

令和 2 年 9 月 16 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K00042

研究課題名(和文) 多変量寿命データの時間尺度関数に関する研究

研究課題名(英文) Modeling Time Scales of Multivariate Lifetime Data

研究代表者

山本 渉 (Yamamoto, Watalu)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：30303027

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)：本研究課題は、多変量の寿命データの解析に関して、確率分布を仮定せずに時間尺度関数をセミパラメトリックに推定する方法に注目し、その方法の精度向上、また安定した推定を行うための改善に取り組んだ。加えて、同じ背景を共有するが異なるモデルに累積暴露モデルがあり、それとの関係を明らかにした。この両者の関係を論じた研究はこれまでになく、本研究の成果は新規性があるだけでなく、常時状態監視で得られるデータのモデリングと解析の際の時間尺度の取り方にも指針を与えた。累積暴露モデルについては、推定アルゴリズムの改良にも取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多変量の寿命データに同時分布を仮定して解析するアプローチは、変量間の関係を柔軟に定式化できる多変量寿命分布が少なく、一定の限界を迎えていた。また監視技術のコモディティ化と情報通信ネットワークの普及により、オンラインモニタリングを導入する敷居がとて低くなり、常時稼働する製品やシステムを中心に、多くのオンラインモニタリングデータが得られるようになってきた。そこで本研究では、周辺分布にパラメトリックな分布を仮定せずに、多変量の寿命データに対して、時間尺度関数を仮定した解析を行うことができる推定方法に着目し、その適用範囲の拡大や、オンラインモニタリングデータの解析についての研究を行いたいと考えた。

研究成果の概要(英文)：This project begins with an improvement of the analysis of multivariate lifetime data using time scale functions. The existing procedure has a certain advantage that it doesn't assume parametric models for joint distributions. We propose to standardize marginal distributions using mean estimates from Kaplan-Meier estimates. We also establish the relationships among multiplicative time scale functions and cumulative exposure models. The former is an approximation to the joint moment generating function of the latter. This fact can be used to provide the initial values to the iterative estimation procedure of cumulative exposure models. We proposed also an algorithm for sparse estimation on cumulative exposure models.

研究分野：統計科学, 品質管理, 工業統計, 信頼性工学

キーワード：多変量寿命データ 時間尺度関数 セミパラメトリック法 信頼性工学 オンラインモニタリングデータ

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多変量の寿命データに同時分布を仮定して解析するアプローチは、変量間の関係を柔軟に定式化できる多変量寿命分布が少なく、一定の限界を迎えていた。金融工学で盛んに応用されるようになった、周辺分布を仮定してから従属構造の解析が可能なコピュラによる解析が一般にも広まるのは、この研究計画が始まって以降のことである。また監視技術のコモディティ化と情報通信ネットワークの普及により、オンラインモニタリングを導入する敷居がとて低くなり、常時稼働する製品やシステムを中心に、多くのオンラインモニタリングデータが得られるようになってきた。

そこで本研究では、周辺分布にパラメトリックな分布を仮定せずに、多変量の寿命データに対して、時間尺度関数を仮定した解析を行うことができる推定方法に着目し、その適用範囲の拡大や、オンラインモニタリングデータの解析についての研究を行いたいと考えた。

2. 研究の目的

本研究課題は、多変量の寿命データの解析に関して、確率分布を仮定せずに時間尺度関数をセミパラメトリックに推定する方法に注目し、その方法の精度向上、また安定した推定を行うための改善に取り組む。加えて、同じ背景を共有するが異なるモデルに累積暴露モデルがあり、それとの関係を明らかにすることを通じて、時間尺度関数の拡張を試みる。この両者の関係を論じた研究はこれまでになく、本研究の成果は新規性があるだけでなく、常時状態監視で得られるデータのモデリングと解析の際の時間尺度の取り方にも指針を与える。

3. 研究の方法

これらの目的に対して、1. 時間尺度関数のセミパラメトリックな推定法の実用性の向上、2. 時間尺度関数の変数選択と関数選択の方法の開発、3. 累積暴露モデルとの関係の解明、4. 時間尺度関数への共変量の追加、5. より高次元のデータへの拡張、の課題に分けて取り組むように研究計画を立案した。

