

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 21 日現在

機関番号： 22604  
 研究種目： 若手研究(B)  
 研究期間： 2009 年度 ～ 2011 年度  
 課題番号： 21710155  
 研究課題名（和文） 閾値を有する確率分布の非正則性問題の解決を考慮した推定法の確立

研究課題名（英文） Solving non-regularity problem and establishing method of parameter estimation for distributions with threshold parameter

研究代表者

長塚 豪己 (NAGATSUKA HIDEKI)  
 首都大学東京・システムデザイン研究科・助教  
 研究者番号： 30384738

研究成果の概要（和文）：閾値を有する確率分布における推定法の確立を目的とし、信頼性及び品質管理分野において重要とされている寿命分布(ワイブル分布、ガンマ分布、対数正規分布、逆正規分布)において、非正則問題を回避する推定法を開発し、評価を行った。

研究成果の概要（英文）：For the sake of establishing method of parameter estimation for distributions with threshold parameter, lifetime distributions including Weibull, gamma, lognormal and inverse Gaussian distributions, which are very important stochastic models especially in reliability and quality control, estimation methods avoiding the non-regularity problem have been proposed and then evaluated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	600,000	180,000	780,000
2010 年度	400,000	120,000	520,000
2011 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	1,300,000	390,000	1,690,000

研究分野：信頼性工学、品質管理、統計工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科、社会システム工学・安全システム

キーワード：最尤法、非正則問題、閾値、点推定、一致性

1. 研究開始当初の背景

近年、製品事故の報告件数が増加する傾向にある。製品事故による被害は、人命に関わるものが多く、その経済的、社会的損失は甚大なものとなる。このような背景のもとで、信頼性に対する社会的要求は益々高まっている。製品において信頼性を確保するには、開発段階で信頼性を確実に造りこむ必要がある。多品種少量生産時代を背景に開発期間は益々短縮され、それに伴って、信頼性試験及びその評価手法においてもより効率的かつ合理的な手法が求められている。“数と時

間の壁”とよばれる問題から、故障時間、抗張力、衝撃抵抗、電圧破壊といった信頼性試験において得られるデータ(信頼性データ)は、打切りを含み、かつ一般的にサンプル数が少ない。そのような背景の下で、信頼性評価では、効率的、合理的かつ精確な評価を行うために生み出されたワイブル分布をはじめとし、ガンマ分布、対数正規分布や逆正規分布といった特定の確率分布をデータに適用し、推定が行われてきた。信頼性評価において用いられる確率分布については、閾値の設定が常に問題とされてきた。通常、信頼性デ

ータは負の値や0で生じることほとんどなく、ある正の値以上で生じる。そのため、閾値を有する確率分布の仮定が適切であると以前から考えられてきた)。しかし、閾値を有する確率分布は、その台に未知パラメータを含むために Cramer の正則条件が破綻することから、最尤推定法が十分に機能せず、推定において困難性が生じる。この問題は非正則問題 (non-regularity problem) と呼ばれ、統計学分野、信頼性工学分野を中心に半世紀以上にわたって議論されてきた問題である。

## 2. 研究の目的

本研究では、閾値を有する確率分布の推定手法の確立を目的とする。具体的には、以下の3つの課題に取り組む。

- (1) 非正則問題を回避した推定法を開発する。
- (2) 実用上、打ち切りデータへの対応が求められるため、完全データだけでなく打ち切りデータに対応させるべく、課題(1)の推定法の拡張を行う。
- (3) 課題(1)(2)で構築した推定法の実用化を目指し、パラメータ発散の問題のような、実データに適用した場合に見られる問題を抽出し、その解決法を構築する。

## 3. 研究の方法

研究代表者は、本研究の準備段階において、ある変数変換を用いて、標本から閾値に関する情報を効率よく取り除く方法を提案している。変換後の標本が従う分布の台は、未知パラメータに依存しないため、この標本をベースに推定法を構築することで非正則問題が解決されることが期待される。一方で、変換後の標本からは、独立性及び同一性が失われることから、推定量の導出において考慮すべき問題が生じることが予想された。

## 4. 研究成果

閾値を有する確率分布は無数に存在するため、信頼性及び品質管理分野で重要とされているワイブル分布、対数正規分布、ガンマ分布、逆正規分布を対象として研究を遂行し、以下の成果を得た。

