

# 磁気ポテンシャルより求めた磁化構造—磁場3成分データ的应用

Magnetic structure derived from magnetic potential-application of three component geomagnetic fields

# 伊勢崎 修弘[1]

# Nobuhiro Isezaki[1]

[1] 千葉・理・地球

[1] Dep. Earth Sci, Chiba Univ.

地磁気異常から原因となる磁化構造を求める手法は古くからある。地球磁場の測定は、陸上、海上ともにプロトン磁力計等による全磁力が測定され、全磁力異常から磁化構造が求められてきた。厳密な磁化構造を求めるためには地磁気異常をベクトルでの測定が必須であることから、まずは海上での磁場3成分測定装置が開発され利用されてきている。

磁化構造の決定には、forward (順方向) と inversion (逆方向) の二つの方法があるが、ここでは (3次元) フーリエ変換を用いた inversion を紹介する。さらに従来地磁気異常 (磁場) から磁化を求めてきたが、磁気ポテンシャルを用いる方法を紹介する。磁気ポテンシャルは磁場よりもより直接的に磁化構造と関連しているために、フーリエ変換を用いた inversion によって、より正確な磁化構造が求められるからである。そして磁気ポテンシャルを求めるには3成分磁場が必要であることも強調する。

## 1. 磁気ポテンシャルとそのフーリエ変換

座標系は右手系の Cartesian をとる。磁極分布を  $(x_m, y_m, z_m)$ 、この分布から生じる磁気ポテンシャルを  $(x, y, z)$  とする。  $(x, y, z)$  の3次元フーリエ変換は

$$(k_x, k_y, k_z) = M(k_x, k_y, k_z) \cdot G(k_x, k_y, k_z) \quad (1)$$

となる。ただし、 $k_x, k_y, k_z$  は  $x, y, z$  方向の波数である。M は磁極強さ分布のフーリエ変換で、G は  $1/r$  (ただし  $r = \sqrt{(x-x_m)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_m)^2}$ ) のフーリエ変換である。これの解析解は初等関数では表現できない (変形された Bessel 関数となる)。磁気ポテンシャルの特徴は、 $z = z_a$  の  $xy$  平面に  $(x, y, z_a)$  の正磁極が分布していたら、これと同じ量で反対の符号を持つ分布が必要になることである (Gauss の法則)。最も簡単な場合は、別の面、 $z = z_b$  での  $xy$  平面に  $(x, y, z_b)$  の負磁極が分布する場合である。この場合は  $d = z_b - z_a$  の厚さの無限平板が、 $z$  方向に一樣磁化した場合となる。この場合、 $z = z_1$  面でのポテンシャルは、 $z_a$  と  $z_b$  の磁極分布が作るポテンシャルの重ね合わせとして、

$$(x, y, z_1) = a(x, y, z_1) - b(x, y, z_1) \quad (2)$$

と表現できる (正の磁極は正のポテンシャルを作るとする)。このフーリエ変換は

$$(k_x, k_y) = M(k_x, k_y) \cdot G_b(k_x, k_y) \quad (3)$$

となる。ここで

$G_b(k_x, k_y) = G_a(k_x, k_y) - G_b(k_x, k_y) \cdot \exp(-i(k_x \cdot dx + k_y \cdot dy))$ 、磁化の方向余弦を  $(a, b, c)$  として  $dx = a \cdot (d/c)$ 、 $dy = b \cdot (d/c)$ 、 $G_a, G_b$  は  $z = z_a$  面、 $z_b$  面からの  $1/r$  のフーリエ変換である。(3) 式の左辺は磁場3成分観測より決定、右辺の  $G_b$  は磁極分布の形を決めれば決定できるので、最終的に  $M(k_x, k_y)$  を逆フーリエ変換して磁極分布を得る。

## 2. 磁気ポテンシャルの決定：境界値問題

点  $P(x, y, z)$  の磁気ポテンシャルは、単位正磁極を無限遠から  $P$  点まで運ぶ時に磁場がなす仕事であるから、運ぶ経路上の磁場を知る必要がある。経路上の任意の点の経路の接線方向の磁場である。接線方向の方向余弦を  $(l, m, n)$  とすると、接線方向の磁場  $H_t$  は、

$$H_t = X \cdot l + Y \cdot m + Z \cdot n \quad (4)$$

である。ここで  $X, Y, Z$  は磁場の3成分である。磁気ポテンシャル  $(x, y, z)$  は

$$(x, y, z) = \int H_t dt \quad (5)$$

となる。ここで  $t$  は経路を表す。(4)(5) 式から、磁気ポテンシャルは磁場3成分から求められることがわかる。このことは磁場1成分ではポテンシャルを決定できない、つまり磁場1成分から他の成分を導くことができないことを証明している。

一方、磁化構造の外側では、磁気ポテンシャルはラプラスの方程式を満たす。これは

$dX/dx + dY/dy + dZ/dz = 0$  と表すことができるから、磁場3成分は独立した3成分ではなく、自由度が一つ落ちて、独立した成分は2成分ということになる。解析する領域の境界で、磁場3成分 (あるいは2成分) が測定され、ポテンシャルを決めれば、境界値問題として、領域内部のポテンシャルは求まる。

## 3. 3成分磁場測定：DTCM (Deep Tow Three Component Magnetometer)

磁場3成分を海上で測定する装置はSTCM (Shipborn Three Component Magnetometer)

として筆者によって開発されたが、海中での3成分磁場測定用のDTCMもそれに引き続き開発された。DT

CMの特徴はRLGを使用していることに尽きる。初期のSTCMはコマジャイロを使用していたので、船の動揺、回転などの影響を正確に補正し切れなかった。RLGも固有振動（Shouler 周波数、84.4分）の補正という問題があるが、磁場測定に必要な1/100から1/1000度の精度はコマジャイロでは実現できないものである。