

地球大気の 酸化還元状態の進化

The evolution of redox state of the Earth's atmosphere

惑星物理学研究室

佐古孝介

Kosuke SAKO

DM2ゼミ (2006/06/01)

概要

- 地球史を通して、**大気は還元的一酸化的に変化**したらしい
- 地球初期の大気、マントルの初期組成を適当に与え、主に**水(HとO)に着目した物質循環**モデルを考え、大気組成の酸化していく過程を理解する
- このモデルの中で、特に**脱ガスするH/H₂O比**を重要視。

大気中主要元素の 酸化還元状態

	還元型	酸化型
H	H_2	H_2O
C	CH_4 、CO	CO_2
N	NH_3	N_2
S	H_2S	SO_2 、S

酒井均「地球と生命の起源」より)

＜酸化と還元の定義＞

	酸化	還元
定義1	0を得る	0を失う
定義2	Hを失う	Hを得る
定義3	eを失う	eを得る

(3が普遍的な定義)

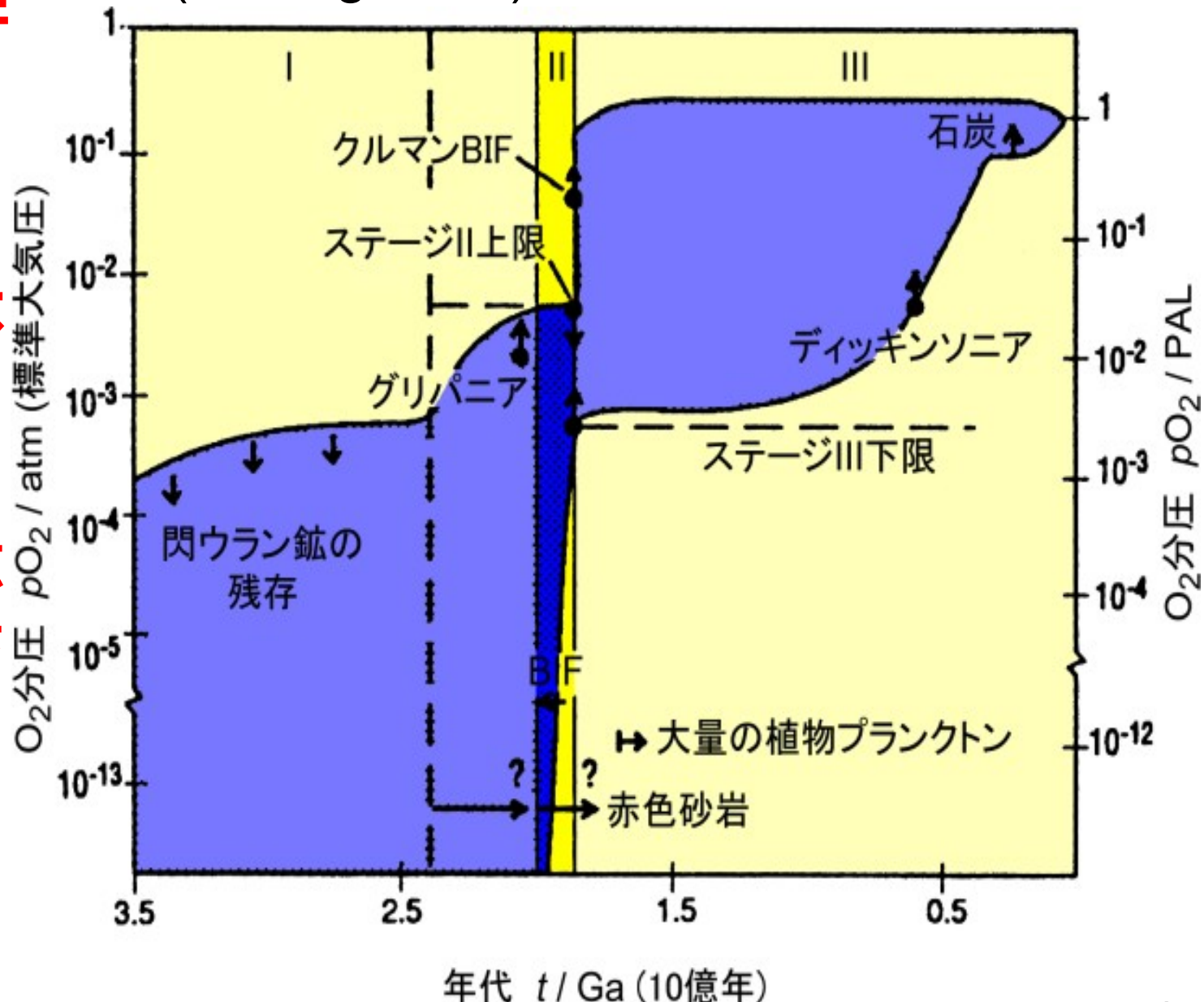
HとOに着目

- 定義から単純化すると、**Oの増加⇒酸化**的
- 地球形成後、脱ガス(内部から表層に流入する)物質は主として**HおよびH₂O**である

大気中の酸素分圧進化の推定

(kasting, 1993)

