

地球システム科学(工)ー2

長濱裕幸・後藤和久・武藤 潤

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

2回目の講義の目的

- 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)

- プレートテクトニクス発見の基礎となった地質学的・古地磁気学的証拠を学ぶ
- 地磁気の反転と岩石の磁気獲得機構を理解し、海洋底拡大説を学ぶ

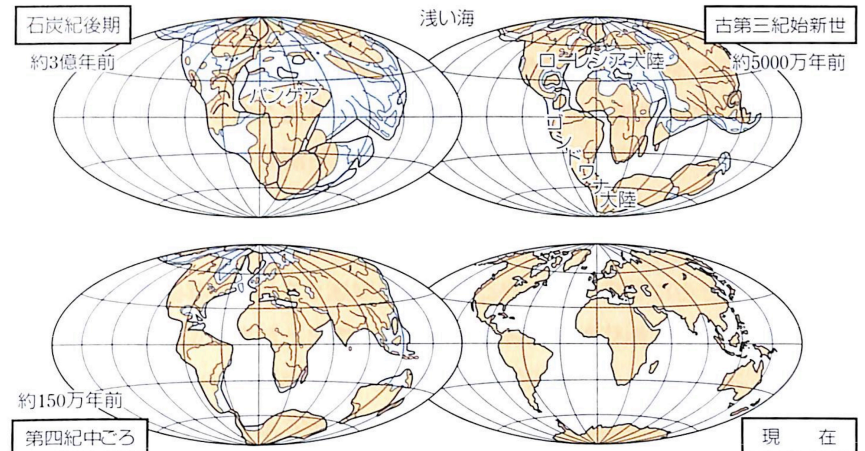


図1 ウェゲナーが考えた大陸移動の経過

ウェゲナーの大陸移動説(1912年):石炭紀は一つの超大陸(パンゲア)が、ペルム紀になり南北に分裂を初め現在の姿になったというモデル
→地質(古氷河)・化石分布などを説明するが、その駆動力を説明できず指示を失う

古氷河の証拠

大陸が移動するということは、プレート・テクトニクス理論の骨格が完成する以前に、地質学的なデータから示唆されていた。

そのひとつが過去の氷河の分布である。南米、アフリカ、インド、オーストラリアに分布する後期石炭紀(約3億年前)の氷河の分布と移動方向は、これらの大陸が当時 Gondwana 大陸というひとつの大陸を形成していたことを示唆する。

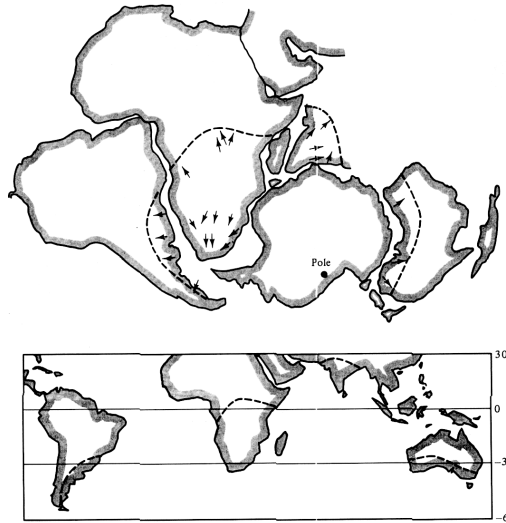


Figure 10.1 (a) Ice-flow directions, palaeomagnetic pole position and extent of Late Carboniferous glaciations. All three features have a rational distribution on the continental reassembly. (b) The nonsensical distribution of Late Carboniferous glaciations (within the area bounded by the dashed lines) plotted on a present-day map.

古気候の証拠

右図のように大陸を集めると、赤道域を特徴づける古生代末期(ペルム紀、2億5千万年前頃)の蒸発岩、石炭層、さんご礁堆積物は一直線に並んで分布し、その南北両側には砂漠性砂丘などの砂漠堆積物、さらにその南側低緯度地域には氷河堆積物が分布することになる。

このことは、古生代末期の大陸の配置は図のようなものであったことを示唆する。この超大陸を Pangea といい、北半分をローラシアと南半分を Gondwana はテチス海で隔てられていた。

