

京都大学	博士 (工学)	氏名	大田 優介
論文題目	Development of Resource Evaluation Technology by Integration of Geophysical Exploration Data and Rock Physics (物理探査データと岩石物理学の統合による資源評価技術の開発)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>In recent years, seafloor massive sulfide (SMS) deposits have been attracting attention from the viewpoint of metal resource development. For the development, detailed information on the scale and grade of deposits is required and also, it is urgent to establish advanced survey and exploration methods. At present, a wide area survey by geophysical exploration is underway in seafloor hydrothermal vent areas. However, the information obtained by geophysical exploration is limited to several physical properties, and the shape of the seafloor hydrothermal deposit, especially the scale in the depth direction (thickness of the deposit), and metal grade distribution have not yet been sufficiently clarified. The current situation is that geophysical exploration alone cannot reach the stage of resource quantity evaluation. On the other hand, drilling surveys that can directly obtain information on materials under the seafloor are expensive, and the core recovery rate of subseafloor drilling is generally low.</p> <p>This PhD dissertation aims to develop technology that acts as a ‘bridge’ between rock physical properties and metal-resource distribution on and beneath the seafloor. For this purpose, rock samples were obtained in a seafloor hydrothermal activity area at the middle Okinawa Trough, and their physical properties and chemical components were measured and analyzed by several methods. For evaluating the metal resource compositions, the electromagnetic properties of the rocks containing sulfide minerals were mainly targeted. The physical formula that links the electromagnetic properties of rocks and the content of sulfide minerals were newly constructed by this study. The rock electromagnetic model of the preceding studies and the rock model of this study were compared with the measured data to verify the consistency. Quantification of the base-metal amounts through applying the developed rock model to the cross-sectional area of electrical conductivity structure obtained by a geophysical exploration, seafloor electric survey, conducted in the seafloor hydrothermal activity area was implemented.</p> <p>Chapter 1 is an introduction to summarize the content of this research with an overview of preceding, unsolved problems, and motivation for understanding the rock physics and chemical compositions of the deposits.</p> <p>Chapter 2 is a review of previous studies that consists of geology of SMS deposits, physical explorations, and physical properties of sulfide minerals.</p> <p>Chapter 3 provides a new measurement protocol and various measurement data with high value. Despite global demand of clarification and development of seafloor mineral deposits, the physical properties and chemical composition of massive sulfide ore are very complicated and it is not realistic to simplify the correlation between the physical properties</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	大田 優介
<p>and the chemical composition. From the characteristics of the physical properties and components of the rock samples obtained, this study revealed that it is appropriate to treat them as rocks in areas where hydrothermal activity occurs on the seafloor, especially in areas where hydrothermal alteration is actively generated. No effective law was found between the electrical conductivity, which was expected to have the highest correlation, and the metal element content. This is because the electrical conductivity is a secondary physical quantity calculated from various factors.</p> <p>Chapter 4 provides the newly constructed rock physics model which combines electrical conductivity and metal-related properties. The models of previous studies were inadequate for the purpose of fully explaining the physical properties of rock samples obtained from the seafloor hydrothermal activity areas and accurately predicting their metal composition. This chapter proposed a new rock physics model for the conductivity of rocks by effectively integrating the two types of physical models constructed by previous studies. Not only did this new model reproduce the measured electrical conductivity well, but also a clear positive correlation was found between one of the parameters of the new model and the concentration of metal elements contained in the rocks.</p> <p>Chapter 5 develops a new estimation technology for metal resources and suggested the existence of subseafloor metal resources. The total amount of base metals in the Iheya North hydrothermal activity area was estimated from the results of seafloor electric survey by assuming various lithology and thermal structure of the seafloor geology and giving various parameters to the rock physics model. Consequently, this study succeeded in suggesting and quantifying the existence of sulfide deposits under the seafloor by theoretical physical analysis.</p> <p>Finally, Chapter 6 summarizes the concluding remarks, including the most important results from each chapter. Besides, essential future works to metal resources exploration researches are proposed.</p>			

(論文審査の結果の要旨)

金属資源の需要がますます増加している現状において、海底熱水鉱床の早期開発が望まれている。そのために鉱床の規模と品位に関する詳細な地質情報が必要となるが、陸域に比べて海底でのボーリング調査は困難であるため、物性分布を広域に明らかにできる物理探査の活用が不可欠である。しかし既往研究では、物性値と岩相や金属品位を直接的に関連付けられていない。海底下の物性値分布から金属濃度を明らかにできれば、海底熱水鉱床の有望地の特定と早期開発に大きく貢献できる。この課題を解決するためには、岩石の物性と金属濃度を高い精度で関連付ける新たな岩石物理モデルの構築が必要である。本研究では、岩石物性の一つである電気伝導度に着目し、電気伝導度から金属濃度を推定できる岩石物理モデルの構築、および岩石試料と物理探査で得られた物性情報から海底下の金属資源量を推定できる手法の開発を目的とした。主な成果は次の3点に纏められる。

- 1) 中部沖縄トラフの複数の海底熱水噴出域から取得した岩石試料を用い、その複素電気伝導度を正確に測定できる手法を確立した。これによる新規岩石測定プロトコルと各種測定データは、海底熱水噴出域における岩石試料の標準分析手法として広く活用されることが期待できる。また、鉱物組成と金属元素濃度の測定も行い、それらと電気伝導度との相関関係を求めたところ、特に塊状硫化物の電気伝導度と金属元素濃度との関連は弱く、従来の岩石物理モデルではその関連を表すことはできないことが確かめられた。
- 2) 岩石の間隙水の電気伝導度と岩石誘電率の関係、硫化鉱物の体積割合、間隙水と硫化鉱物とのカップリング効果による岩石電気伝導度の周波数依存性、および岩石中の連結亀裂部の表面での過剰伝導度を考慮することで、岩石の複素電気伝導度に関する新たな岩石物理モデルを構築した。このモデルは岩石試料の複素電気伝導度の特徴をよく説明しており、さらにモデル中の硫化鉱物の体積割合と岩石中の金属元素濃度の間に明瞭な正の相関関係が得られた。この関係を定量化する回帰式によれば、従来の岩石物理モデルに基づく手法よりも金属元素濃度の推定精度が高いことがわかったので、本モデルの有効性を実証できた。
- 3) 海底下の温度構造を仮定し、種々のパラメータを適切に設定することで、中部沖縄トラフで得られた海底電気探査の解析結果に対して本研究による岩石物理モデルを適用し、海底下電気伝導度分布から金属元素濃度に変換した。その結果、海底下の硫化物鉱床の形態、規模、品位分布を推定でき、ベースメタルなどの資源量も評価できるようになった。特に電気探査のみでは鉱床形態は曖昧であったのに対し、鉛直方向に連続するストックワーク状の特徴を明らかにできた。今後、硫化鉱物の存在形態の差に基づくモデルパラメータのばらつきを考慮するとともに、重力探査や弾性波探査などの本研究とは異なる物理探査手法によるデータとの統合、これによる複数の探査データの利用によって、金属元素濃度の推定精度をさらに向上させることが期待できる。

氏名	大田 優介
----	-------

以上、本論文で開発された岩石物理モデルの精度と有効性は高く、金属資源量評価にも貢献できることが実証された。この岩石物理モデルは物理探査結果の解釈技術向上にも応用でき、金属資源のみならず石油や地熱などのエネルギー資源探査、火山や地震発生域の深部構造解明などにも資する研究として、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和3年2月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、全文公表日までの間（未定）、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公開可能日： 2021 年 3 月 11 日以降

