

Magnetometric Resistivity 法の磁場の 3 次元フォワード計算 (その 2)

- 計算の方法と比抵抗異常物体がつくる磁場の特徴 -

多田訓子(神戸大学), 木戸元之(東北大学), 島伸和(神戸大学)

3-D forward program of magnetic field related with a Magnetometric Resistivity method (Part II):

Procedure for 3-D forward program and characteristics of magnetic field generated by resistive anomalous bodies

Noriko Tada (Kobe Univ.), Motoyuki Kido (Tohoku Univ.), and Nobukazu Seama (Kobe Univ.)

We have newly developed a three-dimensional (3-D) forward program for a Magnetometric Resistivity method, which is composed of a controlled vertical bipole source (bipole source) and Ocean Bottom Magnetometers (OBMs) as receivers to observe magnetic field at the seafloor. The 3-D forward program calculates three components of magnetic field generated by bipole source in an arbitrary 3-D resistivity structure, using two types of resistivity structure. One is a reference structure that has two horizontal layers of sea water and oceanic crust. The other is an arbitrary 3-D resistivity structure described by an arbitrary 3-D resistive anomalous body (anomalous body) and the reference structure. The key to this program is to calculate anomalous magnetic field generated by the anomalous body. The procedure of the anomalous magnetic field calculation is as following. Electrical potential is calculated from the bipole source with each resistivity structure. Next, each electrical current field is computed from the electrical potential and the resistivity structure. The difference between two electrical current fields is used to calculate the anomalous magnetic field. Sufficient accuracy in calculation of magnetic field generated by the 3-D forward program is supported by comparing calculation results with the analytic solution. Moreover, we systematically examined variations in amplitude of anomalous magnetic field with change of a relative position of an anomalous body to the bipole source with the 3-D forward program. The results show correlative relationships between the amplitude of anomalous magnetic field and the relative position.

Magnetometric Resistivity (MMR)法の探査によって人工的に作られる磁場を算出する 3 次元フォワードプログラムを開発し、任意の 3 次元比抵抗構造から磁場を計算できるようになった。MMR 法はコントロールソース法の一つであり、海洋地殻浅部の比抵抗構造を求める探査法として適している。MMR 法の探査は、人工の鉛直双極子電流をコントロールソースとして使用し、電流が地殻中を流れることで生じる磁場を海底に設置した海底磁力計(OBM; Ocean Bottom Magnetometer)で測定して行われる。そのため、鉛直双極子電流と比抵抗異常物体との位置関係や比抵抗異常物体の大きさの違いが海底で観測される磁場に与える影響を計算により系統的に調べることは、3 次元フォワード計算から地殻の比抵抗構造を推定するための指標となり、かつ、インバージョンで構造を求める際の適切な初期モデルの推定に役立つ。今回は、3 次元フォワード計算の方法と、比抵抗異常物体と鉛直双極子電流とが磁場に与える影響を調べた結果の一例を紹介する。

3 次元フォワード計算では、目的とする 3 次元比抵抗構造と基準となる 1 次元比抵抗構造とによって生じる磁場の差のみを取り扱う。このことにより、基準構造に対する磁場の変化分のみに着目できる。そして、数

値計算固有の問題、例えば、鉛直双極子電流を作る電極部分の特異点と境界条件の影響を回避することができる。計算の手順は、均質な海水と地殻とからなる2層水平成層構造(基準構造)と、基準構造に任意の3次元比抵抗異常物体を加えた構造とのそれぞれに対して、電極が作る電位場を緩和法で求める。次に、その電位場と比抵抗構造からそれぞれの電流場を計算し、その差である差電流場を得る。この差電流場が作る磁場が異常磁場である。境界条件は、上面は大気に接しているので絶縁体で、その他は媒質が無限に続く。そのために、計算領域の外側にもう1つつブロックを増やし、その外周をゼロの等ポテンシャル面とした。増やしたブロックには、周りの0.4倍の比抵抗値を与えた。

我々の3次元フォワード計算の精度の検証は、1次元の比抵抗構造に鉛直双極子電流を流した場合の磁場の解析解と比較することにより行った。同じ条件に対し3次元フォワード計算から得た異常磁場と、解析解で得られた異常磁場とは良く一致し、我々の数値解の精度は十分高いことがわかった。

今回の3次元フォワード計算は、比抵抗異常物体と鉛直双極子電流との位置関係が観測される異常磁場に与える影響を、比抵抗異常物体の形状が2次元と3次元との場合で、系統的に調べた。計算は、1辺の長さが7200mである立方体の計算領域を $100 \times 100 \times 100$ の格子に離散化して行った。上半分の計算領域を海水、下半分を地殻とし、それらの比抵抗値をそれぞれ $0.3\Omega\text{m}$ と $1\Omega\text{m}$ とした。鉛直双極子電流は2点の格子点上にそれぞれ1Aと-1Aを与えることで表現した。その2点とは、 x - y 平面の中心かつ、深さ方向には海面よりも1ブロック下の1点と、海底面より2ブロック上の1点である。比抵抗異常物体の比抵抗値は、地殻よりも低い $0.3\Omega\text{m}$ とした。固定した鉛直双極子電流に対して、比抵抗異常物体が x 軸方向と z 軸方向に移動していく場合について、この比抵抗異常物体の存在によって生じる異常磁場の3成分を計算した。想定した比抵抗異常物体は、 y 軸方向に無限に伸び、断面のブロック数が 8×8 の直方体(今後、これを2次元直方体と呼ぶ)とブロック数が $8 \times 8 \times 8$ の立方体である。

鉛直双極子電流を含む x - z 断面の海底面での異常磁場の B_y の値に注目すると、2次元直方体と立方体の両方に共通して次の2つ特徴が見られる。(1) B_y の大きさは、鉛直双極子電流から比抵抗異常物体までの距離が遠くなるにつれ、減衰する。その減衰量は、鉛直双極子電流と比抵抗異常物体が水平方向に離れる場合よりも、深さ方向に離れるときのほうが大きい。(2)比抵抗異常物体が鉛直双極子電流の真下にある場合と真下に無い場合とで、 x 軸に沿った B_y の大きさは異なった変化の仕方を示す。前者の場合、鉛直双極子電流の真下で B_y はゼロとなり、その両側で B_y の正負が逆転する。さらに、比抵抗異常物体の両端付近で B_y の大きさは最大になる。後者の場合、比抵抗異常物体の中心の真上で B_y の大きさは最大になる。比抵抗異常物体の形状が2次元直方体と立方体とで生じる B_y の違いは2つある。1つ目は、立方体よりも2次元直方体のほうが全体を通して B_y の大きさが大きい。2つ目は、水平方向に離れる場合は B_y の減衰率の差はほとんどないが、深さ方向に離れる場合は、立方体のほうが明らかに B_y の減衰率が大きい。