

古土壌からの大気酸素濃度の推定：急激ではなく緩やかな上昇

Estimation of atmospheric oxygen concentrations based on paleosols: not drastic but gradual rise of oxygen

村上 隆 [1]; Sreenivas Bulusu[2]; Das Sharma Suburata[3]; 杉森 博和 [4]

Takashi Murakami[1]; Bulusu Sreenivas[2]; Suburata Das Sharma[3]; Hirokazu Sugimori[4]

[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; [4] 東大院・理・地惑

[1] Dept. of Earth Planet. Sci., Univ. of Tokyo; [2] National Geophys. Res. Inst.; [3] National Geophys. Res. Ins.; [4] EPS, Sci., Univ. of Tokyo

先カンブリア時代の大気酸素の進化、特に late Archean から early Paleoproterozoic にかけての進化は、生命活動との関連のみならず、近年では、プレュームの発生や超大陸の形成と分裂、氷河を含むグローバルな気候変化、海洋組成の変化との関連の中で、検討されようとしている。一方、古土壌（当時の大気を反映して形成した土壌）中の Fe 濃度の変化を主な根拠として、この時代の酸素濃度は、23 億年前に 3 桁くらい急上昇した、というのが現在の有力な仮説となっている。しかし、この手法による酸素濃度推定は、大気二酸化炭素濃度に依拠しており、二酸化炭素濃度の正確な推定ができないと、酸素濃度が不正確になるのはまぬがれない。

そこで我々は、大気二酸化炭素濃度とは独立に、大気酸素濃度を求める手法を検討し、2005 年の日本鉱物学会年会で以下の式を発表した。古土壌中の Fe(II)、Fe(III) 濃度に対し、Stumm と Lee (1961) の Fe(II) の酸化速度の式を、 $-d[Fe^{2+}]/dt = k[Fe^{2+}][OH^-]^2(PO_2)^x$ (式 1) のように修正し適用した。任意の古土壌に対し、年代などが既知の古土壌 A があれば、大気酸素分圧は次のように書ける。 $f/f_A = (PO_2)^A(x)/(PO_2)^x$ (式 2)。ここで、f は風化により溶出した Fe(II) に対し、風化帯から流出した Fe(II) のモル比である。従って、観測値であり、時間を内包する。

(式 2) から大気酸素濃度を求めるためには、まず f の時間変化が必要である。これは古土壌の Fe(II)、Fe(III) 濃度から求めた。ただし、データポイントが少ないので、様々な f を用い、f の変化が酸素分圧の時間変化にどのように影響するかも検討した。(式 2) の古土壌 A に対しては、23.2 億年前の酸素分圧は、 $10^{(-6)}$ atm 以上であったという ^{34}S 同位体の Mass independent fractionation の結果を用いた。fA は、f の時間変化の中から、23.2 億年前の数値を読むことにより、決定できる。酸素分圧の制限条件は、MIF から判明した 24.5 億年前の $10^{(-6)}$ atm 以下、23.2 億年前の $10^{(-6)}$ atm 以上、また大きな真核生物出現の 16-18 億年前の $10^{(-3)}$ atm 以上である。x 等の数値を変化させ、制限条件に合う酸素分圧を時間の関数として求めた。

この計算結果、大気酸素濃度は、26 から 20 億年前の間に、 $10^{(-8)}$ から $10^{(-6)}$ atm くらいから $10^{(-4)}$ から $10^{(-2)}$ atm くらいに、比較的緩やかに上昇した、ということがわかった。ただし、これは短期間に 3 桁くらい急上昇したという従来の仮説に対し、緩やかなだけで、6 億年の間にほぼ 4 桁の上昇は、大きな上昇である。23 億年前付近で、3 桁くらい急上昇する結果を得るためには、f の値がこの年代で、急激に下がる必要があるが、古土壌の Fe、Mn 濃度の年代変化はこれを支持していない。緩やかな大気酸素濃度は S 同位体のデータと一致しているばかりでなく、25 から 20 億年前の炭酸塩中の d- ^{13}C の複数の excursion とよく対応している。