

GMMを用いた環境電磁波の異常検出と地震のエネルギーとの相関 Detection of Anomalous Environmental Electromagnetic Wave using GMM and its Correlation with Energy of Earthquake

竹本 一彦[†] 芦谷 嘉文[†] 酒向 慎司[†] 北村 正[†]
Kazuhiko Takemoto Yoshihumi Ashitani Shinji Sako Tadashi Kitamura

1. はじめに

地震の発生を事前に予知することは防災上の重要な問題であるが、最近の研究によると地震発生以前に現れる異常な電磁波放射が予知のための有力な方法の一つと考えられている [1]。我々も 233Hz の環境電磁波 (ELF 波) を観測している [2] が、本報告ではその ELF 波の異常検出のためのモデルを提案し、異常検出とともにその検出時期と地震発生日との関係も明らかにする。ELF 波は一日の周期性を持ち、季節によりパワーが異なるなどのトレンドを持っているため、これらのトレンドが表現可能な一日の定常モデルを考えることとする。そのための ELF 波をケプストラムで表現し、モデルとして、一日や季節による変動を確率的に表現可能なガウス混合モデル (GMM) によって学習する。このモデルから見た観測データの尤度変化と、実際に地震が発生したときの関係を調べることで、本手法の有効性を確認する。

2. GMM による異常検知と地震との関連

本手法は、1 日分の環境電磁波からケプストラム領域での低次元の特徴を抽出する分析部、過去の大量のデータから得られた特徴ベクトルを GMM でモデル化する学習部、未学習データについて GMM の尤度変化を求め、実際に発生した地震の規模や距離との関連を調査・評価する 3 つのパートから構成される。

2.1 ケプストラム分析

観測波形の特徴を表すスペクトルの包絡成分を得るため、ケプストラム分析を行う。一日分の観測データを $x_t = [x_t(0), \dots, x_t(N-1)]$ ($N = 575$) とすると、ケプストラム $c_t = [c_t(0), \dots, c_t(N-1)]$ を得る。ここで窓関数は、正午を中心とした分析となるブラックマン窓を用いる。対数スペクトル包絡を表す低次の K 次ケプストラムは $c'_t = [c'_t(0), \dots, c'_t(K)]$ となる。本研究では、季節毎のパワーの影響を減らすため $c(0)$ を省き、 $K=40$ までの低次元ケプストラムを用いる。

2.2 混合ガウスモデル (GMM)

GMM の学習は、EM アルゴリズムを用いて混合重み w_i (i : モデル番号)、平均ベクトル μ_i 、対角共分散 σ_i を推定する。この時、モデル λ の観測ケプストラムベクトル c に対する出力確率は式 (1) で表される。ここで $\mathcal{N}(c|\mu_i, \sigma_i)$ は多次元正規分布、 S は混合数を表す。

$$p(c|\lambda) = \sum_{i=1}^S w_i \mathcal{N}(c|\mu_i, \sigma_i) \quad (1)$$

また、作成した GMM から 1 日分の分析対象データのケプストラム c'_j との対数尤度 $\theta_j = \log p(c'_j|\lambda)$ を求め

る。地震発生前、異常な環境電磁波が観測された場合に GMM の対数尤度は低くなるため、対数尤度の低いものを異常放射とする。

2.3 定常モデルの学習

GMM 作成時に用いた学習データには、地震前兆波や雷などの雑音成分を含むデータもある。これらを取り除くことで定常な GMM を作成する。作成した GMM と学習データとの尤度の出現頻度のヒストグラムを確認したところガウス分布と考えることが出来るので、ヒストグラムの平均 μ 、分散 σ 、対数尤度 θ_j の関係が $\theta_j > \mu - 2\sigma$ を満たさないデータを外れ値データと判断し、そのデータを除き再度作成した GMM を最終的な定常 GMM とする。

2.4 モデルとの尤度と地震規模の相関

定常的なモデルに対して尤度が低くなるものが必ずしも地震の前兆ということは出来ない。そこで実際に発生した地震との相関を調べることで、この手法が有効であるか確認する。

地震のエネルギーと地震発生前の検出対象期間を設定し、検出日 n 日の中での最小対数尤度との相関を調べ定常的なモデルに対して尤度が低くなるものが異常放射によるものかを検証する。震源地と観測地点の距離 r 及びマグニチュード M から得られる観測地点でのエネルギー E は $E \propto M^{1.5}/r^2$ となり、検出対象区間を 1 日前～3 週間前とする。

3. 実験

3.1 実験条件

実験条件を表 1 に示す。相関の調査に用いた地震は、マグニチュード 5.0 以上で、震源が観測地点から 200km 以内の 14 回を対象とした。そのうち、学習データには 10 回、テストデータには 4 回が含まれる。ここで、観測データには、地震前兆の他に突発的なノイズである近接雷雑音が含まれるため、前処理として前後 5 点のメディアンフィルタをかけたデータを実験に用いた。外れ値データを除去することにより、学習データは定常データ総数 3292 日分、外れ値データ総数 125 日分に分けられた。

3.2 GMM の混合要素

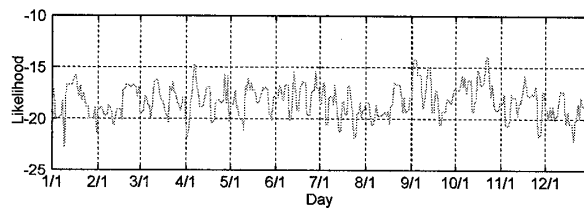
学習データに対する GMM の各混合要素の尤度変化を図 1 に示す。ここでは確認しやすくするために 3 日間の移動平均を取っている。図 1 の (a) は春秋、(b) は夏季、(c) は冬季に尤度が高くなっていることから、季節ごとにモデルの各混合要素に対応付け出来ていることがわかる。8 混合中の 2 要素が春秋、別の 2 要素が夏

