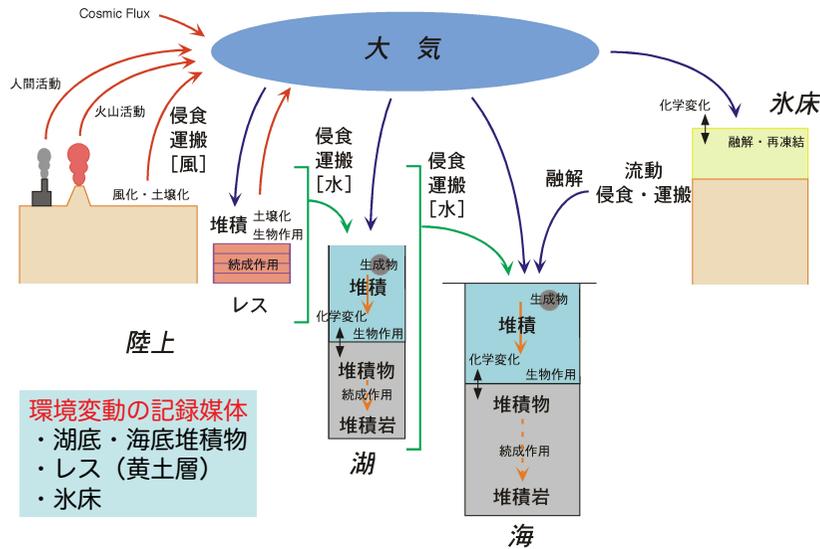


1. 堆積物の磁気的特性による環境変動解析

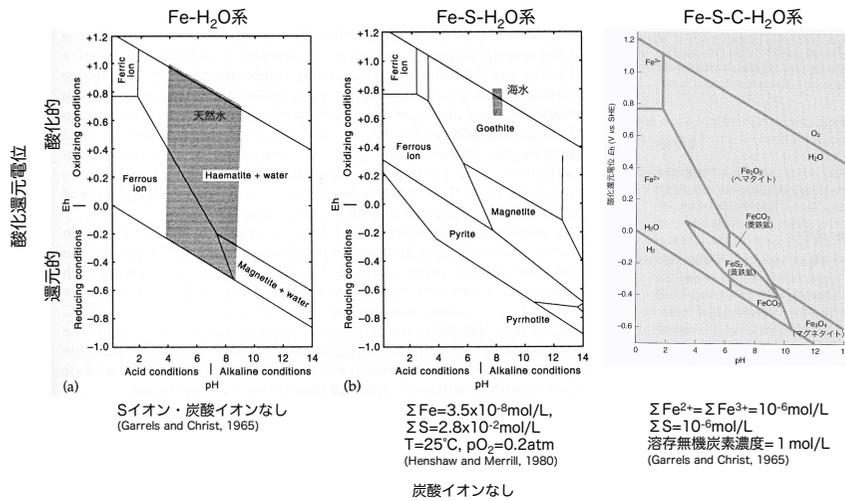
地球表層での物質の移動と諸作用



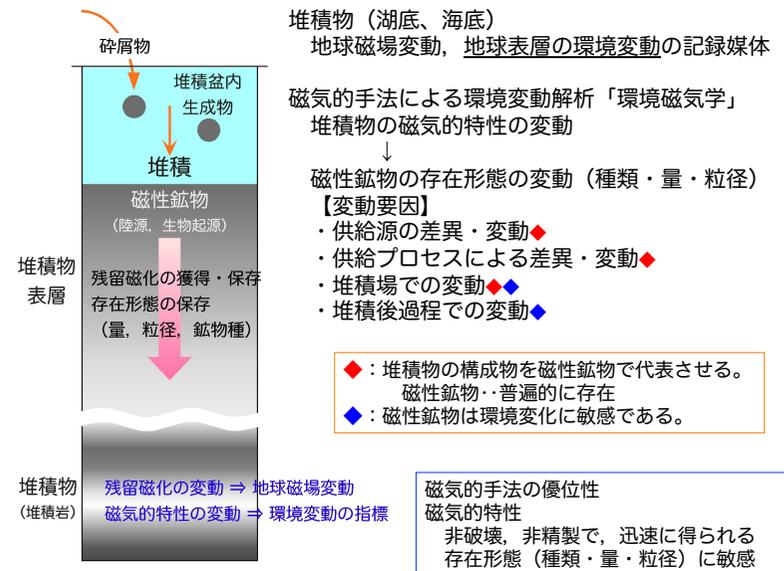
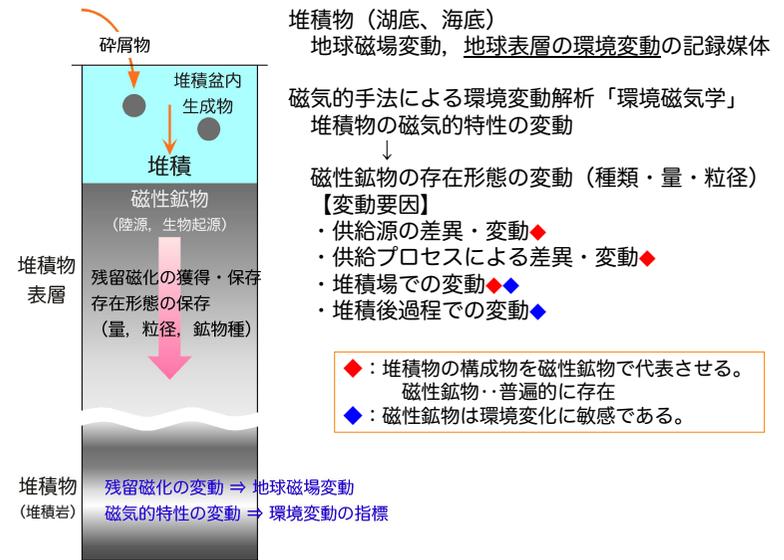
環境変動の記録媒体
 ・湖底・海底堆積物
 ・レス (黄土層)
 ・氷床

天然試料中の磁性鉱物：強磁性鉱物・鉄酸化物、鉄硫化物、鉄水酸化物

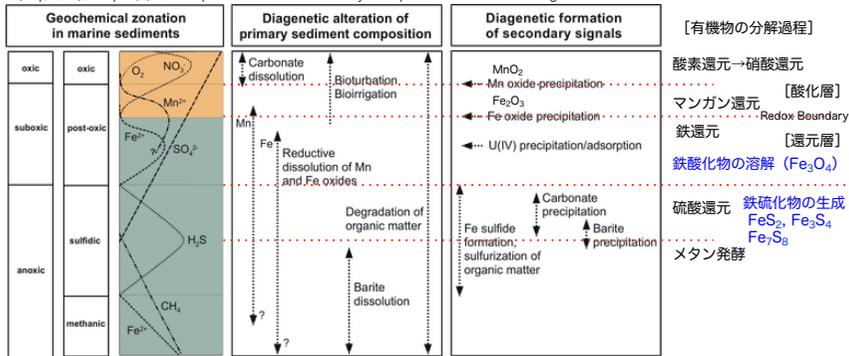
Eh-pHダイアグラム



鉄化合物の変化 → 磁気的特性の変化



初期続成作用



(Kasten et al., 2003)

制御要因
有機物量、堆積速度、生物活動度、
湖底水質環境（温度、溶存酸素濃度DO、pHなど）



天然物の磁気特性・天然試料中の磁性鉱物

◎ 強磁性鉱物

◆ 鉄酸化物

マグネタイト Fe_3O_4 、ヘマタイト Fe_2O_3 (αFe_2O_3) ・岩石中に数%
マグヘマイト γFe_2O_3 (マグネタイトの低温酸化-変質)

鉄-チタン酸化物・チタンTiを含む

チタノマグネタイト: $xFe_2TiO_4 \cdot (1-x)Fe_3O_4$
マグネタイト-ウルボスピネル (Fe_2TiO_4) の固溶体
イルメノヘマタイト: $xFeTiO_3 \cdot (1-x)Fe_2O_3$
ヘマタイト-イルメナイト ($FeTiO_3$) の固溶体

