

論 文**エージェントモデルを用いた ATM の設置台数決定法**

阿部 武彦 (金沢工業大学)、田嶋 拓也 (エフサスネットワークソリューションズ)
参沢 匡将 (金沢工業大学)、石井 和克 (金沢工業大学)、木村 春彦 (金沢大学)

要旨: 銀行などの金融機関にとって、ATM (現金自動預払機)は顧客サービス向上と業務効率化において重要な設備投資対象である。ATM の台数が多いほど顧客へのサービスが充実するが、導入と維持にコストがかかる。そのため、ATM の設置の際にはできるだけ少ない台数でより多くの顧客の利用要求に応えることが課題となる。

そこで本研究では、銀行のサービス業務設備である ATM を対象として、利用者の利用タイミング、探索行動特性、サービス待ちに対する行動特性を考慮したエージェントモデルを用いて、ATM の設置箇所数と設置台数が利用回数と機会損失回数に及ぼす影響を明確にし、経営戦略に基づいた利用回数および機会損失回数の目標値を利用した設置箇所数と設置台数の決定法を提案した。そして金沢市内の複数の地域に適用し、その結果に基づき提案法の考察を行った。

キーワード: エージェントモデル、ATM (現金自動預払機)、シミュレーション

A Method of Determining the Number of ATMs by an Agent Model

Takehiko ABE(Division of Informatics and Human Communication, Kanazawa Institute of Technology)

Takuya TAJIMA(Fsas Network Solutions Inc.)

Tadanobu MISAWA(Advanced Materials Science Research & Development Center,
Kanazawa Institute of Technology)

Kazuyoshi ISHII(Division of Informatics and Human Communication, Kanazawa Institute of Technology)

Haruhiko KIMURA(Department of Information and System Engineering,
Faculty of Engineering, Kanazawa University)

Abstract: The number of automatic/automated teller machines (ATMs) installed each year is increasing steadily since the ATM is very important for a financial institution to improve customer service. However, a large amount of expense is required for installation and maintenance of ATM. For this reason, a financial institution has to determine the appropriate number of installations of ATM for achieving the desired effect, that is, the achievement of superior customer satisfaction by maintaining the number of installations at a lower level. This paper proposes a method of determining the number of ATMs using an agent model that can deal with customer's characteristics such as timing of use of ATM, a range of searching for convenient location and a feeling of resistance to queuing. The proposed method uses two values, which are the numbers of uses and opportunity losses of using ATM in order to determine the optimum number of ATMs. Through the experiments, we apply the method to the case of two areas in Kanazawa city and consider the effectiveness of this method.

Keywords: agent model, ATM(automatic teller machine), simulation

エージェントモデルを用いた ATM の設置台数決定法

1. 序論

近年、ATM (Automated / Automatic Teller Machine: 現金自動預入払出機) は銀行における顧客サービス向上と効率化において重要な設備投資対象である(奥田、2000; 山中、2000)。ATM の台数が多いほど顧客へのサービスが充実するが、導入と維持にコストがかかる。そのため、ATM の設置の際にはできるだけ少ない台数でより多くの顧客の利用要求に応えることが課題となる(小谷、1993)。

これまで ATM の設置台数決定法の問題は、待ち行列モデルといわれるモデルによる検討が広く行われてきた。待ち行列モデルにおける待ち行列の特性は、(1)客が到着する分布、(2)待ち行列の許容長さ、(3)窓口の数と処理時間の分布、の3項目によって決まる(栗原・明石、2001)。したがって、利用者の到着分布と処理時間の分布および許容される待ち行列の長さなどから、適正な窓口の数、すなわち ATM の設置台数を計算し、利用者の利便性を考慮することが可能である。

一方、利用者が ATM 設置箇所まで出向く利便性を考えた場合には、施設の最適配置に関する従来からの様々な研究、例えばボロノイ図を用いた最短距離による最適施設配置問題(岡部・鈴木、1992)などを用いることもできる。

ATM 利用者へのサービス水準向上のためには、以上に述べたような2つの要素、すなわち時間的利便性や距離的利便性に充分配慮して ATM 設置箇所数と設置台数を決定しなければならない。利用者が距離的な制約から ATM 利用を断念せざるをえないような、あるいは長い待ち行列から離脱してしまうような、サービス提供者側にとっては機会損失ともいえる状況の発生はできるかぎり避けたいところである。

しかし、設置した ATM はある程度の利用が無ければ、導入費や維持費などのコストは回収できないため、ATM の利用回数(稼働率)も設備投資効率の尺度として考慮すべき重要な要素である。

そこで本研究では、ATM の設置台数と利用回数および機会損失回数の関係をエージェントモデル(Epstein & Axtell、1996; 和泉・植田、2000; 佐藤他、2000; 田嶋他、2002; Tajima et.al.、2002; 田嶋他、2003; 寺野・倉橋、2000)を用いて解析し、利用回数と機会損失回数に基づく ATM の設置箇所数と設置台数の決定法を提案し、金沢市の複数の地域を事例分析し、提案法の有効性と問題点を明らかにすることを目的とする。

これまで、エージェントモデルを用いて最適施設配置数を求めた研究の1つに、田嶋他(2003)の狭域商圈業種の最適店舗数の推定がある。この研究は、コンビニエンスストア(CVS)の利用者と CVS 店舗をエージェントとみなし、対象地域における CVS の最適店舗数を求めたものであり、最適施設配置数決定問題へのエージェントモデルの新しい適用事例を示唆したものである。本論文でのモデルはこのモデルを応用して、ATM 利用者と ATM 設置箇所をエージェントとみなし、さらに ATM 設置台数決定の際にサービス水準の評価尺度として問題になる待ち行列の発生を新たに付加したものである。

エージェントモデルを用いることにより、サービス窓口への到着間隔とサービス時間という変数による利用者集団の集団的特性のみで現象を捉える従来の待ち行列理論では扱うことができなかった利用者個々の行動の自律性を考慮することが可能となる。つまり、個々の利用者の要求サービスとその要求タイミング(利用率)、サービス待ちに対する行動特性(待ち時間限界値)、探索行動特性(視力)を考慮したエージェントモデルを用いて ATM の設置箇所数と設置台数の決定法を提案するのが本研究の特長である。

以下、2. では構築した ATM 利用者の行動モデルについて述べる。次の 3. では、エージェントを利用したシミュレーションモデルについて言及し、4. ではシミュレーション実験と結果について述べ、5. では実験結果の考察を行う。6. では

本研究の成果をまとめ、7. では、今後の課題とエージェントを用いた本モデルの発展可能性について考える。

2. ATM 利用者行動モデルの構築

本研究で想定する ATM 利用者の行動は、あるタイミングで ATM の利用が必要となり、近くに ATM があれば（なければ ATM 利用をあきらめる）そこまで移動し要求に応じたサービスの提供を受けるか、あるいは長い時間待ち行列に待たされれば利用をあきらめてしまうというものである。

サービス提供者側からすれば、利用者の探索行動時での機会損失と待ち行列での機会損失の 2 つのケースを想定しており、これらを利用者の顧客満足度に関する評価尺度として用いることが可能となる。

このような ATM 利用者の行動を特徴づける要素を以下に挙げる。

(1) 要求サービスと要求タイミング（利用率）

設定された利用確率に基づき、引出、預入、振込、残高照会、通帳記入の計 5 種類のサービスから任意の単一または各種組み合わせのサービス内容を選択し、そのサービス内容に応じた時間分だけ ATM を利用する。

(2) サービス待ちに対する行動特性

（待ち時間限界値）

ATM で発生する待ち行列で、ある一定時間以上並ばされた場合に、利用をあきらめて待ち行列から離脱するという行動である。ここでは待ち時間の限界値が行動特性を決定する。