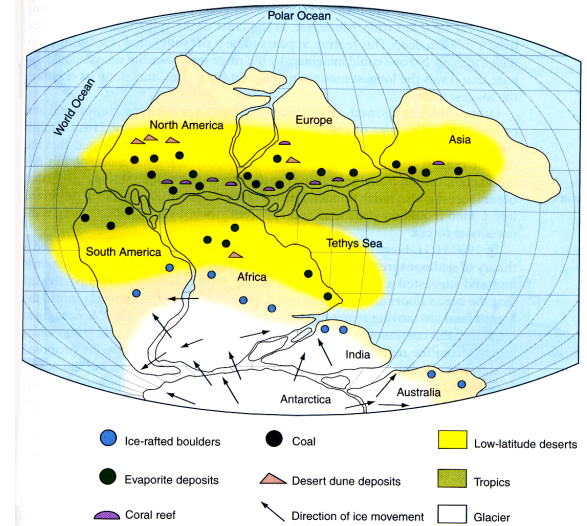
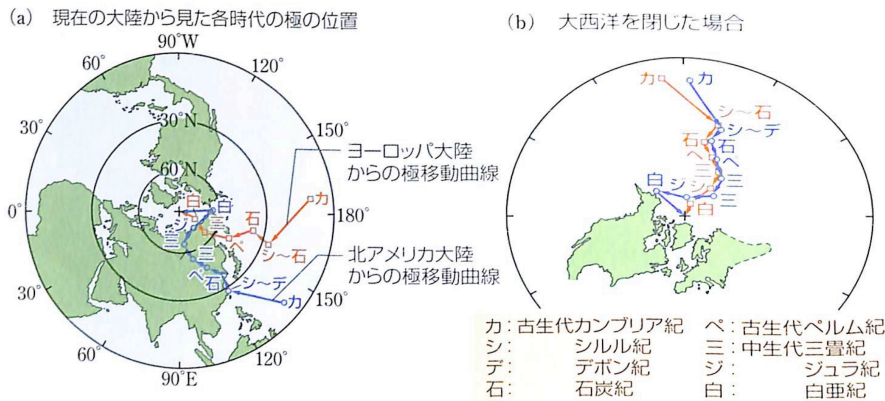


FIGURE 17.6 Paleoclimatic evidence for continental drift includes deposits of coal, desert sandstone, rock salt, wind-blown sand, gypsum, and glacial deposits. Each indicates a specific climatic condition at the time of its formation. The distribution of these deposits is best explained if we assume that the continents were grouped together at the end of the Paleozoic Era, as shown in this diagram. (After American Association of Petroleum Geologists)

磁極の移動と大陸漂移説(大陸移動説の復活)

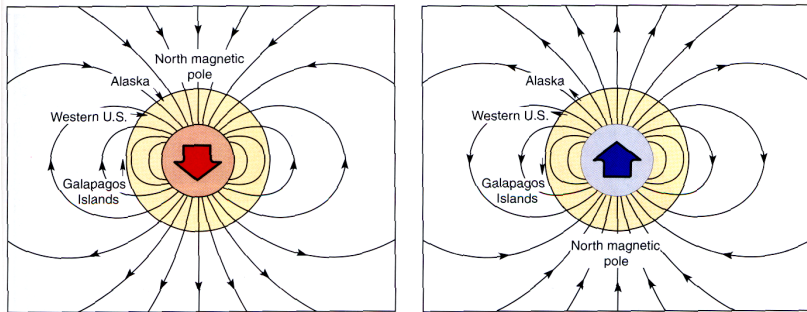


カンブリア紀以降の岩石残留磁気を示す磁北は時代とともに変化し、北米とヨーロッパで測った磁極の移動軌跡は一致しない。過去には磁北が複数あったのか? いやそうではない。大西洋を閉じるように北米大陸とユーラシア大陸を移動させると、ジュラ紀以前の2つの軌跡はぴったりと一致する。だから、ジュラ紀以前には2つの大陸が合体していて、ジュラ紀以後に大西洋が開き始めたと考えられる。このデータは近代的な大陸移動説の幕を開いた。

