

多電極電場データを用いたノイズリダクション (2)

村上英記 (高知大学理学部)・山口 覚 (神戸大学理学部)

Noise reduction of geoelectric data obtained by a multi-electrode array system (2)

Hideki Murakami¹⁾ and Satoru Yamaguchi²⁾

1) Faculty of Science, Kochi University, 2) Faculty of Science, Kobe University

Geoelectric data obtained around an urban area were sometimes tainted by artificial noise, especially leakage electric currents from electric railways. This was very serious in the case of observing small signals induced by geomagnetic variations. We focused on the Independent Component Analysis (ICA) and applied them on the Network-MT geoelectric data. With this method we extracted signals, which corresponded to geomagnetic variations, from very noisy geoelectric signals.

1. はじめに

都市近郊の地下比抵抗構造を MT 法で精度良く求めるためには、リモート・リファレンス法の適用だけでは十分でなく、さらに何らかの手法を用いて磁場や電場データの S/N 比の改善を検討する必要がある場合がある。とりわけ電場データは、電車からの漏洩電流により 1 日の大部分の時間が非常に大きなノイズに汚染されているケースがある。村上・山口 (2004) は、淡路島の野島断層周辺部で取得した非常にノイズの大きな電場データから地下水流動に伴う流動電位成分を独立成分分析という手法を用いることにより精度良く抽出できることを報告した。

本報告でノイズ除去のために使用する独立成分分析は、近年さまざまな分野での応用が検討されている多変量解析手法である [例えば, Cichocki and Amari (2002), Marwan et al. (2003), Pereira et al. (2002)]。本報告でもノイズ源の一番大きなものとなる電車による漏洩電流の除去を目的として適用した例として小金山ほか (2002), Koganeyama et al. (2001, 2003) がある。

本報告では、鳥取県で取得したネットワーク MT 電場データに独立成分分析を適用し、目的とする地磁気誘導成分が抽出できるのか、また抽出した成分の周波数特性や位相特性について報告する。

2. ネットワーク MT データと独立成分分析

Fig. 1 に鳥取県で 1995 年 12 月に取得したネットワーク MT 電場データの 20 日分の時系列を示す。郡家 (Kouge), 倉吉 (Kurayoshi), 米子 (Yonago), 根雨 (Neu) の四カ所において同時に観測された電場データである。郡家と倉吉のデータ中には地磁気誘導成分が確認できるが、米子, 根雨のデータはノイズが大きく明瞭ではない。本報告では、倉吉と米子の地電位データを使用する。倉吉はノイズの少ない良好なデータとして、米子は伯備線からの漏洩電流のために非常にノイズの大きなデータの例として扱う。

解析するデータは、上記時系列中の磁気嵐を含む 81920 秒間 (10 秒サンプリング) を使用した。独立成分解析を行なう前に、前処理としてバンドパス・フィルタ (1/60-1/2560Hz) を適用した。このフィルタの帯域は、単にネットワーク MT データを使った解析によく使用する帯域というだけで特別な理由はない。

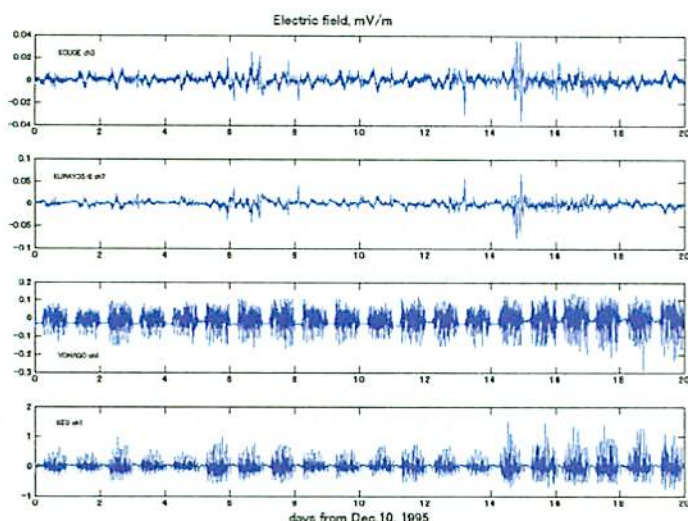


Fig.1 Geoelectric field data (mV/m) obtained at Koge(Top), Kurayoshi, Yonago, and Neu(Bottom) from Dec.10 to 29, 1995.