◆ 鉄硫化物: ピロタイト $Fe_{1-x}S$ ($x=0\sim 0.13$) ・ Fe_7S_8 ($x\sim 0.13$)

グレイガイト Fe_3S_4

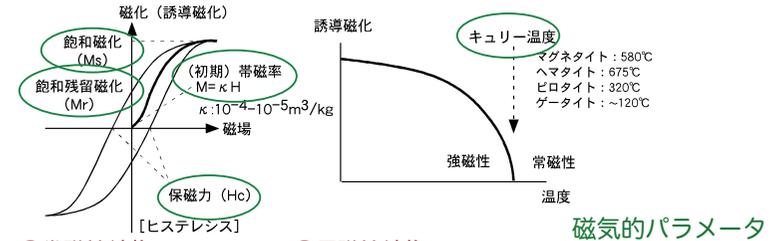
◆ 鉄水酸化物: ゲータイト $\alpha FeOOH$

◎ 常磁性鉱物: 主な造岩鉱物 (Feを含む珪酸塩鉱物)、 パイライト FeS_2 、イルメナイト、シセライト $FeCO_3$

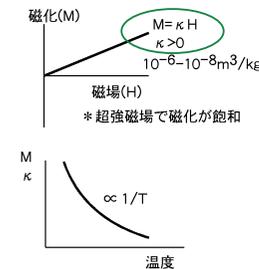
◎ 反磁性鉱物: カルサイト $CaCO_3$ 、石英、水、氷

天然試料中の磁性鉱物: 様々な磁気特性

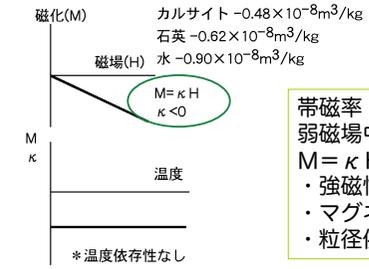
◎ 強磁性鉱物



◎ 常磁性鉱物



◎ 反磁性鉱物



帯磁率 (初磁化率)
弱磁場中での磁化率
 $M = \kappa H$
・強磁性鉱物の量
・マグネタイトの量
・粒径依存性

磁性鉱物の存在形態（種類・量・粒径）の推定
 ・磁氣的パラメータ [弱磁場-強磁場, 誘導磁化-残留磁化]

◆ 誘導磁化の測定

- ・初磁化率 χ (χ_L) (弱磁場磁化率: 地球磁場程度 $\sim 0.1\text{mT}$) 量
- ・常磁性磁化率 χ_P (高磁場磁化率: フェリ磁性鉱物が飽和する磁場以上) 量 (常磁性)
(フェリ磁性磁化率 $\chi_F: \chi_L - \chi_P$) 量 (強磁性)
- ・初磁化率の周波数依存性 χ_{FD} [(1-(χ_L 高周波数/ χ_L 低周波数)) x100] 粒径
- ・磁気ヒステリシス・飽和磁化 M_s , 飽和残留磁化 M_{rs} 量
保磁力 H_c (M_s をゼロにする磁場) 粒径・種類

◆ 残留磁化の測定

- ・残留保磁力 H_{cr} (M_{rs} をゼロにする磁場) 粒径・種類
- ・人工的残留磁化の強度
等温残留磁化 (IRM) 量
非履歴残留磁化 (ARM) ・ARM磁化率 χ_{ARM} (ARM強度/DC磁場) 量

○ 磁氣的パラメータの粒径依存性

- ・磁氣的パラメータの比 粒径

○ 磁氣的パラメータの温度変化

- ・高温/低温での磁氣的相変態温度 種類
(高温: キュリー点, ネール点, 低温: フェルペー点, モーリン点)

3. 磁気特性解析

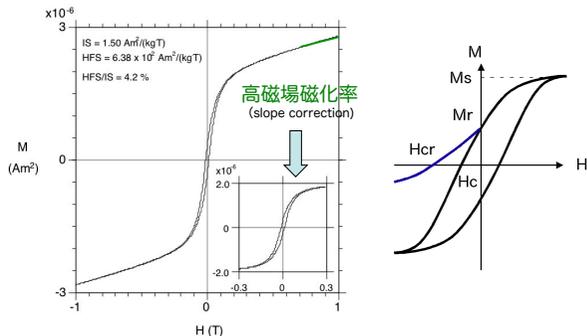
磁性鉱物の存在形態（種類・量・粒径）の推定
 ・磁氣的パラメータ [弱磁場-強磁場, 誘導磁化-残留磁化]

