

ニューラルネットによる ELF 帯環境電磁波の異常信号検出

板井 陽俊† (学生員) 安川 博† (正員)
 内匠 逸†† (正員) 畑 雅恭††† (正員：フェロー)
 Anomalous Signal Detection in EM Waves Using Neural Network
 Akitoshi ITAI†, Student Member, Hiroshi YASUKAWA†,
 Ichi TAKUMI††, Members, and Masayasu HATA†††, Fellow

† 愛知県立大学大学院, 愛知県
 Graduate School of Aichi Prefectural University, Aichi-ken,
 480-1198 Japan
 †† 名古屋工業大学, 名古屋市
 Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466-8555 Japan
 ††† 中部大学, 春日井市
 Chubu University, Kasugai-shi, 487-8501 Japan

あらまし ELF 帯にて観測された環境電磁波より地震の前兆に伴う電磁放射(異常信号)を検出する研究が進められているが,従来法は同一観測点の過去値,多点観測信号などの信号を必要とし,適用が困難な観測信号が存在する.本論文は特定条件で観測された信号が不要な異常信号検出法について検討する.

キーワード 環境電磁波,ニューラルネット,異常信号検出,ELF 帯

1. まえがき

近年,地震や火山活動の際に地殻から前駆的な電磁放射がなされることが知られ,自然環境電磁波を観測することにより,メカニズムの解明や予測等を行う研究が進められている[1].筆者らは,極超長波(ELF)帯環境電磁波データの収集・解析結果より,ELF 帯の環境電磁波に地殻変動に伴う電磁放射が観測されることを報告した[2].

環境電磁波解析の目的の一つに,観測信号から地震の前兆に伴う異常信号を検出する問題があり,平年値法,主成分分析法による異常信号検出が提案されている.平年値法は観測信号の季節変化に着目し,同一地点かつ同一日時の地震発生のない,数年間にわたる観測信号の平均値と現在の観測信号との差分から異常信号検出を行う[3].主成分分析法は,通常の観測で得られる成分が各観測点に共通することを利用し,同時刻の多点観測信号から主成分を求め,過去の通常時における主成分との相関から背景雑音と異常信号を判別する[4],[5].これらの手法は,任意の観測信号から異常検出を行う場合,同一観測点の過去値や同時刻の多点観測信号などの特定の信号から異常信号を検出するためのしきい値を得る必要がある.したがって,新たな

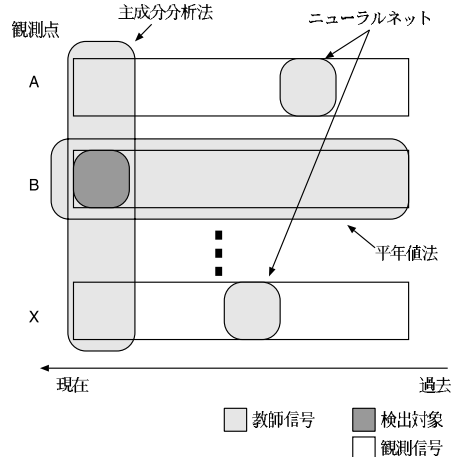


図 1 異常信号検出に必要なとされるデータ
 Fig.1 Required data for anomalous signal detection.

センサの設置時に十分なデータ蓄積がない,多数の観測点が欠測値を有するなどの理由により,各手法の適用が困難となる問題が生じる.環境電磁波観測が開始され10年余りが経過した現在でもなお,従来手法の適用に十分な観測信号が得られない観測点が存在することから,その観測信号から異常検出を行う手法の提案が望まれている.

本論文はこの問題に対し,観測信号を学習したニューラルネット(NN:Neural Network)を用いた検出手法を提案する.NNは入力信号と望みの応答の対からなる教師信号を用い,非線形のネットワークを学習させるものである.本研究では,様々な観測点の過去値から切り出した異常信号のパターンを教師信号としてNNを学習させ,学習に用いていない観測信号から異常信号が検出可能であることを示す.これにより,異常検出に必要とされてきた同一観測点の過去観測値など特定の信号以外を用いない異常信号検出が可能であることを示す.その結果,従来手法の適用が困難であった観測信号において,異常信号が検出可能であることを確認する(図1).

