

ネットワークMT法による中国地方のデータを使った統計的手法によるノイズ除去

野口和典・村上英記

高知大学理学部自然環境科学科防災科学

Noise reduction from data on Network MT investigation on Chugoku region

Kazunori Noguchi, Hideki Murakami

Dept. of Natural Environmental Science, Faculty of Science, Kochi University

1 はじめに

ネットワークMT法を用いた電磁気観測は、1994年から全国規模で行われている。このネットワークMT法は、森(1985)により開発されたNTT通信回線網を地電位差変化測定に利用する手法を上嶋・他(上嶋・他, 1992; 上嶋・他, 1993)がMT観測に応用・発展させたものである。

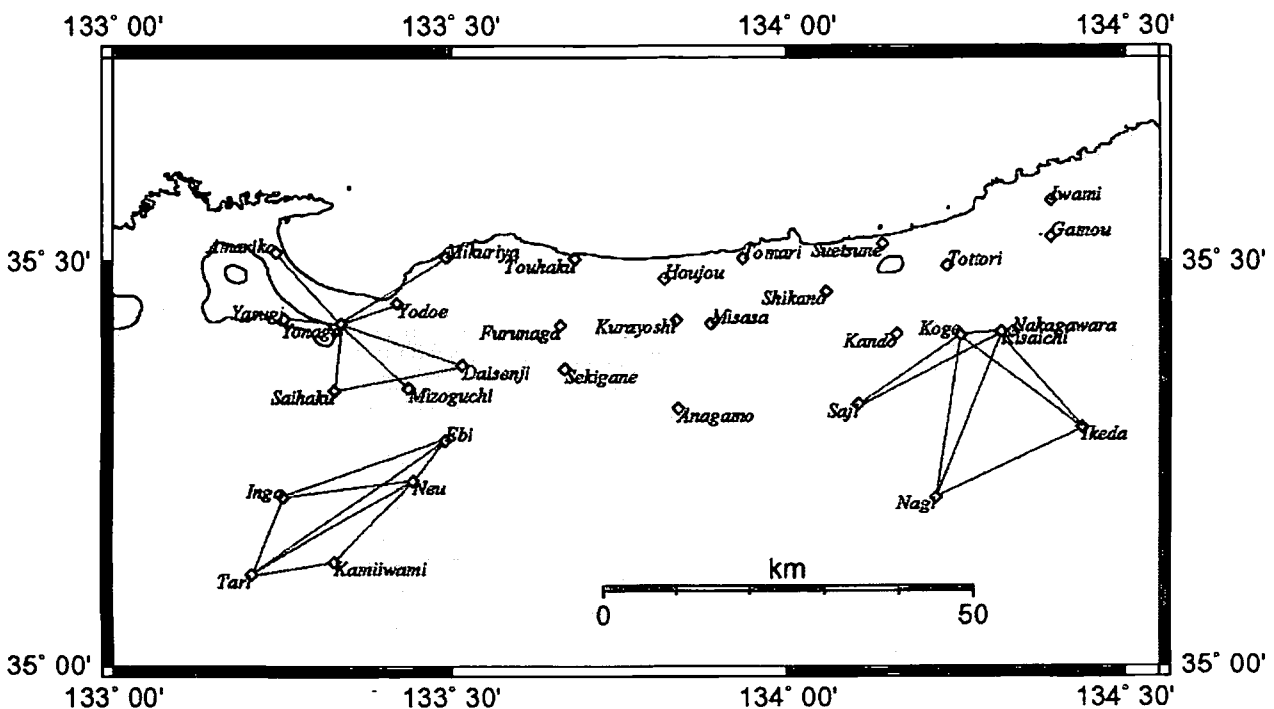
西日本でも西南日本弧を横切る比抵抗断面を得るために1994年12月から1996年3月にかけて中国地方東部地域(鳥取県)においてネットワークMT法観測が実施されている。この観測は、フィリピン海プレートを含む上部・下部地殻の電気比抵抗構造と地震活動・地質構造(内陸の活断層・第四紀火山・付加体構造)との関連を探ることを目的としている。(塩崎ほか, 1998)

しかしながら、中国地方で観測されたネットワークMT法のデータについて、塩崎・他(1998)は根雨・米子を中心局とするデータは昼夜を問わず人工ノイズの混入がみられ、比抵抗構造解析に用いることは難しいとしている。直流電化区間であるJR西日本の伯備線や山陰本線(米子・出雲間)を走る電車の漏洩電流の影響が大きい。表層が高比抵抗なので様々な人工ノイズ源の信号の振幅が減衰しにくい。ため、観測データの広域でS/N比を悪化させる要因になっていると考えられている。

本研究では、鳥取県(根雨、郡家)で得られたデータに対して、統計的手法適用し、観測データをシグナル成分とノイズ成分に分離することでネットワークMT法観測から得られる電場データのS/N比の向上を試みる。具体的には人工ノイズの影響が大きくて比抵抗構造解析に耐えるデータをほとんど得られていない根雨を対象として、擾乱が起きている期間の夜間のデータから人工ノイズと考えられる矩形形状のノイズの除去を試みる。