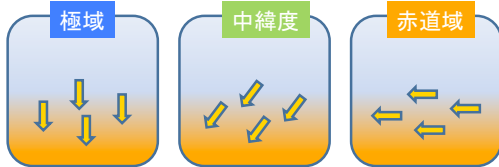
地磁気と海洋底拡大説

- 岩石や鉱物は磁石である(地磁気を記録する)
- 地磁気が生命と地球を守った
- 地磁気の逆転と地球内部の運動
- 海洋底拡大説
- 海底の年代と水深・地形

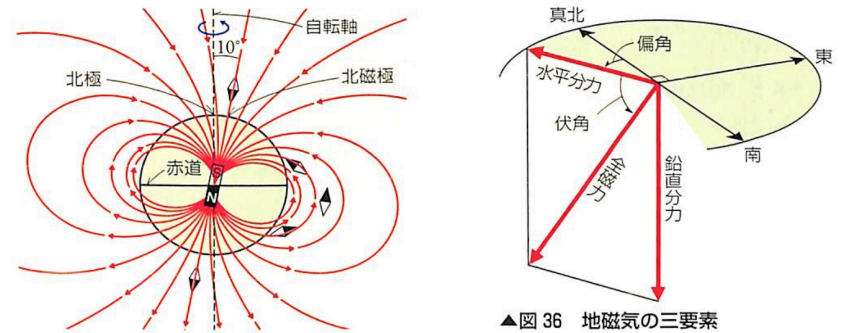
地球磁場と緯度との関係、および磁極の反転



(A) Normal polarity (B) Reverse polarity $\tan I = 2 \tan L$

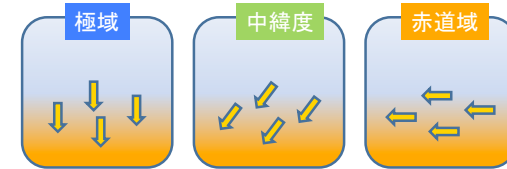


地球は**双極子磁場**を作っており、しばしば反転している。磁力線の伏角 I と緯度 L は関係するので、岩石に記録された I を測定すれば、岩石が磁化したときの古緯度を知ることができる。

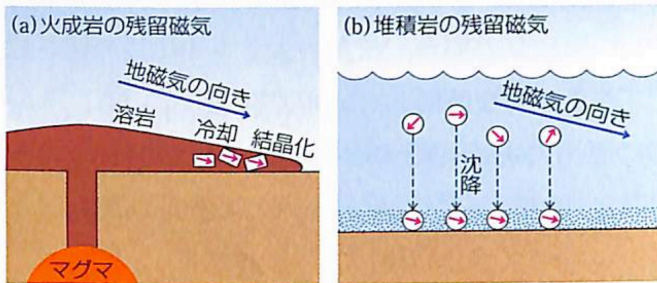


▲図 35 地球の磁場
地球の磁場は1つの棒磁石による磁場に近い。赤色の線は磁力線を表す。

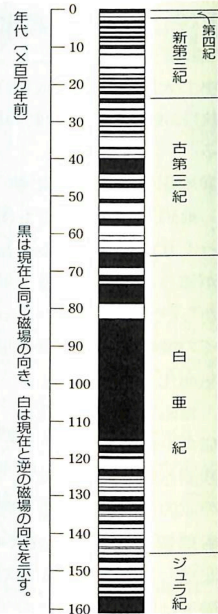
▲図 36 地磁気の三要素
全磁力・水平分力・鉛直分力は地磁気の強さを表し、偏角と伏角が地磁気の向きを表す。



岩石に記録される地磁気 (残留磁気)

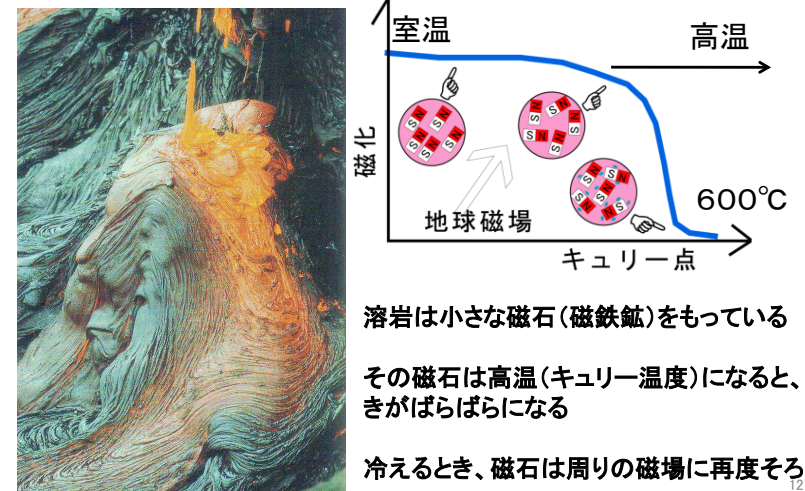


▲図 41 残留磁気のでき方
火成岩の残留磁気を熱残留磁気、堆積岩の残留磁気を堆積残留磁気という。堆積残留磁気は熱残留磁気比べて小さい。赤色の矢印は鉱物のもつ残留磁気の向きを示し矢の先はN極を示す。



