

ICAを用いた2観測点の地電流データに影響を及ぼす 電車ノイズの抽出とその統計的評価

沢 小百合[◇] 小金山 美賀^{*} 庄野 逸[‡] 長尾 年恭[†] 城 和貴[◇]

sayuri03@ics.nara-wu.ac.jp

[◇] 奈良女子大学理学部情報科学科 * 奈良女子大学大学院人間文化研究科

[‡] 山口大学工学部知能情報システム工学科 [†] 東海大学 地震予知研究センター

概要

近年、地震発生直前予測の有効な手法の1つとして、地電流データ中に観測される異常電流の検出が注目されている。この異常電流は地震発生の数週間から数日前に観測されると言われていることから、地震前駆的シグナルと呼ばれている。我が国では電車ノイズの影響で、前駆的シグナルの検出が困難となっている。本研究では、ICA(独立成分分析:Independent Component Analysis)を用いて、独立信号であると考えられる電車ノイズの自動分離を試みている。これまでの実験で、長野県松代観測点の地電流データにICAを適用すると電車ノイズを分離できることが確認されている。本稿では、同じ電車ノイズの影響を受けると考えられる2観測点の地電流データにそれぞれICAを適用し、両観測点から同じ電車ノイズが抽出できるかどうかの実験と実験結果の統計的な評価を行った。

Extraction of Train Noise affects Telluric Current Data at Two Different Observation Points by ICA and Its Statistical Evaluation

Sayuri Sawa[◇] Mika Koganeyama^{*} Hayaru Shouno[‡] Toshiyasu Nagao[†] Kazuki Joe[◇]

[◇] Nara Women's University, Faculty of Science, Department of Information and Computer Sciences

^{*} Nara Women's University, Graduate School of Human Culture

[‡] Yamaguchi University, Faculty of Engineering, Computer Science and Systems Eng.

[†] Tokai University, Earthquake Prediction Research Center

Abstract

The method of detecting irregular changes of electric current in Telluric Current Data (TCD) has attracted notice recently as an effective method for short-term earthquake prediction. We call such irregular changes Seismic Electric Signals (SEs), which are sometimes observed before earthquake. However, since most of the TCD collected in Japan is affected by train noise, detecting SEs in TCD itself is considered as an extremely arduous job. The purpose of our research is to separate train noise and SEs automatically by ICA. Train noise and the SE are considered as independent source signals. It has been confirmed by our experiments that train noise observed at Matsushiro, Nagano can be separated by ICA. In this paper, we apply ICA to TCD observed at two different observation points which seems to contain the same train noise and evaluate the results by a statistical method.

1 はじめに

過去10年間で、我が国に大きな被害をもたらした大地震は6回を数えている。特に6千人以上もの死者を出した阪神淡路大震災は記憶に新しい。このような規模の大きい地震が頻繁に起こる我が国では、地震発生直前予測の早期実現が切望されている。しかし、過去に起こった地震のデータを元に統計的に予測を行うという旧来の方法では、数日～数週間前といった発生直前の予測は困難である。そのため、地震発生直前予測の実現には、従来とは異なる手法を用いる必要がある。東海大学地震予知研究センターでは、様々な電磁気学的な地震直前予測研究が行われている[1]。その中でも、我々が注目しているのは

地電流観測を用いた手法である。地電流とは地球の表面を常に流れる微弱な電流のことであり、2地点間の電位差を測定したものである。地電流データ中に、地震発生の数週間から数日前に異常電流が観測されることがある。我々はこの異常電流を地震前駆的シグナルと呼んでいる。前駆的シグナルを利用すれば、地震発生直前予測が可能であると考えられている。実際に、ギリシャでは、地電流データを利用した地震直前予測の成功例が数多く報告されている[2]。

しかし、我が国において地電流データを利用して、直前の地震発生予測を行うためには大きな問題点がある。その問題点とは、地電流データ中に多く含まれる電車によるノイズである。電車ノイズは前駆的

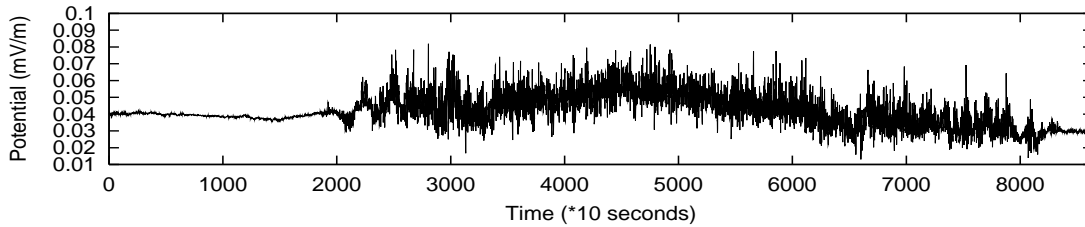


図 1: 地電流データ (福井県・笹谷観測点 dp.1, 2000 年 1 月 18 日)

