

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 24日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656564

研究課題名（和文） 時間領域 IP 法による鉱種の識別

研究課題名（英文） Characterization of metallic ores using time-domain IP method

研究代表者

水永 秀樹 (MIZUNAGA HIDEKI)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：40226246

研究成果の概要（和文）：時間領域 IP 法は地下に強制的に電気を流し、電流遮断後の電位の過渡応答から得られる IP 効果（金属粒子などが持つ電気の貯め安さ）を利用して金属鉱床などを探査する方法である。本研究では、IP 効果を規定する時定数と周波数依存係数に着目し、観測電位の過渡応答から時定数と周波数依存係数を求める解析プログラムを開発した。数値実験の結果、金属鉱床の時定数と周波数依存係数を比較することで鉱種の違いが識別できることがわかった。

研究成果の概要（英文）：Time-domain IP method is an exploration method to find metallic ores by utilizing IP effect obtained from transient change of observed electric potential. Data analysis program to estimate time constant and frequency exponent from transient electric potential was developed. As a result of numerical experiments, it was found that characterization of metallic ores is possible by comparing the time constant and frequency exponent of ore bodies.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学，地球・資源システム工学

キーワード：資源探査，物理探査，電気探査

1. 研究開始当初の背景

近年の新興国の経済発展に伴い、様々な鉱物資源やエネルギー資源の需給バランスが崩れ、ベースメタルや石油等の資源価格が高騰している。また、ハイテク製品に利用されるレアメタルやレアアースは政情不安定な一部の国に偏在するため、長期間の安定供給が難しく、経済成長を妨げるリスクの一要因となっている。

金属鉱物資源の探査には、地下に電流を流して、金属鉱物中の金属粒子を能動的に

分極させ、その分極の程度により鉱床の規模や品位を推定する強制分極法(IP法)が広く使われている。しかし、従来のIP法のデータ解析では、IP効果を規定する1つのパラメータである充電率しか考慮していないため、金属鉱物の存在可能性は予測できるが、その鉱物の識別までには至っていない。金属鉱物のIP効果を表すIPパラメータには、充電率の他に周波数依存係数や時定数などがあり、これらのIPパラメータを考慮することで、鉱種の識別が可能になると考

えられる。

2. 研究の目的

金属鉱床の探査にはIP法が広く利用されているが、従来の充電率だけを用いた方法では、鉱体の位置を十分に特定できない場合があることが報告されている。これは、大きな充電率を持つ様々な鉱種が存在するためである。例えば硫化物鉱床の付近にはグラファイト(黒鉛)がしばしば存在するが、硫化物鉱床とグラファイトの充電率は同程度であるため、目的とする硫化物鉱床がしばしばグラファイトと誤認されるケースが起こっている。

本研究では、このような探査結果の解釈の誤認が無いように、時間領域 IP 法を用いて鉱種の識別を行なうためのデータ解析手法の研究と、それを可能にするための高精度な IP 法探査機の開発を目標とする。

3. 研究の方法

時間領域 IP 法により、高分解能の探査を行なうためには、取得データから地下構造を推定するための解析プログラムと電磁ノイズを抑えた高精度の計測システム両方が必要である。本研究では、時間領域 IP 法を用いた金属鉱床の鉱種識別のため、比抵抗にコール・コールパラメータを組み込んだシミュレーションプログラムの開発と、探査装置の設計および試作を行う。解析プログラムの開発では、任意の 2 次元ブロックの比抵抗や、充電率、時定数、周波数依存係数などの IP パラメータが設定できる二次元フォワードプログラムを開発する。また、実際の鉱床は 3 次的に分布するため、任意の 3 次元ブロックの比抵抗、充電率、時定数、周波数依存係数が設定できる 3 次元フォワードプログラムも開発する。計測システムの開発では、コンピュータ制御で矩形電流を流し、電位の過渡応答を計測する計測システムを設計し、時間領域 IP 法の基礎実験を実施する。

4. 研究成果

(1)3次元ポアソン方程式を、鉱床の走行方向

にフーリエ変換した 2.5 次元(準 3 次元)のポアソン方程式に、充電率、時定数、周波数依存係数を組み込んで 2 次元シミュレーションプログラムを開発した。このプログラムでは、図 1 に示すように任意の 2 次元ブロックの比抵抗、充電率、時定数、周波数依存係数を設定可能である。また、データの入出力にはグラフィカルユーザーインターフェイス(GUI)を採用しているので、データ入力、シミュレーション、計算結果の可視化までの一連の流れをスムーズに実施できる。図 2 には、図中の□の領域に相当する地点での見掛比抵抗の過渡応答(時間変化)のグラフを示す。時間領域 IP 法では、電流遮断直後に 0 になるべき見掛比抵抗が、IP 効果のために緩やかに変化していることがわかる。

