

地球システム科学(工)

長濱裕幸・後藤和久・武藤 潤

シラバスより

- 科目ナンバリング: ZDN-EAS111J
- 授業題目: 固体地球科学から見たジオハザードと防災について
- 授業の目的と概要:

固体地球に関する体系的な理論であるプレートテクトニクスの概要をを修得し、ジオハザードと防災について学ぶ
プレートテクトニクスは、地殻変動のみならず、火成作用、地球環境変動、地震火山現象などを扱う地球科学全分野の基礎となる。これらを学ぶとともに、2011年東北地方太平洋沖地震津波の実態や被害、その後の復興過程を地球科学の視点から考え、さらに地質学的時間スケールで発生する低頻度巨大災害を紹介するとともに、社会がジオハザードと防災に対して、どのように向き合うべきかを考える。

授業計画

- 講義前半(プレートテクトニクス)は、長濱教授(武藤准教授)が担当、後半(ジオハザード)は後藤准教授が担当
- 最終回にテストを実施(原則追試は行わない)
- 講義内容が一部変更になる可能性あり

授業内容: 進捗と予定

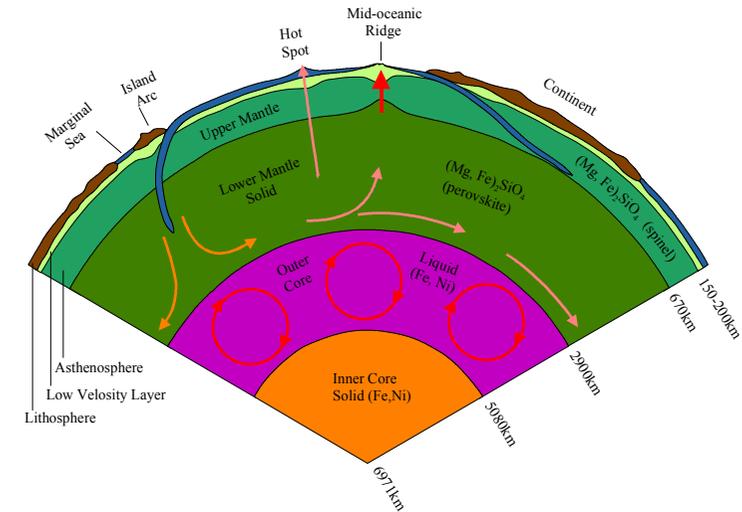
- 第1回: ガイダンス(授業の目標、講義内容の概要、授業の評価方法)
- 第2回: 動く大地の発見1 (VLBI、GPS、地形と地質)
- 第3回: 動く大地の発見2 (磁極の移動、海洋底の磁気異常の縞模様)
- 第4回: プレート運動学と3種のプレート境界
- 第5回: 重力異常とアイソスタシー
- 第6回: 中央海嶺と海洋プレート 1 (海洋プレートを構成する岩石)
- 第7回: 中央海嶺と海洋プレート 2 (地震波・電気抵抗から海洋プレートを探る)
- 第8回: プレートの熱的進化 (プレートの年齢と水深・熱流量、ルート則)
- 第9回: プレート収斂型境界の特徴とプレート収斂速度の法則
- 第10回: 大陸衝突と造山運動 (地震・活断層・火山分布)
- 第11回: ジオハザードと防災1 (ジオハザードとは何か)
- 第12回: 新生代日本列島の進化史 (特に日本海拡大について)
- 第13回: ジオハザードと防災2 (ジオハザードの発生メカニズム)
- 第14回: ジオハザードと防災3 (歴史・先史時代の巨大災害)
- 第15回: ジオハザードと防災4 (地震・津波による災害と対策)

