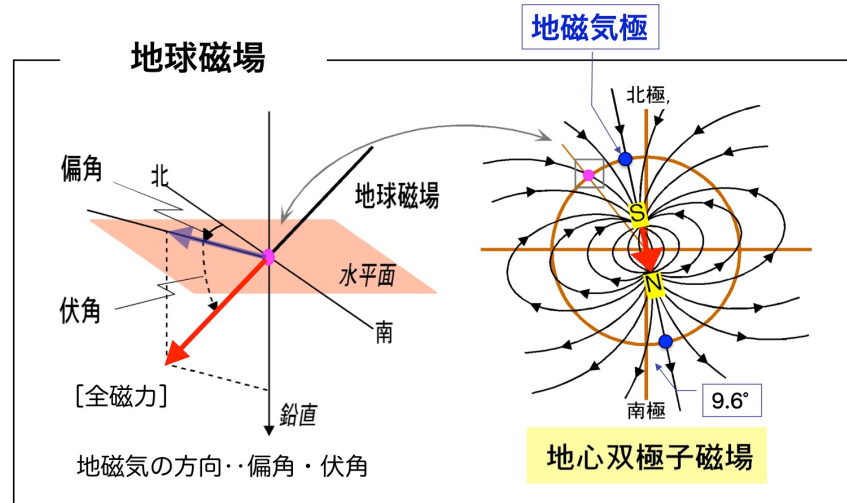


2. 岩石の残留磁化から探る地球の営み「地球磁場の変動」



地心双極子：自転軸となす角 9.6° [IGRF12(2015)]
現在の地球磁場の約80%の分布を表す（残り：非双極子磁場）

国際標準磁場 (IGRF)

IGA (国際地球電磁気超高層物理学協会)、磁気観測データに基づき、5年毎改訂

磁気ポテンシャル V (球面展開)

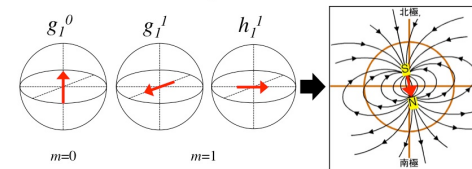
$$V = \frac{a}{\mu_0} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{a}{r} \right)^{l+1} P_l^m(\cos \theta) \left(g_l^m \cos m\phi + h_l^m \sin m\phi \right)$$

$$P_l^m(\cos \theta) = \frac{1}{2^l l!} \sqrt{\frac{2(l-m)!}{(l+m)!}} (1 - \cos^2 \theta)^{m/2}$$

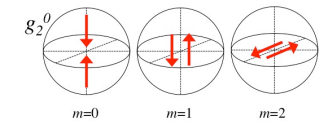
球座標
 θ : 緯度方向 (余緯度)
 ϕ : 経度方向
 r : 地球中心からの距離
 P_l^m : シュミット球関数

.. $l = 1 \sim 13$, ガウス係数 g_l^m, h_l^m

$l = 1$: 双極子 (dipole)

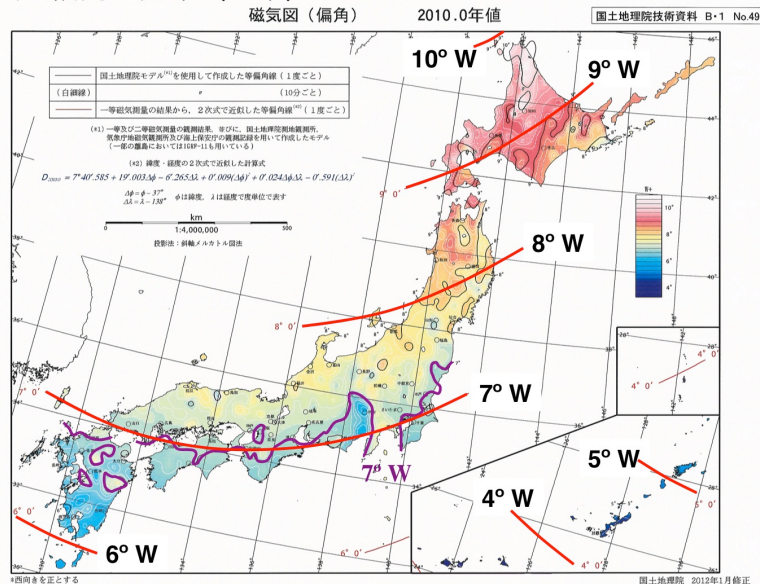


$l = 2$: 四重極子 (quadrupole)



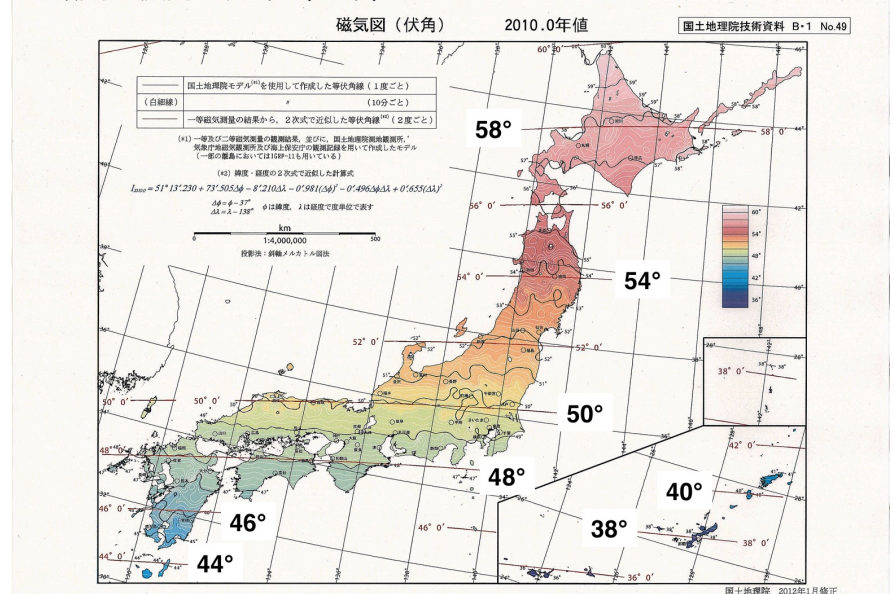
$l = 3$: 六重極子 (hexapole)

