

硫化鉱物の整流特性と地球電磁気現象への応用 Rectifying sulfide minerals and application of geoelectric phenomena

小沢 光幸^{1*}, 武藤 潤¹, 長濱 裕幸¹, 長瀬 敏郎²

Mitsuyuki Ozawa^{1*}, Jun Muto¹, Hiroyuki Nagahama¹, Toshiro Nagase²

¹ 東北大学大学院理学研究科地圏進化学講座, ² 東北大学大学院総合学術博物館

¹Department of Geoenvironmental Sciences, Graduate School of Science, Tohoku University., ²The Tohoku University Museum

地球電磁気現象として、自然電位の異常や地震・火山噴火に伴う電磁波放射など様々な現象が知られている。その発生機構として様々なモデルが提案されているが、いまだ一致した見解は得られていない。そうしたなか鉱体上部における負の自然電位異常、鉱体におけるラジオ波 (30 kHz ~ 3 MHz) の発生など、半導体鉱物が電磁気現象に関与していることが報告されている (例えば, Sobolev et al., 1982)。半導体鉱物は伝導を担うキャリアにより N 型・P 型と区別され、その組み合わせにより PN 接合を形成し、整流性 (電流を一方向にしか流さない性質) を示す。電磁気現象には特に整流性が影響していると考えられ、鉱体の整流性を評価することは電磁気現象を理解する上で重要である。半導体鉱物の含まれる鉱体は、微小な PN 接合が直列、並列に多数連なっており (Demin et al., 2002)、全体としては 1 つの巨大な PN 接合として等価にみなすことができる。従って、不均質性によらない等価回路として微小な PN 接合の電気特性を調べることは、地殻に存在する鉱体の半導体特性を調べることにつながる。しかし、天然の半導体鉱物は微量元素や欠陥により、結晶内の組成が不均質であり、電気特性が同一鉱物内でも大きく変化する。そのため、未だ半導体鉱物の電気特性は定量的に明らかにされていない。

本研究では半導体鉱物の地球に及ぼす効果を明らかにするために、黄鉄鉱の電気特性を調べた。その際、鉱物内の不均質性による電気特性の変化を明らかにするために、電解法、インデンテーション法を用いた。電解法では鉱物表面の不均質性を明らかにし、インデンテーション法では微小量域ごとの電気特性 (N 型・P 型、電気伝導度、整流性) を明らかにした。試料は岩手県和賀仙人から採集されたものであり、断面積 1.4 cm²、厚さ 0.38 cm の大きさに加工し用いた。

電解法により、黄鉄鉱を陰極に設置し還元反応をさせたところ、試料表面に溶解度の不均質性が存在することが明らかになり、表面の一部では累帯構造の腐食像が得られた。溶解度の違いは N 型、P 型の違いによるものであり、溶解度の大きい領域が P 型、小さい領域が N 型の特性を示した。また累帯構造に沿って N 型・P 型の領域が数十~数百 μm おきの狭い範囲で交互に入れ替わっていた。電気伝導度は、N 型の領域は P 型の領域に比べ電気伝導度が大きく、電流は N 型の領域を比較的優先 (約 10 倍の大きさ) して流れることが分かった。整流性は P 型の領域から N 型の領域に電流が流れるときに見られ、PN 接合により整流性が生じていることが確かめられた。こうした PN 接合による整流性は累帯構造において顕著に見られた。また、試料の内部抵抗の影響を補正することで、等価回路として微小な PN 接合部の電気特性 (順方向降伏電圧、逆方向降伏電圧、逆方向飽和電流) を得た。

今回の実験で得られた逆方向降伏電圧は、室内実験 (Maibuk, 2006) において鉱体に電圧を加えラジオ波を発生させる際に、ラジオ波が消滅せずかけられる最大の電圧と近い値を示した。ラジオ波は、微弱な電磁パルスが PN 接合部においてスイッチング作用を起こし、PN 接合部に蓄積される電荷を放電し発生すると考えられているが、結果はこの発生メカニズムを支持し、地震時において弾性波により微弱な電磁パルスが生じ、鉱体部においてラジオ波を含む電磁波が放射されることを示唆する。地下に存在する鉱体では、地下水との酸化還元反応、または地温勾配により、鉱体の上部と下部で電位差が生じる。全体としては、鉱体上部を陽極、下部を陰極、地下水を溶解液として電池作用を示すことで、地上においては負の自然電位異常として観測される。この際、鉱体がひとつの大きな PN 接合であると考えれば、電池作用における起電力の大きさは PN 接合の順方向降伏電圧に対応すると考えられる。従って、今後、各種半導体鉱物の特性を調べることで鉱体における自然電位異常の大きさを推定できることが期待される。

以上より半導体鉱物は地球電磁気現象において重要な役目をはたすことが明らかになり、今後さらなる研究が必要とされる。

キーワード: 半導体鉱物, 整流性, 電磁気現象, 黄鉄鉱

Keywords: semiconductor minerals, rectification, geoelectric phenomena, pyrite