

村上英記¹⁾, 最上巴恵²⁾, 山口 覚³⁾, 小河 勉⁴⁾

1)高知大学, 2)神戸大学, 3)大阪市立大学, 4)東京大学

**Improvement of MT response function contaminated by leakage currents
-Preprocessing method of electric field data of Network-MT-**

Hideki Murakami¹⁾, Tomoe Mogami²⁾, Satoru Yamaguchi³⁾, and Tsutomu Ogawa⁴⁾

1)Kochi University, 2)Kobe University, 3)Osaka City University, 4)University of Tokyo

Abstract We propose a preprocessing method of Network-MT electric field data to improve MT response functions. Electromagnetic data, especially electric field data, acquired in urban and sub urban regions were contaminated by railway leak currents. In the Network-MT method, multichannel electric data acquisition system was used. We made a classification of electric field data using noise characters obtained by principal component analysis (PCA) at first. Next, we analyzed the classified data using PCA and removed the first principal component as a component produced by railway leak currents. These preprocessing procedures for electric field data improved MT responses.

1 . はじめに

NTT 専用回線を電場計測に利用する Network-MT 法は、より深部の比抵抗構造を得るための有力な手段として利用されている（例えば、Yamaguchi et al., 2009）。Network-MT 法では、データ収録装置を設置する中心局と最大 8 箇所を設置した電極との間の電位差を計測する。中心局を含め電極設置点については、NTT 専用回線が敷設されている場所ないしはその近傍という制約がある。そのため、中心局を電車の線路近傍の NTT 局にせざるを得ない場合があり、全ての計測電場データが漏洩電流の影響を受けてしまう場合がある。また、西日本では表層の比抵抗が大きいいため電化された線路から数十 km 離れていても漏洩電流の影響を受けてしまう。漏洩電流の影響を軽減することが精度の高い比抵抗構造を求めるために必要である。

精度の高い MT 応答関数を求めるための様々な工夫がこれまでに提案されてきた。距離の離れた磁場参照点を使うリーモトリファレンス法（Gambel et al., 1979）が代表的な手法である。Wavelet 解析を適用した手法（Garcia and Jones, 2008）などもある。また近年ではロバストな統計手法を導入した MT 応答関数の推定プログラム BIRRP（Chave and Tomson, 2003, 2004）が広く利用されるようになってきた。比較的密に配置された複数の同時観測データにカルマン・フィルターを適用した例などもある（Andrzej et al., 2009）。

Network-MT 法では、数ヶ月にわたる長期観測が出来るという利点を活用し、漏洩電流の影響の小さな夜間のデータのみを 100 日以上使用するなどの工夫もされている（臼井, 2010; 最上, 2011）。しかし、電車からの漏洩電流の影響が大きな地点ではそれでも精度の高い MT 応答関数を求めるのが困難な場合もある。本報告では、Network-MT 観測が最大 8ch の電場を計測するという特徴を活

かし多変量解析（主成分分析）による電場データのノイズ軽減手法を提案する。

2 . Network-MT 電場データの前処理手法

本報告では、中部地方で実施された Network-MT 観測データのなかで岐阜県的美濃福岡と阿木を解析対象とする。この両地点は電場データのノイズが大きいために精度の良い MT 応答関数を求めることが難しい観測点である（最上，2011）。両観測点の中央をほぼ東西に JR 中央線が走っており漏洩電流の影響を強く受けており、美濃福岡では日中の電場変動約 600mV/km にも及び阿木では約 200 mV/km になる（第 1 図）。

