

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500351

研究課題名(和文) タグチメソッドの体系的な理論化

研究課題名(英文) Systematic theorization 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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：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。

タグチメソッドは、SN比に基づくロバストパラメータ設計、MTシステムと呼ばれる独自の多変量解析手法、損失関数を用いた評価技法の3つに分類できる。本研究では、とを取り上げ、既存手法の理論的性質を明らかにし、様々な改良手法を提案した。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。

研究成果の概要(英文)：Taguchi method is widely used in practice by engineers in the world. Taguchi method is the collection of procedures which Dr. Gen-ichi Taguchi had been developing for years.

Particularly, Taguchi method consists of (i) robust parameter design based on SN ratio, (ii) MT system which is the collections of several multivariate data analysis procedures, and (iii) the evaluation method based on loss functions. In this research, we took up (i) and (ii). We proved some theoretical aspects of the existing procedures and then we proposed several improving procedures. Our results are rated highly, and we got several awards for our research.

研究分野：総合領域

キーワード：統計的品質管理 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独力で開発してきたデータ解析手法の総称である。タグチメソッドは、世界中の企業の技術者により積極的に用いられている。タグチメソッドは、田口博士が提案し、それを企業の技術者が実践し、その実践結果に基づき、田口博士がその方法論を改訂するという流れで洗練されてきた。

田口博士が健在なときは、上記のような方向によるタグチメソッドの発展過程はそれでよかった。しかし、田口博士は数年前から体調を崩され、それ以降、田口博士による新たな発信はなくなってしまった。(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年~2010年)を獲得し、私は研究分担者として研究を重ねてきた。

2. 研究の目的

研究分野を2つに分けて、以下では、研究と研究と呼ぶ、いずれも、私がここ数年行ってきた研究をさらに発展させて体系化していくことを目標とする。

(1)研究 : SN比の研究

田口博士は様々なSN比を考案した。タグチメソッドの中で中核的な手法であるパラメータ設計では、特性値(データ)は静特性と動特性に分類される。さらに静特性には望大特性、望小特性、望目特性に分類される。それぞれの特性に対して、標準的なSN比が提案され、実務において多用されている。

データから計算されるSN比は、統計学における検定統計量と同じ形のものが多い。しかし、パラメータ設計では誤差因子を設定し、これを意図的に変動させて実験を行うので、データの構造は複雑になり、SN比を用いたデ

ータ解析の数理は簡単ではない(永田(2006):統計的方法におけるSN比,第1回横幹連合総合シンポジウム)。さらに、SN比は、一般に平均と分散の2つのパラメータを併合した量なので、同じ値であったとしても、それをもたらす母集団の状況は様々である(日本品質管理学会中部支部産学連携研究会(2010),7.8節(永田))。

次に、多用されている標準的なSN比が必ずしも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比の定義が必要であると考えられる。多用されている標準的なSN比以外にも、様々なSN比のタイプがある(例えば、『設計科学におけるタグチメソッド』(椿・河村(2009),日科技連出版社)。それらの性質をさらに検討する必要がある。また、最適化やチューニングにおいて、現代的な実験計画法の手法である応答曲面法などを絡めながら研究を進めていきたい。さらに、産業界で非常に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。田口の工程能力指数と呼ばれている指標もある。私は工程能力指数の統計的性質をかねてより研究しており、『工程能力指数-実践方法とその理論』(永田・棟近2011年)を刊行した。この指標の数理的な性質の研究にもさらに取り組んでいきたい。

(2)研究 : MTシステムの研究

MTシステムには様々な手法がある。田口博士は、異常値を検出する手法として、MT法を開発した。これは、マハラノビスの距離を用いた方法で、統計学の世界では古くからよく用いられてきた方法である。様々な要素を付け加えることによって、MTA法、TS法、T法(1)、T法(2)、T法(3)(=RT法)、マルチMT法などがある。しかし、先に述べたように、田口博士は体調を崩され、適用事例をフィード