地磁気・偏角の分布 (日本)



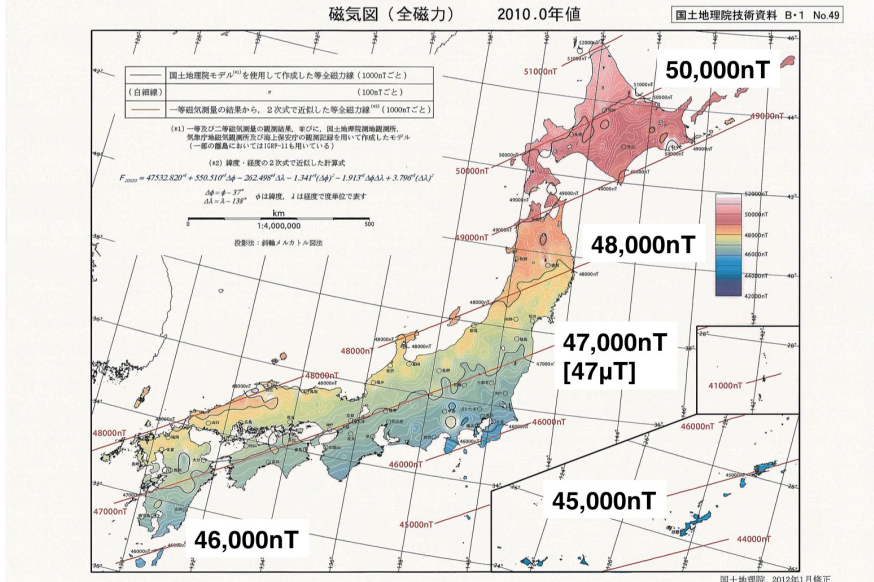
地球磁場 (位置の関数) : 国際標準地球磁場IGRF・IGRF11(2010)

地磁気・伏角の分布 (日本)



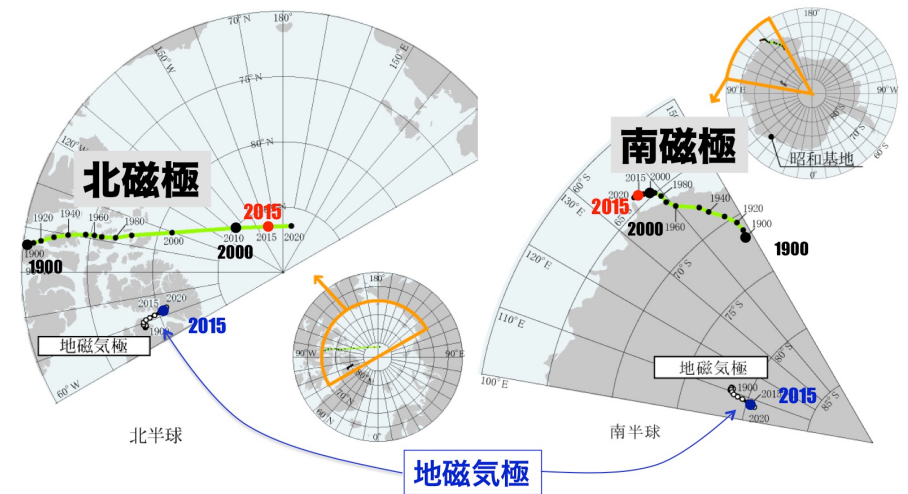
地球磁場 (位置の関数) : 国際標準地球磁場IGRF・IGRF11(2010)

地磁気・全磁力の分布（日本）



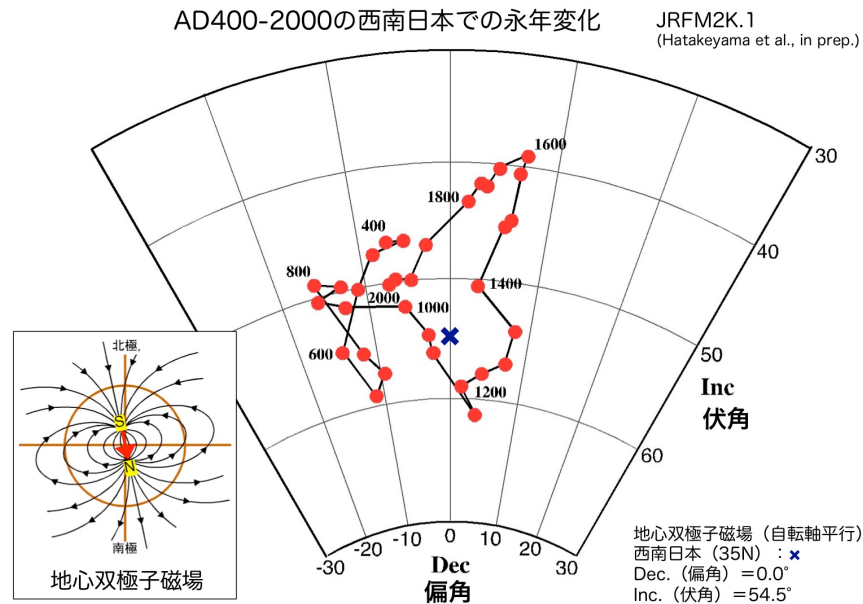
地球磁場（位置の関数）：国際標準地球磁場IGRF・IGRF11(2010)

