

鉱床と地球史

海底資源研究開発センター 研究員 野崎達生

・地球表層環境の変遷と鉱床生成

鉱床とは、人類にとって有用な金属・非金属元素が濃集し、採掘して採算の取れるものを指す。元素の濃集機構には様々な要因が絡んでいるが、鉱床は地球史を通じて連続的に生成しているのではなく、ある特定の時代や地域に偏在することが多い。堆積性鉱床の生成は地球表層環境変遷と密接に関連しており、一方、マグマ性鉱床の生成は地球のダイナミックな営み（プレートテクトニクス、超大陸の離合集散など）と密接に関連している。

約23億年前に起こった大酸化イベント（GOE）以前は、地球上の酸素濃度は非常に低く、大気や海洋などの地球表層環境は還元的であったと考えられている。このような環境下では、磁鉄鉱やシデライト（ FeCO_3 ）に富む縞状鉄鉱床（BIF）が深海底に広く生成しており、さらにBIFの生成量はマントルブルームの強さ（熱水活動によるFeの供給）と関連していると考えられている。また、酸化的環境下ではU（VI）は海水中に溶出してしまいが、還元的环境下で生成されるU（IV）に富む砕屑性ウラン鉱床もこの時代特有の鉱床である。さらに、Fe（II）が天水によって溶出されるため、ポーキサイト鉱床やNiラテライト鉱床もGOE以前に多く生成している。

GOEの後から原生代前期にかけては、地球表層環境の酸素濃度上昇に応じて、浅海域で赤鉄鉱に富むBIFや、世界のMn資源の50%を占める南アフリカのカラハリMn鉱床が生成した。また、砕屑性ウラン鉱床が生成しなくなる一方、熱水性ウラン鉱床が生成し始める。これは還元的な熱水と酸化的な表層環境の境界において、Uが濃集するためである。さらに、この時代から金属元素に富む頁岩やリン酸塩（アパタイト）鉱床が生成する。上記頁岩はMoに富んでいるが、酸化的環境下ではMoは溶出しやすくなるため、河川水フラックスを通じてMoが海洋に供給され、浅海域でMoに富む頁岩が堆積したと考えられる。

原生代後期には3度の氷河期の存在が知られているが、この時代に再びBIFが生成している。氷河期には、スノーボールアースとよばれる全球凍結現象が起きており、海洋大循環が抑制された還元的な海底でBIFが沈殿したと考えられる。また、これらの氷河期の間の時期（間氷期）には堆積性Mn鉱床が生成している。原生代後期とカンブリア紀初期には、リン酸塩鉱床も多く生成している。特にカンブリア紀初期のリン酸塩鉱床は地球史を通じて最大規模であり、カンブリア大爆発による大型生物繁茂との関連が示唆されている。

顕生代の大きな特徴は、石炭・石油鉱床などの化石燃料のほとんどが生成されていることである。これは陸上高等植物の繁茂と埋没により、化石燃料の材料が地球表層に供給され始めたからである。高等植物の繁茂は陸上の化学的風化作用も促進するため、ポーキサイト鉱床やNiラテライト鉱床の生成にも寄与している。また、顕生代には数度の海洋無酸素事変（OAE）の存在が知られているが、OAEの時期と同調するように浅海域において堆積性Mn鉱床が生成している。OAEの間に還元的になった深層水がMnを多く含み、このような深層水が湧昇するところで海水からMnが沈殿して生成したと考えられている。

・日本列島の構造史と鉱床生成

我々の暮らしている日本列島は、中国大陸の断片を起源とする一部地域を除いて、ほとんどが過去4億年前以降に形成された付加体を基盤としている。付加体は、海洋地殻とその上に累重する堆積岩が一部はぎ取られて、大陸地殻に取り込まれたものである。したがって、付加体中には過去に海洋底で生

成した様々なタイプの鉱床が分布している。

たとえば、火山性塊状硫化物鉱床の一種である別子型鉱床（中央海嶺の熱水活動で生成した硫化物鉱床が陸上に付加したもの）は、愛媛県別子鉱床を模式地とするCu-Zn鉱床であるが、三波川帯に特異的に多く分布しており、次に四万十帯北帯に多く分布している。三波川帯に分布する別子型鉱床は、遠洋域の中央海嶺で約1億5千万年前に生成したことが最近明らかになっており、ジュラ紀後期の活発な熱水活動と還元的な海洋環境が鉱床の生成・保存に寄与したと考えられている。四万十帯北帯に分布する別子型鉱床は、現地性玄武岩を伴い、砂泥質岩に挟まれて胚胎することから、中央海嶺沈み込み現象の直前に陸源碎屑物が被覆する環境で生成したと考えられる。一方、堆積性のMn酸化物/炭酸塩鉱床やFe-Mn鉱床（アンバー：レアアース泥が陸上に付加したもの）はジュラ紀付加体である秩父帯や美濃－丹波帯に多く分布している。これらのMn、Fe-Mn酸化物鉱床と別子型鉱床は生成年代分布が異なることが明らかになりつつあり、古海洋環境変動との関連性が見えつつある。

