

# 銀行テラー端末システムの簡易シミュレーション

谷口 礼偉\*・吉川 稔\*\*

## Simple Simulation of Banking Teller-Terminal System

Hirotake YAGUCHI and Minoru YOSHIKAWA

### ABSTRACT

This paper has two aims. The one is to create a software which simulates, based on Monte Carlo method, a banking teller-terminal system, and moreover to obtain various informations about the system. The other one is to test our new nonrecursive pseudorandom number generator SR/4 by applying to the above simulation, and then to show that results of SR/4 are of the same level with other well-known random number generators.

本論文の目的は2つある。1つは銀行オンラインのテラー端末システムを、モンテカルロ法によりシミュレーションするソフトウェアを作成し、来店客の待ち時間、現金処理機の負荷状況等について多様な情報を得ることである。もう1つは、著者の1人が最近開発した新しい非再帰型擬似乱数生成法 SR/4 を、当該シミュレーションに対して他の乱数生成法と共に実際に使用し、その結果を比較して、SR/4 の生成する乱数が他の乱数と同程度の性能を有することを示すことである。

### 銀行窓口のモデル化と問題設定

我々は、銀行の窓口で使用を予定しているあるテラー端末システムについて以下の問題の解答を得たい。

条件：ある銀行の窓口では、2人のテラーがそれぞれの端末を通して1台の現金処理機を共有している。この窓口での1日の取引件数をA件/日、窓口が開いている時間をM分/日とし、現金処理機を使う取引の割合をX%とする。また、現金処理機を使う取引の一件の平均処理時間をB秒/件とし、そのうち現金処理機の占有時間をC秒/件とする。また、現金処理機を使用しない取引の平均処理時間はD秒/件。来店客はランダムに来ることから取引発生はランダムで、現金処理機を共有する2人の条件は同じとする。現金処理機は同時には使用できず、現金処理機の占有時間後に開放され使用可能となる。また、1人のテラーでは現金処理機はぶつかり合うことはない。

---

原稿受理日 平成14年10月7日

\* 三重大学教育学部

\*\* 日本電気 第二金融ソリューション事業部

問題：2人のテラーが運用している時、

- ①現金処理機に対する処理がぶつかり合う確率、
- ②現金処理機に対する処理がぶつかり合うことで、平均の長くなる時間：秒/件、
- ③来店客の平均待ち時間：秒/来店客、
- ④来店客が待ち行列に入る確率、
- ⑤テラーの稼働率が90%となるような1時間の取引件数：件/時間、および、そのときの現金処理機の処理がぶつかり合う確率と来店客の平均待ち時間。

単純なモデルのように思えるが、来店客の種類が2つあり、さらに2台あるテラー端末のいずれかの処理後に来店客の種類によっては現金処理機による処理が（直列に）入るため、現時点の待ち行列理論では解の公式を得ることはおそらく不可能であろう。したがってシミュレーションに頼らざるを得ない。市販の待ち行列シミュレーションソフトを使用すればある程度の結果（例えば③④）は得られるが、①②等の細かい結果までを得るのは難しい。実際このモデルでは現金処理機に対する待ち行列は設定されていないので、現金処理機が既に使われている場合、もう1人のテラー端末が現金処理機を使おうとすると、待ちのためテラー業務がストップされ、その影響がテラーの前にできる待ち行列の長さとして間接的にでてくる。このような状況にもかかわらず、設定された問題の解決のためには、テラーの前にできる待ち行列の時間経過が、果たして単にテラーが多忙中であるためによるものなのか、現金処理機の奪い合いによる処理待ちが関わっているのかを区別しなければならない。しかしながら市販のソフトではなかなかここまでの詳細は扱えない。そこで我々はC言語により簡易シミュレーションプログラムを作成し、解答を得ることとした。