磁極と地磁気極の移動・IGRF12(2015)より



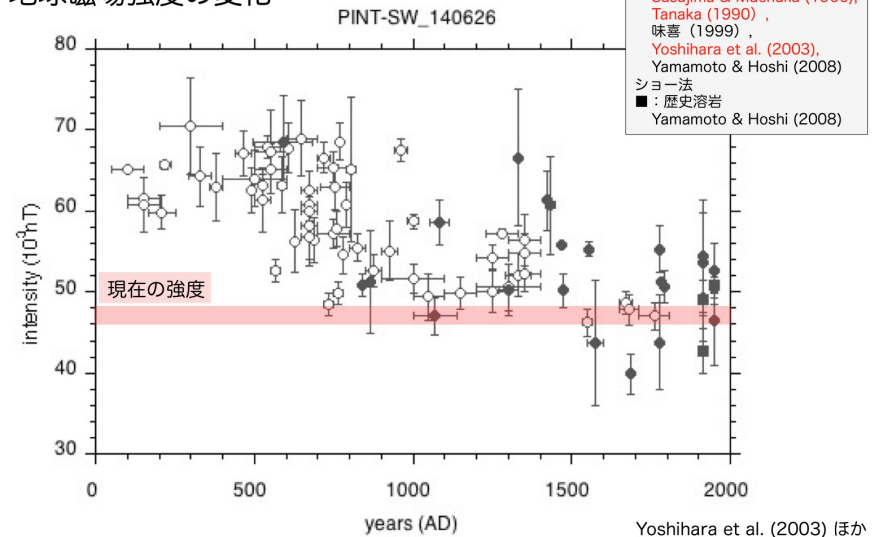
【京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index-j.html>】

地球磁場の変動：永年変化・方向



地球磁場の変動：永年変化・強度

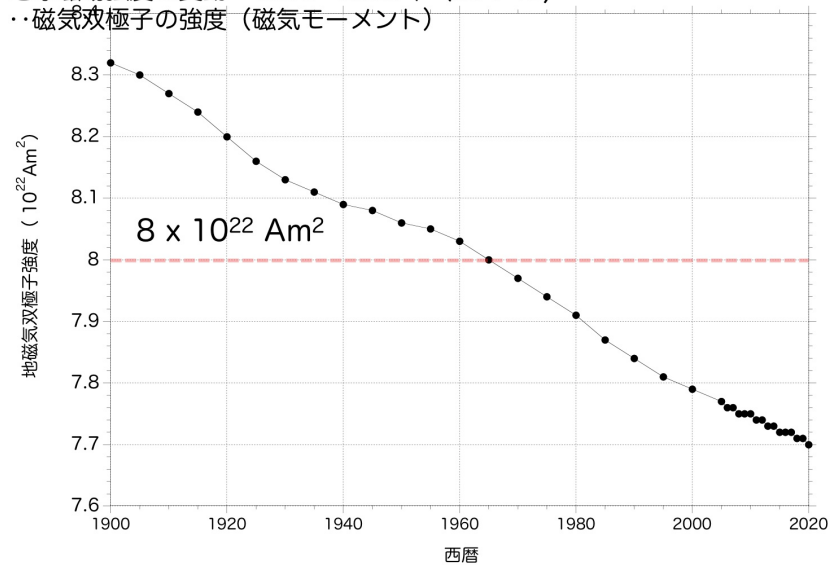
西南日本での過去2000年間の地球磁場強度の変化



地球磁場の変動：永年変化・・強度

地球磁場強度の変動：1900～2020年 (IGRF12)

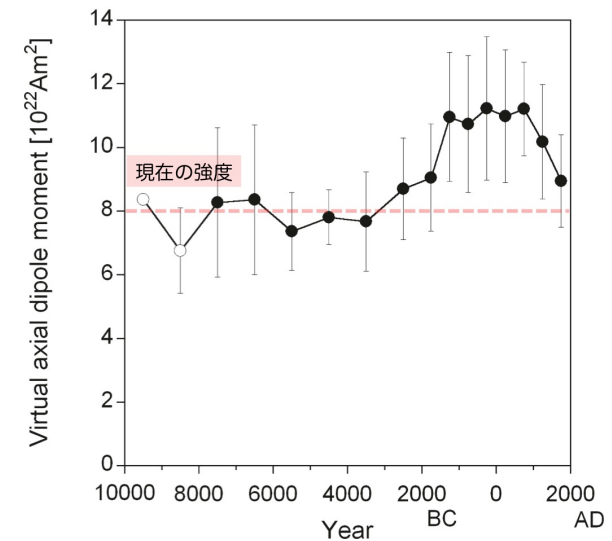
・・磁気双極子の強度 (磁気モーメント)



地球磁場の変動：永年変化・・強度

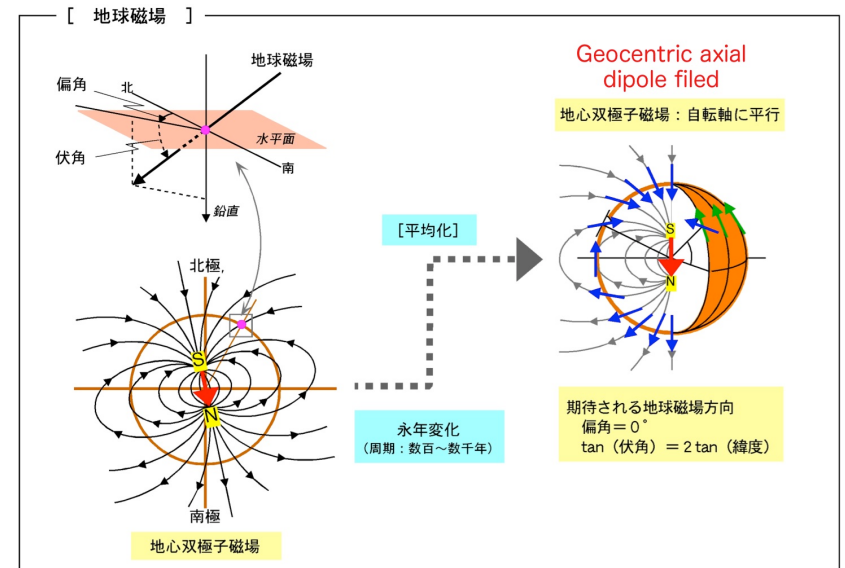
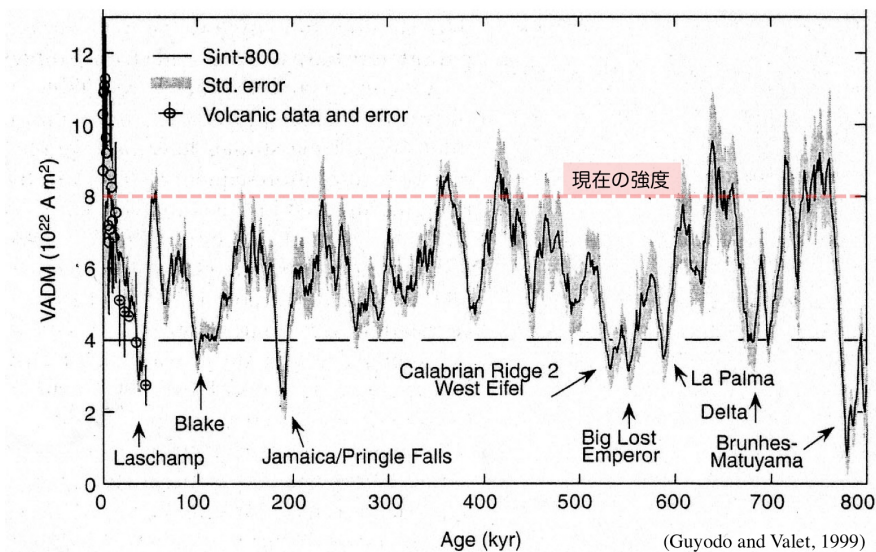
過去1万年間の地球磁場強度の変動 (地心磁気双極子の磁気モーメント)

