

平成 31 年 4 月 20 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00056

研究課題名(和文) タグチメソッドの拡張的研究

研究課題名(英文) Extensive research of Taguchi method

研究代表者

永田 靖 (NAGATA, Yasushi)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：30198337

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：タグチメソッドの拡張的な手法の開発とその理論化を目指す。特に、実験計画法におけるSN比の一般化と拡張的な改良(研究 と参照)、および、MTシステム(Mahalanobis Taguchi system)の拡張的な改良とその理論的研究(研究 と参照)を行う。

研究 では、様々な状況で提案されているSN比の性質を数理的側面から整理し、汎用性の高い新たなSN比を用いた解析方法を提案し、その理論的性質を明らかにする。研究 では、MTシステムの各手法の特徴を理論的に明らかにし、弱点を改良した新たな解析手法を開発し、既存のMTシステムや多変量解析の各手法と比較して、応用上の指針を策定する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、世界中の技術者により用いられているタグチメソッドの理論的な裏付けを行うとともに、それに基づく拡張的な手法を開発するという意味で、製造業における技術開発に大きなインパクトを与えるものである。この研究成果により、適切で迅速な異常検知が可能になるとともに、効率的な新製品の開発・設計が可能になることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we propose extended Taguchi methods and aim for the theoretical development of the extended methods. In particular, the generalization and extensional improvement of the SN ratio in the experimental design (hereafter referred to as research I) and the extended improvement of the MT system (Mahalanobis Taguchi system) and its theoretical research (hereinafter referred to as research II).

As for research I, we will clarify the properties of the SN ratio proposed in various situations from the mathematical aspect, propose new analytical methods using the new SN ratios, and clarify their theoretical properties. As for research II, we theoretically clarify the features of each method of MT system, develop new analytical methods, compare with existing methods among MT system and multivariate analysis methods. Furthermore, I want to formulate guidelines.

研究分野：情報学

キーワード：タグチメソッド SN比 MTシステム 実験計画法 多変量解析法

1. 研究開始当初の背景

タグチメソッドは田口玄一博士が長年にわたり独力で開発してきたデータ解析手法の総称であり、世界中の技術者により用いられている。タグチメソッドの各手法は、田口博士が提案し、技術者が適用し、適用結果に基づき、田口博士が方法論を改訂するという流れで発展・洗練されてきた。その際、田口博士は理論的根拠を詳しくは語らなかった。田口博士が健在なときは、このような発展過程はそれでよかった。しかし、田口博士は2012年にご逝去された。

このような状況において、タグチメソッドの体系的な理論化を図り、後世にその意義を正しく伝えていくことを目指して、「品質工学(タグチメソッド)の理論と応用に関する学術的研究」(基盤研究A, 研究代表者: 宮川雅巳, 2007~2010)を獲得し、私は研究分担者として研究を行ってきた。さらに、「タグチメソッドの体系的な理論化」(基盤研究C, 研究代表者: 永田靖, 2012~2014)を獲得し、研究を重ねてきた。これらの研究成果のいくつかは、関連学協会からの賞の対象となり、この分野の研究者や技術者から高く評価されている。

2. 研究の目的

本研究(研究 と研究)では、私がここ数年行ってきた研究をさらに発展させて、拡張的に研究を行っていくことを目標としている。

研究 : SN比の研究

タグチメソッドの中核的手法であるパラメータ設計では、データは様々な特性に分類される。各特性に対して標準的なSN比が提案されている。パラメータ設計では、誤差因子を意図的に変動させて実験するので、データ構造が複雑になり、データ解析の数理は簡単ではない。次に、標準的なSN比が機能しない場合がある。それは、背後にある真のモデルと標準的なSN比との前提とが整合しない場合に生じる。すなわち、より汎用的なSN比の定義やデータの採取方法に整合した方法論が必要だと考えられる。

これらの現状を踏まえて、私は、次の研究成果を学術論文や国際学会で発表してきた:(1)信号因子が複数個ある場合の解析手法,(2)一般化線形モデルを用いた動特性の解析手法,(3)動特性のSN比の漸近理論,(4)誤差因子が共変量として観測される場合の手法。一方、産業界でよく用いられている指標として工程能力指数があり、これも一種のSN比と考えることができる。工程能力指数に関しては、私は棟近教授と共著で成書を上梓した。