(3) 探索行動特性（視力）

ATM を探索するも見出せず、利用をあきらめるという行動である。ここでは探索範囲を表わす視力が行動特性を決定する。

3. シミュレーションモデルの構築

2. で示した ATM 利用者の行動モデルをエージェントモデルにより実現する。なお、シミュレーションモデルの構築には Linux と C++ を用いた。

シミュレーションモデルは、ランドスケープ、顧客エージェント、ATM エージェントの 3 つの要素から構成される。以下、ランドスケープ、顧客エージェント、ATM エージェントの順に説明し、さらにモデルの評価方法について述べる。

3.1 ランドスケープ

シミュレーションモデルは、一定の広さを持つ地域にどれだけの ATM の設置箇所と設置台数があればよいのかを評価するためのものであり、ランドスケープはその地域をコンピュータ上に表わしたものである。ランドスケープは ATM エージェントと顧客エージェントが配置される 2 次元空間であり、正方形のセルの集合で表される。配置された顧客エージェントはランドスケープ上を移動するが、ランドスケープ上には道路を考慮していない。それは道路距離と直線距離は近似しているためである（腰塚・小林、1983）。図 1 は、黒い点で表されている顧客エージェントと灰色の点で表されている ATM エージェントの各エージェントが複数配置されたランドスケープを表わしたものである。以下にランドスケープのパラメータを述べる。

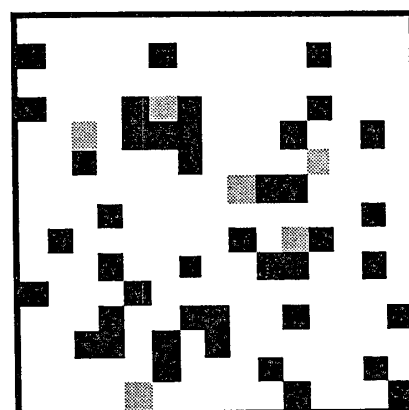


図1 900 セル×900 セルで構成されたランドスケープの一部

エージェントモデルを用いた ATM の設置台数決定法

1) サイクル

サイクルは、本モデルの時間的変化を記述する最小単位であり、1 サイクルの経過で顧客エージェントや ATM エージェントが 1 単位の動きをする。

2) 顧客エージェント数 ($C_{a,k}$)

ランドスケープ上に配置する顧客エージェントの数を表わす。顧客エージェント数は、実験対象とする実際の地域 (a) の人口 (P_a) に基づいて設定する。一般に、対象地域にはいくつかの競合する銀行が存在するため、銀行の種別 (k) ごとに競争力としてシェア (S_k) を考慮する (西谷、2002)。 a 地域における k クラスの銀行の顧客エージェント数 ($C_{a,k}$) を式 1 で設定する。

$$Ca,k = Pa * Sk \quad \dots\dots (式 1)$$

3) ATM エージェント数 (M)

ランドスケープ上に配置する ATM エージェントの数を表わす。

3.2 顧客エージェント

1 個の顧客エージェントは顧客 1 人を表わす。顧客エージェントは、2. で述べた ATM 利用者の

行動特性を表わすために、次の 2 つの状態をとるものとする。

(1) ATM エージェントを利用する状態

(2) ATM エージェントを利用しない状態

このうち、(1) ATM エージェントを利用する状態とは、

- ・ ATM エージェントを探索する状態
- ・ ATM エージェントに向かう状態
- ・ サービスを受けるまでの待ち状態
- ・ サービスを受けている状態

を指す。

また、(2) ATM エージェントを利用しない状態とは、

- ・ ランダムに移動する状態

を指す。

図 2 にそれぞれの状態の推移を示す。図 2 中の数字は以下に示す顧客エージェントの 5 つのパラメータに対応しており、これらのパラメータによって状態を変化させる。

1) ATM エージェント利用確率

2. の ATM 利用者行動モデルの(1)要求サービスと要求タイミングを表わすものである。

顧客エージェントは 1 サイクルごとに設定された利用確率に基づき、ATM エージェントを利

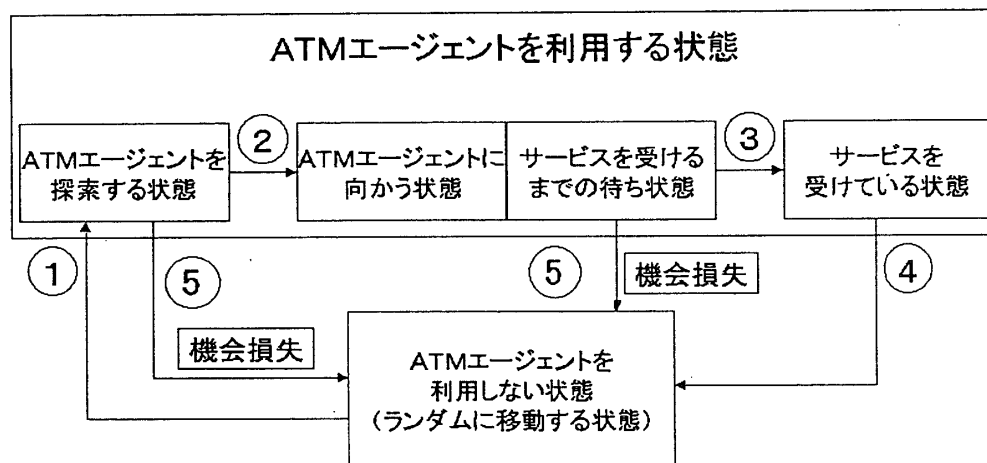


図2 顧客エージェントの ATM エージェント利用行動の状態と推移

用しない状態から ATM エージェントを利用する状態へと変化する。

2) 視力

2.の ATM 利用者行動モデルの (3)探索行動特性を表わすものである。顧客エージェントが ATM エージェントを利用する状態になると、まず探索する状態になるが、その時に ATM エージェントの有無を判断できるランドスケープ内の範囲を視力と定義する。視力の範囲内に ATM エージェントがなければ探索を打ち切り、ATM エージェントを利用しない状態になる。このとき機会損失が発生する。

3) 待ち時間の閾値

2.の ATM 利用者行動モデルの(2)サービス待ちに対する行動特性を表わすものである。顧客エージェントが ATM エージェントからサービスを受けるまでの待ち状態でいられる時間の限界値を表わす。待ち状態の時間が閾値に達すると顧客エージェントは ATM エージェントを利用しない状態になる。このとき機会損失が発生する。

4) サービス時間

2.の ATM 利用者行動モデルの(1)の要求サービスに応じて設定されたサービス時間を表わす。具体的には、引出、預入、振込、残高照会、通帳記入の 5 種類の取引に対応したサービス時間を設定する。

5) 機会損失回数 (OL)

個々の顧客エージェントで発生した機会損失の回数を表わすパラメータである。

機会損失は、

- ・顧客エージェントが ATM エージェントを探索する状態の時に、視力内に ATM エージェントがない場合 (OLs)
- ・顧客エージェントが ATM エージェントのサービスを受けるまでの待ち状態が、待ち時間の閾値に達した時(OLw)

の 2 つのケースを対象とする。

式 2 が顧客エージェント i の機会損失回数を、式 3 が機会損失回数の合計を表わしたものである。

$$OLi = OLs,i + OLw,i \cdots \cdots \text{(式 2)}$$

$$\sum_{i=1}^{Ca,k} OLi \cdots \cdots \text{(式 3)}$$

(Ca,k : 顧客エージェント数)

3.3 ATM エージェント

1 個の ATM エージェントは 1 ヶ所の ATM 設置箇所を表わす。ATM エージェントは以下のパラメータを持つ。

1) 1 ヶ所当りの設置台数 (N)

