

平成21年 5月 18日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19710123
 研究課題名（和文）後処理時間と待ち合わせ放棄時間分布を考慮した大規模コールセンターの性能解析の研究
 研究課題名（英文）Research of performance analysis of large-scale call centers with after-call work and impatient time distribution
 研究代表者
 河西 憲一（KAWANISHI KEN' ICHI）
 群馬大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：50334131

研究成果の概要：本研究課題では、数百人規模のエージェントが存在する場合のような大規模コールセンターにおいて、エージェントが従事する後処理業務、および顧客の待ち合わせ放棄、の2点がコールセンターの性能評価指標に及ぼす影響を定量化した。その結果、（1）大規模化してもエージェントの後処理業務時間が平均待ち時間などに与える影響は無視できず、後処理業務時間を積極的にモデル化することが重要であり、（2）顧客の待ち合わせ放棄時間の分布形は性能評価指標に大きく影響し、単純に指数分布で近似すると過小評価する、などの知見が得られた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	700,000	0	700,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,300,000	180,000	1,480,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：待ち行列、性能解析、マルコフ連鎖、コールセンター

1. 研究開始当初の背景

コールセンターに対する企業などの関心は近年特に顕著である。その理由の一つとしてコールセンターは、顧客からの問い合わせやクレーム受付などの受身の機能としてだけでなく、顧客の満足度や利便性を向上させ、顧客囲い込みを図るための中心的戦略拠点として重要視されていることが挙げられる。コールセンターが、顧客からの苦情処理や問い合わせなど、バックヤードとしての役割を果たす立場から、顧客との接点としての位置づけへと変質していることが窺える。そのよ

うな認識が企業の間を広まっていることもあり、コールセンターの数は増え続け、またその規模も拡大する傾向にある。コールセンターを高品質で安定的なシステムとして運用するためには、定量的な性能解析が必要不可欠である。コールセンターに関する性能解析の話題として、例えばエージェントのスケジューリング問題などがオペレーションズ・リサーチの観点から議論されている。その中でもコールセンターの容量設計（エージェントの人数や電話回線数の必要にしてかつ十分な値を算出すること）はシス

テム設計の基本であり、伝統的に待ち行列理論を下地とするモデル化による定量評価法がその中核をなしてきた。より具体的にはアーランの損失式 (Erlang-B 公式) や、アーランの待ち合わせ評価式 (Erlang-C 公式) に基づくシステム設計が検討され、最適なエージェント人数やコールセンターの電話回線数が求められてきた。これらの手法により、数値的にシステムの適切なパラメータを計算することが可能である。

これらの手法はコールセンターの規模が大きくなっても十分なスケーラビリティを持つため安定した数値計算結果が得られ、実用性が高い。しかしながら、現実のコールセンターは、(1) 待時式、(2) 有限サイズのシステム容量 (同時に接続できる顧客数)、(3) エージェントが従事する後処理業務、(4) 顧客の待ち合わせ放棄、が特徴として挙げられ、アーランの損失式やアーランの待ち合わせ評価式では現実のコールセンターの特徴を十分に捉えきれない問題がある。(1) と (2) については、アーランの損失式やアーランの待ち合わせ評価式と同様の考え方に基づくマルコフ連鎖を用いたモデル化により実用的な評価式を求めることができるが、(3) と (4) の問題については考え方を拡張するか、別のアプローチを用いる必要がある。なお、エージェントの「後処理」とはコールセンターの専門用語であり、英語で言うところの “after-call work (ACW)” のことを指す。顧客データベースの更新作業などの後処理業務に取り掛かっている間、エージェントは次の顧客との応対に従事することができず、サービス開始がやや遅れる。また、顧客の待ち合わせ放棄とは、電話につながった顧客がサービスを受ける前に電話を切ってしまう、システムから途中退去する現象のことを指す。両者はコールセンターをより現実的な視点から捉える際に必要不可欠であり、システム設計上の影響を調べる上でも重要な要素となる。

2. 研究の目的

本研究課題では上記 (1) から (4) のすべての項目を考慮し、かつ大規模なシステム容量とエージェント人数を擁するコールセンターの性能評価指標算出技術を検討する。特に、(3) と (4) の影響について定量化することを目的とする。