2 解析データと解析方法

解析には、根雨ネットならびに郡家ネットの1996年1月14日0時から4時までのデータを使用した。図1に根雨ならびに郡家ネットの配置を示す。また、表1および表2に観測チャンネル情報を示す。



第1図：中国地方ネットワークMT 観測線図

CH No		BASE
CH1	Ebi	Neu
CH2	Inga	Neu
CH3	Tari	Neu
CH4	Kamiiwami	Neu
CH5	Ebi	Inga
CH6	Inga	Tari
CH7	Tari	Kamiiwami
CH8	Ebi	Tari

第1表：根雨ネット チャンネル一覧

CH No		BASE
CH1	Kisaichi	Koge
CH2	Ikeda	Koge
CH3	Nagi	Koge
CH4	Saji	Koge
CH5	Ikeda	Kisaichi
CH6	Nagi	Kisaichi
CH7	Saji	Kisaichi
CH8	Nagi	Ikeda

第2表：郡家ネット チャンネル一覧

2. 1 解析方法について－独立成分分析－

電場時系列データに最近新しい多変量解析方法として注目を浴びている独立成分分析 (Independent Component Analysis) を適用し信号とノイズの分離を試みる。

独立成分解析の概念を数式で示すと次のようになる。(例えば、甘利・村田, 2002 ; Aapo Hyvarinen, Erkki Oja 2001)

$$x(t) = A \cdot s(t) \quad (x(t), A, s(t) : \text{行列}) \quad (1) \text{式}$$

観測信号 $x(t)$ は、独立した元信号 $s(t)$ と未知の行列 A が掛け合わされたものであると仮定する。

既知数は、観測信号 $x(t)$ だけであり A と元信号 $s(t)$ は未知数である。

また、元信号 s は、観測信号 x は未知の行列 A の逆行列をかけたものであるともかける。

$$s(t) = A^{-1} \cdot x(t) \quad (2) \text{式}$$

信号の現れ方を示す統計量である期待値に注目して上式は次のように書ける。

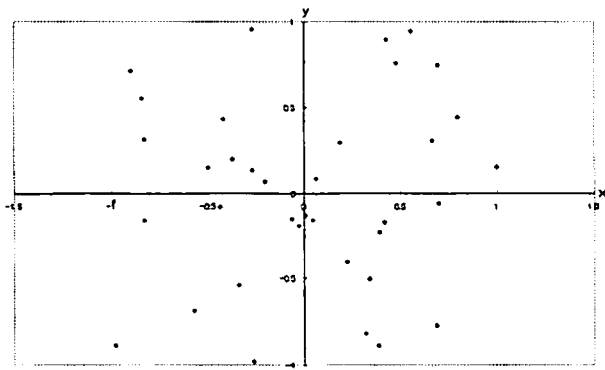
$$E[s_i^3 s_j] = E[s_i^3] E[s_j] \quad (3) \text{式}$$

ここでは、左辺の観測信号 $x(t)$ から $x(t)$ の平均値を引くことで $x(t)$ の期待値を $E[s_j] = 0$ としておく。

期待値をかけ合わせて0になるときそれぞれが独立であるというから、未知の行列 A の逆行列を任意に与えて、元信号 $s(t)$ の期待値が $E[s_i^3 s_j] = 0$ となるようにする。つまり、元信号 $s(t)$ が独立になるように未知の行列 A の逆行列を少しずつ変化させて独立な成分に近づけていくということである。独立成分解析の原理をまとめると、観測値は、独立である信号が混合されたものと仮定することで、複数の信号に共通な成分をそれぞれ「独立である成分」に分解している。

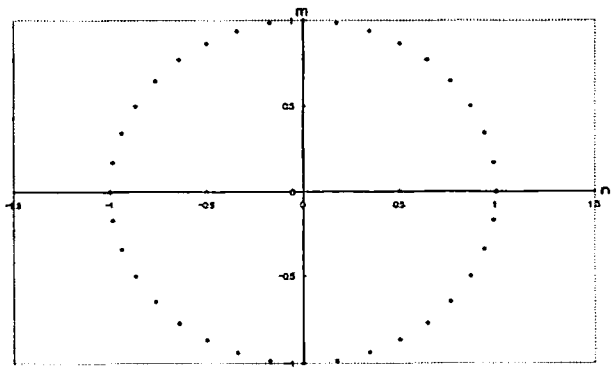
2. 2 主成分解析 (PCA) と独立成分解析 (ICA) の比較

よく知られている多変量解析手法のひとつである主成分解析と独立成分解析の違いは、「無相関」と「独立」の関係に言い換えられる。無相関は互いに一次式の関係がないことを示しているのに対して独立は互いに一次式だけでなく二次式、三次式以上の関係が成り立たないことを示している。図2に無相関と独立の概念の例を示す。図2に示す例では、左上図、右上図はともに相関係数 (r) は0に近くほぼ無相関といえる。互いに2乗すると右下図では直線関係が表れる。しかし左下図は、2乗したところで相関は現れない。厳密にいうならばどのような式に当てはめても関係が現れないことを示さなければ完全に独立であるとはいえないが、とりあえず2乗しても線形関係が現れないことから右図は左図より独立に近いといえる。以上のように、独立とは無相関より性格の強い概念である。