1 ヶ所の ATM 設置箇所に設置されている ATM の台数を表わす。

2) 利用された回数 (U)

ATM 設置箇所に設置された ATM の利用された回数を表わす。式 4 が M 箇所に各 N 台設置された場合の ATM の利用回数の合計を表わしたものである。

$$\sum_{i=1}^{M*N} Ui \cdots \cdots \text{(式 4)}$$

($M * N$: ATM の台数)

3.4 評価方法

ATM の設置箇所数と設置台数の評価は利用された回数(U)と機会損失回数(OL)の 2 つの指標を用いて行う。

利用された回数(U)は、この回数が多ければ多いほど ATM の稼働率が高いことを意味し、サービス提供者側からすると投資効率の尺度となる。

また、機会損失回数(OL)は利用者からすればサービス水準の目安になり、サービス提供者側からすると売り損じの目安を意味する。従ってこの回

エージェントモデルを用いた ATM の設置台数決定法

数はできるかぎり小さい方が好ましい。

機会損失回数を減らすには、サービス能力を増やすこと、つまり設置する ATM 台数を増やすことが代表的な対処方法として挙げられるが、それにはコストがかかる。いわゆるコストとサービスのトレードオフの問題である。

また利用された回数は ATM 台数の増加とともに増えてはいくものの、やがてはその伸びが鈍化していくことが予想され、それ以上の ATM の設置は無駄な投資となる可能性が高い。

コストとサービス水準のバランスをどのようにとるかは銀行各社の経営戦略によって大きく異なっているため、本研究では 2 つの指標 U と OL を用いた以下の評価方法を提案する。

$$F = \alpha |u - x| + \beta |ol - y| \quad \cdots \cdots \text{(式 5)}$$

ここで、 u はユーザ入力による ATM 利用回数 U の目標値であり、 x は U のシミュレーション結果の値を表わす。また、 ol はユーザ入力による機会損失回数 OL の目標値であり、 y は OL のシミュレーション結果の値を表わしている。 α は U の重み係数、 β は OL の重み係数である。つまり、銀行ごとの経営戦略によって異なる U や OL の目標値およびそれぞれの重みを入力可能とし、その条件下での最適値を求めることができるようにしたものである。なお、 F を最小とする設置台数がそのユーザの最適解となる。

4. シミュレーション実験

ここでは、実験の目的、実験におけるパラメータ値の設定とシミュレーション手順、さらに実験の評価方法について述べ、実験結果を示す。

4.1 実験目的

ATM 設置台数決定問題への提案法の適用性の評価をするために、金沢市の複数の地域を実験対象として取り上げ、実験結果と現実の設置状況を

比較し、提案法の有効性を検証する。

4.2 パラメータ値の設定

実験に際して、3.で説明したシミュレーションモデルのパラメータに設定した値を順番に述べる。

(1) ランドスケープのパラメータ設定値

ランドスケープ上の顧客エージェントを 1 サイクル(1 秒)に 1 セル移動させる。本モデルでは単純化のためにすべての顧客エージェントが徒歩で移動するとみなすため、徒歩の平均時速 4km から 1 セルの一辺の距離は約 1.1m となる。本研究では 900 セル×900 セルで構成されたランドスケープを用いるが、これはちょうど 1km² の広さを表わすことになる。

実験の対象地域として、金沢駅東口周辺 1km²、金沢市尾山町周辺 1km² を取り上げる。これらは金沢市中心の商業地域であり、ATM 利用者の多くは徒歩で移動することが想定できる。

1) サイクル

実験では 1 サイクルを 1 秒と設定する。

2) 顧客エージェント数 ($C_{a,k}$)

大手地銀クラス ($k=1$) のシェア $S_1=40\%$ 、第二地銀クラス ($k=2$) のシェア $S_2=20\%$ と設定する(西谷、2002)。表 1 は実験対象地域である金沢駅東口周辺 1km² ($a=1$) と金沢市尾山町周辺 1km² ($a=2$) の人口 (P_1 と P_2) と、式 1 で求めた各々の地域における大手地銀クラスと第二地銀クラスの顧客エージェント数を示す。なお、対象地域の人口 (P_a) は平成 7 年度の国勢調査における昼間人口を用いている。これは、ATM の営業時間が主に昼間であるためである。

表1 実験の対象地域の人口と顧客エージェント数

対象地域名	人口 Pa (人)	顧客エージェント数 (Ca, k)	
		大手地銀クラス (k=1)	第二地銀クラス (k=2)
金沢駅東口周辺 (a=1)	11197	4479	2239
金沢市尾山町周辺 (a=2)	25771	10308	5154

3) ATM エージェント数 (M)

M=1~7 の範囲で変化させる。

(2)顧客エージェントのパラメータ設定値

1) ATM エージェント利用確率

顧客エージェントは週 1 回振込以外の何らかの取引を行うものとする。また、振込は月 1 回行うものとする。振込を含む取引は月中、月末に集中するために月中 14 日~16 日、月末 29 日~31 日に振込を含む取引の 5 割を集中させる(西谷、2002)。表 2 は振込サービスを含まない ATM の利用確率で、表 3 は振込サービスを含む ATM の利用確率である。なお、これらの数値は実データより設定した。顧客エージェントは表 2、表 3 の確率で ATM エージェントを利用する状態になる。

2) 視力

実験の簡単化のために、すべての顧客エージェントの視力を 300 セル、つまり約 330m 以内と設定した。

3) 待ち時間の閾値

これも実験の簡単化のために、すべての顧客エージェントの待ち時間の閾値を 240 サイクル (240 秒) と設定した。

4) サービス時間

岸田 (2000) では、群馬県高崎市内の金融機関を対象に ATM 利用実態の観測調査を行った。その結果、預入にかかる時間は 55 秒、振込にかかる時間は男性 175.56 秒、女性 126.65 秒となった。この結果より、本研究では振込のサービス時間を男女の平均値とし 152 サイクル (152 秒)、それ以外のサービス時間を 55 サイクル (55 秒) とした。そして引出・預入・振込・残高照会・

表2 顧客エージェントの振込サービスを含まない ATM の利用確率

曜日	振込を含まない利用確率	1 サイクルの利用確率
月曜日・金曜日	30%	0.000725%
火~木曜日	10%	0.000242%
土曜日・日曜日	5%	0.000174%

表3 顧客エージェントの振込サービスを含む ATM の利用確率

日にち	1 日当りの振込を含む利用確率	1 サイクルの利用確率
1~13 日・17~28 日	2.0%	0.0000528%
14~16 日・29~31 日	8.3%	0.000212%

エージェントモデルを用いた ATM の設置台数決定法

通帳記入の 5 種類のサービスと、そのすべての組み合わせのサービス内容を時間値に置き換え、それぞれの利用頻度を顧客エージェントのサービス利用確率に反映させる。図3はATMのサービス時間分布を示す。55秒は振込以外の単一サービスを1回、110秒は振込以外の取引を2回、152秒は振込のみを1回、207秒は振込と振込以外のサービスをそれぞれ1回、304秒は振込を2回行ったときに要するそれぞれの時間である。複数回取引を2回までとしているが、これは産業・組織心理学研究室(2000)のATM利用実態の観察調査結果より約93%の利用者が取引を2回までで終了しているためである。

(3)ATM エージェントのパラメータ設定値

1) 1ヶ所当りの設置台数 (N)