▲図 42 地磁気の逆転の年表

どのように岩石は磁場を記録する？

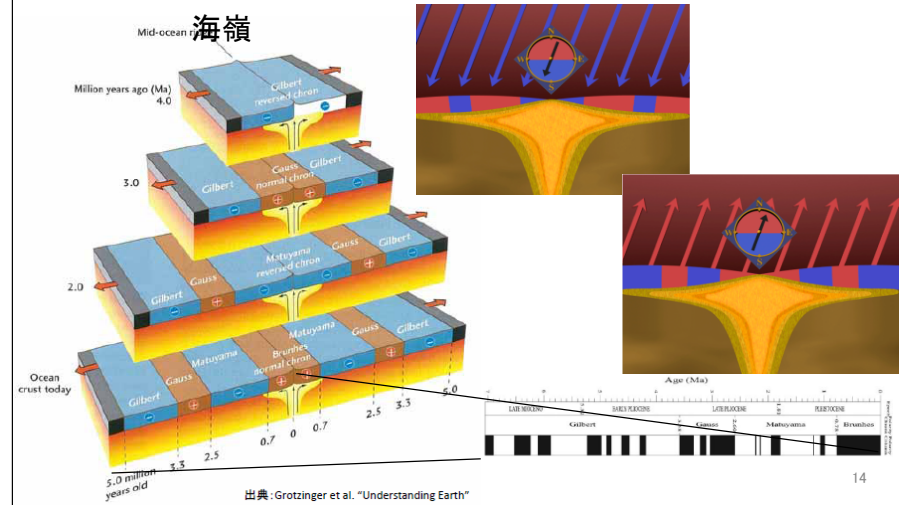


溶岩は小さな磁石(磁鉄鉱)をもっている
その磁石は高温(キュリー温度)になると、向きがばらばらになる
冷えるとき、磁石は周りの磁場に再度そろう

岩石を温めると磁気を失う??

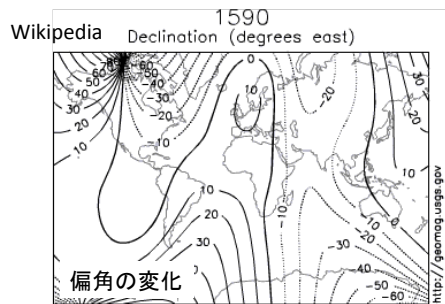


縞模様、大陸移動と岩石磁化

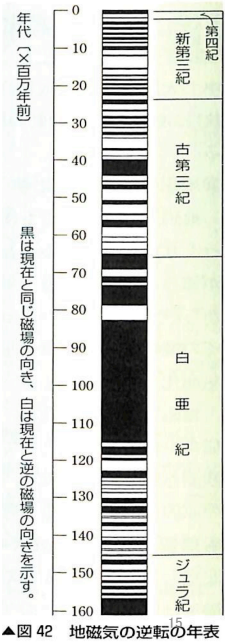


地球磁場の謎

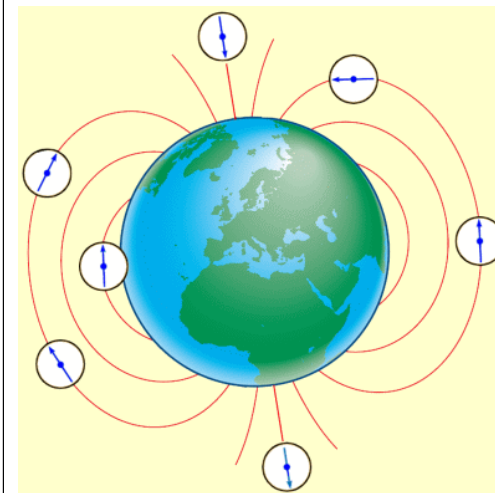
- 磁場は 20 ~ 100 万年程度で反転
- 磁場の強度は絶えず変化



偏角(水平成分の真北からのずれ)