2. 環境電磁波観測

現在,ELF 帯の 223 Hz を観測周波数として東西,南北,垂直方向の磁界成分を日本全国 40 余箇所で電磁波観測を行っているが,観測信号には大きく分けて三つの成分,地震前兆に伴う異常信号,熱雷雑音,突発的な雑音に分けられる.異常信号は強い電磁放射が数日間観測され,地震の直前に減少する傾向がある.また,平常時は熱雷雑音が観測され,昼夜・季節によ

り観測強度が異なる日変化・季節変化を伴う概周期性を示す。突発的雑音は近接雷雑音や観測機器の誤作動、未処理の校正信号によるものであり、短時間に強い電磁放射が観測される。したがって、観測信号から異常信号を検出する場合、これらの雑音成分から異常検出を行う必要がある。またこれらの観測信号は、磁束成分の二乗検波値を150秒間平均することにより、各観測点につき1日576点のデータが得られる。

3. 提案手法

本論文では、様々な時刻・観測点において観測された環境電磁波を教師信号としたNNを適用し、異常信号パターンの学習に含まれない時刻、観測点の信号から異常検出が実現可能であることを示す。教師信号は、観測信号からなる入力信号とその状態を表す望みの出力から構成され、入力層-中間層-出力層からなる3層のNNをバックプロパゲーション則により学習させる。入力信号は熱雷雑音の有する日変化と異常信号による変動を判別することを目的とし、両者の特性を含む信号長が適切である。したがって、NNは1日分の観測信号を入力することにより熱雷雑音のパターンが学習可能であり、そのパターンから熱雷雑音に異常信号が付加された状態を識別するものとする。望みの出力は平常時の観測信号、異常信号、判別不能の3状態で表されており、これら状態を判別するにあたり、本論文ではELF帯環境電磁波の観測結果を参照した[6]。

NNの構成として、中間層、出力層は入力値のシグモイド関数を出力する。また、入力層のノード数は観測信号が日変化を有するため一日分の信号となる576、中間層は次節に示すテストデータに対する二乗誤差を最小とした40、出力層は3状態を示す三つのノードをもつものとした。したがって、NNは教師信号から異常信号のパターンを学習し、3状態に対応するノードから0-1の値を出力する。

教師信号を生成する観測信号として、それぞれ異なる地殻放射に由来する異常信号を含む七つの観測信号を用意した(表1)。各信号は地震発生日から60日までのデータをもつため、本研究では420個の教師信号が得られ、これらのデータを学習定数0.5としてNNに2000回ずつ学習させた。

4. 結果

図2は2003年1月5日、愛知県西部で発生した地震の前兆に伴う異常信号を、三重県松阪市に設置したアンテナがとらえた東西磁界成分60日分の観測信号であり、表1の教師信号とは異なる観測点、時刻に

表1 学習データ

Table 1 Training data.

観測地点	地震発生日	磁界方向
神奈川県湯河原	1997年10月24日	東西
新潟県笹神	1998年02月28日	東西
熊本県砥用	2001年06月14日	東西
青森県三戸	2001年08月13日	東西
宮城県若柳	2001年11月13日	東西
静岡県川奈	2002年01月10日	南北
宮城県若柳	2002年08月14日	東西

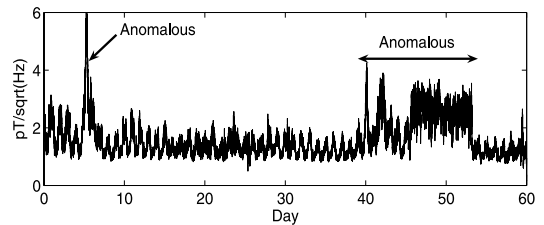


図2 非学習データ：三重県松阪，2003年1月5日

Fig. 2 Test data: Mie-Matsuzaka, Jan. 5 2003.

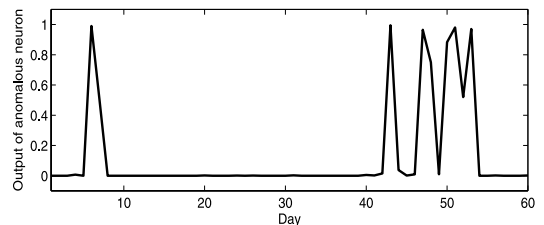


図3 異常信号検出結果

Fig. 3 Output of the neural network.

において観測された異常信号による強い振幅を5日目、40~53日目に含んでいる。この観測点の観測信号は欠測値が多く、平年値法や主成分分析法の適用が難しいとされる(付録)。縦軸は磁束密度を表す pT/\sqrt{Hz} 、横軸は日数である。この観測信号を学習済NNに入力し、得られた出力を図3に示す。図3は異常信号を表すノードの出力であり、1に近いほど異常信号が観測された可能性が高い。

図2より、異常信号は40~52日目に観測されていることが分かり、この期間に異常信号を示すノードの出力が1となることが望ましい。異常検出結果である図3より、42~52日目における異常信号の出力値が1になっているが、44~45日目は異常信号が検出されていない。これは異常信号が42日目及び46日目以降の2回に分けて観測されていることが原因であり、その谷間にあたる2日間では異常信号が検出されないものと考えられる。また、5日目に発生している異常信

号をとらえている．更に，異常信号が含まれない日において異常信号が検出されることはないことが分かる．一方，49 日目に明確な異常信号が含まれているにもかかわらず検出されておらず，原因を特定する必要があると考えられる．以上より，NN に様々な観測点における過去値を学習させることにより，学習に含まれない観測信号から異常信号検出が可能であることを示した．

