

## 短期地震予知を目的とした地電流データへのICAの適用と評価

小金山 美賀\* 庄野 逸\* 長尾 年恭† 城 和貴\*

*kogane@ics.nara-wu.ac.jp*

\* 奈良女子大学大学院人間文化研究科 † 東海大学 地震予知研究センター

### 概要

地電流データ中には、地震前兆シグナルと呼ばれている異常電流が観測されることがある。近年、地電流データからの地震前兆シグナルの検出は、短期地震予知の有効な手法の1つとして注目されている。しかし、我が国では地電流データ中の多くに観測されている電車ノイズの影響で、地震前兆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や地震前兆シグナルの自動分離を試みている。これまでに、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実験によって確認されている。本稿では、他の観測点でも電車ノイズを分離可能であるかを検証するために、松代観測点よりも電車の本数が多い福井県・笹谷観測点の地電流データにICAを適用し、その結果と評価について報告する。

## Analysis of Telluric Current Data for Short-term Earthquake Prediction - Applications and Evaluations by ICA -

Mika Koganeyama\* Hayaru Shouno\* Toshiyasu Nagao† Kazuki Joe\*

\* Nara Women's University, Graduate School of Human Culture

† Tokai University, Earthquake Prediction Research Center

### Abstract

Seismic electric signals (SEs) are sometimes contained in telluric current data (TCD). The method of detecting SEs in TCD has attracted notice recently as an effective method for short-term earthquake prediction. However, since most of the TCD collected in Japan is affected by train noise, therefore detecting SEs in TCD itself is considered as an extremely arduous job. The goal of our research is to obtain a method for detecting SEs, which is difficult because of train noises. The SE and train noise are considered as independent source signal. Therefore we tried to apply ICA (Independent Component Analysis) to several TCDs. We have already confirmed that train noises could be separated from several TCDs at Matsushiro, Nagano. In this paper, we apply ICA to TCD at Sasadani, Fukui in which there are more train noises than Matsushiro, and evaluate the results.

## 1 はじめに

地震国である我が国では、特に阪神大震災以来、地震予知の早期実現が切望されている。旧来の地震学の枠組の中では、地震予知とは過去に起こった地震を基に統計的に予測を行うことを指している。しかし、この統計的手法では、数週間後や数ヶ月後といった短期的な地震予知は困難であると言われている[1]。そのため、短期地震予知の実現には、従来までとは異なる手法を用いる必要がある。理化学研究所地震国際フロンティア[2]では、様々な電磁気的手法を用いて短期地震予知の実現を目指しているが、その中で我々は地電流観測を用いた手法に注目している。地電流とは、地球表層部に流れる微弱な直流

電流のことである。地電流データには地震前兆を示すシグナルが含まれていることがあり、このシグナルを利用すれば、短期地震予知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短期地震予知が成功した例が報告されている[3]。

しかし、我が国で地電流データを利用して短期地震予知を行うにあたっての最大の問題点は、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。電車ノイズは地震前兆シグナルよりパワーが大きなノイズなので、地震前兆シグナルを隠してしまう。このような理由により、我が国では目視によって地震前兆シグナルを検出し、短期地震予知を行うことは困難であると考えられている。

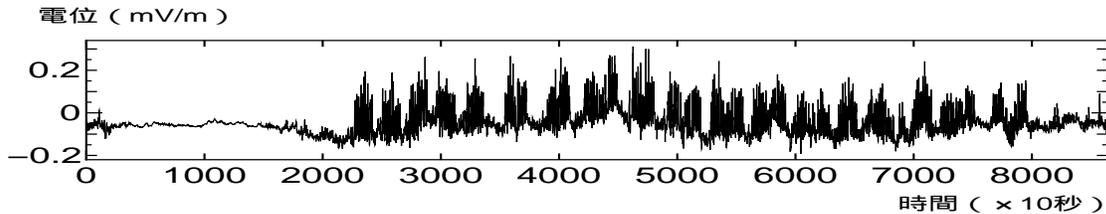


図 1: 地電流データ (長野県・松代観測点 dp.2, 1999 年 8 月 20 日)