BC10,000～AD2000 (Yang et al., 2000)

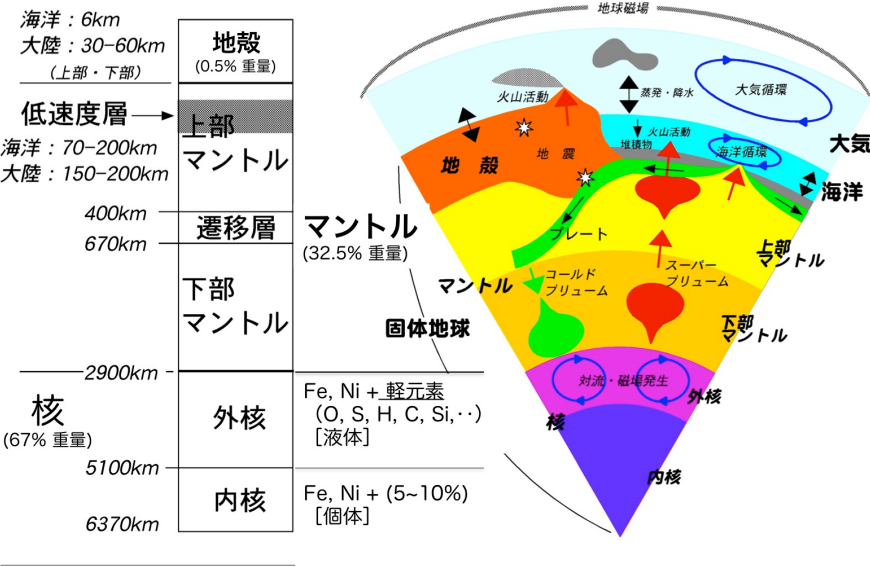


地球磁場の変動：永年変化・・強度

過去80万年間の地球磁場強度の変動 (地心磁気双極子の磁気モーメント)

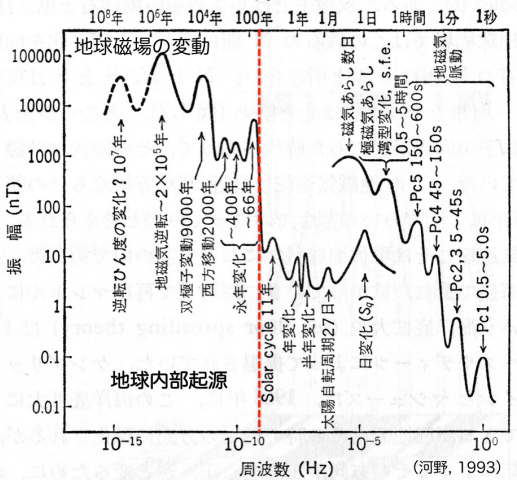
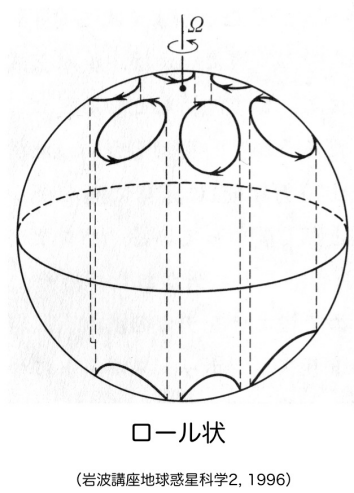