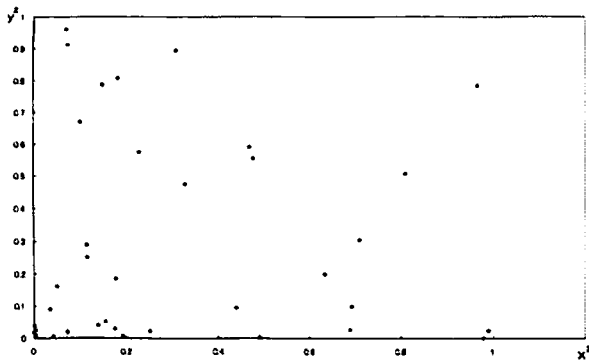


$$r(x, y) = 0.06031$$

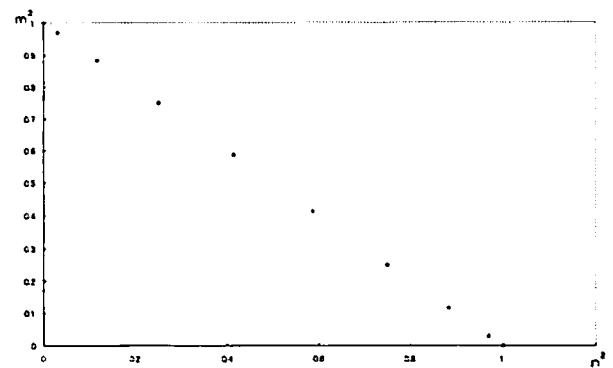
↓ それぞれを 2 乗する



$$r(n, m) = 6.45 \times 10^{-17}$$



$$r(x^2, y^2) = -0.086$$



$$r(n^2, m^2) = -1$$

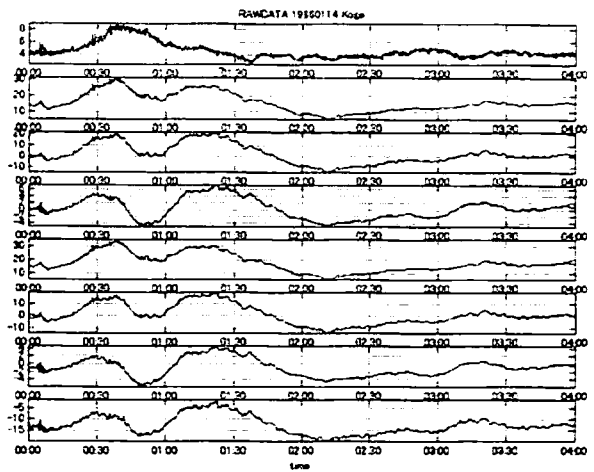
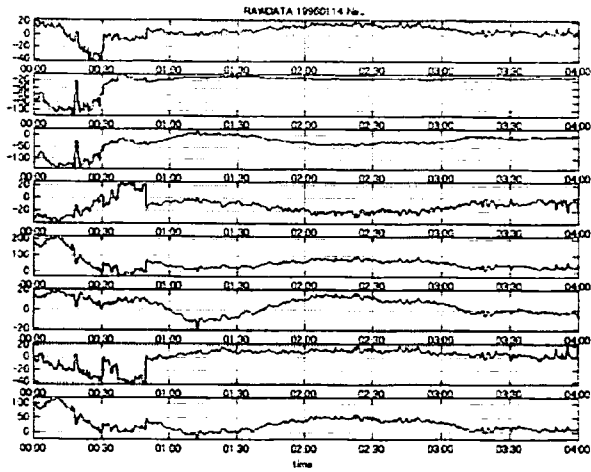
第 2 図：無相関と独立の違いの例 r は相関係数を示す。左図：無相関かつ独立 右図：無相関だが独立でない

3 解析結果

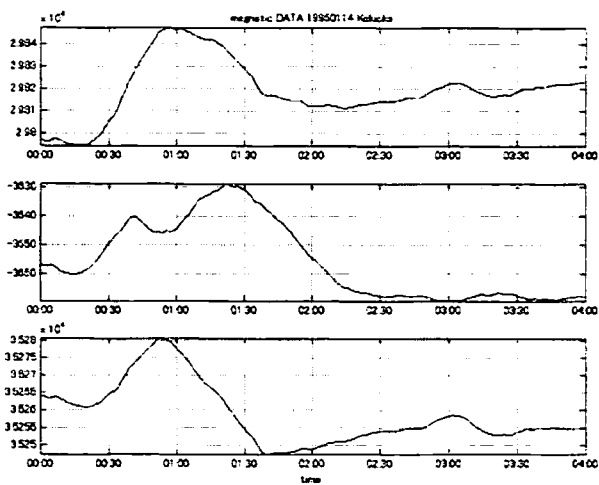
塩崎ほか (1998) では、まず、30 秒から 5120 秒を通すバンドパスフィルターを適用しノイズの少ないデータを選出して、FFT 法 ($N=512$, $DT=10$ 秒) により各周波数成分のフーリエスペクトルを求め、周波数領域のスタッキングを行うことで推定精度を高める手法がとられている。しかし、根雨に関しては、推定誤差が大きく構造解析に使用できる結果が得られていない。

