

# 深層学習・最近傍法・ETAS モデル等を用いた地震活動モニタリング手法の開発

筑波大学生命環境系 八木 勇治

筑波大学大学院生命環境科学研究科 余 君宇

気象庁気象研究所地震津波研究部 溜渕 功史

構造計画研究所（前：筑波大生命環境科学研究科） 松川 晴明

前：筑波大生命環境科学研究科 笠原 天人

## 1. はじめに

地震観測網と地震カタログの整備に伴い、地震に関するビックデータにアクセスすることが容易になってきた。このビックデータには、地震発生場の情報が含まれていると考えられており、地震時の断層破壊過程等の情報を引き出す手法の開発が行われてきた。今回の発表では、大量の地震データを基にした地震活動のモニタリング手法開発について紹介する。

## 2. 最近傍法を用いた地震活動のクラスタリングと前震活動の特徴抽出 (Tamaribuchi et al., 2018)

地震活動は、定常ポアソン過程で近似できる背景地震の活動と、時間と空間に固まって発生する地震活動で構成されている。震源分布のフラクタルな性質と断層サイズのマグニチュード依存に注意して二つの地震間の距離を震源時・震央・マグニチュードの関数で表現し、各々の地震の最近傍距離を求めると、そのヒストグラムはバイモーダルな分布になり、それぞれのピークが背景地震の活動とクラスター化できる地震群に対応することが知られている。気象庁一元化震源のカタログに本手法を適用して地震群を抽出しその特徴を調べたところ、およそ半分の地震群は前震活動を有すること、前震活動期に地震が大きくなりやすい傾向がある地震群が存在することがわかった。

## 3. ETAS モデルを用いた、巨大地震前後の正断層・逆断層型地震の発生確率の時間変化

地震発生場の応力状態は正断層や逆断層の発生確率の時間変化を用いればモニタリング可能であるが、大きな地震が発生すると余震によって発生確率は急変してしまう。定常的な背景地震活動と余震活動等の非定常な地震動が混在していることが、地震発生場のモニタリングを難しくしている。地震発生時系列を表現できる統計モデルである ETAS (epidemic-type aftershock sequence) モデル（例えば、Ogata, 1985）を用いることで、各地震が背景地震活動に属する確率を求めることが可能である。何らかの閾値を定めてクラスタリングするのではなくこの確率を直接的に利用することもできる。気象庁一元化震源と防災科研 F-net のカタログを用いて、背景地震における逆断層型地震の発生確率の時間変化を求めたところ、巨大地震の応力解放・回復過程をモニターすることができ、かつ、発生確率がプレート境界面でのプレート間すべりの揺らぎに対応して時間変化することがわかった。

## 4. 深層学習を用いたスロー地震による地震動の同定

近年になって発見されたスロー地震は、断続的にゆっくりとプレート境界付近で断層が動くことによって発生している。地震学では震源と震源時を決定することでイベントの同定を行なっているが、スロー地震は断続的に発生するために震源決定は困難であり、従来の同定法と同じ戦略をとると、多くのスロー地震を見逃すことになる。そこで本研究では、一観測点のデータからスロー地震の同定を行うために、深層学習を用いてノイズ、通常地震、スロー地震の分類問題を扱った。解析には、スロー地震が発生している領域の防災科研 Hi-net の連続波形記録を用いた。解析の結果、判定器の性能を示す AUC(Area under an ROC curve) の値が 0.95 となり、高い値を得ることができた。この判定器を用いると、従来考えられてきたよりスロー地震が発生している時間が長いことが判明した。