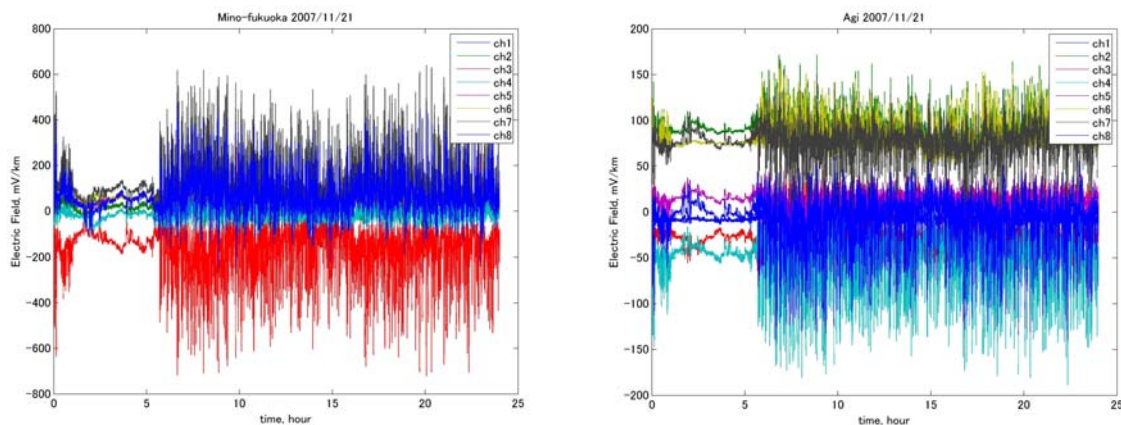


Fig.1 Electric field variations during Nov.21, 2007 at Mino-fukuoka(left) and Agi(right)

本報告では「観測された変動の大きな電場変動は電車による漏洩電流によるものである」と考える。この大きな変動を主成分分析にて抽出し取り除くことで電場データのノイズ軽減をおこなう。主成分分析をおこなう場合に、解析するチャンネル数が少ない場合には漏洩電流による成分と誘導電流による成分とが十分に分離できない可能性がある。予備的な解析において、美濃福岡と阿木を個々に解析した場合に良好な成果が得られなかったため、同時期に観測をしている観測点相互のデータの類似度を見て解析するチャンネル数を増やすことを考えた。

データの類似度を見る際に、生データの相関係数を見るのではなく、各観測点で得られた電場データを主成分分析して得られた主成分同士の相関係数を見ることで観測点のグルーピングをおこなった。この地域で同時に観測を行っていた飛騨萩原，下呂，飛騨竹原，加子母，付知，美濃福岡，阿木について主成分解析をおこない第 1 主成分相互の相関を求め次のような結果を得た（第 1 表）。

第 1 表に示した相関係数が 0.9 以上をグルーピングの基準とすると、美濃福岡 - 阿木，飛騨竹原 - 加子母 - 付知，下呂，飛騨萩原というグルーピングが可能となる。しかし，第 2 主成分の相関係数を見ると，美濃福岡 - 阿木 (0.69)，飛騨竹原 - 加子母 (-0.55) と相関が悪くなる。例外的に，加子母 - 付知は 0.95 と高く極めて類似した信号を両観測点で観測していることが分る。

美濃福岡 - 阿木の第 1 主成分同士の相関係数は 0.96 と極めて高く，これは同位相の変化をしていることを示す。そのため第 1 主成分を漏洩電流による成分と考えてもよさそうなが分る。改めて，各観測点の 8ch データを合わせて 16ch のデータを一括して主成分解析した結果のうち

Table 1 Correlation coefficient between first principal components of each observation sites

	第 1 主成分間の相関係数
飛騨萩原 - 下呂	-0.63
下呂 - 飛騨竹原	0.65
飛騨竹原 - 加子母	0.97
加子母 - 付知	0.99
付知 - 美濃福岡	0.59
美濃福岡 - 阿木	-0.96