地磁気擾乱が起こっている期間の根雨と郡家の夜間値の記録を図 3 に示す。また、柿岡の地磁気 3 成分のデータを図 4 に示す。ノイズの小さい郡家のデータでは、地磁気 3 成分変化との対応が時系列上で確認できる。一方、根雨のデータでは 0 時から 1 時にかけて人工ノイズと考えられる矩形波形が多数混入しており地磁気擾乱との対応については明確ではない。

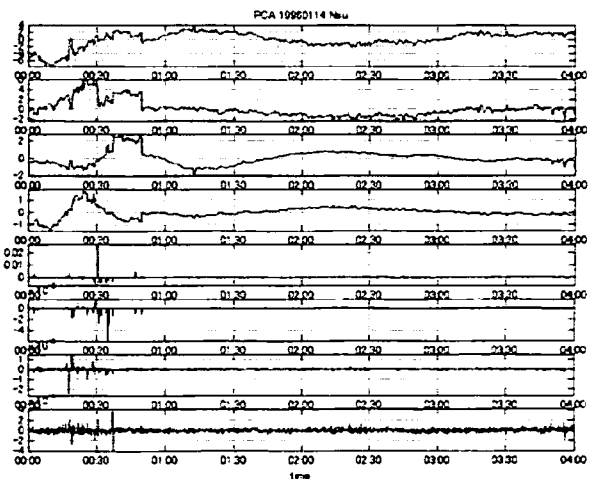
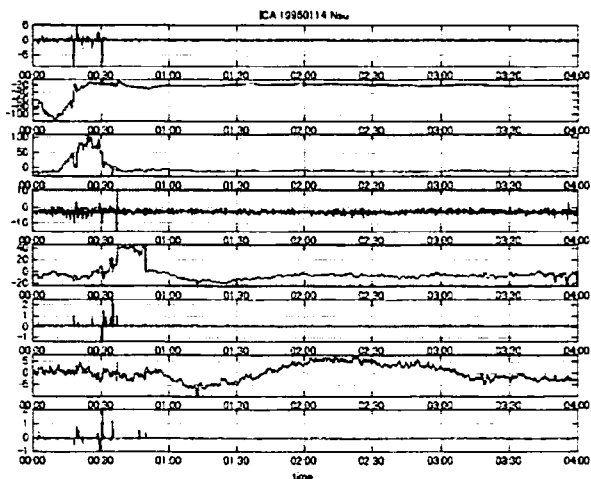
根雨ネットの CH1 (根雨-江尾) と CH4 (根雨-上石見) は、図 1 の観測線図より直線的に配置されている。0 時 20 分の矩形波形と 0 時 35 分から 50 分の矩形波形を比較してみると 0 時 20 分の波形はそれぞれ同じ方向に変動しているのに対して、0 時 35 分から 50 分の波形は逆方向に変化している。前者は根雨 (基点) 付近の電位が変化したことを示し、後者は広域で測線延長方向に電位が変化したことを示していると考えられる。



第3図：生データ (mV) (1996年1月14日 JST0:00~4:00) 左図：根雨ネット 右図：郡家ネット



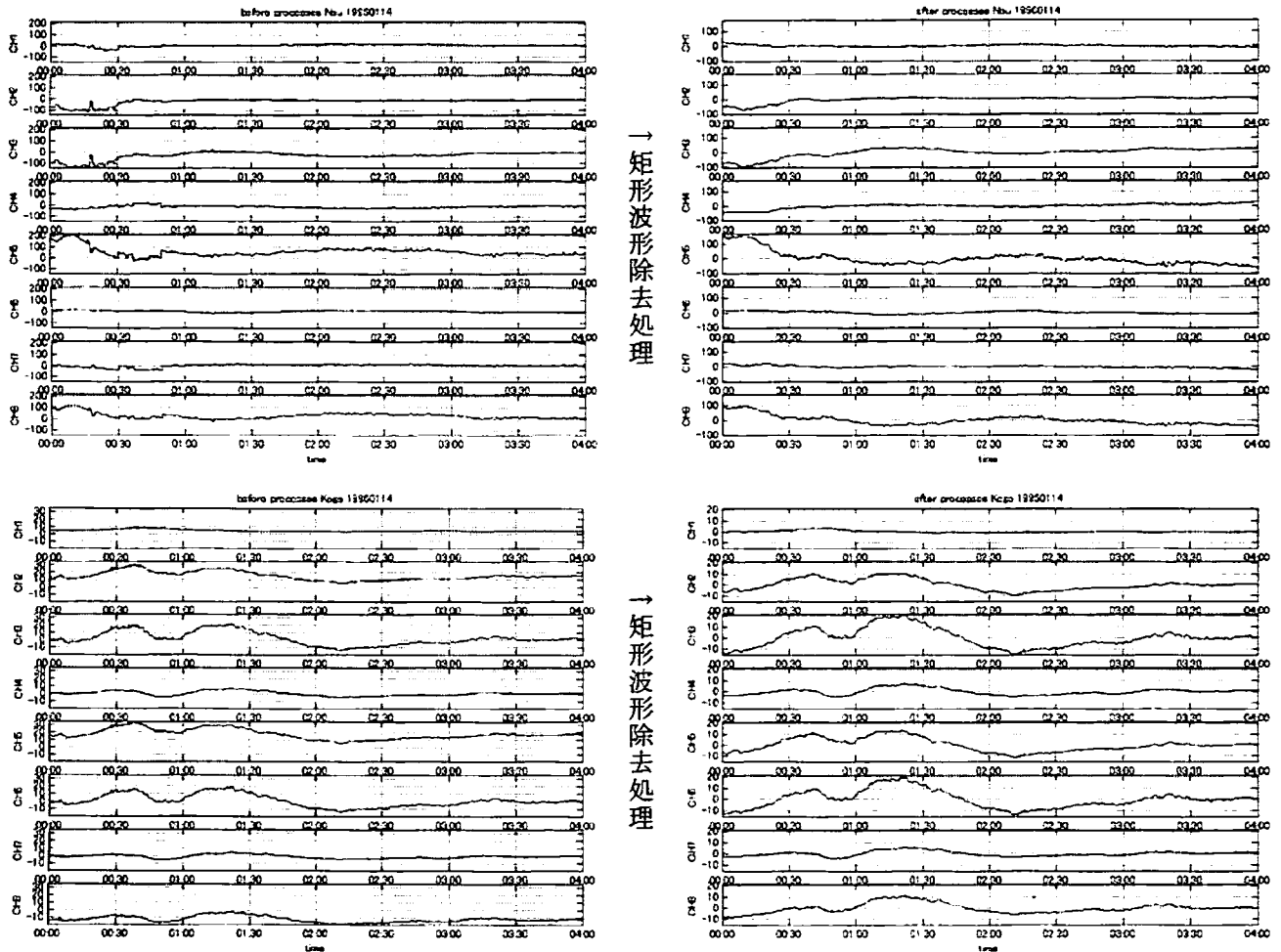
第4図：柿岡 磁場データ (nT)
(1996年1月14日 JST0:00~4:00)
上段：Hx 南北成分
中段：Hy 東西成分
下段：Hz 垂直成分



