

論文審査の結果の要旨

論文題名

Essays on Statistical Analysis in Revenue Management and Selecting Populations for Dependent Data

論文審査の要旨

①論文の概要

レベニューマネジメントの手法は、航空業やホテル業などのように、(1) 上限のあるキャパシティを用いてサービスを提供する、(2) 相対的に固定費が高く変動費が低い、(3) 予約によって事前販売を行う、などの特徴を持つ業種で用いられる。その手法はダイナミック・プライシングと複数価格性であるが、どちらの手法も需要の統計的分析が基礎となる。本論文は二つの独立した目的を持つ。第一の目的は、上記の特徴を持つ業種における需要の統計的分析手法を定式化し、さらに日次予約数（ピックアップ）と料金の数量的関係を実証分析することである。第1章では、ピックアップを説明する複数のモデルの手法などを体系的に整理した。第2章では、ホテルのピックアップの価格反応関数の推定を行った。

本論文の第二の目的は、複数の母集団から時系列標本が得られる時に最大の母平均を持つ母集団を選択する問題の研究である。第3章では、この問題に対する方法を提案し、その基本的性質を証明した。またこの方法の有限標本での性質をモンテカルロ・シミュレーションによって調べた。

②審査の方法

審査担当者は、時系列解析および統計学理論を専門とするもの（田中勝人教授、福地純一郎教授）、サービスマーケティングおよび消費者行動の研究を専門とするもの（長島直樹東洋大学准教授）で構成し、論文を精査し口頭発表を聞いたうえで審査を行った。

③内容の評価

第1章では、レベニューマネジメント産業において重要な日次予約数（ピックアップ）の統計的手法を体系的に説明している。ピックアップデータの特徴の一つは離散性である。日次予約数は0以上の整数値を取るため、カウント回帰分析が必要になる。また、キャパシティに上限があるため、値打ち切りの可能性がある。これらの特徴を捉える統計的手法として、1.2節ではピックアップモデルを説明している。また、値打ち切りが存在するときにピックアップから真の需要増分をEMアルゴリズムにより推定する方法を詳しく説明している。1.3節では線形回帰モデルおよびポアソン回帰モデルにおいて値打ち切りが存在する時のEMアルゴリズム

ムを用いたパラメータ推定法について詳細に説明している。本章の統計学的側面は既知の内容であるが、レベニューマネジメントで有用なモデルと推定方法を体系的に整理したことは評価できる。

第2章では、ホテル日次ピックアップを被説明変数、当該ホテル、競合ホテルの料金および宿泊日までの日数を説明変数としてカウント回帰分析（ポアソン回帰モデルおよび負の二項回帰モデル）を行い、価格反応関数を推定した。このようなホテル予約数の価格反応関数の推定は先行研究には見当たらない。ホテルには多数の異なる料金の客室（分析したホテルでは200種類前後）を販売しているため、各ホテルの提供する複数料金を一つの値に要約することが必要になる。料金の平均、メディアン、 α 分位点、 α 分位点以下平均（以下で、 α QAPと表す）、最小値を説明変数として用いる複数のカウント回帰モデルを推定して、0.1QAP, 0.05QAP, 0.05分位点、最低料金を用いたときに自社および競合ホテルの料金が有意となり、料金の平均およびメディアンを用いた時には、有意とはならなかった。このことは、ピックアップの値を説明するのに低い料金帯の値が有意であることを意味する。カウント回帰分析を用いて料金反応関数を推定し、他ホテルの料金が有意であるかどうかを見ることによりそのホテルが実際に競合しているかどうかを判断することが可能であることを示したことは、実務上の重要性を持つ結果であるといえる。

第3章は、時系列標本を用いる時の母集団選択問題に解決法を与えたもので、第1、2章とは独立した内容である。時系列標本を扱うことが多い経済学において応用可能性を持っている。

k 個の正規母集団 Π_1, \dots, Π_k があり、母平均はそれぞれ $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ で、同一の分散 σ^2 を持つものとする。各母集団からの無作為標本の標本平均を $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k$, それらを大きさの順に並べたものを $\bar{X}_{[1]} \leq \bar{X}_{[2]} \leq \dots \leq \bar{X}_{[k]}$ と表し、標本分散を s_n^2 と表すとする。Gupta(1965) は、以下の選択ルール R を提案した。

ルール R : $\bar{X}_i \geq \bar{X}_{[k]} - \frac{D_n s_n}{\sqrt{n}}$ のとき母集団 Π_i を選択する