主要な変動を示す第 1 主成分から第 8 主成分までを第 2 図に示す。

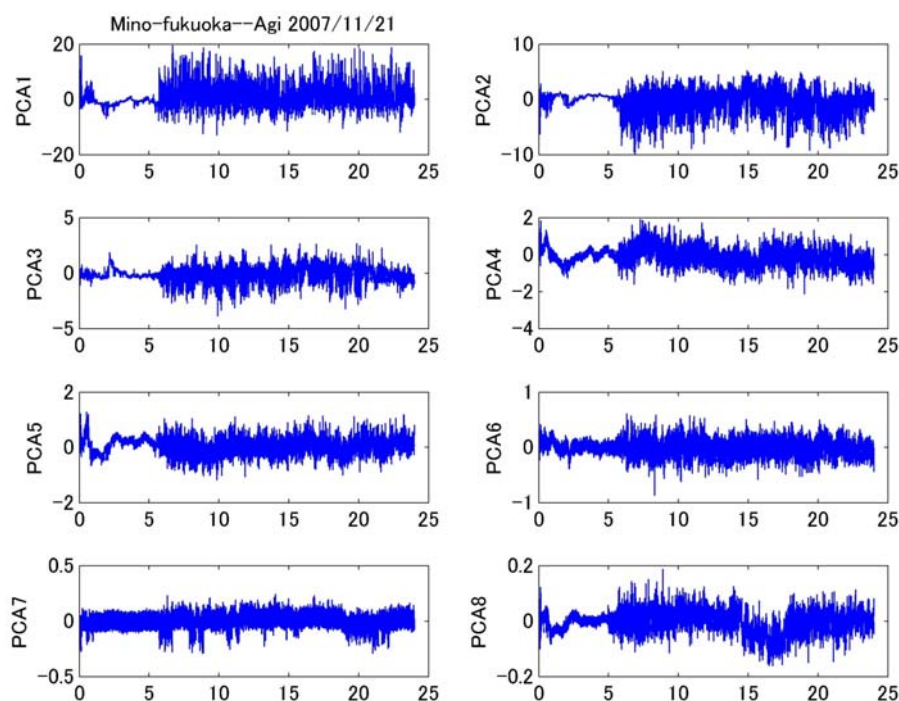


Fig.2 Principal components obtained from combined data of Mino-fukuoka data and Agi data

事例として締めしている 2007 年 11 月 21 日は磁気嵐のあった日である。比較的漏洩電流の影響の少ない美濃萩原の電場データと比較すると第 4 主成分，第 5 主成分，第 6 主成分そして第 8 主成分あたりに磁気嵐に伴う電場変動があるように見える。

ここでは，誘導電流による信号のみを抽出するのではなく，漏洩電流による大きな電場変動を軽減するという立場から，もっとも漏洩電流による電場変動を表現していると考えられる第 1 主成分のみを取り除き他の主成分は残して各観測点の観測データに復元した。美濃福岡と阿木独自の主成分分析結果でも第 1 主成分の相関は高いが第 2 主成分の相関は高くないことから妥当な判断と考えられる。美濃福岡の結果を第 3 図に，そして阿木の結果を第 4 図に示す。これらの図

では電場データではなく，測定値の電位差データ[mV]を示している。

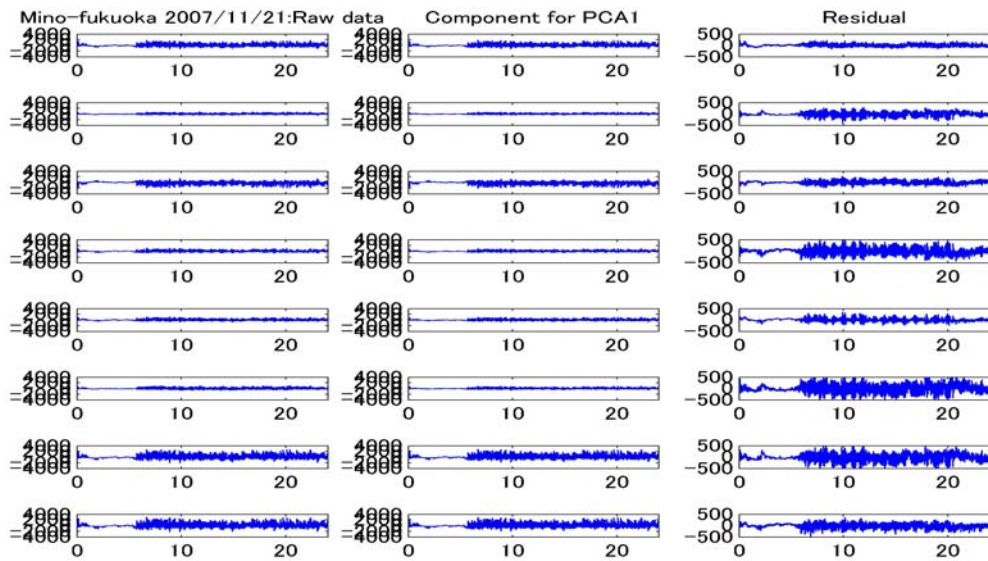


Fig.3 Raw electric data, the first principal component(PCA1), and electric data removed PCA1 of Mino-fukuka