ATMエージェントの1ヶ所当りの設置台数はすべてのATMエージェントで同一の数とし、 $N=1\sim3$ の範囲で一律に変化させる。

4.3 シミュレーション手順

図4にシミュレーションの手順を示す。ATMの営業時間を月曜日から金曜日 8:30~20:00 (41400 秒)、土曜日・日曜日 9:00~17:00 (28800 秒)と設定したため、一日分のシミュレーションは月曜日から金曜日を 41400 サイクル、土曜日・日曜日を 28800 サイクル行った時点で終了する。なお、シミュレーション実験は1つのケースにつき表4の日程で1ヶ月間、これを10回行うものとする。本実験では計 84 ケースとなるが、これは表1の4通りの顧客エージェント数に対し、各々ATM エージェント数 $M=1\sim7$ 、1ヶ所当りの設置台数 $N=1\sim3$ を組み合わせた 21 通りを実験するためである。

シミュレーションの初期条件は、想定した数の顧客エージェントと ATM エージェントをともにランダムに配置するものとする。ただし ATM エージェントに関しては、必ず一定以上の間隔を保たせる。これは ATM の設置箇所を隣接させることは非現実的なためである。また、ランドスケー

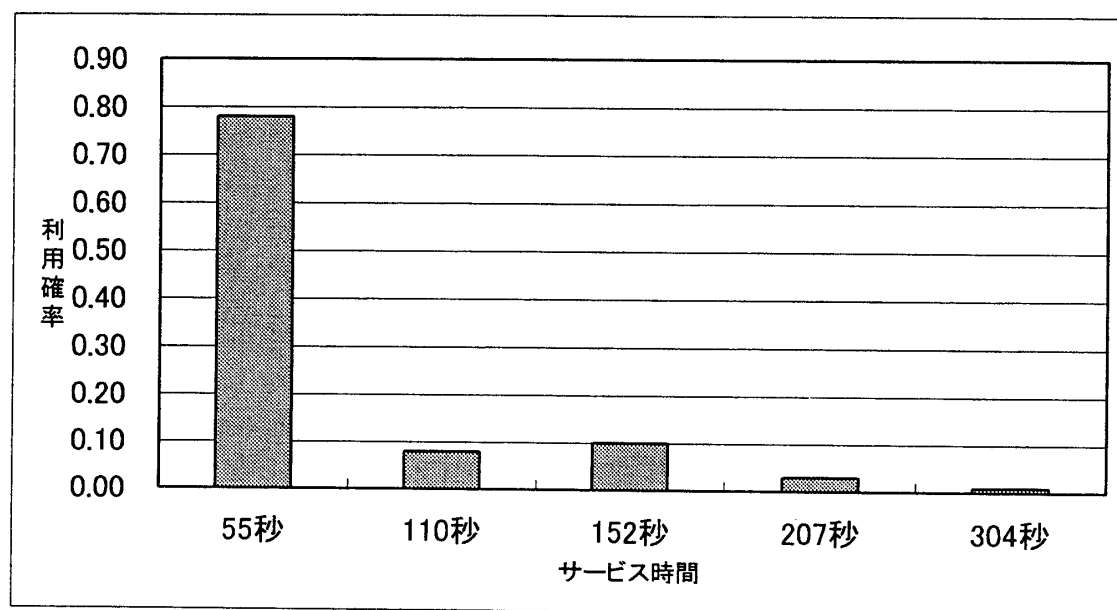


図3 ATM のサービス時間分布

表4 シミュレーション実験の日程

日	月	火	水	木	金	土
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

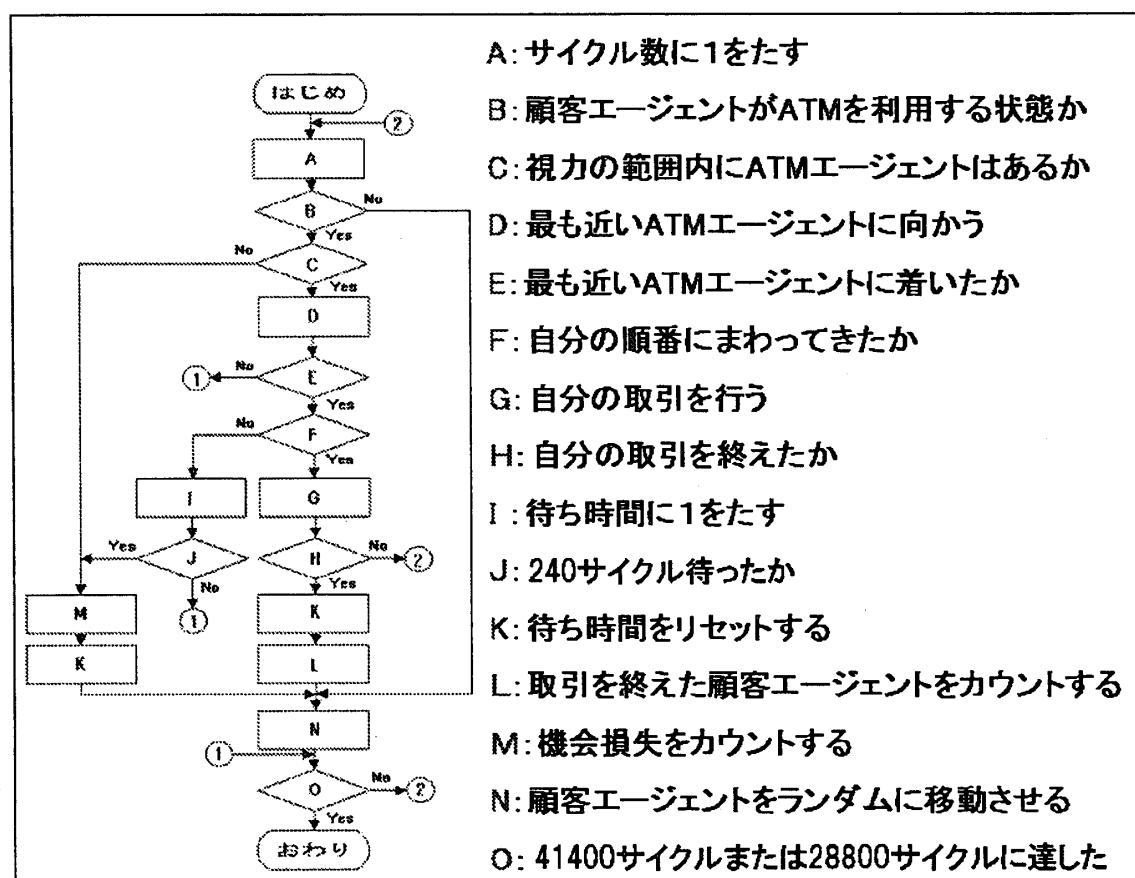


図4 シミュレーション手順

ブ境界での処理は反対側につながるようにしている。さらに終了条件に関しては、営業時間終了時にサービスを受けているエージェントに対してはそのサービスを行うことにしている。

4.4 金沢市地域への適用結果

4通りの顧客エージェント数に対する実験結果を表5～8および図5～8に示す。表5は金沢駅東口周辺の大手地銀クラス(顧客エージェント数: 4479)のATM設置箇所数(M)を1～7、設置台数(N)を1～3に変化させたときのOLs、OLw、Uの平均

値、分散、最大値、最小値を示したものである。いずれも1ヶ月間のシミュレーションを10回行った結果である。図5は表5のOLs、OLw、Uの平均値の推移を示したものである。以下同様に、表6と図6は金沢駅東口周辺の第二地銀クラス(顧客エージェント数: 2239)、表7と図7は金沢市尾山町周辺の大手地銀クラス(顧客エージェント数: 10308)、表8と図8は金沢市尾山町周辺の第二地銀クラス(顧客エージェント数: 5154)の実験結果を示したものである。

