

令和元年5月30日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00065

研究課題名(和文) 群発地震活動の非定常点過程モデルの構築と火山活動や非地震性すべりの監視法の研究

研究課題名(英文) Development of nonstationary point process model of swarm activity for monitoring of volcanic activity and aseismic slip

研究代表者

熊澤 貴雄 (KUMAZAWA, Takao)

東京大学・地震研究所・特任助教

研究者番号：60649482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではマグマや水による断層間隙流体圧などの何らかの外力変化によって駆動される群発地震活動データを解析する非定常点過程ETASモデルの高度化を実現した。特に、地殻ひずみの時系列データと地震活動の関係を応用して、伊豆地方におけるマグマ貫入に起因する火山性群発地震の活動規模や終息時期(継続期間)を短期予測する手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地殻内の現象は内陸部の稠密なGPS観測点による膨大な観測データに関わらず、それらの解析法の困難さと発展途上性から解っていないことが多い。地震発生時系列をETASモデルを基調とした非定常点過程モデルを用いてパラメータの時空間変動を推定し、判明している地球物理モデルと対応させていくことでプレート運動と地震発生メカニズムの関係理解をより一層深めることができると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed a nonstationary ETAS model (a point process model) that analyzes seismic swarm data driven by some external forces such as fault pore fluid pressure due to magma and water intrusions. In particular, we proposed a method to predict the activity scale and the end time (duration) of volcanic swarm earthquakes caused by magma intrusion in Izu region, applying the relationship between crustal strain time series data and seismic activity.

研究分野：統計地震学

キーワード：地震活動 点過程 ETASモデル 統計

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究の学術的背景

ETASモデルは日本伝統の統計地震学の経験法則にもとづいて定義され点過程モデルである。本震・余震の区別なく、すべての地震がそのマグニチュードに応じて余震を起こすことを仮定している点が本質的となっている。ETASモデルの予測が発生頻度からの外れた偏差を見ることで地震活動の活発化あるいは静穏化を調べることができる (たとえば Ogata, 1988, *JASA*; 1992, *JGR*)。これらの地震活動の変化はモデルのパラメータの時間変化として表現される。一般に、地震性・非地震性にかかわらず断層運動は直ちに周辺地殻の応力場に変化を与え、地震の発生率の増減として表れる。

地震断層に働く応力が変化する原因として、近隣での地震性や非地震性の断層すべりに伴う応力場変化の他に、マグマ (Dieterich et al., 2000, *Nature*) や水 (例えば Terakawa et al., 2013, *EPSL*) による間隙流体圧の増加に伴う断層強度の低下等が報告されている。申請者らは非定常 ETAS モデルを適用することで、2011 年東北地方太平洋沖地震に誘発された地震群の一部は本震の断層活動による応力場の変化だけでは説明できず、断層強度の低下に起因することを示した (Kumazawa and Ogata, 2013, *JGR*)。これらの結果は間隙流体圧の変化による研究 (Terakawa et al., 2013, *EPSL*) と調和的であった。これらの異常活動は短期的或いは断続的であり、時々刻々と変化する状態を記述するためにはより直接的にパラメータの変化を詳細に推定できる統計モデルが必要であった。

2. 研究の目的

非地震性の断層すべりや間隙流体圧の増減は直接的な観測が困難な一方で、往々にして一定のすべり域の周辺部において多発する群発性地震を引き起こし、地震の発生形式が通常の活動パターンから統計的に外れる活動を見せる。これらの逆解析に組織的に取り組む統計的方法を具体的な問題に即して開発し、異常地震活動の短期的予測法を提案する。

3. 研究の方法

従来の ETAS モデルの残渣解析でなく直接的に逆解析 (inversion) して地震活動の異常性を求めるために、パラメータの時間的な変化を許容する階層ベイズ的非定常 ETAS モデルを開発し、幾つかの顕著な異常地震活動を解析する。

4. 研究成果

本研究ではマグマや水による断層間隙流体圧などの何らかの外力変化によって駆動される群発地震活動データを解析する非定常点過程 ETAS モデルの開発と高度化を実現した。特に、地殻ひずみの時系列データと地震活動の関係を応用して、伊豆地方におけるマグマ貫入に起因する火山性群発地震の活動規模や終息時期 (継続期間) を短期予測する手法を提案した。伊豆地方東部でのマグマ貫入に伴う地殻の体積歪みは群発地震発生数と高い相関を示すことが報告されているが、モデルの或るパラメータの時間変化がより高い相関を示すことが判明した。この相関は数時間程度の時間差で最大となるので、体積歪みから群発的地震活動の短期予測が可能となることが分かった。また、2016 年熊本地震の発生を受けて、地震発生前後の余震域での地震活動から、地震発生時系列データに ETAS モデル・非定常 ETAS モデルをはじめとする各種点過程モデルを適用することで何がわかり何がわからないかを詳細に調査した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