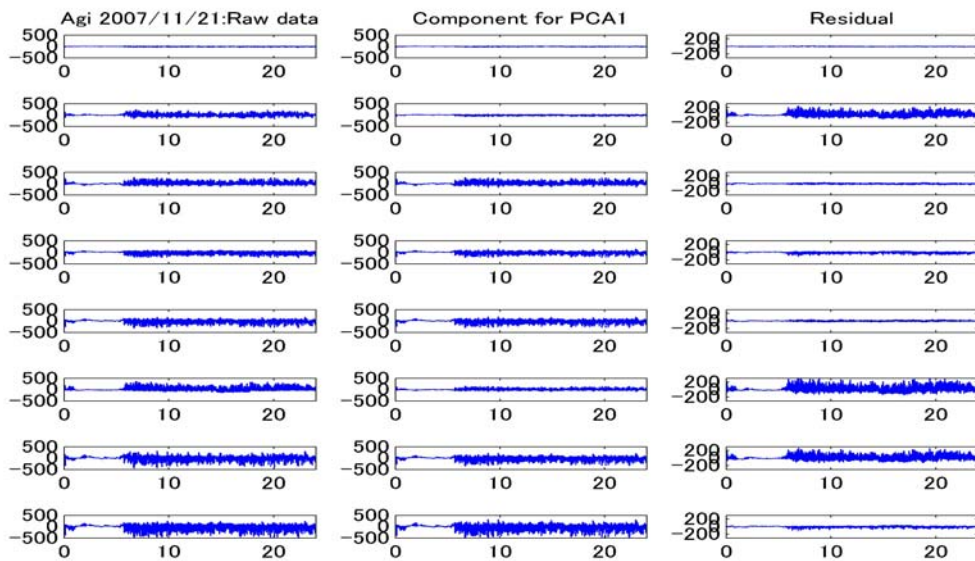


Fig.4 Raw electric data, the first principal component(PCA1), and electric data removed PCA1 of Agi

第1主成分のみを除去することで，美濃福岡の電位変動は $\pm 4000\text{mV}$ から $\pm 500\text{mV}$ ，阿木の電位変動は $\pm 500\text{mV}$ から $\pm 200\text{mV}$ 以下へと小さくなった。もちろん，復元されたデータを見ると電車による漏洩電流の影響がまだまだ残っていることがわかる。

3. MT 応答関数の比較

ここでは前処理がどの程度有効であるかを見るために前処理をおこなわないデータを用いて計算した MT 応答関数と前処理をおこなった電場データを使用して計算した MT 応答関数の比較をおこなう。計算には、磁気嵐のある 30 日あるいは 32 日分の電場・磁場データを用いて BIRRP により計算をおこなった。磁場データは柿岡の地磁気データを使用している。

まず前処理をしたいデータで夜間値(0 - 5 時)のみ使用した場合にどの程度 MT 応答関数の改善が見られるかを美濃福岡と阿木について行なった。美濃福岡の結果を第 5 図にそして阿木の結果を第 6 図に示す。

