

ICAを用いた新潟中越地震前駆的シグナルの抽出

石川 千里[†] 長尾年恭[‡] 城 和貴[†]

概要

本稿は、新潟県中越大地震が発生した2004年1年間に観測された地電流データに、信号分離の技術であるICAを適用し、地震前駆的シグナルの検出を試みた結果について報告するものである。地震の短期予知は、地震前駆的シグナルと呼ばれる矩形波の電流を検出することで可能になるといわれているが、我が国では地電流からの矩形波検出は、同じく地電流に含まれる電車のノイズの影響により困難とされている。しかし、地電流の電車ノイズ成分と矩形波との分離が可能となれば、地震前駆的シグナルの検出も容易になるはずである。我々は地電流にICAを適用することで、その地電流の成分分離を試みている。

Detecting Niigata earthquake's Seismic electric signals by using ICA

Chisato Ishikawa[†], Toshiyasu Nagao[‡], and Kazuki Joe[†]

Abstract

This article reports the result where we apply ICA(Independent Component Analysis) to telluric current data(TCD) that observed in 2004 when Niigata earthquake occurred, and detecte Seismic electric signals(SESs). Detecting SESs from TCD is an effective method for short-term earthquake prediction. In Japan, detecting SESs from TCD is considered as a difficult task because of train noise embedded in TCD. However, it becomes easy if we can separate train noise and SESs. Therefore, we investigate the application of ICA for the separation.

1 はじめに

東南海大地震が30年以内に起きるであろうといわれていることもあり、地震短期予知システムの早期実現が望まれている。現在、地震を短期的に予知する手法として、様々な電磁気学的手法が考えられているが、我々はその手法の一つであるVAN法[1]による地電流観測に注目している。VAN法は、地面に埋めた電極で地電流の電圧を測定し、地電流に稀に含まれる矩形波の電流を検出することで地震の予知を図る手法である。矩形波は、岩石圧縮によって生じる地電流であり、地震の数週間前から数日前に観測されると言われている。本稿ではこの矩形波のことを地震前駆的シグナルと呼ぶ。我が国で観測される地電流の多くには、地震前駆的シグナルよりも強力な電車によるノイズが含まれている。そのため、観測された地電流データの目視による解析は困難である。

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、自動的に地震の短期予知を行なう研究に着手しており、これまでに、ニューラルネットを用いた電車ノイズの認識[3]や、LVQを用いた特定地域の地電流データの分析[2]などの研究

を行なってきた。しかし、ニューラルネットを用いた場合、学習に莫大な計算時間を必要とするという問題があった。そこで本研究では、ニューラルネットほど莫大な学習時間を必要としないICAを利用する。電車ノイズや地震前兆シグナルは発生源が異なることから独立成分であると考えられるため、混合信号を各独立成分に分離させる技術であるICAは有効であると思われる。以前我々は電車の影響を受けるとされる福井県の2観測点の地電流データにICAの適用を試みた。そして、その結果、電車ノイズに関しては高い確率で正確に分離できることが確かめられた[5]。

本稿では、新潟県中越大地震が発生した2004年の地電流データにICAを適用し、地電流を各独立成分に分離させ、地震前駆的シグナルである可能性のある矩形波を目視で検出することを試みた結果について報告する。ICAを適用した地電流は、新潟県中越地震震源地点から約120km離れた長野県・松代観測点で観測されたもので、地震前駆的シグナルが多数含まれていると予測される。

2 電車ノイズの分離実験

2.1 3チャンネル入力・16フレーム分割

分離したい電車ノイズは非定常な信号であるため、入力データが長すぎると正しい結果が得られ

[†]奈良女子大学理学部情報科学科
Department of Information and Computer Sciences, Faculty of Science, Nara Women's University

[‡]東海大学地震予知研究センター
Earthquake Prediction Research Center, Tokai University

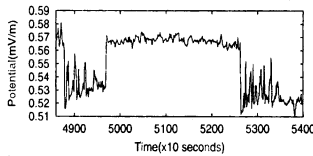


図 1: dp.6.1 (入力チャンネル数 3, 2004.10.24 第 10 フレーム)