注意) 進捗によっては講義内容が一部変更になる可能性あり
長濱・武藤担当、後藤担当

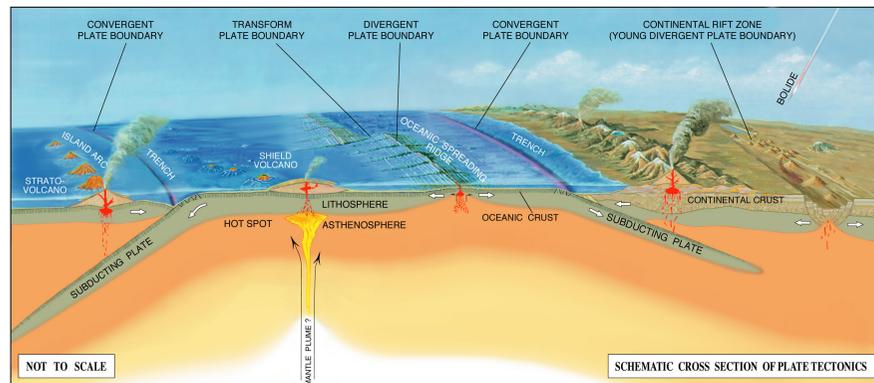
参考資料と成績評価に関して

- 参考資料: 授業で随時配布し、後ほどPPTはダウンロード可 (次回以降URLを連絡)
- 図書館や書店で、固体地球科学とジオハザードに関する書籍は多数あるので、各自気に入ったものを購入すると良い
- 成績評価: 出席状況と小テストや期末試験により評価 (原則追試験は行わない)
- 課外学習課題: 毎回簡単な課題を課す。次週の講義終了時に提出すること

Dynamic Processes in Earth's Interior



沈み込み帯とプレートテクトニクス



震源の分布

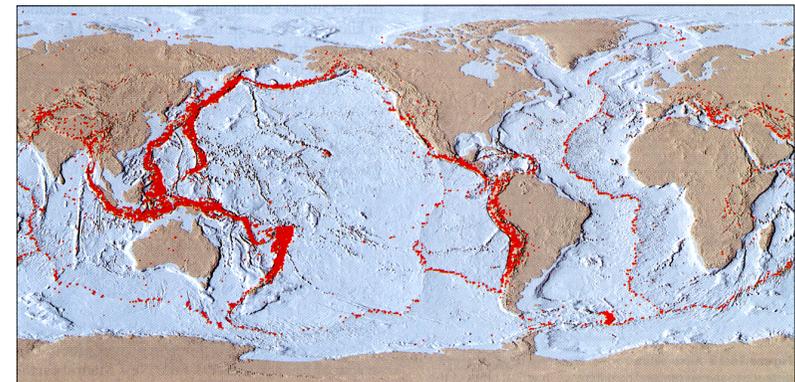


Figure 16.15 Distribution of the 14,229 earthquakes with magnitudes equal to or greater than 5 for the period 1980-1990. (Data from National Geophysical Data Center/NOAA)

中央海嶺の中軸に沿って震源が分布する。中央海を横にずれさせている断層(トランスフォーム断層)に沿っても震源が並んでいる。震源が集中しているのは、海溝沿いである。インドが衝突しているチベットなどを除くと、いずれの大陸の内部でも地震はほとんど起こっていない。

火山の分布

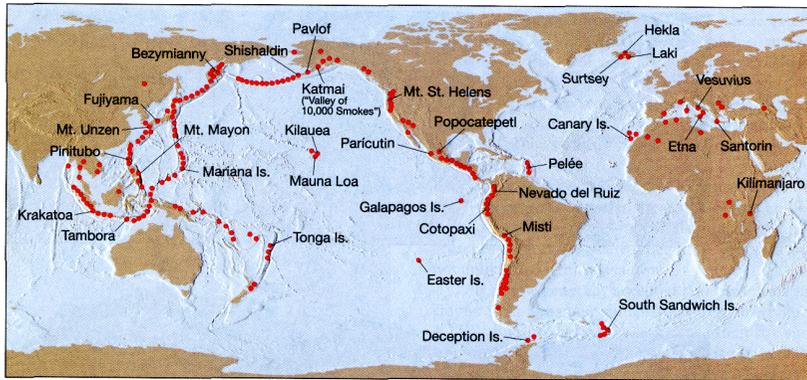


Figure 4.30 Locations of some of Earth's major volcanoes.

海洋と大陸内部には大きな火山は無い。海洋での例外はアイスランド、カナリー諸島、ハワイのキラウエアとマウナロア、イースター島などだが、これらの起源はホット・スポットというものだ。これに対し、大部分の火山は海溝のすぐ大陸側に分布している。

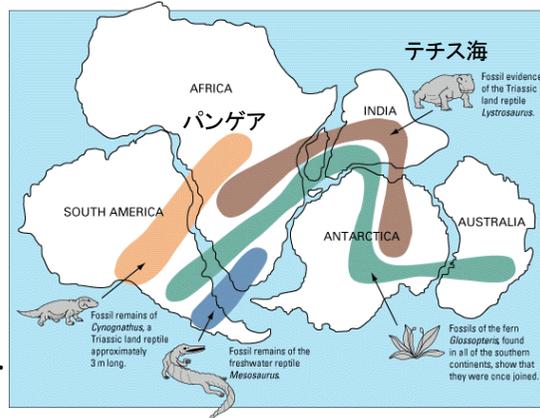
プレートテクトニクス [I] 動く大地の発見

- ・動く大地の発見
- ・VLBI、GPSとは
- ・地形と地質の類似性
- ・磁極の移動
- ・海洋底の磁気異常の縞模様
- ・3種のプレート境界と12個のプレート

大地は動く: ウェゲナーの発想



Alfred Lothar Wegener



- ∖ 大陸境界の形がパズルのように似ている
- ∖ 動物・植物化石が離れた大陸間で似ている

もともと大きな大陸が分裂したんだ!