1. Kumazawa, T., Ogata, Y. and Tsuruoka, H. (2018). Aftershock analysis of the 2016 Kumamoto earthquakes (in Japanese), *Report of the Coordinating Committee for Earthquake Prediction*, Vol.98, pp.386-391 (査読なし)
2. Kumazawa, T., Ogata, Y., Tsuruoka, H. (2017). Measuring seismicity diversity and anomalies using point process models: case studies before and after the 2016 Kumamoto earthquakes in Kyushu, Japan. *Earth, Planets and Space*, 69:169, <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0756-6>.
3. Kato, A. Fukuda, J. Kumazawa, T. Nakagawa, S. (2016). Accelerated nucleation of the 2014 Iquique, Chile Mw 8.2 Earthquake, *Scientific Reports (Nature Publishing Group)*, Vol.6, ArticleNo.24792, doi:10.1038/srep24792
4. Kumazawa, T. Ogata, Y. Kimura, K, Maeda, K, Kobayashi, A. (2016). Background rates of swarm earthquakes are synchronized with volumetric strain changes, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.442, pp51-60, doi:10.1016/j.epsl.2016.02.049.
5. Kumazawa, T., Ogata, Y., Kato, A. and Tsuruoka, H. (2016). Statistical analysis of the swarm activity induced by the 2016 April earthquake of M6.1 at the southeast off the coast of the Mie Prefecture (in Japanese), *Report of the Coordinating Committee for Earthquake Prediction*, Vol.96, pp.304-310 (査読なし)
6. Kumazawa, T., Ogata, Y. and Tsuruoka, H. (2016). Statistical monitoring of seismicity in Kyushu District before the occurrence of the 2016 Kumamoto earthquakes of M6.5 and M7.3 (in Japanese), *Report of the Coordinating Committee for Earthquake Prediction*, Vol.96, pp.642-651 (査読なし)

〔学会発表〕(計 14 件)

1. 熊澤貴雄、尾形良彦、遠田晋次. 2011年東北沖地震地震前の広域地震活動変動, 日本地震学会 2018年度秋季大会, 2018年10月9日, 一般公演
2. 熊澤貴雄、尾形良彦、遠田晋次. 2011年東北沖地震地震前の地震活動変動の統計解析, 日本地球惑星連合 2018年大会, 2018年5月24日, 一般公演
3. Kumazawa, T. Background rates of swarm earthquakes that are synchronized with volumetric strain changes, International Conference for the Decade Memory of the Wenchuan Earthquake with the 4th International Conference on Continental Earthquakes, 四川省成都市, 2018年5月13日, 招待講演
4. 熊澤貴雄, 尾形良彦, 鶴岡弘, 点過程モデルによる熊本地震前後の地震活動の解析, 第218回地震予知連絡会, 重点検討課題「熊本地震で見えてきた課題」, 東京, 九段, 2018年2月23日, 招待講演.
5. 熊澤貴雄, 尾形良彦, 鶴岡弘, 熊本地震前後の地震活動について, 第8回研究集会「日本における地震発生予測検証実験(CSEP-Japan)」, 東京, 立川市, 2017年11月1日, 一般講演.
6. 熊澤貴雄, 尾形良彦, 鶴岡弘, 2016年熊本地震発生前後の九州地方地震活動の点過程モデルによる解析, 日本地震学会 2017年度秋季大会, 鹿児島市, 2017年10月26日, 一般講演.

7. 熊澤貴雄, 尾形良彦, 鶴岡弘, 点過程モデルによる熊本地震の一年間余震活動の解析, 2017 年度統計関連学会連合大会, 名古屋市, 2017 年 9 月 5 日, 一般講演.
8. Kumazawa, T., Ogata, Y. and Tsuruoka, H. (2017). Statistical Monitoring of the Seismicity before and after the Kumamoto Earthquakes, 10th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei10)(第 10 回統計地震学国際ワークショップ), Museum of New Zealand Te Papa Tongarewa, ウェリントン, ニュージーランド, 2017 年 2 月 21 日, 招待講演.
9. Kumazawa, T. (2016). Modeling Earthquake Anomalies: Application of ETAS (Epidemic-Type Aftershock Sequence) Model and Its Improvement, 2016 The 10th ICSEA International Conference on Global Growth of Modern Statistics in the 21st Century, Shanghai Jiao Tong University, 上海市, 中国, 2016 年 12 月 19 日, 招待講演.
10. Kumazawa, T., Ogata, Y. and Tsuruoka, H. (2016). Statistical Monitoring of the Seismic Activities before and after the Kumamoto Earthquakes, 2016 Fall Meeting of the American Geophysical Union(AGU)(米国地球物理学連合 2016 年秋季大会), Moscone Center, サンフランシスコ, アメリカ合衆国, 2016 年 12 月 16 日, ポスター発表.
11. 熊澤貴雄, 尾形良彦, 加藤愛太郎・鶴岡弘 (2016). 三重県南東沖の地震 (M6.1) に続く群発地震活動の統計解析, 日本地震学会 2016 年度秋季大会, 名古屋国際会議場, 名古屋市, 2016 年 10 月 5 日, 一般講演.
12. 熊澤貴雄, 尾形良彦 (2016). 熊本地震前後の九州地方地震活動の点過程モデルによる解析, 2016 年度統計関連学会連合大会, 金沢大学角間キャンパス, 石川県金沢市, 2016 年 9 月 5 日, 一般講演.
13. 熊澤貴雄, 尾形良彦, 木村一洋, 前田憲二, 小林昭夫 (2016) Some development on predicting earthquake swarms using volumetric strain records. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉市, 2016 年 5 月 24 日, ポスター発表.
14. 加藤愛太郎, 福田淳一, 熊澤貴雄, 中川茂樹 (2016). Accelerated nucleation of the 2014 Iquique, Chile Mw 8.2 Earthquake, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉市, 2016 年 5 月 24 日, 一般講演

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：

取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。