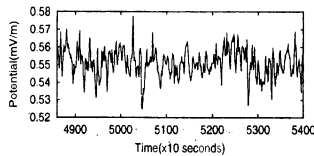


図 2: dp.6.2 (入力チャンネル数 3, 2004.10.24 第 10 フレーム)

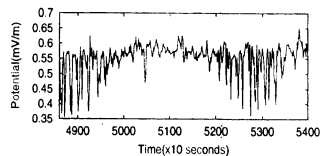


図 3: dp.6.3 (入力チャンネル数 3, 2004.10.24 第 10 フレーム)

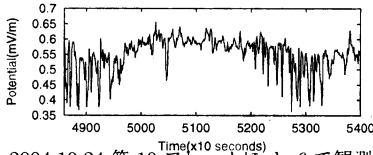


図 4: 2004.10.24 第 10 フレームに dp.6 で観測されたデータ

ない可能性がある。そのため、まずは ICA を適用する 3 チャンネル (dp.2, dp.6, dp.7)¹⁾ 1 日分のデータを 1 フレーム長 540 点 (1 点 10 秒) で 16 分割し、それぞれのフレームに対して ICA を適用することで、成分分離を試みた。

図 4 は、2004 年 10 月 24 日に dp.6 で観測された地電流の第 10 フレーム (4860 点～5399 点¹⁾) である。このフレームおよび dp.2, dp.7 で観測された地電流第 10 フレームに ICA を適用した結果、dp.6 の地電流に含まれる成分として出力されたものが図 1、図 2、図 3 である。グラフの縦軸は電位、横軸は時間 (× 10s) を示す。なお、これより先 “dp.M で観測された地電流に含まれる成分 N” を、dp.M.N と記す。

図 1 を見ると、矩形波が出力されていることがわかる。また、図 3 の振幅が図 1 の振幅と比べて大きいので、図 3 が電車ノイズの成分であると推測できる。このように、フレーム分割をした上での ICA 適用は、電車ノイズの分離・矩形波の検出に有効であることがわかった。しかし、入力データは 1 日につき 16 フレーム分あるので、1 日分の出力グラフは各チャンネルにつき図 1～図 3 のようなグラフが 16 組あることになる。よって、矩形波を効率良く検出できるようにするためには、16 組の出力データを結合し、1 組のデータにする必要がある。図 5 は、2004 年 10 月 24 日に dp.6 で観測された 1 日分の地電流データである。そして、図 1 と同じく dp.6.1 として出力された 16 フレームのデータを、そのまま結合して 1 日分の出力データとしたものが図 6 である。図 5 では確認できない矩形波がいくつも出力されているのがわかる。しかし、矢印の部分の電位差については、フレーム毎に出力データのスケールおよび平均値が異なるため出力されたものであり、矩形波ではない。このフレーム境界での

電位差は、矩形波を検出する際の妨げになると考えられる。そこで、グラフの結合を行なう際、フレームの境界あたりの平均値を合わせる処理を加えることにした。

図 7 の dp6.1 は、図 6 を作成する時に用いた出力データと同じデータに、フレーム境界の平均値を合わせるという処理を加えて結合したグラフである。図 6 でみられた、フレーム境界の電位差はほとんどなくなっていることがわかる。dp.6.2, dp.6.3 として出力された 16 フレームのデータにも、それぞれ同様の処理を加えて結合した。図 7 の dp.6.2, dp.6.3 が、そのグラフである。1 日分の出力データを結合することにより、どのグラフが電車ノイズの成分で、どのグラフが地震前駆のシグナルの成分か確認することが容易になった。しかし、フレームごとのスケールが一致しないため、不自然な点が残った。

2.2 5 チャンネル入力・フレーム分割なし

2.1 節のフレームごとのスケール不一致の問題は、フレーム分割を行なう限り解決することが難しいと思われるので、フレーム分割をしていない 1 日のデータへの ICA 適用を試行した。正しい結果の得られる可能性を高めるため、入力データは 5 チャンネルに増やして行なった。