- (1) 変換後の標本に対する尤度関数の厳密な導出と形状母数の最尤推定量の導出及びその定理化。
- (2) 形状母数の推定量が、確率1で一意に必ず存在することの証明とその定理化。
- (3) 形状母数の推定量が、一致性を持つことの証明とその定理化。
- (4) 位置母数及び尺度母数について、確率1

で一意に必ず存在し、さらに一致性を持つ推定量の導出。

(5) 有限サンプルにおける提案推定量の評価をモンテカルロシミュレーションにより行い、結果として、bias及びMSEの観点から、実用において十分使用できる性能を持つことがわかった。

しかし、研究に遅れが生じ、打ち切りデータへの拡張、及びパラメータ発散の問題のような実データに適用した場合に見られる問題に取り組むことが十分にできなかった。研究に遅れが生じた原因は、平成21, 22年に、投稿中であった論文中の証明に誤りがあったためである。この証明の数理的難易度が高く、解決に平成23年12月までかかった。

得られた研究成果の一部は、雑誌論文は国際誌2件(雑誌論文①②)を含む4件、学会発表は招待講演(学会発表①)を含む17件、図書2件であった。対象は、寿命分布(ワイブル分布、ガンマ分布、対数正規分布、逆正規分布)と限られてはいるが、閾値を持つ確率分布における非正則問題を回避した点推定法の開発の基礎的研究についてはある一定の成果が得られたといえる。

今後は、打ち切りデータへの拡張と実データの適用時に見られる問題に取り組んでいく必要がある。また、対象を寿命分布以外の分布にも広げていく必要がある。今後の展望としては、区間推定法及び検定法の開発が望まれている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, A consistent parameter estimation in the three-parameter lognormal distribution, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 査読有, Vol. 142, No. 7, 2012, pp. 2071-2086, DOI: 10.1016/j.jspi.2012.01.019.
- ② Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, Parameter and quantile estimation for the three-parameter gamma distribution based on statistics invariant to unknown location, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 査読有, Vol. 142, No. 7, 2012, pp. 2087-2102, DOI: 0.1016/j.jspi.2012.01.018.
- ③ Hideki Nagatsuka, Toshinari Kamakura, Tsunenori Ishioka, An efficient Bayesian estimation of ordered parameters of two exponential distributions, *The IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer*

Sciences, 査読有, Vol. E92-A, No. 7, 2009, pp. 1608-1614, DOI:10.1587/transfun.E92.A.1608.

- ④ 長塚豪己,  $L^p$  正則化推定法—Lassoを中心に, 日本信頼性学会誌, 査読無, Vol. 31, No. 8, pp. 580-587 (2009), <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007468558>.

[学会発表] (計 17 件)