シミュレーションは2つの方向により行われた。第1のシミュレーションは、パラメータを

	平常日	繁忙日
A：窓口の1日処理件数	202件/日	384件/日
M：窓口が開いている時間	360分/日	420分/日
X：現金処理機を使う取引の割合		41%（共通）
B：現金処理機を使う取引の一件の平均処理時間		78秒/件（共通）
C：Bの場合の現金処理機の占有時間		32秒/件（共通）
D：現金処理機を使用しない取引の平均処理時間		57秒/件（共通）

と固定し（CはBの最後に行われる）、SR/4を含むいろいろな乱数を使用して、上述の問題に対する解答を得ることである。これに対する結果は、後節で「シミュレーション結果」として述べる。

第2のシミュレーションは、時間当たりの来店客数をいろいろ変化させて、テラー端末数が2、3および4の場合のシステムの特性を調べるものである。これについての結果は、「システムの特性」として述べる。

### シミュレーションプログラム

ここで、作成したシミュレーションプログラムの仕様を簡単にまとめておく。

シミュレーションは、時刻  $T = 1$  秒から  $T = 10000000$  秒まで行なう。

### 顧客の窓口への到着

1 単位時間 (= 1 秒) に顧客が窓口に到着する平均件数 (来店客の平均発生率) は

$$\text{平常日 } 202 / (360 \times 60) = 0.00935$$

$$\text{繁忙日 } 384 / (420 \times 60) = 0.01524$$

であるので、各時刻において5桁の10進乱数を発生させ、935未満ならば[繁忙日の場合は1524未満のとき]その時刻に顧客を発生させる。顧客の発生間隔の分布は、平均  $1/0.00935=107.0$  [ $1/0.01524=65.6$ ] の幾何分布になる。顧客の発生率が小さい場合、 $L$  が大きいとき、ある時間間隔  $L$  内に発生する顧客数は平均  $0.00935 \times L$  [ $0.01524 \times L$ ] のポアソン分布を近似することはよく知られているところである<sup>1)</sup>。

顧客が発生した場合には、その時点でさらに2桁の乱数を発生させ、41未満であれば現金処理機を使う取引であるとする。

### 時間経過のシミュレーション

毎時刻に以下の処理を行う。

(1) 顧客を確率 0.00935 [0.01524] で発生させる。顧客が発生したとき、空いているテラーがいれば、そのテラーを確保し、次時刻以降そのテラーが処理するものとする。テラーが空いていないときは待ち行列に登録する。

(2) 処理中の顧客がいれば、1 単位時間の処理を進める。使用中の現金処理機をさらに使うことはできないので、この場合は処理を進めない。処理を進めた結果、すべての処理を終了した場合にはテラーを開放する。

(3) 待ち行列に顧客がおり、開放されたテラーがいれば、そのテラーを確保し、次時刻以降そのテラーが処理するものとする (=待ち行列から1顧客を外す)。

### データの採取方法

各顧客の到着から処理開始までの待ち時間、処理に要した時間 (=テラーが応対した時間) については、すべての顧客からデータを採取する。現金処理機におけるぶつかり・待ち時間に関しても、現金処理機を使う顧客すべてについてデータを取る。また、処理を待っている来店客の待ち行列の長さは毎時刻に調べる。

### 使用する擬似乱数

以下の各乱数生成法を用いてシミュレーションを行い、データを取得し、結果を比べる。(各生成法の詳細については2) もしくは4) を参照。)

(FSR) フィードバックレジスタ法 ( $Y_n = Y_{n-32} \text{ XOR } Y_{n-521}$ )

(MT) メルセンヌ・ツイスター法

(<http://www.math.keio.ac.jp/~matsumoto/mt.html>)

(BC) Borland C++ 5.5 の random() による乱数

(Ph) 統計数理研究所の PC クラスタ計算機に内蔵されている物理乱数発生装置による乱数

(SR4) SR/4 法 (非再帰的・非代数的に乱数を生成する新しい方法)

