

地球化学的水循環とマンツルの酸化還元度の進化

Geochemical water cycle and evolution of mantle redox state

佐古 孝介 [1]; # 倉本 圭 [2]

Kosuke Sako[1]; # Kiyoshi Kuramoto[2]

[1] 北大・理・地球惑星; [2] 北大・理・宇宙

[1] Earth and Planet Sci., Hokkaido Univ; [2] CosmoSci., Hokkaido Univ.

本研究は、地球化学的水循環によるマンツルの酸化還元状態およびマンツルから脱ガスする気体組成の進化について数値モデルを構築して調べた。

地球大気組成の進化は、これまでに CO_2 と O_2 については尤もらしい推定がなされている (Kasting, 1993) が、他の気体 (H_2 , N_2 , NH_3 , CH_4 , etc.) については良く分っていない。大気組成、特に酸化還元度の進化を明らかにすることは、地球の表層環境だけでなく生命の起源や進化を論じる上で重要だが、地球初期に遡るほど不明な点が多い。

大気の酸化還元度は、酸化的小および還元的分子種の大気への供給と大気からの消失のバランスによって決定される。そこで、本研究では、最も豊富に存在する親気性元素である H と O に着目して、大気海洋系への H_2 と H_2O の脱ガスフラックスをマンツル組成の変化も考慮して定量的に見積もる数値モデルを構築した。

脱ガスの場合は、地球上で最もマグマ生産率が高い中央海嶺とした。脱ガス気体の成分には H_2 と H_2O のみを考え、その量はマンツルが融解して生成されるマグマの化学平衡計算から求めた。そこで考慮する化学反応式は $\text{H}_2\text{O} + 2\text{FeO} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ である。マンツルの組成には、現実的な上部マンツル組成を与え、また時間と共に変化するマンツル中の Fe_2O_3 と H_2O の濃度の現在値には、観測で制約されている値を与える。マグマ生産率は海洋地殻生産率と等しいとして、マンツルの組成および脱ガスフラックスの時間変化を求めた。その際に、マンツル温度およびマグマ生産率の時間変化も考慮する。このとき、海水量が不変という仮定 (Kasting and Holm, 1992) をおき、マンツルから脱ガスする H_2O 量と沈み込みによる H_2O のマンツルへの流入量が等しいと見なした。この場合、マンツル中の H_2O 量の時間変化は脱ガスした H_2 量の積分値と等価である。

脱ガスする気体の組成と、マンツル中の FeO と Fe_2O_3 の量比の関係を調べると、相対的に Fe_2O_3 が少ないほど、 $\text{H}_2 / \text{H}_2\text{O}$ 比が高くなる。マンツル中の Fe_2O_3 濃度の現在値には不確定性がある。 Fe_2O_3 濃度が観測的下限值に近い 0.1 wt% の場合、40 億年前のマンツル中の Fe_2O_3 濃度は 0.04 wt%、 H_2 の脱ガスフラックスは 6.5×10^{12} mol/yr と現在値 7.8×10^{11} mol/yr の約 10 倍の値が得られた。また、40 億年間で 0.4 海洋質量の H_2O がマンツルから失われた。現在の Fe_2O_3 濃度が観測的上限值に近い 0.4 wt% の場合、40 億年前のマンツル中の Fe_2O_3 濃度は 0.38 wt%、脱ガスする H_2 フラックスは 2.7×10^{12} mol/yr と現在値 0.95×10^{11} mol/yr の約 30 倍の値が得られた。また、40 億年間で 0.15 海洋質量の H_2O がマンツルから失われた。

宇宙空間への散逸フラックス (Tian et al., 2005) と脱ガスフラックスを釣り合わせると、大気中の H_2 濃度は、40 億年前には 2~50 vol% であった可能性がある。以上の結果は、地球史の初期では、大気は現在よりも還元的であったことを示唆する。