このような背景から、我々は専門家による手作業ではなく、地電流データに工学的手法を適用して、自動的に短期地震予知を行う研究に着手している。これまでにニューラルネットを用いた地電流データからの電車ノイズ除去 [4] や、LVQ を用いた特定地域の地電流データからの地震前兆シグナルの検出 [5] などの研究を行ってきた。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 [6]。電車ノイズや地震前兆シグナルは、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、電車ノイズや地震前兆シグナルのような独立信号が何らかの割合で混ざり合っているデータであると考えられるので、ICA を地電流データに適用することによって、電車ノイズや地震前兆シグナルを分離できると思われる。これまでに、電車ノイズが最も鮮明に観測されている観測点の 1 つである長野県・松代観測点の地電流データに ICA を適用したところ、電車ノイズを分離可能であることが確認されている [7]。

そこで、本稿では他の観測点においても ICA によって、電車ノイズを分離可能かどうかを検証するために、松代観測点よりも電車の本数が多い福井県・笹谷観測点の地電流データに ICA を適用し、その結果と評価について報告する。

## 2 地電流データ

### 2.1 観測方法

地電流データは、深さ約 2m に埋設された長さ 40cm、太さ 3cm 程度の鉛 - 塩化鉛平衡電極を用いて、2 地点間の電位差を測定したものである。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。これらの測線を dp.1, dp.2, ..., dp.16<sup>1</sup> とする。データは 10 秒ごとに観測され、1 日 1 回地震国際フロントティアに転送されて、dp. ごとに時系列データグラフで表される。例えば図 1 は、長野県・松代観測点で 1999 年 8 月 20 日に観測された dp.2 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

<sup>1</sup>dp. は dipole の略である

間 (× 10 秒) を示す。

### 2.2 電車ノイズ

電車ノイズの発生には規則性があり、形状にも類似性があることから、地電流データとその地電流データが観測された観測点付近の電車の時刻表を利用することによって、電車ノイズを特定することができる。例えば、図 1 の地電流データと長野電鉄松代駅の時刻表を使って、6 時 31 分の始発電車に該当する電車ノイズを特定すると、図 1 は横軸 0 秒のときが 0 時を表し、1 点が 10 秒に相当するので、図 2 の部分となる。

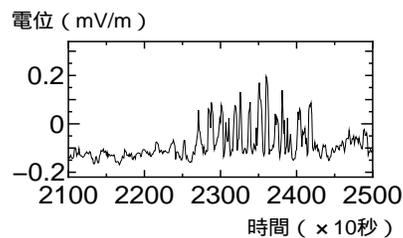


図 2: 電車ノイズ (1999 年 8 月 20 日, dp.2)

### 2.3 地震前兆シグナル

岩石に圧力をかけると、岩石が破壊する前に電流が流れることが室内実験により明らかにされている [8][9]。地震も一種の岩石破壊現象であるため、大地震が起こる前にも地中に電流が流れると考えられる。我々は、その異常な電流変化を地震前兆シグナルと呼んでいる。図 3 は、松代観測点で 1999 年 1 月 17 日の午前 1 時半ごろに観測された dp.2 の地震前兆シグナルである。この地震前兆シグナルは、観測された時間帯が電車の走っていない深夜であったことから確認することができた。

地震前兆シグナルと呼ばれている波形の特徴としては、1) 片振幅の波形である、2) シグナルの立ち上がり方は急激でも、終わりは急激ではない、3) 継続時間は 10 秒から数十分、まれに数時間、といったことが経験的に知られている。

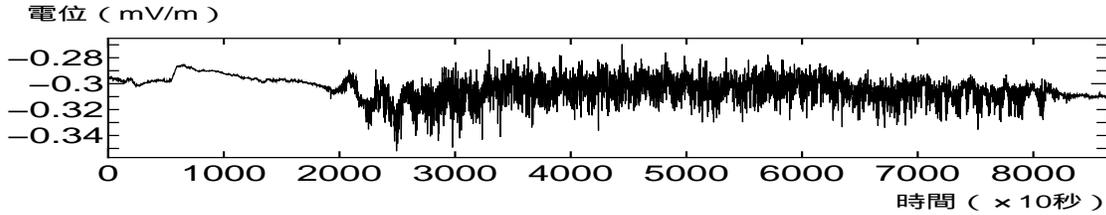


図 4: 地電流データ (福井県・笹谷観測点 dp.7, 2000 年 1 月 15 日)