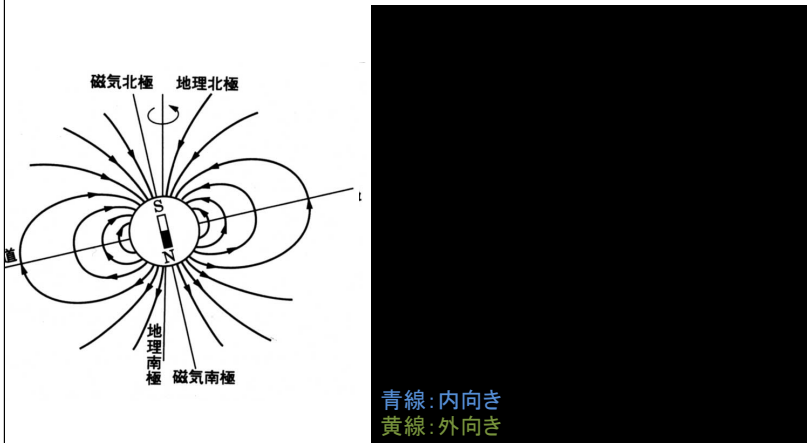
地球は磁気を持つ



核内部は3600度(岩石のキュリー点を超える)
→核が磁気を持っているわけではない

地球内部の導体(金属核)が移動することで磁気が発生?
→地球ダイナモ理論

地磁気の逆転シミュレーション

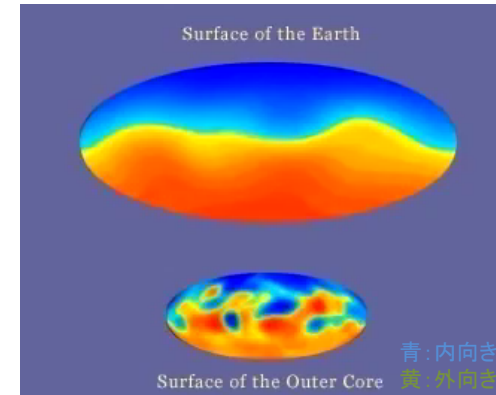


青線: 内向き
黄線: 外向き

<http://www.psc.edu/science/glatzmaier.html>

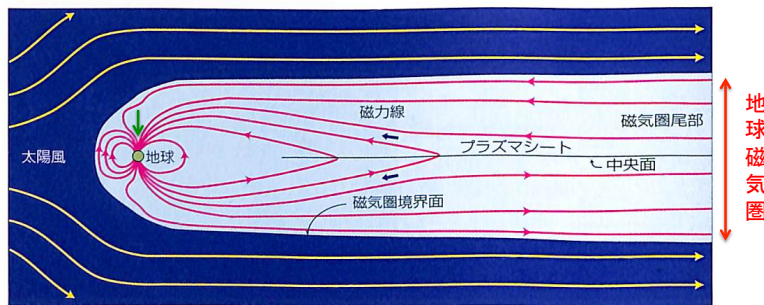
磁場の反転: 数千年規模の現象

- Glatzmaier & Roberts (1995 Nature) の反転モデル



<https://www.youtube.com/watch?v=SJDcyyY01p4>

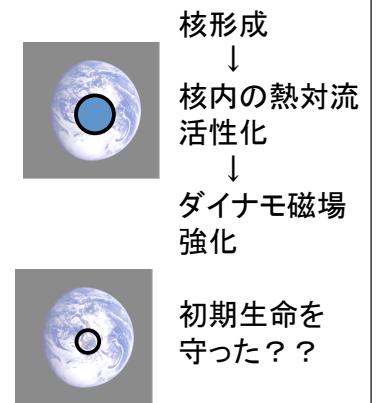
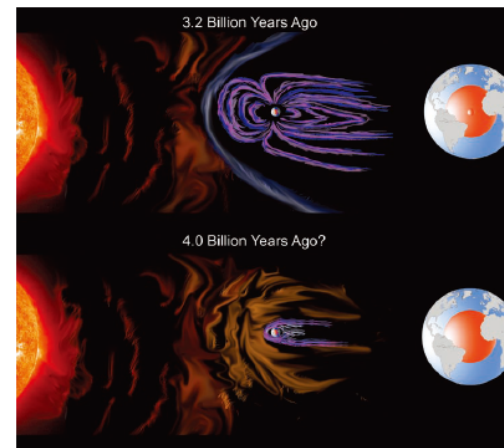
地磁気と太陽風



▲図 43 太陽風と地球磁気圏
太陽風に対する地磁気の極の角度は、年間を通じて変化する。

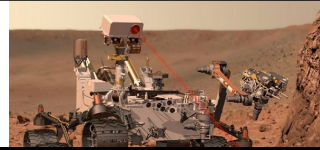
- 地球周辺は太陽から飛来する荷電粒子(プラズマ)の流れである太陽風に覆われているが、地球の磁気圏により地表と我々生命は太陽風から守られている。

