

令和元年6月25日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26240003

研究課題名(和文) 拡張された空間点過程と災害の数理モデル

研究課題名(英文) Extended spatial point process and mathematical models of disasters

研究代表者

鎌倉 稔成 (Kamakura, Toshinari)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：40150031

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,100,000円

研究成果の概要(和文)：点過程の拡張と災害の数理モデル、空間時系列を利用した災害イベントの分析、衛星画像による地球規模災害マップの作成、エンシェロン解析によるホットスポット分析について一定の研究成果が得られた。特に、活断層の分析のための線分方向データの検定する方法を開発した。小標本でも名目有意水準が実質有意水準に近いことがわかり、検出力も高いことが確認できた。角度の一樣性の検定統計量であるRao検定の近似分布の導出を行った。津波の被害領域と津波の強度の総合指標として有用なポアンカレコーンを用いたモデルについてその有用性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然災害の統計的モデルの研究はこれまでになく、統計学を中心とした研究者が一堂に会してのグループでの研究により、災害のリスク評価および予測に対して研究成果がひととおり得られた。近年は自然災害が大規模化し、イベント発生に対してのモデルも点ではなく、領域として拡張が必要になってきている。この研究では、空間的な点過程を線分および領域に拡張してより現実の災害にフィットしたモデルに近づけることができた。地震のように災害については、観測精度が上がっているが、まだまだ予測を行うためには空間的にも時間的にも精度が十分でないことがこの研究結果から明らかになっている。適切なリスク評価法は社会的にも意義がある。

研究成果の概要(英文)：Some research results have been obtained for the extensions of point processes and mathematical models of disasters, analysis of disaster damage events using spatial time series, creation of global-scale disaster maps using satellite images, and hotspot analysis using echelon analysis. In particular, we developed a method to test line segment direction data for analysis of active faults. It was found that even for small samples the nominal significance level is close to the true significance level, and it was confirmed that the detection power is also high. We derived the approximate distribution of Rao's test, which is a test statistic of uniformity test for angular data. We verified the usefulness of the model using Poincare cone, which is useful as a comprehensive indicator of tsunami damage area and tsunami intensity.

研究分野：統計科学

キーワード：空間点過程 線分モデル リスク評価 空間時系列

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

1. 研究開始当初の背景

災害は時空間上のイベントの生起の問題として捉えることができる。統計科学の領域では、時空間の点過程のモデルとして定式化される。この研究プロジェクトでは、点過程の拡張を行い、地震学における活断層の分布(空間上の線分の分布)、災害領域の分布(空間上の面の分布)も扱えるようにするのが1つの目標となる。点はその定義からして、長さや面積を持たない。点の分布については、かなり研究が行われているが、線分や形のある領域の分布については、あまり研究が行われていない。2013年10月に伊豆大島で起きた土砂崩れの被害についても、被害の領域における地質と領域面の形状、及び領域面の水平面のなす角度が問題となっている。土砂災害は国土交通省によると毎年約1,000件発生している。集中豪雨との関係だけでなく、災害領域との統計的データに基づく数理モデルの開発が急務となっている。

2. 研究の目的

(1) 空間点過程の拡張

これまでの研究で、地震断層が直線の場合に、情報が得られていない空間を含めた長さ和本数を推定することができている。本研究では、地震断層が2次曲線や楕円の場合に情報が得られていない空間を含めての長さ和本数を推定する空間点過程を明らかにする。また、地質を考慮することや地震断層間の関連度を含める。

(2) 災害数理モデル

ここで研究する数理モデルは災害領域という面積を持つイベント(災害の生起イベント)である。領域の形状や地質構造植生との相互作用のモデリングを行う。土砂災害では、領域の地震に含まれる水分量、地質、植生に大きく影響される。また、領域形状にも依存する(形状に依存することは、接着強度の暴露試験でも明らかになっている。研究代表者らによる「接着結合系の信頼性技術」、日科技連出版社、2009)。これらを踏まえた上で総合的にリスク評価に役立てる。

3. 研究の方法

(a) 点過程の拡張の準備(エッジ効果の同定と補正)