エージェントモデルを用いた ATM の設置台数決定法

表5 金沢駅東口周辺の大手地銀クラス(顧客エージェント数:4479)の実験結果

M,N	OLs				OLw				U			
	平均	分散	最大	最小	平均	分散	最大	最小	平均	分散	最大	最小
1.1	12339	11220	12461	12099	826	2289	880	762	6837	866	6881	6790
1.2	12365	5287	12534	12281	31	86	39	19	7614	5165	7722	7459
1.3	12334	13117	12494	12157	1	2	4	0	7675	11829	7924	7516
2.1	5428	11320	5660	5284	1434	2729	1508	1347	13129	7325	13303	13033
2.2	5441	3573	5530	5318	37	39	50	28	14516	11139	14709	14357
2.3	5446	2523	5552	5385	1	1	2	0	14548	10196	14716	14384
3.1	2531	2887	2590	2442	1050	3219	1182	968	16404	3002	16477	16268
3.2	2540	521	2569	2484	19	34	28	10	17433	8732	17607	17250
3.3	2559	2583	2660	2480	0	0	2	0	17435	5709	17555	17322
4.1	25	15	33	19	849	1852	931	798	19113	8458	19252	18981
4.2	25	27	36	17	11	20	20	5	19953	9293	20138	19773
4.3	24	37	37	18	0	0	1	0	19965	9132	20145	19787
5.1	0	0	0	0	596	1344	659	523	19390	9246	19504	19173
5.2	0	0	0	0	6	7	12	2	19984	8639	20150	19810
5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	19991	8558	20159	19821
6.1	0	0	0	0	390	629	430	346	19599	7661	19738	19430
6.2	0	0	0	0	4	3	8	1	19991	8713	20165	19815
6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	19995	8493	20169	19823
7.1	0	0	0	0	272	342	301	242	19720	7707	19858	19552
7.2	0	0	0	0	2	2	4	0	19991	8103	20161	19823
7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	19994	8212	20165	19823

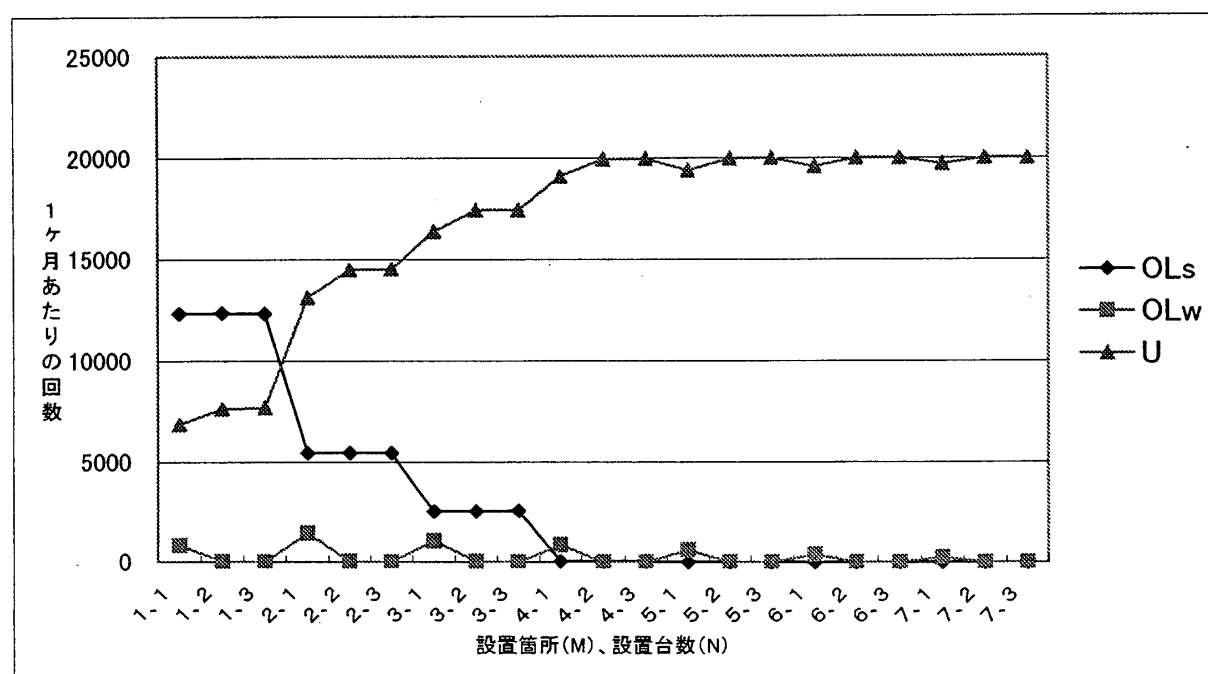


図5 金沢駅東口周辺の大手地銀クラス(顧客エージェント数:4479)の OLs、OLw、U の平均値の推移

表6 金沢駅東口周辺の第二地銀クラス(顧客エージェント数:2239)の実験結果

M.N	OLs				OLw				U			
	平均	分散	最大	最小	平均	分散	最大	最小	平均	分散	最大	最小
1.1	6181	3115	6252	6070	95	95	111	79	3749	5192	3888	3660
1.2	6203	5889	6339	6045	1	2	4	0	3821	3689	3929	3718
1.3	6171	6283	6308	6065	0	0	0	0	3854	7598	3998	3653
2.1	2706	2786	2782	2635	158	822	214	121	7156	1708	7220	7096
2.2	2708	3455	2787	2591	1	1	3	0	7314	6331	7420	7115
2.3	2750	4848	2865	2627	0	0	0	0	7271	6752	7365	7097
3.1	1283	2522	1371	1210	126	114	140	104	8613	7099	8705	8449
3.2	1244	884	1297	1182	1	1	3	0	8775	4359	8874	8648
3.3	1258	515	1289	1220	0	0	0	0	8763	5821	8908	8631
4.1	10	7	15	7	106	200	123	76	9904	5242	10016	9762
4.2	12	12	18	7	1	0	1	0	10011	5881	10112	9864
4.3	12	7	16	8	0	0	0	0	10012	5729	10114	9864
5.1	0	0	0	0	83	173	115	60	9940	5147	10048	9816
5.2	0	0	0	0	0	1	3	0	10022	6042	10128	9871
5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	10023	6149	10128	9871
6.1	0	0	0	0	50	38	61	39	9972	6175	10080	9823
6.2	0	0	0	0	0	0	1	0	10020	5850	10127	9866
6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	10020	5876	10128	9866
7.1	0	0	0	0	41	67	56	29	9979	5964	10092	9826
7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	10020	5923	10128	9866
7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	10021	5991	10128	9866