研究 : MTシステムの研究

田口博士は、異常値の検出手法としてMT法を開発した。田口博士は短い期間に様々な要素を付け加えて、MTA法, TS法, T法(1), T法(2), T法(3)(=RT法), マルチMT法などを提案されてきた。田口博士を信奉する技術者はこれらの手法を実務に適用してきた。私は、ここ数年間にわたり、MTシステムの各手法の性質について研究してきた。さらに、2012年~2014年の科研費基盤研究Cに基づき、次のテーマに関する学術論文を発表した。(5)単位の異なるデータにRT法を適用したときの不具合を明らかにし単位に依存しない改良手法の提案,(6)T法の基本的な性質を明らかにし基準化に関する改良手法を提案,(7)T法の残差の性質の問題点を指摘し改

良手法を提案，(8)T 法の変数選択の問題点を指摘し改良手法を提案，(9)T 法と逆回帰の問題を検討し改良手法を提案．

次に，研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのかについて述べる．

研究：SN 比の研究

上記(1)～(4)を中心に研究する．(1)については，ある程度の完成版を得ているが，発展させるべき観点を技術者から指摘されている．(2)と関連して，平均と分散の重み付けを考慮し，適用場面にアダプティブに使用できる解析手法を開発したい．(3)については，変数変換や漸近展開などを用いて正規分布への近似精度を上げる研究が必要である．(4)については，制御因子や誤差因子の間の様々な交互作用パターンを考慮する必要がある．さらに，工程能力指数を SN 比の観点から見直し，非正規分布や多変量分布の状況において研究していく．

研究：MT システムの研究

上記(7)～(9)のテーマについて研究を深める．(7)に関連して，残差の問題だけでなく，テコ比に関する検討も必要である．(8)については，最近研究が進んでいる LASSO との関連を研究することを考える．(9)は，T 法の原理を見極めるテーマであると考えられる．

さらに，ブートストラップ法による予測区間の構築，ベイズ理論を用いた逐次更新システムの開発，アンサンブル学習を用いた方法論とマルチ MT システムとの関係，変数がサンプル数よりも大きな状況における T 法に基づく予測手法の性能評価など，私は，MT システムに関連した多くのテーマをあたためている．これらの研究に着手する．

3．研究の方法

基本的には私個人および私の研究室の範囲内で研究を行う．私の研究室に所属する 4 年生や大学院生が理解できる内容については，彼らに卒業論文・修士論文のテーマとして与え，シミュレーションなどを行って，数値的な検討を加えていく．一方，学生の理解が困難な内容については，私が検討を深め，様々な手法間の連携を考え，各手法の利点と弱点を整理し，新しい改良手法の開発とその理論化を目指す．また，日本品質管理学会テクノメトリックス研究会(年に 4 回開催)で発表し，コメントをいただき，研究内容にフィードバックする．さらに，日本品質管理学会中部支部産学連携研究会(年に 4 回開催)で発表し，コメントをいただき，フィードバックする．完成度が高まってきた内容については，国内外の学会で発表し，学術論文へつなげていく．そして，書籍化し，社会への啓蒙・還元を図る．

4．研究成果

(1) 研究：SN 比の研究

(a)ロバスト・パラメータ設計を用いた最適株式ポートフォリオ選択の研究を行った[3]．この研究では，SN 比をどのように定義するのが重要であり，その提案を行った．

(b)田口によるサイクリック計画やスイス式トーナメントを参考にし一対比較法を用いた新たな手法を提案した[5][13][24]．他システムに比べて優位性があることを示した．

