

地磁気変動検出に向けた ディープラーニング技術の利用方法の検討

Examination of Deep-Learning Technology for Detection of Geomagnetic Changes

香取勇太 (首都大学東京), 大久保寛 (首都大学東京), 竹内伸直 (東北大学)

Yuta Katori, Kan Okubo(Tokyo Metropolitan Univ.), Nobunao Takeuchi(Tohoku Univ.)

Abstract

In our past research, we have reported a successful observation result of "co-faulting" geomagnetic field changes (e.g., Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake (M7.2), 2011 EPLS). The magnetic fields began to change almost simultaneously with the onset of the earthquake rupture and grew before the first P wave arrival. This observation result also suggested that the geomagnetic variation signal accompanying fault movement, whose sources are the piezomagnetic effects, is very small (approximately 200pT). To discuss a feasibility of developing a new system for a super-early warning of destructive earthquakes using measurement of EQ-piezomagnetic effects, we must find a new method to detect small geomagnetic field changes. Then we examine a feasibility of use of deep learning technology for detection of geomagnetic changes. This technology has been also applied to speech processing, image processing, or analysis method of financial fields. In this study, we investigate the short-term high-precision estimation method of geomagnetic fields using a stacked-autoencoder-based neural-network.

1. はじめに

1.1 研究背景

地震発生の前後において、岩石の応力変化により磁場の変化が生じることが確認されている⁽¹⁾。また、我々の研究グループでは、岩手・宮城内陸地震発生時における電磁場の観測により、地震断層運動に伴うように磁場が動的に変化していくという観測結果が確認された⁽²⁾。この結果から、地震発生時における断層運動を起源とした地磁気信号変化を検出することで、新しい地震検知システムに利用できる可能性が指摘されている。従来の地震検知システムは、大地の揺れを利用した地震検知であり、大地中を光速で伝搬する地磁気変動信号を利用することができれば、従来よりも数秒早く地震の検知が可能になる。しかしながら、地震断層運動に伴って生じる地磁気信号は距離減衰があることに加え、変化量が微小であることが予想される。岩手・宮城内陸地震 (M7.2) 発生時では観測点が震源から数 10km であったにもかかわらず、地震発生時刻から、地震波が到達するまでの変化量は、200pT 程度であり、さらにより高感度な地磁気観測システムにおける福島県いわ

き市における福島県浜通りを震源とする地震（M5.9）発生時の観測結果においては地震発生時刻から、地震波が到達するまでの変化量は、50pT 程度であった。

1.2 研究目的

地震検知を磁場変化によって行うためには、ローカルな磁場変化を検出し、特徴的な磁場信号を検知する必要がある。また、予想される地震断層運動に伴う地磁気信号は微小な変化であり、自動検出には多くの課題が想定される。本研究の目的は、微小な変化である地震断層運動に伴う磁場変化を検出するために、高精度な地磁気推定方法の検討を行う事である。

2. 地磁気推定方法

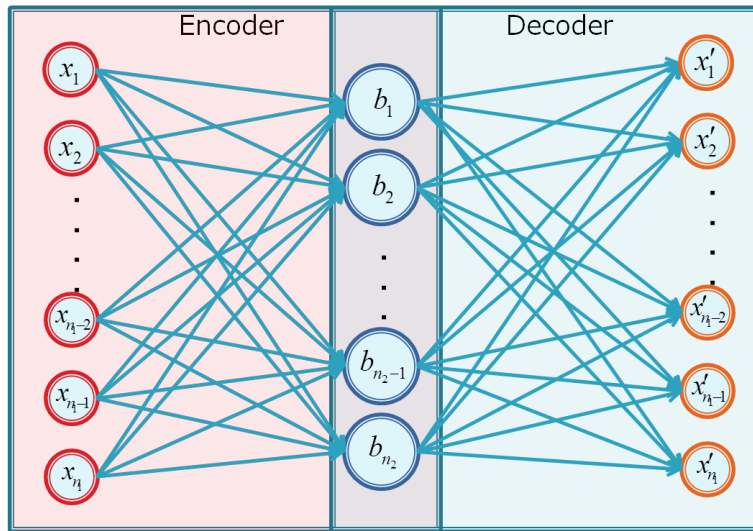
本報告で、我々が提案するのはディープラーニング（深層学習）技術を利用した短時間の高精度地磁気推定方法である。ディープラーニング技術は、画像認識の分野だけでなく、音声認識、言語処理、禁輸業界の分野で利用されている技術で、応用力に優れた機械学習技術であると言える。ディープラーニングはニューラルネットワークや事前学習などの基礎技術の総称であり、現代の高速計算機や、学習方法の開発等により近年急激に成長した技術である。本検討では多段の Autoencoder を利用したディープニューラルネットワークを利用して、地磁気推定を行うこととした。