入力データとして 5 チャンネル (dp.2, dp.5, dp.6, dp.7, dp.14) で観測された地電流データで、2004 年 10 月 24 日に観測されたものを用い、フレーム分割処理を加えずに ICA を適用した。その結果、dp.6 に含まれる成分として出力されたもののグラフが図 8 である。図 7、図 6 に見られた矩形波が、図 8 でも確認できる。他の日の地電流データにおいても同様で、「3 チャンネル入力・16 フレーム分割」に ICA を適用した結果から検出できた矩形波は「5 チャンネル入力・フレーム分割なし」に ICA を適用した結果からも検出できた。しかし、この「5 チャンネル入力・フレーム分割なし」では、1 つのチャンネルに含まれる独立成分として、スケール・平均値などは異なるが似通ったものが複数出力された。図の場合では、dp6.4 と dp6.5 であり、これらは元々同じ成分であると思われる。これは、今回地電流に適用した ICA は、独立成分の数がいくつであろうと入力データ数と同じ数の成分をそれぞれ出力するため、もともとは 1 つの独立成分であったものがさらに分離されて出力された結果であると考えられる。

¹⁾ dp. は dipole の略である

¹⁾ 13:30～15:00 にあたる

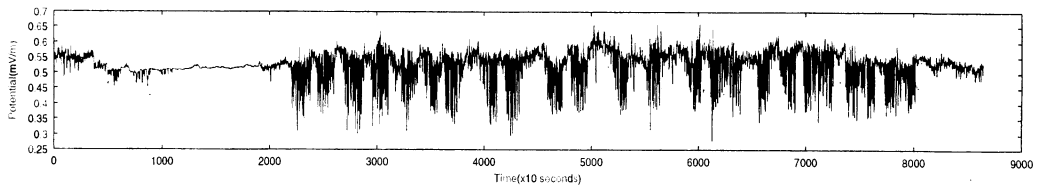


図 5: dp.6 で観測されたデータ

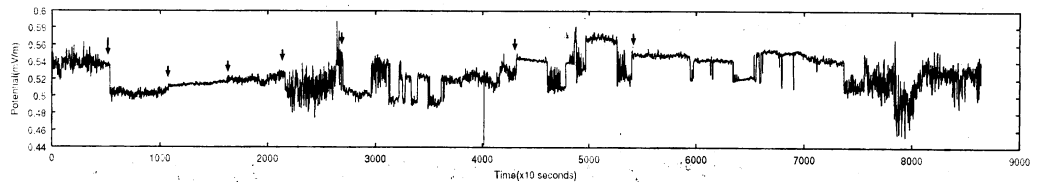


図 6: dp.6.1 (入力チャンネル数 3、16 フレーム分割・並べて結合)

