

# エージェントシミュレーションを用いた会員サービスによる割引プログラムの検証

## Analysis of Reward Program in Membership Service Using Agent-based Simulation

藤田 宏介 Fujita Kousuke	東京大学人工物工学研究センター Research into Artifacts, Center for Engineering, The University of Tokyo fujita@race.u-tokyo.ac.jp
西野 成昭 Nishino Nariaki	(同 上) nishino@race.u-tokyo.ac.jp
佐藤 勇気 Sato Yuki	(同 上) satoyuki@race.u-tokyo.ac.jp
上田 完次 Ueda Kanji	産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology k-ueda@aist.go.jp
浅間 一 Asama Hajime	東京大学人工物工学研究センター Research into Artifacts, Center for Engineering, The University of Tokyo asama@race.u-tokyo.ac.jp

**keywords:** club goods, experimental study, multi-agent simulation, reward program

### Summary

In the service industries, service providers offer various reward programs to consumers with the aim to build the customer loyalty and increase the sales. In this research, we model the membership service as club goods and analyze the reward programs. Club goods are excludable and nonrival public goods. We conduct equilibrium analysis, experiments with human subjects and multi-agent simulations. In equilibrium, the provider player sets the equilibrium price and all consumer players become a member. But, the results of the experiments indicate that provider players don't set the entry fee and the service price for members properly and consumer players sometimes make decision of the membership entry irrationally. Consequently, the total profit decreases. Moreover, results of simulations show a similar tendency with subjects' behavior.

## 1. はじめに

サービス産業において、主に顧客ロイヤリティの向上を目的として、会員サービスによる割引プログラムの提供が幅広く行われている。主な例としては、航空産業におけるマイレージサービス、クレジットカードにおけるポイントサービス、映画館における会員制割引サービスなどが挙げられる。特に近年においては、他社のポイントや電子マネーへの交換も行われることで、利用者にとっての利便性も向上し、適切な割引プログラムの設計が必要とされてきている。一方で、これらの割引プログラムの効果や設計に関して十分な知見が得られていない。ポイント利用に関して、消費者保護の視点も示唆されており、より社会制度として好ましい割引プログラムの設計が必要である [経済 07]。

この割引プログラムに関して主にマーケティングの分野で最近徐々に注目され、研究がされている。たとえば、

Taylor らは店での実証実験を通して、割引プログラムの持つ短期的な効果と長期的な効果の検証を行っている [Taylor 05]。Keh らはアンケートを用いて、割引プログラムを与えるタイミングや、その形式の影響について検証している [Keh 06]。これらの研究では割引プログラムを販売促進の手段としていかに活用するかという点に主眼が置かれている。

他に Kim らはゲーム理論を用いて、運営者の価格や割引プログラムの配分意思決定をモデル化して理論解を導出することによって、割引プログラムが価格競争を緩和させることや [Kim 01]、過剰供給された財の配分に有効であることを示唆している [Kim 04]。これらは、市場における財の配分の中で割引プログラムを扱っているが、理論解の導出にとどまっており、消費者の合理的な意思決定が仮定されている。実社会への適用を考慮するためには、より消費者の限定合理的な振る舞いも考慮した頑健な制度の検証が必要である。

割引プログラムを財の配分問題として扱うときにクラブ財の一つとしてモデル化することが出来る。クラブ財とは公共財供給問題<sup>\*1</sup>において非競合性、排除性を有する財として Buchanan により提唱されたモデルである [Buchanan 65]。一般的なモデルとしては Buchanan が提唱した Buchanan モデル、Tiebout モデル [Tiebout 56]、Berglas モデル [Berglas 76] が挙げられる。Tiebout モデル、Berglas モデルは Buchanan モデルにそれぞれクラブ財に参加するコスト、クラブ財の利用率を導入したものである。