空間点過程の問題は、地質学で盛んに研究議論されてきたが、基本的に全ての完全データが得られることを前提にその理論が構築されている。一方、鉱山学の分野における、ある地域における岩石の割れ目の分布は、一般に有界な観測領域のみであり、観測領域外に繋がるようなデータでは観測が不完全になってしまう。また、点過程の分布といえども、境界領域近傍では領域外の点の分布の影響を受ける。観測されていない潜在変数を考慮することによって、その影響の評価と補正された空間分布の推定に関する研究を行う。

(b) 線分の分布への拡張

1次元の線分への拡張は容易であるが、実際の数値解の計算は必ずしも簡単ではない。点から線分への点過程の拡張の1つのアイデアは線の中心を点、その点を中心とする方向ベクトルを決定する問題となる。点の線分の長さや線分方向という3次元の分布を同定する問題である。

4. 研究成果

災害リスクの評価、点過程の拡張と災害の数理モデル、拡張された点過程の統計的性質、空間時系列を利用した災害イベントの分析、衛星画像による地球規模災害マップの作成、ヒートアイランド・ゲリラ豪雨の数理モデルの研究、ファジィクラスタリングによる災害マップ分析、エシェロン解析によるホットスポット分析、多変量解析による災害リスクの評価分析について分担者がそれぞれ研究を進めた。活断層の分析のための線分方向データの検定する方法を開発した。LM法を用いることにより、効率的にその検定統計量を導くことが可能で、また、小標本でも名目有意水準が実質有意水準に近いことがわかり、検出力も高いことが確認できた。

また、線分方向データのクラスタリングについては、LMテストによる一様性検定とk-means法を組み合わせた方法を実装し、クラスタリングが可能となった。さらに、角度の一様性の検定統計量であるRao検定の近似分布の導出を行った。さらに、津波のリスク評価に有用な凸包の拡張である、ポアンカレコーンによる津波被害領域のモデルを提案した。ポアンカレコーンによる凸包の拡張は図1の通りである。土砂災害の楕円形状による災害領域の推定では、災害領域の方向ベクトルと領域面積を同時に推定可能になることを示し、精密な領域面積の分布計算と変わらない精度であることを

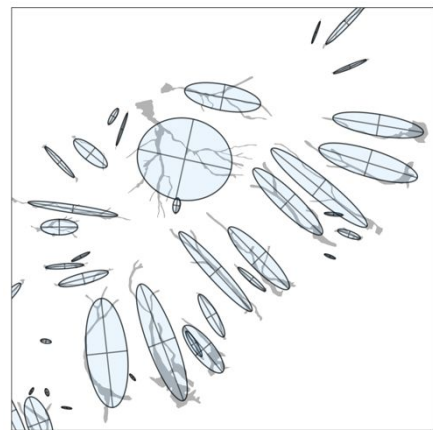


図1. 土砂災害の楕円形状分析

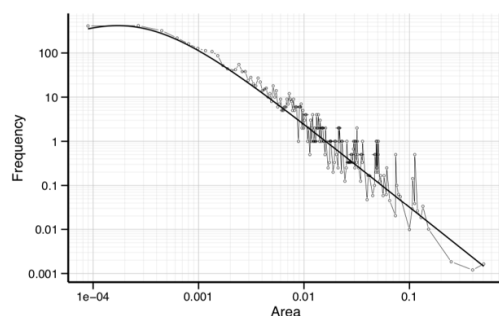


図2. 土砂災害の楕円近似頻度分布

示した(図1, 図2).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計28件)

Ishioka, F., Kawahara, J., Mizuta, M., Minato, S. and Kurihara, K., Evaluation of hotspot cluster detection using spatial scan statistic based on exact counting, Japanese Journal of Statistics and Data Science, 査読有, 2巻, 2019, 2520-8764 1007/s42081-018-0030-6

Mitsuhiro, M. and Yadohisa, H. 1, A unified representation of simultaneous analysis methods of reduction and clustering, Journal of Statistics and Data Science, 査読有, 1巻, 2018, 393-412 1007/s42081-018-0022-6