報告者はこれまでにコールセンターの性能解析に関する研究において、特殊な構造を有する連続時間マルコフ連鎖である準出生死滅過程を基調とした手法についていくつか検討してきた。これらのうち、準出生死滅過程に関連した陽な過渡解を用いて待ち合わせ放棄時間分布と後処理時間の影響を評価する近似解析手法では、エージェントの人数

が数人程度の小規模なコールセンターでは定量化可能であるが、エージェントの人数とシステム容量について、スケーラビリティを確保できない欠点を持つ。実際、エージェント数が数十人程度の中規模コールセンターへ、当該近似解析手法を適用すると、常に数値的に安定した計算結果が得られるとは限らず、信頼性に欠ける。

陽な過渡解を使う代わりに数値計算アルゴリズムによって待ち合わせ放棄時間分布と後処理時間の影響を評価し、システム容量についてのスケーラビリティ確保を図った手法では、中規模なコールセンターに対して比較的安定した数値計算結果が得られる。ただし、中規模コールセンターに適用可能な改良手法でも、エージェントの人数についてのスケーラビリティの確保は難しいこと考えられる。その理由は、準出生死滅過程の状態数がエージェントの人数に比例するため、数百人オーダーのエージェントを擁する大規模コールセンターの場合には数値計算上の困難が予想されるからである。また、死滅率が系内客数に依存するため、状態空間に対する一様性が成立せず行列幾何解のような構成手法が適用不可であり、巨大サイズのマルコフ連鎖をほぼ直接的に扱う必要があることも一因と考えられる。

そこで本研究課題では縮約/非縮約法に代表される大規模なマルコフ連鎖を数値的に計算する手法を用いて、数百人オーダーのエージェントを擁するコールセンターの性能解析、特に後処理時間と待ち合わせ放棄時間分布が与える影響について検討することを目的とする。

数百人規模のコールセンターを

- ・エージェントの後処理時間
- ・客の待ち合わせ放棄時間分布

の2つの観点からその影響を定量的に調べる試みは、より現実的なコールセンターの評価モデルに近づくための大切な一歩と言える。また、「後処理時間は顧客との通話時間の10%程度でありその影響は微小」との見方もあるが、後処理時間の影響は無視できないことが考えられる。よって、数百人規模のコールセンターでの影響を明らかにすることは、サービスエンジニアリングの観点からも重要と考えられる。

3. 研究の方法

本研究課題で採用したアプローチは連続時間マルコフ連鎖によるモデル化に基づく。基本的なアイデアは、大規模なマルコフ連鎖の定常分布を効率的に数値計算する手法を援用することである。ただし、数値計算を実施する際に逆行列の計算を伴わないように、マルコフ連鎖を規定する推移速度行列に特殊な構造を持たせるよう工夫する。さらに、

解析結果の信頼性を向上させるため、計算機シミュレーションとの比較検討もあわせて実施する。

今、ある一つのコールセンターを考えることにする。このコールセンターにはエージェントが c 人配置されているとする。すべてのエージェントは顧客からの注文や苦情などの問い合わせに対して、その内容に関係なく一人で完結して対応できるとする。すなわち、顧客からの問い合わせ内容に応じて特別な業務に対応できるコールセンターに転送するようなことはしないと仮定する。したがって、各々の顧客はエージェントとのサービスを開始し始めると、終了するまで一人のエージェントからのみサービスを受け、途中で再度待たされることはない。コールセンターの容量を N とする。ここで、コールセンターの容量とは、コールセンターが同時に収容できる、すなわちコールセンターに電話がつながる最大の顧客人数を意味する。よって、例えば N 人の顧客がコールセンターに接続されているときに電話をかけてもつながらず、呼損となる。また、 c 人のエージェントすべてが顧客と対応しているときは、最大で $N-c$ 人の顧客が待つことができる。

仮に顧客がコールセンターに電話をかける事象が強度 λ のポアソン過程に、また顧客とエージェントとの対応時間が平均 $1/\mu$ の指数分布に従うとし、先着順サービスを仮定すると、 $M/M/c/N$ と表記される待ち行列システムでモデル化できることになる。本研究課題では、 $M/M/c/N$ 待ち行列システムを基本として、エージェントの後処理業務と顧客の待ち合わせ放棄を取り込んだ近似モデルを考察する。