第5図：多変量解析適用例 根雨ネット(1996年1月14日 JST0:00~04:00) 左図：ICA 右図：PCA

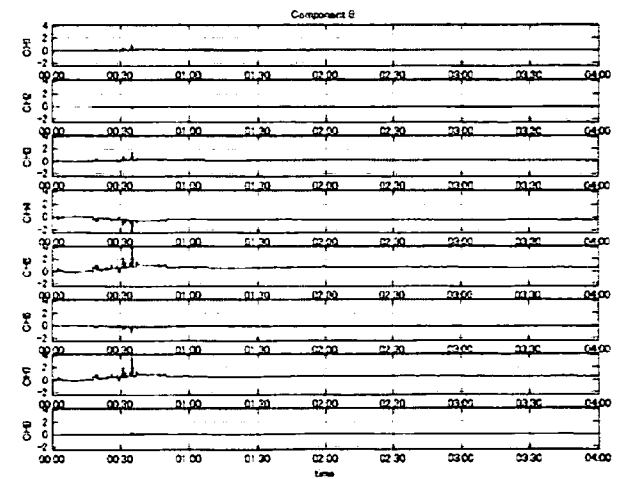
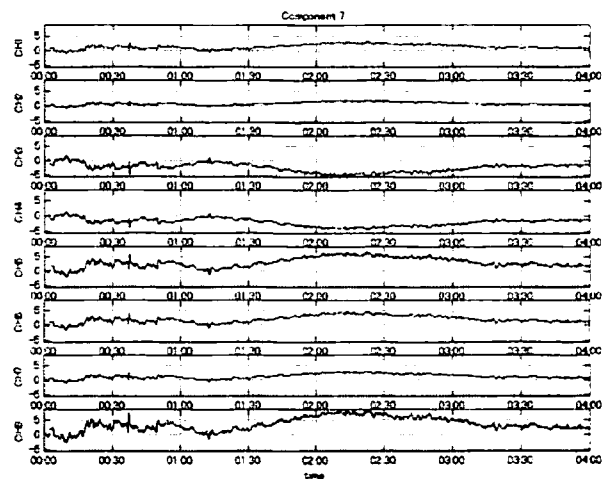
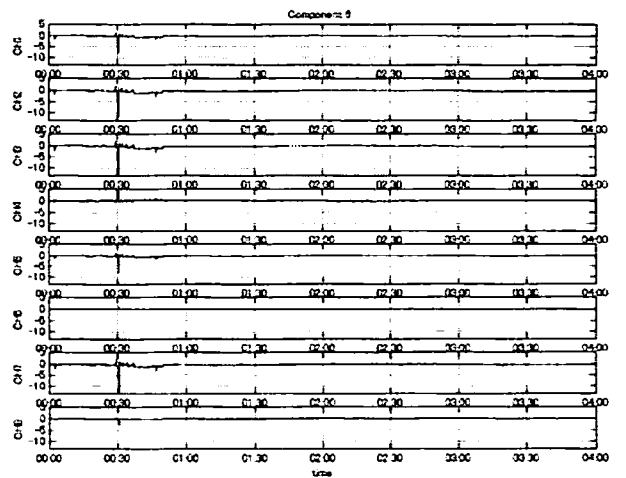
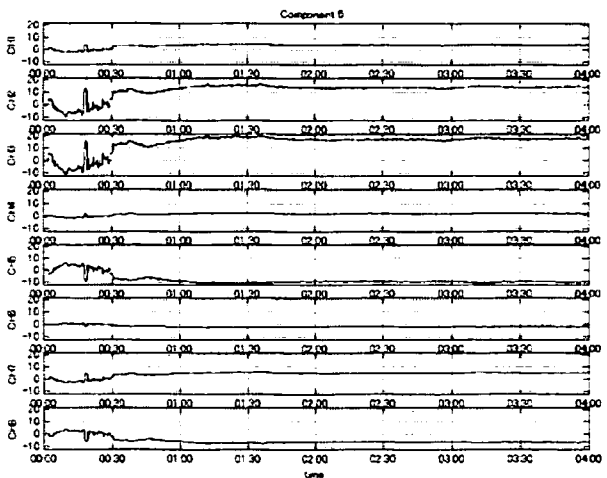
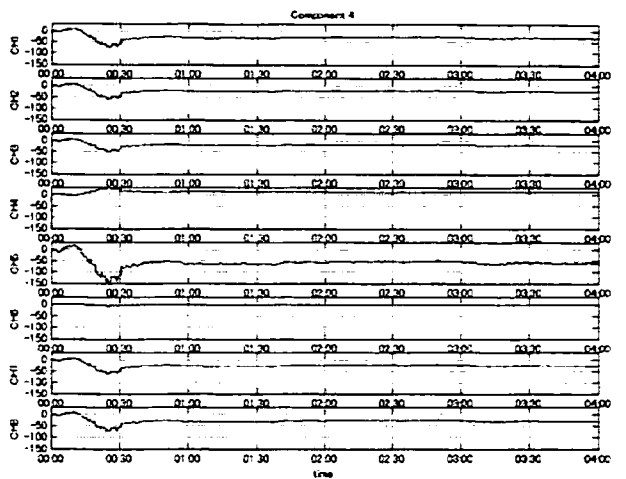
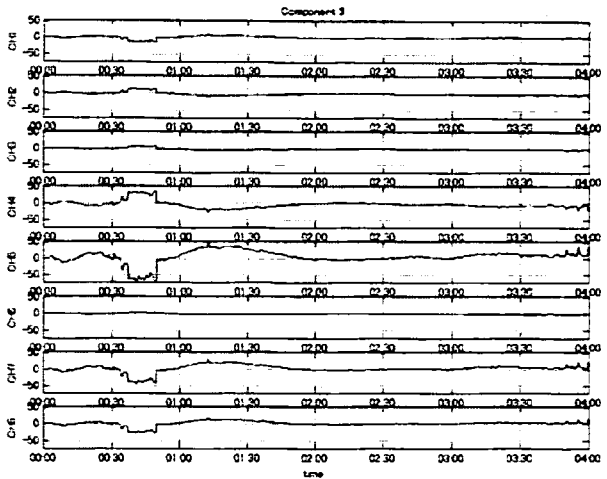
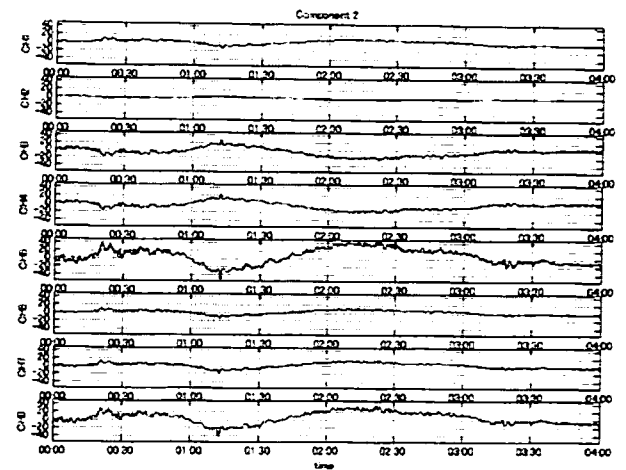