日本列島は、ユーラシアプレートに太平洋プレートとフィリピン海プレートが沈み込む活動的大陸縁辺域に位置するため、海溝型の巨大地震がしばしば起こる。一方、活動的大陸縁辺域であるために、日本列島には火山フロントが縦断しており、火成岩の貫入と熱水活動が陸上で起こる。たとえば、花崗岩が石灰岩に貫入している地域では、神岡鉱床、釜石鉱床、秩父鉱床などのスカルン鉱床が形成され、流紋岩の火成活動により裂罅^{れっか}が充填される場合には、足尾鉱床に代表される鉱脈型鉱床が形成される。また、南薩地域の四万十帯北帯に安山岩が貫入する地域では、菱刈鉱床、春日鉱床、赤石鉱床などの浅熱水性Au-Ag鉱床が形成されている。さらに、これらの熱水性鉱床には温泉が伴われることが多く、沖縄トラフや伊豆－小笠原地域の背弧域では、海底熱水硫化物鉱床が形成されている。したがって、日本列島が活動的大陸縁辺域に位置することは、地震や火山災害という我々にとって負の面を生み出す一方で、様々な金属・地熱資源などの恵みをもたらしてくれる。

このように鉱床の生成および元素の濃集には、地球史を通じた表層環境変遷や地球のダイナミックな営みと密接にリンクしている。さらに、鉱床は特定の元素が異常濃集しているものであるため、地球化学的に大変興味深い研究対象である。



図1 オーストラリア ハマスレイ地域の縞状鉄鉱床(東京大学 加藤泰浩氏提供)



図2 オマーンオフィオライトに胚胎するアンバー鉱床



図3 キプロスオフィオライトに胚胎するVMS鉱床

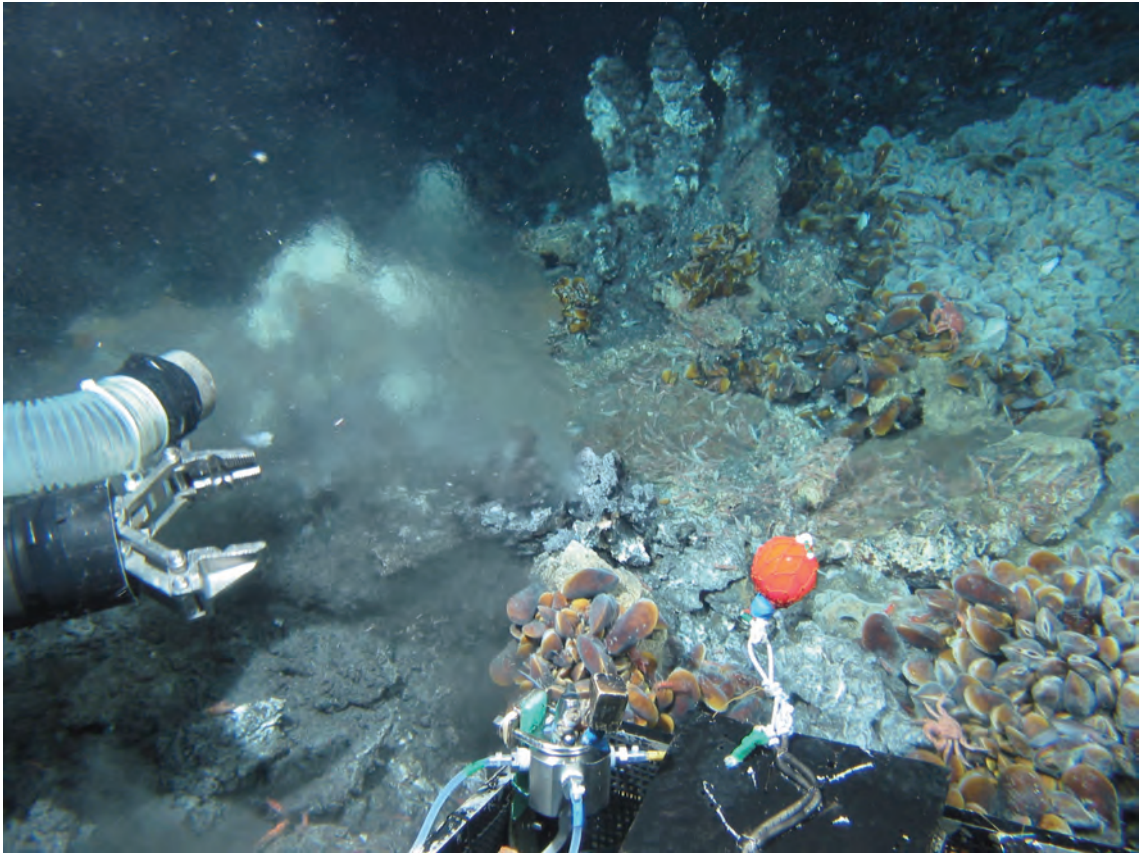


図4 沖縄トラフ南奄西海丘の熱水サイト



図5 釜石スカルン鉱床の石灰岩露頭



図6 赤石鉱床の露天掘り(浅熱水性Au鉱床)



図7 拓洋第五海山のMnクラスト露頭(東京大学 ソートンブレア氏提供)



図8 菱刈鉱床の鉱脈露頭(浅熱水性 Au-Ag 鉱床)

参考文献：

- (1) Holland, H. D. (2005) Sedimentary mineral deposits and the evolution of Earth's near-surface environments. *Economic Geology*, 100, 1489-1509.
- (2) Sato, K. and Kase, K. (1996) Pre-accretionary mineralization of Japan. *The Island Arc*, 5, 216-228.
- (3) Nozaki, T., Kato, Y. and Suzuki, K. (2013) Late Jurassic ocean anoxic event: evidence from voluminous sulphide deposition and preservation in the Panthalassa. *Scientific Reports*, 3, 1889, doi: 10.1038/srep01889.