- ① Hideki Nagatsuka, Parameter and Quantile Estimation for Lifetime Distributions with Unknown Location Parameter, Proceedings of International Conference on Advances in Probability and Statistics - Theory and Applications: A Celebration of N. Balakrishnan's 30 years of Contributions to Statistics, p. 40, December 28, 2011, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong SAR, China (Invited talk).
- ② Hiroshi Kawakami, Hideki Nagatsuka, Toshinari Kamakura and Hisashi Yamamoto, Exact distributions of the median absolute deviation and its related test statistics for detecting outlier, 日本品質管理学会第 95 回研究発表会研究発表要旨集, pp. 121-124, 2011 年 5 月 28 日, 電気通信大学, 東京.
- ③ 藤間大典, 長塚豪己, 山本久志, 攪乱母数の順序関係を考慮した検定及び多変量管理図手法に関する一考察, 日本品質管理学会第 95 回研究発表会研究発表要旨集, pp. 125-128, 2011 年 5 月 28 日, 電気通信大学, 東京.
- ④ Hiroshi Kawakami, Hideki Nagatsuka, Toshinari Kamakura and Hisashi Yamamoto, Exact distributions of the median absolute deviation and its application to test of the equality of two variances, 信学技報(電子情報通信学会 信頼性研究会), Vol. 111, No. 83, pp. 1-6, 2011 年 6 月 17 日, 機械振興会館, 東京.
- ⑤ 藤間大典, 長塚豪己, 山本久志, パラメーターの順序関係を考慮した検定及び多変量管理図手法における一考察, 信学技報(電子情報通信学会 信頼性研究会), Vol. 111, No. 83, pp. 7-12, 2011 年 6 月 17 日, 機械振興会館, 東京.
- ⑥ 川上博史, 長塚豪己, 山本久志, Exact distributions of some robust statistics and these applications to tests for detecting outlier, 日本経営工学会西関東支部第 11 回学生論文発表会予稿集, pp. 9-10, 2011 年 2 月 27 日, 十文字学園女子大学新座キャンパス, 埼玉.
- ⑦ Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, On estimation for the three-parameter Weibull distribution using statistics invariant to unknown location, Proceedings of 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, pp. 516-523, December 3, 2010, Victoria university of Wellington, Wellington, New Zealand.
- ⑧ Megumi Uchino, Hideki Nagatsuka and Hisashi Yamamoto, A study of parameter estimation of distributions based on multivariate data under order restrictions of the parameters, Proceedings of 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, pp. 708-715, December 3, 2010, Victoria university of Wellington, Wellington, New Zealand.
- ⑨ 内野慈, 長塚豪己, 山本久志, 多変量解析におけるパラメータ間の順序関係を考慮した推定問題に関する一考察, 日本信頼性学会第 23 回秋季信頼性シンポジウム発表報文集, pp. 79-82, 2010 年 11 月 5 日, 日本科学技術連盟千駄ヶ谷本部ビル, 東京.
- ⑩ Hideki Nagatsuka, N. Balakrishnan and Toshinari Kamakura, A study of parameter estimation for distributions with unknown origin based on transformed data free from location parameter, 2010 年度統計関連学会連合大会講演報告集, p. 229, 2010 年 9 月 8 日, 早稲田大学早稲田キャンパス, 東京.
- ⑪ Hideki Nagatsuka and N. Balakrishnan, Consistent method of estimation for distributions with shifted origin, Proceedings of International Conference on Statistical Methodologies and Related Topics in conjunction with NZSA Annual Conference, pp. 33-34, June 30, 2010, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- ⑫ 内野慈, 長塚豪己, 山本久志, 多変量データにおけるパラメータ間の順序制約を考慮した場合のパラメータ推定方法に関する一考察, 日本品質管理学会第 92 回研究発表会研究発表要旨集, pp. 227-230, 2010 年 5 月 30 日, 日本科学技術連盟東高円寺ビル, 東京.
- ⑬ 長塚豪己, 鎌倉稔成, 定数打ち切りデータにおけるワイブル分布の推定法に関する

研究, 日本信頼性学会第 22 回秋季信頼性シンポジウム発表報文集, pp. 53-56, 2009 年 11 月 20 日, 日本科学技術連盟千駄ヶ谷本部ビル, 東京.

- ⑭ 長塚豪己, 鎌倉稔成, Type 2 censored data における閾値を持つ分布の推定法に関する一考察, 2009 年度統計関連学会連合大会講演報告集, p. 229, 2009 年 9 月 9 日, 同志社大学京田辺キャンパス, 京都.
- ⑮ 長塚豪己, 鎌倉稔成, 山本久志, 石岡恒憲, 単一打ち切りがある場合の 3 パラメータワイブル分布の推定に関する一考察, 信学技報, pp. 47-51, 2009 年 7 月 31 日, 藤田観光旭川ワシントンホテル, 北海道.
- ⑯ 長塚豪己, 山本久志, 鎌倉稔成, N. Balakrishnan, 3 パラメータワイブル分布のパラメータ推定における非正則性問題の回避に関する一考察, 第 39 回信頼性・保全性シンポジウム発表報文集, pp. 341-346, 2009 年 7 月 14 日, 日本教育会館, 東京.
- ⑰ 長塚豪己, 3 パラメータワイブル分布, 3 パラメータガンマ分布における一致推定量の構成, IEEE-RS Chapter Annual Meeting & 2008 年度 Chapter Awards 受賞記念講演会, 2009 年 6 月 20 日, 日本大学経済学部, 東京.

[図書] (計 2 件)

- ① 長塚豪己, 第 8 章 品質管理, 生産マネジメント概論 戦略編(大場允晶, 藤川裕晃編), 文眞堂, pp.167-191 (2010).
- ② 長塚豪己, 1 群 12 編 1 章 確率統計の基礎・信頼性データ解析, 電子情報通信学会知識ベース, 電子情報通信学会, (2010).

[その他]

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/hidekinagatsuka7/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

長塚 豪己 (NAGATSUKA HIDEKI)

首都大学東京・システムデザイン研究科・  
助教

研究者番号 : 30384738