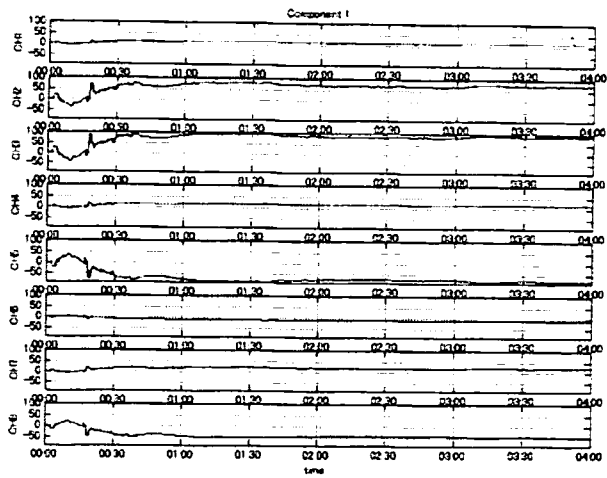
図5に独立成分分析の結果と比較のために主成分分析の結果を示す。図5左図の独立成分分析の結果では、0時20分の矩形波成分が、第2と第3成分に逆センスの波形として分離できているが、右図の主成分分析では、第1から第3成分に現れている。また、0時35分から50分の波形では、独立成分分析では第5成分のみに現れているが、主成分分析では第1から第4成分に混在してしまっている。この解析例では、独立成分分析の方が主成分分析より各成分を抽出する方法として有利であるように見える。しかしながら、どちらの解析でも地磁気3成分変化に対応する成分そのものが抽出できていない。矩形波状のノイズの影響が見られる。

