

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 6 月 25 日現在

機関番号：32606

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20530182

研究課題名（和文） レベニューマネジメントにおける統計的手法

研究課題名（英文） Statistical analysis for the revenue management

研究代表者 福地純一郎

（Fukuchi Junichiro）

学習院大学・経済学部・教授

研究者番号：00274043

研究成果の概要（和文）：レベニューマネジメントが適用できる業種には、キャパシティに上限があること、複数種類の料金クラスが存在すること、事前予約および購入が可能であること、という特徴がある。レベニューマネジメントを効果的に適用するためには、予約増分データ（ブッキングデータ）によって最終需要数の精度の高い予測を行うことが重要である。本研究では、予約増分数日次データの特性を分析し、その統計的モデルを考案した。また、関連テーマである自動販売機の最適なコラム割当の手法を開発した。一般的な自動販売機の内部には同一の商品を複数個ストックするコラムが複数個ある。一台の自動販売機からの利益を商品売上額から在庫補充コストを差し引いた値として定義し、利益を期間で割った値を目的関数とする最適化問題を定式化した。この問題はキャパシティが有限である点がレベニューマネジメントと共通している。需要がポアソン過程にしたがうという過程のもとで、最適化問題を定式化し、タブーサーチを用いた最適なコラム割当を求める手法を考案した。数値実験によって、この方法の有効性が示された。

研究成果の概要（英文）：Revenue management industries have some common characteristics. Firstly, there exists finite capacity for the use of the resource. Secondly, there are several fare (price) classes. Thirdly, it is possible for customers to purchase the right to use the resource. In order to apply revenue management effectively, it is important to predict the demand for each resource with high accuracy. Statistical models for booking data in the revenue management industries are developed. A method for obtaining the optimal column assignment for the vending machine is developed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
20年度	900,000	270,000	1,170,000
21年度	700,000	210,000	910,000
22年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・経済統計学

キーワード：EM アルゴリズム、レベニューマネジメント、ポアソン過程、ポアソン回帰モデル、最尤法、自動販売機、コラム割当

1. 研究開始当初の背景

レベニューマネジメントが適用できる業種には、キャパシティに上限があること、複数種類の料金クラスが存在すること、事前予約および購入が可能であること、リソース利用の時間が固定的（予測可能）である、という特徴がある。これらの特徴を持つ業種としては、航空業、ホテル、賃貸マンション、レンタカーなどがあり、各業種の特殊性に応じて、適用が進んでいる。

レベニューマネジメントは将来需要の予測値に基づいて、各料金クラスの販売量を決定するため、レベニューマネジメントを効果的に適用するためには、予約増分データ（ブッキングデータ）によって最終需要数の精度の高い予測を行うことが重要である。ブッキングデータには以下のような特性がある。まず、一つのリソースに着目すると日次の予約数は十分大きいとは言えず、連続的変数データとして扱うことには無理がある。このため通常の回帰分析を使うことは好ましくない。

第二に、キャパシティに上限のあることから、予約増分にもセンサリングが生じる。特に、需要が強い利用時間については予約数合計と需要量が異なる。

第三に、レベニューマネジメント産業では、料金クラスの数が多い場合が多く、多くの場合、異なる料金クラス間で補完関係が存在する。これらの要因をモデル化し、個別の料金クラス需要量の予測を行う手法は未知である。

第四に、イベント情報、景気外部要因、競合他社の行動など日次予約数に影響する共変量が利用可能な場合がある。こういった要因は競争の程度が強い産業において、より影響が大きいと考えられる。

このようなレベニューマネジメントが適用できる業種におけるブッキングデータのモデルとして広く知られているのは、ピックアップモデルと呼ばれる単純なモデルである。ピックアップモデルでは、同じ曜日の利用時間について、到着前日数(Days before arrivals, DBA)が同一の予約数増分の平均値で、推定を行っている。