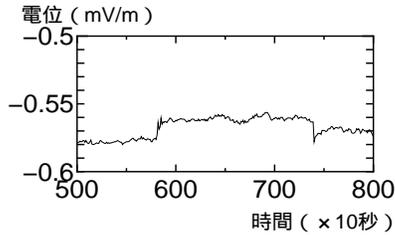


図 3: 地震前兆シグナル (1999 年 1 月 17 日, dp.2)

地震前兆シグナルの検出によって実際に行われた短期地震予知の例として、1993 年に起こったギリシャ・ピルゴス市の大地震についての予知がある。この地震予知情報によって、地震による被害は大きく軽減された [3]。このような具体的事例から、地電流データを用いた地震予知が極めて有効であるということが分かっている。

しかし、我が国では地電流データに多くの電車ノイズが含まれているため、地震前兆シグナルが電車ノイズと重なり、隠れてしまうことが多い。そこで、我々は地電流データに ICA を適用し、電車ノイズや地震前兆シグナルを分離することを試みている。

### 3 ICA の地電流データへの適用

#### 3.1 これまでの実験

これまでに ICA を適用した地電流データは、長野県・松代観測点で観測されたものである。松代観測点の地電流データは最も鮮明に電車ノイズが観測される観測点の 1 つで、ICA によって電車ノイズを分離する目的で実験を行なった。その結果、電車ノイズを分離可能であることが判明し、パワーの大きな電車ノイズを分離することによって、地震前兆シグナルを検出できる可能性が高くなった [7]。しかし、ICA を短期地震予知の実用的な手法として用いるためには、他の観測点の地電流データについても電車ノイズを分離可能かどうかを検証する必要がある。

そこで、本稿では他の観測点の 1 つである福井県・笹谷観測点の地電流データに ICA を適用する。笹谷

観測点は、松代観測点よりも 1 日に走る電車の本数が多く、典型的な電車ノイズの波形が認識できない。このような地電流データからも電車ノイズと思われるパワーの大きな成分を分離できるかどうかを検証する。

#### 3.2 笹谷観測点の地電流データへの適用

本実験で使用するデータは、福井県・笹谷観測点で 2000 年 1 月 15 日に観測された地電流データである。ICA の手法や入力データ数は、松代観測点での実験と同様である [7]。入力データには、測線の設置方向が並行ではない dp.1, dp.5, dp.7 の地電流データを使用する。図 4 は、dp.7 の地電流データである。入力データは、地電流データを 0 時から 1 時間半 (5,400 秒) ずつに分割して作成する。例えば、図 5 は、21 時 (75,600 秒) から 22 時半 (81,000 秒) までの dp.7 の地電流データをフレームに格納したものである。図 5 の縦軸は電位 (mV/m) を、横軸はフレーム長 (点) を示している。フレーム長は、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。

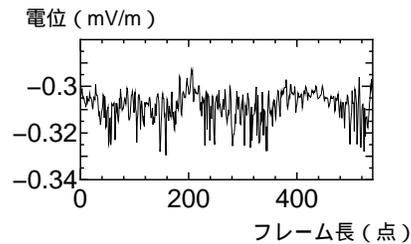


図 5: 入力データ (dp.7)

ICA からの出力データを独立成分  $y(t) = (y_1(t), y_2(t), y_3(t))^T$  と定義する。 $y(t)$  を長野県・松代観測点での実験と同様に、それぞれ dp.1, dp.5, dp.7 の信号空間に戻す [7]。図 6 は、図 5 の入力データに含まれる  $y_1(t), y_2(t), y_3(t)$  成分である。