シグナルよりパワーが強いノイズなので、前駆的シグナルを隠してしまう。そのため、我が国では目視により前駆的シグナルを検出し、地震発生直前予測を行うことは困難であると考えられている。

このような背景から、我々は地電流データに工学的手法を適用して、自動的に地震発生直前予測を行う研究に着手している。本研究では、独立した信号が混ぜ合わさった信号を各独立成分に分離する技術である ICA を利用する [3]。電車ノイズや前駆的シグナルは、発生源が異なっていることから、独立信号であると考えられる。地電流データは、電車ノイズや前駆的シグナルのような独立信号が混ざり合っているデータであると考えられる。よって、ICA を地電流データに適用することによって、電車ノイズや前駆的シグナルを分離できることが期待される。これまでの実験で、長野県・松代観測点の地電流データに ICA を適用したところ、電車ノイズを分離できることが確認された [4]。また、人工的に生成したデータではあるが、前駆的シグナルを含んだ電車ノイズからの、電車ノイズと前駆的シグナルの分離にも成功している [4]。しかし、これまでは 1 つの観測点の地電流データに ICA を適用しただけであったため、正確に電車ノイズのみを分離しているのかどうかの判断が困難であった。そこで本稿では、同じ電車ノイズの影響を受けると考えられる福井県の 2 観測点、笹谷観測点と池田観測点で観測された地電流データに ICA を適用し、両観測点から同じ電車ノイズが抽出されるかどうかの実験結果を示す。また、実験結果の統計的な評価を行う。

2 ICA の地電流データへの適用

2.1 地電流データ

地電流データの観測点は東海・北陸地方を中心に、平成 10 年度までに 42 地点設置されている。各観測点には、8 本または 16 本の測線がそれぞれ異なった方向に配置されている。これらの測線は dp.1, dp.2, ..., dp.16¹ とする。データは 10 秒ごとに観測され、1 日 1 回地震予知研究センターに転送され、dp. ごとに時系列データグラフで表される。例えば図 1 は、福井県・笹谷観測点で 2000 年 1 月 18 日に観測された dp.1 の地電流データである。グラフの縦軸は電位 (mV/m)、横軸は時間 (× 10 秒) を示す。

¹dp. は dipole の略である

2.2 2 観測点の地電流データへの適用

本実験で使用する地電流データが観測される、福井県・笹谷観測点と池田観測点の位置関係を表す地図を図 2 に示す。笹谷観測点と池田観測点は、福井鉄道福武線浅水駅からそれぞれ西約 10km、東約 18km に位置している。観測点の位置関係から、この 2 観測点の地電流データは、共に福井鉄道福武線を走る電車の影響を受けていると考えられる。



図 2: 笹谷・池田観測点の位置関係を表す地図

入力データには、2000 年 1 月 18 日 20 時 50 分から 22 時 30 分の地電流データで、測線の設置方向が平行ではない、笹谷 {dp.1, dp.5, dp.7}, 池田 {dp.1, dp.2-6, dp.4} を使用する。池田観測点の dp.2-6 は、dp.2 のデータ値から dp.6 のデータ値を引いたデータである。dp.2-6 を利用する理由は、池田観測点では設置方向が平行ではない測線が 2 本しかないためである。dp.2 と dp.6 の測線を利用して、平行ではない測線を仮想的に生成した。図 3 と図 4 は、それぞれ笹谷観測点 (dp.1) と池田観測点 (dp.4) の入力データである。この 2 観測点の入力データに対して ICA を適用する。

2.3 実験結果

2.2 節で述べた各観測点の入力データに ICA を適用した結果を、それぞれ図 5 と図 6 に示す。図 5 と図 6 のデータを推定独立成分

$$ssj_y(t) = (ssj_y1(t), ssj_y2(t), ssj_y3(t))$$

$$tij_y(t) = (tij_y1(t), tij_y2(t), tij_y3(t))$$

と定義する。ssj は笹谷観測点、tij は池田観測点を表

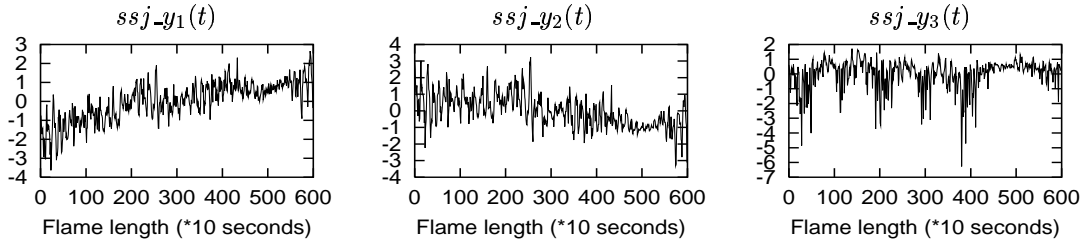


図 5: 推定独立成分 $ssj_y(t)$ (笹谷)

