

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24810005

研究課題名(和文)再試行型待ち行列によるコールセンターの性能解析とサービス科学への応用

研究課題名(英文)Performance Analysis of Call Centers using Retrial Queues and Its Application to Service Science

研究代表者

フン・ドック トゥアン (Phung-Duc, Tuan)

東京工業大学・情報理工学(系)研究科・助教

研究者番号：20633465

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円、(間接経費) 720,000円

研究成果の概要(和文)：コールセンターは会社と客の重要な双方向通信チャンネルとして様々な会社で導入されている。コールセンターの主な運営コストとしてオペレータの person 費、コンピュータシステムの導入・維持費や電話回線の費用が挙げられる。このうち、オペレータの person 費が大きな割合を占めているため、オペレータの適切な人員配置計画が非常に重要である。具体的に客の満足度を達成できる最適なオペレータの数はコールセンターの設計上最も重要である。本研究ではコールセンターにおいて、客及びオペレータの振る舞いを詳細に反映したモデルを構築し、それを解析する効率的なアルゴリズムを開発した。それによって、コールセンターを設計する際の基準を提供する。

研究成果の概要(英文)：Call center is a channel for two way communication between a company and its customers. The main cost for call center is due to the labor cost of operators. Thus, and it is important for companies to manage operators in a cost-effective manner, keeping a high quality of customer service. In this project, we develop several queueing models and analyze them in order to find the cost and performance trade-off in call centers taking into account the behaviors of customers as well as of operators such as retriels, abandonment and after-call work.

研究分野：社会システム工学・安全システム

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：コールセンター 待ち行列 サービス科学

## 1. 研究開始当初の背景

### 混合型コールセンター

コールセンターには典型的に、Inbound 型コールセンターおよび Outbound 型コールセンターの2種類がある。前者は電話をかけて来る客に対してサービスを提供する。一方、後者はオペレータ自ら顧客に向けて電話を行う。前者は顧客の問い合わせなどに対する支援を行い、後者は例えば商品の宣伝などに行われる。また、クレジットカード会社などでは滞納する客に対し、連絡を行う際にも Outbound 型コールセンターを使う。近年のコールセンターでは生産性を向上させるため Inbound 業務と Outbound 業務を混合する。このような混合型コールセンターではどのようにして Incoming call (外から入る電話) と Outgoing call (外にかけられる電話) をバランスよく設定するかは非常に重要な研究課題である。

### 自動音声応答装置があるコールセンター

現代のコールセンターではオペレータの手間を省くため、一部の業務を自動化している。例えば、クレジットカードの会社のコールセンターに電話をする場合、まず自動音声案内システムにしたがって、顧客番号とパスワード、用件を入力する。これらのデータがコンピュータシステムによりオペレータに転送される。オペレータが自分のコンピュータ画面でこれらの情報を確認することができるため、次ぎのステップの対応がスムーズになり、客の対応時間を短縮できる。この自動音声応答装置があるコールセンターを再試行がある2段直列型待ち行列でモデル化することができる。本研究計画では2種類の技術に基づいた二つの2段直列型コールセンターのモデルを考える。

## 2. 研究の目的

### 混合型コールセンター：明らかにする目標

Phung-Duc と Artalejo 等 [Artalejo &

Phung-Duc JIMO 2012]は混合型コールセンターを双方向通信のある待ち行列としてモデル化し、単一サーバの場合に対する詳細な解析を行った。しかし、一般的に実際のコールセンターでは複数のオペレータがいるため、任意のサーバ数の場合の解析結果が望まれる。本研究では複数オペレータの場合に対してオペレータの稼働状態に応じて Outgoing Call の生成メカニズムを調整することでコールセンターの性能への影響を定量的に評価する。具体的に、Outgoing Call の生成率をサーバの状態に依存した形で行う。最終的に、Incoming Call および Outgoing Call のそれぞれの所望の満足度を同時に保ちながら、最適なオペレータの数や運営方策を求めることが本研究の目的である。

### 自動応答装置があるコールセンター

今日の情報通信技術によりコールセンターの形態が多様化している。具体的にインターネットを利用すれば必ずオペレータが一箇所に集まる必要がない。ヘッドフォンとインターネットに繋がったコンピュータを持てば世界のどこからでも仕事ができると考えられる。そこで本研究ではそれを想定した新しいタイプのコールセンターを提案し、その性能解析を行う。