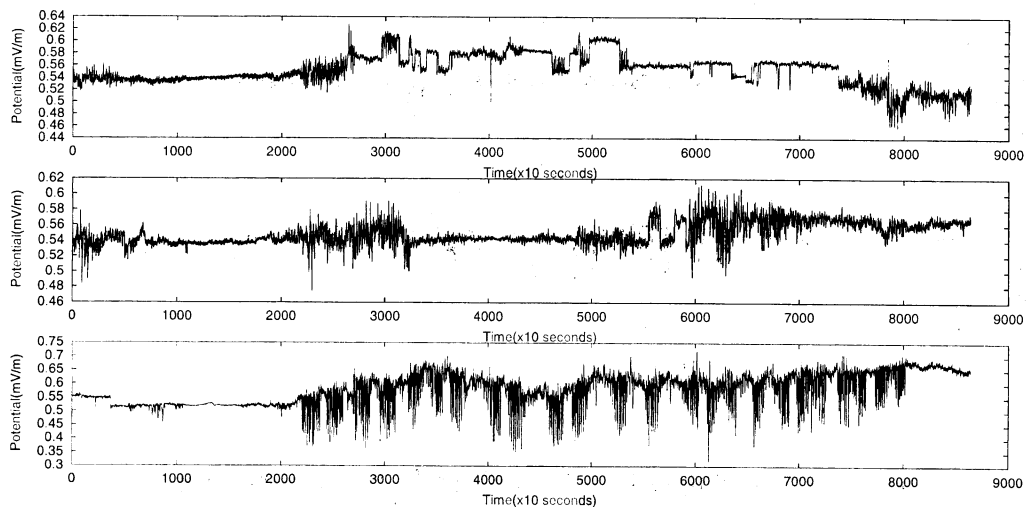


図 7: 上から dp.6.1.2.3 (入力チャンネル数 3、16 フレーム分割・平均を合わせて結合)

つまり、10月24日のデータに5チャンネル用いるのはチャンネル数が多すぎることになる。

2.3 3チャンネル入力・電車ノイズの除去

2.2節で、入力チャンネル数が5では多すぎることがわかった。そこで、今度は入力データを3チャンネルに戻し、電車ノイズの自動除去を試みた。入力データとして3チャンネル(dp2, dp6, dp7.)で観測されたデータで、2004年10月24日のものを用いる。まず、このデータにフレーム分割処理を加えずにICAを適用した。次に、各dpごとに、出力された成分データの中で電車ノイズの成分と思われるデータを選び、それを観測された地電流データから引いた。図9は、dp.6で観測された地電流データから、dp.6に含まれる電車ノイズ成分を引いたグラフである。そして、電車ノイズを引いた地電流

データにICAを再度適用し、成分分離させた。図10は、“dp6.の観測データ-電車ノイズ”に含まれるとして出力された各成分である。図10には電車ノイズがみられないことがわかる。出力されるデータのスケールが、実際の独立成分のスケールと異なるため、なかには電車ノイズの除去ができなかった日もあったが、2004年10月の9割以上のデータにおいて、図10のようにノイズの除去を行なうことができた。つまり、長野県・松代観測点で観測された地電流データにおいては、電車ノイズの除去をほぼ自動化することができると言える。

