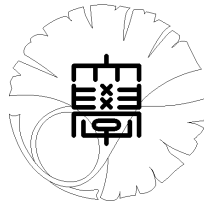


数理科学実践研究レター 2019–17 November 28, 2019

**Adaptive Resonance Theory** を用いた  
地震イベントの分類

by

千草 颯



**UNIVERSITY OF TOKYO**  
GRADUATE SCHOOL OF MATHEMATICAL SCIENCES  
KOMABA, TOKYO, JAPAN

# Adaptive Resonance Theory を用いた地震イベントの分類

千草颯<sup>1</sup> (東京大学大学院理学系研究科物理学専攻)

So Chigusa (Department of Physics, The University of Tokyo)

## 概要

大きな本震後に発生する余震の発生頻度やその性質には大きな乱数性があり、その全てを説明できるモデルも未だ存在しないことから、説明の付いていない部分が多い。本稿では、そのような性質を Adaptive Resonance Theory と呼ばれる機械学習の技術を用いて解析し、各余震イベントを特定の地震モデルに依らない方法で分類することを目指す。

## 1 導入

日本は古来より多くの活断層の上に位置し、最も地震の多い国として歴史を重ねてきた。必然的な帰結として、地震の発生メカニズム、およびその予言といった分野の研究が、国内において盛んに行われている。中でも、ある本震後に複数の余震が発生する場合の連続する地震間の時間間隔（以後、待ち時間と表記）に関しては、確率分布関数の形である程度の法則性が知られており、その乱数的な性質から、次の余震発生時刻を予言するには至らないものの、性質の理解が進んでいるといえることができる。一方で、地震にはそれを特徴付けるいくつかの別のパラメータが存在する。例えば、地震の大きさを表すマグニチュード、地表から測った震源の深さ、さらに連続する複数の余震を考える場合には、ある余震から次の余震までの震源間の距離（以後、跳躍距離と表記）などのパラメータが対応する。初めに述べた待ち時間以外のパラメータも考慮に入れると、余震が続く中でこれらのパラメータが互いにどう影響し合い、どのように時間変化していくのか、という点に関しては、未だ理解が十分でない部分が多い。

そこで、今回の研究においては、以上に挙げたようなパラメータの一群をビッグデータとして取り扱い、近年急速に発展しつつある技術である機械学習を用いて、これらパラメータ間の相関、時間発展に関する情報を抜き出すことを目標に据えた。従来の研究手法と比べて今回の方法が優れている点として、特定の地震モデルに依存せず解析が行えるため、モデル固有の性質を地震本来の性質と誤謬する恐れがないことが挙げられる。また、今回のように巨大な（パラメータの種類  $\times$  余震の数  $\sim \mathcal{O}(10^4)$ ）データを取り扱いその性質を抜き出すタスクは、機械学習の方法が最も得意とするところであり、これまでの研究者が気づけなかった特徴を指摘できる可能性がある。

## 2 解析

解析においては、機械学習の手法の中でもデータ点の分類というタスクに特化した、Adaptive Resonance Theory (ART) [1] と呼ばれる手法を採用した。ART は、いわゆる教師なし学習を用いたデータ点分類手法の一つであり、特に、分類先のグループの数を事前に指定する必要がなく、プログラムが実行される過程で適切なグループが新たに定義されながら、最終的に必要十分な数のグループが得られることが特徴である。この特色から、現在進行形で統計が増え続ける地震の解析を行うには ART が最適な手法の一つであることがわかる。実際の解析には、プログラミング言語 Python を用いて実装されたパッケージ `art-python` [2] を用いた。

今回の研究では、解析の最終的な目標への第一歩として、気象庁の震度データベース [3] に蓄積された熊本地震の  $\mathcal{O}(10^4)$  程度の数の余震イベントに関し、待ち時間と跳躍距離を ART に渡し、イベントの分類がどのように時間変化するかを見た。このとき、分類の粗さを表す ART のフリーパラメータは、頻繁に用いられる値  $\rho = 0.5$  にセットした。横軸に待ち時間、縦軸に跳躍距離をいずれも対数スケールでプロットし、イベントの分類を色の濃淡で示したものが、図 1 である。全余震イベントは時間経過により、それぞれ日単位の時間スケールを記録した 4 種類に分割され、図 1 では古い順に

