

局所的な全磁力長周期変動についての考察

Short note for local long-term variations of the geomagnetic total field

藤井郁子（気象庁地磁気観測所）

Ikuko Fujii (Kakioka Magnetic Observatory, JMA)

神田徑（京都大学防災研究所）

Wataru Kanda (DPRI, Kyoto Univ.)

Abstract

Research notes to deal with a local trend in a geomagnetic total force are shown. We have been developing stochastic procedures to extract the local trend, however several problems have to be overcome such as reference data and secular variations.

1. はじめに

地表の全磁力観測値から、火山活動に伴う火山体内部の温度や圧力変動によって生じた長周期変動を抽出するにあたっての種々の事柄を考える。

火山性変動は振幅が相対的に小さいので、生の観測値から検出するのは難しい。そのため、永年変化、誘導分を含む超高層起源磁場、海洋起源磁場、局所的年周変化などの不要な成分と、何らかの方法で区別する必要がある。

これまで使用されてきた火山性変動の抽出法では、不要な成分が大きな波長を持っていることに着目して、火山活動の影響がないところで同時に測定した参照データとの差が局所的な火山性変動であるとすることが多い。しかし、事例の解析が進み、より微小な信号の検出が求められるようになってくると、単純差よりも高精度な方法を用いる必要が生じる。

2. 火山性変動の抽出

火山性変動を抽出する際に念頭に置く必要があるのは、火山性磁場変動が具体的にどのような変動であるのかはわからないということである。そのため、火山性変動自体をモデル化するような解析は適用しづらいので、通常は火山性以外の変動をモデル化する。このようにして抽出された火山性変動に対しては、真に火山性であるのかどうかという疑問が出される場合が多いが、直接的に火山性変動であることを証明できないから間違いとするような言説は前提を取り違えている。最も誠実な方法は、他の変動ではないこと、つまり、火山性であるとしても矛盾しないことを証明することであろう。

それでは、火山性以外の全磁力変動をモデル化するにはどうするかであるが、筆者は、参考にできる観測が可能であれば観測を利用し、困難であれば数値モデルなどの独立した情報の利用によるという方向で考えている。具体的には、永年変化と超高層起源磁場は観測のほうが独立情報よりも利用しやすい変化で、海洋起源磁場と局所的年周変化は観測の利用しにくい変化と分類している。永年変化と超高層起源磁場も、適当な観測がない場合はモデルの利用などを模索する必要がある。

3. 参照観測を利用する方法

参考となる観測がある場合は、参照点データを利用して不要成分と火山性変動の見積もりを行う方法に帰着する。大別すると、不要成分のみを見積もり観測値との残差を火山性変動とする方法と、不要成分と火山性変動を見積もる方法がある。

不要成分のみを見積もる方法には、永年変化と超高層起源磁場が参照点と観測点で同一というモデルを立てる単純差と、線形相関するというモデルを立てる方法（定数倍法、田中・他（1978）のDI補正、Davis et al. (1981)の相関手法、藤井（2004）の確立差分法など）の2種類がある。線形相関とした場合は、観測点の永年変化と超高層起源磁場を参照点を使ってより詳細にモデルしようとするため、何らかのフィッティング操作を伴う。単純差では、局所的な地殻磁化による見かけの変化や地下に誘導された局所的な変化に対応できないことから、DI補正などのフィッティング手法が考案された。

フィッティング手法の潜在的な問題は、残差を最小化するように解を求めるところにある。真に知りたいのは参照点データと相関しない長周期成分で、これらは残差に含まれる訳であるから、これらの手法は残差が白色でなく振幅も小さくないことを知っているにもかかわらず、最適なフィッティング係数を求めるために残差最小を要求する。永年変化と超高層起源磁場が参照点と観測点で相似という仮定に小さな誤差がある場合や、観測点に局所的な長周期変動（火山性でなくともよい）がある場合、残差最小を実現するフィッティング操作により、誤差が誇張されることもある（例えば、藤井、2006）。

不要成分と同時に火山性変動の見積もりを行う手法（Tamura et al. (1991)のBAYTAP-G、藤井・神田（2003）のカルマンフィルターなど）の考え方は、上記のフィッティング操作による誤差のうち、観測点に局所的な長周期変動（火山性でなくともよい）がある場合に有効である。これらの手法は残差とは別に長周期成分専用の項（トレンド項）を設けるので、参照点データと相関しない成分のうち長周期のものは残差に入る必要がなく、結果的に残差を白色化する。カルマンフィルターによる火山性磁場抽出法の場合、トレンド項は主に火山性磁場変動に対応するが、海洋起源磁場、局所的年周変化なども入っていることがある。BAYTAP-Gは測地学的な用途で設計されているので、電離層潮汐が強く影響する磁場データに対しては意図したような動作をしないことが多い。

参照点を利用した解析手法の最も重要な条件は、永年変化と超高層起源磁場が参照点と観測点で相関していることである。相関が低いと、単純差であろうとカルマンフィルターであろうと、火山性磁場変動の見積もり精度は下がる。

4. 独立した情報を利用する方法

海洋起源磁場や局所的年周変化は、局所性が強く、参照観測が成立しにくい。

海洋起源磁場に対しては、最近、高性能のものが流通するようになった海洋モデルを利用する方法が考えられる。例えば、気象庁の日本近海の海流の流速モデルと三宅島の全磁力観測値は高い相関を示す。ただし、ローカルスケールの海洋起源電磁場の数値計算はまだ実現していないので、海流モデルからの数値計算で島内での海洋起源磁場変化の違いを説明できるようになるのは先のことである。

