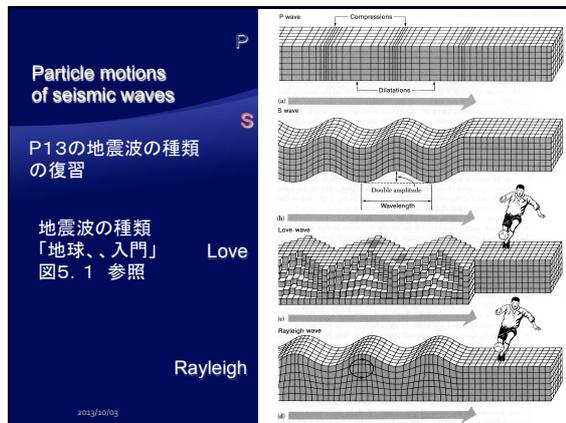
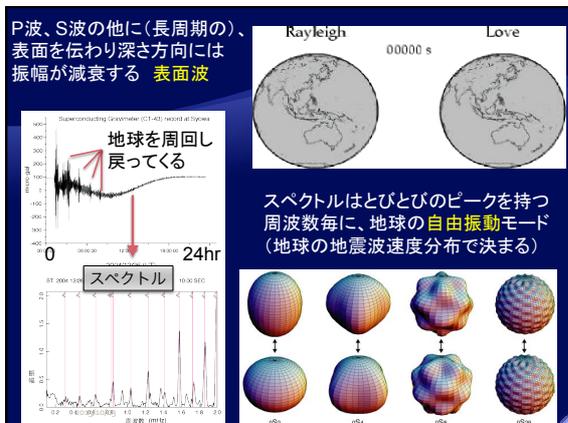
(1) P波: 縦波(伝播方向と振動方向が同じ) スネルの法則
音波と同様の性質で、**液体でも伝播** 光がレンズで曲がるのと同じ原理

(2) S波: 横波(伝播方向と直角な振動方向) のと同じ原理
P波の約0.7倍の速度、**固体しか伝わらない**

P13

種類	P波 primary wave	S波 secondary wave	表面波 surface wave
性質	縦波(疎密波)	横波	—
速度	5.0~6.0 km/s(地殻内)	3.0~3.5 km/s(地殻内)	—
伝播	縦波(縦)の振動方向は平行に振動して伝わる。固体・液体・気体すべての媒質中を伝わる。地震発生時に、地下から突き上げるような上下動をもたらす。	横波(横)の振動方向は垂直に振動して伝わる。液体・気体に対する弾性がない。液体や気体の中を伝わることはできない。振幅が大きくコシがたつ。波の伝播もたつことがある。	地表を伝わる。地表が上下垂直に振動するように振動するレイ-U波と、水平面に平行方向に振動するレイ-V波がある。周期が長く、振幅も大きく減衰が少ないため、はるかに遠くまで伝わり、大きな揺れをもたらすことがある。
特徴	—	—	—
伝播方向	縦波の振動方向は平行	横波の振動方向は垂直	ラブ波

地球の大部分は深くなるほど速度が大きくなる → **下に凸状に伝播**



固体の内核が中心にあるので、単純なshadow zoneではない

「地球惑星科学入門 図2. 1」

様々な地震波の到達時間
様々な距離でP波やS波の到達時間を測定して「1点」としてプロットした図

右図のような走時曲線ができる：
これを説明するように地震波速度 (PまたはS波) が深さとしてどのように変わるかの分布を求めることが地球の内部構造の研究の基本

「地球惑星科学入門 図2. 2」

地震波の速度

内部構造とは「地震波速度分布」が基本
これを元に、**圧力、密度、重力**の深さごとの分布を推定
圧力：深さとの関係はよくわかっている (P12の岩石柱の圧力 ρgh)
温度：他の力学的性質と比較して大まかな値すら不確定
融点 (内核・外核)、相転移 (深さ400km, 670km) を岩石サンプルの実験室での値と対応させて推定

物理的性質

P14

(左) 地球内部の地震波速度と密度分布 (右) 地球の層構造

「地球惑星科学入門 図2. 3」

化学的区分

内部はどんな物質でできているか？

区分	深さ (km)	体積 (%)	質量 (%)	密度 (g/cm³)	比熱 (J/kgK)	構成物質	地震波速度 (km/s)
地殻	0-35	0.019	0.028	2.710	-	-	-
大陸地殻	35	0.006	0.022	2.650	0	花崗岩類, 頁岩	5.8, 5.4
海洋地殻	7	0.002	0.016	2.950	1	玄武岩類, 堆積岩	6.5, 3.7
リソスフェア	35-200	0.038	0.058	4.000	4.400	-	12.2, 6.6
上部マントル	35-660	0.201	1.960	3.600	15	かんらん石	-
下部マントル	660-2890	0.607	2.940	4.840	20-130	ペロブスカイト	-
外核	2890-5154	0.107	1.940	11.300	-	-	-
内核	5154-6371	0.008	0.100	12.750	330-390	鉄, 合金	11.5
地球全体	0-6371	1.000	5.974	5.515	-	-	8.1

岩石を高圧高温にして地震波速度や密度を測定 → 地震波観測の結果と一致する物質を探す
この表の構成物質だけは暗記すること

化学的区分

プレートテクトニクスで変形しない「プレート」とは、厚さ100キロ程度；
力学的性質で決まり、物質的な違いではない
地震波速度 (1秒程度の振動に対する強度) vs プレート (1000万年より長いスケールで力がかかった場合の挙動)
リソスフェア (ほぼ変形しない) vs アセノスフェアより深部 (粘性流体として変形)

P14

地殻の組成

岩石の主要構成元素: Si, F, Mg, Al, Ca, ...
→ ケイ酸塩なので, Si₂O₆が基本
大陸地殻、海洋地殻、上部マントルとSi₂O₆が減少し、Fe-Mgが増加；
密度小→大へ

地殻・マントル・核の組成

	大陸地殻	海洋地殻	上部マントル	中央海嶺玄武岩	ホットスポット	核
SiO ₂	58.0	49.5	45.1	49.3	50.8	Fe 89.64%
TiO ₂	0.8	1.5	0.2	1.2	2.6	Ni 5.39%
Al ₂ O ₃	18.0	16.0	3.3	16.0	13.5	Co 0.24%
Cr ₂ O ₃	-	-	0.4	-	-	その他 4.70%
FeO	7.5	10.5	8.0	9.9	11.2	FeO 2.66e+01%
MgO	3.5	7.7	38.1	9.7	7.4	MgO 2.66e+01%
CaO	7.5	11.3	3.1	11.2	11.3	CaO 2.66e+01%
MnO	-	0.2	0.15	0.17	0.17	MnO 2.66e+01%
Na ₂ O	3.5	2.8	0.4	2.4	2.3	Na ₂ O 2.66e+01%
K ₂ O	1.5	0.15	0.03	0.1	0.5	K ₂ O 2.66e+01%

核は主にFeと少量のNi

マルチアンビルセル装置
超高温であるので、その条件を実験室で再現して性質等を調べる。技術的な工夫が必要。

P15

ダイヤモンドアンビルセル装置

2個の小さいダイヤモンドをねじで挟むだけで外核程度の高圧を隙間の空間に発生
レーザー光で高温状態にする

地球内部の物質構成

「地球惑星科学入門 図2. 4」

地球内部の物質構成。組成が(1)パイロライトと、(2)MORBの場合についてで通常のマントルの岩石は、パイロライト組成と考えられている。

P14