クラブ財に関する研究は、この財がどういった性質を持っているかを理論的に分析することがされてきた。上で挙げた基本モデルを基に複数のクラブ財を提供する場合 [Brueckener 91] や非均質な情報下の場合 [Lee 91]、不完全な情報下の場合 [Lescop 06] などに関する研究などが挙げられる。これらの研究では構築したモデルに対して、ナッシュ均衡やパレート最適を求めることや基本モデルを純粋公共財と比較することでクラブ財の性質を理解しようとするものが多い。これらはクラブ財が市場での理論的な解を扱う研究であり、適切に供給するためのメカニズムや制度は基本的に扱っていない。

そこで本研究の目的は市場の会員サービスをクラブ財としてモデル化し、会員サービスによって実施される割引プログラムに関して検証することである。まず均衡分析を行って、理論的に望ましい割引プログラムの導出を行う。次にモデルを用いた被験者実験を行い、運営者および消費者の意思決定に関して分析を行う。さらにエージェントシミュレーションを用いて被験者実験の結果と比較し、消費者の会員サービスへの入会意思決定に関して考察を行う。

## 2. 会員サービスの価格・入会意思決定モデル

本稿のモデルは1人の運営者と  $n$  人の消費者で構成される。運営者はそのサービスの会員になることでサービス利用価格を割引くプログラムを提供しており、入会后  $t$  回のサービスを会員向けの利用価格で提供する。運営者は会員サービスの入会価格  $f$  と入会後の利用価格  $P_I$  を意思決定する。消費者は非会員向けの利用価格  $P_O$  と、運営者が設定した入会価格  $f$  と会員向けの利用価格  $P_I$  を見た上で、サービスの会員になるかどうかを意思決定し、その後  $t$  回のサービスを利用するかどうか意思決定する。

入会価格を支払って入会した会員に対して非会員とは異なる価格でサービスを提供するという会員サービスは

- 入会価格を支払わない消費者は会員サービスを受けることが出来ない

<sup>\*1</sup> ここでいう公共財とは非競合性あるいは非排除性を有する財を表す。非競合性とは財の消費者が増えても追加費用が発生しない性質、非排除性とは財への対価を支払わない消費者を排除することができない性質のことである。

- 会員になった消費者が増えても消費者に追加コストが発生しない

という性質を持っており、これは排除性、非競合性の性質と考えることが出来るのでクラブ財とみなすことが出来る。従って本モデルは運営者の会員サービスはクラブ財としてモデル化したものであるといえる。

### 2.1 運営者プレイヤ

運営者プレイヤは利用価格  $P_O$  でサービスを提供しており、1期間で  $t$  回のサービスを順に提供する。また、入会価格  $f$  を支払うことで1期間のサービスを全て価格  $P_I$  で購入することが出来る会員サービスも行う。本モデルで運営者プレイヤは  $f$  と  $P_I$  を意思決定する（以後、価格意思決定と呼ぶ）。

運営者プレイヤは各サービスの提供と会員サービスへの入会料金から利得を得る。運営者プレイヤの利得  $\Pi$  を以下のように定式化する。

$$\Pi = fn_I + N_I(P_I - c) + N_O(P_O - c) \quad (1)$$

ただし  $n_I$  は会員サービスへの入会人数、 $N_I$  はその期間に会員が利用したサービスの回数、 $N_O$  はその期間に非会員に利用されたサービスの回数、 $c$  はサービスの利用者一人あたりのコストである。

### 2.2 消費者プレイヤ

消費者プレイヤは  $n$  人いるとする。消費者プレイヤは1期間に提供される  $t$  回のサービスに対する留保価格<sup>\*2</sup>の組  $R$  を持っている。 $R$  は全消費者プレイヤ共通であるとする。

$$R = (R_1, R_2, \dots, R_j), \quad 1 \leq j \leq t \quad (2)$$

ただし  $R_j$  はその期間で  $j$  番目に提供されるサービスに対する留保価格とする。

消費者プレイヤは非会員向けサービス利用価格  $P_O$  と、運営者プレイヤが価格意思決定によって設定した入会価格  $f$  と会員向けサービス利用価格  $P_I$  を知った上で、サービスの会員になるかどうかを意思決定する（以後、入会意思決定と呼ぶ）。さらに、その期間に提供されるサービスについて、サービスを利用するかどうか意思決定を行う（以後、消費意思決定と呼ぶ）。プレイヤ  $i$  の消費意思決定は  $a_i$  で表し、

$$a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{it}) \quad (3)$$

とする。ただし  $a_{ij}$  は  $j$  番目に提供されるサービスを利用するかどうかを表しており、

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{利用する場合}) \\ 0 & (\text{利用しない場合}) \end{cases} \quad (4)$$