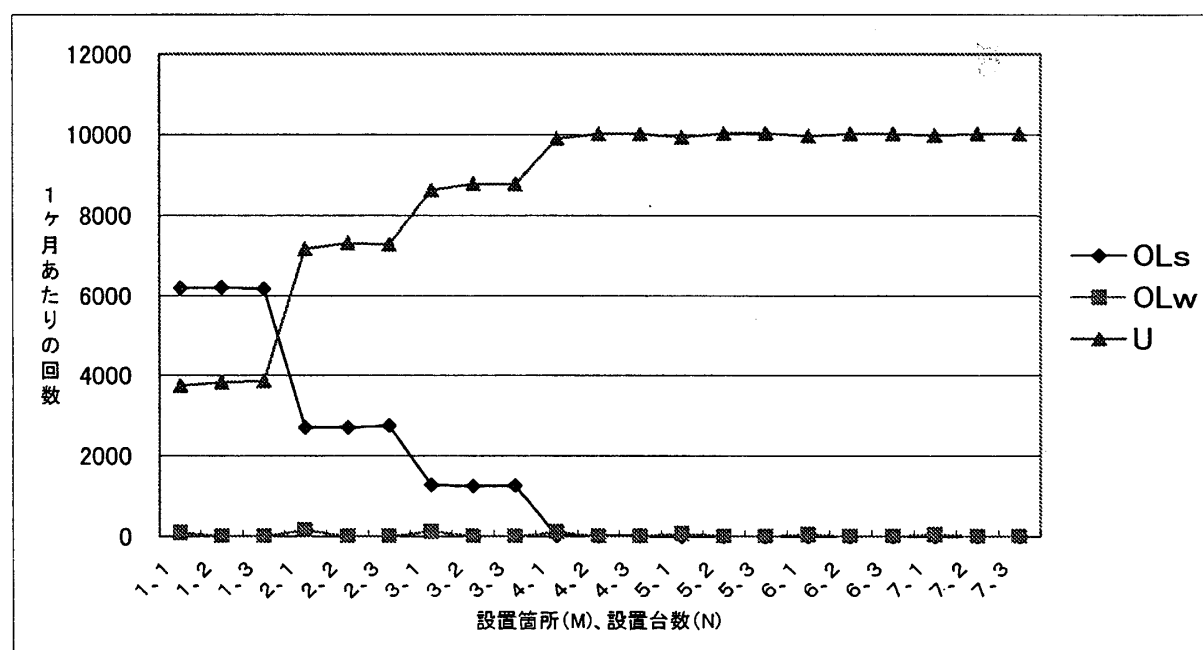


図6 金沢駅東口周辺の第二地銀クラス(顧客エージェント数:2239)の OLs、OLw、U の平均値の推移

エージェントモデルを用いた ATM の設置台数決定法

表7 金沢市尾山町周辺の大手地銀クラス(顧客エージェント数:10308)の実験結果

M.N	OLs				OLw				U			
	平均	分散	最大	最小	平均	分散	最大	最小	平均	分散	最大	最小
1.1	28411	22144	28661	28209	7093	14287	7305	6961	10511	5010	10644	10412
1.2	28390	29932	28596	28020	1703	10507	1939	1574	15920	8894	16145	15776
1.3	28383	32027	28767	28151	228	1704	286	159	17409	23836	17619	17091
2.1	12459	17312	12675	12223	12813	18703	13037	12615	20697	4979	20794	20617
2.2	12513	24064	12889	12316	2703	19600	2904	2476	30765	24644	31121	30574
2.3	12420	16162	12692	12239	279	1471	343	202	33292	23466	33523	33058
3.1	5818	8089	5930	5656	11890	44234	12336	11650	28243	19292	28447	27986
3.2	5784	8492	5941	5653	1423	9030	1595	1230	38770	12881	39025	38583
3.3	5828	6220	5919	5696	82	129	104	65	40078	39414	40499	39757
4.1	57	53	76	49	10866	40671	11312	10540	35026	9350	35195	34882
4.2	59	17	65	53	830	2325	883	720	45087	32302	45512	44813
4.3	56	58	76	48	32	100	50	17	45895	43308	46326	45499
5.1	0	0	0	0	7846	21763	8082	7584	38110	20439	38323	37898
5.2	0	0	0	0	424	1242	476	366	45560	35186	45935	45236
5.3	0	0	0	0	11	14	13	5	45980	43542	46421	45608
6.1	0	0	0	0	5199	23121	5501	5006	40769	20496	40951	40564
6.2	0	0	0	0	181	535	188	149	45807	42110	46249	45459
6.3	0	0	0	0	4	5	9	0	45986	43632	46423	45604
7.1	0	0	0	0	3602	11107	3755	3407	42373	23390	42673	42187
7.2	0	0	0	0	85	107	103	69	45904	42727	46347	45529
7.3	0	0	0	0	1	3	3	0	45988	43215	46422	45609

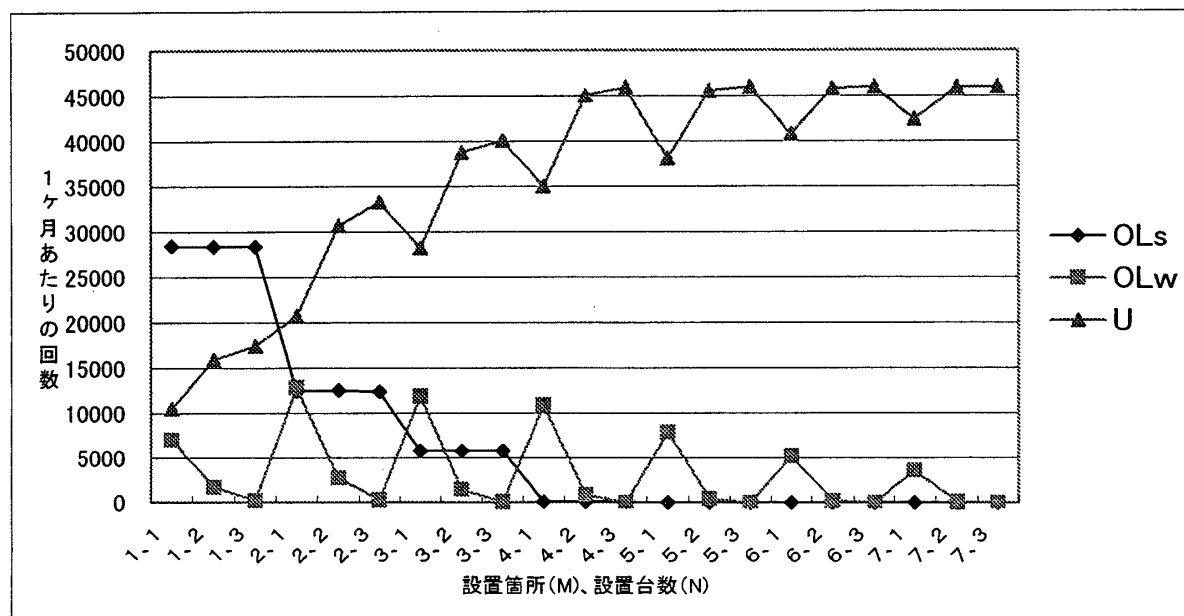


図7 金沢市尾山町周辺の大手地銀クラス(顧客エージェント数:10308)の OLs、OLw、U の平均値の推移

表8 金沢市尾山町周辺の第二地銀クラス(顧客エージェント数:5154)の実験結果

M.N	OLs				OLw				U			
	平均	分散	最大	最小	平均	分散	最大	最小	平均	分散	最大	最小
1.1	14190	34579	14486	13883	1277	7799	1476	1152	7555	5333	7661	7416
1.2	14221	6015	14389	14108	55	111	73	40	8745	9720	8892	8586
1.3	14202	16736	14391	13938	1	1	4	0	8822	7375	8949	8675
2.1	6210	3584	6326	6119	2218	8491	2342	2061	14570	7236	14668	14410
2.2	6237	8732	6391	6112	84	231	101	58	16683	11239	16752	16419
2.3	6226	5249	6332	6069	2	6	8	0	16780	24691	16949	16536
3.1	2931	3700	3037	2842	1625	7779	1752	1434	18442	10756	18599	18298
3.2	2916	1452	2989	2842	41	58	52	27	20048	28601	20298	19774
3.3	2925	5067	3032	2836	1	1	4	0	20077	25612	20324	19803
4.1	30	34	38	24	1312	2480	1411	1209	21649	17312	21830	21448
4.2	26	20	36	21	21	31	28	12	22956	23197	23183	22693
4.3	29	21	38	22	0	0	1	0	22973	24234	23194	22708
5.1	0	0	0	0	922	1259	995	869	22076	20552	22279	21804
5.2	0	0	0	0	12	13	21	8	22994	25222	23221	22726
5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	23003	25978	23231	22719
6.1	0	0	0	0	599	1378	648	524	22404	19534	22602	22176
6.2	0	0	0	0	7	9	12	2	22994	24982	23207	22704
6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	23003	24496	23222	22715
7.1	0	0	0	0	416	645	457	364	22589	21811	22817	22342
7.2	0	0	0	0	3	2	5	1	23000	24303	23221	22708
7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	23003	24202	23221	22710