2.1 Deep-Autoencoder

Autoencoder は入力情報に対して情報量を圧縮し、さらにそれを復元するように学習させるフィードフォワードニューラルネットワークのことを指す。Autoencoder の概略を第 2.1 図に示す。Autoencoder は図 2.1 に示すように、Encoder 部分と Decoder 部分というように呼び分けられている。この状態で 1 度入力を出力部分で復元させるような学習させ、Encoder 部分だけを切り出す。そして、これを多段にすることで情報の次元を圧縮し、情報次元の削減を行う事ができ、特徴量を抽出することができるという報告がされている⁽³⁾。

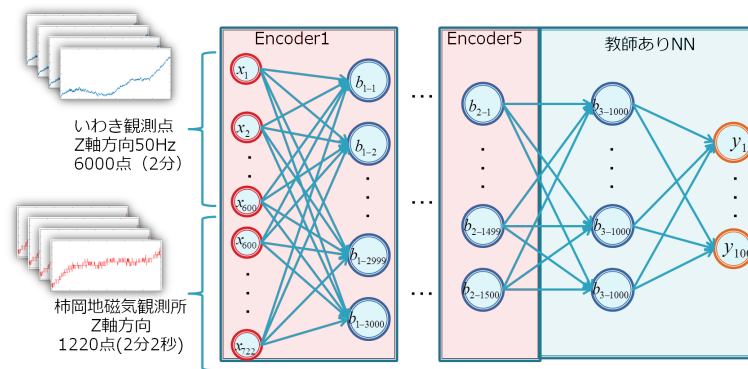
2.2 今回検討を行った地磁気推定モデル

地磁気推定を行うにあたり利用したモデルは第 2.2 図に示す。事前学習を行った Autoencoder を 5 つ積み上げ、最後の層に教師あり学習を行う層を追加した。地磁気推定を行うための入力データとして、我々の研究グループで保有するいわき地磁気観測点の SQUID2 号機磁力計（サンプリング周波数 50Hz）を用いる。さらに、柿岡地磁気観測所の公開地磁気データである 0.1 秒値⁽⁴⁾のデータを用いることとする。どちらも鉛直方向の観測データを利用し、ある時刻 t からいわき観測点の 2 分間の観測値（6000 点）、それに加えて時刻 t から 2 分 2 秒間の柿岡地磁気観測所の観測値（1220 点）を入力とする。ここで期待する出力は時刻 t に対して 2 分後から 2 秒間（100 点）のいわき観測点を想定する推定値である。学習データセットは、地磁気推定を行う 1 時間前のものの中から連続する 6000 点と 1220 点のデータをいくつか作り出し、それに対応する実際の観測値を教師データとした。