- (c)尤度に基づく多変量累積和管理図を提案し変化を有効に検出することを示した[10] .
- (d)工程能力指数の推測問題について問題点をまとめて報告した[19] .
- (e)日本品質管理学会中部支部産学連携研究会において研究してきた成果をまとめた[35] .
- (2) 研究 : MT システムの研究
 - (a) T 法における欠損データ補完の計算方法を提案し精度を比較検討した[1][15][23] .
 - (b)MT 法に AdaBoost を導入し, その方法が有用であることを示した[2][14] .
 - (c)高次元小標本データに対して推定精度と解釈容易性を同時に向上させるためスパース主成分分析 (SPCA) に基づく推定法を MT システムに導入した[4][18][21][25] .
 - (d)統計ソフト R を用いた MT システムのパッケージソフトを開発し配信した[6][17] .
 - (e) MT 法にガウシアン・グラフィカル・モデリングに基づく正則化のプロセスを導入した [7][12][26] .
 - (f)MT システムに関する研究の総合報告をまとめた[8] .
 - (g)ベイズ MT 法を開発しパネルデータの異常検知問題で有効であることを示した[9][34] .
 - (h)単位空間が異常データによって汚染されている状況下でも適切に異常検知が可能となる MT システムを提案し, その有効性を検証した[16][20][22] .
 - (i)項目間を直交化して T 法を適用する方法を開発し従来法との比較を行った[27] .
 - (j) RT 法にカーネル法を適用した方法を提案し, その有効性を検証した[11][29][32] .
 - (k)外れ値が混入したデータに対して頑健性をもつ T 法を開発し, その性能を評価した[30] .
 - (l)ロジット回帰や対数回帰を T 法に応用した方法を提案し, その有効性を検証した[28][31] .
 - (m)方向データに適用できる T 法を開発し, その有効性を検証した[33] .

5 . 主な発表論文など

[雑誌論文] (計 9 件)

- [1] Yuto Nakao and Yasushi Nagata (2018). Analysis of data including missing values in the Taguchi's T method, *Total Quality Science*, 査読有, Vol.4, 53-64.
- [2] Suguru Sekine and Yasushi Nagata (2018). Application of AdaBoost to Taguchi's MT Method, *Total Quality Science*, 査読有, Vol.4, 65-74.
- [3] 神山紘樹, 永田靖 (2018). ロバスト・パラメータ設計を用いた最適株式ポートフォリオ選択 . 日本品質管理学会誌, 査読有, 48, No.3, pp.64-75 .
- [4] Masato Okubo and Yasushi Nagata (2018). Anomaly detection in high-dimensional data with the Mahalanobis-Taguchi system, *Total Quality Management & Business Excellence*, 査読有, Vol.29, 1213-1227.
- [5] 梅村和弘, 永田靖 (2018). 一対比較法を順位推定に用いたスイスドロー式トーナメントの提案 . 日本経営工学会論文誌, 査読有, 69, No.1, pp.21-32 .
- [6] Akifumi Okayama, Masato Ohkubo, and Yasushi Nagata (2017). Package "MTSYS", <https://cran.r-project.org/web/packages/MTSYS/> 査読有.