◆ 誘導磁化の測定

- ・初磁化率 χ (χ_L) (弱磁場磁化率: 地球磁場程度 $\sim 0.1\text{mT}$) 量
- ・常磁性磁化率 χ_P (高磁場磁化率: フェリ磁性鉱物が飽和する磁場以上) 量 (常磁性)
(フェリ磁性磁化率 $\chi_F: \chi_L - \chi_P$) 量 (強磁性)
- ・初磁化率の周波数依存性 χ_{FD} [(1-(χ_L 高周波数/ χ_L 低周波数)) x100] 粒径
- ・磁気ヒステリシス・飽和磁化 M_s , 飽和残留磁化 M_{rs} 量
保磁力 H_c (M_s をゼロにする磁場) 粒径・種類

◆ 残留磁化の測定

- ・残留保磁力 H_{cr} (M_{rs} をゼロにする磁場) 粒径・種類



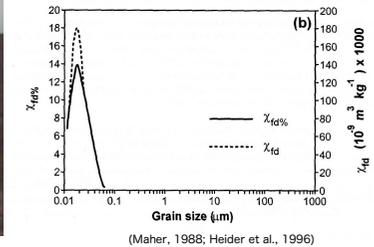
3. 磁気特性解析

磁性鉱物の存在形態（種類・量・粒径）の推定
 ・磁氣的パラメータ [弱磁場-強磁場, 誘導磁化-残留磁化]

◆ 誘導磁化の測定

- ・初磁化率 χ (χ_L) (弱磁場磁化率: 地球磁場程度 $\sim 0.1\text{mT}$) 量
- ・常磁性磁化率 χ_P (高磁場磁化率: フェリ磁性鉱物が飽和する磁場以上) 量 (常磁性)
(フェリ磁性磁化率 $\chi_F: \chi_L - \chi_P$) 量 (強磁性)
- ・初磁化率の周波数依存性 χ_{FD} [(1-(χ_L 高周波数/ χ_L 低周波数)) x100] 粒径
- ・磁気ヒステリシス・飽和磁化 M_s , 飽和残留磁化 M_{rs} 量
保磁力 H_c (M_s をゼロにする磁場) 粒径・種類

Bartington磁化率計: 作用磁場 (交流) 0.1mT(80 A/m) - 0.465kHz (LF), 4.65kHz (HF)

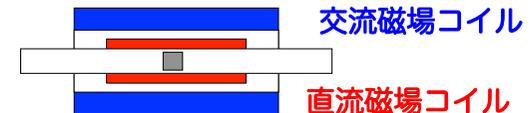


3. 磁気特性解析

磁性鉱物の存在形態（種類・量・粒径）の推定
 ・磁氣的パラメータ [弱磁場-強磁場, 誘導磁化-残留磁化]

◆ 残留磁化の測定

- ・人工的残留磁化の強度
等温残留磁化 (IRM)
非履歴残留磁化 (ARM)
- ・等温残留磁化 [IRM]
試料を直流強磁場にさらして獲得させる残留磁化。
- ・非履歴残留磁化 [ARM]
交流消磁装置のコイル内に、直流磁場を発生させるコイルを置く。
直流磁場コイルにより試料に地球磁場程度の直流磁場を作用させながら交流消磁を行う。
これにより、交流磁場強度より小さい保磁力をもつ強磁性鉱物粒子が、直流磁場方向の残留磁化を獲得する。