海洋底の磁気異常の縞模様

軍事目的で米海軍は海底磁気異常を測定した。何と、縞々の異常が……

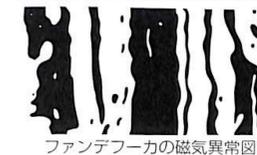
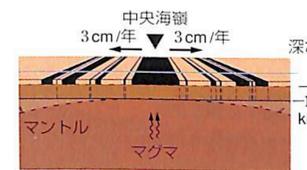


図5 地磁気のしま模様 黒は現在と同じ向きに、白は逆向きに磁化している。

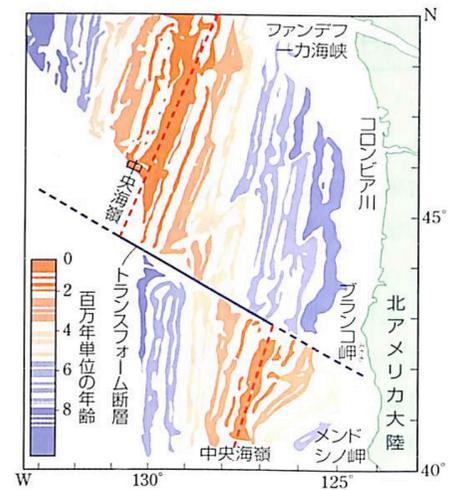


図6 磁気異常のしま模様(東太平洋海域)

テープレコーダーモデル: 海洋底は拡大している??

地球を測る: VLBI, GPS, 重力

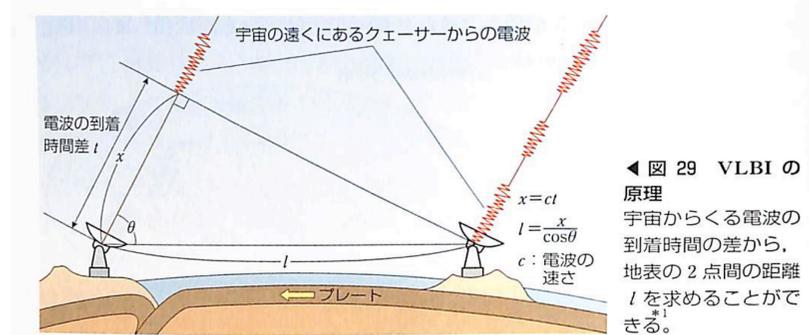
- 地球上の位置を計測する手法
 1. VLBI (Very Long Baseline Interferometry)
 2. GPS (GNSS)
 他にも、InSARなど

