

周波数領域独立成分分析に基づく MT データのノイズ除去手法の開発

佐藤 真也 [1]; 後藤 忠徳 [2]; 笠谷 貴史 [3]; 市原 寛 [4]
[1] 京大・工; [2] 京都大学; [3] JAMSTEC; [4] 名古屋大学地震火山研究センター

Noise reduction method of MT data based on Frequency Domain Independent Component Analysis

Shinya Sato[1]; Tada-nori Goto[2]; Takafumi Kasaya[3]; Hiroshi Ichihara[4]
[1] Engineering, Kyoto Univ.; [2] Kyoto Univ.; [3] CEAT, JAMSTEC; [4] Nagoya University

Magnetotelluric (MT) method is one of the electromagnetic soundings to image deep subsurface resistivity structures. Electromagnetic data (MT data) often contain noises. The noises cause large errors in inferred MT response functions and to fail subsurface resistivity structure analysis. Recently, subsurface structure monitoring by MT method is conducted (e.g. Aizawa et al., 2011). In the case of high noise environment, temporal change of resistivity structure cannot be imaged clearly due to large errors in MT responses. Hence, noises must be removed properly. Conventionally, a robust remote reference processing (e.g. Chave and Thomson, 1987, 2004) is applied for noise reduction and estimation of MT response functions. However, a robust remote reference processing is less effective for MT data with continuous noises or coherent noise between electric and magnetic data. In this study, we focused on Frequency-Domain Independent Component Analysis (FDICA), which can decompose multi-component observed data into independent signals. FDICA and rrrMT (Chave and Thomson, 1987) were applied for MT data obtained at Kakioka Magnetic Observatory to check the reliability of our proposed method.

The outline of FDICA application for MT data was suggested by Sato et al. (2017). Four MT data (four components; electric and magnetic field of N-S and E-W directions) are decomposed into four independent signals (separated signals) by FDICA at each frequency. As a prior examination with Kakioka MT data, we estimated minimum SN ratio of magnetic field data by Gram-Schmidt orthonormalization, and confirmed SN ratio more than 1. Separated signals with high contribution to magnetic field data were considered as major MT signals. Conventional FDICA cannot separate noises and MT signals, which are not independent. In this case, separated signals considered as noises can contain MT signal components, and MT signals extracted by FDICA can contain noises. In order to overcome this, from such noise signals we removed spectrums with more power than median and recognized as minor MT signals. After this, stacking and remote reference processing are applied to reduce noises in MT signals by FDICA.

Raw MT data at Kakioka Magnetic Observatory during Feb.1 – Mar.16 in 2015 and during Mar.1 – Mar.16 in 2015 were analyzed. Former sampling rate is 1/60 Hz and latter is 1 Hz. FDICA and rrrMT were applied for the MT data, and apparent resistivity and phase curves were obtained. The apparent resistivity curves and phase curves by FDICA is almost same as ones by rrrMT, but estimated errors are much smaller than the case of rrrMT. However, at high frequency (around 0.1 Hz) and low frequency (lower than 0.1 mHz), the estimated errors by FDICA are as large as those by rrrMT. At low frequency, the longer MT data are processed, the smaller errors are expected to get. However, at high frequency, signal separation or signal judgment are failed. To verify FDICA performance, we added artificial noises to raw MT data at frequency with small error bars. As a result, only under two condition FDICA performance declined. First, magnetic field data have a low SN ratio. In this case, MT signals and noises cannot be distinguished properly. Another condition is noises strongly correlated with MT signals. Modifications of our code are necessary under these conditions. In this study, we developed new MT data processing method based on FDICA. The results were greatly improved compared with conventional method rrrMT. And condition for FDICA high performance was evaluated.