上記の前処理をほどこしたネットワーク MT 電場データを入力データとして独立成分分析をおこなう。実際の計算には、ICALAB Toolboxes (Cichocki and Amari, 2002) パッケージを使用し解析をおこなった。複数のアルゴリズムで比較検討をおこなったが大差がなかったため、ここでは ThinICA (Cruces and Cichocki, 2003) アルゴリズムを適用した結果のみを報告する。

3. 解析結果

Fig. 2 に倉吉の 8 チャンネルの電場データ (図右側) を 8 つの独立な成分 (図左側) に分解した結果を示す。8 つの独立成分のうち上から 4 番目の信号は明らかに片振れをしており電車からの漏洩電流と考えられる。そこで 4 番目の独立成分のみを除き他の 7 つの成分を使って復元した電場データを Fig. 3 に示す。CH1 から CH7 までの S/N 比の良いデータにはほとんど変化が見られないが、S/N 比の悪い CH8 についてはノイズ除去の効果が現れ他のチャンネルに見られるのと同様の地磁気誘導成分が明瞭になっている。

次に、周波数領域でノイズ除去の効果を見ることにする。Fig. 4 に各チャンネルの元データとノイズ除去をおこない復元したデータから求めたパワースペクトル密度 (PSD) を示す。CH1-7 では PSD はほとんど変化しておらず、CH8 のみ PSD の減少が見られるが他のチャンネルに見られるスペクトル構造に近くなっている。Fig. 5 に元データと復元データの位相差を示す。CH1-7 では位相差はほぼゼロである。CH8 についてはノイズ除去の影響が現れ変動があるが、全体的に見るとバイアスがあるわけではない。

Fig. 6 に米子の 8 チャンネルの電場データ (図右側) を 8 つの独立な成分 (図左側) に分解した結果を示す。8 つの独立成分のうち 2 番目から 5 番目までの信号は明らかに片振れをしており電車からの漏洩電流と考えられる。そこで 2 番目から 5 番目の独立成分を除き残りの 4 つの成分を使い復元した電場データを Fig. 7 に示す。CH1 から CH7 までの時系列データで漏洩電流の影響と考えられる片ぶれ成分がなくなり倉吉で観測されている地磁気誘導成分が明瞭に見られる。CH8 についてはそれほどの変化が見られない。

次に、米子における上記のノイズ除去の影響を周波数領域で見ることとする。Fig. 8 に各チャンネルの元データ (図中: Original Data) およびノイズ除去をおこない復元したデータ (図中: Reconstructed Data) から求めた PSD を示す。CH 1-7 では PSD はノイズを含んだ元データの PSD に比べて一桁前後小さくなっている。時系列で特段の変化が見られなかった CH8 では PSD もほとんど変化していない。また、倉吉の PSD (Fig. 4) と比較した場合次の 2 つの特徴が見える: 1) 全体的なパワーが下がり、倉吉の PSD レベルに近づいている、