地球の形状や構造を計測する手法

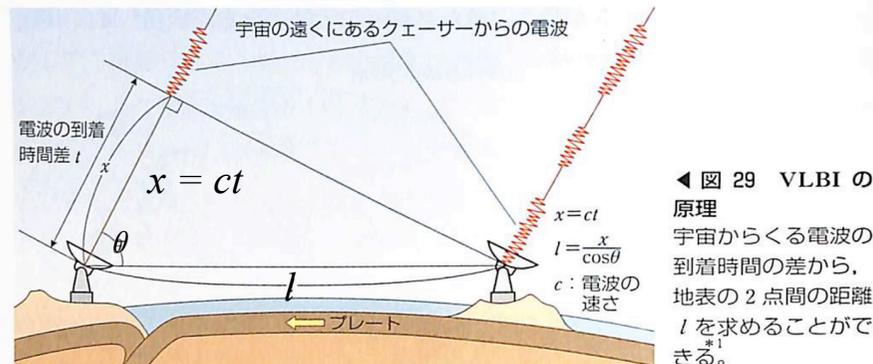
1. 重力(ブーゲー異常・フリーエア異常)
2. 地震波・比抵抗構造

宇宙からの電波で地球を測定

- VLBI (Very long Baseline Interferometry)
超長基線電波干渉法



仮定) 電波は2地点に平面波として到達する



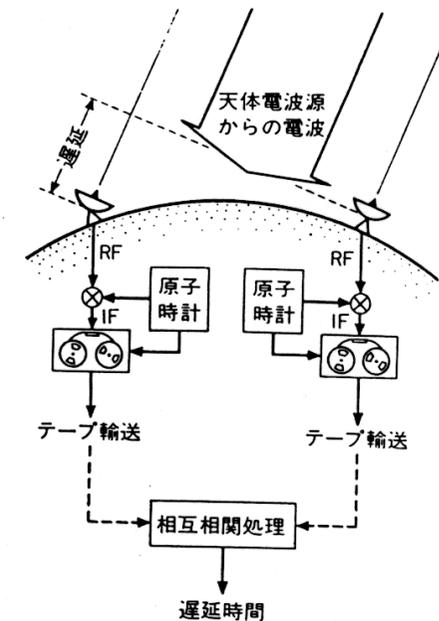
- 2地点間の距離 l は (c は電波の速さ)

$$l = \frac{x}{\cos\theta}$$

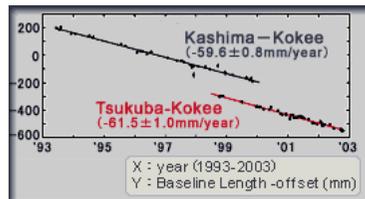
超長基電波干渉測距 (VLBI)

プレートの動きは、今や時々刻々観測されている。

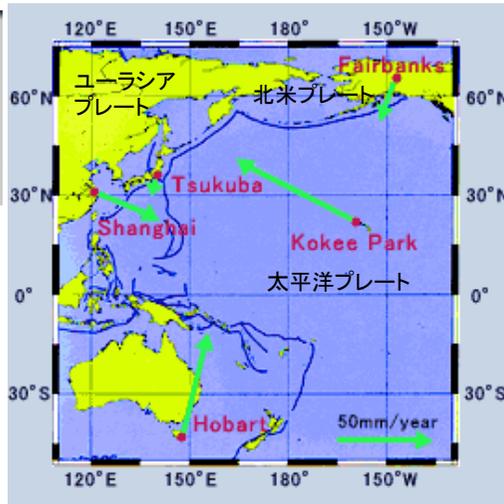
VLBIとはそのためのハイテク技術のひとつで、異なったプレート上に設置されたアンテナ(原子時計で同期されている)で電波星からの電波を観測し、その遅延時間(位相差)からアンテナ設置地点間の距離を測定するシステム。プレート間の相対速度を1cm/年以下の精度で測定できる。



VLBIによるプレート運動

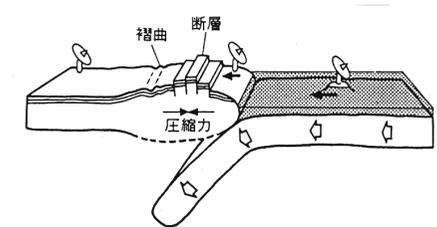
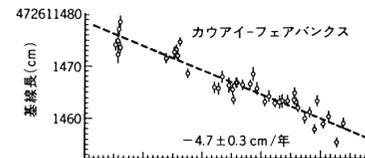
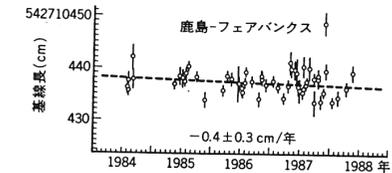


ハワイのコキ(太平洋プレート上)はつくば(鹿島観測点)に年間~60 mm/sで接近
フェアバンクス(北米プレート)

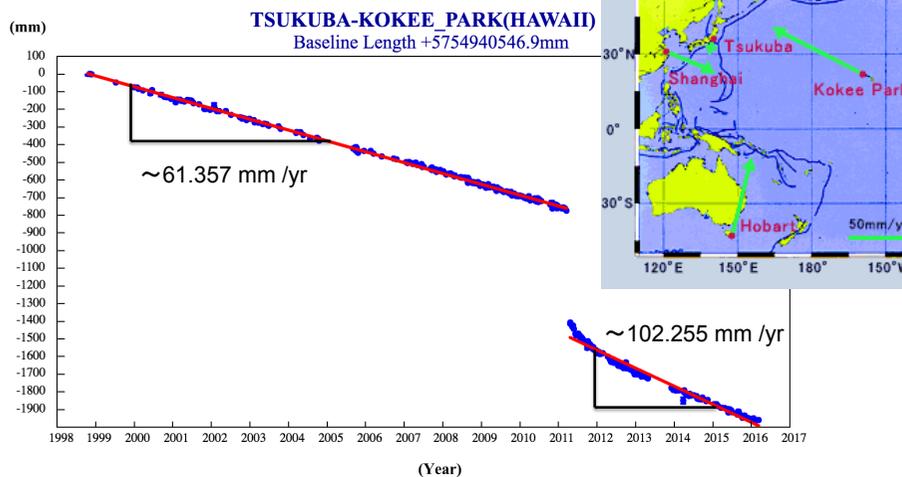


VLBIの結果

1984年から1988年までの2地点間の相対移動速度の平均値。鹿島-カウアイはユーラシア・プレートと太平洋プレートとの相対速度、鹿島-フェアバンクスはユーラシアプレートと北米プレートとの相対速度、カウアイ-フェアバンクスは太平洋プレートと北米プレートとの相対速度。



