

堆積物における生物電気化学的過程による溶存硫化物の酸化

Electric currents couple spatially separated biogeochemical processes in marine sediment

ラルス ピーター ニールセン¹, ニルス リスゴー ピーターセン²,
ヘンリック フォッシング³, ピーター ボンド クリステンセン⁴, 左山 幹雄^{5*}

Lars Peter Nielsen¹, Nils Risgaard-Petersen², Henrik Fossing³, Peter Bondo Christensen⁴,
Mikio Sayama^{5*}

¹オーフス大学, ²オーフス大学, ³オーフス大学, ⁴オーフス大学, ⁵産総研

¹University of Aarhus, ²University of Aarhus, ³University of Aarhus, ⁴University of Aarhus, ⁵AIST

堆積物中の生物地球化学的物質循環過程の大部分は酸化-還元反応であり、電子供与体と電子受容体間の電子伝達は、直接的化学反応として、あるいは細胞内（細胞膜）の電子伝達系を通じて行われている。そしてある種の微生物（Geobacterなど）は、導電性の微生物ナノワイヤー（microbial nanowire）あるいは間隙水に溶存している電子シャトル（electron shuttle）により構成される細胞外電子伝達系（Extracellular Electron Transport, EET）を通じて、酸化鉄（Fe(III)）のような固体の電子受容体と電子の授受を行うことができる（Reguera et al., 2005; Lovley et al., 1996）。このEET-微生物間の電子伝達機能は、微生物燃料電池（Microbial Fuel Cell）等の生物電気化学システムの基盤技術としてすでに工学的に利用されている。そして富栄養化が進行している内湾堆積物においても、mmからcmの空間スケールで深さ方向に酸化-還元電位の勾配が形成されており、直上水と堆積物還元層に電極を挿入して導線で結ぶと電流が発生することが知られている（Sediment Microbial Fuel Cell, Ryckelynck et al., 2005）。堆積物中の微生物は、群集として考えると細胞外の様々な電子供与体及び電子受容体を利用（電子の授受）することが可能であり、個々の微生物細胞は電極と見なすことができる。そしてそれらの微生物細胞（電極）が、相互にEET（導線）により結線されている状態が堆積物であるとすると、EETを通じた微生物間の電子伝達が堆積物中の微生物群集による生物地球化学的物質循環過程において重要な機能を担っている可能性

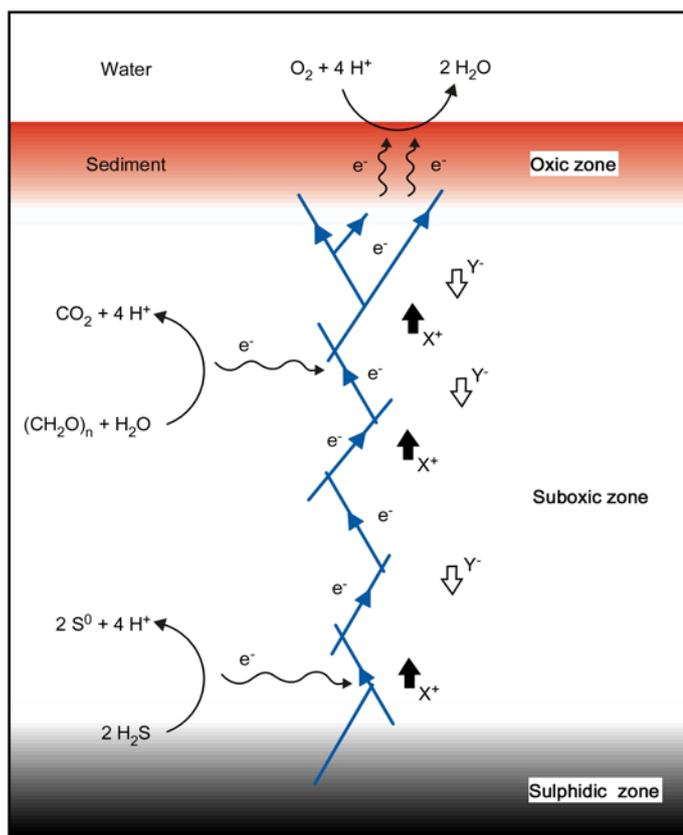


図1 堆積物における生物電気化学的過程による生物地球化学反応の共役。細胞外電子伝達系を通じた微生物間の電子伝達による酸化層での酸素還元と還元層での溶存硫化物及び有機物酸化の共役の概念図

は極めて高いと考えられる (Rabaey et al., 2007)。

本研究では、酸素 (O_2) と溶存硫化物 ($\Sigma H_2S = H_2S + HS^- + S^{2-}$) の動態に直接影響を与える要因 (酸化マンガン (Mn(IV))・Fe(III)・細胞内に硝酸態窒素 (NO_3^-) を蓄積するイオウ酸化細菌 (Beggiatoa)・大型底生動物による生物攪拌・物理的攪乱) を除去した堆積物を用いて培養実験系を構築し、実験を行った。そしてそのような堆積物においても、堆積物直上水中に O_2 が存在する場合は、厚さ 15-20 mm の O_2 と ΣH_2S がともに存在しない層 (suboxic zone) が形成されるという結果が得られた。そしてその場合は、酸化層の下端 (ΣH_2S が存在していない suboxic zone の上端) に顕著な pH のピークが形成された。酸化層の下端での pH のピークは、この部位で O_2 と反応して H^+ が消費される反応が活発に進行していることを示している。しかし、沿岸域の堆積物表層の酸化層と suboxic zone との界面において進行していると考えられる生物地球化学反応で、 O_2 と反応して H^+ が消費される反応は知られていない。ただひとつの可能性として考えられるのは、電気化学的過程による O_2 の還元である (図 1)。さらに堆積物直上水中の O_2 濃度を変動させると、1 時間以内に厚さ 15-20 mm の suboxic zone を隔てて ΣH_2S 濃度が変動した。この結果は、 ΣH_2S に対する O_2 の影響が、堆積物中の溶存物質の分子拡散により媒介されている可能性を否定している。 O_2 濃度の変動の影響が、15-20 mm の距離を隔てて存在している ΣH_2S に対して 1 時間以内に及ぶことは、電子 (e^-) が移動できる導電性の機構が堆積物中に存在していることを示していると考えられる (図 1)。

キーワード: 電流, 生物地球化学反応, 海底堆積物, 生物電気化学的過程

Keywords: Electric currents, biogeochemical processes, marine sediment, Bioelectrochemical systems