

令和元年6月10日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01205

研究課題名(和文) 極値理論に基づく統計的推測理論の構築とその応用

研究課題名(英文) New developments of statistical inference based on extreme value theory

研究代表者

長塚 豪己 (Nagatsuka, Hideki)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：30384738

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：以下の成果が得られた。(i) GEV、GPD分布について、全てのパラメータ範囲において一意に推定値が求められる点推定法の開発。(ii) 開発した点推定法における存在性と一意性の数学的証明。(iii) 提案推定量の一致性の数学的証明。(iv) 提案推定量の漸近分布の数学的な導出。(v) 提案推定量の効率的、及びオーバーフローを防ぐ計算アルゴリズムの開発。

研究成果の学術的意義や社会的意義

極値統計では、極値理論に基づく統一モデルとして用いられるGEV、GPD分布が、非正則問題を有する分布であるために、体系化された推定、及び検定方法が確立されてこなかった。非正則問題は、1955年頃から半世紀以上議論されてきた問題であるが、未だ解決に至っていない。極値統計は、信頼性工学、土木工学、水文学、環境学、経済学、社会学分野といった広範囲の分野において極めて多くの適用例が見られる。よって、本研究課題成果は、当該分野にとどまらず広範囲の分野への貢献となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：I had the following results:

(i) Construction of the methods of the parameters of the GEV and GP distributions which are valid for the entire parameter spaces, (ii) The proofs of the existence and uniqueness for the proposed estimates, (iii) The proof of the consistency of the proposed estimators, (iv) Derivation of the asymptotic distributions of the proposed estimators, and (v) The efficient and preventing overflow algorithm for obtaining the proposed estimates.

研究分野：信頼性工学

キーワード：統計的推測理論 極値理論 一般化極値分布 一般化パレート分布 分布論

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

1. 研究開始当初の背景

自然災害は、異常に大きな気象データが観測されるようなケースで発生する。異常に大きな(小さな)データは稀にしか起こらない事象と結びついており、通常用いられる統計手法では歯が立たない。このような極値データを扱う極値統計は、近年極めて重要性を増しており、自然災害への対策だけでなく、製品やシステムの故障を取り扱う品質管理・信頼性工学分野や、金融リスクを取り扱うファイナンス分野等で広く用いられている。

得られたデータを一定の区分で区切り、区分毎の最大(小)値を集めたものを「極値データ」と呼ぶ。極値理論により、得られたデータがどのような分布に従っていようと、極値データの漸近分布は、Gumbel 分布、Frechet 分布、Weibull 分布の3つの分布に限られることがわかっている。この3つの分布は一般化極値分布(以下、GEV 分布)を用いて統一的に表現することができる。また、一定区分毎の最大(小)値を集めたものである極値データではデータ数が少なくなってしまうため、最大(小)値ではなく、ある水準以上(以下)のデータを集めた「水準超過データ」を用いる方法が提案されている。極値理論により、水準超過データの漸近分布は、パレート分布、指数分布、ベータ分布の3つの分布に限られることがわかっており、この3つの分布は一般化パレート分布(以下、GPD 分布)を用いて統一的に表すことができる。そこで、極値理論では、GEV、GPD 分布を用いて統一的に議論を進める試みがなされている。

しかし、GEV、GPD 分布は、非正則分布と呼ばれる特殊な分布で、正則条件が破綻しており、これまでに最尤推定量や PWM 推定量、L モーメント推定量といった様々な推定量が提案されているが、これらは全て、限られたパラメータ範囲でしか存在しない。この非正則性の問題は、GEV 分布が発案された 1955 年頃から半世紀以上にわたって議論されてきた問題であり、JASA 誌、JRSS 誌、Biometrika 誌、Technometrics 誌、JQT 誌、IEEE Tran.on Reliab. 誌といった統計学分野、信頼性分野、品質分野におけるトップジャーナルを中心に、極めて多くの研究報告がなされてきた。しかし、全てのパラメータ範囲において存在する推定量は未だ報告されていない。さらに、最尤推定における漸近理論が破綻しているために、区間推定法や仮説検定法のベースとなる理論体系の構築も行われていない。よって仮説検定や区間推定の体系的な方法論も構築されていない。

2. 研究の目的

極値統計では、極値理論に基づき、一般化極値分布と一般化パレート分布を用いて統一的に議論を進める試みがなされている。しかし、これらの分布は、「非正則分布」と呼ばれる特殊な分布で、正則条件が破綻している。そのため、これまでに最尤推定量や PWM 推定量、L モーメント推定量といった様々な推定量が提案されているが、これらは全て、限られたパラメータ範囲でしか存在しない。さらに、最尤推定における漸近理論が破綻しているために、区間推定法や仮説検定法のベースとなる各種理論体系の構築も行われていない。よって、仮説検定や区間推定の体系的な方法論も構築されていない。