- [7] 大久保豪人, 永田靖 (2017). グラフィカル・モデリングに基づくマハラノビス・タグチ法, 応用統計学, 査読有, Vol.46, No.1, pp.13-26.
- [8] 永田靖 (2017). MT システムの研究, 『国際学研究』, 査読無, Vol.6, No.2, 29-36.
- [9] Takumi Enomoto and Yasushi Nagata (2016). Detection of change points in panel data based on Bayesian MT method. *Total Quality Science*, 査読有, Vol.2, 36-47.
- [学会発表] (計 25 件)
- [10] Yuma Ueno and Yasushi Nagata (2018). Proposal of Multivariate Control Chart Using Exponentially Log-Likelihood for Detection of Change in Mean and Variability, 2018 International Conference on Mathematical Methods & Computational Techniques in Science & Engineering (MMCTSE 2018), Cambridge, UK.
- [11] 渡辺史, 永田靖 (2017). 非正規データに対するカーネル法を利用したタグチの RT 法. 第 46 回日本品質管理学会年次大会, 名古屋工業大学.
- [12] 大久保豪人, 永田靖 (2017). グラフィカル・モデリングの基づく MT 法. 第 46 回日本品質管理学会年次大会, 名古屋工業大学.
- [13] Kazuhiro Umemura and Yasushi Nagata (2017). A Proposal for a Swiss Draw Style Tournament System Using Paired Comparison. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有.
- [14] Suguru Sekine and Yasushi Nagata (2017). Application of AdaBoost to Taguchi's MT Method. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有.
- [15] Yuto Nakao and Yasushi Nagata (2017). Analysis of data including missing values in the Taguchi's T method. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有.
- [16] Masato Ohkubo and Yasushi Nagata (2017). Anomaly detection in contaminated unit space using the Mahalanobis-Taguchi system. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有 (**Best Paper Award 受賞**).
- [17] Akifumi Okayama and Yasushi Nagata (2017). Generalization of a Family of Mahalanobis-Taguchi (MT) Methods and a Family of Taguchi (T) Methods in the Mahalanobis-Taguchi System (MTS) and Implementation of the Calculation Programs in R. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有.
- [18] 大久保豪人, 永田靖 (2017). MT システムによる高次元データ解析. 日本品質管理学会第 115 回研究発表会, 大阪大学 (**最優秀発表賞受賞**).
- [19] 永田靖 (2017). 工程能力指数の統計的推測. 統計関連学会連合大会, 南山大学.
- [20] 大久保豪人, 永田靖 (2017). 単位空間の汚染にロバストなマハラノビス・タグチ法. 統計関連学会連合大会, 南山大学.
- [21] Masato Ohkubo and Yasushi Nagata (2017). Anomaly detection in high-dimensional data with the Mahalanobis-Taguchi system. 20th QMOD conference ON QUALITY AND SERVICE SCIENCES ICQSS, Konventum, Denmark, 査読有 (**Best Paper Award Nomination 受賞**).
- [22] 大久保豪人, 永田靖 (2017). γ ダイバージェンスに基づく MT 法. 第 113 回日本品質管理学会研究発表会, 日本科学技術連盟 (**優秀発表賞受賞**).

- [23] 中尾勇登, 永田靖 (2017). タグチの T 法における欠損を含むデータの解析. 第 113 回日本品質管理学会研究発表会, 日本科学技術連盟.
- [24] 梅村和弘, 永田靖 (2017). 一対比較法を用いたスイスドロ式トーナメントシステムの提案. 第 113 回日本品質管理学会研究発表会, 日本科学技術連盟.
- [25] 大久保豪人, 永田靖 (2017). スパース・モデリングを応用したマハラノビス・タグチ法による異常検知. 情報処理学会, 第 79 回全国大会, 名古屋大学.
- [26] Masato Ohkubo and Yasushi Nagata (2016). Applying Graphical Modeling to the Mahalanobis-Taguchi Method. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有.
- [27] Hidenori Kyunai and Yasushi Nagata (2016). Studying Taguchi's T method using an orthogonal expansion of the item value. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有.
- [28] Shinei Seki and Yasushi Nagata (2016). An application of Taguchi's T-method to non-normality data. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有.
- [29] Ayumu Watanabe and Yasushi Nagata (2016). An Application of the Kernel Method to Taguchi's RT Method and its Extension. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有 (**Best Paper Award 受賞**).
- [30] 坂本佳太, 永田靖 (2016). 頑健性を考慮した T 法の提案. 第 110 回日本品質管理学会研究発表会, 日本科学技術連盟.
- [31] 関真永, 永田靖 (2016). タグチの T 法の非正規性データへの適用. 第 110 回日本品質管理学会研究発表会, 日本科学技術連盟.
- [32] 渡辺史, 永田靖 (2016). 非正規データに対するカーネル法を利用した田口の RT 法. 第 110 回日本品質管理学会研究発表会, 日本科学技術連盟.
- [33] Aya Yoshimura and Yasushi Nagata (2015). An Application of Directional Data Analysis to Taguchi's T method. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有 (**Best Paper Award 受賞**).
- [34] Takumi Enomoto and Yasushi Nagata (2015). Detection of Change Points in Panel Data Based on Bayesian MT Method. ANQ (Asian Network for Quality) Congress, 査読有.
- [図書] (計 1 件)
- [35] 日本品質管理学会中部支部産学連携研究会編 (代表: 永田靖) (2015). 開発・設計に必要な統計的品質管理, 日本規格協会, 2015, 総ページ数: 305 ページ. (2016 年度日経品質管理文献賞受賞).

6. 研究組織

研究代表者

永田 靖 (NAGATA Yasushi)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号: 30198337