しかし研究が進むにつれて、2.と5.は同じ方向に収束していったり、4.はなかなか難しく別のアプローチをとるなど、工夫が必要であった。

4. 研究成果

(1) 時間尺度関数のセミパラメトリックな推定法の実用性の向上

まず時間尺度関数の比較を行った。その結果、線形尺度関数と乗法尺度関数では、後者の方が安定した推定が行えること、また尺度共変であることから、乗法尺度関数の利用を推奨した。

次に線形時間尺度関数の尺度共変性に注目してセミパラメトリック推定法の結果の解釈を向上させた。(学会発表9) これにより、従来は推定した母数そのものが寿命への依存度を表すと考えられていたのを、基準化したあとでしかその解釈が成り立たないことを示した。

その後、線形時間尺度関数について、時間尺度関数を推定する前に、周辺分布をカプランマイヤー法を用いて推定した期待値で基準化することで、推定値の標本誤差をかなり小さくできる可能性を示した。

以上から、線形時間尺度関数と乗法時間尺度関数の双方を、寿命分布推定へ応用するための基盤を整えることができた。

(2) 時間尺度関数の変数選択と関数選択の方法の開発

この項目は当初、独立して取り組んでおり、寿命分布と変数の関係をクラスタリング手法を用いてモデル化をする基礎的な研究を1件、国際会議で発表した。

時間尺度関数について、共変量が得られるケースが多くなかったため、その後はオンラインモニタリングデータを研究の対象として、(5)で取り組んだ、スパース推定の適用に研究の中心を移した。

(3) 累積暴露モデルとの関係の解明

リアルタイムに共変量を観測できる時に有効な累積暴露モデルと乗法時間尺度関数が、近似的な関係にあることを確立した。累積暴露モデルの期待値が多変量共変量過程の同時モーメント母関数となることから、ある一定の条件の下で、乗法時間尺度関数で近似できる。そのことから、推定のための計算量が膨大になる累積暴露モデルの推定の初期値として、乗法時間尺度関数を用いることができる可能性を示唆した。この発表で、Best Paper Awardを受賞した。また、国際会議での招待講演を1件受けた。

(4) 時間尺度関数への共変量の追加

このことは事例の解析と共同研究での検討を重ねたが、一般化が難しかった。企業との共同研究への研究成果の適用として、主に故障の予測の問題にも取り組んだ。時間尺度を管理する管理図の開発、複数のオンラインモニタリング系列からの異常予測のための時間合成の検討など、時間尺度の考え方について少し原点に立ち返って検討を進めた。

そこで、オンラインモニタリングデータから深層学習を用いて寿命を予測できるかどうかの

可能性を模索した。その結果、対象の状態や環境を監視する高次元のオンラインモニタリングデータから、深層学習を用いて寿命を予測できる可能性を示すことができた。そのために、ネットワークを可視化する Grad-CAM の手法を応用した。深層学習は計算量が膨大なため、計算の次元を削減するためにも、今後、再び時間尺度関数の併用を検討していきたい。

(5) より高次元のデータへの拡張

より高次元のデータへの拡張と、変数選択の問題について、スパース推定の適用を検討した。そして線形近似に基づく CDA の適用を試みた。一定の成果は得られたと考えているが、変換モデルのパラメータ推定は回帰モデルのパラメータ推定よりも困難であり、理論的な性質の検討は成功しなかった。また計算量に関する困難にぶつかったが、当初の方針でスパース推定のアルゴリズムを構築した。

(6) その他

時間尺度関数はサンプルパス上の条件付き分布というモデリングアプローチで、周辺分布は特に仮定しなくてよいところに特徴がある。これまでは寿命データを例に考えてきたが、近年、再生過程のデータについての研究も進んでいる。この研究でも、新たな応用例として重畳再生過程を考えた。

また本研究で推定した寿命分布の応用として、アダプティブな時間計画保全計画の立案を提案した。これは寿命分布の回帰モデルに基づく時間計画保全の個別最適化の提案である。また、故障状態の観測を検査で行う際の検査計画の最適化も行った。