統計的モデルの妥当な定式化はピックアップモデル以外に見当たらず、統計的推測の性質についても十分理解されていなかったため、それらの体系的な研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、レベニューマネジメントで利用される統計的手法を体系的に研究することである。レベニューマネジメントは従来、主にオペレーションズリサーチの研究者によって活発に研究されてきたため、需要推

定、将来の需要予測の重要性は認識されてきたものの、統計学研究者による研究は少なかった。レベニューマネジメントの手法を有効なものとするためには、高い精度の需要推定および予測を行い、かつその精度の推定値を活用することによって、求められた選択とその最適性からのずれを評価する必要がある。

3. 研究の方法

レベニューマネジメントが適用できる業種における予約数時系列データのモデルを定式化、複数の統計的推測の手法の性質を研究する。

研究代表者の役割は、(1)予約数増分データの統計的モデルの定式化、(2)統計的モデルの理論的性質の分析、(3)パラメータ推定法の性質、(4)研究の総括、である。研究分担者は、ホテルを対象にした顧客満足度調査、病院などの従業員満足度調査、流通などの実証分析の広い経験があり、広く実証研究の見地からレベニューマネジメントの統計的手法について貢献した。具体的な役割は、(1)成果のホテル経営への含意、(2)自動販売機コラム割当てについてのレベニューマネジメントの応用、である。

4. 研究成果

4.1 ホテルの日次ブッキングデータの分析を行い以下の特性を見出した。

(1) 日次ピックアップ(予約数の増分)は、宿泊日までの日数の増加関数であり、この関係は安定していること。

(2) 日次ピックアップの平均値は宿泊日に依存し、年間を通した平均では曜日に強く依存する。

(3) 近接する宿泊日のピックアップは相関を持つこと。

また、ブッキングの増分はキャパシティと現時点での予約数の差を超えることができないので、センサリングの問題として定式化した。この定式化では、センサリングの閾値が前日の予約数増分に依存する。この定式化でEMアルゴリズムによって日次需要の平均を推定した。EMアルゴリズムによる需要推定を用いた予測については、センサリングを無視して需要増分の平均を推定する方法と比較して、予測精度の改善がみられた。

4.2 予約数データのモデルと統計的推測について以下の研究成果を得た。

(1) レベニューマネジメント産業（航空業、ホテルなど）においては、予約および事前購入が可能であることが特徴である。一つのリソースに着目すると日次の予約数は十分大きいとは言えず、連続的変数データとして扱うことには無理がある。また、イベント情報、外部要因など日次予約数に影響する共変数が利用可能な場合がある。これらの特徴を持つ、複数の計数回帰モデルの定式化を行い、パラメータ推定方法について研究を行った。

(2) リソースの異なる利用時間（日など）の予約数に相関があるモデルを定式化した。相関のある計数回帰モデルを定式化し、パラメータの最尤推定についての理論的検討を行った。多次元の計数データのモデル化は難しい問題で、多次元の無作為標本の場合にも、広くて用いられる手法が定着していない。

以上の成果は、主に砂見しずゑ氏（学習院大学経済学研究科）との共同研究による。

このテーマに関連した今後の研究課題としては、以下のような問題がある。

(1) 多数の料金クラスが存在するときに、これらの需要の同時分布の推定をする問題。この問題も連関のある計数データの多次元分布を定式化する必要がある。

(2) 複数料金クラスの合計需要をモデル化するとき、複数料金を要約して説明変数に用いることが考えられるが、説明変数を作成する問題。(1)について計数データの同時分布の定式化として、いくつかの手法が考えられる。一つは、複数のポアソン確率変数の平均を共通の確率変数の関数とする手法であり。も一つめは、複数のポアソン分布をコピュラによって結合する方法である。

