

季節別の環境電磁波のHMMに基づく異常検出

水野 隼輔[†], 酒向 慎司[†], 北村正[†][†]名古屋工業大学

1 はじめに

日本は世界有数の地震大国であり、多くの被害を受けてきた。地震被害の軽減には早期の予測が必要不可欠である。そこで、地震予知を目的とした研究の一つとして、地震発生前に地殻から放射される電磁波を用いた取り組みが進められている。

我々の研究グループでは、ELF帯(233Hz)の環境電磁波を全国約40ヶ所で常時観測している。環境電磁波は1日を周期に周期性がみられ、さらに季節によるパワーの変化や雑音の混入により複雑な変動を伴う。そこで、隠れマルコフモデル(HMM)を用いて定常的な日変動パターンをモデル化し、その尤度変化から異常を検出する方法を提案した[1]。その方法では、各地点で観測されたデータを用いて、季節に関係なく1つのモデルを作成した。しかし、季節による変化があるため、時期によって尤度が低下しやすい部分を確認された。そこで、モデルを季節別に詳細化することによって異常検出の精度の向上を目指す。

2 HMMを用いた環境電磁波のモデル化

HMMを用いて観測系列である環境電磁波を各観測地点でモデル化を行う。本手法は、各観測地点において、1日の環境電磁波を一定時間のフレームに分割し、特徴量を抽出する。その後、過去の大量の観測データに基づき、HMMでモデル化を行い、テストデータに対してHMMの尤度変化を求め、その変化から発生した地震との関連を調査する。図1に本手法の概略図を示す。

環境電磁波の特徴を表すパラメータとしてケプストラムを用いる。環境電磁波の時間変化をベクトル列として表し、これらの1日分の変化を観測系列とする連続HMMを考える。これにより、1日分の環境電磁波の時間変化は、HMMの状態数に応じて複数の定常パターンによって近似される。

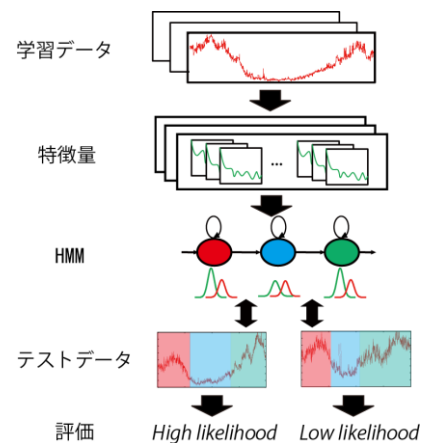


図1:HMMを用いたモデル化と異常検出

HMMは時系列データの生成モデルであり、未知の観測データについて、事前に学習されたモデルから観測されたときの確からしさを尤度として得ることができる。つまり、定常的な環境電磁波データから学習されたモデルは、正常なデータであれば尤度が高く、地震前兆などの異常放射を含むデータであれば尤度が低くなる。1年間の尤度の平均を μ 、標準偏差を σ としたとき、異常を検出する閾値を式(1)で定義する。尤度が閾値を下回った場合を異常とし、地震発生から2週間前までの異常を地震前兆による異常とする。本手法では尤度を求める方法として、Viterbiアルゴリズムを用いた。

$$\mu - k\sigma \quad (1)$$

3 季節別モデルの作成

過去の観測系列を季節別に学習することにより実際の季節変動に応じたモデル化を行う。本研究では、はじめに月別でモデルを学習した後、個々のモデルを統合する手法を提案する。

3.1 従来法の問題点

従来法では、季節に関係なく1つのモデルで日変動をモデル化した。しかし、環境電磁波は季節による変化を有する。そこで、季節変化に応じてモデルを切り替え、適切な閾値を設定することで、検出精度の向上が期待できる。