3 考察

電車ノイズと矩形波の分離実験において、1年分の入力データを通してもっとも安定して電車ノイ

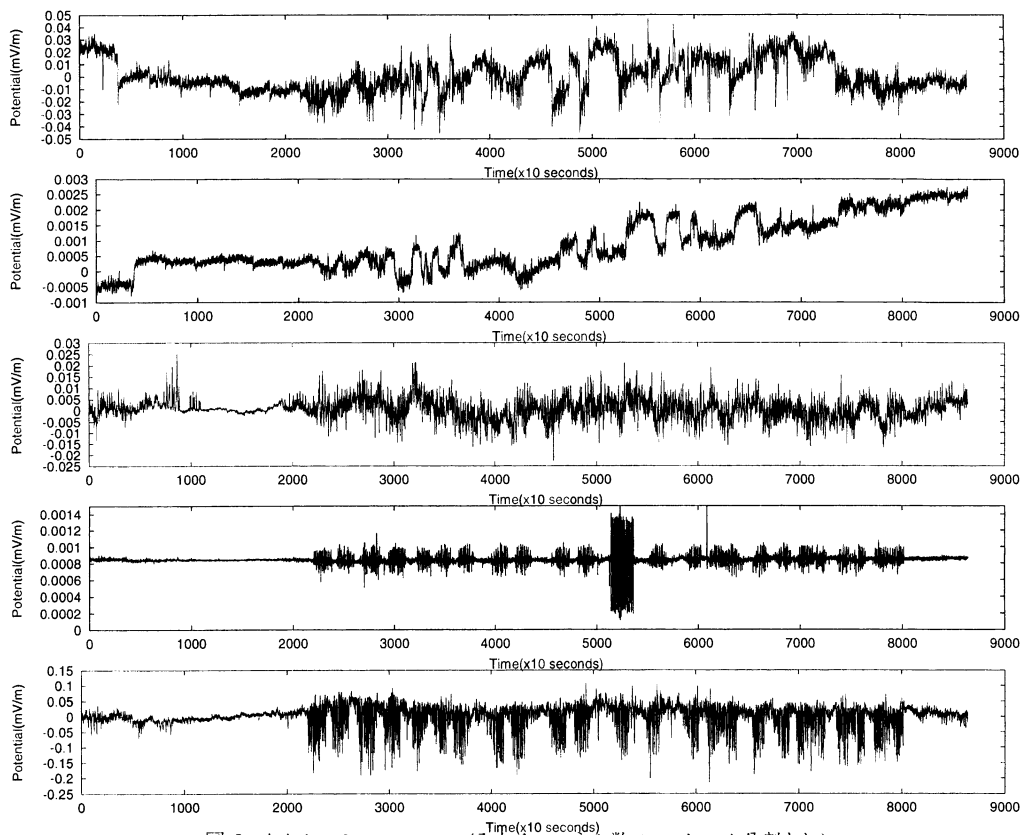


図 8: 上から、dp6..1,2,3,4,5 (入力チャンネル数 5, フレーム分割なし)

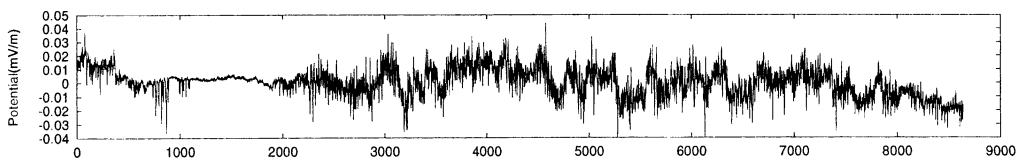


図 9: dp.6 の地電流データから電車ノイズの成分を引いたもの

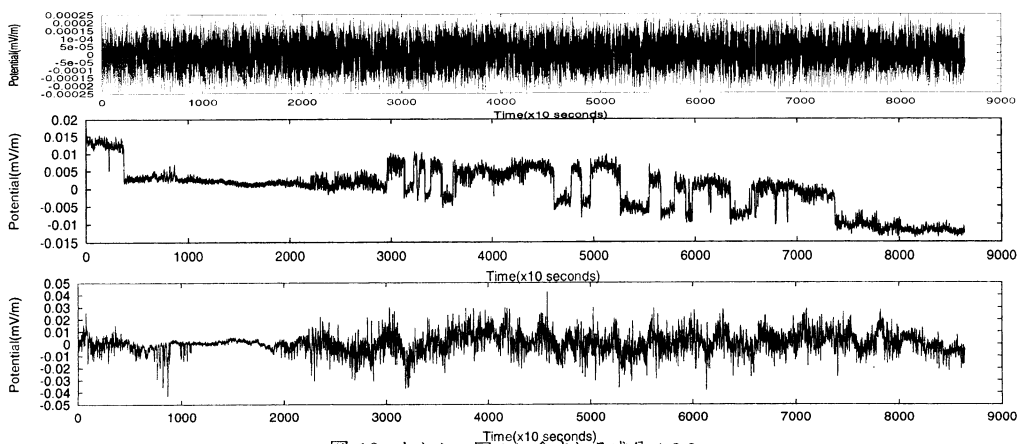


図 10: 上から、図 9 に含まれる成分 1,2,3

ズを分離することができたのは入力5チャンネル・フレーム分割なしの出力結果であった。そこで我々は、その出力結果から目視での矩形波の検出を試みた。そしてその結果、およそ1000もの矩形波を検出できた。これまで、我が国の地電流から矩形波を検出することは非常に困難だと言われてきた。そういった背景を考えると、これは大きな成果だと言える。ただし、検出を行なったのは非専門家(学部学生)であるので、検出された波には矩形波でないものも多数含まれることと思われる。