(1) エージェントの後処理業務について、システムの動きを検討する。顧客との対応業務を終えたエージェントは次の顧客との対応を開始する前にデータベースへの入力作業などの後処理業務を実施する。この間、エージェントは後処理業務を完了するまで新たな顧客との電話対応を始めることはできない。このようなエージェントの挙動をサービス終了後に休暇を伴うサーバとしてモデル化する。休暇時間はその平均が $1/\xi$ である指数分布に従うとして扱う。

(2) 次に、顧客の待ち合わせ放棄について考察する。現実のデータによると、待たされた顧客がサービスを受けることなく途中退去するまでの時間は指数分布に従っているとはいえない。そこで、待ち合わせ放棄時間をアーラン分布や超指数分布なども含む広いクラスの非負確率変数の分布を任意精度で近似することができる相型分布と呼ばれる確率分布に従うと仮定する。相型分布を採用することにより、本研究課題のコールセンターを準出生死滅過程とよばれる構造を持

った連続時間マルコフ連鎖によりモデル化することが可能となる。したがって、行列解析法のような数値計算法の恩恵が受けられることになる。しかしながら、相型分布を採用するアプローチによる定量評価の実現可能性はコールセンターの規模に大きく依存する。何故ならば、顧客の待ち人数に応じてマルコフ連鎖の状態空間が指数的に増大するからである。状態空間が指数的に増大すると、大規模マルコフ連鎖を数値解析する手法を用いても実用上の困難に遭遇することが予想される。例えば、計算機メモリの制約などが挙げられるだろう。そこで本研究課題ではマルコフ連鎖の状態空間が指数的に増大しないように、顧客の待ち合わせ放棄を近似的に取り込むことを検討する。

顧客が待ち合わせを放棄するという事は、顧客が電話をかけてつながった時点からの待ち時間が顧客にとって許容できる待ち時間よりも長い場合であることに着目する。仮に顧客がシステムにつながった時点で待ち時間を知ることができ、その待ち時間が許容される時間よりも長いと判断できたら即座にシステムから退去すると仮定すると、このような挙動は待ち合わせを途中で放棄する場合とは異なるものの、顧客の待ち時間やシステムに滞留している顧客の数を良く近似していると考えられる。しかも、このような即座に退去する挙動の場合では、状態空間が指数関数的に増大しない連続時間マルコフ連鎖を構成することが可能となり、数値計算上のスケーラビリティが確保されると期待される。

4. 研究成果

まず、エージェント数が 200 人の大規模コールセンターを想定し、計算機シミュレーションとの比較により本提案手法の近似モデルの精度を検証した。エージェントの人数が 200 人であるので、本モデルでのコールセンターの容量は少なくとも 200 であることに注意する。表 1 はシステム内に待たされる顧客の平均人数を表す。システム容量は 200 から 250 を想定する。

表 1：顧客の平均待ち人数

	N=200	210	220	230	240	250
モデル	12.03	21.89	31.86	41.86	51.86	61.86
計算機実験	12.01	21.83	31.79	41.77	51.72	61.46
指数分布	8.81	13.02	14.72	15.05	15.08	15.08
後処理	N/A	5.8	15.	24.	34.	44.

なし		7	11	95	92	90
----	--	---	----	----	----	----

顧客の到着率を1とし、平均サービス時間が220秒、平均の後処理時間が平均サービス時間の10%程度である20秒の場合を想定している。また、顧客の待ち合わせ放棄時間は一定分布に従い、その一定値は90秒に設定してある。表1より、本モデルの近似精度はきわめて良好であることが分かる。