到着した電話はまず、自動音声応答装置 (IVR) により音声案内が行われる。その後は遠隔のオペレータに接続する。この接続は電話回線ではなくインターネットで行われる。したがって、IVR でサービスが完了した時点で空きのオペレータがいれば直ちにオペレータに接続し、IVR の電話回線を開放する。空きのオペレータがいなければ暫く IVR で待機することもできる。しかし、その場合は IVR の回線が開放されない。本研究計画ではこのシステムを「再試行がある2段直列型待ち行列」でモデル化し、それを解析することにより、この新しい仕組みの可能性を明ら

かにし、次世代のコールセンターのアーキテクチャを提案する。

コールセンターは現代社会の隅々まで存在しており、その最適な設計と運営が非常に重要である。本研究は様々な種類のコールセンターを想定し、それに対する新しい待ち行列モデルを提案・解析するため、応用上だけでなく理論的にも大いに意義があると考えられる。

### 3. 研究の方法

#### 混合型コールセンターのモデル化

再試行のある双方向通信待ち行列は Phung-Duc と Jesus R. Artalejo 教授とともに単一サーバの場合に対して徹底的に研究してきた。これらの研究でサービス時間分布が指数分布に従う場合、再試行中客数およびサーバの状態との結合分布の陽表現を導出した。さらには、サービス時間が一般分布の場合に関して、再試行中客数の平均の陽表現および結合確率母関数の積分表現を導出し、その漸近解析を行った。これらのモデルは電話回線が一本でオペレータの数が一人のコールセンターに対応している。

しかし、実際のコールセンターはもっと規模が大きく、100 のオペレータ以上のものもあるため、母関数に基づく解法は限界がある。そこで、本研究は任意のサーバ数の場合でも解析を可能にする数値的な解析法を導出する。具体的にはサービス中の総客数、サービス中の Incoming call の数、および再試行中の客数から構成される 3 次元マルコフ連鎖を考える。このマルコフ連鎖に対して再試行中客数を「レベル」、残りの二つの変数をフェーズと見なせば、レベル依存準出生死滅過程として考えることができる。しかし、このマルコフ過程はレベルが可算無限の状態があるため、Neuts 等の行列解析法で解析できない。

Phung-Duc 等が開発したレベル依存準出生死滅過程のアルゴリズム「Phung-Duc et al,

QTNA2010」を用いて、定常分布の数値計算を行う。更に、この待ち行列システムでは客が到着したとき、サービス中客数が総サーバ数に等しい場合のみ客が再試行するため、非常にスパースな構造を持っている。この性質を駆使して、Phung-Duc 等の学術論文「Phung-Duc et al, ANOR2013」の手法を拡張し、1000 人規模の混合型コールセンターの性能評価を明らかにしたい。

#### 自動応答装置があるコールセンターのモデル化

コールセンターにおける運営コストと客満足度を両立するため、自動音声応答装置が導入されている。このシステムは 2 段処理待ち行列でモデル化することが可能である。また、「電話回線だけに基いた一箇所に集中したコールセンター」と「電話回線とインターネットを組み合わせたコールセンター」とは性質が異なる。前者は IVR における音声案内が終わっても回線が開放されないのに対して、後者では IVR で音声案内が終わって、空きのオペレータがいればその回線が開放され、客とオペレータが直接にインターネットで接続することになる。電話回線は有限であるため、二つのモデルにおけるブロッキング確率が異なると考えられる。従って、この 2 種類のコールセンターにおける再試行の影響が異なると考えられる。電話の到着がポアソン過程、サービス時間が指数分布に従うと仮定し、この二つのモデルの定式化を行う。

### 4. 研究成果

次の 6 本の雑誌論文を執筆した。

文献[J6]では最も基本的な M/M/c/c 再試行型待ち行列に対してレベル依存準出生死滅過程で定式化し、モデルの疎構造を駆使して、計算量が  $O(c)$  の数値アルゴリズムを開発した。

混合型コールセンターではオペレータはかけてくる電話に対応するだけではなく、自ら

外に電話することもある。文献[J5]ではオペレータが一人のコールセンターを双方向通信があるM/G/1 再試行型待ち行列でモデル化し、マルコフ再生理論を用いて、定常解析を行った。更に、系内容数分布の漸近解析を行った。

実際のシステムではブロッキングされた客はある確率であきらめる場合がある。文献[J4]ではM/M/c/cモデルにおいて、再試行客がある確率であきらめる場合を考え、計算量 $O(c)$ で定常分布を計算するアルゴリズムを提案した。

大規模混合型コールセンターを解析するためには効率の良いアルゴリズムが必要となる。文献[J3]では客の再試行がある混合型コールセンターのモデルに対して、3次元マルコフ連鎖で定式化し、文献[J6]のアイデアを拡張して効率的なアルゴリズムを開発した。