- 右図は**地質学的証拠**から得られた酸素分圧の推定
- **青い領域は不確かさ**を表わしている
- 大まかに**23億年前**で酸素分圧が急増している



物質循環モデル

- 地球表層における様々な物質圏を単純化し(例えば、大気・海洋・地殻・マントル・生物)、**大気に流出入する0のフラックス**を計算する

物質循環(模式図例)

宇宙空間

H

散逸

大気

光解離・再結合

$2\text{H}_2\text{O}$

$2\text{H}_2 + \text{O}_2$

光合成・呼吸・森林火災

生物

H or H_2O

大陸地殻

脱ガス

脱水

regassing

海洋

水和

海洋地殻

脱ガス

H or H_2O

マントル

蒸発・凝結

酸化

O

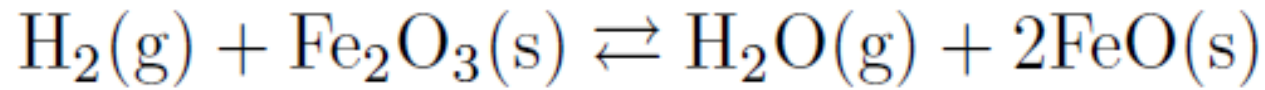
鉱物

元素分配モデル

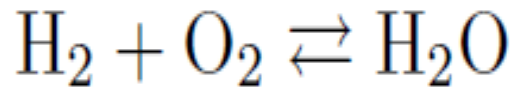
(Kuramoto & Matsui, 1996)

マントル中の組成および温度から、脱ガスする H/H_2O 比を決定できる

マントルの温度・組成から 脱ガスするH/H₂O比を求める方法(例)



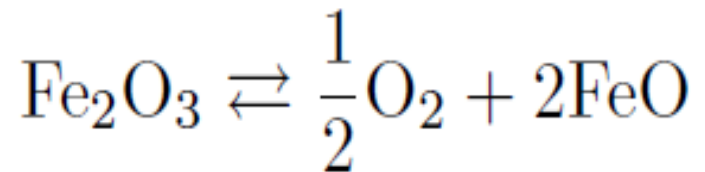
(g : gas, s : solid)



$$\frac{f_{\text{H}_2\text{O}} f_{\text{O}_2}}{f_{\text{H}_2}} = K(T)$$

$$\therefore \frac{f_{\text{H}_2}}{f_{\text{H}_2\text{O}}} = K(T) f_{\text{O}_2}^{-1}$$

(f : フガシテイ、 $K(T)$: 平衡定数)



$$\therefore \frac{f_{\text{O}_2}^{\frac{1}{2}} a_{\text{FeO}}^2}{a_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} = K'(T)$$

(a : 活動度、 $K'(T)$: 平衡定数)

$$a_{\text{FeO}} = \frac{[\text{FeO}]}{[\text{FeO}] + [\text{Fe}_2\text{O}_3] + [\text{SiO}] + [\text{MgO}] + \dots}$$

$$a_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{[\text{Fe}_2\text{O}_3]}{[\text{FeO}] + [\text{Fe}_2\text{O}_3] + [\text{SiO}] + [\text{MgO}] + \dots}$$

([] は各元素のモル数)

Goldschmidtによる元素の分類

(自然界における挙動による)

親気元素 (Atmosphile element)	H, C, O, N, He, Ar, ...	通常気体として 大気中に存在
親石元素 (Lithophile element)	Na, Mg, Ca, ...	ケイ酸塩として岩 石を構成
親銅元素 (Chalcophile element)	Cu, Zn, Ag, Cd, ...	硫化物をつくる
親鉄元素 (Siderophile element)	Fe, Co, Ni, Mo, ...	鉄と挙動をともに する

<松久・赤木編「地球化学概説」(培風館)>
<平朝彦他著「地球進化論」(岩波書店)>

まとめ

- 地球表層における物質循環を考え、大気中O分圧の変化＝酸化還元度の変化を理解する。
- マントル(マグマ)の温度および組成
 - 脱ガスするH/H₂O
 - 大気中Oの総量の変化