初期地球の磁気圏と地球核

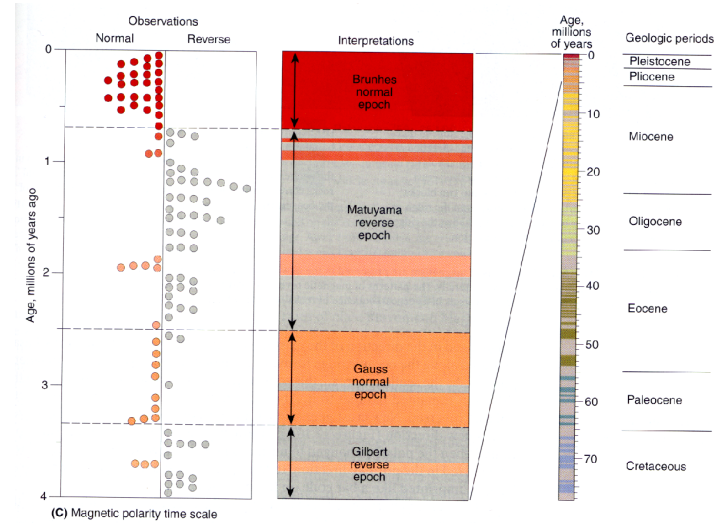


約38億年前の生命誕生と磁気圏形成との関係: 未解明

40億年前の火星



地磁気反転の歴史



(C) Magnetic polarity time scale

磁鉄鉱などの磁性鉱物を含む火成岩は、キュリー温度以下に冷却する時に地球磁場で帯磁する。この岩石の放射年代と残留磁気を測定すれば、正磁極/逆磁極の時代変遷が分かる。

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……

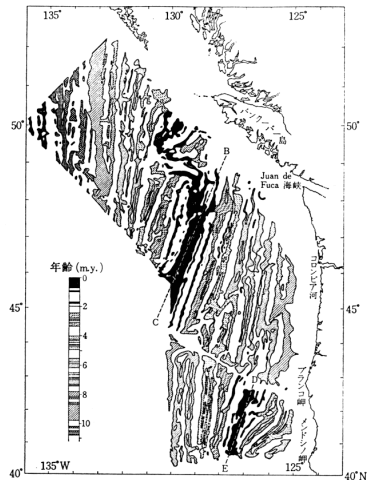
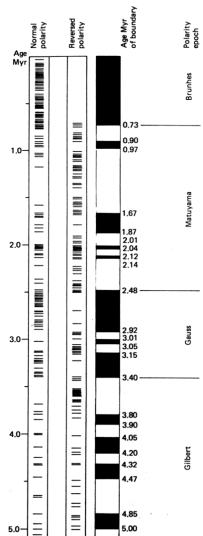
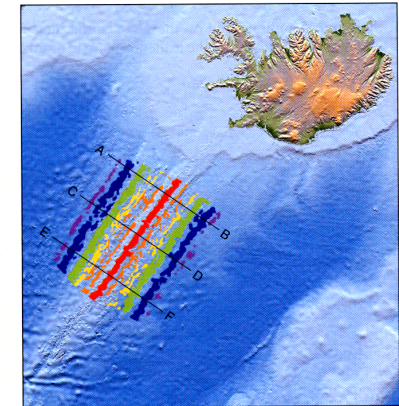
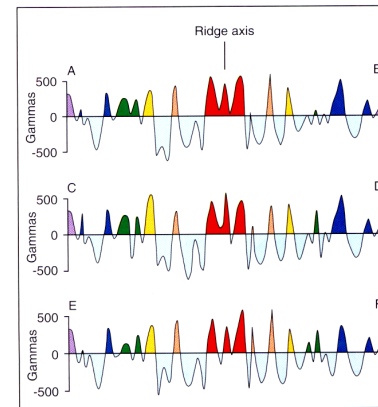


図 5.8 北アメリカ西方海域の地磁気全磁力異常。正異常には Vine-Matthews 仮説にもとづく年代別の縞模様をつけてある。BC, DE は Juan de Fuca, Gorda 海嶺 (Vine, 1968*による)

海洋底の磁気異常の縞模様



(Courtesy of Ken Perry, Chalk Butte, Inc.)

海洋底は玄武岩からできている。玄武岩マグマが冷却・固結する過程で帯磁するはず。磁気異常の縞々は大西洋中央海嶺に平行で、海嶺中央軸を挟んで対照的なパターンを示している。磁極は頻りに反転することを既に知っている。だから……