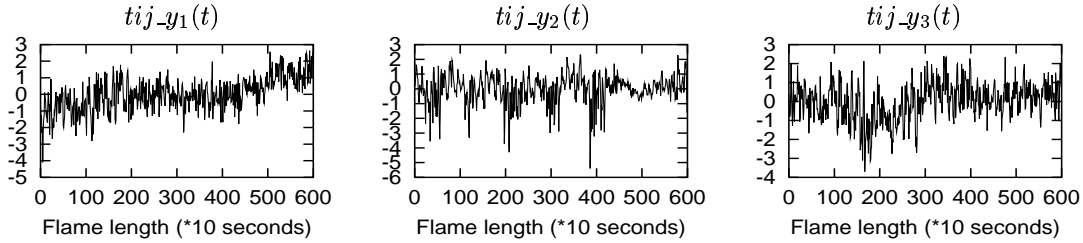


図 6: 推定独立成分 $tij_y(t)$ (池田)

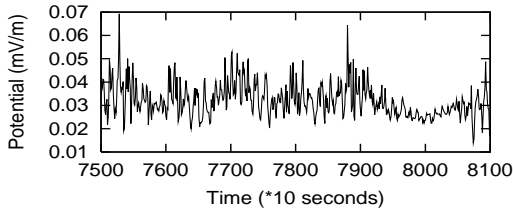


図 3: 入力データ (笹谷観測点 dp.1)

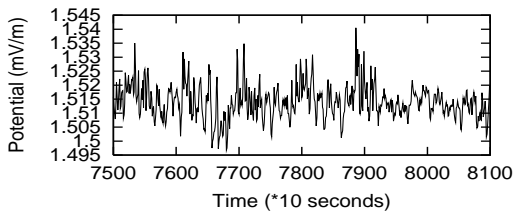


図 4: 入力データ (池田観測点 dp.4)

す。横軸はフレーム長で、サンプリングタイム 10 秒とした点の数を表すものとする。縦軸の単位は ICA の性質上、一意に決定することができない。図 5 と図 6 から、 $ssj_y_3(t)$ と $tij_y_2(t)$ に電車ノイズと推測されるデータが出力されている。さらに、 $ssj_y_3(t)$ と $tij_y_2(t)$ の波形が極めて類似していることから、同じ電車ノイズを抽出していると考えられる。

3 相互相関関数による統計的評価

3.1 統計的評価の手法

2 章の実験から、各観測点の推定独立成分の 1 つに電車ノイズと推測できるデータが抽出され、波形も類似していることが目視により確認できた。そこで、これらの波形がどれほど類似しているのかを検証するため、相互相関関数を用いて統計的な評価を行う。

相互相関関数は、2 つの信号 $x(t), y(t)$ のうち一方の信号 $y(t)$ を τ だけ遅延させた時のずれ量 τ を変数に持つ関数で、次式のように定義される。

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt \quad (1)$$

式 (1) を用いて、笹谷観測点と池田観測点の入力データおよび 2 章で得られた推定独立成分の相互相関関数をそれぞれ求める。なお、データの平均値を 0 にするため、それぞれの時系列データから線形トレンドを除去した。

その結果を図 7 および図 8 に示す。縦軸は相関係数、すなわち 2 信号の類似度を表し、横軸はラグ数、すなわち 2 信号のずれ時間 ($\times 10$ 秒) を表している。例えば、図 7 の $ssj1_tij1$ は笹谷 dp.1 の入力データに対して、池田 dp.1 の入力データを τ ずつずらした場合の相関関数を表し、図 8 の、 $ssjy1_tjy1$ は笹谷の推定独立成分 $ssj_y_1(t)$ に対して池田の推定独立成分 $tij_y_1(t)$ を τ ずつずらした場合の相関関数を表している。