5. む す び

本論文は ELF 帯環境電磁波に含まれる地震前兆に伴う異常信号の検出を目的とし，多層ニューラルネットワークを用いた手法を提案した．様々な観測点の過去値に含まれる異常信号を NN に学習させた結果，従来，異常検出に必要とされていた同一観測点の過去値などの特定の信号を必要としない検出が可能であり，従来手法の適用が困難であった観測信号から異常信号の検出が可能であることを示した．今後の課題として，他手法との異常信号検出精度の検討，更なるニューラルネットワーク構成の最適化などが挙げられる．

謝辞 本研究の一部は日本学術振興科学技術研究補助金基板研究 (A)17206042 による．

文 献

- [1] 早川正士，“VLF 電離層大地導波管伝搬電波を用いた地震予知法（新手法の提案）” J. Atmos. Electr., vol.16, pp.19-28, 1996.
- [2] 畑 雅恭，足立整治，安川 博，内匠 逸，“電磁波前兆の抽出処理—信号処理手法による” 電気学会高電圧研究会，HV-00-37, 2000.
- [3] S. Niwa, H. Yasukawa, I. Takumi, and M. Hata, “A signal detection on precursor of earthquake using normal value for ELF electromagnetic wave observation,” Proc. ISITA2002, pp.863-866, 2002.
- [4] S. Niwa, H. Yasukawa, I. Takumi, and M. Hata, “A study on precursor signal extraction with PCA for predicting significant earthquakes,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E86-A, no.8, pp.2047-2052, Aug. 2003.
- [5] 丹羽伸二，安川 博，内匠 逸，畑 雅恭，“主成分分析法による地震発生予測のための前兆信号検出” 電学論 (C), vol.123, no.12, pp.2170-2171, 2003.
- [6] <http://www.geocities.jp/natureland4678/index.html>

付 録

観測信号：三重県松阪市

平年値法は，過去の同時期における観測信号と現在の観測信号の差分から異常信号の判定を行う．また，主成分分析法による異常信号検出も過去の観測値から得られた主成分を必要とする．平年値は過去の観測信

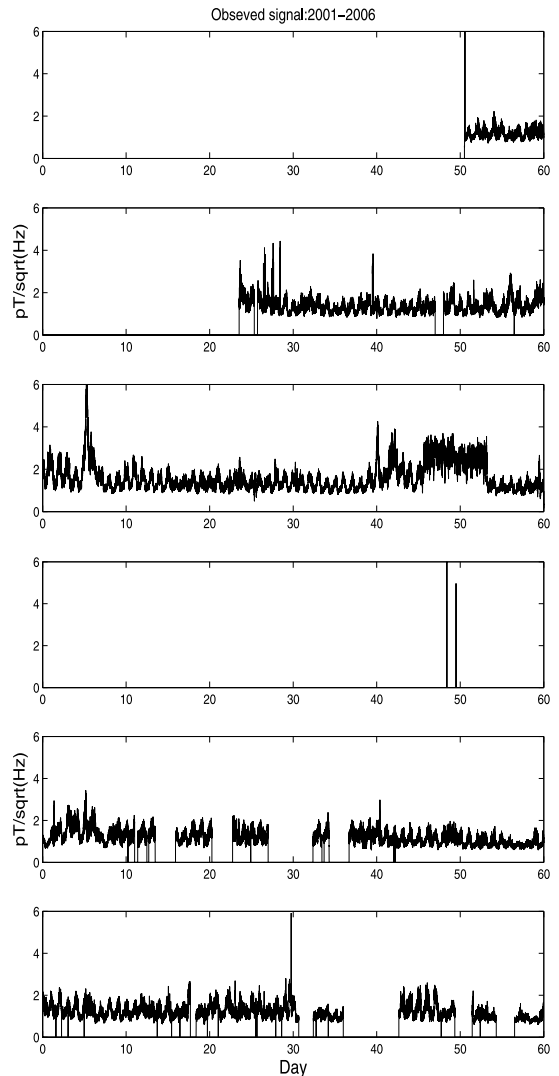


図 A・1 各年 1 月 5 日を終端とした 60 日分の観測信号：三重県松阪，2001～2006 年

Fig. A-1 Observed signals at Mie-Matsuzaka during 60 days.

号，若しくは検出対象が過去の信号の場合は未来の観測信号から求められる．本論文において検出対象とした三重県松阪の観測点において観測された環境電磁波データ，及び過去，未来の同時期の観測信号を図 A・1 に示す．図は上から順に 2001 年から 2006 年 1 月 5 日を終端とした 60 日分の観測信号であり，上から 3 番目の信号が検出対象とした観測信号である．

図 A・1 より，6 年間の観測信号において 60 日間観測値が得られている例は，検出対象である 2003 年し

かないことが分かる．その他の信号は，60 日の間に欠測値が断続的に発生していることから，十分に平均化された平年値を得られない．このことから，同観測

点では従来手法における平年値を求めることが困難である．

(平成 19 年 12 月 11 日受付，20 年 2 月 26 日再受付)