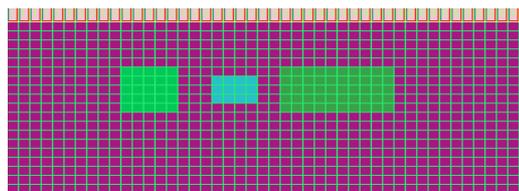


図 1 IP 異常体のモデル設定画面

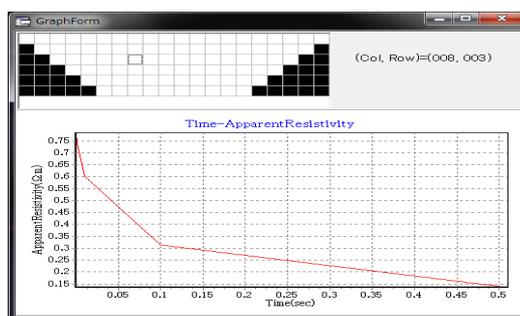


図 2 見掛比抵抗の過渡応答の計算例

鉱体が存在する箇所の時定数や周波数依存係数が異なると、見掛比抵抗の疑似断面も時間的に変化する。図 3 には、異なる 2 つの IP 異常体が存在するモデルを示す。このモデルでは比抵抗 $100 \Omega\text{m}$ の均質媒質中に、比抵抗が $10 \Omega\text{m}$ 、充電率が 0.15 の IP 異常体が存

在している。ただし、左側の IP 異常体の時定数は 0.1, 周波数依存係数は 0.6, 右側の時定数は 10.0, 周波数依存係数は 0.3 である。このモデルを使って計算した見掛比抵抗の疑似断面の時間変化を図 4 に示す。この図を見ると、電流遮断 0.01 秒後では 2 つの IP 異常体付近の見掛比抵抗にほとんど差が見られないのに対し、十分に時間が経過した 0.5 秒後では、時定数の大きい右側の IP 異常体付近の見掛比抵抗が大きい非対称の分布になっていることがわかる。今回開発したプログラムでは、このような計算および結果の可視化がコンピュータの画面上で比較的容易に実施できる。

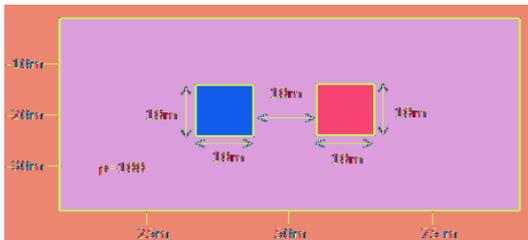


図 3 異なる 2 種類の IP 異常体モデル

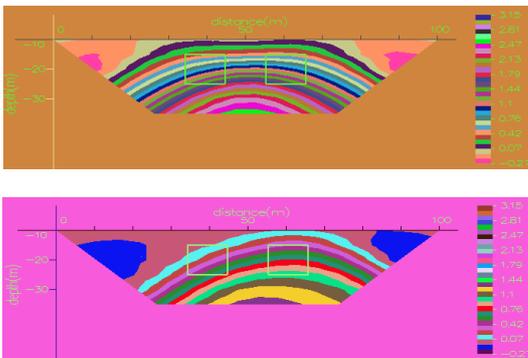


図 4 見掛比抵抗の疑似断面
(上: 0.01 秒後と下: 0.5 秒後)

(2) 大規模な金属鉱床などでは、2 次元データ解析が実施できれば実用上大きな問題はないが、複雑な分布をした局所的な鉱床が存在する場合には、3 次元的な解析法が必要不可欠である。本研究では、任意の 3 次元ブロッ

クの IP パラメータが設定可能な 3 次元シミュレーションプログラムを開発した。

このプログラムを用いた計算例を以下に示す。図 5 は数値計算に用いた 3 次元ブロックモデルで、比抵抗 (ρ), 充電率 (m), 周波数依存係数 (c) が同じで、時定数 (τ) が異なる 2 つの IP 異常体が存在する 3 次元モデルである。なお、IP 法の電極配置には金属鉱床探査でよく使われるダイポール・ダイポール法を用いた。このモデルの計算結果を図 6 に示す。