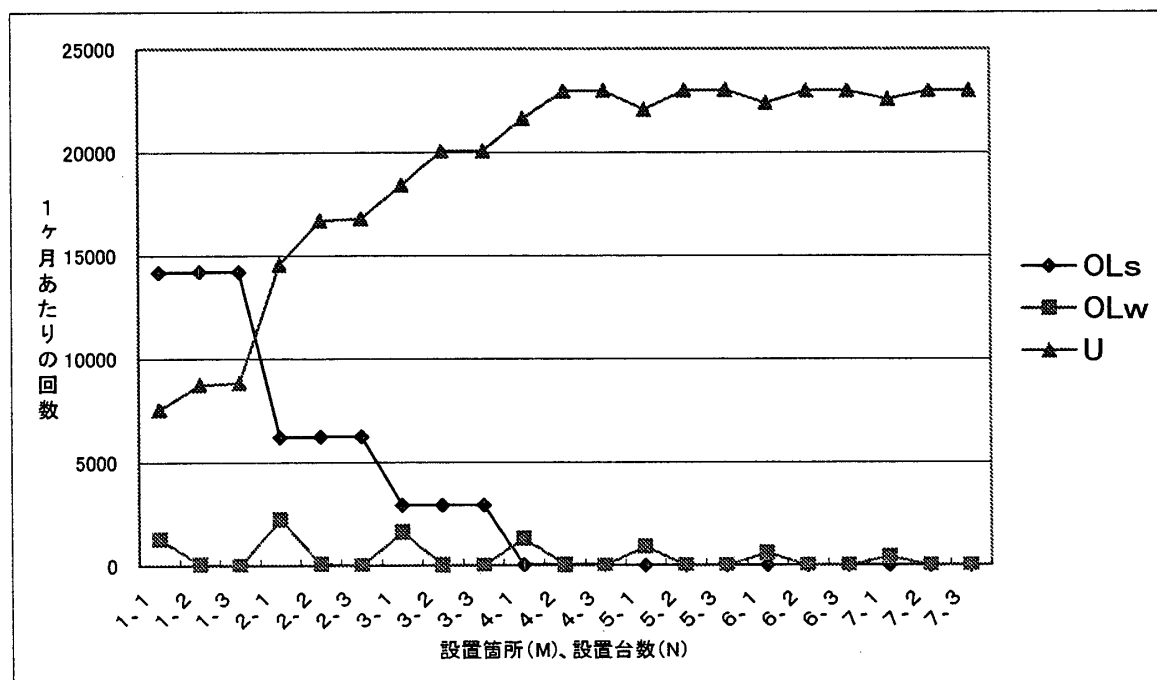


図8 金沢市尾山町周辺の第二地銀クラス(顧客エージェント数:5154)の OLs、OLw、U の平均値の推移

エージェントモデルを用いた ATM の設置台数決定法

表 5～8、図 5～8 より以下のことが確認された。

- (1) OLs は設置箇所数(M)が 5 以上になると発生しない。OLs を減少させるには、1ヶ所当りの設置台数 (N) を増やすよりも設置箇所数 (M)を増やす方が大きな効果がある。
- (2) OLw を減少させるには、1ヶ所当りの設置台数を複数台にすることが非常に効果的である。
- (3) U はある一定の総設置台数に達すると、それ以降はほとんど増えない。つまり、ATM を使いたい顧客の多くが使える状態になる。

ここで、表 5～表 8 の各 OLs、OLw、U の平均値より、OLs と OLw の発生が少なく、かつ U の増加がほぼ横ばいになる時点での M と N を取り出してみる。この場合、ATM 利用者は、移動する距離や待ち時間にはほとんど問題なく ATM を利用できることを表わしており、サービス水準(顧客満足度)が理想に近い状況と判断できるため、これらをシミュレーションによる理想値と設定する。そして現状(2002 年 10 月時点)の設置箇所数、

総設置台数と比較したものを表 9、表 10 に示す。

表 9、表 10 から大手地銀クラスの現状での設置箇所数は理想値よりも上回っているものの、現状の総設置台数については金沢駅東口周辺と金沢市尾山町周辺のどちらにおいても理想値よりも少ないことがわかる。

一方、第二地銀クラスの現状での設置箇所数は理想値を上回り、総設置台数はほぼ理想値に近いことがわかる。

4.5 評価方法の検討

3.4 で述べた評価方法(式 5)を、本実験結果を用いて検討する。ここで、10308 人の顧客をもつ銀行にとって目標とする機会損失回数 ol を 0 回と設定し、使用回数の目標値 u を 30000、35000、40000、45000 回の 4 通りに変化させる。また、これらを同等のウェイト (1 : 1) で評価するものとする。以上のような条件で F をグラフ化すると図 9 のようになる。

本提案では、式 5 の F を最小とする設置台数をそのユーザにおける最適値であるとするが、経営戦略に基づく目標値の設定の違いによって、最適値が異なることを確認できる。

表 9 金沢駅東口周辺での現状と理想値による ATM の設置箇所数と総設置台数

	現状		理想値	
	設置箇所数	総設置台数	設置箇所数	総設置台数
大手地銀クラス	6	9	4	12
第二地銀クラス	5	7	4	8

表 10 金沢尾山町周辺での現状と理想値による ATM の設置箇所数と総設置台数

	現状		理想値	
	設置箇所数	総設置台数	設置箇所数	総設置台数
大手地銀クラス	5	7	4	12
第二地銀クラス	7	12	4	12

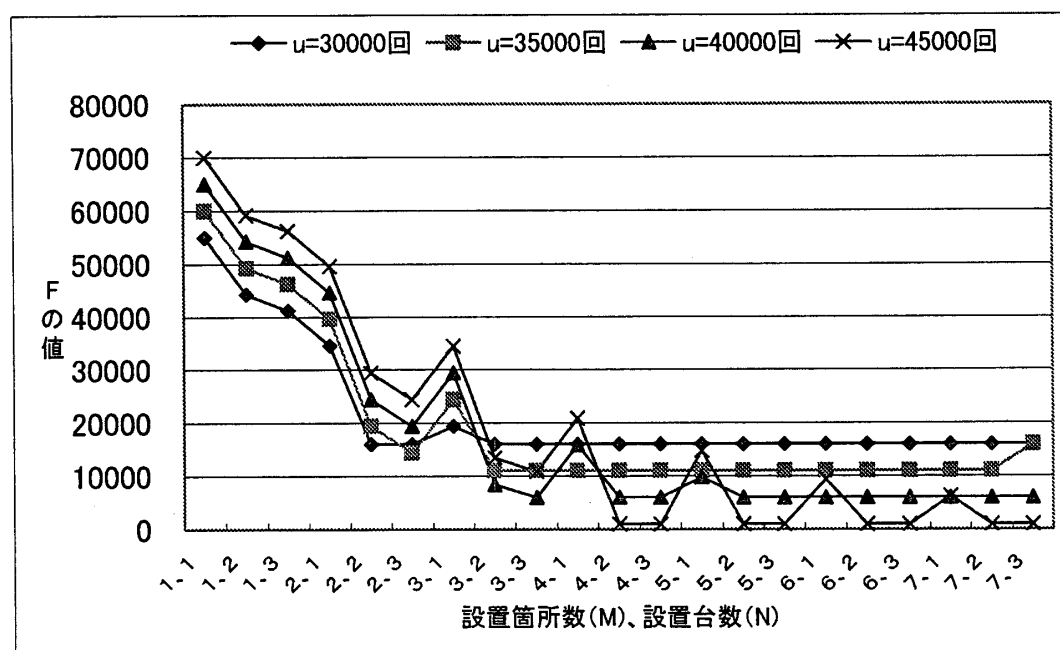


図9 金沢市尾山町周辺の大手地銀クラス(顧客エージェント数:10308)の評価関数 F の推移

5. 考察

4.4において、実験結果の表5～表8の各OLs、OLw、Uの平均値より、OLsとOLwの発生が少なく、かつUの増加がほぼ横ばいになる時点での設置箇所数Mと設置台数Nをシミュレーションでの理想値として設定した。このときの設置台数は理想のサービス水準を達成できる指標であり、またこれ以上設置台数を増やしても利用回数の増加が望めない、つまり設備投資効果が望めないと判断できる指標にもなる。