人工的残留磁化

IRM, ARM

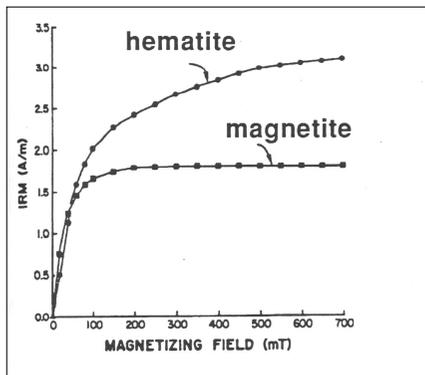
1. 獲得曲線
2. 各種パラメータ
3. 消磁に対する挙動

1. 獲得曲線

IRM

段階的に直流磁場強度を上る
→ IRM強度の飽和
[飽和等温残留磁化 SIRM]

- * SIRMに達する磁場強度
- マグネタイト：~0.3 T (粒径大：~0.1T)
- ヘマタイト：1~2 T
- ピロタイト：~0.4 T
- ゲータイト：5 T以上



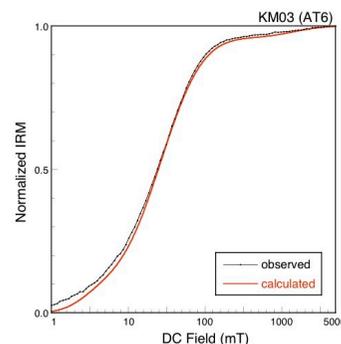
* 強磁性鉱物の種類の推定

人工的残留磁化

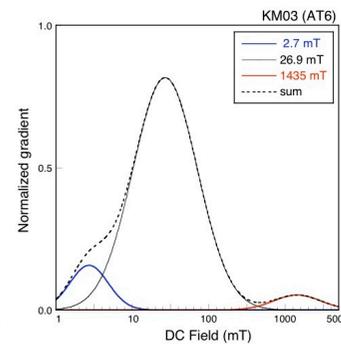
1. 獲得曲線：IRM

IRM Analysis (Kruiver et al., 2001; Heslop et al., 2002)

IRM獲得曲線 (1mT~5T:対数で100等分)

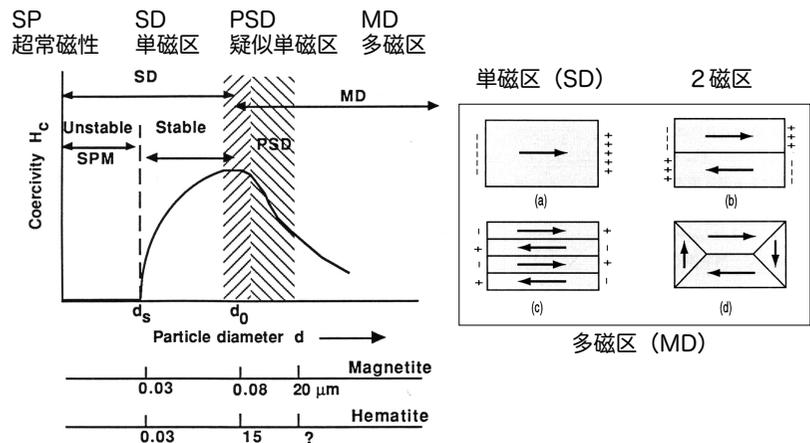


Irmunmix ver2.2での解析 (Heslope et al., 2002)