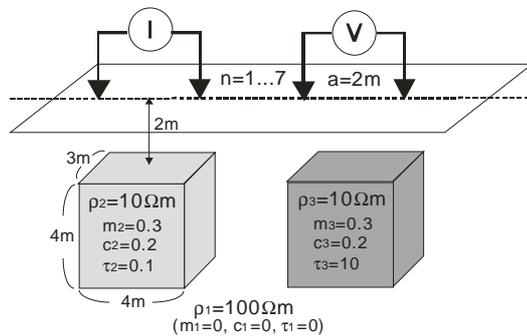


図 5 数値計算に用いた 3 次元モデル

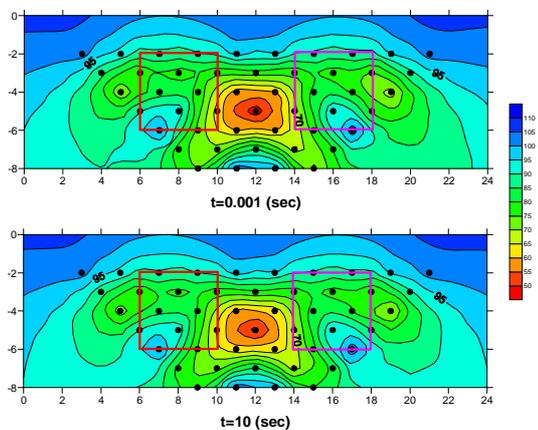


図 6 IP 異常体の中心を横切る見掛比抵抗の疑似断面 (上: 0.001 秒後, 下: 10 秒後)

この図をみると、どちらの疑似断面も 2 つの IP 異常体によるハの字型示徴が重なって、疑似断面中央部に低比抵抗異常部が表れていることがわかる。また 2 つの疑似断面を比較すると、時定数が大き

く異なるため、左右の非対称性が時間とともに広がっていることがわかる。

(3)時間領域 IP 法の基礎実験を行うため、トランジスタを用いて矩形電流が流せる低電圧・小電力の実験装置を試作した。図7は、矩形波発生部分の回路である。この電流回路を計測用のグラフィック型言語 Labview で制御し、0.5Hz または 1Hz の周波数の矩形電流を流して、時間領域 IP 法の基礎実験を実施した。電気回路などに使用される既知の値を持つ抵抗およびコンデンサを用いた実験では、観測された過渡応答からほぼ正確な抵抗値や時定数を求めることができた。また、グラフィックを模擬した顆粒状の活性炭素と水を混合した仮想土壌を用いた実験では、時定数の大きな過渡応答を測定することができた。

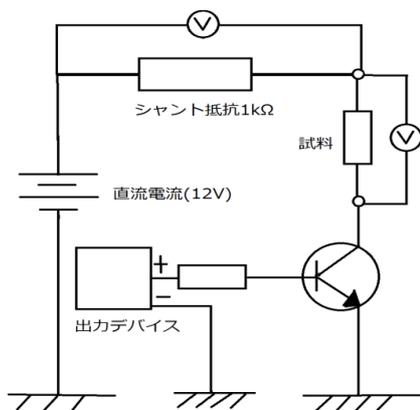


図7 試作した回路図

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4件)

- ① 奥澤洸, 田中俊昭, 水永秀樹, 時間領域 IP 法の探査装置の開発に向けての基礎実験, 物理探査学会第 126 回学術講演会論文集, 査読無, 2012, 229-231
- ② 奥本涼介, 水永秀樹, 田中俊昭, 吉松圭太, 時間領域 IP 法の 2.5 次元解析プログラムの開発, 物理探査学会第 126 回学術

講演会論文集, 査読無, 2012, 222-224

- ③ 水永秀樹, 田中俊昭, 時間領域 IP 法の 3 次元モデリング, 物理探査学会第 125 回学術講演会論文集, 査読無, 2011, 190-192
- ④ 水永秀樹, 石永清隆, 時間領域 IP 法の 2.5 次元インバージョン, 物理探査学会第 124 回学術講演会, 査読無, 2011, 203-206

[学会発表] (計 6件)

- ① T. Okuzawa, T. Tanaka, H. Mizunaga, Basic experiment for development of the measurement equipment for time-domain IP method, KSEG International Symposium on "Geophysics for Discovery and Exploration", 2012.9.20, Jeju (Korea)
- ② R. Okumoto, H. Mizunaga, T. Tanaka, Development of 2.5-D modeling program for time-domain IP method, KSEG International Symposium on "Geophysics for Discovery and Exploration", 2012.9.20, Jeju (Korea)
- ③ 奥澤洸, 田中俊昭, 水永秀樹, 時間領域 IP 法の探査装置の開発に向けての基礎実験, 物理探査学会第 126 回学術講演会, 2012.5.29, 東京都
- ④ 奥本涼介, 水永秀樹, 田中俊昭, 吉松圭太, 時間領域 IP 法の 2.5 次元解析プログラムの開発, 物理探査学会第 126 回学術講演会, 2012.5.29, 東京都
- ⑤ 水永秀樹, 田中俊昭, 時間領域 IP 法の 3 次元モデリング, 物理探査学会第 125 回学術講演会, 2011.9.14, 秋田市
- ⑥ 水永秀樹, 石永清隆, 時間領域 IP 法の 2.5 次元インバージョン, 物理探査学会第 124 回学術講演会, 2011.5.10, 東京都

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水永 秀樹 (MIZUNAGA HIDEKI)
九州大学・工学研究院・准教授
研究者番号: 40226246

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

田中 俊昭 (TANAKA TOSHIAKI)
九州大学・工学研究院・助教
研究者番号: 90294892