地球の層構造



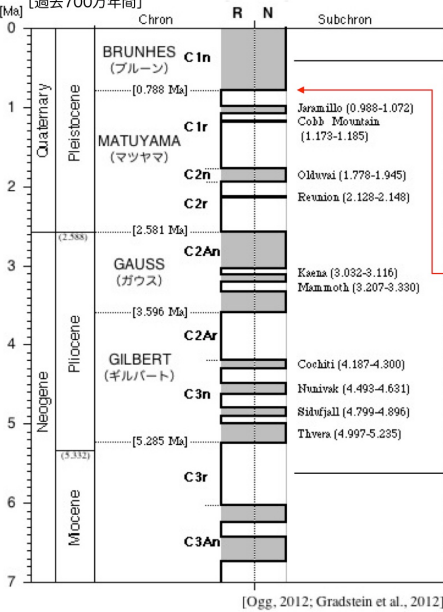
外核の対流 → 地球磁場の発生，変動

- 熱対流，組成対流
- 自転の効果

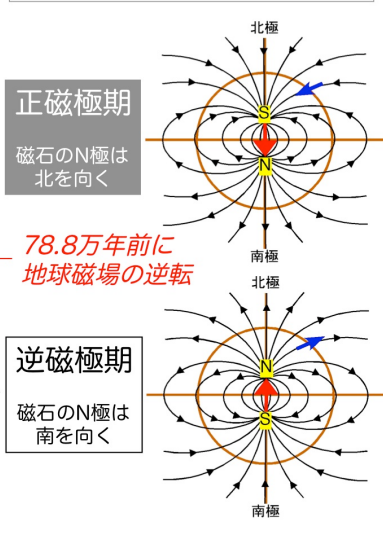


- 地球磁場の変動 (内部の要因)
- 永年変化：～数千年周期
- 極性の逆転：～数10万年周期
- エクスカッション

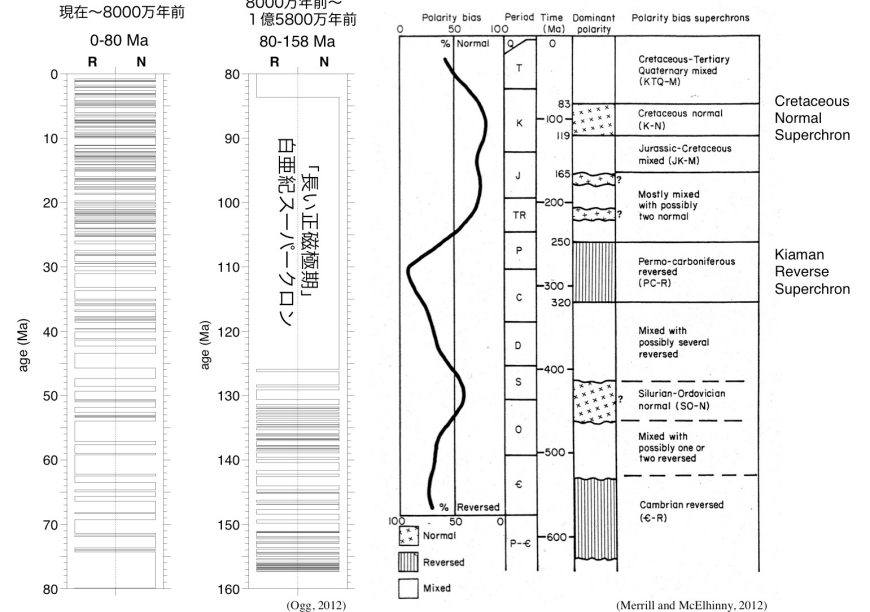
地球磁場の変動：地球磁場の極性の反転



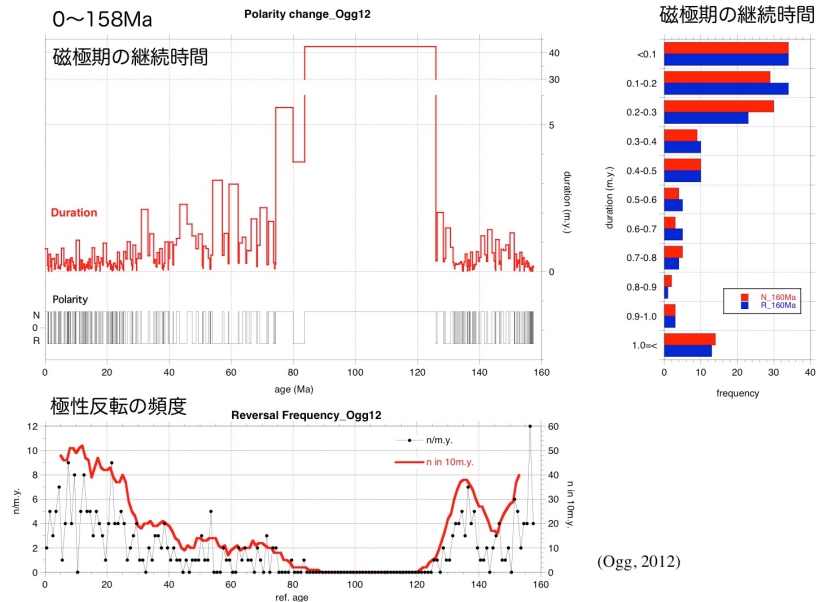
Brunhes (1906)：逆帯磁岩石の発見
松山(1929)：年代による地球磁場の極性変化