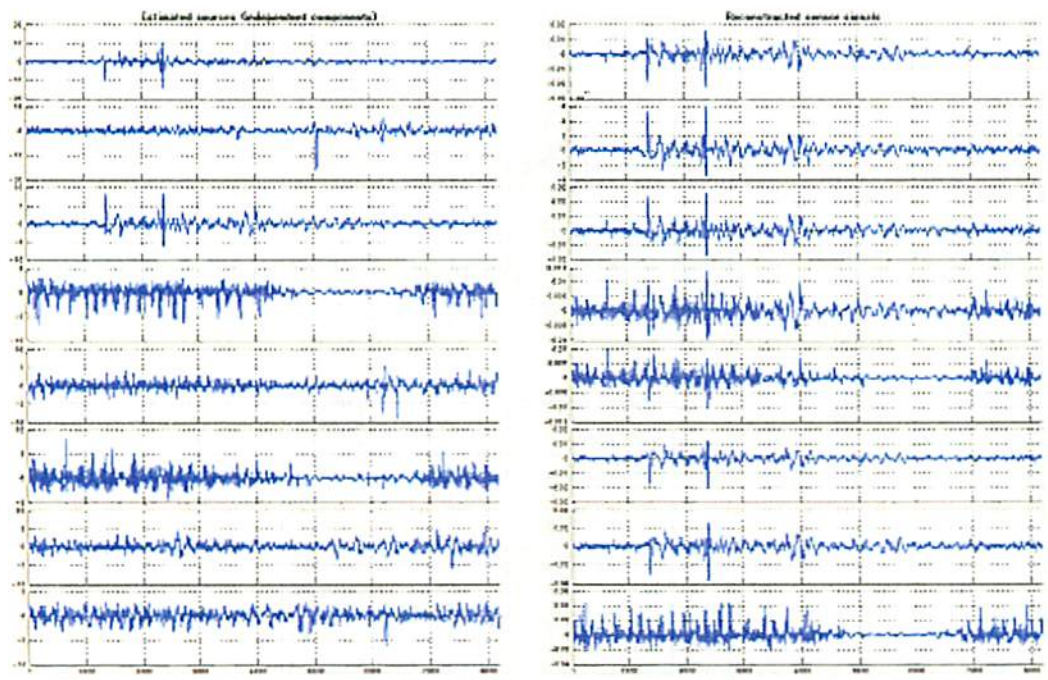


Fig.2 Original geoelectric data(Right) of Kurayoshi and decomposed components(Left) by ICA.