人工ノイズと考えられる矩形波の除去に焦点を絞って以下の検討をおこなった。まず、矩形波の変化点での差分が際だって大きくなることから、それぞれのチャンネルの差分値を求め、それぞれに共通する変化点を抽出するために独立成分解析を使い独立成分を求めた。次にしきい値を決めてそれを超える値すなわち矩形上の波の立ち上がりと立下りに相当する部分を0にすることで矩形波の影響を取り除く。このしきい値は、ノイズの混入具合によって異なると考えられるが、ここでは各成分のデータの標準偏差をもとに 3σ (99.7%の確率)とした。また、理想的な矩形波形の場合ではしきい値を超える値だけを0にするだけで矩形波形を取り除けるが、実際にはくずれた矩形波形が多く、変化点での微分値の値が際だって大きくなり幅を持って変化するので0にする微分値のしきい値の前後の2個、つまりしきい値にかかっている値を含めて5個の値を0にしている。そして、このように矩形波の影響を取り除いた成分から元の信号を復元して積分値を求めそれぞれのチャンネルに復元する。



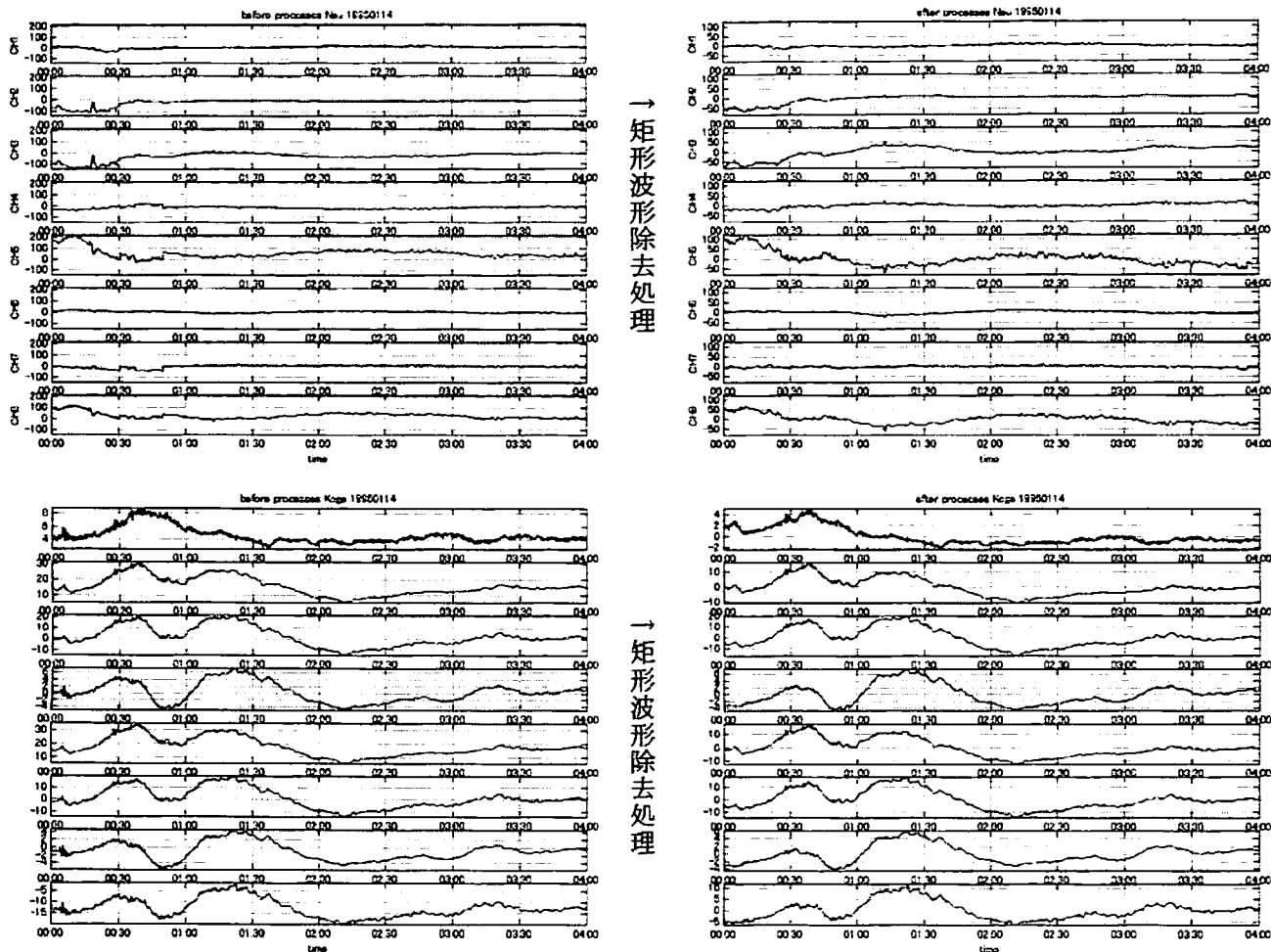
第6図：矩形波除去処理例1 郡家 根雨ネット(1996年1月14日 JST0:00~04:00)
 左上図：根雨処理前のデータ 右上図：根雨処理後のデータ 左下図：郡家処理前のデータ 右下図：郡家処理後のデータ

