

学位論文題名

現世マンガン鉱床の成因と探査技術に関する
生物地球化学的研究

学位論文内容の要旨

Fe と Mn は鉄鋼の原料として、Mn は乾電池の原料として、近代文明に不可欠な重金属であり、特に Mn は我が国で備蓄義務のあるレアメタルである。主な資源は、約 35 億年前から約 6 億年前にかけての原始地球において海底熱水活動で誕生した Fe と Mn の巨大な酸化物鉱床が、その後の地殻変動で地上に出現したと考えられている。現在も深海底には、Fe と Mn の酸化物を主成分とするマンガン団塊やマンガンクラストなどの鉱石が大量に分布し、Co, Ni, Cu などの稀少金属を%量で高濃度に含有する鉱物資源として国際的に重視されている。

しかし、これら陸と海底の巨大な Fe・Mn 鉱床の成因に関しては未解明な点が多い。それは、陸の鉱床は生成現象が終了して鉱物は熱や圧力などで変質していること、および海底の鉱床は成長速度が極めて遅いうえに深海環境に存在することから、どちらも研究が困難だったからである。また、Fe と Mn の酸化鉱物の一部に微生物と類似した構造体が見いだされ、成因に微生物の関与が推察されたが、実証には至っていない。これら鉱床の成因を解明する重要な鍵となるのが、深海と陸上での熱水活動域や温泉地帯を天然の実験室とする生物地球化学的研究である。

本研究の第一段階では、海底熱水活動域を船上で迅速に探索する方法を開発し、活動域から Mn 細菌を入手して Mn 酸化能力を評価した。1970 年代後半、深海では硫化物や酸化物の鉱石が生成中の熱水活動域が発見された。しかし、活動域を探索するための従来からの評価指標である堆積物中や海水中の重金属の濃度測定は手間と時間がかかるうえに、揺れる船内では測定が無理なので陸で測定するしかなく、非効率的であった。そこで、本研究では、洋上で迅速簡便に活動域を探す新評価指標を検討して、熱水噴出部周辺の異常に高い細菌バイオマス分布に着目した。カプトガニの血液成分を用いて海洋細菌の固有成分 LPS (リポ多糖, lipopolysaccharide) の海水中 3 次元濃度分布を迅速測定すれば、熱水活動域を絞れると考えて、1986 年から伊豆-小笠原、マリアナトラフ、沖縄トラフで新探査法の有効性を実証した。その結果、新しい活動場所を発見し、高 LPS 濃度の海水から Mn を濃集するマンガン酸化細菌を分離し、深海の鉱床生成に微生物が関与していることを実証した。

本研究の第二段階では、現世 MnO₂ 鉱床「オンネトー湯の滝」に対して、第一段階の研究手法を用いて微生物関与の可能性を評価した。ここは、1951 年から 1953 年にかけて約 3,500 トンの MnO₂ 鉱石が採掘された鉱山だったが、閉山後も鉱物が沈澱していた。無機化学的には、水中の Mn²⁺は pH が約 10 以上で分子状の酸素ガスと結合して MnO₂ を沈澱させるが、現場の

pH が約 6 なので成因には微生物の作用が推察された。そこで、現場水の化学成分変動と Mn 酸化細菌の生菌数分布を調べた結果、温泉水中の Mn^{2+} が藻類と Mn 細菌（有機栄養生物）との共同体の作用で MnO_2 鉱物に変化していることが判明した。

本研究の第三段階では、その他の現世 Mn 酸化物鉱床を探索して評価した。北海道の旭岳における中性の Mn^{2+} 温泉で MnO_2 が沈澱中なことを発見し、この鉱物生成も無機化学的には起こらずに微生物作用によることを、現場の試料を用いた培養実験によって突き止めた。

本研究の第四段階では、これら微生物の応用を検討した。単離した Mn 酸化細菌の純菌株を用いた培養成長曲線は、Mn 細菌が成長するにつれて栄養源を有機物から Mn^{2+} イオンに切り替える可能性を示した。また、これら微生物は有害な Fe^{2+} や Mn^{2+} 含有水を浄化でき、浄化処理で化学薬品の投与を最小限にできる。さらに、廃棄物となっている Fe や Mn の酸化物を再生利用する道も開くことができる。そこで利用モデルを示すと同時に、Mn 微生物の特許を取得できたので産業化への道を開いた。

以上のことから、現在も成長中の Mn・Fe 酸化物鉱床での研究結果は、近代文明を支える巨大な Mn・Fe 酸化物鉱床が微生物の関与で先カンブリア時代において誕生した可能性を強く示唆するとともに、これら微生物と鉱物の相互作用「バイオミネラリゼーション」が水質浄化や資源再利用にも役立つ可能性、などの新しい知見を得ることができた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 松 枝 大 治

副 査 教 授 鈴 木 徳 行

副 査 講 師 三 浦 裕 行

副 査 教 授 米 田 哲 郎 (工学研究科)