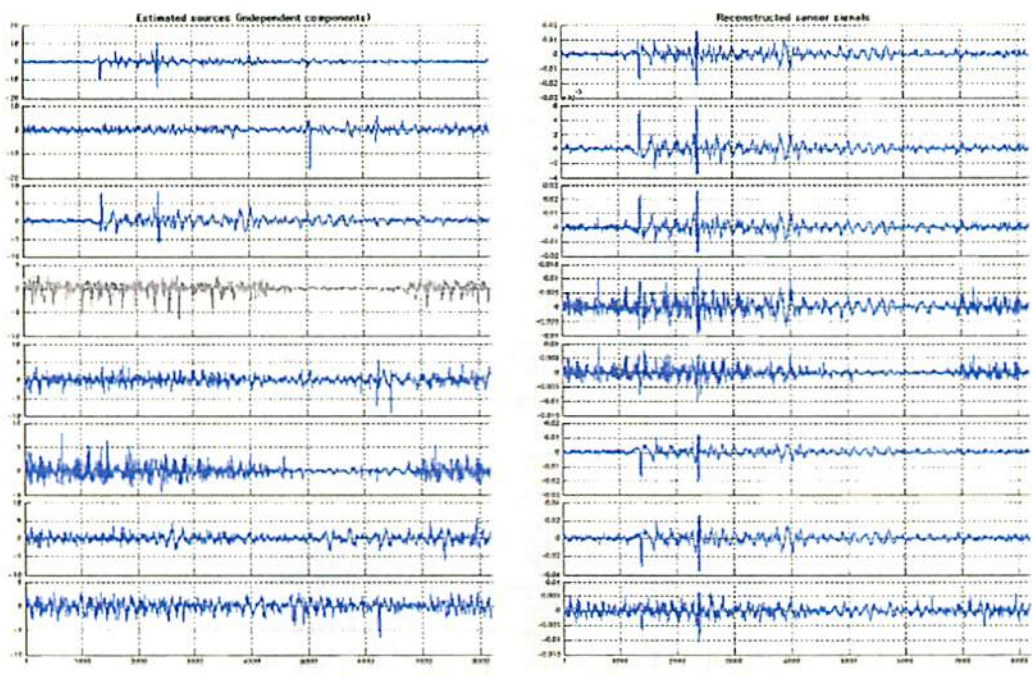


Fig.3 Dcomposed components(Left) and reconstructed geoelectric data (Right) without the forth decomposed component(Gray).

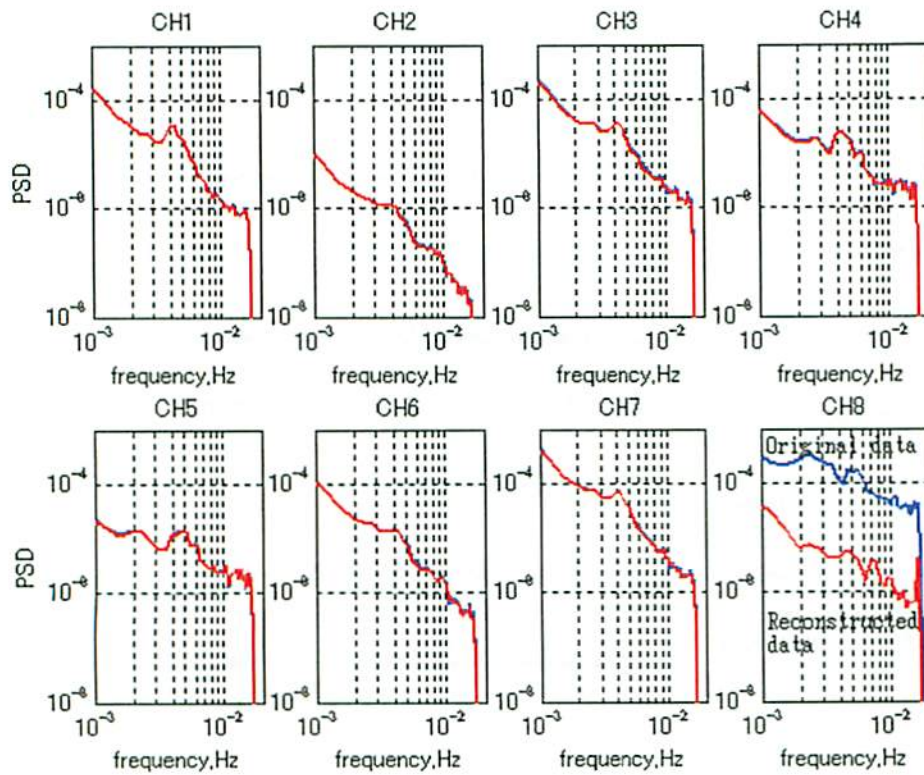


Fig.4 Power spectrum density of original data at Kurayoshi and reconstructed data without the forth decomposed component.