バックした手法の改訂がなされないままになっている。

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。例えば、宮川・永田(2003)(マハラノビス・タグチ・システムにおける多重共線性対策について、日本品質管理学会誌, 33, 467-475)では、MTA 法が目的としている多重共線性対策が状況によっては功を奏しておらず問題点を持つことを示し、改良方法を提案した。また、永田・久富(2008)では、宮川・永田(2003)で提案された距離の数理的な性質を示した。さらに、永田・土居(2009)では、RT 法における距離がミスリーディングな性質をもつことを示し、その改良方法を示した。

しかし、これらの研究は、連続型データに限っている点、変数の個数がサンプル数よりも多い場合に限っている点、変数選択を考慮していない点など、限定的な状況にとどまっている。これらの制約を緩和し、体系化を目指したい。

3. 研究の方法

私個人および私の研究室の学生とともに行った。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した。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、フィードバックした。これらの研究体制を具体的に述べたい。

(1)研究室の学生：3年生の9月に9名の学生が研究室に配属される。4年生で卒業論文のテーマとして本申請に関連するテーマを選択する学生が3割程度いる。また、約半数の学生が修士課程に進学し、さらにその半数が本申請に関連するテーマを選択する。4年生段階でRなどのソフトウェアに精通している。

(2)日本品質管理学会テクノメトリックス研究会：この研究会は発足して15年程度とな

る。宮川雅巳氏(東京工業大学教授)が初代の主査となり、10人程度のメンバーで研究会を続けてきた。私は、2代目の主査を務め、その際に、『グラフィカルモデリングの実際』(日本品質管理学会テクノメトリックス研究会編, 代表:永田靖(1999))を刊行した。この研究会では、因果推論とタグチメソッドが2つの大きなテーマとなっている。先に述べた「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年~2010年)は、この研究会で主に進めてきた。タグチメソッドをよく理解している少人数の研究会なので、充実した討論が期待できる。

(3)日本品質管理学会中部支部産学連携研究会：この研究会は、2006年に、当時の日本品質管理学会の会長だった桜井正光氏(当時(株)リコー社長)の提案により、渡邊浩之氏(当時の日本品質管理学会副会長, 当時トヨタ自動車(株)技監(元専務取締役))と私とが立ち上げた産学連携研究会である。この研究会では、トヨタ自動車(株)と(株)デンソーの技術者数人と、大学側から荒木孝治氏(関西大学教授), 仁科健氏(名古屋工業大学教授)と私が参加している小規模の研究会である。小規模だからこそ、議論を深めることができ、企業としても機密的な内容を提示することができる。2010年に、それまでの研究成果を『開発・設計における“Qの確保”』(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)(Qはqualityの意味)にまとめ、刊行した。この書籍の第7章では、「タグチメソッドと統計的品質管理との融合」をテーマとしている。今後、この研究会では、この方向をより深掘りしていくことになっている。本申請の研究のように、実務的な観点をインプットすることが不可欠なテーマにとっては、この研究会は研究体制のひとつとして非常に恵まれた場であると感じている。

4. 研究成果

(1) 研究 (SN 比の研究)に関する研究成果

複数の信号因子が存在する場合のロバストパラメータ設計(雑誌論文, 学会発表): 複数の信号因子が存在する場合に対して、ロバストパラメータ設計のためのデータ解析方法を開発し、その数理的性質を研究した。この手法を用いることにより、有用な信号因子を選択することや、大幅調整用と微調整用の信号因子への分割が可能になることなどが期待できる。

受動的にしか観測できない誤差因子が複数個存在する場合のパラメータ設計(雑誌論文, 学会発表): 誤差因子が受動的にしか観測できない場合がある。このときにはタグチメソッドの標準的な手法である「調合」が不可能になる。誤差因子が一つだけ存在する場合の既存の方法(平野・宮川(2007), 品質誌)を、複数個存在する場合に拡張した方法を開発した。まず、傾向スコアを用いて複数の誤差因子を1次元化することにより、回帰分析の枠組みで「調合」する方法を開発し、その性能・効果を検討した。さらに、各制御因子と各誤差因子の交互作用を個別に検出する方法論を開発した。

動特性 SN 比の推定量の漸近理論(雑誌論文, 学会発表): 動特性のロバストパラメータ設計における SN 比の自然な推定量に関する漸近理論を検討し、一致性や漸近正規性などの定理を証明した。これらの理論的成果により SN 比に関する標準的な統計的推測(仮説検定や区間推定)の構築が可能になることが期待される。