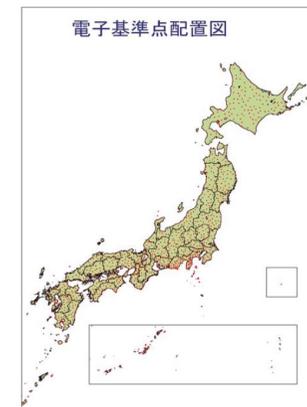
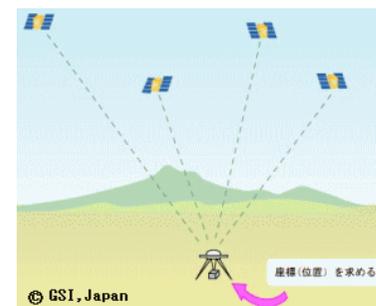
最新の結果



国土地理院VLBI (<http://www.spacegeodesy.go.jp/vlbi/ja/index.html>)

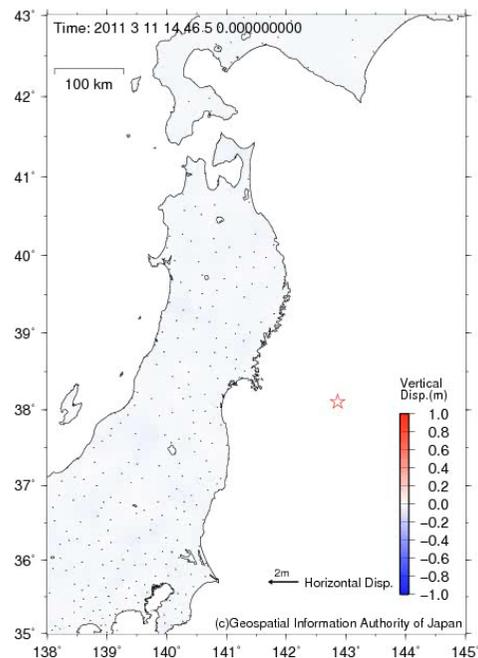
GPS (GNSS全球測位衛星システム)

- GPS (Global Positioning System):GNSSの一つで衛星を使った測位システム

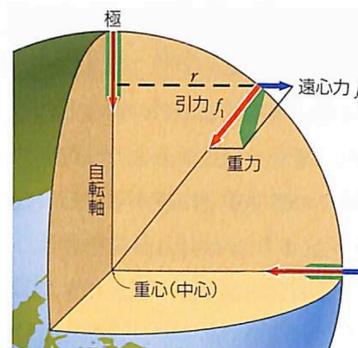


Geonet (国土地理院) : 全国に1200点

GPS1秒サンプリングによる東北沖地震の地震時変動(国土地理院)



重力から知る地球の形



地表の物体にはたらく引力 f_1 は、次の式で表される。

$$f_1 = G \frac{mM}{R^2}$$

(G : 万有引力定数 R : 地球重心までの距離 M : 地球の質量 m : 物体の質量)

遠心力 f_2 は地球自転の角速度を ω 、回転半径を r とすると、

$$f_2 = mr\omega^2$$

で表される。

角速度 ω は、自転周期を T とすると、

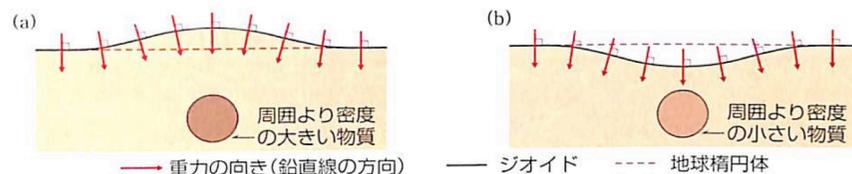
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

で緯度によらず一定である。

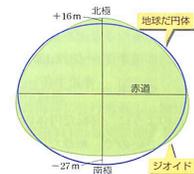
▲図7 地表の物体にはたらく重力

重力は引力と遠心力の合力である。遠心力は回転半径 r に比例し、赤道で最大になるが、その値は引力に比べて非常に小さい。この図では遠心力の大きさを誇張してかいている。