### シミュレーション上の注意

得られるデータ種類が少なくてもよければ、市販されている待ち行列のシミュレーションソフトを使用することもできる。この場合は、来店客を処理する場所が見かけ上3箇所になるので（テラー端末2台+現金処理機）、同時に処理しうる顧客数が2人を越えないよう特に注意する必要がある。例えば SLAMSYSTEM<sup>3)</sup> では、以下に相当するコードを組めばよい：

```

GEN, YY, TELLER TERMS, 20/8/2002;
LIMITS, 2, 3, 50;
NETWORK;
    RESOURCE, TEL (2), 2;                2 tellers
    CREATE, EXPON (107), , 1;           generate customers
    ACTIVITY, , 0. 41, TYPB;            jump with prob. 0. 41
    ASSIGN, ATRIB (2)=57, ATRIB (3)=0;  type A(not use bankM)
    ACTIVITY, , , PQUE;
TYPB ASSIGN, ATRIB (2)=46, ATRIB (3)=32;  type B(use bankM)
PQUE  AWAIT (2), TEL;                  keep a teller
      QUEUE (1);                       dummy for next activity
      ACTIVITY (2), ATRIB (2);          processing by tellers
      ACTIVITY, , ATRIB (3) .NE. 0, PBNK;  jump if use bankM
PEND  FREE, TEL;                      free a teller
      COLCT, INT (1), PRCS TIME;       collect statistics
      TERMINATE;
PBNK  ACTIVITY, ATRIB (3), , PEND;     processing by bankM
      END;
INITIALIZE, , 10000000;                set ending time
FIN;

```

### シミュレーション結果

シミュレーションは各乱数生成法を用いて、

平常日：来客発生率=0.00935件/秒=33.7件/時間  
 繁忙日：来客発生率=0.01524件/秒=55.4件/時間  
 限界日：来客発生率=0.027件/秒=97.2件/時間

の各日ごとに2回行った。ここで、限界日とは、テラーの稼働率（後述）が90%に達する仮想の処理日を意味する。

調べる項目は、

来客数=シミュレーション中 ( $T=1\sim 10000000$ ) に来店した顧客数  
 平均滞在時間=顧客が来店してから店を去るまでの平均時間  
 平均待ち時間=顧客が来店してからテラーの処理が始まるまでの平均時間  
 平均待ち長さ=各時刻においてテラーの処理を待っている行列の平均長  
 最大待ち長さ=各時刻においてテラーの処理を待っている行列の最大長  
 行列待ち客割合=来店時すぐにテラー処理されず待った顧客の割合  
 現金処理衝突割合=現金処理機を使う際、既に使われていた割合  
 現金機平均待ち時間=現金処理機を使う際、使用を待たされた時間の平均

テラー稼働率 =  $m$  人のテラーが顧客との応対に要した総単位時間を  
シミュレーション時間  $\times m (=10000000m)$  で割った値

である。シミュレーション結果は以下のようになる。

## 【平常日】

	(FSR)	(MT)	(BC)	(Ph)	(SR4)
設定来客数	93500	93500	93500	93500	93500
来客数/設定客数	1.00109	1.00582	0.99773	1.00031	0.99906
	0.99327	0.99855	1.00039	0.99423	0.99782
平均滞在時間	70.06	70.22	70.12	70.01	69.95
	70.06	69.97	69.93	69.92	70.06
平均待ち時間	3.858	4.037	3.902	3.903	3.918
	3.904	3.801	3.814	3.822	3.893
平均待ち長さ	0.03611	0.03796	0.03640	0.03650	0.03650
	0.03626	0.03549	0.03567	0.03553	0.03632
最大待ち長さ	6	6	6	5	5
	5	5	6	6	5
行列待ち客割合	13.78%	14.06%	13.83%	13.75%	13.79%
	13.61%	13.48%	13.64%	13.60%	13.70%
現金処理衝突割合	8.415%	8.390%	8.230%	8.238%	8.139%
	8.443%	8.239	8.231%	8.204%	8.096%
現金機平均待時間	1.290	1.296	1.268	1.268	1.253
	1.296	1.271	1.254	1.243	1.243
テラー稼働率	0.3098	0.3112	0.3089	0.3092	0.3084
	0.3072	0.3089	0.3092	0.3072	0.3087