一般化線形モデルを用いた動特性のロバストパラメータ設計(学会発表): 応答が非線形であり、また、誤差が非正規分布である場合を取り扱うために、一般化線形モデルを用いた動特性システムにおけるロバストパラメータ設計の方法論を開発した。

(2) 研究 (MT システムの研究)に関する研究成果

同一次元でないデータへの RT 法の適用方法の開発(雑誌論文, 学会発表): MT システムの中に RT 法という手法がある。これは、異常値判別を2つの合成変数で行うという手法である。しかし、この手法は各変数の単位が異なるデータに対しては適用できない。そのようなデータに RT を適用したときの不具合を数理的に明らかにした。さらに、同一次元でないデータに適用できるように RT 法の改良手法を開発した。

MT 法の小標本データへの解析方法の対応の提案(雑誌論文, 学会発表): 小標本データに MT 法を適用すると、その精度が著しく悪くなることが知られている。その原因を明らかにし、対処法を提案した。アンサンブル学習を用いる方法、相関係数行列の固有値の値から新たなマハラノビス距離を定義する方法を提案した。

T 法における規準化の改良(雑誌論文): MT システムの中に T 法という手法がある。これは、回帰分析と同様に、予測を目的とする手法である。T 法を適用する際、単位空間に基づく規準化を行う。しかし、T 法で提示されている規準化の方法が適切でない結果を招くことがある。そこで、本研究では、規準化の方法を改良する2つの方法を提案した。

MT システムに関する総合報告論文の発表(雑誌論文, 学会発表): MT システムには様々な手法がある。それぞれ、解析の目的や解析の方針が異なる。そのような中で、私達の一連の研究を通じて、数理的な性質を検討し、改良すべき問題点が見つかった。そういった内容を集めて、総合報告論文としてまとめた。本報告が MT システムに関するガイドブックとなり、より適切なデータ解析結果をもたらすことが期待される。

T 法における残差分析の研究(学会発表): T 法で残差分析を行うと、バイアスが

生じ、項目間との無相関性も崩れるため、適切な検討ができないことがわかった。そこで、それを克服するための改良手法を提案した。

T法における項目選択の研究(雑誌論文、学会発表): T法では、直交表を用いて項目選択を実施することが推奨されている。しかし、直交表を用いると相関の高い項目が過大評価されることがわかった。そこで、T法に関して AIC(赤池の情報量規準)を導出し、変数増減法による項目選択の方法を検討した。

一般化逆回帰推定を用いたT法の研究(雑誌論文、学会発表): T法の計算手順では逆回帰による推定が用いられる。一方、逆回帰で精度のよい推定方法はすでにいくつか提案されている。本研究では、それらをT法に適用することにより、T法として予測精度を上げることができることを示した。

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9件)

Koji Tsukuda and Yasushi Nagata, Asymptotic theory of Taguchi's natural estimators of the signal to noise ratio for dynamic robust parameter design, Communications in Statistics - Theory and Method, 査読有, 44, 2015, 4734-4741.
Kensuke Goto, Hironao Sato, Masami Miyakawa and Yasushi Nagata, Robust Parameter Design with Covariates of Multiple Noise Factors Total Quality Science, 査読有, Vol.1, 2015, 12-21.

大久保豪人, 永田靖, MTシステムにおける小標本データの解析方法. 日本経営工学会論文誌, 査読有, 66, 2015, 30-38.

河田紘志, 永田靖, タグチのT法における項目選択に関する研究. 日本品質管理学会誌, 査読有, 45, 2015, 179-193.

Hiroshi Kawada and Yasushi Nagata, An

application of a generalized inverse regression estimator to Taguchi's T Method, Total Quality Science, 査読有, Vol.1, 2015, 12-21.

佃康司・永田靖, 信号因子が複数存在するシステムに対する動特性ロバストパラメータ設計, 日本品質管理学会誌, 査読有, 44, 2014, 83-91.

永田靖, MTシステムの諸性質と改良手法, 応用統計学, 査読有, 42, 2013, 93-119.

