

氏 名 泉 陽介

学位(専攻分野) 博士(学術)

学位記番号 総研大甲第 1672 号

学位授与の日付 平成26年3月20日

学位授与の要件 複合科学研究科 統計科学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 作業時間から工程・時限・反復効果を分離する統計モデルの研究
ー製造ラインの改善に向けてー

論文審査委員 主 査 准教授 川崎 能典
教授 中村 隆
教授 椿 広計
助教 河村 敏彦
代表取締役 小平 和一郎 (株)イー・ブランド 21

論文内容の要旨

Summary of thesis contents

本研究の目的は、工場の製造ラインにおいて比較的容易に得られる工程×時限形式の正味作業時間データから、工程・時限・反復（ロット）効果を分離する統計モデルを開発し、それぞれの効果を作業のムダ（工程バランス）・ムリ（疲労）・ムラ（習熟）と解釈することにより、製造ラインの改善に資する統計的方法を提供しようとするものである。

複数工程のコンベヤ式製造ラインの正味作業時間には、様々な要因の影響でバラツキが生じる。正味作業時間が変動する主な要因としては、工程設計に問題があること、年齢や保有技能の異なる技術者数名が携わること、疲れが溜まりやすい作業であることなどが考えられる。

正味作業時間の変動に関する先行研究としては例えば、工程間の変動から手待ちを把握し改善を試みるラインバランシング研究、時限間の主な変動から継続作業による疲労の様子を捉える研究、作業反復から習熟過程を捉える研究などがある。これらの先行研究では求めたい要因の効果のみを得るために、同技能レベルの作業員数名が同一単純作業を継続的に繰り返すなど、推定したい効果のみ取り上げて他の効果が混交しないように制約した作業実験に基づくデータを取得している。必然的に、分析モデルは推定したい効果のみで構成されたものとなる。

先行研究の方法では、実際の製造ラインで計測した正味作業時間表データを分析できない。その理由として、実際の製造ラインで計測した正味作業時間表データは工程・時限・反復効果の混交と観測誤差が含まれており、工程別・時限別・反復回数別に図示する等では十分ではなく、統計モデルの力を借りる必要がある。さらには工程・時限・反復要因の配置に起因して、数学的に何らかの制約条件がないと効果が一義的に決定できないという識別問題があり、簡便な分析方法では各効果を推定できないことが挙げられる。しかし多くの工場では先行研究の作業実験とは異なり、労働者管理を目的とした何らかの制約の無い正味作業時間が継続的に計測されている。このような日常的に計測して得られる正味作業時間データから、工程・時限・反復効果が分離できれば、制約された作業実験に基づかなくともそれぞれの効果に対応する手待ち・疲労・習熟の様子がわかり、実際の製造ラインおよび労働環境に直接結びつく改善のための糸口が得られる。

本研究では、実際の製造ラインで簡便に計測して得られる工程×時限形式の正味作業時間データから、識別問題に対応して工程・時限・反復効果を分離し、それぞれに対する手待ち・疲労・習熟の様子を明らかにすることができる一日の正味作業時間を分析するための統計的分析方法を開発した。さらに、改善実行前の一日と改善実行後の一日を比較する2時点の作業時間モデルを開発した。検証にあたっては、地域工芸メーカ A、精密機器メーカ B、自動車関連メーカ C、組立メーカ D の異なる業種の4社で実際に計測した正味作業時間に本分析方法を適用し、有効性を確認した。

本博士論文の構成を次に示す。第1章では導入として、工場の製造現場・製造ライン・流し工程、およびそこで得られているデータの種類・形式などについて説明している。第2章では、先行研究の問題提起を行い、本論文の研究目的を述べている。第3章では、工程×時限形式のデータが年齢×調査時点形式のデータと同様の構造をもつことを指摘、そこに潜む識別問題について解説し、Age-Period-Cohort モデルを援用した「1日(1時点)における作業時間モデル (Manufacturing_Process-Period-Repetition, MPR モデル)」について説明している。第4章では、地域工芸メーカ A、精密機器メーカ B、自動車関連メーカ C、組立メーカ D で実際に計測した正味作業時間を MPR モデルで分析した結果を示し、工程・時限・反復効果からそれぞれに対する手待ち・疲労・習熟の様子を表し、分析結果に基づく改善策の提案を行っている。第5章では、先行研究との分析方法の比較を行い、作業を継続することで段々と作業の捗り具合が悪くなっていく様子（時限効果）や作業を繰り返すことで段々と作業の捗り具合が良くなっていく様子（反復効果）など、