表9、10に示したとおり、この理想値と現状の設置状況との比較を行った結果、大手地銀クラスの現状での総設置台数は理想値に比べて少ないことが確認された。しかし表5から、(M,N)=(4,2)と(4,3)における各OLs、OLw、Uの平均値にほとんど差がないため、金沢市東口周辺では現状の総設置台数を理想値に近づけても得られる効果は少ないと考えられる。また表7から、(M,N)=(4,2)から(4,3)に変化させた場合、OLwの減少が大きく、その分Uの増加が得られるために、金沢市尾山町周辺においては現状の総設置台数7台を理想値の12台に近づけることによる効果が期待できる。

しかし、はたして理想値の総設置台数までATMを増やす必要があるかは、銀行各社の経営戦略によるところである。そのため本研究では各社の目標値による最適設置台数を求められる評価方法を提案した。図9は目標値の設定の違うFの値の推移を示したものである。各銀行の設定する顧客数ならびに顧客サービスと設備投資効率の具体的な目標数値を基にしたATMの最適設置台数決定の判断に、本提案方法を用いることが可能であることがわかる。

6. まとめ

本論文では、エージェントモデルの特性を活かして、従来の待ち行列モデルでは扱えない個々の利用者の利用発現(利用率)、サービス待ちに対する行動特性(待ち時間限界値)、探索行動特性(視力)などを効果的に取り扱うことのできるATMの設置台数決定法を提案した。

提案法は利用者の顧客満足度を高め、サービス提供者の設備投資効率の向上を目的に以下の視点で評価尺度を工夫している点が特長

エージェントモデルを用いた ATM の設置台数決定法

である。

- (1) サービス水準の向上の視点から、利用したい時に探索途中で ATM が見出せなかった場合と、ATM での待ち行列に対する待ち時間打ち切りの条件で利用者が待ち行列から離脱する場合の 2 つのケースで機会損失を考慮している。
- (2) サービス提供者側の設備投資効率の視点から、ATM の利用回数（稼働率）を考慮している。

そして実際に金沢市内の地域を事例として ATM 設置台数を算出し、その結果を現状の設置台数と比較考察するとともに、ATM 設置業務担当者への評価方法の提案を行った。

7. 今後の課題

今回の実験では、簡単化のために顧客エージェントの視力や待ち時間の閾値、移動手段などを一定にしたが、これらの行動特性は現実社会においては利用者ごとに異なっているものであり、また対象地域による違いも考えられる。さらに、本論文では銀行種別に分析を進めたが、現在では多くの銀行間で ATM の相互利用が進んでおり、また 24 時間営業の ATM の設置台数も増えている。そこで今後は、顧客エージェントに多様なパラメータ値を設定し、特性の異なるエージェントを有するモデルに発展させ、相互影響を考慮した分析をすることも検討したい。

さらには ATM をもエージェントとして捉えているため、今回は設置台数のみを変数としたが、今後は設置位置やサービス提供方法（例えば支店に設置する場合は ATM と窓口サービス員を組み合わせる方法）などを変数化することも考えられる。

参考文献

- [1] Epstein, J.M. and Axtell, R., “Growing Artificial Societies”, MIT Press, 1996, (服部正太・木村香代子(訳), 『人工社会；複雑系とマルチエージェントシミュレーション』, 共立出版, 1999)
- [2] 和泉潔・植田一博, “人工市場入門”, 人工知能学会誌 15 巻 6 号 pp.941-950, 2000
- [3] 岸田孝弥, “自動接客機器の人間工学的研究”, Annual Review, 2000
- [4] 腰塚武志・小林純一, “道路距離と直線距離”, 日本都市計画学会学術研究発表会論文集 18 巻, pp.43-48, 1983
- [5] 小谷和成, “都市銀行の無人店舗戦略とその効果”, 郵政研究所月報, 1993
- [6] 栗原謙三・明石吉三, 『経営情報処理のためのオペレーションズリサーチ』, コロナ社, 2001
- [7] 西谷明子, “待ち行列を用いた ATM の最適配置シミュレーション”, 平成 13 年度金沢大学工学部卒業論文, 2002
- [8] 岡部篤行・鈴木敦夫, 『最適配置の数理』, 朝倉書店, 1992
- [9] 奥田健一, “地方銀行の店舗外 ATM・CD 展開”, 郵政研究所月報, 2000
- [10] 産業・組織心理学研究室, “東和銀行における ATM 利用実態観察調査に関する詳細分析結果”, 高崎経済大学, 2000
- [11] 佐藤浩・久保正夫・橋本力也・廣岡康夫・生天目章, “人工市場のシステム構造”, 人工知能学会誌 15 巻 6 号 pp.975-978, 2000
- [12] 田嶋拓也・日比野貴之・阿部武彦・木村春彦, “エージェントモデルを用いたコンビニエンスストアの最適店舗数の推定”, 平成 14 年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集 F-78, p.365, 2002
- [13] Takuya Tajima, Takehiko Abe, Haruhiko Kimura, “The Estimate of the Optimum Number of Retail Stores of Small Market Areas Using Agent

Model”, The 4th Asia-Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems(APIEMS2002), pp.1997-2000, 2002

[14] 田嶋拓也・日比野貴之・阿部武彦・木村春彦, “エージェントモデルを用いた狭域商圈業種の最適店舗数の推定”, 人工知能学会論文誌 18 巻 3 号 B, pp.136-143, 2003

[15] 寺野隆雄・倉橋節也, “エージェントシミュレーションと人工社会・人工経済”, 人工知能学会誌 15 巻 6 号 pp.967-973, 2000

[16] 山中勉, “金融機関をめぐる最近の動向”, 郵政研究所月報, 2000

阿 部 武 彦

所 属: 金沢工業大学 情報フロンティア系

連絡先: 〒921-8501

石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

電 話: 076-294-6710

E-mail: abet@neptune.kanazawa-it.ac.jp

田 嶋 拓 也

所 属: 株式会社エフサスネットワークソリューションズ

連絡先: 〒231-0015

横浜市中区尾上町 6-81 ニッセイビル横浜
尾上町ビル

電 話: 045-222-4327

E-mail: t.tajima@nets.fsas.fujitsu.com

参 沢 匡 将

所 属: 金沢工業大学 高度材料科学研究開発センター

連絡先: 〒924-0838

石川県松任市八束穂 3-1 (石川ソフトリ
サーチパーク内)

電 話: 076-274-9250

E-mail: misawa@neptune.kanazawa-it.ac.jp

石 井 和 克

所 属: 金沢工業大学 情報フロンティア系

連絡先: 〒921-8501

石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

電 話: 076-294-6710

E-mail: ishiik@neptune.kanazawa-it.ac.jp

木 村 春 彦

所 属: 金沢大学 工学部 情報システム工学科

連絡先: 〒920-8667

石川県金沢市小立野 2-40-20

電 話: 076-234-4836

E-mail: kimura@ec.t.kanazawa-u.ac.jp