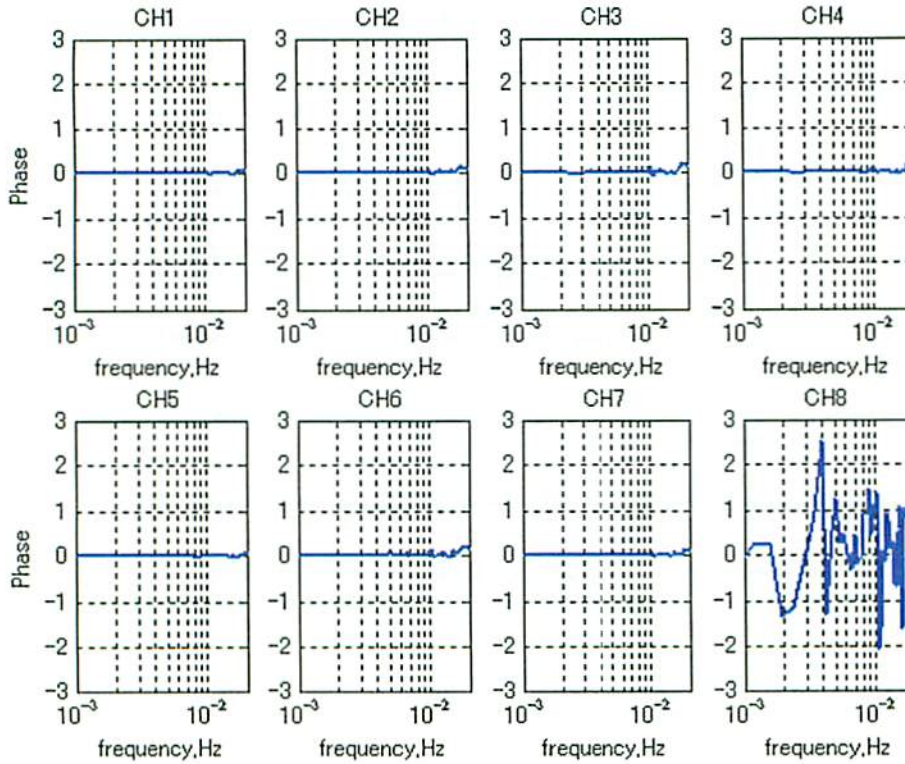


Fig.5 Phase difference between original data at Kurayoshi and reconstructed data without the forth decomposed component.

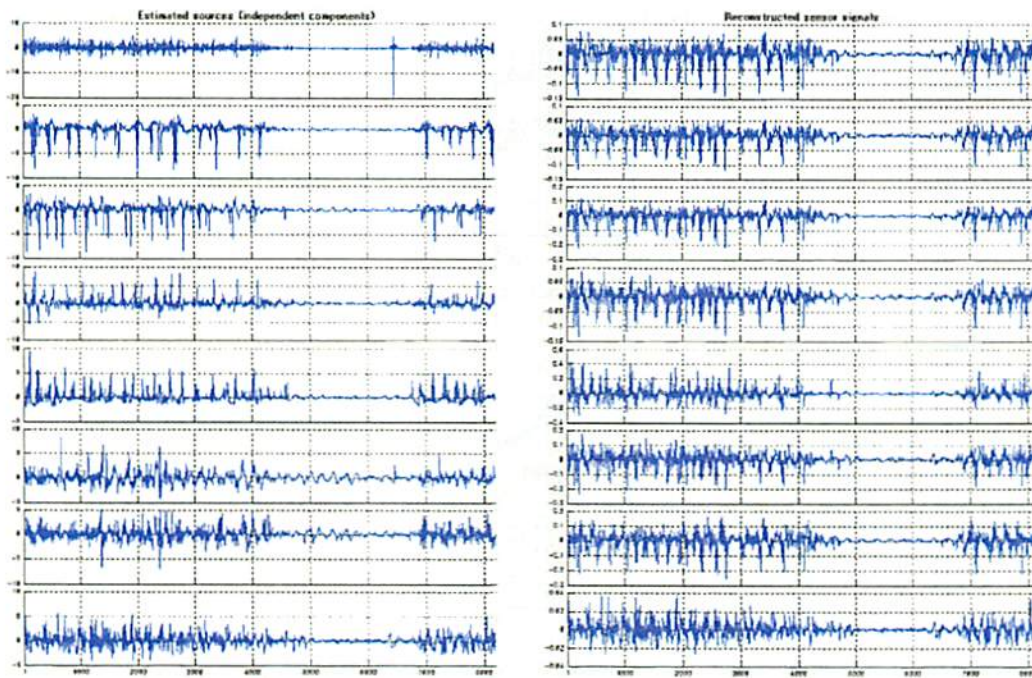


Fig.6 Original geoelectric data(Right) of Yonago and decomposed components(Left) by ICA.