結果を見比べてみると、乱数生成法の違いにより際立った差異を示す値はない。このシミュレーションに関しては、各乱数生成法は安定した結果を出すといえよう。ちなみに講義のために準備した SLAMSYSTEM によるシミュレーションでは、平均滞在時間は 69.5、69.4、平均待ち時間は 3.832、3.831、平均待ち行列長は 0.036、0.036、最大待ち行列長は 5、7 であった。このことから、我々が作った C 言語によるシミュレーションモデル および SLAMSYSTEM によるシミュレーションモデルは、モデルとして同等であると考えられる（もちろん我々のシミュレーションの方がより多くの種類のデータが得られる）。以下、繁忙日、限界日についての結果を示す（どの乱数生成法も同様の値を示すので (MT)、(SR4) についての結果のみを記すことにする）。

	【繁忙日】		【限界日】	
	(MT)	(SR4)	(MT)	(SR4)
設定来客数	152400	152400	270000	270000
来客数/設定客数	1.00097	1.00090	0.99900	0.99860
	1.00033	0.99865	0.99891	1.00014
平均滞在時間	78.69	78.48	208.82	202.08
	78.13	78.43	209.00	208.26
平均待ち時間	12.321	12.226	142.23	135.53
	11.814	12.081	142.39	141.69

平均待ち行列長	0.18795	0.18649	3.83637	3.65427
	0.18010	0.18387	3.84037	3.82610
最大待ち行列長	8	10	41	38
	11	10	42	41
行列待ち客割合	32.70%	32.30%	84.32%	84.04%
	32.00%	32.22%	84.12%	84.17%
現金処理衝突割合	11.685%	11.354%	15.633%	15.495%
	11.535%	11.481%	15.577%	15.578%
現金機平均待時間	1.747	1.704	2.408	2.385
	1.733	1.723	2.396	2.393
テラー稼働率	0.5063	0.5053	0.8981	0.8972
	0.5055	0.5049	0.8983	0.8990

現金処理衝突割合、テラー稼働率の値を見ると、テラーが多忙なときでも現金処理機には余裕があることが分かる。このことは、さらに処理能力を高めるには、単にテラー端末を増やすことで対処できることを示唆している。(次節においてテラー数を増やした場合を調べる。)