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

本研究方法の特長を挙げている。さらに乱数シミュレーションを行って、選択された最適モデルの各効果の変動する幅や様子が再現されているか確かめている。第 6 章では、MPR モデルを拡張し、低減 (After Improvement) 効果も付加した「改善策実行前後の作業時間モデル (MPR-A' M' T' R' モデル)」を説明している。さらに、内一社の改善前・後／改善後・改善 2 週間後のデータをそれぞれ 2 時点の MPR-A' M' P' R' モデルで分析した結果を与え、改善の効果として疲労の進行の抑制を検証している。第 7 章は、まとめである。第 8 章は付録であり、製造工程の設計方針・改善のための研究方法等、先行研究のレビューについて整理している。

博士論文の審査結果の要旨

Summary of the results of the doctoral thesis screening

本論文の研究目的は、工場の製造ラインにおいて比較的容易に得られる工程×時限形式の正味作業時間データから、工程・時限・反復（ロット）効果を分離する統計モデルを開発し、それぞれの効果を作業のムダ（工程バランス）・ムリ（疲労）・ムラ（習熟）と解釈することにより、製造ラインの改善に資する統計的方法を提供しようとするものである。

第1章では導入として、工場の製造現場・製造ライン・流し工程、およびそこで得られているデータの種類・形式などについて説明している。第2章では、先行研究のレビューとそれを踏まえた問題提起を行い、本論文の研究目的を述べている。第3章では、工程×時限形式のデータが年齢×調査時点形式のデータと同様の構造をもつことを指摘、そこに潜む識別問題について解説し、Age-Period-Cohortモデルを援用した「一日作業時間モデル」としてManufacturing Process-Period-Repetitionモデル（MPRモデル）を定義し、その推定方法を説明している。第4章では、製造業4社で得られた作業時間データにMPRモデルを適用した分析結果を報告し、それらに基づく改善策の提案を行っている。第5章では前章で推定したモデルに基づき人工的にデータを発生させて、分析結果の安定性をシミュレーションにより分析している。第6章では、改善前と改善直後、改善直後と改善導入2週間後など、2時点でのデータが利用可能な状況を想定してMPRモデルを拡張し、低減（After Improvement）効果も付加したMPR-AM'PR'モデルを提案している。なお、記法M'PR'におけるダッシュ記号は、改善後の各効果が存在しかつ改善前と有意に異なることを表す。第6章後半では、ある製造業1社の改善前・後／改善後・改善2週間後のデータをそれぞれMPR-AM'PR'モデルで分析した結果を与え、改善の効果として低減効果の存在と疲労の進行の抑制を検証している。第7章はまとめである。付録では、製造工程の設計方針・改善のための研究方法等について整理している。

本研究の切り口の独創性は、これまでデータとしては存在するが必ずしも十分に分析・利用されていなかった、製造業の現場での工程×時限形式の作業時間データに着目した点にある。工程×時限形式のデータが年齢×調査時点形式のデータと同様の構造をもつことを指摘した上で、APCモデルの類推から、工程・時限・反復効果を分離する統計モデル（MPRモデル）を提案し、その有用性を工場現場における業務改善の提案に結びつける形で実データに基づいて示したことは、データ取得の時間スケールが全く異なる問題においてもAPCモデルが有効に機能する事例を示したという点で、APCモデルの枠組みに新たな応用の可能性を切り拓くものである。

MPRモデルを改善前後（本論文の具体的事例としては改善前と改善直後、改善直後と改善導入2週間後の2パターン）の2時点作業時間データに適用可能な分析モデルに拡張したことについては、方法論の提案として独自の学術的貢献が認められ、高く評価できる。また、特徴の異なる様々な業態からの多彩な事例の分析結果は示唆に富み、製造現場における作業時間データの収集に泉氏自らが発関していることと相まって、分析結果に基づいて提示されている改善案には説得力がある。

学位請求論文に関連して、第3章と第4章の一部に相当する内容が、査読付和文誌「開発工学」（日本開発工学会機関誌、Vol. 33, No.12 (2014年3月刊行)）に掲載されていること、更に、複合科学研究科の規程に基づく口述試験を実施した結果、泉氏は博士論文を中心としてそれに関連のある専門分野及びその基礎となる分野について博士（学術）の学位の授与に十分な学識を有するものと判断したこととあわせ、審査委員全員一致で合格と判定した。