局所的年周変化の場合は、正弦波的な年周変化が観測される事が多く、除去自体は一年（および半年）周期の正弦波によるフィッティングでほぼ対応できる。データ期間が十分長いならば、前章のカルマンフィルターなどの手法に正弦波的な年周変化にフィッティングする項を設けて、他の成分と同時に見積もることも可能である。

しかし、局所的年周変化の解釈には、まだ解明すべき点が残されているように感じられる。Utada et

al. (2000) は、気温変動に伴う地温変動によって表層磁化変化が引き起こされ、観測点での局所的な年周変化を生成するというモデルを提唱し、伊豆大島と霧島で観測された局所的年周変化を説明した。この物理機構に従うならば、地温あるいは気温を参照データとして局所的年周変化を見積もることができ、局所的年周変化除去は参照観測を利用した手法のカテゴリーに入る。しかし、草津白根山で示された（小池・他、2004）ように、地表面が冬季に雪で覆われ地温がほぼ一定になる観測点でも年間を通じて正弦波的な年周変化が現れることがあり、地温モデル以外の物理機構もあることを示唆している。

永年変化に適切な参照観測がない場合、独立した情報を利用する必要がある。よく用いられるのは標準的な主磁場モデルである IGRF であるが、球関数にしてせいぜい 12~13 次までしか対応していないので、ローカルな観測との比較には注意が必要である。また、使い方を誤ると誤差が広がる。例えば、地球が楕円体であることを無視し、地表として球殻上の磁場を計算すると、日本周辺では 100nT 程度の誤差が出る。また、適切な回転楕円体上の磁場を計算しても、楕円体の接平面上の座標に置き換えることを忘れると、5nT 程度の差が生ずる。また、IGRF は主磁場だけを表現しており、地殻磁場は含まれていないことにも留意すべきである。特に全磁力の場合、地殻磁化による見かけの変化が現れることは第 2 章でも触れた。

IGRF の問題点に関連して、近年では、衛星磁場観測の発展に伴って、IGRF 以外にも多くの磁場モデルが存在することを指摘しておきたい（例えば、Olsen et al., 2006）。これらの新しいモデルは、13 次以上の次数まで解像した主磁場成分を持っており、一部のモデルは地殻磁化分布も内包している。IGRF が a global model であるなら、これらのモデルは少なくとも regional scale まで対応すると考えてよい。電離圏・磁気圏電流系をモデル化して取り込む試みも盛んに進められている。

5. おわりに

それでは、参照点も独立モデルも有効でない場合はどうすればよいのであろうか？例えば、火山性磁場と主磁場がどちらも単調増加している場合、どう区別するのか？主磁場モデルの出力を定数倍したら観測値が説明できる時でも、あえて一部を火山性磁場とすべきだろうか？3ヶ月の間、全磁力が単調増加したら、それは火山性か局所的年周変化か？

これらの問いに単純には答えられないが、基本的には区別するための条件が足りないことを指摘しているのに等しいので、条件が追加できれば可能性はあることになる。例えば、単純差においては、永年変化と超高層起源磁場が参照点と観測点で同一という条件があるために、たとえ火山性磁場と主磁場が同様に単調増加していても、両者を区別する。従って、ここでの問いは、もっと精緻な条件が設定できるか？ということに帰着する。

筆者は、条件の候補は、おそらく、ネットワーク観測と物理ではないかと考えている。多くの場合、火山では観測点が複数あるので、空間分布を新たな条件として取り入れることができそうである。火山性磁場の空間分布は不明なので、その他の成分の空間分布を利用する。また、超高層起源磁場などの誘導成分に関しては、応答関数が周波数領域でなめらかという物理に基づいた条件が考えられる。

上記のような方法で解決できない場合、観測期間を伸ばすというのは有効な条件になりうる。例えば、日本周辺の主磁場は 2000 年前後に特徴的な変化をしているが、その期間を含む解析ができれば主磁場の見積もりは比較的容易であろう。同様に、一般的には、観測を長期間行うことでそれぞれの成分の特徴が明らかになると期待できる。

参考文献

- Davis, P. M., D. D. Jackson, C. A. Searls, and R. L. McPherron, Detection of tectonomagnetic events using multichannel predictive filtering, *J. Geophys. Res.*, **86**, 1731-1737, 1981
- 藤井郁子、時間変化する地磁気成分の解析について、CA 研究会論文集、37-50、2006
- 藤井郁子、確率差分法を用いた火山性全磁力変動の抽出方法、*地磁気観測所テクニカルレポート*、**2**、1-17、2004
- 藤井郁子、神田径、火山性磁場変動解析ツールの開発 (I) スキーム、CA 研究会論文集、98-107、2003
- 小池哲司、菅沼一成、上杉忠孝、藤井郁子、高橋博、池田清、熊坂信之、大川隆志、大和田毅、徳本哲男、草津白根山における地磁気・自然電位観測、第4回草津白根山の集中総合観測報告書、143-157、2004
- Olsen, N., H. Lühr, T. J. Sabaka, M. Manda, M. Rother, L. Tøffner-Clausen and S. Choi, CHAOS — a model of the Earth's magnetic field derived from CHAMP, Ørsted, and SAC-C magnetic satellite data, *Geophys. J. Int.*, **166**, 67-75, 2006
- Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, and M. Ishiguro, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516, 1991.
- 田中良和、増田秀晴、河村まこと、大地洗、加藤誼司、馬場広成、吉野登志男、阿蘇火山地域での全磁力測量—(1977)、*阿蘇火山の集中総合観測 (第1回1977) 報告*, 31-39, 1978.
- Utada, H., M. Neki, and T. Kagiya, A study of annual variations in the geomagnetic total intensity with special attention to detecting volcanomagnetic signals, *Earth Planets Space*, **52**, 91-103, 2000.