コールセンターでは、オペレータが客との電話をした後に、その客の後処理を行う必要がある。後処理をしている間に新しい客に対応できないが、使っていた回線が解放される。文献[J2]では後処理、再試行、途中放棄のあるコールセンターをレベル依存準出生死滅過程で定式化して、定常分布及び待ち時間分布を解析した。

混合型コールセンターではIncoming callの到着率が大きい場合、連続してIncoming callをサービスされやすくなる。文献[J1]では混合型コールセンターにおいてIncoming call及びOutgoing callのバランスを考慮した方策を提案・解析した。又、連続したIncoming callやOutgoing callの相関を解析した。

#### 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 6 件) [すべて査読有]

[J1] Phung-Duc, T., Rogiest, W., Takahashi, Y., and Bruneel, H., "Retrial Queues with Balanced Call Blending: Analysis of Single-Server and Multiserver Model," Published Online First in *Annals of Operations Research*.

[J2] Phung-Duc, T., and Kawanishi, K., "Performance Analysis of Call Centers with Abandonment, Retrial and After-Call Work," Published Online First in *Performance Evaluation*.

[J3] Phung-Duc, T., and Kawanishi, K., "An Efficient Method for Performance Analysis of Blended Call Centers with Redial," *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 31, No. 2, 1440008, 2014 (33 pages).

[J4] Phung-Duc, T., "Multiserver Retrial Queues with Two Types of Nonpersistent Customers," *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 31, No. 2, 1440009, 2014 (27 pages).

[J5] Artalejo, J.R., and Phung-Duc, T., "Single Server Retrial Queues with Two Way Communication," *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No. 4, pp. 1811--1822, 2013.

[J6] Phung-Duc, T., Masuyama, H., Kasahara, S., and Takahashi, Y., "A Matrix Continued Fraction Approach to Multiserver Retrial Queues," *Annals of Operations Research*, Vol. 202, No. 1, pp. 161--183, 2013.

{ 学会発表 } (計 23 件)

1. 櫻井 洋之 , フン・ドック トゥアン,  
“ 外部処理がある単一サーバ再試行型  
待ち列の漸近解析,” *日本オペレーシ  
ョンズ・リサーチ学会 2014 年春季研究  
発表会*, pp. 56--57, 3月6-7日.
2. Phung-Duc, T., “ Asymptotic Analysis  
for Markovian Retrial Queues with Two  
Types of Nonpersistent Customers,”  
*2013 年度確率モデルシンポジウム*, pp.  
127--136, January 22-24, 2014, 東京  
理科大学, 森戸記念館(東京). (招待)
3. Kajiwara, K. and Phung-Duc, T.,  
“ Asymptotic and Numerical Analysis  
of Multiserver Retrial Queue with  
Guard Channel for Cellular  
Networks,” *Proceedings of MAM8, NIT  
Calicut, Kerala, India*, pp. 85--102,  
January 06--10, 2014.
4. Hu, J., Phung-Duc, T., and Miyoshi, N.,  
“ Queueing Analysis of Power  
Consumption in Server Farm with  
Independent Setup Times,” *日本オペ  
レーションズ・リサーチ学会 2013 年秋  
季研究発表会*, 1-B-3, 徳島, 2013 年 9  
月 11, 12 日, pp. 24-25.
5. Sakurai, H., and Phung-Duc, T.,  
“ Single Server Markovian Retrial  
Queues with Multiple Types of Outgoing  
Calls,” *Proceedings of The 8th  
International Conference on Queueing  
Theory and Network Applications (QTNA  
2013)*, Taichung, Taiwan, pp. 39--46,  
July 30-- August 02, 2013.
6. Kapodistria, S., Resing, J.A.C.,  
Phung-Duc, T., “ Factorial Approach  
for the Study of the Infinite Server  
Queue with Synchronized Reneging,”  
*17th INFORMS Applied Probability  
Society Conference, Costa Rica*,  
15--17, July, 2013.
7. Phung-Duc, T., “ An Asymptotic  
Analysis for Multiserver Retrial  
Queues with Two Types of  
Non-persistent Customers,” *26th EURO  
- INFORMS Joint International  
Conference, Roma, Italia, 1-4 July*,  
2013.
8. Hashizume, K., Phung-Duc, T.,  
Kasahara, S., and Takahashi, Y., “ 自  
動音声応答装置と顧客の再呼があるイ  
ンターネット・コールセンタの性能解  
析,” *IEICE Technical Report*, pp.  
219--224, 2013 年 3 月 7 - 8 日, 沖縄.
9. Sakurai, H., and Phung-Duc, T., “ 複  
数種類の outgoing call を持つ単一サー  
バ再試行型待ち行列の解析,” *2012 年  
度 日本 OR 学会春季発表会*, 東京 pp.  
248--249, 2013 年 3 月 5 - 6 日.
10. Hashizume, K., Phung-Duc, T.,  
Kasahara, S., and Takahashi, Y.,  
“ Analysis of a Retrial Queue for  
Internet-Based Call Centers with  
Interactive Voice Response,” *第 31  
回待ち行列シンポジウム:確率モデルと  
その応用*, 長崎, pp. 147--156, 2013 年 1 月 23 - 25 日.
11. Kajiwara, K., and Phung-Duc, T., “ 専  
用サーバと共用サーバを持つ再試行型  
待ち行列の漸近解析,” *第 31 回待ち行  
列シンポジウム:確率モデルとその応用*,  
長崎, pp. 87--96, 2013 年 1 月 23  
- 25 日.
12. Phung-Duc, T., Kapodistria S., and  
Resing, J., “ Queueing Models with  
Both Linear and Binomial Transition  
Rates,” *第 31 回待ち行列シンポジウ  
ム:確率モデルとその応用*, 長崎, pp.  
189--198, 2013 年 1 月 23 - 25  
日.