大久保豪人・永田靖, タグチのRT法における同一次元でない連続量データへの適用方法, 日本品質管理学会誌, 査読有, 42, 2012, 248-264. (2012年度日本品質管理学会最優秀論文賞受賞)

稲生淳紀・永田靖・堀田慶介・森有紗, タグチのT法およびその改良手法と重回帰分析との性能比較, 日本品質管理学会誌, 査読有, 42, 2012, 265-277.

[学会発表](計14件)

Hiroshi Kawada and Yasushi Nagata, An Application of Generalized Inverse Regression Estimator to Taguchi's T Method, ANQ (Asian Network for Quality) Congress 2014/8/7, Nanyang Technological University, Singapore, 査読有.

Kensuke Goto and Yasushi Nagata, Interaction Analysis with Covariate of Noise Factor, ANQ (Asian Network for Quality) Congress 2014/8/7, Nanyang Technological University, Singapore, 査読有. (**Best Paper Award**受賞)

Shota Kume and Yasushi Nagata, Robust Parameter Design for Signal-Response Systems Using Generalized Linear Model, ANQ (Asian Network for Quality) Congress 2013/10/17, The Swissôtel Le Concorde Hotel, Bangkok, 査読有. (**Best Paper Award**受賞)

Hiroshi Kawada and Yasushi Nagata ,
Studies on the Item Selection in Taguchi's T
Method , ANQ (Asian Network for Quality)
Congress 2013/10/17, The Swissôtel Le
Concorde Hotel, Bangkok , 査読有 . (**Best
Paper Award**受賞)

Koji Tsukuda and Yasushi Nagata ,
Simulation Study for Approximation of
Taguchi's Natural Estimators of Signal to
Noise Ratio , ANQ (Asian Network for
Quality) Congress 2013/10/17, The
Swissôtel Le Concorde Hotel, Bangkok , 査
読有 .

Kensuke Goto and Yasushi Nagata ,
Residual Analysis and Improvement of
Taguchi's T method , ANQ (Asian Network
for Quality) Congress 2013/10/16, The
Swissôtel Le Concorde Hotel, Bangkok, 査
読有 .

佃康司・永田靖 , 動特性パラメータ設計
におけるタグチの SN 比の推定量の漸近
理論 . 統計関連学会連合大会 ,2013/9/9 ,
大阪大学 .

大久保豪人・永田靖 , MTシステムにおけ
る小標本データの解析方法 .第101回日本
品質管理学会研究発表会 ,2013/5/25 ,日
本科学技術連盟 .

古谷野良太・永田靖 , 傾向スコアを用い
た誤差因子の調合 .第101回日本品質管理
学会研究発表会 ,2013/5/25 ,日本科学技
術連盟 .

後藤謙介・永田靖 , タグチのT法における
残差の検討と改良手法の提案 .第101回日
本品質管理学会研究発表会 ,2013/5/25 ,
日本科学技術連盟 .

永田靖 , MT システムの諸問題と改良手
法 . 田口玄一博士一周忌シンポジウム -
統計科学から見たタグチメソッドの現
在・過去・未来 ,2013/5/13 , 筑波大学東
京キャンパス .

大久保豪人・永田靖 , 次元圧縮を用いた
MT システムにおける判定方法 . 第42
回日本品質管理学会年次大会研究発表
会 ,2012/10/27 , コマツウェイ総合研修
センター .

Koji Tsukuda and Yasushi Nagata , Robust
Parameter Design for Multi-Signals-
Response System, ANQ (Asian Network for
Quality) Congress 2012/8/1, The Hong
Kong University of Science and
Technology , 査読有 . (**Best Paper Award**
受賞)

大久保豪人・永田靖 , タグチのRT法にお
けるアンサンブル学習の導入 . 第98回
日本品質管理学会研究発表会 ,2012/5/26 ,
日本科学技術連盟 .

〔図書〕(計1件)

廣野元久・永田靖 , アンスコム的な数値
例で学ぶ統計的方法 23講 , 日科技連出
版社 .2013 , 総ページ数:210ページ .(**2013
年度日経品質管理文献賞受賞**)

6 . 研究組織

(1)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