重力とジオイド

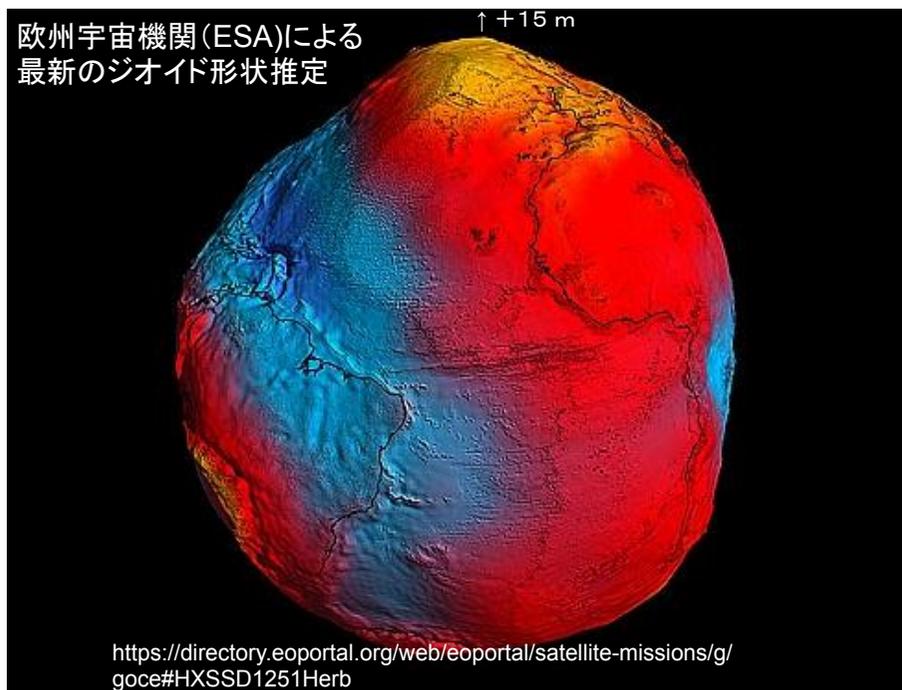


- 地球の表面をおおう海水を長期間に渡って平均したもの(平均海水面)→地球の全表面を覆ったもの:ジオイド(等重力ポテンシャル面)
- 地球楕円体:ジオイドに最も近い回転楕円
- 標準重力:地球楕円体上での重力



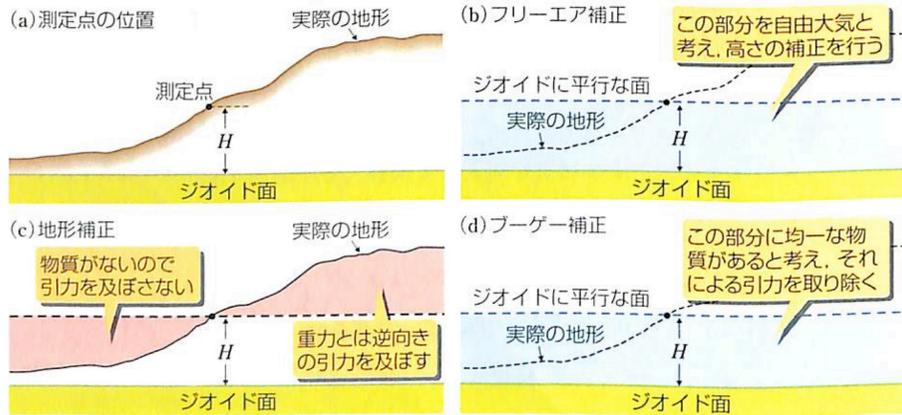
◎図7 ジオイドの形

欧州宇宙機関(ESA)による最新のジオイド形状推定



<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/g/goce#HXSSD1251Herb>

3つの重力補正と地下の構造

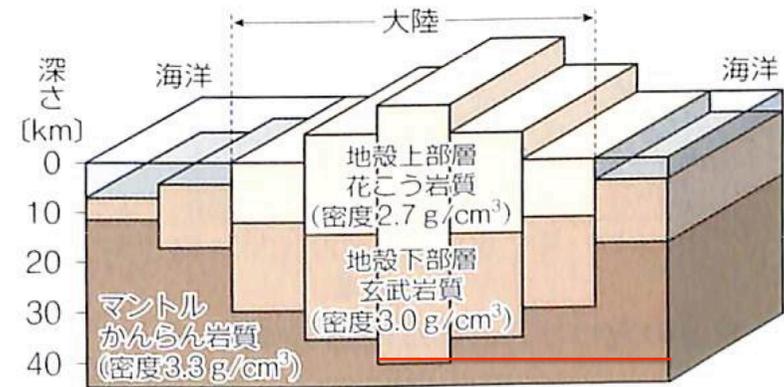


①図 12 重力補正

- (b) フリーエア補正: ジオイド面と測定点 H との高度差を補正
- (c) 地形補正: 地形効果を補正 (例: 測定点の右側に重力引っ張られる)
- (d) ブーゲー異常: 測定点とジオイド面に存在する物質の効果を補正