Misumi, T., Matsui, H. and Konishi, S., Multivariate functional clustering and its application to typhoon data, Behaviormetrika, 査読有, 46巻, 2018, 1-29 1007/s41237-018-0066-8

S. Koda, A. Zeggada, F. Melgani and R. Nishii, Spatial and structured SVM for multilabel image classification, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 56巻, 2018, 5948-5960

Ogata, Y., Comment on "A Review of Self-Exciting Spatiotemporal Point Process and Their Applications" by Alex Reinhart, Statistical Science, 査読有, 33巻, 2018, 319-322 1214/18-STS650

Ogata, Y., Katsura, K., Tsuruoka, H. and Hirata, N., Exploring magnitude forecasting of the next earthquake, Seismological Research Letters, 査読無, 89巻, 2018, 1298-1304 1785/0220180034

Matsuda, Y. and Yajima, Y., Locally stationary spatio-temporal processes, Japanese Journal of Statistics and Data Science, 査読有, 1巻, 2018, 41-57 1007/s42081-018-0003-9

Yoshida, A., Sakumura, T. and Kamakura, T., Indoor location estimation based on ToA data and bias estimation using gamma regression, Journal of the Japanese Society of Computational Statistics, 査読有, 30巻, 2018, 13-21 5183/jjscs.1605001_231

Nagai, T. and Kamakura, T., Inference for the extent parameter of damage by tsunami with Poincare cones, Japanese Society of Computational Statistics, 査読有, 30巻, 2018, 23-24 5183/jjscs.1605003_232

Ogata, Y., Statistics of Earthquake Activity: Models and Methods for Earthquake Predictability Studies, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 査読有, 46巻, 2017, 497-527 1146/annurev-earth-063016-015918

Ogata, Y., Forecasting of a Large Earthquake: An Outlook of the Research, Seismological Research Letters, 査読有, 88巻, 2017, 1117-1126

Matsuda, Y. and Yajima, Y., Locally stationary spatio-temporal processes, Japanese Journal of Statistics and Data Science, 査読有, 1巻, 2017, 1-17 1007/s42081-018-0003-9

阿部 興, 鎌倉 稔成, 窓打ち切り状況下での交代再生過程のパラメータの最尤推定, 計算機統計学, 査読有, 29巻, 2017, 133-146 20551/jscswabun.29.2_133

Ogata, Y. and Tsuruoka, H., Statistical monitoring of aftershock sequences: a case study of the 2015 Mw7.8 Gorkha, Nepal, earthquake, Earth, Planets and Space (Published online), 査読有, 68巻, 2016, 1186/s40623-016-0410-8

Kumazawa, T., Ogata, Y., Kimura, K., Maeda, K. and Kobayashi, A., Background rates of swarm earthquakes that are synchronized with volumetric strain changes, Earth and Planetary Science Letters, 査読有, 442巻, 2016, 51-60 1016/j.epsl.2016.02.049

松井秀俊・三角俊裕・横溝孝明・小西貞則, 非線形混合効果モデルに基づく関数データクラスタリング, 応用統計学, 査読有, 45巻, 2016, 25-45

Jan Dolinsky, D., Hirose, K. and Konishi, S., Readouts for echo-state networks built using locally regularized orthogonal forward regression, Journal of Applied Statistics (Published online), 査読有, 1巻, 2016, 1080/02664763.2017.1305331