本研究では、非正則問題の解決を考慮した、極値理論に基づく統計的推測理論の構築を目的とする。さらに、構築した理論に基づき、これまで実現されなかった「データがどのような分布に従っていても一貫性を持つ裾指数 (Tail index) の推定法」の開発も目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、GEV、GPD 分布における統計的推測理論の構築に向けて、シミュレーションと理論の双方からアプローチを行う。具体的には、まず点推定法の構築を行う。次に点推定量の性質をシミュレーションと理論と両面から検討を行う。さらに、推定量の性質に基づく区間推定と検定方法について、シミュレーションと理論の両面から検討を行う。

4. 研究成果

以下の成果が得られた。

- () GEV、GPD 分布について、全てのパラメータ範囲において一意に推定値が求められる点推定法の開発。
- () 開発した点推定法における存在性と一意性の数学的証明。
- () 提案推定量の一貫性の数学的証明。
- (iv) 提案推定量の漸近分布の数学的な導出。
- (v) 提案推定量の効率的、及びオーバーフローを防ぐ計算アルゴリズムの開発。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

Ryoma Sumita and Hideki Nagatsuka, A Stochastic Model for Predicting the Number of Failures in Gas Systems, 日本情報経営学会誌 38(1) 79-84 2018 年 5 月 査読有
Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, A consistent method of estimation for the three-parameter lognormal distribution based on Type-II right censored data, Communications in Statistics - Theory and Methods, Taylor & Francis 45(19) 5693-5708 2016 年 10 月 査読有

Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, Existence, uniqueness and consistency of estimation of life characteristics of three-parameter Weibull distribution based on Type-II right censored data, Journal of Statistical Computation and Simulation, Taylor & Francis 86(6) 1248-1279 2016年6月 査読有

Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, Consistent estimation of parameters and quantiles of the three-parameter gamma distribution based on Type-II right censored data, Journal of Statistical Computation and Simulation, Taylor & Francis 85(12) 2406-2424 2015年12月 査読有

Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, An efficient method of parameter and quantile estimation for the three-parameter Weibull distribution based on statistics invariant to unknown location parameter, Communications in Statistics - Simulation and Computation, Taylor & Francis 44(2) 295-318 2015年2月 査読有

[学会発表](計 12 件)

Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, A Likelihood-Based Inference for the Generalized Pareto Distribution (Invited Talk) 2018 Workshop on Advances in Reliability 2018年12月 招待有

Kenji Fujita and Hideki Nagatsuka, A Study of Stochastic Degradation Models Based on Additive Processes, Proceedings of XVI ANQ Congress 2018 196-196 2018年9月

Leona Tamaru and Hideki Nagatsuka, A Study of a Degradation Model Using the Generalized Inverse Gaussian Distribution and Its Parameter Estimation, Proceedings of XVI ANQ Congress 2018 202-202 2018年9月

Kenji Fujita and Hideki Nagatsuka, A Study of Degradation Models Based on Additive processes, Proceedings of International Symposium on Paradigm Shift of the Manufacturing Business in IoT / Industry 4.0 Environment in East Asia 162-164 2018年1月

Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, Likelihood-based inference for the generalized Pareto distribution and its applications (Invited Talk), Proceedings of The 10th International Conference on Mathematical Methods in Reliability 78-79 2017年7月 招待有

Leona Tamaru and Hideki Nagatsuka, On a Degradation Model based on the Generalized Inverse Gaussian Processes, Proceedings of 2017 Asian Conference of Management Science & Applications 2017年2月

Ryoma Sumita and Hideki Nagatsuka, A Stochastic Model for Predicting Failures in Gas Systems, Proceedings of International Symposium on Paradigm Shift of the Manufacturing Business in IoT / Industry 4.0 Environment in East Asia 2017年1月

Hideki Nagatsuka, Inference for Extreme Value Models and Its Applications in Reliability (Invited Talk), Proceedings of the 2nd Pacific Rim Statistical Conference for Production Engineering 42-42 2016年12月 招待講演

Hideki Nagatsuka and Leona Tamaru, Stochastic models for assessing and predicting life characteristics of products based on IoT data, Program of Asia Pacific Conference on Information Management 2016 72-72 2016年10月

Hideki Nagatsuka, Parameter estimation for the Generalized Pareto Distribution and its applications, Proceedings of Ordered Data and their Applications in Reliability and Survival Analysis: An International Conference in Honour of N. Balakrishnan for his 60th Birthday 30-30 2016年8月 招待有

Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, On Parameter Estimation for The Generalized Pareto Distribution (Invited talk), Proceedings of The Ninth International Conference on Mathematical Methods in Reliability -753-760 2015年6月 招待有
長塚豪己, 極値統計学における非正則性の問題と信頼性工学への応用, 統計数理研究所共同研究集会極値理論の工学への応用 招待講演 2016年10月31日

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

<http://researchers.chuo-u.ac.jp/Profiles/2/0000110/profile.html>

<https://researchmap.jp/read0140964/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

研究代表者氏名：長塚豪己

ローマ字氏名：Hideki Nagatsuka

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）：30384738

(2) 研究分担者

なし

(3) 研究協力者

なし

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。