地球磁場の変動：地球磁場の極性の反転

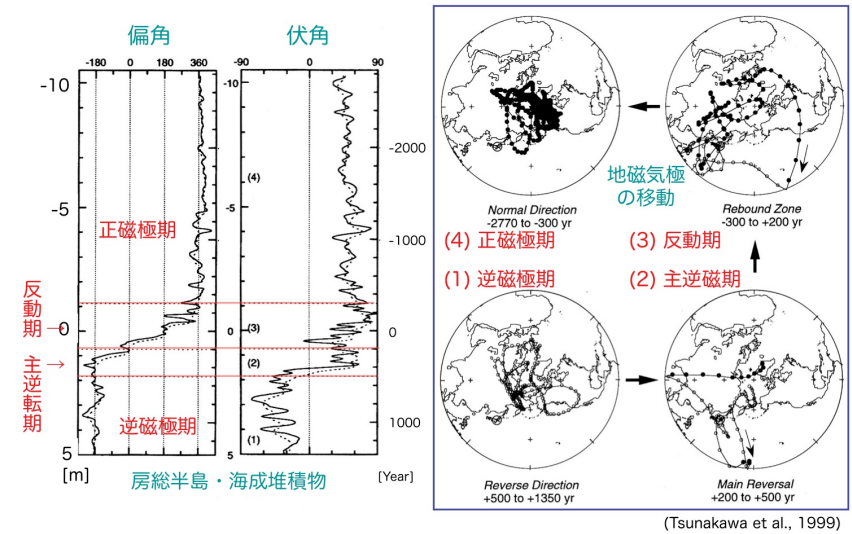


地球磁場の変動：地球磁場の極性の反転



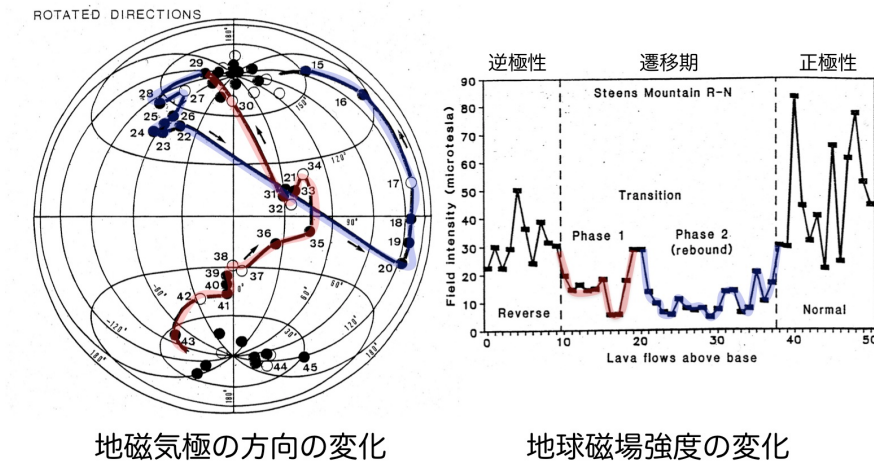
◆地球磁場の極性逆転

78万年前：松山逆磁極期→ブロン正磁極期 継続時間：～800年間



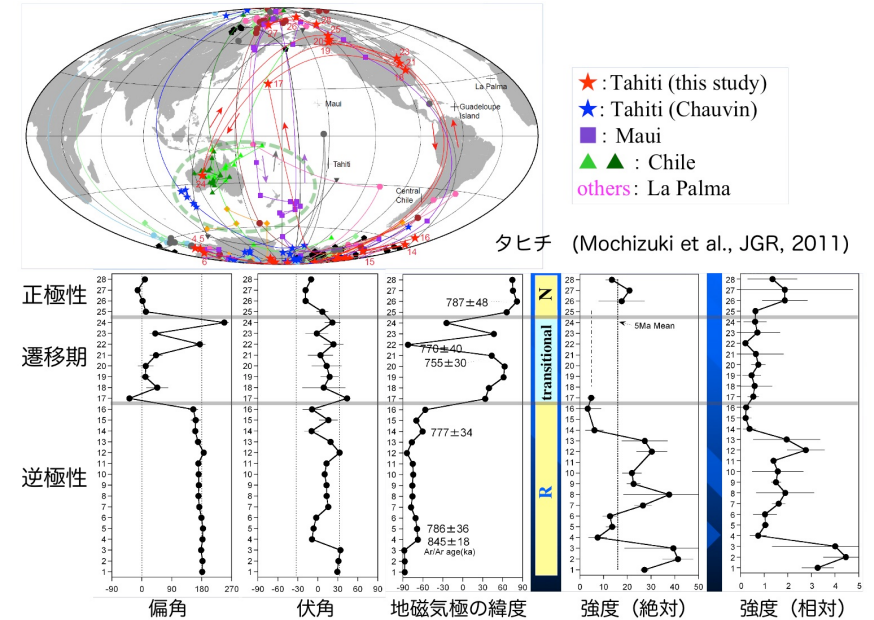
◆地球磁場の極性逆転

Steens Mountain: 1500万年前 逆磁極期→正磁極期

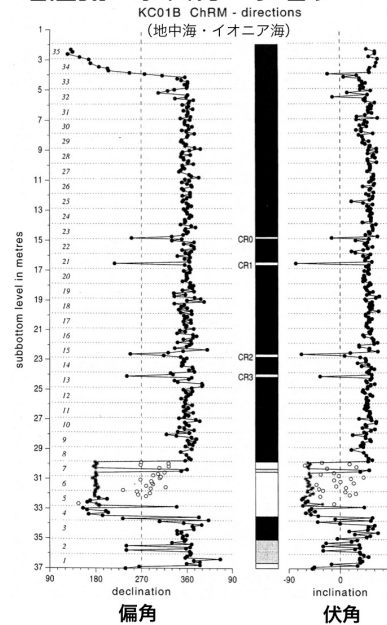


◆地球磁場の極性逆転

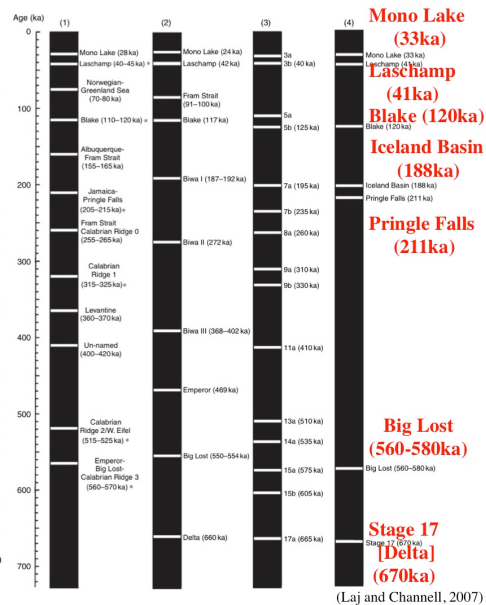
78万年前：松山逆磁極期→ブロン正磁極期



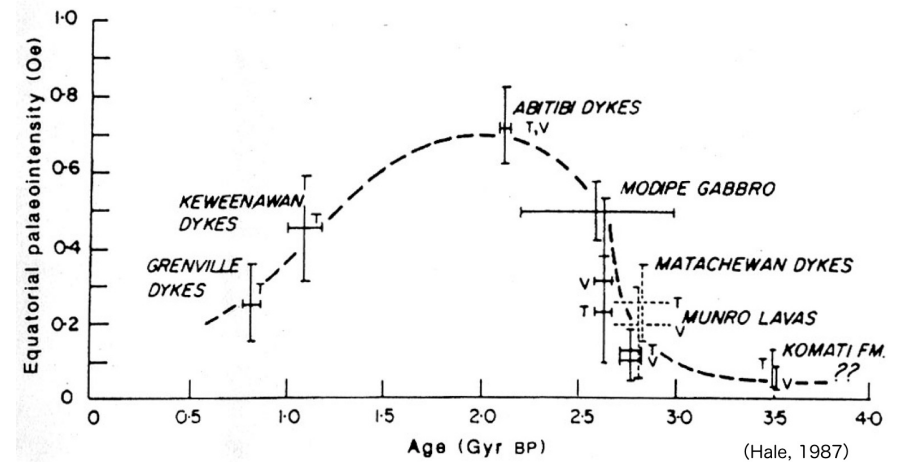
地磁気エクスカージョン



ブルー正磁極期内の地磁気エクスカージョン



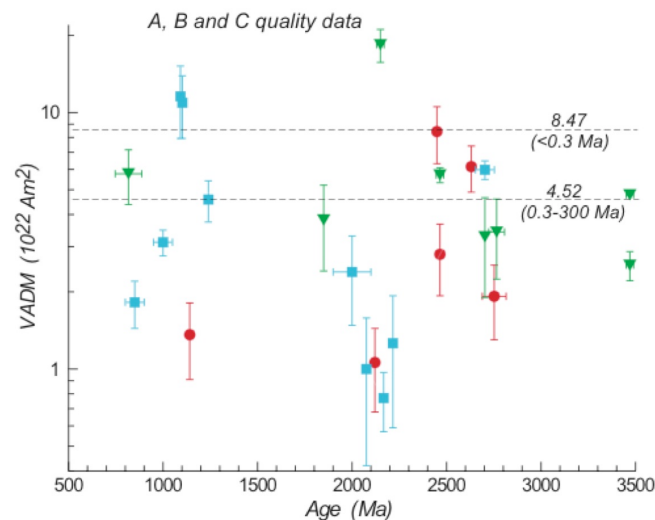
地球磁場強度の変遷



2.7-2.1Ga: 地球磁場強度の急増

→ ~2.5Ga: 内核の形成→外核の対流, 地球磁場発生

地心磁気双極子モーメントの強度