保磁力分布が異なる複数の磁性鉱物

粒子サイズ・磁区構造

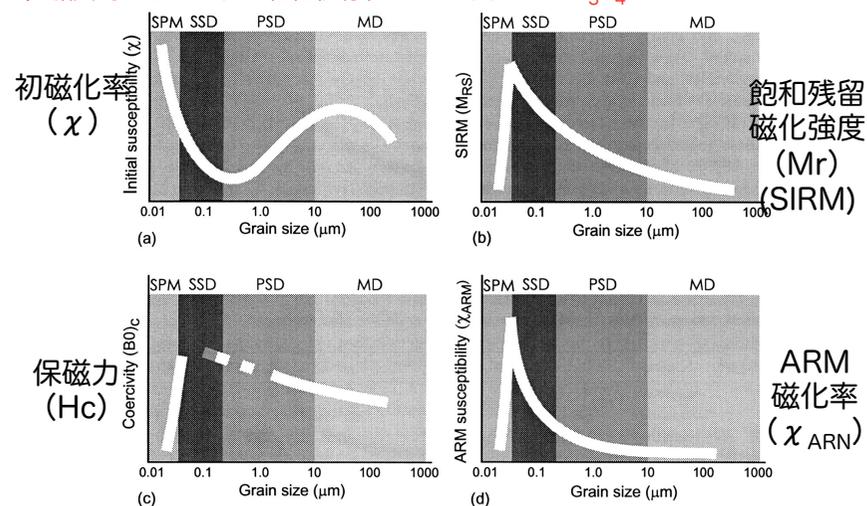


3. 磁気特性解析

磁性鉱物の存在形態 (種類・量・粒径) の推定

・磁気的パラメータ [弱磁場-強磁場, 誘導磁化-残留磁化]

◇ 磁気的パラメータの粒径依存性・マグネタイト Fe₃O₄



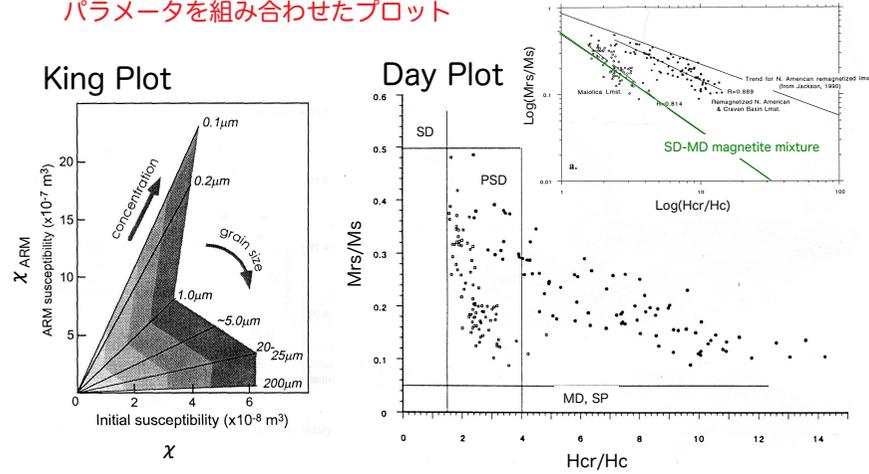
3. 磁気特性解析

磁性鉱物の存在形態（種類・量・粒径）の推定

・磁気的パラメータ [弱磁場-強磁場, 誘導磁化-残留磁化]

◇ 磁気的パラメータの粒径依存性

パラメータ比・ χ_{ARM}/χ , $SIRM/\chi$, $SIRM/ARM$, ...
パラメータを組み合わせたプロット



3. 磁気特性解析

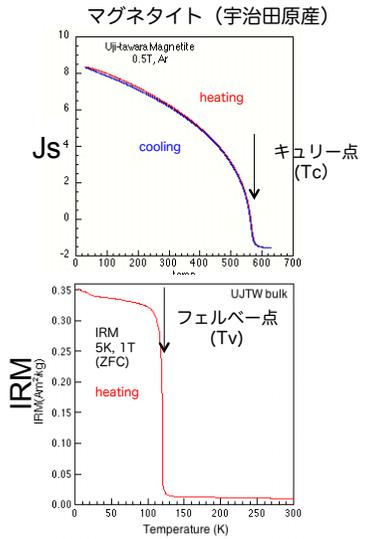
磁性鉱物の存在形態（種類・量・粒径）の推定

・磁気的パラメータ [弱磁場-強磁場, 誘導磁化-残留磁化]

○ 磁気的パラメータの温度変化

・高温/低温での磁気的相変態温度
・初磁化率、誘導磁化 (Js)、人工的残留磁化 (IRM)

鉱物名	(和名)	高温相変態 (°C)	低温相変態 (K)
magnetite	磁鉄鉱	575-585	120
maghemite	磁赤鉄鉱	> 600	-
hematite	赤鉄鉱	675	~260
pyrrhotite	磁硫鉄鉱	320	34
greigite	グリグ鉄鉱	~380	-
goethite	針鉄鉱	~117	-



キュリー温度 → 強磁性鉱物の種類・組成