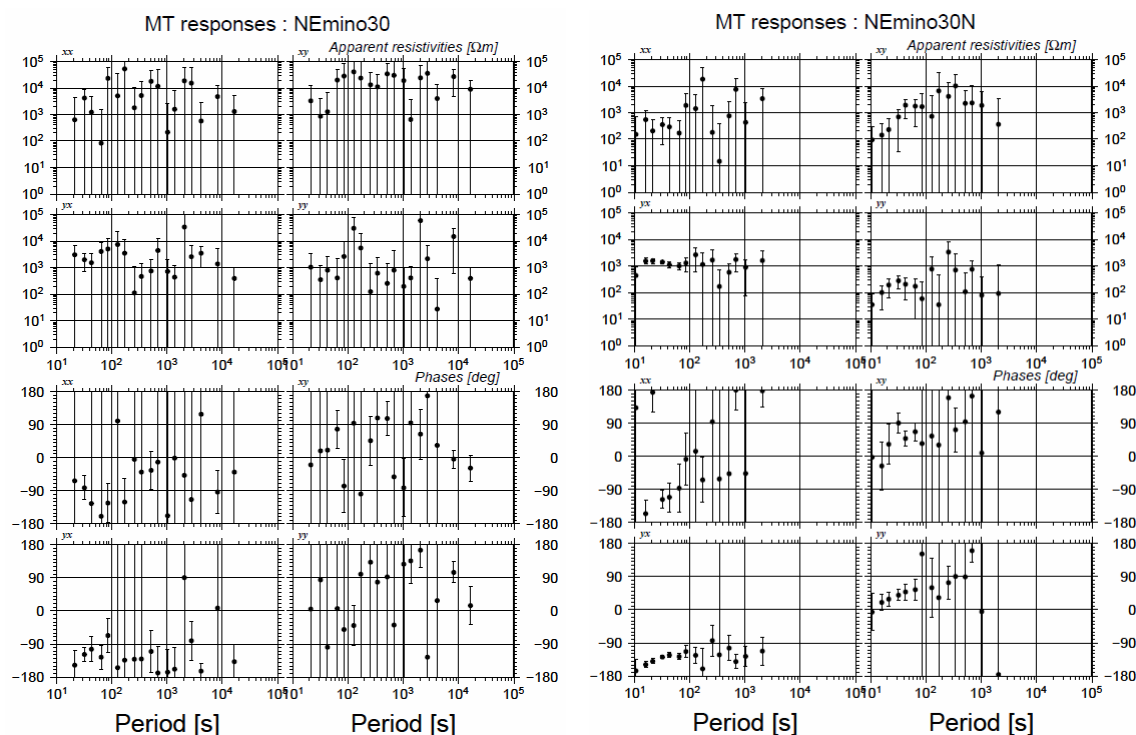


Fig.5 MT response functions of Mino-fukuoka using all data (left) and only night data(right)

美濃福岡の場合、全日の生データを使用した場合には、見かけ比抵抗・位相差ともにバラツキが大きく推定誤差(95%信頼区間)も極めて大きい。夜間値の生データのみ使用した場合には、全体として見ると多少まとまりが見られるものの推定誤差はやはりまだ大きい。10秒から100秒にかけての y_x 及び y_x については良好な結果が得られている。

阿木の場合も全日の生データを使用した場合には、見かけ比抵抗・位相差ともにバラツキが大きく推定誤差も大きい。夜間値のみ使用した場合には、わずかではあるがバラツキがちいさくなるものの推定誤差は小さくならない。また美濃福岡のように短周期側が良くなる傾向もない。

次に前処理を施した電場データを使用した場合の MT 応答関数の比較をおこなう。第 7 図に美濃福岡と阿木の前処理を施した電場データを使用した MT 応答関数を示す。

前処理を施すことで美濃福岡の MT 応答関数はバラツキもなくスムーズに連続しており推定誤差も極めて小さくなっている。また、生データの夜間値のみを使った MT 応答関数(y_x , y_x)の10秒から100秒の帯域を比較するとほぼ一致していることがわかる。前処理が MT 応答関数