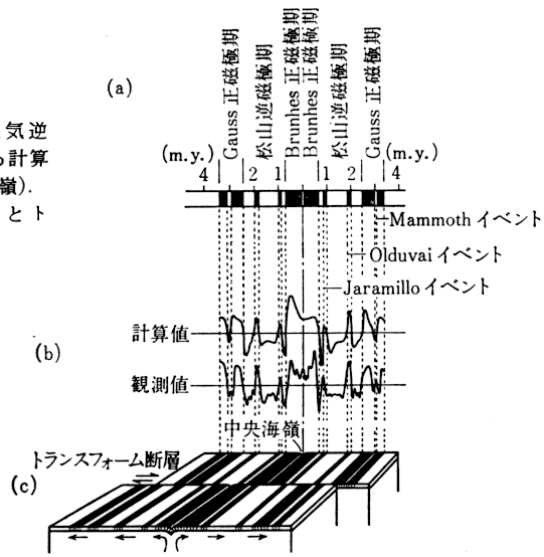
テープレコーダ モデル

図5.9 (a)Coxらによる地磁気逆転史。(b)Vine-Wilsonによる計算値と実測値の比較(東太平洋海嶺)。(c)テープレコーダー・モデルとトランスフォーム断層

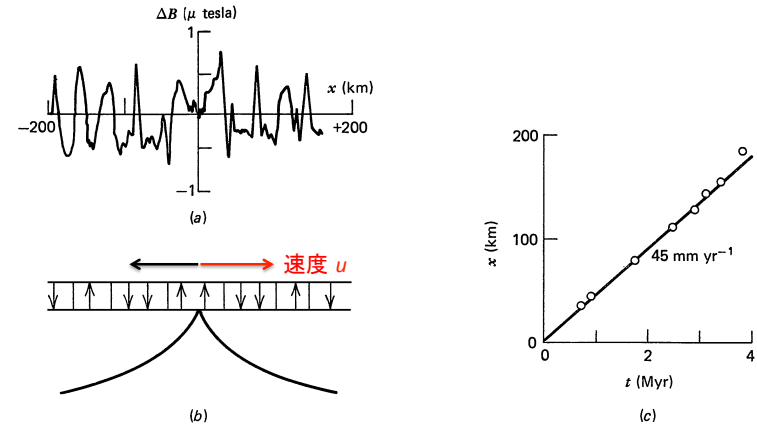
海洋底の磁気異常の縞々パターンは、陸上で測定された磁極反転の歴史の白黒パターンと一致している!

これは、中央海嶺の中軸に沿って玄武岩マグマが湧き出して冷却固化し、次々と左右に移動していく。そのとき、玄武岩はその時々地球磁場を記録していくと考えればよい!

このアイデアが海洋底拡大説の始まりだ。



磁気縞模様から拡大速度を知る



東太平洋中央海嶺での海嶺を横切る磁気異常プロファイル(a)とその磁気反転ブロックモデル(b)、推定される拡大速度(c)

海洋底年齢図の完成

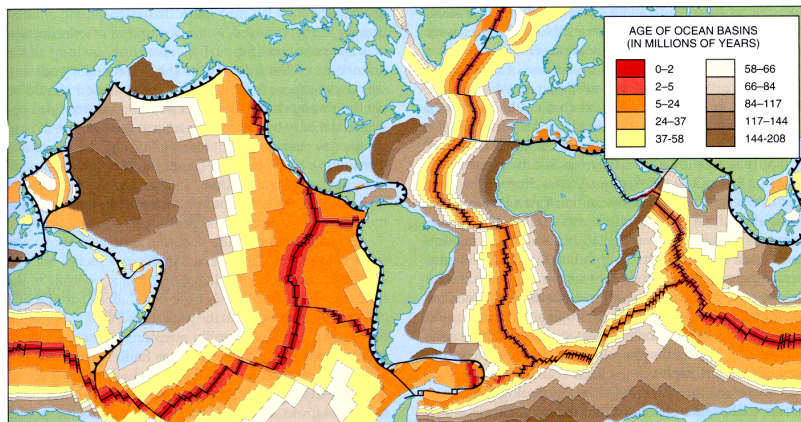


FIGURE 7.8 Global map of the age of the ocean floor determined from patterns of magnetic-field intensity.

海洋底磁気異常の探査により、現在では全海洋での海洋底年齢図がほぼ完成している。中央海嶺の中軸部の年齢はゼロ歳で、そこから遠ざかるにつれて海洋底の年齢は増す。現在のどこの海洋底も約2億年より若い。最古の大陸の年齢が46億年だから、海洋底はずっと若い。