<sup>1</sup>chigusa@hep-th.phys.s.u-tokyo.ac.jp

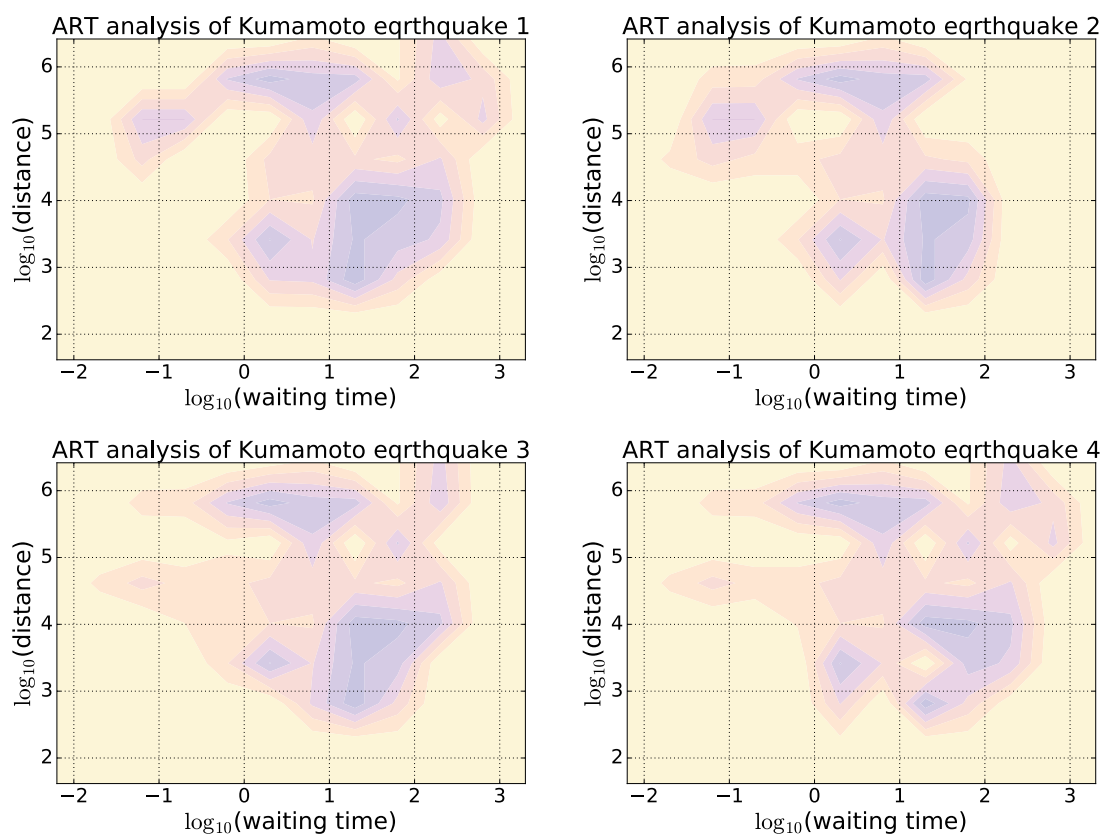


図 1: 熊本地震の余震イベントに関し、横軸に待ち時間、縦軸に跳躍距離を取り、ART の出力を色の濃淡で表した図。全余震イベントは時間経過により 4 つに分割され、古い順に左上、右上、左下、右下のブロックに結果が示されている。

左上、右上、左下、右下のブロックに結果が示されている。プロット上の点  $(-1, 5)$  周辺の領域に着目すると、過去に存在した分類が新しいイベントでは消滅したり、逆に過去に存在しなかった分類が突如出現したりする様子が見て取れる。この振る舞いの可能な解釈としては、本震の直後（1、2 枚目のプロットに対応）には広範囲で弱い余震が多く発生するが、しばらく時間が経つと（3、4 枚目のプロットに対応）比較的狭い範囲でのみ余震が続くようになる、と考えることが可能である。このように、ART を用いた地震イベントの分類から、時間経過により地震の性質がどのように変化していくのかを明らかにできる可能性が示された。

## 謝辞

本研究に有益なコメントをくださった、東京海上日動リスクコンサルティングの矢野良輔氏、東京大学理学系研究科の井出哲氏に感謝いたします。本研究は数物フロンティア・リーディング大学院 (FMSP) の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] S. Grossberg, Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance, *Cognitive Science* 11 (1) (1987) 23 – 63. doi:[https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(87\)80025-3](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(87)80025-3).  
URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0364021387800253>
- [2] art-python.  
URL <https://art-python.readthedocs.io/en/latest/#>
- [3] 気象庁 震度データベース.  
URL <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>