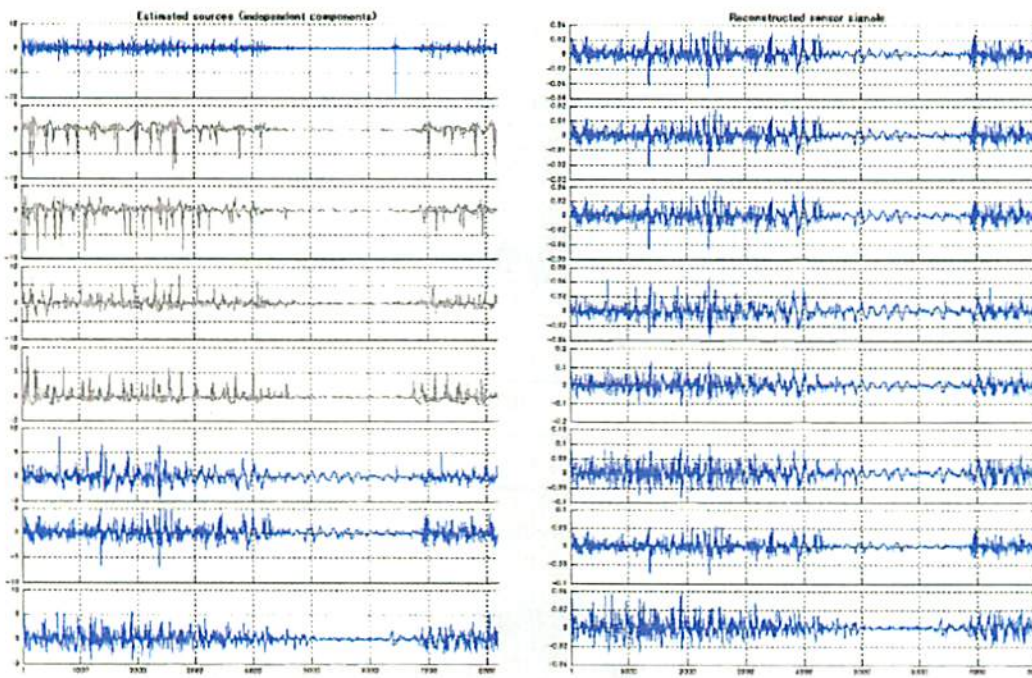


Fig.7 Decomposed components(Left) and reconstructed geoelectric data (Right) without the second to fifth decomposed component.