矩形波と地震の相関を調べるため、矩形波が現れた時刻と、松代から半径200km以内で起きたマグニチュード4以上の地震が起きた時刻を次のような手法で照らし合わせた。

- ・地震に対して地震が起きる2週間前から地震が起きる時刻までにおきた矩形波を、地震に割り当てる。

- ・このとき、1回の矩形波は必ずただ1つの地震に割り当てられるとし、1回の地震に対し、なるべく1つ以上の矩形波が割り当てられるような割り当て方を選択する。

照らし合わせた結果、100%の地震に矩形波を1つ以上割り当てることができ、52%の矩形波に地震を割り当てることができた。図11は、この矩形波と地震の関係を示すグラフである。

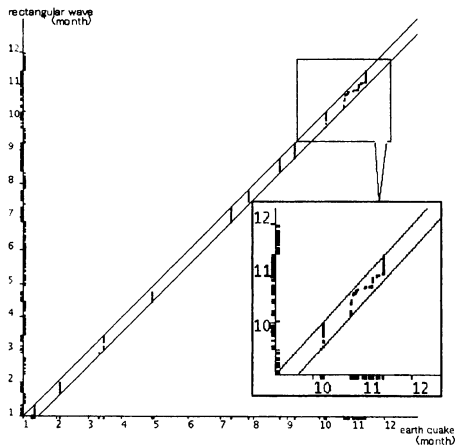


図 11: 矩形波と地震の関係

縦軸は矩形波が起きた日時、横軸は地震が起きた日時を示す。グラフの外側の黒点は、対応する地震がある矩形波または、対応する矩形波がある地震が起きた日時を示す。グラフの内側の黒点は、対応する地震がない矩形波または、対応する矩形波がない地震が起きた日時を示す。“地震が起きた日時” = “矩形波が起きた日時”を示す直線と、“地震が起きた日時” = “矩形波が起きた日時+14(day)”を示す直線がそれぞれ引いてある。

図11の右下のグラフは、図11の10-11月の部分を拡大したものである。これを見ると、新潟で大地震・多数の余震が発生した10月下旬～11月中旬において、発生した地震のすべてに対応する矩形波があり、また、発生した矩形波のすべてに対応する

地震があることがわかる。このことは、矩形波が地震前駆的シグナルである可能性を示唆している。

4 まとめと今後の課題

本稿では、ICAを松代観測所のデータに3種の方法で適用した。1つ目の手法「3チャンネル入力・16フレーム分割」と2つ目の手法「5チャンネル入力・フレーム分割」から、矩形波検出の手段としてICAを用いることが有効である可能性が高くなり、3つ目の手法「3チャンネル入力・電車ノイズ除去」から、松代観測所のデータから電車ノイズを除去することがほぼ自動化できることがわかった。また、「5チャンネル入力・フレーム分割」から検出された矩形波と地震の関係調べた結果、矩形波が地震前駆的シグナルである可能性が高くなった。今後の研究課題は、松代観測所のデータから自動的に電車ノイズを除去することの成功率をあげること、矩形波を自動的に検出すること、地震の規模・震源地と観測地との距離を考慮に入れて矩形波との相関を見つけることである。

謝辞

5チャンネル×5成分×1年間のデータから目視で矩形波を検出してくれた城研究室の皆様に感謝します。また、ICAに関してご指導頂いた日本IBM東京基礎研究所の小金山美賀氏、山口大学の庄野逸助教授に感謝いたします。

参考文献

- [1] Uyeda, S.: Introduction to the VAN method of earthquake prediction, *Critical Review of Van, Sir Lighthill, J. (Ed.)*, pp.3-28, World Scientific, London, Singapore(1996).
- [2] Fukuda, K., Koganeyama, M., Shoumo, H., Nagano, T. and Joe, K.: Detecting Seismic Electric Signals by LVQ based Clustering, PDPTA2001, pp.1305-1311(2001).
- [3] 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, Vol.42, No.SIG14, pp.124-133(2001).
- [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).
- [5] 沢小百合, 小金山美賀, 庄野逸, 長尾年恭, 城和貴. 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, 情報処理学会研究報告:数理モデル化と問題解決, MPS42-24, pp.95-98(2002).