重力とアイソスタシー

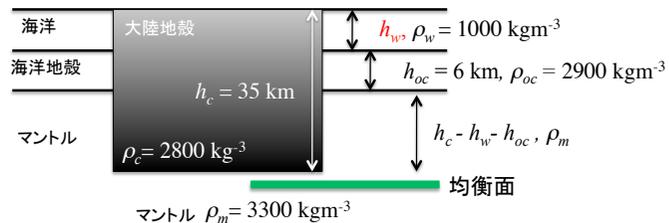
- 山脈は流体のマントルに浮いている



↑均衡面での力の釣り合いを考える

海底はなぜ深いのか？

アイソスタシーが成り立っている際の、**海洋深さ h_w** を求めよ



均衡面で受けている力を等価にする(微小面積 δA)

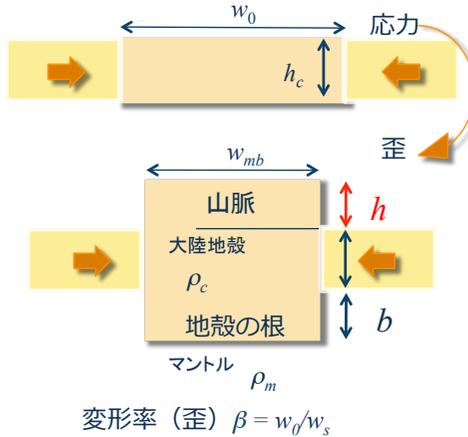
$$F = hg\rho A$$

(もしくは圧力 $P = hg\rho$)



アイソスタシーと地殻の厚さ

地殻が圧縮により厚くなる場合



質量保存則から

$$w_0 h_c = w_{mb} (h + h_c + b)$$

アイソスタシーから

$$\rho_c (h + h_c + b) = \rho_c h_c + \rho_m b$$

b について解く

$$h = h_c \{ (\rho_m - \rho_c) / \rho_m \} (\beta - 1)$$

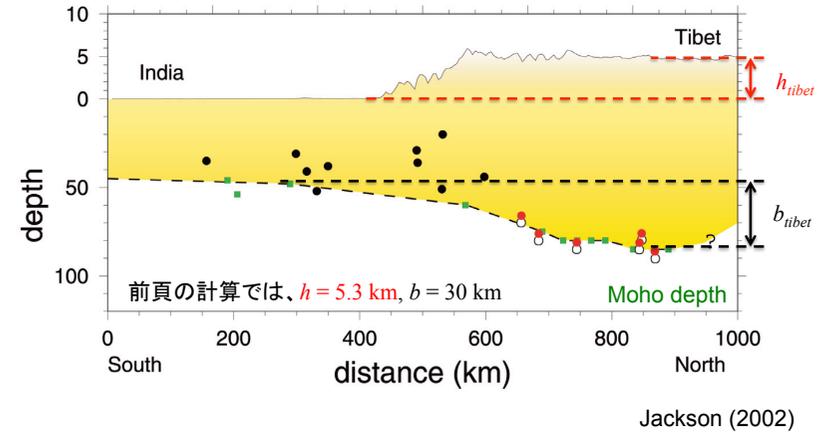
$$\beta = 2, h_c = 35 \text{ km},$$

$$\rho_m = 3300 \text{ kgm}^{-3}, \rho_c = 2800 \text{ kgm}^{-3}$$

とすると

$$h = 5.3 \text{ km}, b = 30 \text{ km}$$

ヒマラヤ山脈の根はどこまで深い？



地球の高度分布:なぜbimodal?