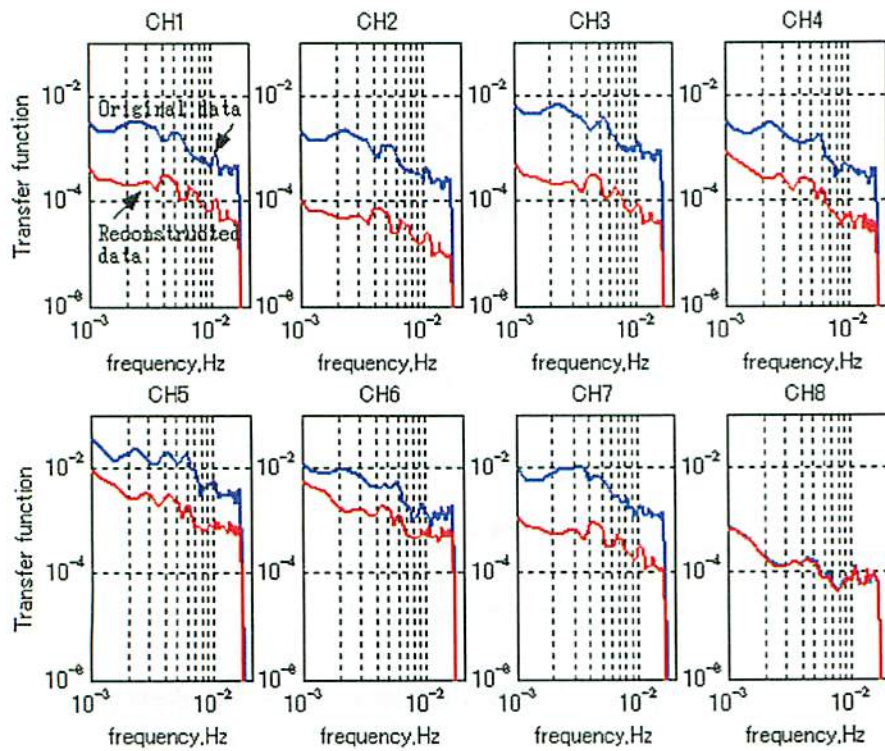


Fig.8 Power spectrum density of original data at Kurayoshi and reconstructed data without the forth decomposed component.

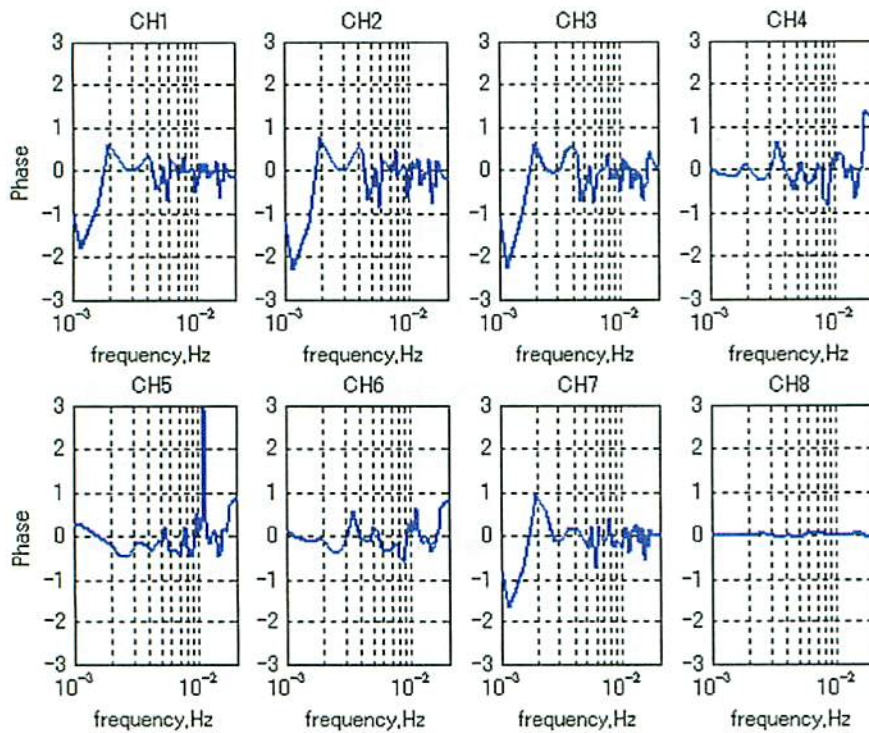


Fig.9 Phase difference between original data at Kurayoshi and reconstructed data without the forth decomposed component.

2) CH1-7 の PSD と倉吉の PSD (Fig. 4) を比較すると倉吉で明瞭な周波数 4×10^{-3} Hz 付近のピークが米子でも明瞭になっている。元データとノイズ除去をした復元データとの位相差を Fig. 9 示す。ノイズ除去により改善されたと思われる CH1-7 の位相差について見ると、CH1-3 および CH7 については低周波側で位相差が大きいがその部分を除けばおおむね位相差はゼロである。CH4-6 についてはおおむね位相差はゼロになっている。