図6に処理例を示す。図6の左上図と右上図を比較すると根雨のデータでは、矩形波がほぼ取り除けているが、4時頃のデータの末尾においてずれが生じている。また、図6の左下図と右下図を比較すると郡家のデータにおいても0時30分から0時50分までの波と1時から1時30分までの波においては、処理前と処理後では明らかに振幅の大きさが異なっている。よって一つの成分が各チャンネルにどのぐらい影響を与えているのかを調べ、それぞれの成分で適切なしきい値を決める必要がある。そこで各成分の寄与度を調べるために、一つの成分以外を0にしてその状態で元のデータを復元することでそれぞれのチャンネルにそれぞれの成分がどれだけ含まれているのかを求めてみる。



第7図：各成分の寄与度 根雨ネット(1996年1月14日 JST0:00~04:00)

図7に各成分の各チャンネルへの寄与度を示す成分が抽出できていることがわかる。それぞれの成分にはそれぞれ独立した矩形波成分が抽出できていることがわかる。一律にしきい値を適用すると波形の歪みなどの問題点が起こる。微分波形において矩形波形が多く含まれるほど急激に変化する波が増えて尖度が大きくなることを利用して、矩形波を多く含む成分ほどしきい値を小さく、矩形波が少ない成分ほどしきい値を大きくして処理を試みる。



第8図：矩形波除去処理例2 郡家 根雨ネット(1996年1月14日 JST0:00~04:00)

左上図：根雨処理前のデータ 右上図：根雨処理後のデータ 左下図：郡家処理前のデータ 右下図：郡家処理後のデータ

微分してから独立成分解析により分解したそれぞれの成分での尖度を求めたところ、根雨の場合 5.4~452 になった。第7図の各成分の寄与度から矩形波成分を除去できるようなしきい値を決めてみた。試みに尖度 100 以上はしきい値 2σ ，尖度 30~100 はしきい値 3σ ，尖度 30 未満はしきい値 4σ とした。第6図と比べると、まだ矩形波成分が残っている。特に根雨のデータでは、1時15分の矩形波成分が残っていて、処理前のデータではほとんど目立たなかったのに対して処理後のデータには振幅が大きくなっている。また、処理後の CH5 の3時55分には処理前にはない矩形波が現れている。

郡家のデータについてはとくに全体の波形に大きな変化はなく、矩形波成分も0時付近のものが除去できている。

4 まとめ

単純に生データに多変量解析を適用するだけでは、S/N比の良くないデータから良い結果は得られない。そこで明らかに人工ノイズ成分である矩形波の除去を試みた。変化点での差分が際だって大きくなるという矩形波形の特徴に注目することで独立成分解析を使いそれぞれの矩形波成分だけを抽出し、それらを取り除いてから再び復元する手法を用いた。分解したそれぞれの矩形波成分の差分が0になるようにしきい値を決めることで矩形波の除去を試みた。しかし、小さくしすぎても矩形波形以外の波形にまで影響を与えてしまい、大きすぎても矩形波形を十分に取り除くことができなかった。そこで適切なしきい値の組み合わせを決めるために各成分の寄与度を調べた。矩形波の多寡を見積れる尖度を使い、尖度にあわせてしきい値を変えることで、元の波形を崩さず矩形波のみを除去できると考えた。その結果、ほとんどの矩形波は元の波形に影響なく取り出すことができた。

今後の課題として、今回は矩形波のみを補正する目的でしきい値を超えるものを0にして矩形波の差分をなくしてきたが、このような時系列データには様々な波の構造が含まれていることを考慮すると必ずしもその方法は適切ではなく、前後の数値から補正值を求めて置き換える方が波の構造に与える影響は少ないと考えられるので、補正值の導入を考える必要がある。また、矩形波の除去だけでは、人工ノイズの一部を取り除いたにすぎない。今回の手法では取り除けなかった人工ノイズを取り除く方法をさらに検討する必要がある。

参考文献

Aapo Hyvarinen and Erkki Oja, ICA tutorial, Helsinki University of Technology, 2001

甘利俊一・村田昇, 独立成分分析, サイエンス社, 2002

森俊雄, 長基線地電位試験観測, 気象研究所研究報告, 36, 149-155. 1985

塩崎一郎, 西垣俊宏, 山口高広, 村上英記, 大志万直人, 上嶋 誠, 山口 覚, 歌田久司, 西田良平, 住友則彦, 中国地方におけるネットワークMT法観測, 地震研究所彙報.73.319-344. 1998.

上嶋誠・仲山洋・西田泰典・歌田久司, ネットワークMT法による地下電気伝導度構造探査, 月刊地球, 14, 551-558, 1992

上嶋誠・歌田久司, ネットワークMT法観測の概要, Conductivity Anomaly 研究会 1993年論文集, 15-21, 1993