

# 海底鉱物資源開発の環境影響

## —熱水鉱床開発による海洋金属汚染の可能性を考える—

○淵田茂司（国立環境研）、島田和彦・石橋純一郎（九州大）、野崎達生・熊谷英憲（海洋研究開発機構）、松下能孝（物質材料研）、越川海・河地正伸（国立環境研）

海底熱水鉱床開発に伴う環境影響評価に関する取り組みの中で、硫化物—海水反応による金属含有廃水発生の可能性は重要な検討項目のひとつである。海底熱水鉱床を構成する硫化鉱物そのものの海水中での溶解速度は極めて小さいが、海底での硫化物の粉砕による比表面積の増大や非変質部分の露出、船上への硫化物回収、さらには脱水工程で硫化鉱物の溶解（金属元素の溶出）が促進される可能性がある。とくに硫化物中には鉛や銅、カドミウム、ヒ素などの有害金属が高い濃度で含まれていることから、それらを含む海水が発生した場合、その適切な処理方法について検討する必要がある。そのなかで私たちは、熱水硫化物の海水中での金属溶出ポテンシャルの評価を目的とし、熱水噴出域から採取した硫化物を用いて様々な海水溶出実験を実施してきた。

まず、熱水硫化物の化学組成・鉱物組成と溶出する金属元素の化学組成の関係について調べるために、過去の航海調査（NT11-15, KY14-02, KR15-16 など）で熱水噴出孔周辺から採取した様々なチムニーやマウンド鉱石試料を用いて海水溶出実験を行った。実験に使用した硫化物のうち、黄鉄鉱（ $\text{FeS}_2$ ）や閃亜鉛鉱（ $\text{ZnS}$ ）、方鉛鉱（ $\text{PbS}$ ）を主体とする硫化物からは亜鉛と鉛が溶出した。また、重晶石（ $\text{BaSO}_4$ ）が多く含まれている試料からはヒ素とアンチモンの溶出も認められた。実験に使用した硫化物試料は採取後長期間大気に曝されていたため、表面の硫化鉱物は分解し溶出しやすい化学形態へと変化していた可能性が高い。そのため実際に海底から回収した直後の状態とは異なるが、これらの実験結果は尾鉱や鉱滓の金属溶出ポテンシャルを評価するうえで有用な情報となる。

さらに、大気と長時間接触していない硫化物の金属溶出ポテンシャルを評価するために、ちきゅう掘削航海（CK16-05, 沖縄トラフ伊是名海穴）で採取した硫化物コア試料を用いて船上で海水溶出実験を実施した。その結果、硫化物の鉱物組合せによらず亜鉛が最も高い濃度で溶出し、その溶出速度は $5^\circ\text{C}$ よりも $25^\circ\text{C}$ で、還元条件（ $\text{N}_2$  パージ）よりも酸化条件（大気）で著しく大きくなった。黄鉄鉱や白鉄鉱などの鉄硫化物が多く含まれるコア試料からは亜鉛と鉛が高い濃度で溶出したが、鉄硫化物をわずかにしか含まない試料からはほとんど溶出しなかった。このような硫化物の鉱物組合せと溶出元素の化学組成の相違は単純な硫化鉱物の酸化分解のみでは説明できず、海底熱水鉱石の複雑な鉱物組織と硫化鉱物の電気化学的特性が硫化鉱物の溶解機構に関与している可能性が考えられる。硫化物コア試料から溶出した金属元素の濃度は噴出孔周辺で採取した硫化物試料に比べ  $1/10 \sim 1/100$  程度ではあったが、大気にほとんど曝されていない採取直後の硫化物コア試料からも金属元素が海水中に溶出していることが確認された。これらの実験結果から、海底で採掘した硫化物を作業船に回収する際、温度上昇に伴って硫化鉱物の溶解が進む可能性が示唆される。とくに、船上で硫化物を脱水処理する過程で硫化物の酸化分解に伴って亜鉛や鉛の溶出が促進される可能性があり、廃水の水質常時監視システム設備や処理方法の検討が今後の課題となる。