4. まとめ

ノイズの大きなネットワークMT電場データから地磁気誘導成分を抽出する目的で、倉吉と米子で同時期に取得されたネットワークMT電場データに対して多変量解析の一手法である独立成分分析を適用しその結果について時間領域および周波数領域での検討をおこなった。その結果、電車の漏洩電流と考えられるノイズの除去には独立成分分析がある程度有効であることがわかった。

倉吉の電場データは S/N 比が良好なデータセットとして解析をおこない、独立成分分析を適用した場合に不都合が生じないかをチェックした。その結果、時間領域、周波数領域でも適用した結果に不都合は生じないことが確認できた。また、唯一ノイズの大きな CH8 についてはノイズの低減効果が見られた。本報告では図として示さなかったが、独立成分の4番目と6番目の成分をノイズとして除去すると、CH4 と CH5 の S/N 比の改善が見られるが、どの成分をノイズとして捨てるかの客観的な指標を検討する必要がある。

米子の電場データは電車からの漏洩電流によりノイズが非常に大きく、単に時系列データを見ているだけでは地磁気誘導成分の認定が難しいデータとして独立成分分析を適用した。その結果、倉吉で見られる地磁気誘導成分をうまく抽出できることがわかった。やはり本報告では省略しているが、独立成分の2-5番目の成分に加えて1番目と8番目をノイズとして除去することで、CH4-6 と CH8 の S/N 比が向上するように見えるがパワーは小さくなるので、やはり捨てるべき成分と残すべき成分についての基準が重要と考えられる。

ここで示した2箇所のネットワークMT電場データに含まれる大きなノイズは、電車からの漏洩電流が主なものであると考えられる。その特性として、電場の極性に偏りがある一すなわち振幅の確率分布が正規分布ではない、ノイズ信号の伝達に時間差がない、すべての観測チャンネルに含まれているなど適用した独立成分分析の解析アルゴリズムの前提を満たしている特性を持っていると言える。しかし、米子に近くより S/N 比の悪い根雨 (Neu) のネットワークMT電場データでは、同様の解析手順では良好な結果は得られていない。単に独立成分分析を適用しただけでは、ノイズと地磁気誘導成分との分離は難しい。ノイズが求めたい信号の10倍以上の振幅を持つ場合についてはさらに解析上の工夫が必要である。

参考文献

Cichocki, A. and S. Amari, Adaptive blind signal and image processing, John Wiley, 2002.

ICALAB Toolboxes for MATLAB <http://www.bsp.brain.riken.jp/ICALAB/>

Cruces, S. and A. Cichocki, Combining blind source extraction with joint approximate diagonalization: Thin Algorithms for ICA, Proc. of the Fourth Symposium on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation, Japan, pp. 463-469, 2003.

Koganeyama, M., H. Shouno, T. Nagao and K. Joe, Separation of train noise and seismic electric signals from telluric current data by ICA, 3rd International Conference on Independent Component Analysis and Signal Separation

(CD-ROM Proceedings), December, 2001 .

小金山美賀, 庄野 逸, 長尾年恭, 城 和貴, ICA を用いた地電流データからの電車ノイズと地震前兆シグナルの分離, 情報処理学会論文誌 : 数理モデル化と応用, 43, No. SIG7, p. 92-104, 2002.

Koganeyama, M., S. Sawa, H. Shouno, T. Nagao and K. Joe, An effective evaluation function for ICA to separate train noise from telluric current data, 4th International Symposium on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation (CD-ROM Proceedings), April 2003.

Marwan, N., J. Kurths, and U. Schwarz, Independent Component Analysis of sedimentary rock-magnetic data, Geophysical Research Abstracts, 5, p. 08967 (Abstract) , 2003.

村上英記・山口 覚, 多電極電場データを用いたノイズリダクション, Conductivity Anomaly 研究会論文集, p. 128-134, 2004.

Pereira, F., T. Dudok de Wit, and M. Menvielle, Identification of the current systems associated with geomagnetic activity, URSI GA 2002. (Abstract)