多変量寿命データには、寿命変数が多変量の場合と、共変数が多変量の場合、そしてそれらの組み合わせがある。この研究を進めるうちに、時間尺度関数は寿命変数が多変量の場合の研究であり、累積暴露モデルは共変数が多変量の場合に相当することが明らかになった。これらを組み合わせることが今後の課題として残っているので、引き続き研究を推進していきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Jin, L. and Yamamoto, W.	4. 巻 24
2. 論文標題 Optimal Inspection Policy for Scheduled Maintenance of Aging Systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice	6. 最初と最後の頁 99-111
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jin, L. and Yamamoto, W.	4. 巻 174
2. 論文標題 Adaptive Age Replacement Using On-Line Monitoring	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Procedia Engineering	6. 最初と最後の頁 117-125
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.proeng.2017.01.177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Lu Jin and Watalu Yamamoto	4. 巻 174
2. 論文標題 Adaptive Age Replacement Using On-Line Monitoring	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Procedia Engineering	6. 最初と最後の頁 117-125
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Meena Watcharathiansakul, Watalu Yamamoto, Kazuyuki Suzuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Analyzing Claim Data for Detecting Major Quality Problems and Examining Effectiveness of Actions Taken	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 信頼性	6. 最初と最後の頁 389-400
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Lu Jin, Watalu Yamamoto
2. 発表標題 Integrated Inspection Policies for Systems with Increasing Failure Rates
3. 学会等名 2018 Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling & 2018 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Watalu Yamamoto
2. 発表標題 A Likelihood Inference on Superimposed Renewal Processes
3. 学会等名 2018 Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling & 2018 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Watalu Yamamoto, Kanako Fujita
2. 発表標題 Estimation of inter-event time distribution based on superimposed renewal processes
3. 学会等名 16th Asian Network for Quality Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taiki Kubota, Watalu Yamamoto
2. 発表標題 Anomaly Detection from Online Monitoring of System Operations Using Recurrent Neural Network
3. 学会等名 Global Congress on Manufacturing and Management 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本渉、藤田奏子
2. 発表標題 重畳再生過程に基づくイベント発生間隔分布の推定
3. 学会等名 第48回 信頼性・保全性シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田奏子、金路、山本渉
2. 発表標題 重畳再生過程の統計的推測
3. 学会等名 日本品質管理学会第116回研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 W. Yamamoto
2. 発表標題 Automatic stratification for survival regression analysis based on clustering technique
3. 学会等名 The 15th Asian Network for Quality Congress 2017 Kathmandu (ANQ 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 W. Yamamoto and L. Jin
2. 発表標題 Approximate log-linear cumulative exposure models
3. 学会等名 , The 10th International Conference on Mathematical Methods in Reliability (MMR 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 渉
2. 発表標題 累積曝露モデルと共変量過程の従属性
3. 学会等名 2017年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 李洋, 山本 渉
2. 発表標題 累積曝露モデルのためのスパース推定法の提案
3. 学会等名 日本品質管理学会 第113回研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Watalu Yamamoto
2. 発表標題 Cumulative Exposure Model and Adaptive Maintenance
3. 学会等名 2016 CSA & NCCU Joint Statistical Meetings (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Watalu Yamamoto and Masaaki Tsumura
2. 発表標題 On time unit equivariance of linear time scale model,
3. 学会等名 The 14th Asian Network for Quality Congress 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Meena Watchrathiansakul, Watalu Yamamoto, and Kazuyuki Suzuki
2. 発表標題 On monitoring customer claims using CUSUM procedure for QCMM
3. 学会等名 The 14th Asian Network for Quality Congress 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Watalu Yamamoto
2. 発表標題 Approximate cumulative exposure models
3. 学会等名 Advanced Reliability and Maintenance Modeling VII (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Watalu Yamamoto and Lu Jin
2. 発表標題 A MGF Based Approximation to Cumulative Exposure Models
3. 学会等名 XIth International Workshop on Intelligent Statistical Quality Control 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山本 渉
2. 発表標題 累積曝露量モデルによる寿命分布の時間尺度の構築とその近似
3. 学会等名 2015年度統計関連学会連合大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Watalu Yamamoto
2. 発表標題 Time Scales for Online Monitoring Data
3. 学会等名 The Ninth International Conference on Mathematical Methods in Reliability (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Watalu Yamamoto, Lu Jin (Knoth, Sven, Schmid, Wolfgang (Eds.))	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer International Publishing	5. 総ページ数 366
3. 書名 Frontiers in Statistical Quality Control 12	

1. 著者名 Watalu Yamamoto, Kazuki Takeshita	4. 発行年 2015年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 14
3. 書名 Frontiers in Statistical Quality Control 11	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----