#### 3.3 考察

図 6 から、 $y_1(t), y_3(t)$  成分は信号のパワーが大きいので、電車ノイズであると推測できる。また、

$y_1(t), y_3(t)$  成分のパワーがほぼ同じであることから、上り電車によるノイズと下り電車によるノイズに分離されていると考えられる。実際に、笹谷観測点に最も近い場所に位置する京福鉄道福武線浅水駅の時刻表と比較してみると、電車が発車する時刻と電車ノイズの波形が現われている時刻がほぼ一致していることが分かった。また、図5以外の時間帯の地電流データにも、電車が走っていない早朝・深夜を除いて、パワーが大きい2成分が含まれていた。

以上の結果から、電車の本数が松代観測点より多い笹谷観測点の地電流データからも電車ノイズを分離可能であることが判明した。笹谷観測点に関しても、パワーの大きな電車ノイズを分離することによって、残りのデータから地震前兆シグナルを検出する可能性が高くなったと言える。

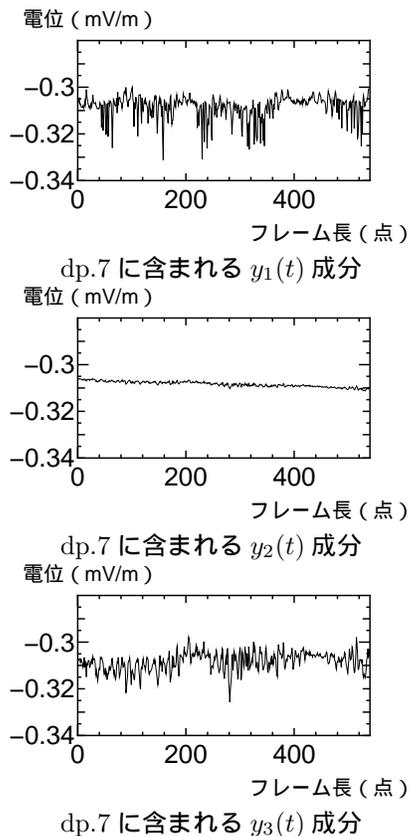


図 6: dp.7 に含まれる推定独立成分

## 4 結論

本研究は、ICA を用いて電車ノイズや地震前兆シグナルを地電流データから分離することによって、短期地震予知の自動化を行うことを最終目的としている。本稿では、これまでに ICA に適用した長野県・松代観測点の地電流データの他に、福井県・笹谷観

測点の地電流データを適用した。その結果、3つの出力データのうちの2つに電車ノイズであると推測できるパワーの大きな信号が出力された。以上の結果から、松代観測点よりも電車ノイズが多く観測されていると思われる地電流データからも、電車ノイズが分離可能であることが判明した。パワーの大きな電車ノイズを分離することができれば、地震前兆シグナルを検出する可能性が高くなる。よって、我が国での地電流データを用いた短期地震予知の実現に近づくことができたとと言える。

しかし、本実験で出力されたデータが本当に独立であるかどうかは、試行回数が少ないため未確認である。今後は、さらに多くの出力データをもとに独立性を検証する必要がある。

また、松代観測点では実際に地震前兆シグナルが確認されているが、笹谷観測点では確認されていない。そこで、過去に笹谷観測点付近で起こった地震の日周辺の地電流データを ICA に入力し、地震前兆シグナルが検出されないか検証することが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 長尾年恭. 地震予知研究の新展開, 近未来社 (2001).
- [2] <http://yochi.iord.u-tokai.ac.jp/>
- [3] 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).
- [4] 小金山美賀, 長尾年恭, 城和貴. ニューラルネットを用いた地電流データからの電車ノイズ除去, 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用, (印刷中) (2001).
- [5] Fukuda, K., Koganeyama, M., Shouno, H., Nagao, T., and Joe, K. Detecting Seismic Electric Signals by LVQ based Clustering, *PDPTA2001*, pp.1305-1311(2001).
- [6] 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).
- [7] 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, 信学技報, NC2001-47, pp.79-85(2001).
- [8] Yoshida, S., M. Uyeshima and M. Nakatani. Electric potential changes associated with slip failure of granite, Preseismic and coseismic signals, *J. Geophys. Res.*, 102, 14,883-14,897(1997).
- [9] Yoshida, S., O. C. Clint, and P. R. Sammonds. Electric potential changes prior to shear fracture in dry and saturated rocks, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1577-1580(1998).