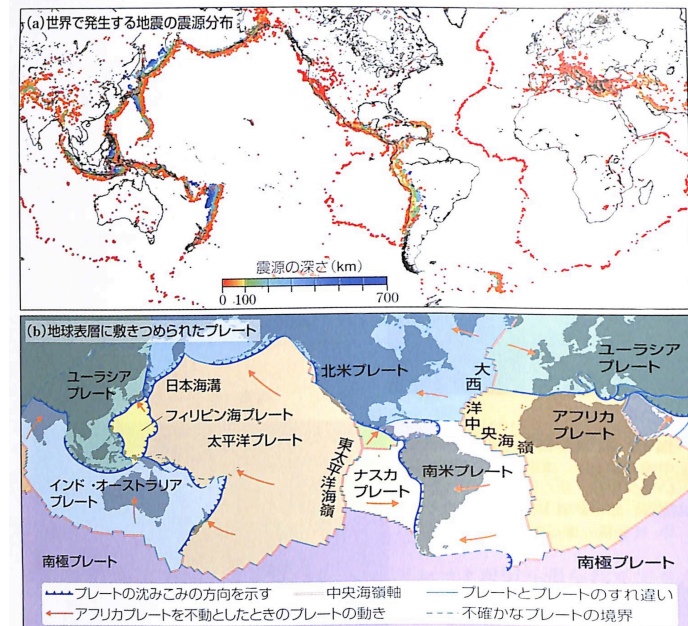


図14 震源分布とプレートの運動 地震は、プレートの境界で多発している。

海洋底の地形

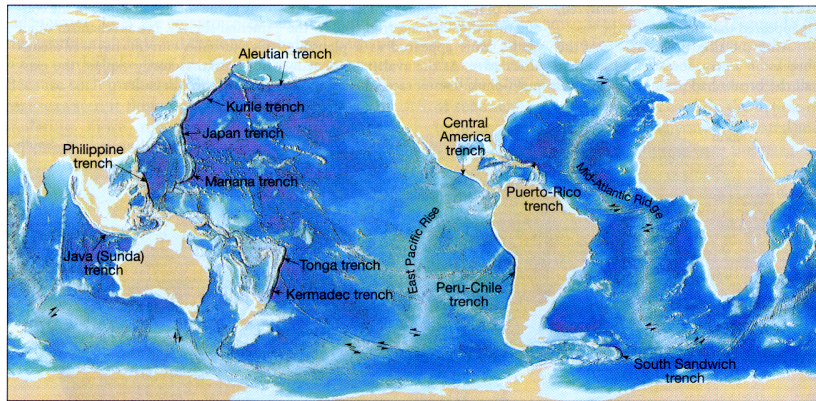


Figure 18.7 Distribution of the world's major oceanic trenches.

大西洋の中央部には大西洋中央海嶺が横たわり、アイスランドを経て北は北極海に延びている。南はアフリカ沖を回りこんでインド洋に抜けている。インド洋の中央海嶺は2つ分岐して、西の枝は紅海へ、東はオーストラリアの南を迂回して南太平洋に続く(東太平洋中央海嶺)。これからはチリ沖でチリ海嶺が分岐し、さらにペルー沖ではガラパゴス海嶺が分岐する。東太平洋中央海嶺の北端はカルフォルニア湾に入り込む。これらの中央海嶺から絶えず海洋底が生産されているのだ。

29

プレートは年をとるごとに冷えて重くなり、海は深くなる

中央海嶺で生まれたプレートは、側方に移動し冷えることで厚く重くなり、海は深くなる→プレート t 則(水深, 厚さ $\propto \sqrt{t}$)



図 17 海洋プレートの模式図

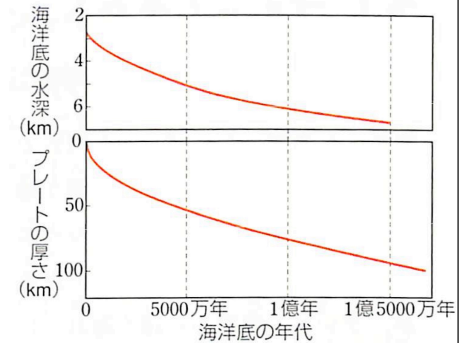


図 18 海洋プレートの冷却による海洋底の水深とプレートの厚さの変化
横軸は、プレートが中央海嶺で生産されてから経過した時間を表す。

30

2回目講義: 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)まとめ

プレートテクトニクス発見の重要な根拠となった海洋底拡大説について学んだ

1. 岩石は地磁気を記録(残留磁気)し、それにより古地理を復元することができる
2. 地球の磁場は移動・反転、その証拠が海洋底に記されている
3. 地磁気の縞模様から年代を与えることで拡大速度を求めることができる

31

2回目 レポート課題

- 以下の語句を使用し、プレートテクトニクスと海洋底拡大説を説明せよ。

地磁気 残留磁気 反転 海嶺 キュリ一点 磁気縞模様

前回のスライド最後の1回目課題とともに次回提出ください

32