学 位 論 文 題 名

現世マンガン鉱床の成因と探査技術に関する 生物地球化学的研究

博士学位論文審査等の結果について (報告)

Fe と Mn は鉄鋼の原料として、Mn は乾電池の原料として、近代文明に不可欠な重金属であり、特に Mn は我が国で備蓄義務のあるレアメタルである。主な資源は、約 35 億年前から約 6 億年前にかけての原始地球において海底熱水活動で誕生した Fe と Mn の巨大な酸化物鉱床が、その後の地殻変動で地上に出現したと考えられている。現在も深海底には、Fe と Mn の酸化物を主成分とするマンガン団塊やマンガンクラストなどの鉱石が大量に分布し、Co, Ni, Cu などの稀少金属を%量で高濃度に含有する鉱物資源として国際的に重視されている。

しかし、これら陸と海底の巨大な Fe・Mn 鉱床の成因に関しては未解明な点が多い。それは、陸の鉱床は生成現象が終了して鉱物は熱や圧力などで変質していること、および海底の鉱床は成長速度が極めて遅いうえに深海環境に存在することから、どちらも研究が困難だったからである。また、Fe と Mn の酸化鉱物の一部に微生物と類似した構造体が見いだされ、成因に微生物の関与が推察されたが、実証には至っていない。これら鉱床の成因を解明する重要な鍵となるのが、深海と陸上での熱水活動域や温泉地帯を天然の実験室とする生物地球化学的研究である。

本研究の第一段階では、海底熱水活動域を船上で迅速に探索する方法を開発し、活動域から Mn 細菌を入手して Mn 酸化能力を評価した。1970 年代後半、深海では硫化物や酸化物の鉱石が生成中の熱水活動域が発見された。しかし、活動域を探索するための従来からの評価指標である堆積物中や海水中の重金属の濃度測定は手間と時間がかかるうえに、揺れる船内では測定が無理なので陸で測定するしかなく、非効率的であった。そこで、本研究では、洋上で迅速簡便に活動域を探す新評価指標を検討して、熱水噴出部周辺の異常に高い細菌バイオマス分布に着目した。カプトガニの血液成分を用いて海洋細菌の固有成分 LPS (リポ多糖, lipopolysaccharide) の海水中 3 次元濃度分布を迅速測定すれば、熱水活動域を絞れると考えて、1986 年から伊豆-小笠原、マリアナトラフ、沖縄トラフで新探査法の有効性を実証した。その結果、新しい活動場所を

発見し、高 LPS 濃度の海水から Mn を濃集するマンガン酸化細菌を分離し、深海の鉱床生成に微生物が関与していることを実証した。

本研究の第二段階では、現世 MnO_2 鉱床「オンネトー湯の滝」に対して、第一段階の研究手法を用いて微生物関与の可能性を評価した。ここは、1951 年から 1953 年にかけて約 3,500 トンの MnO_2 鉱石が採掘された鉱山だったが、閉山後も鉱物が沈澱していた。無機化学的には、水中の Mn^{2+} は pH が約 10 以上で分子状の酸素ガスと結合して MnO_2 を沈澱させるが、現場の pH が約 6 なので成因には微生物の作用が推察された。そこで、現場水の化学成分変動と Mn 酸化細菌の生菌数分布を調べた結果、温泉水中の Mn^{2+} が藻類と Mn 細菌（有機栄養生物）との共同体の作用で MnO_2 鉱物に変化していることが判明した。

本研究の第三段階では、その他の現世 Mn 酸化物鉱床を探索して評価した。北海道の旭岳における中性の Mn^{2+} 温泉で MnO_2 が沈澱中なことを発見し、この鉱物生成も無機化学的には起こらずに微生物作用によることを、現場の試料を用いた培養実験によって突き止めた。

本研究の第四段階では、これら微生物の応用を検討した。単離した Mn 酸化細菌の純菌株を用いた培養成長曲線は、Mn 細菌が成長するにつれて栄養源を有機物から Mn^{2+} イオンに切り替える可能性を示した。また、これら微生物は有害な Fe^{2+} や Mn^{2+} 含有水を浄化でき、浄化処理で化学薬品の投与を最小限にできる。さらに、廃棄物となっている Fe や Mn の酸化物を再生利用する道も開くことができる。そこで利用モデルを示すと同時に、Mn 微生物の特許を取得できたので産業化への道を開いた。

以上のことから、現在も成長中の Mn・Fe 酸化物鉱床での研究結果は、近代文明を支える巨大な Mn・Fe 酸化物鉱床が微生物の関与で先カンブリア時代において誕生した可能性を強く示唆するとともに、これら微生物と鉱物の相互作用「バイオミネラリゼーション」が水質浄化や資源再利用にも役立つ可能性、などの新しい知見を得ることができた。

これを要するに、著者は、Mn 鉱床の成因と探査技術について生物地球化学的な観点からの新知見を得たものであり、鉱床探査のみならず、環境保全や資源再利用に対しても貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。