

先カンブリア時代の古土壌と風化の情報

Precambrian paleosols and their information on weathering

村上 隆 [1]; Sreenivas Bulusu[2]; Das Sharma Suburata[3]

Takashi Murakami[1]; Bulusu Sreenivas[2]; Suburata Das Sharma[3]

[1] 東大・理・地惑; [2] 国立地球物理学研究所; [3] 国立地球物理学研究所

[1] Dept. of Earth Planet. Sci., Univ. of Tokyo; [2] National Geophys. Res. Inst.; [3] National Geophys. Res. Ins.

先カンブリア時代の late Archean から early Paleoproterozoic にかけての大気酸素の進化は、古土壌（当時の大気を反映して形成した土壌）から半定量的に見積もられた。それは約 23 億年前に 2 桁くらい酸素が急上昇したというモデルで、このモデルがここ 20 年間、最も受け入れられてきた。一方、S の同位体の mass independent fractionation から、約 25 から 20 億年前に 3 桁くらい酸素が上昇したと報告されている。定量的な上昇パターンを見積もるのは、現在、古土壌の酸化還元状態の変化が唯一の方法であるが、上記のモデルは古土壌中の風化の情報を必ずしも正確に理解した結果出されたものではない。古土壌中の Fe の酸化還元状態の変化から、大気酸素濃度を見積もる基礎的データとして、古土壌中に風化の情報がどのように残されているかを、コンパイルした古土壌中の元素濃度から調べた。

Ti、Al、Zr は風化時に風化帯に残る immobile elements である。古土壌 (PS) と原岩 (PR) の mass balance を考えると、 $C(i,PS) \times p(PS) \times h(PS) = C(i,PR) \times p(PR) \times h(PR)$ となる。C は immobile element i の濃度、p は密度、h は単位断面積当たりの高さである。古土壌の密度は原岩とほぼ同じであるので、CF (compaction factor) = $h(PS)/h(PR) = C(i,PR)/C(i,PS)$ となる。C(i,PR) は C(i,PS) より小さいので CF は 1 より小さくなり、どのくらい圧縮されたか、あるいは体積が減少したかの値となる。古土壌中の元素の濃度 (mole あるいは wt%) を CF で割ったものが、retention fraction (MR) と呼ばれ、原岩に対し古土壌に残っているその元素の実際の割合となる。しかし、CF の値が使用した immobile elements により異なると、その古土壌は何らかの化学的擾乱を受けたことになり、その古土壌の化学的情報の有効性が失われる。このように immobile elements の相関が古土壌のスクリーニングに使用できる。風化帯形成終了後に上部が浸食を受けると、その CF は真の CF とはならない。Bauxite 層が浸食されると Al 濃度が過小評価され CF は高くなる。この場合、埋没深度から計算する経験式 (Sheldon & Retallack, 2001) を用いて得られる CF 値と比較し、その妥当性を評価する。Ferricrete 層が浸食されかどうかは、Fe_{3+R} で評価する。Fe₃₊ も immobile element なので、鉱物から溶出した Fe₂₊ の一部が酸化することを考えると必ず、Fe_{3+R} は 1 より大きくなるが、浸食があると Fe_{3+R} は 1 より小さくなる。

CF 値はこのように溶出したイオンの量を反映するはずなので、風化の程度（水流速度や風化帯形成時間）を表す。珪酸塩鉱物の溶解の程度は、Si_R で表されるが、実際、Si_R は CF と一次的相関を持ち、CF の有効性が確認される。CF と、K を除く 1 価、2 価イオンの関係も現代風化から類推される関係を持つ。即ち、Na_R はどの CF 値でも低い値を持ち、Ca_R、Mg_R は CF 値とともに上昇する傾向を持つ。しかしながら、Fe_R と Mn_R は互いに相関があるものの CF との相関は少ない、もしくは、ない。この Fe_R と Mn_R を年代に対して、プロットすると、約 25 から 20 億年前の間で、徐々に大きくなり、その後現代までほぼ 1 の値を取る。この時代の大气酸素の上昇によって、これらの元素の酸化速度が早くなったことを示唆している。しかし、Fe_R と Mn_R の値そのものは、酸化速度のみではなく、風化の程度、即ち、CF にも影響される。Mn は価数別のデータがないので、ここでは Fe のみを考えて Fe_R 値への CF の影響を検証する。Fe_R = $f_{2+}Fe_{2+R} + f_{3+}Fe_{3+R}$ と表される。ここで f₂₊、f₃₊ はそれぞれ母岩中での全 Fe に対する Fe₂₊ と Fe₃₊ の分率であり、ここでは 0.9、0.1 と仮定する。Fe_{2+R} は鉱物の溶解のみに関係する値なので、上の議論の通り、CF と一次的相関を持つ。今、溶け出た Fe₂₊ のうち酸化されずに Fe₂₊ のまま流出した量 (mole) と、溶け出た Fe₂₊ の量の比を g (酸化速度のみに関係する) として、上式を書き直すと、Fe_R = $0.9Fe_{2+R} + 0.9(1 - g)(1 - Fe_{2+R}) + 0.1$ となり、Fe_R と CF の関係がわかる。なお、g の値が大きいほど酸化速度が遅い。この計算結果、g が 0.3 より小さい時は、風化の程度 (CF) は影響を与えないが、それ以上になると、徐々に大きな影響を与えていくことがわかった。従って、後者の場合、異なる古土壌の Fe_R 値は限られた CF 値の範囲内のみ有効となる