13. **Phung-Duc, T.**, " Perturbation Analysis of Multiserver Retrieval Queues," *Young European Queueing Theorists (YEQT-VI): Workshop on Analytic Methods in Queueing Systems*, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, 1-3 November, 2012. **(Invited)**.
14. Hashizume, K., **Phung-Duc, T.**, Kasahara, S., and Takahashi, Y., " Queueing Analysis of Internet-Based Call Centers with Interactive Voice Response and Redial," *Proceedings of IEEE 17<sup>th</sup> CAMAD*, Barcelona, Spain, pp. 373-377, 17--19, September 2012.
15. **Phung-Duc, T.**, and Kawanishi, K., " 2 方向通信再呼待ち行列の行列解析法による別解," *2012 年度日本 OR 学会秋季発表会*, 2012年9月12日-13日, 名古屋.
16. Rogiest, W. and **Phung-Duc, T.**, " Quantifying the Call Blending Balance in Two Way Communication Retrieval Queues: Analysis of Correlation," *The 7th QTNA* (Organized session by Phung-Duc, T.), Kyoto, Japan, 1-3 August, 2012.
17. **Phung-Duc, T.** and Kawanishi, K., " Modelling of Retrieval, Abandonment and After-Call Work in Call Centers," *The 7th International Conference on Queueing Theory and Network Applications (QTNA2012)*, Kyoto, Japan, 1-3 August, 2012.
18. **Phung-Duc, T.**, " Numerical Analysis of M/M/c/K+M Retrieval Queue with Losses," *9th International Workshop on Retrieval Queues (WRQ)*, Sevilla, Spain, 28-30 June, 2012.
19. Artalejo, J.R., and **Phung-Duc, T.**, " On the M/G/1 Retrieval Queue with Two-way Communication," *9<sup>th</sup> WRQ*, Sevilla, Spain, 28-30 June, 2012.
20. **Phung-Duc, T.** and Kawanishi, K., " The Impact of Retrieval Phenomenon on Performance of Blended Call Centers," *9th WRQ*, Sevilla, Spain, 28-30 June, 2012.
21. **Phung-Duc, T.** and Resing, J., Kapodistria S., and Economou A., " Queueing Models with both Linear and Binomial Transition Rates (Part 1)," *9th WRQ*, Sevilla, Spain, 28-30 June, 2012.
22. **Phung-Duc, T.** and Resing, J., Kapodistria S., and Economou A., " Queueing Models with both Linear and Binomial Transition Rates (Part 2)," *9th WRQ*, Sevilla, Spain, 28-30 June, 2012.
23. **Phung-Duc, T.**, and Rogiest, W., " Two Way Communication Retrieval Queues with Balanced Call Blending," *Proceedings of 19th International Conference on Analytical and Stochastic Modeling Techniques and Applications, ASMTA 2012*, Grenoble, France, pp. 16--31, Lecture Notes in Computer Science 7314 Springer, 4--6 June 2012.

〔産業財産権〕

該当なし

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.is.titech.ac.jp/~tuan/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

フン・ドック トゥアン (Phung-Duc, Tuan)  
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号 : 20633465