T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	販売データの統計的性質の解析と時系列分析及びその応用
Title(English)	
著者(和文)	迫田元
Author(English)	Gen Sakoda
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11582号, 授与年月日:2020年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:高安 美佐子,出口 弘,三宅 美博,青西 亨,小野 功
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11582号, Conferred date:2020/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	数理・計算科学 系 知能情報 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 （ 理学 ） Doctor of
学生氏名： Student's Name	迫田 元	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	高安 美佐子
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は「販売データの統計的性質の解析と時系列分析及びその応用」と題し、全六章から構成されている。

第一章「緒言」では、本研究の背景にある販売データの統計的性質、ならびに販売データの時系列分析手法とその応用に関する従来研究を概観した上で、本研究の目的を明らかにした。

第二章「データ」では、販売時点情報（Point-Of-Sales：POS）の一般的な概要を述べた上で、本研究で用いたコンビニエンスストアの POS データについて説明した。326 店舗の 5 か月間に渡る約 1.6 億レコードのレジでの販売記録に加え、日々の仕入と廃棄の記録が店舗毎、商品毎にあることを述べた。

第三章「販売データの統計的性質を考慮した非定常時系列分析手法の確立」では、販売数時系列から需要を推定する手法の開発を行った。ポアソン過程の標準偏差が平均値に比例して大きくなるというテイラースケーリング則の概要を述べた上で、非定常な需要を正しく推定するためには、ポアソンパラメータの非定常な変化とテイラースケーリングによる大きな揺らぎとの区別が欠かせないことを指摘した。その対応として、非定常時系列分析手法である粒子フィルタにおいて、観測モデルにテイラースケーリング則を考慮した尤度関数を導入した。さらに現実の販売時系列においては地域のイベント等による突発的な需要の急増が発生するため、非連続的な需要の変動を推定する必要があることに着目し、非連続性の検知と推定値の補正の方法を開発し粒子フィルタに導入した。提案手法の効果を、乱数で人工的に生成した時系列と POS の販売時系列で検証し、テイラースケーリング則による標準偏差のポアソン過程からの乖離が存在し、非連続的な変化を含む非定常な販売時系列において、提案手法によってデータと整合する適切な需要の推定が可能となることを確認した。

第四章「非定常時系列分析手法の廃棄低減への応用」では、上記の時系列分析手法による需要推定法を応用し、消費期限のある商品に対し、廃棄ロスを低減しつつ利益の減少を最低限に留めるように仕入数を決定する手法を提案した。まず、仕入数が需要に満たない時には売り切れが生じるため、観測される販売数のデータは潜在的な需要の下限値になっていることを指摘し、上述の改良した粒子フィルタに対し、観測上限で打ち切られたデータに対する既知の最尤推定法を適用した。さらに機会損失と廃棄損失の最適化問題の解として知られる新聞売り子問題の公式を拡張し、利益ロスを見積もりながら所望の廃棄率を実現できる仕入数を決定する新しい手法を提案した。この手法の効果を検証するため、店舗毎、商品毎の POS 販売時系列をそれぞれ各店舗、各商品の日々の需要と見做した販売シミュレーションを行い、75%以上の販売日で廃棄がなされた食品の販売時系列 215 事例において、平均的に廃棄数を 23%に減少させながら利益を 140%に向上させる効果を確認した。さらに、複数店舗、複数商品の POS データを集計した販売時系列を用意して、テイラースケーリングの効果が明瞭となる販売数平均が大きい場合の効果検証を行った。その結果、テイラースケーリングによるポアソン過程からの揺らぎの乖離が小さい条件下では、最大利益を得られる仕入数の時の利益と廃棄に対し、1%程度の利益ロスで廃棄を半減できるという結果を得た。

第五章「販売データの統計的性質とその起源の解明」では、商品コード毎の販売店舗数の変動と分布に関する数理モデルの開発を行った。まず、POS データの分析から、全 326 店舗で扱われる全商品コードは一日当たりおよそ 8000 種程度であり、その内およそ 500 種が毎日入れ替わっていることを確認し、また、商品コード毎の販売店舗数は、定常的に対数一様分布に従うという経験則を見出した。さらに、商品コード毎の販売店舗数の時系列の解析から、商品コード毎の販売店舗数の変動がランダム乗算過程で近似できることを示し、数値シミュレーションによって、一般にランダム乗算過程に従って有限な区間内を変動することで対数一様分布が実現することを明らかにした。これらの結果を踏まえ、商品の入れ替わりを考慮したランダム乗算過程に基づく数理モデルによって販売店舗数の変動と分布の特性を再現することができることを確認した。

第六章「結言」では、本研究を総括するとともに、今後の展望を述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	数理・計算科学 系 知能情報 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （ 理学 ）
学生氏名： Student's Name	迫田 元	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	高安 美佐子
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

The thesis consists of six chapters.

In the first chapter, we review the related works and present the aims and objectives of this research.

In the second chapter, we describe the data. The Point-Of-Sales (POS) data cover 326 chain stores of a convenience store company for 153 days, which amounts to about 160 million records of every purchase at cash registers, including daily stocks and disposals.

In the third chapter, we revise the Particle Filter for estimation of time-dependent Poisson parameter based on the time series of sales number of a commodity. Firstly, we introduce the likelihood function considering Taylor's fluctuation scaling law, which describes the abnormally large fluctuation deviated from the simple Poisson process. Secondly, we introduce a discontinuity detection method for time series including sudden discontinuous jumps. The effectiveness of our method is verified with the POS data.

In the fourth chapter, we apply the method in the third chapter to reduce the waste of perishables while keeping profits high at retail. To estimate demand for incomplete sales data containing stock-outs, we introduce the maximum likelihood estimation method for partially-observed data with an upper observation limit. The method for stock determination, which realizes the desired waste reduction with pricing the waste reduction cost, is also developed. Numerical analysis using POS data shows that in the case of foods wasted more than 75% of working days, the net food waste decreases to about a quarter with profit increases by 140%. Moreover, we confirm about 1% profit loss halves the disposal when the effect of Taylor's law is small at large sales numbers.

In the fifth chapter, we focus on the number of stores which sell each commodity, and find that its distribution follows the log-uniform distribution. Data analysis reveals that a random multiplicative process well approximates the time evolution of the number of stores for a commodity. Numerical simulation confirms that the random multiplicative process in a finite interval realizes the log-uniform distribution.

The last chapter summarizes the results and discusses the possibilities for further developments.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).