表1は後処理時間の分布形が性能評価指標に大きく影響を及ぼすことも示している。表1において「指数分布」が指す行は、仮に顧客の待ち合わせ放棄時間が平均90秒の指数分布に従うとして評価した結果を示している。指数分布を採用することで近似に頼らないマルコフ連鎖のモデルを構築することができるが、その結果得られる評価指標は計算機実験結果ならびに本モデルの結果と大きくかけ離れていることが分かる。特に、待ち人数を過小評価していることが分かる。この原因は、放棄時間分布を指数分布としたため、比較的短い待ち時間でも途中でシステムから退去する顧客が多くなるためと考えられる。想定しているシステムでは、顧客は皆90秒までは必ず待つため、その差は大きくなる。さらに表1は、エージェントの後処理時間を適切にモデル化することの重要性も示している。表1の「後処理なし」の行は、エージェント後処理時間をサービス時間の一部とみなしてモデル化した場合の評価結果を示している。この結果から、エージェントの後処理時間を考慮しない場合、平均待ち人数を大きく過小評価することが分かる。例えば、N=210の場合、後処理時間を考慮しないと最大でも10人しかシステム内で待つことができないことを意味するが、エージェントの後処理時間を考慮すると最大で210人待つことができる。この差が大きくシステムの性能評価指標に影響を及ぼす結果となっている。なお、N=200の場合はシステムの容量がエージェントの人数200人と同じであるため、後処理時間を考慮しない場合はシステム内で待つことが許されず、よって平均待ち人数を定義できないことに注意する。一方、本モデルのように後処理時間を適切にモデル化することにより、同条件の場合でも平均待ち人数を定義できる。よって、本モデルの方がコールセンターのモデルとしてはより適切であると考えられる。

平均待ち人数と同様に、平均待ち時間について評価した結果を表2に示す。平均待ち時間についても表1の場合と同じ傾向が読み取れ、本モデルの有効性を示す結果となっている。

表2：平均待ち時間

	N=200	210	220	230	240	250
モデル	14.	26.	38.	50.	62.	74.

	45	27	24	23	23	23
計算機実験	14. 44	26. 25	38. 21	50. 18	62. 14	72. 98
指数分布	9.4 8	13. 33	14. 78	15. 06	15. 08	15. 08
後処理なし	N/A	7.0 8	18. 17	29. 98	41. 97	53. 98

以上の結果から、次の知見が得られる。

- ・客の待ち合わせ放棄時間の分布形は待ち率などの性能評価指標に大きく影響し、単純に指数分布で近似すると過小評価する。
- ・大規模化してもエージェントの後処理業務時間が性能評価指標に与える影響は無視できず、後処理業務時間を積極的にモデル化することが重要である。

次に、顧客の待ち合わせ放棄時間分布の変動幅についての影響を調査した結果を図1に示す。図1において放棄時間分布は対数正規分布に従う場合を想定している。また、縦軸は平均待ち時間を、横軸は放棄時間分布の変動係数を表す。提案したモデルは変動幅が比較的小さい領域で計算機実験結果（図1の「シミュレーション」）と良い一致を示すことが分かる。この結果は先に示した放棄時間が一定の場合の結果と整合する。また、放棄時間の変動幅が大きくなると計算機実験の結果はエージェントの後処理時間を考慮しない場合（図1において「ACWなし」の場合）に漸近することも見て取れるが、提案モデルは平均待ち時間を安全側に評価することも分かる。総じて、本研究課題で検討したモデル化の手法は、現実的なコールセンターの性能評価指標を精度良くあるいは安全側に評価する有益な手法であると考えられる。

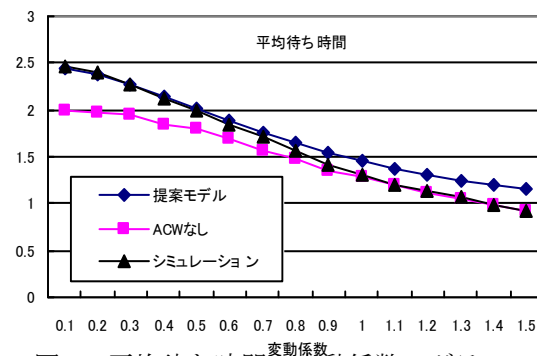


図1：平均待ち時間と変動係数のグラフ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

①Ken' ichi Kawanishi, QBD approximations of a call center queueing model with general patience distribution, Computers & Operations Research, 35 巻, 2463-2481,

2008, 査読有.

https://univ-db.media.gunma-u.ac.jp/public/main.php?pid=pub_detail&kno=908746&cat=paper

〔学会発表〕(計1件)

①河西憲一、インバウンド型コールセンターの近似待ち行列モデル、日本オペレーションズ・リサーチ学会2008年春季研究発表会、2008年3月26日、京都情報大学院大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河西 憲一 (KAWANISHI KEN' ICHI)
群馬大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：50334131