With the addition of C-quality data which fail two of the selection criteria, the data set clusters more closely around the Phanerozoic average. Note that the *low* VADMs have the highest percentage errors, not the high VADMs.

地球磁場の変動

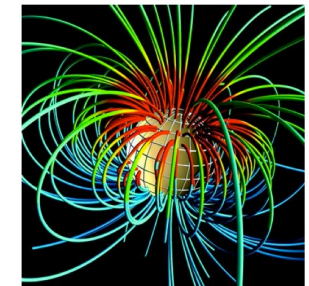
特徴的な変動 (内部起源)

- ・地磁気永年変化 数十年~数千年周期
- ・地磁気エクスカージョン ~数万千年周期
- ・地磁気極性の逆転 ~数10万年周期

地球磁場: 双極子磁場+非双極子磁場

双極子の変動・特に強度 (汎世界的)

非双極子の変動・特に方向 (地域的)



変動解析

- ・地磁気変動モデル → 外核のダイナミクス (地磁気ダイナモ)

・気候変動との対応

地磁気変動に見られるミランコビッチ・サイクル
(地球の軌道要素変動、氷床量→外核の対流運動→地磁気変動)

地球磁場による宇宙線の遮蔽効果

(地磁気変動→宇宙線の遮蔽効果の変動→雲量 (下層雲) の変動→気候変動)

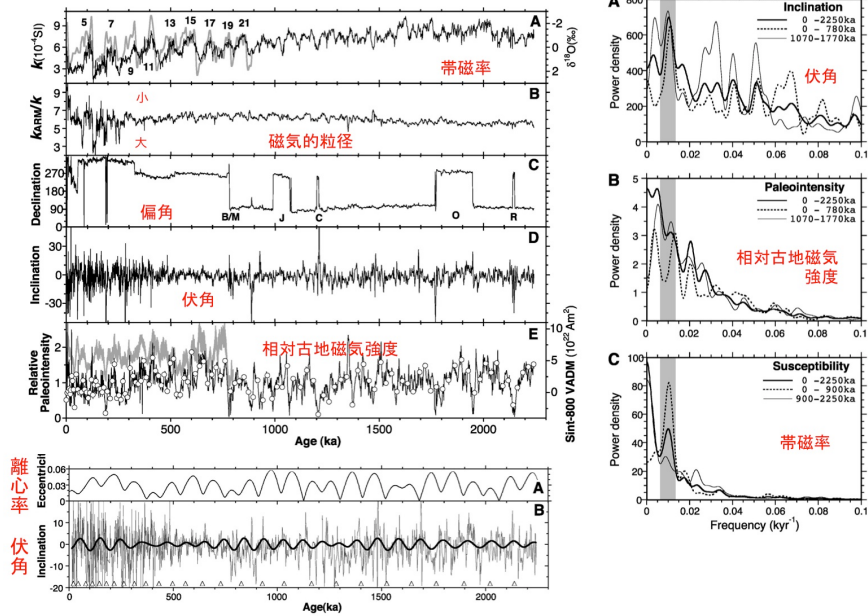
(応用)

・年代推定

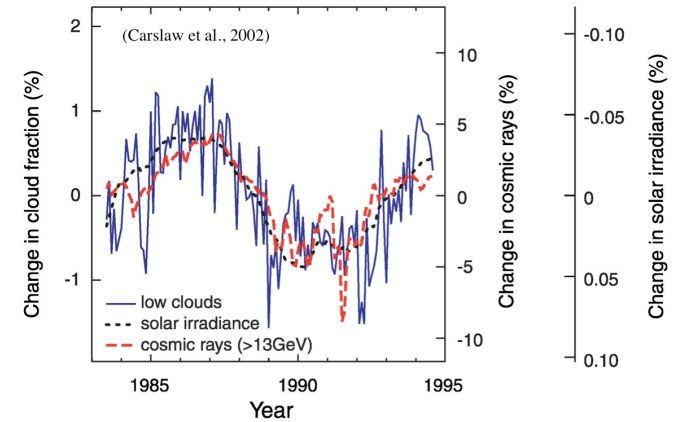
汎世界的・地磁気極性、地磁気エクスカージョン (?)