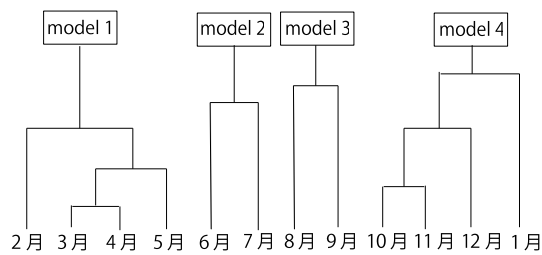


図2: モデルの統合

3.2 月別モデルの統合による季節別モデルの作成

過去の観測系列を月別に学習し、12個の月別モデルを作成する。しかし、月別にモデル化すると学習データの不足が原因で安定した閾値が得られない可能性がある。さらに、前後の月で類似したパターンが観測される可能性があるが、季節変化がどの時期になるのかを事前に設定することは難しい。そこで、月別モデルを順次統合した、季節別モデルの作成手法を提案する。月別で学習したモデルの状態数を n とし、比較したいモデルの平均ベクトル(ケプストラム係数の平均値)をそれぞれ $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$ として、モデルの距離を式(2)のように定義する。隣接したモデル間の距離が最も近いものを選択し、そのモデルを構成する学習データを統合することにより新たにモデルを作成する。この操作を所定の分割数になるまで繰り返す。

$$D(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{\sigma_i^2}} \quad (2)$$

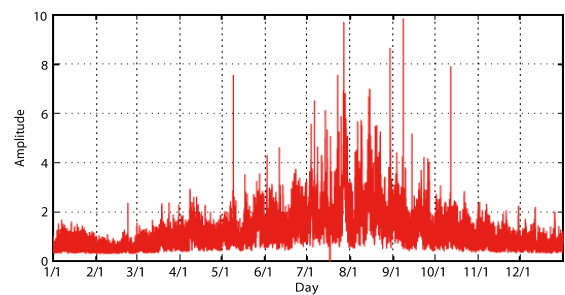
4 大地震に関する評価実験

評価実験として2008年に発生した岩手・宮城内陸地震について、前述した季節別モデルの作成法に基づいてモデルを図2のように統合し、モデルに対する尤度の調査を行った。実験条件を表1に示す。観測波形を図3(a)、尤度変化、閾値を図3(b)に示す。

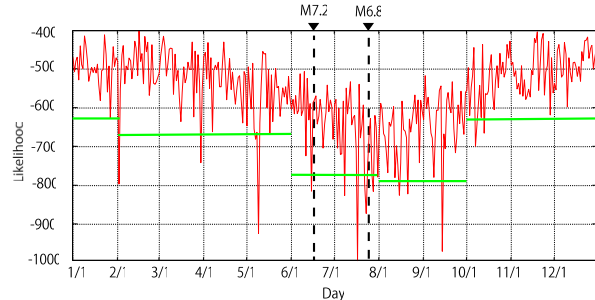
これをみると、2つの大きな地震の前に尤度の

表1: 実験条件

観測方向	宮城県栗原市若柳南北方向
学習データ	1997年～2007年
テストデータ	2008年の観測データ
標本化周期	150秒
フレーム長	半日(288点)
フレーム周期	1時間(24フレーム/日)
特徴量	ケプストラムの0次
窓関数	ブラックマン窓
HMMの条件	状態数:4, 混合数:2
異常放射検出条件	$\mu - 1.5\sigma$



(a) 観測波形(宮城県栗原市若柳, 2008年)



(b) 尤度変化と閾値

図3: 観測波形と異常放射検出結果

低下が確認できる。今回の実験ではパワー成分(ケプストラムの0次)を用いたが、夏季に全体的に尤度の低下がみられた。しかし、季節別に閾値を設けることによって、地震前兆以外の異常であると判断された部分に閾値を上回る部分がみられた。結果は従来法の検出率が21.4%であるのに対し、季節別モデルでの検出率は26.7%となった。これは季節別にモデルを作成したことによって、季節による環境電磁波の傾向が適切に学習され、モデルの精度が向上したことによる効果と考えられる。

5 むすび

本研究では、環境電磁波が季節による変化を有することから、HMMを用いて季節別に日変動をモデル化し、異常検出の有効性を確認した。その結果、各地点において地震前兆とみられる異常を検出できた。また、地震が起きていない時期に異常であると判定される部分が減少し、検出率の向上が確認された。

今後の課題として、地震前兆以外の異常の特定、季節別モデルの精密化などが挙げられる。

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] 竹本一彦他, "複数地点における異常検出のための環境電磁波HMM間の関係", 第25回信号処理シンポジウム, pp. 479-484, 2010-11.