Abe, H. and Yadohisa, H., A non-negative matrix factorization model based on the

- zero-inflated Tweedie distribution, Computational Statistics, 査読有、32 巻、2016、475-499
1007/s00180-016-0689-8
- Tsuchida, J. and Yadohisa, H., Asymmetric multidimensional scaling of n-mode m-way categorical data using a loglinear model, Behaviormetrika, 査読有、43 巻、2016、103-138
- Sakumura, T. and Kamakura, T., Proposal of a Modulated Extended Cumulative Exposure Model for the Step-Up Voltage Test, Transactions on Engineering Technologies: World Congress on Engineering and Computer Science 2015, 査読有、2 巻、2016、349-363
- 21 Akimoto, Y., Sakumura, T., and Kamakura, T., Testing for Uniformity of Line Segments, IAENG International Journal of Computer Science (IJCS), 査読有、43 巻、2016、192-197
- 22 阿部興, 鎌倉稔成, 窓打ち切り状況下での交代再生過程のパラメータの最尤推定, 計算機統計学, 査読有、29 巻、2016、133-145
- 23 Inomata, T. and Kamakura, T., The Statistical Models for Parameters in the Bag-making Machine, Engineering Letters, 査読有、23 巻、2015、326-332
- 24 Akimoto, Yoshitomo, Takenori Sakumura, and Toshinari Kamakura, Directional Data Analysis for Line Segments, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, 査読有、2 巻、2015、770-775
- 25 Okusa, K., & Kamakura, T., Indoor location estimation based on the RSS method using radial log-normal distribution, In Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 査読有、1 巻、2015、29-34
- 26 Sakumura, Takenori, and Toshinari Kamakura, Modulated Extended Cumulative Exposure Model with Application to the Step-Up Voltage Test, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, 査読有、1 巻、2015、255-260
- 27 Misumi, T. and Konishi, S., Mixed effects historical varying coefficient model for evaluating dose-response in flexible-dose trials, Journal of the Royal Statistical Society: Series C, 査読有、65 巻、2015、331-344
1111/rssc.12120
- 28 Kawano, S., Hoshina, I., Shimamura, K. and Konishi, S., Predictive model selection criteria for Bayesian lasso regression, Journal of the Japanese Society of Computational Statistics, 査読有、28 巻、2015、67-82
5183/jjscs.1501001 220

[学会発表](計 20 件)

- Stephen M. Mansour (the University of Scranton, Pennsylvania), T. Kamakura, Dyalog APL as easy computer language for data science in mathematics education, Dyalog APL as easy computer language for data science in mathematics education, The 15th Japan Conference on Teaching Statistics (JCOTS18) (招待講演)(国際学会) 2018
- Ogata, Y., 3D spatial models for seismicity beneath greater Tokyo region, CSEP Workshop: Informing Earthquake Debates with CSEP Results, Hilton Palm Springs (招待講演)(国際学会) 2017
- Yajima, Y., Log-periodogram regression for isotropic intrinsic stationary random fields, 2017 年度統計関連学会連合大会、2017
- Kurihara, K., Kajinishi, S. and Ishioka, F., Statistical evaluation for spatial complexity based on echelon trees, 2017 Conference of the International Federation of Classification Societies (招待講演) 2017
- 宮崎遼, 村上秀俊, 鎌倉稔成, フーリエ級数近似に基づく多標本 Baumgartner 統計量の対立仮説における極限分布, 日本計算機統計学会第 31 回シンポジウム、2017
- 秋元良友, 鎌倉稔成, 円周上における 2 標本の平均の検定, 日本計算機統計学会第 31 回シンポジウム、2017
- Kodaira, Y., Abe, K., Sakumura, T. and Kamakura, T., Bias reduction fo ML estimators of gamma distribution parameters and comparison with other methods, 2017 Hangzhou International Statistical Symposium, 2017
- Akimoto, Y. and Kamakura T., Performance studies of test statistics for two-sample directional data, 2017 Hangzhou International Statistical Symposium, 2017
- 尾形良彦, 首都圏の地震活動のための 3 次元時空間モデルと確率予測, 都市災害サブプロ 1 ワークショップ, 東京大学地震研究所, 2017 年 01 月 06 日
- Abe, H. and Yadohisa, H., Two Soft Clustering Approaches for Weighted Spherical K-means, The 7th International Forum on Statistics of Renmin University of China (国際学会) Beijing, China, 2016 年 05 月 27 日~2016 年 05 月 29 日
- 石岡文生, 栗原考次, 空間データに対するホットスポット検出手法の性質評価について, 2016 年度統計関連学会連合大会, 金沢大学, 2016 年 09 月 04 日~2016 年 09 月 07 日
- 阿部興, 鎌倉稔成, 一次元線分過程の統計的性質, 第 16 回西東京統計研究会, 専修大学