第 1 図： オートエンコーダー

Fig. 1 Autoencoder

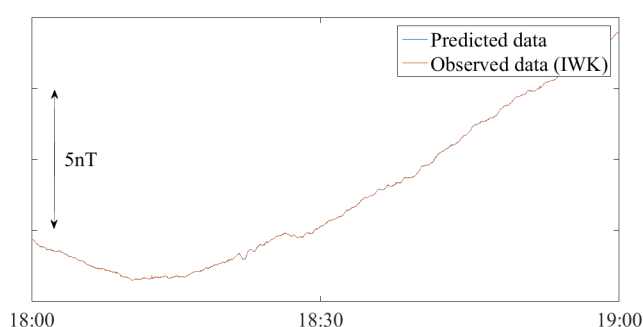


第 2 図： 地磁気推定モデル

Fig. 2 The model of a geomagnetic estimate

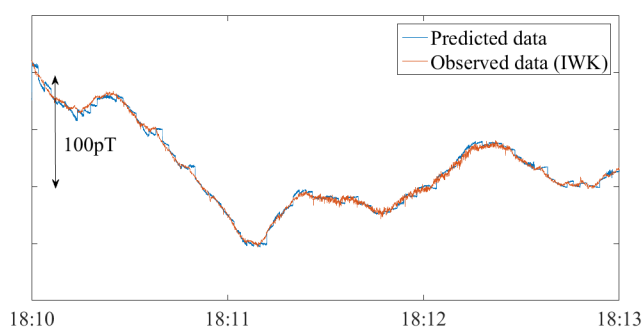
3. 地磁気推定結果

2015年7月1日17:00-18:00(UT)の観測値を用いて学習した結果を同日の18:00-19:00の観測値を入力として地磁気推定を行った。今回用いたモデルにおいては、1度の計算に行える地磁気推定は2秒間(100点)だけであるので入力値を100点ずつシフトさせて実際の観測値との比較を行った、結果を以下、第3.図に示す。この結果から1時間程度のレンジでみると、観測値と推定値が大きくずれるような結果でないことが分かる。しかしながら、本研究の目的は短期間における微小な変化を検知するための地磁気推定であるのでより詳細な検討が必要である。そこで、第3.図中の18:10-18:13間を拡大したものを以下、第4.図に示す。青実践が推定結果であり、赤実践が実際の観測値である。推定結果においては、100点(2秒間)おきに推定値を計算していることから、100点おきにオフセットの調整が生じているので不連続点が存在しているものの、実際の観測値に対してほぼ一致するような推定結果も得ることができている。



第3図：地磁気推定結果

Fig. 3 The result of a geomagnetic estimate



第4図：地磁気推定結果

Fig. 4 The zoomed result of a geomagnetic estimate

4. 結論

今回行った地磁気推定は、ディープラーニング技術の一つである Deep-Autoencoder を用いたものであった。地磁気推定を行う際、入力値としていわき観測点の高感度な地磁気観測結果と柿岡地磁気観測所の公開する 0.1s 値データの 2 つの観測点のデータを利用し、地磁気異常を検出することを試みたものであった。高精度に短期間の地磁気推定を行うという目的から 1 セットの入力から 2 秒間の地磁気推定を行った結果、瞬時に数十 pT 程度の異常変化するようなローカルな異常信号がもし生じるような異常検知に関しては今回の地磁気推定方法を利用した検知の可能性が示される結果を得ることができた。しかしながら、地震断層運動に伴う地磁気信号のような非常に微小な信号を検出するにはまだ不十分な結果ともいえる。

一方、ディープラーニング技術は最適なパラメータを手探りで求めるような側面があり、今回行った推定結果が本モデルにおいて最適であると言えないかもしれない。また、今後の課題として、現在では学習に利用したデータは 1 時間の観測値であり、より多くの観測値を使える環境であるので、学習に利用するデータをさらに増やすべきであると考えている。ディープラーニング技術の発展にはビッグデータという要素もあり、たくさんのデータが利用できる環境が整ったこともディープラーニング技術の発展する要因である。したがって、今回の我々のモデルにおいてもより多くのデータを用いて学習させることで精度を上げる可能性も秘めているものである。

参考文献

- [1] Johnston, M. & Mueller, R., "Seismomagnetic observation with the July 8, 1986, ML 5.9 North Palm Springs earthquake." *Science* 237, 1201-1203 (1987).
- [2] K. Okubo, et al., "Direct magnetic signals from earthquake rupturing: Iwate-Miyagi earthquake of M 7.2, Japan," *EPSL* vol. 305, no. 1, pp. 65-72, May 2011.
- [3] Geoffrey E. Hinton; R. R. Salakhutdinov, "Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks". *Science* 313 (5786): 504-507 (2006).
- [4] 気象庁地磁気観測所 web ページ, デジタルデータサービス (<http://www.kakioka-jma.go.jp/metadata>), 地磁気データ 0.1 秒値