4.3 自動販売機のコラム割当最適化問題について以下の研究成果を得た。

一般的な自動販売機の内部には同一の商品を複数個ストックするコラムが複数個あり、收容種類数および商品数に上限があり、レベニューマネジメント産業と形式的に共通の特徴がある。キャパシティに上限があるため、アソートメントを広くすると、品切れが発生する頻度が高くなり、在庫補充のコストが高くなる。アソートメントを狭くすると、商品種類が少ないため、収入が小さくなる。したがって、各商品の需要推定値に基づき、最適なコラム割当を推定する必要がある。

一台の自動販売機からの利益を商品売上額から在庫補充コストを差し引いた値として定義し、利益を期間で割った値を目的関数とする最適化問題を定式化した。この問題はキャパシティが有限である点がレベニューマネジメントと共通している。需要がポアソン過程にしたがうという過程のもとで、以下の成果をあげた。

(1) 利益を期間で割った値の期間を長くしたときの極限を、再生過程の基本的な性質を用いることによって陽表的に求めた。これによって目的関数の計算が容易になった。

(2) 次元の小さい場合を例にとり、目的関数が複数の局所最小値を持つことを示した。

(3) タブーサーチの一種であるLife Span法を用いて、最適解を（近似的に）求めた。

(4) 最適解を求めるアルゴリズム中においては、在庫補充までにかかる時間の期待値を求める必要がある。の陽表的表現を得ることに成功したが、そのままの形では計算量が膨大である。計算量を大幅に減少させる手法として、数値積分を行い、またアルゴリズム中過去に用いた値を再利用することによって計算量を大幅に減少させることに成功した。

(4) 数値例を用いて考案した手法によって最適コラム割当を求め、近似的に最適な割当が求められることが示された。Life Span法では、最も広いアソートメントを初期値として数値実験を行った。1回の在庫補充費用を c とするとき、 c が大きいときには、アソートメントが狭いコラム割当が最適であり、Life Span法で最適解に収束する割合が小さい。実データによる需要推定値を用いた初期値を用いる必要性が示唆された。

さらに、需要過程が再生過程にしたがうときに長期利益率の極限を求めることにも成功し、より広い仮定のもとで成果を上げた。

既存の最適コラム割当の研究と比較すると、本研究で考案した方法の特徴は以下である。

(1) 需要を確率過程として定式化した。

(2) 目的関数が収入から在庫補充コストを差し引いたものとしている。

考案した方法を実際に利用する時には、自販機により販売する商品の需要を推定する必要があり、これは今後の重要な研究課題の一つである。

以上の成果は、主に伊藤一氏（小樽商科大学商学部教授）、竹内俊子氏（学習院大学非常勤講師）との共同研究による。

4.4 本研究から派生したテーマとして、以下の研究を研究分担者で行った。

消費者満足度調査に関する統計的分析
2時点で実施されたアンケートによる満足度調査の結果から、各質問項目について満足度が向上しているかどうかを判断する仮説検定の手法を考案した。アンケート対象が、対応がある場合、対応がない場合、一部分対応がある場合の3通りの場合について、仮説検定の方法を考案し、数値実験などにより検出力を計算した。この研究は、現在も進行中である。

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1件)

竹内俊子、伊藤一、福地純一郎、『自動販売機コラム割当最適化問題：需要がポアソン過程に従う場合』、学習院大学 経済論集、第49巻、2012年、47 - 52

[学会発表](計2件)

“The optimal column assignment for a vending machine”, The 3rd World Conference on Production and Operations Management (2008年8月東京で開催)

“Statistical Methods for Revenue Management”

科研費シンポジウム(2008年11月沖縄で開催)

[図書](計1件)

『Rによる計量経済分析』、福地純一郎・伊藤有希著、朝倉書店、2011年

6. 研究組織

(1)研究代表者

福地純一郎 (Junichiro Fukuchi)

学習院大学・経済学部・教授

研究者番号：00274043

(2)研究分担者

伊藤一 (Hajime Ito)

小樽商科大学・商学部・教授

研究者番号：10241415