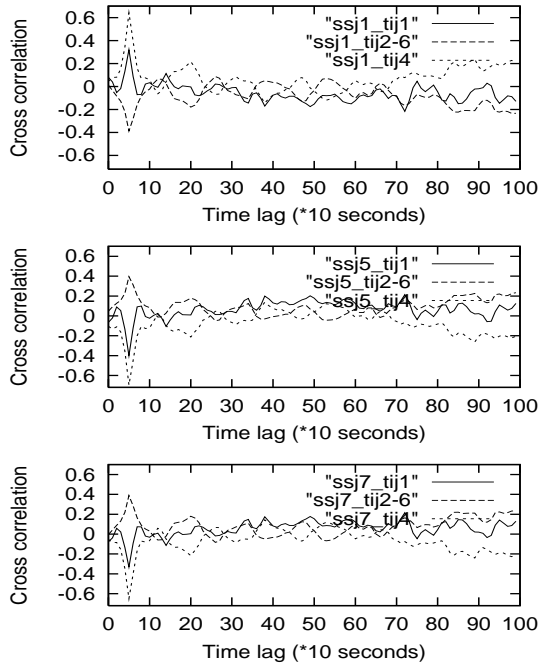


図 7: 入力データにおける相互相関関数

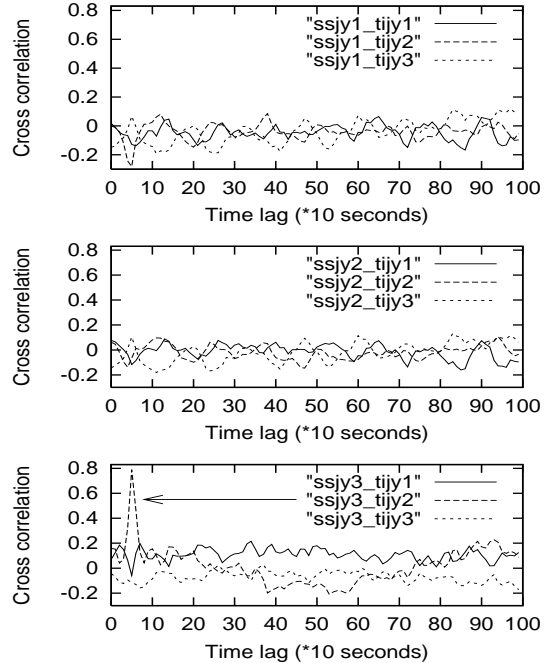


図 8: 推定独立成分における相互相関関数

3.2 考察

図 7 より、入力データの相関関数は、すべてピークが同じだが、ピーク時の相関係数が低いため、各入力データの相関は低いといえる。一方、図 8 より、 $ssj-y_3(t)$ と $tij-y_2(t)$ 以外の相関係数は、入力データの相関係数よりも低くなっているのに対し、 $ssj-y_3(t)$ と $tij-y_2(t)$ の相関係数は極めて高い。つまり $ssj-y_3(t)$ と $tij-y_2(t)$ は類似性が高く、ほぼ同じ信号である可能性が高い。 $ssj-y_3(t)$ と $tij-y_2(t)$ は、2 章で確認した電車ノイズと推測されるデータである。したがって、ICA によって、笹谷・池田観測点の地電流データに影響を及ぼす同じ電車ノイズを抽出することができたのではないかと考えられる。

また、 $ssj-y_3(t)$ と $tij-y_2(t)$ の相関のピークは、 $tij-y_2(t)$ を約 50 秒ずらしたときである。つまり、池田観測点では、笹谷観測点よりも約 50 秒遅れて電車ノイズを観測していると考えられる。観測時間にずれが生じるのは、福井鉄道福武線から笹谷観測点・池田観測点までの距離の差による電流伝達の遅れが原因ではないかと、現在検証中である。

4 結論

本稿では、同じ電車の影響を受けるとされる福井県の 2 観測点、笹谷観測点と池田観測点の地電流データに ICA を適用し、得られた推定独立成分の相互相関関数を求めた。その結果、各観測点とも 3 つの推定独立成分のうち 1 つに、電車ノイズと推測される信号が出力された。さらに、それらの信号の相関係数は非常に高いことが分かった。2000 年 1 月 12

日から 1 月 17 日の地電流データで、同様の実験を行ったが、本稿で行った実験とほぼ同様の結果が得られた。本実験では、その他の推定独立成分については、どのような成分なのか推測することはできなかった。しかし、本実験によって、少なくとも電車ノイズに関しては、高い可能性で正確に分離できることが確認できたことから、今後、電車ノイズを除去したデータから前駆的シグナルを検出することが期待できる。

今後の研究課題は、笹谷・池田観測点の複数の日や、他の観測点の地電流データに対して同じ実験を行い、同様に電車ノイズが分離可能であるかを検証することである。さらに、電車ノイズ除去後のデータを解析することによって、実際の地震前駆的シグナルを検出することができないかを確認する予定である。

参考文献

- [1] <http://yochi.iord.u-tokai.ac.jp/>
- [2] 長尾年恭. 地震予知はできるか?—地電流による地震予知—. 日本混相流学会誌, 9 巻, 2 号, pp.98–104(1995).
- [3] 村田昇. 連載 独立成分解析. *Computer Today*, No.89, pp.55–61, サイエンス社 (1999).
- [4] 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および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*, Vol. 43, No. SIG7, pp. 92–104(2002).