地磁気地電流法 (MT 法) は、電磁探査法の一つであり、地下深部の比抵抗構造の解析が可能である。しかし、取得した電磁場データにノイズが混入した場合、応答関数の推定誤差が大きくなり、地下の比抵抗構造のモデル化が困難となる。また、近年では MT 法を用いた地下比抵抗構造のモニタリングもなされている (例, Aizawa et al., 2011) が、ノイズが混入することで比抵抗の時間変動が推定誤差を下回ることも考えられる。そのため、電磁場データに混入したノイズを除去して、比較的短時間の時系列データから応答関数を導出する必要がある。従来は、Robust Remote Reference 法 (Chave and Thomson, 1987) によるノイズの低減がなされてきたが、電磁場データに共通し連続的に混入するようなノイズの除去は困難であった。そこで、多成分観測データから、独立な成分を抽出できる周波数領域独立成分分析 (Frequency-Domain Independent Component Analysis: FDICA) という手法に基づく、新たなノイズ除去手法を開発した。本研究では、気象庁柿岡地磁気観測所において取得された電磁場データに対し FDICA および従来法である rrrMT (Chave and Thomson, 1987) を適用した。

ここでは Sato et al. (2017) で提案した FDICA による MT データ解析についての概要を示す。取得された東西・南北方向の電磁場データ (合計 4 成分) に FDICA を適用することで、周波数ごとにそれぞれが独立な分離信号 (合計 4 成分) が得られる。そこでまず、取得した磁場データの SN 比が 1 以上であることを、Gram-Schmidt 法を用いて確認し、磁場データに対する寄与が大きい分離信号を主要な信号成分とみなすこととした。また、ノイズ成分と信号成分が完全に独立でないことがあり、FDICA によるノイズ成分と信号成分の適切な分離が困難となる。この問題を解決するため、ノイズ成分

と判断した分離信号中にも微小な信号成分が存在すると仮定し、ノイズ成分のうちで中央値以上のスペクトルを除去したものを信号成分としてMT解析に使用することとした。FDICAにより抽出した信号成分にもノイズが含まれる可能性があるが、そのようなノイズは応答関数を導出する際にRemote Reference法およびStacking法を用いることで低減した。

気象庁柿岡地磁気観測所における電磁場データに対しFDICAおよびrrrMTを適用した。解析するデータは、1/60 Hz サンプリングの電磁場データ(2015年2月1日から3月16日の44日間)および1 Hz サンプリングの電磁場データ(2015年3月1日から3月15日の15日間)である。これらの両期間のK指数はともに15程度で通常の地磁気活動度である。また、Referenceデータとして同期間の女満別地磁気観測所における磁場データを使用した。rrrMTおよびFDICAを適用した結果、見掛比抵抗および位相は同程度であるが、FDICAを適用することで、応答関数の推定誤差が小さくなった。しかしながら、rrrMTおよびFDICAの結果において高周波数帯(0.1 Hz程度以上)や低周波数帯(0.1 mHz程度以下)ではエラーバーが大きいことも明らかとなった。

FDICAを適用して得られた見掛比抵抗曲線および位相曲線については、低周波数帯における推定誤差が大きい。用いたMTデータは44日間分という比較的短い期間である。そのため、観測期間を延ばすことにより、低周波数帯における推定誤差の縮小が期待される。高周波数帯での推定誤差が大きい原因として、FDICAにおいてノイズ成分と信号成分の分離、またはその2つの判別が不十分である可能性が考えられる。そこで、応答関数の推定誤差が比較的小さい周波数帯に仮想的なノイズを様々な条件下で与えてみて、FDICAを適用することで、FDICAのノイズ除去性能を評価した。その結果、次の2つの条件のいずれかを満たす場合においてのみ、FDICAは有効でないことが明らかとなった。1つ目の条件として、磁場データに対して大きなノイズが混入し、磁場データへの最大の寄与を持つ分離信号が信号成分ではなくなった場合である。この場合、信号成分とノイズ成分の判断が困難となるため、信号成分の分離が不十分となる。実際、高周波数帯においては、事前検討により推定した磁場データのSN比の最小値は1を下回っていた。2つ目の条件は、ノイズと信号成分の依存度が大きい場合である。以上より、高周波数帯(0.1 Hz程度以上)においてFDICAのエラーバーが大きい原因は、磁場のSNが低く、また混入しているノイズが磁場信号に見掛上大きく依存していたためではないか、と考えられる。今後、これらの点に関する解析法の改善が必要である。

本研究では、FDICAを基にMTデータからノイズを除去する新たな手法を開発した。我々が提案した手法を適用することで、従来法(rrrMT)に比べ、見掛比抵抗曲線および位相曲線の推定誤差が小さくなった。また、本手法が有効な条件についても評価することができた。