地域的・地磁気永年変化

西カリロリン海盆（西部赤道太平洋）(Yamazaki and Oda, 2002)



太陽放射量，下層雲の雲量，銀河宇宙線の変動の相関性



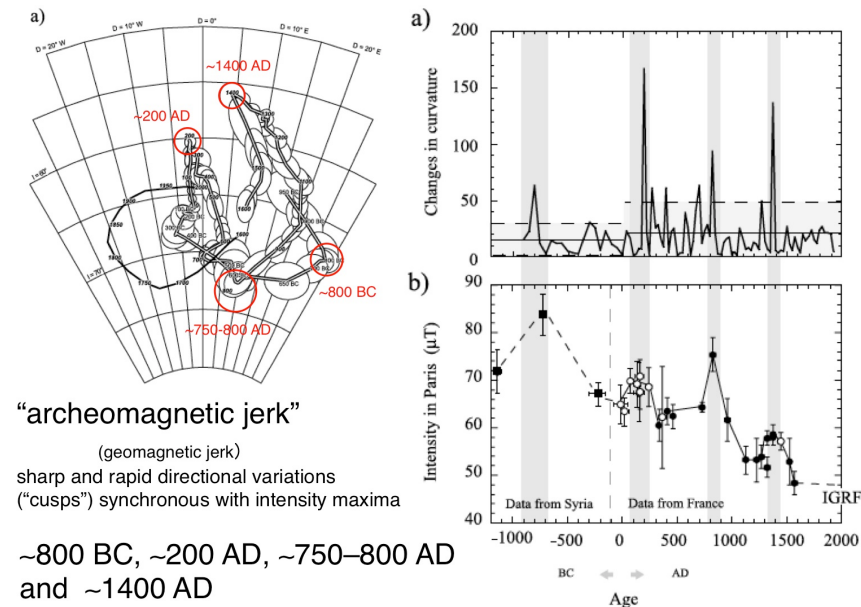
銀河宇宙線

- ・雲形成（凝結核の生成）
- ・太陽磁場による侵入の遮蔽

太陽活動 弱

- 宇宙線の遮蔽効果 弱
- 雲量 増加
- 地磁気の強度の変動でも同様の効果

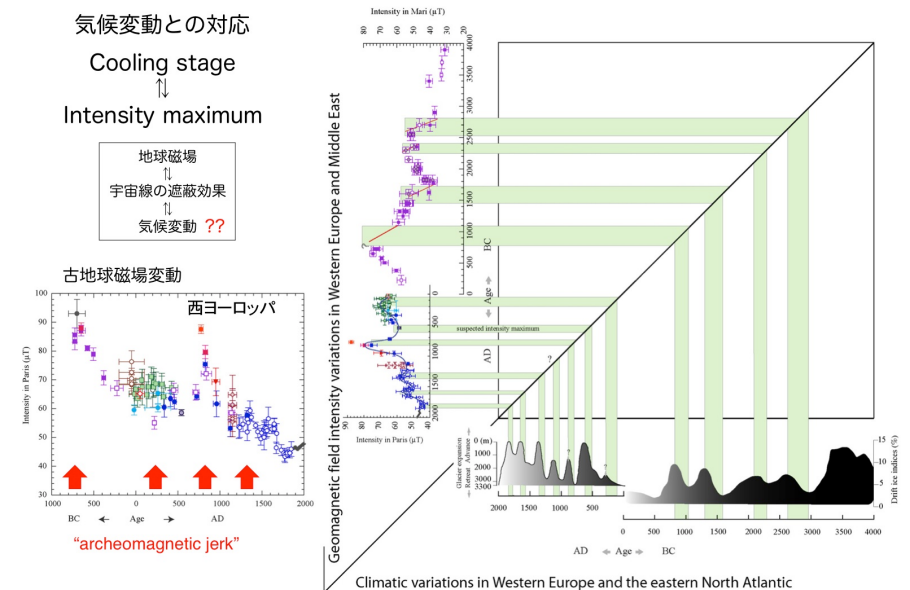
地磁気永年変化：ヨーロッパの過去3000年間の地磁気変動 (Gallet et al., 2003)



“archeomagnetic jerk”
(geomagnetic jerk)
sharp and rapid directional variations
(“cusps”) synchronous with intensity maxima

~800 BC, ~200 AD, ~750–800 AD
and ~1400 AD

地磁気永年変化：ヨーロッパの過去3000年間の地磁気変動 (Gallet et al., 2009)

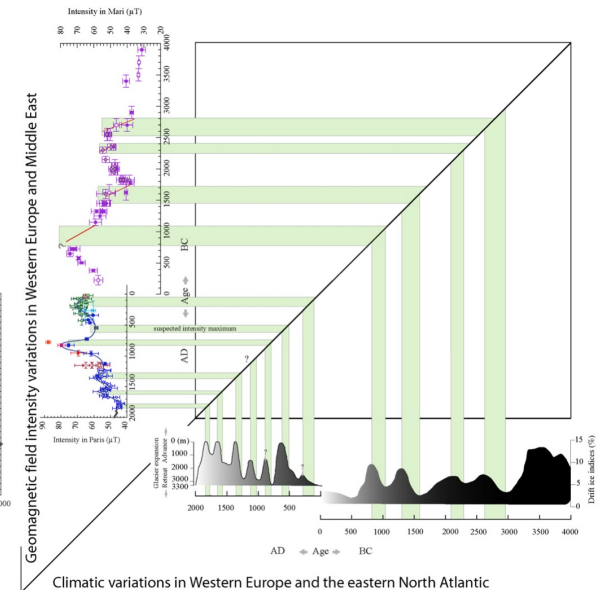


気候変動との対応
Cooling stage
Intensity maximum

地球磁場
↓
宇宙線の遮蔽効果
↓
気候変動 ??

古地磁気変動

西ヨーロッパ
“archeomagnetic jerk”



Climatic variations in Western Europe and the eastern North Atlantic