定数 D_n は、最大の母平均を持つ母集団を選択する確率（以降 Probability of Correct Selection, PCS と呼ぶ）があらかじめ定めた値 P^* と一致するように定める。選択される母集団の個数はランダムである。独立性の仮定（無作為標本）から、 D_n の値を求めることが可能である(Gupta and Sobel, 1957)。Gupta の方法は、様々な状況の下で他の母集団パラメータについても拡張されてきたが、従属確率変数列については研究がほとんどなかった。本章では、標本が母平均の異なる定常な正規 ARMA 過程にしたがうときの母集団選択問題の研究を行っている。以下のような母集団選択ルールを考える。

ルール $R(D_n)$: $\bar{X}_i \geq \bar{X}_{[k]} - \frac{D_n \hat{\sigma}_n}{\sqrt{n}}$ のとき母集団 Π_i を選択する

ただし $\hat{\sigma}_n^2$ は $\sqrt{n}\bar{X}_1$ の分散 σ_n^2 のサブサンプリング推定量である。定数 D_n は PCS があらかじめ定めた値 P^* となるように決める。しかし、 D_n は ARMA 過程のパラメータに依存するため、実際には ARMA パラメータ β の推定量 $\hat{\beta}_n$ を代入した値 $\hat{D}_n = D_n(\hat{\beta}_n)$ を用いた選択ルール

$$\text{ルール } R(\hat{D}_n) : \bar{X}_i \geq \bar{X}_{[k]} - \frac{\hat{D}_n \hat{\sigma}_n}{\sqrt{n}} \quad \text{のとき母集団 } \Pi_i \text{ を選択する}$$

を用いる。関数 $D_n(\beta)$ を陽表的に表すことが困難であるが、パラメータ $\hat{\beta}_n$ を持つ定常正規 ARMA 過程を多数回人工的に発生させることによって $D_n(\hat{\beta}_n)$ を求められることが示され、この手法を定常正規 ARMA リサンプリング法と呼んでいる。データを発生する確率過程が定常正規 AR 過程であるときに \hat{D}_n が D_n の一致推定量であることを証明しており、提案している方法の妥当性を示した。また、モンテカルロ実験によって、ルール $R(\hat{D}_n)$ の性質として、PCS、選択する集合の期待サイズ（選択される母集団の数の期待値）を計算し、ルール $R(\hat{D}_n)$ の振る舞いが良好であることを示した。

本論文の貢献について説明する。第 1 章ではレベニューマネジメントで利用される統計的手法を詳細に説明した。第 2 章では、ホテル・ピックアップの当該ホテルおよび他ホテル料金の価格反応関数を推定する上で、複数料金を要約して説明変数とすることを考案したことが重要である。この方法は、ホテル以外の複数価格制を採用する業種でも応用可能である。実証分析によって低料金帯の値がピックアップ数に有意であるという知見が示されたことも注目に値する。

第 3 章では、時系列標本を用いた母集団選択問題に対して、リサンプリング法を用いることによって、母平均最大の母集団を選択する確率が近似的に名目値 P^* に等しい手法を開発し、その一致性を証明したことが顕著な貢献であり、今後、関連問題の研究の基礎となると考えられる。

他方、本論文にも改善すべき点がある。第 2 章では、限定された期間の標本で実証分析が行われている。他の期間および他ホテルのデータでも分析を行うことが、考案された手法の性質を知る上で望ましい。第 3 章では、 σ_n^2 の推定量としてサブサンプリング推定量のみを扱っているが、他の推定量を用いた場合にも同様の理論的性質を持つかどうかを調べるのが望ましい。また、実際の応用を考えると、各標本のしたがう ARMA 過程のパラメータの値が同一であるという条件を緩めた仮定の下で有効な手法の開発が望まれる。この場合は、本論文とは異なる統計量を考える必要があるため、成果を得ることは容易ではないが重要な課題であると考

えられる。このようにいくつか改善の余地はあるものの、本論文の重要性が減じられるものではない。

④結論

以上のように、本論文はレベニューマネジメントの基礎となる統計的分析の有効性を示し、また、時系列標本の場合の母集団選択問題の一つの解決法を考案して統計的性質を示した重要な貢献であると評価でき、審査委員会は博士（経済学）の学位を授与するにふさわしいものと考えられる。

論文審査委員：主査 福地 純一郎 教授
田中 勝人 教授
長島 直樹 特別非常勤講師
(東洋大学 准教授)