[†]名古屋工業大学, Nagoya Institute of Technology

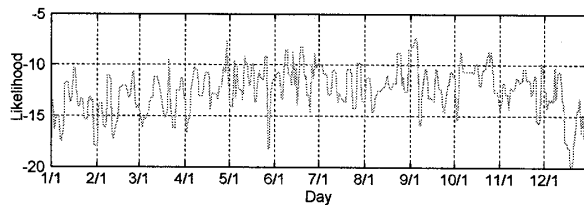
表 1: 実験条件

観測地点	宮城県栗原市若柳
観測方向	南北方向
学習データ	1998年~2007年
テストデータ	2008年
ケプストラム次数	40次(0次を除く)
混合数	8

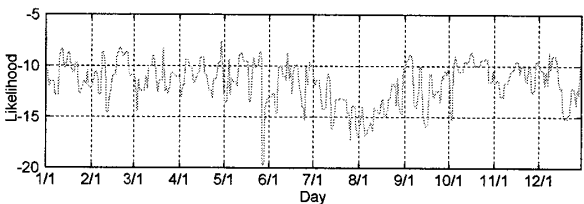
季, 残りの4要素が冬季に尤度が高くなっており, 冬季が優勢となるモデルとなっている. しかし, どの要素の変化をみても7月中旬から8月にかけて尤度が低くなっている箇所があり, この期間は学習データ不足と考えられる.



(a) $w = 0.02381$



(b) $w = 0.16302$



(c) $w = 0.14334$

図 1: 学習データに対する GMM の各混合要素の尤度変化

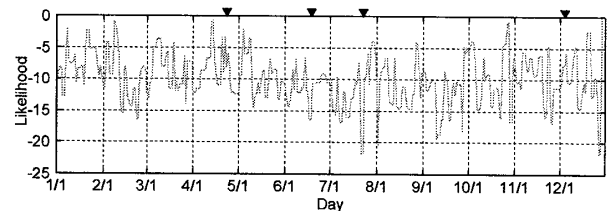
3.3 異常検出実験

作成した GMM に対する学習データの尤度変化を図 2(a) に示す. こちらも同様に 3 日間の移動平均を取っている. 6 月 14 日の岩手・宮城内陸地震の前や, 7 月 19 日に発生した地震の前に地震前兆と思われる尤度の低下が見られる. しかし, 地震とは無関係と思われる日でも尤度の低下が見られた. 7 月中旬から 8 月にかけて図 1 においても尤度が低いため図 2(a) においても同時期で精度が悪くなっている. 2008 年のデータに対して, 学習データ不足のためこのようになったと考えられる.

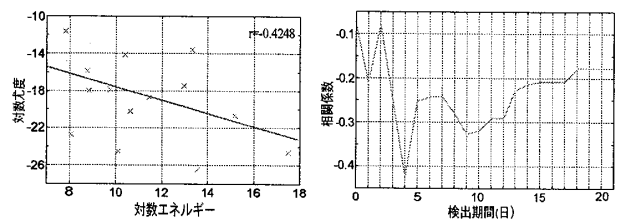
3.4 地震のエネルギーと対数尤度との相関関係

地震のエネルギーと対数尤度の相関の図 2(b) をみると, 地震エネルギーが大きくなれば尤度は低くなる負

の相関が見られた. 次に, 検出日と相関の変化を表す図 2(c) を見ると, 検出日が 4 日に相関係数が低くなり, それ以降徐々に相関係数は 0 に近付いた. これより, 地震による異常は地震発生の 4 日~2 週間前に多くみられると考えられる. しかし, この実験では地震発生からそれ以前の尤度変化との関連を事後的に見ている. 逆に尤度の低い日から地震発生を予測できているかを検証する必要がある.



(a) GMM に対する対数尤度



(b) 地震のエネルギーと尤度の相 (c) 検出日による相関係数の変化 関関係 (検出日 4 日前)

図 2: 2008 年宮城県若柳南北方向の実験結果

4. むすび

本研究では, 宮城県栗原市で観測されたデータから一日分の定常的な GMM を作成し, 地震の前兆と思われる異常データを検出する方法を検討した. また, 地震の規模と発生前の検出期間内での尤度からそれらの相関を調べた. 実験の結果, 生成した GMM の各混合要素に対して季節性が見られることから季節のトレンドに対応したモデルが得られた. また, 地震の前兆と思われる異常データが検出され地震発生の約 2 週間以内での尤度と地震規模との相関が高いことがわかった.

今後の課題としては, 学習データを増やすことでモデルの精密化を計る. また, 尤度を用いて事前に予測ができるか検討をする.

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学技術研究費補助金基盤研究 (A)20246068 の補助による.

参考文献

- [1] 内匠 逸 他: “環境電磁波測定と信号処理による地殻活動推定”, 電子情報通信学会 2007 ソサイエティ大会, AS-2-6, 2007.
- [2] Katsumi Hattori et al.: “Recent Progress and State of the Art of Seismo-Electromagnetics”, The trans. of IEICE of Japan. A, vol.127 No.1 pp.4-6, 2007.