また、SR/4 乱数に関しては、安定して他の乱数と同様の結果を生成することが分かる。しかしながら、平常日のシミュレーションを2回行うのに要した時間の比は、

$$(FSR) : (MT) : (BC) : (SR4) = 0.867 : 1.0 : 0.846 : 9.67$$

であり、SR/4 の遅さが目立つ。これは、SR/4 は  $n$  番目の乱数を非再帰的に直接生成しているためであり、止むを得ないところでもある。

### システムの特性

この節では、来店客の平均発生率を変化させた時の各特性値の変化を、テラー端末数が2、3、4の場合について調べる。

まず待ち行列に関する特性の変化についてのグラフを示しておく。横軸が来店客の平均発生率(件/秒)である。

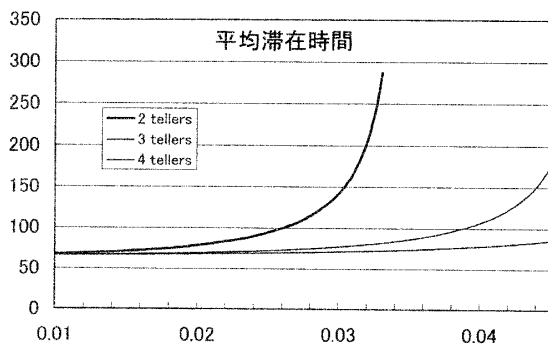


図1 平均滞在時間

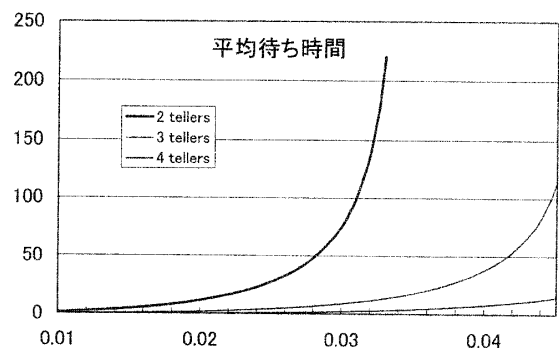


図2 平均待ち時間

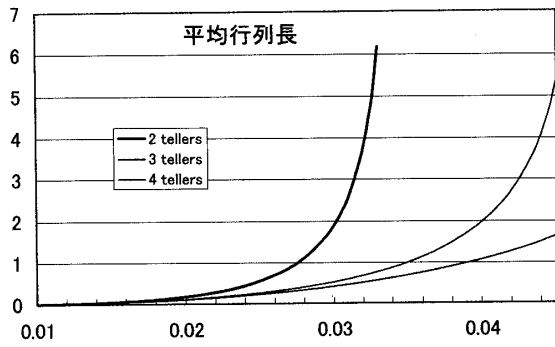


図3 平均行列長

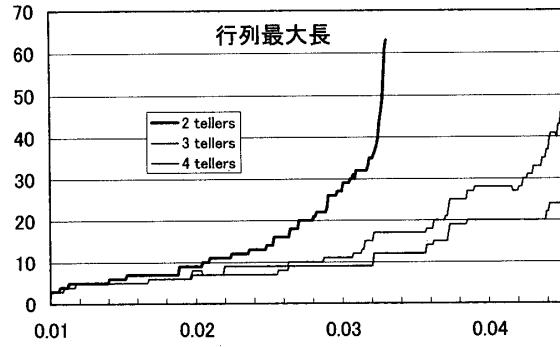


図4 行列最大長

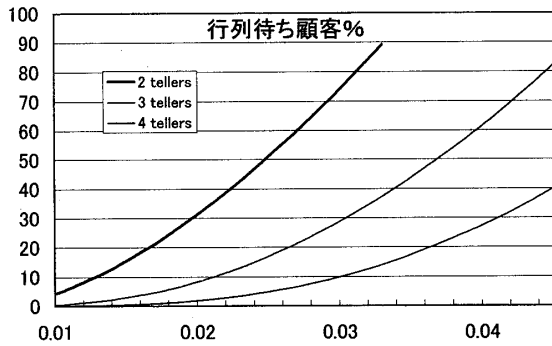


図5 行列待ち顧客割合

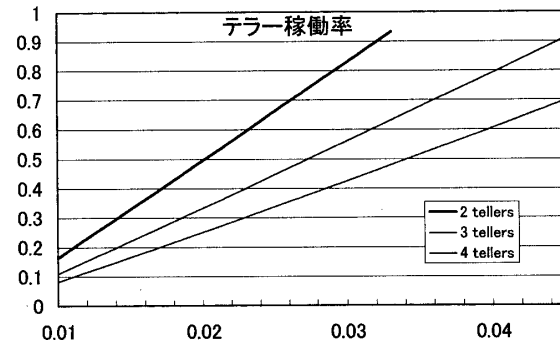


図6 テラー稼働率

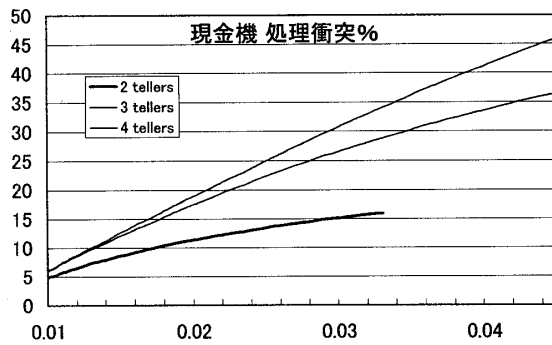


図7 現金処理機における衝突割合

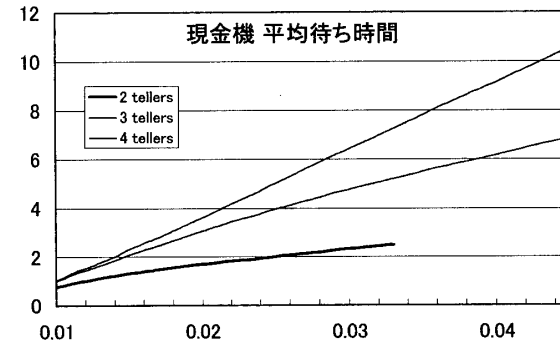


図8 現金処理機における平均待ち時間

図5において、来店客の1/3が待ち行列に入るときの顧客発生率は、テラーが2人の場合0.0155、3人の場合0.0266である。これからテラーが2人から3人になった場合、処理能力は1.72倍程度向上することが分かる。また図6のテラーの稼働率が直線的に推移することから、現金処理機におけるぶつかりによる処理時間の長期化の影響は余りないことが分かる。(実際、図8の現金処理機における平均待ち時間を見ると、図1の平均滞在時間と比べると相当に小さいことが見てとれる。)