推定に悪い影響を与えていないと考えられる。

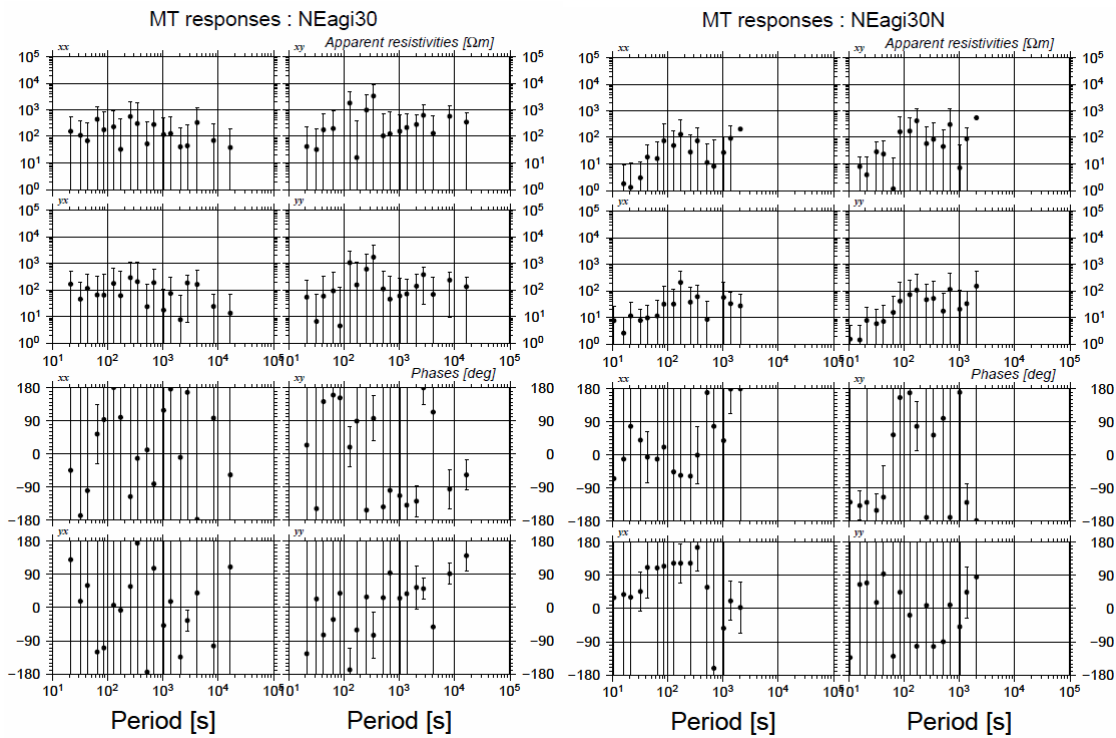


Fig.6 MT response functions of Agi using all data (left) and only night data(right)

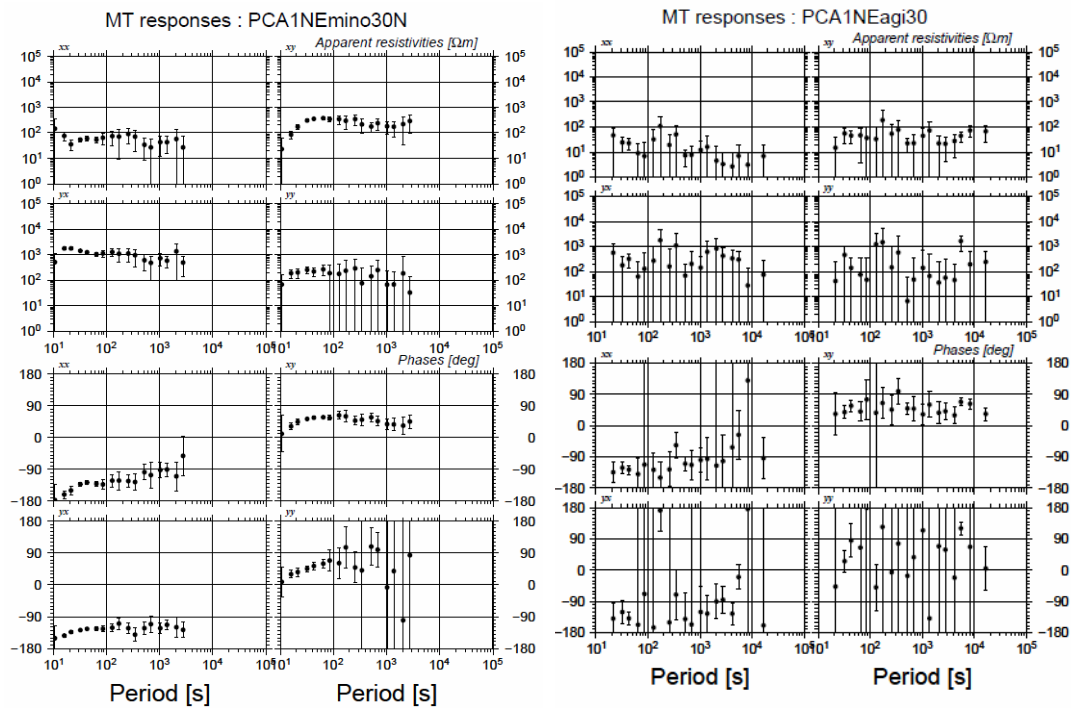


Fig.7 MT response function of Mino-fukuoka(left) and Agi(right) using preprocessing electric field data