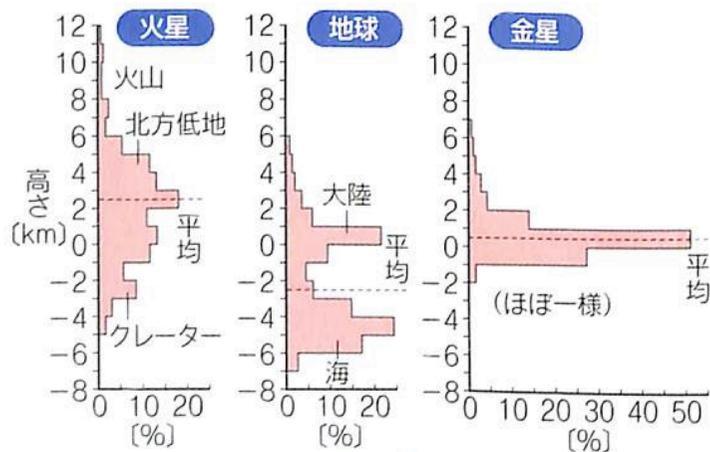
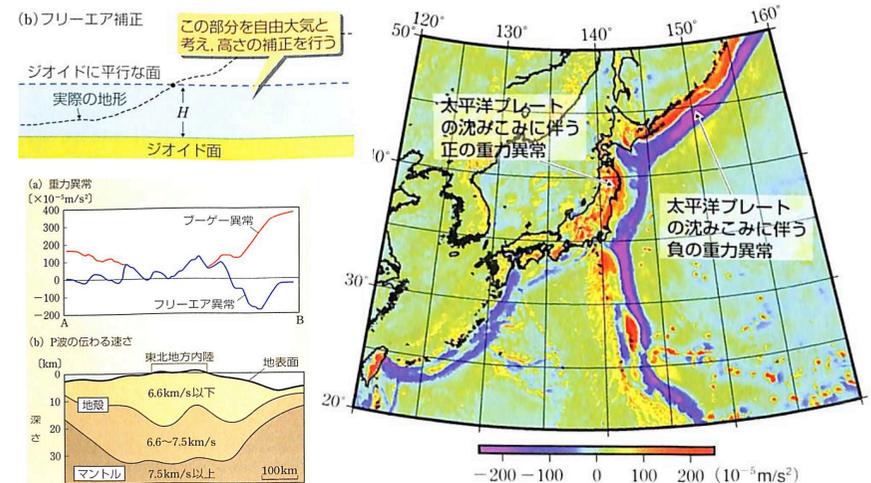


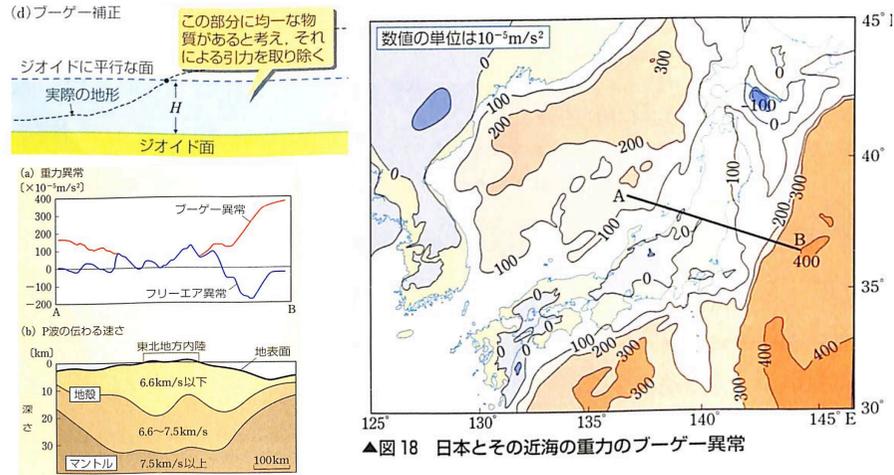
図11 地球とほかの惑星の高度分布

日本周辺のフリーエア異常



海溝での負の異常は質量欠損による(←陸の正の異常は質量過多)

日本周辺のブーゲー異常



陸域の負の異常は島弧内陸部で地殻が厚いことと調和的(アイソスタシーの成立)

まとめ

- 地球の形状は測地学的手法(VLBI, GPS, 重力測定など)をもちいて知ることができる
- これらの手法を用いることでプレート間の運動を決定することができる
- 地形はアイソスタシーによって決まり、重力異常と相関を持つ
- 沈み込み帯の地形も重力や密度構造と相関を持つ

ミニットペーパーで出欠に替えるので記入をお願いします。

1回目の課外学習課題

- 日本周辺で以下の重量異常が見られる場所において、異常の理由を説明せよ。
 1. 東北日本海溝沿いの負のフリーエア異常
 2. 中部山岳地帯の負のブーゲー異常
 また上記1, 2において、アイソスタシーは成り立っているかどうかを、それぞれ説明せよ。

次回講義までにA4レポート用紙1枚にまとめて提出