## ま と め

1. シミュレーションによって得られた値の平均をもって、与えられた問題に関する解答とすれば次の結果を得る。

【問題】 2人のテラーが運用している時、

①現金処理機に対する処理がぶつかり合う確率

答：〔平常日〕 8.26%      〔繁忙日〕 11.5%

②現金処理機に対する処理がぶつかり合うことで、平均の長くなる時間

答：〔平常日〕 1.27秒/件      〔繁忙日〕 1.73秒/件

③来店客の平均待ち時間

答：〔平常日〕 3.89秒/件      〔繁忙日〕 12.1秒/件

④来店客が待ち行列に入る確率、

答：〔平常日〕 13.7%      〔繁忙日〕 32.3%

⑤テラーの稼働率が90%となるとき2人のテラーの処理件数

答：97.2件/時間 (=0.027件/秒)

そのときの現金処理機の処理がぶつかり合う確率      答：15.6%

そのときの来店客の平均待ち時間      答：140.5秒/件

2. 窓口のテラー端末数が2、3、4の場合について、各種パラメータの値を変更しながら特性の変化を調べてみると、現金処理機の処理能力にはかなり余裕があることが分かる。特にテラー端末数を2から3に増やせば、来店客の2/3が待たされることなく処理されるというサービス条件のもとで、処理件数は1.72倍程度になることが期待される。

3. 本シミュレーションは、新しい乱数生成法SR/4がモンテカルロ法に適用された最初のケースであるが、生成速度は少々遅いものの、その結果は他の乱数と同等であることが示された。

#### 参 考 文 献

- 1) Feller, W.: An introduction to probability theory and its applications. John Wiley & Sons, 1968. (河田、他訳：確率論とその応用。紀伊国屋書店)
- 2) Yaguchi, H.: Construction of a long-period nonalgebraic and nonrecursive pseudorandom number generator. Monte Carlo Methods and Appl., Vol. 8 (2002), 203-213.
- 3) 森戸、相澤、貝原：Visual SLAMによるシステムシミュレーション。共立出版，2001.
- 4) 谷口：数値計算誤差と乱数生成。神戸大学理学部数学教室，2001.