生田キャンパス、2017年3月15日

作村建紀・鎌倉稔成、土砂被害領域の楕円推定とその面積分布の比較、第16回西東京統計研究会、専修大学生田キャンパス、2017年3月15日

鎌倉稔成、ビッグデータ時代における統計学の役割、2016年度統計関連学会連合大会（招待講演）金沢大学、2016年09月04日～2016年09月07日

作村建紀・秋元良友・鎌倉稔成、災害領域の特徴量抽出のための統計解析、2016年度統計関連学会連合大会、金沢大学、2016年09月04日～2016年09月07日

秋元良友・鎌倉稔成、線分の角度データにおけるクラスタリング法について、日本計算機統計学会第30回大会、京都、2016年05月19日～2016年05月20日

Kamakura, T. and Sakumura, T., Likelihood-based inference for Weibull distribution, MMR 2015（招待講演）（国際学会）Tsukuba University、2015年06月01日～2015年06月04日

Ogata, Y., Reviews on the pre- and post-seismicity of the Tohoku-Oki mega-earthquake, and future long-term forecasts, 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9)（招待講演）（国際学会）ポツダム、ドイツ連邦共和国、2015年06月17日

N. Kunitomo and H. Misaki, The SIML Estimation of Integrated Covariance and Hedging Coefficients under Micro-market noise and Random Sampling, CFE-ERCIM, 2014.12. 6 University of Pisa, Pisa, Italy（国際学会）Pisa, Italy、2014年12月06日

N. Kunitomo and H. Misaki, The SIML Estimation of Integrated Covariance and Hedging Coefficients under Micro-market noise and Random Sampling, COMPSTAT 2014 (21th International Conference on Computational Statistics)（国際学会）Geneve, Switzerland、2014年12月21日

〔図書〕（計04件）

日本統計学会：編集委員長 鎌倉稔成、丸善出版、統計科学百科事典、2018、2130

矢島美寛、朝倉書店、時系列ハンドブック、第17章 時間および時空間過程に対する Karhunen-Loeve 展開（翻訳）2016、788

景山三平監修、鎌倉稔成、神保雅一、武田裕一、実教出版、理工系のための統計入門、2016、198

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等 <http://www.indsys.chuo-u.ac.jp/~kmlab/>

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：国友 直人

ローマ字氏名：(KUNITOMO Naoto)

所属研究機関名：東京大学

部局名：経済学研究科（研究院）

職名：教授

研究者番号（8桁）：10153313

研究分担者氏名：渡邊 則生

ローマ字氏名：(WATANABE Norio)

所属研究機関名：中央大学

部局名：理工学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：10182940

研究分担者氏名：栗原 考次

ローマ字氏名：(KURIHARA Kouji)

所属研究機関名：岡山大学
部局名：環境生命科学研究科
職名：教授
研究者番号(8桁): 20170087

研究分担者氏名：小西 貞則
ローマ字氏名:(KONISHI Sadao)
所属研究機関名：中央大学
部局名：理工学部
職名：教授
研究者番号(8桁): 40090550

研究分担者氏名：西井 龍映
ローマ字氏名:(NISHII Ryuuei)
所属研究機関名：九州大学
部局名：マス・フォア・インダストリ研究所
職名：教授
研究者番号(8桁): 40127684

研究分担者氏名：宿久 洋
ローマ字氏名:(YADOHISA Hiroshi)
所属研究機関名：同志社大学
部局名：文化情報学部
職名：教授
研究者番号(8桁): 50244223

研究分担者氏名：尾形 良彦
ローマ字氏名:(OGATA Yoshihiko)
所属研究機関名：統計数理研究所
部局名：大学共同利用機関等の部局等
職名：名誉教授
研究者番号(8桁): 70000213

研究分担者氏名：矢島 美寛
ローマ字氏名:(YAJIMA Yoshihiro)
所属研究機関名：東北大学
部局名：経済学研究科
職名：客員教授
研究者番号(8桁): 70134814

研究分担者氏名：山田 正
ローマ字氏名:(Yamada Tadashi)
所属研究機関名：中央大学
部局名：理工学部
職名：教授
研究者番号(8桁): 80111665

(2)研究協力者

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。