一方，阿木についてはバラツキについて改善が見られるがまだ推定誤差は大きいままである。

しかし、電極の組み合わせを変えてみるとかなり良い結果が得られることが分った(第8図)。少なくとも10秒から100秒については美濃福岡と同程度になっている。

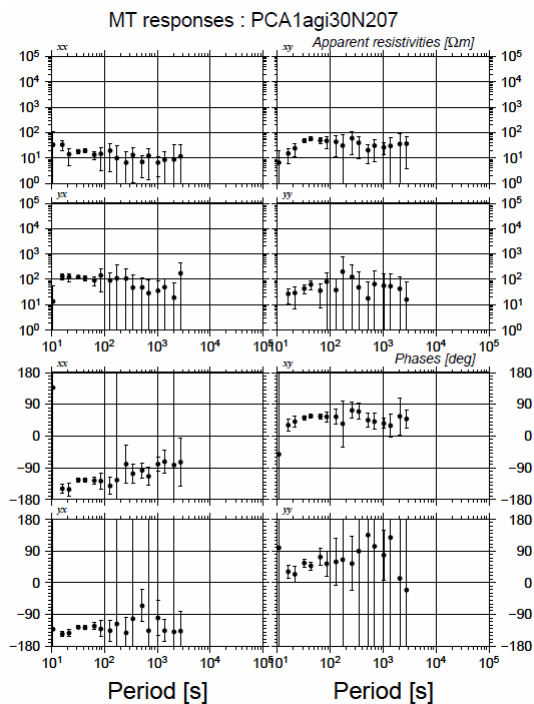


Fig.8 MT response functions of Agi using another preprocessing data

4.まとめ

ノイズ特性による観測点のグルーピングとグルーピングしたデータに対する主成分分析により得られた第1主成分の除去という前処理で、漏洩電流の影響が極めて大きい観測点のMT応答関数がかなり改善されることがわかった。

しかし、ノイズのより大きな美濃福岡の改善度に比べ、相対的にノイズの小さな阿木の改善度が悪いという結果になった。これは、阿木の元々の電位変動が小さいため第1主成分として取り除いた信号中の誘導電流成分が相対的に大きくなり結果として信号の引きすぎになったためと考えられる。分離度を高める工夫や評価指標が必要である。

今回は、多チャンネルで計測されるというNetwork-MTの特性を活かしたノイズ軽減手法として多変量解析の手法の一つである主成分分析を使用した。しかし、主成分分析は完全に同位相の複数信号の線形結合として観測データを分解している。誘導電流成分は広域の異なるエリアでは同位相とはならないので、各観測データに誤差が含まれているとして少数の同位相共通成分を検出する因子分析を適用する方が良いかもしれない。今後の検討課題としたい。

MT応答関数を計算するのにBIRRPを使用した。利用を許可して下さったDr.Chaveに感謝いたします。また一部の作図にはGMTを利用しました。開発者のDr.WesselとDr.Smithに感謝いたします。

参考文献

- Andrzej L., T.Danek, and M.Wojdyla, Application of Kalman Filter to Noise Reduction in Multichannel Data. *Schedae Informaticae*, 17/18, 63-73, 2009.
- Chave,A.D., and D.J.Thomson, A bounded influence regression estimator based on the statistics of the hat matrix. *Journal of the Royal Statistical Society, Series C(Applied Statistics)*, 52, 307-322, 2003.
- Chave,A.D., and D.J.Thomson, Bounded Influence estimation of magnetotelluric response functions. *Geophysical Journal International*, 157, 988-1006, 2004.
- Gambel,T.D., W.M.Goubau, and J.Clarke, Magnetotellurics with a remote reference. *Geophysics*, 61, 53-68, 1979.
- Garicia,X., and A.G.Jones, Robust processing of magnetotelluric data in the AMT dead band using the continuous wavelet transform. *Geophysics*, 73, F223-F234, 2008.
- 最上巴恵 , 新潟 - 神戸歪み集中帯周辺の地下深部比抵抗構造の研究. 神戸大学大学院修士論文. 2011 .
- 白井嘉哉 , 新潟 - 神戸ひずみ集中帯における深部比抵抗構造. 東京大学大学院修士論文 , 2010 .
- Wessel, P., and W. H. F. Smith, New improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS Trans. AGU*, 79, 579, 1998.
- Yamaguchi,S., M Uyeshima, H Murakami, S Sutoh, D Tanigawa, T Ogawa, N Oshiman, R Yoshimura, K Aizawa, I Shiozaki, and T Kasaya, Improvement of the Network-MT method and its first application in imaging the deep conductivity structure beneath the Kii Peninsula, southwestern Japan. *Earth, Planets and Space*, 61, 957-971, 2009.