とする。

<sup>\*2</sup> 消費者プレイヤの留保価格とはサービスを利用してもよいと考える上限の価格である。

消費者はサービスを利用することで利得を得る。消費者  $U_i$  の利得を以下のように定式化する。

- 会員サービスに入会した場合

$$U_i^I = \sum_{j=1}^t a_{ij}(R_j - P_I) - f \quad (5)$$

- 会員サービスに入会しなかった場合

$$U_i^O = \sum_{j=1}^t a_{ij}(R_j - P_O) \quad (6)$$

### 2.3 意思決定の流れ

本モデルでは運営者プレイヤの価格意思決定、消費者プレイヤの入会意思決定、消費者の消費意思決定の順に意思決定を行う。消費意思決定は1期間に提供されるサービスの回数だけ繰り返す。運営者プレイヤの価格意思決定、消費者の入会意思決定、消費者の消費意思決定を1ターンとし、2~ $t$  ターン目までは消費者の消費意思決定だけが行われる。

### 2.4 情報の与え方

本モデルでは消費者のサービスに対する留保価格  $R$  がプレイヤに与えられるタイミングによっては情報が不完備となる。具体的には、最初のターンの時点で最終ターンまでの全てのサービスに対する留保価格  $R$  がわかっている場合は完備情報ゲーム\*3であり、それ以外の場合は不完備情報ゲームである。本モデルの  $R$  の値が情報としてプレイヤに届くのは、運営者側にとってはサービスの内容を決めること、消費者側にとってはサービスの内容がわかることに相当すると考えられる。情報の与え方の設定として以下の3通りを考える。

**設定1** 価格意思決定の際、運営者プレイヤはその期間のサービスに対する消費者の留保価格  $R$  を全て知っている。入会意思決定、消費意思決定の際、消費者はその期間のサービスに対する留保価格  $R$  を知っている。

**設定2** 価格意思決定の際、運営者プレイヤはその期間のサービスに対する消費者の留保価格  $R$  を全て知っている。入会意思決定の際、消費者はその期間のサービスに対する留保価格  $R$  を知らない。利用意思決定では消費者はそのターン  $j$  のサービスに対する留保価格  $R_j$  を知っている。

**設定3** 価格意思決定の際、運営者プレイヤはその期間のサービスに対する消費者の留保価格  $R$  を知らない。入会意思決定の際、消費者はその期間のサービスに対する留保価格  $R$  を知らない。利用意思決定では消

費者はそのターン  $j$  のサービスに対する留保価格  $R_j$  を知っている。

## 3. 均衡分析

本章では2章で構築したモデルに関して均衡分析を行う。均衡分析によって合理的なプレイヤを仮定した場合どのように意思決定を行うのか、結果としてシステムはどのように振舞うのかを明らかにする。

### 3.1 完備情報ゲーム:設定1の場合

2.4節で留保価格の情報の与え方に関する3つの設定のうち、設定1は完備情報ゲームである。本節ではこの設定1に関してプレイヤが合理的な意思決定を行う場合の均衡状態を求める。ただし、 $f > 0$ ,  $P_O > P_I$ ,  $P_O > 0$  とする。

まず消費者プレイヤが「入会する」の意思決定をする条件は、 $U_i^I \geq U_i^O$  なので、

$$\sum_{j=1}^t a_{ij}(R_j - P_I) - f \geq \sum_{j=1}^t a'_{ij}(R_j - P_O) \quad (7)$$

ただし、

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{if } R_j > P_I) \\ 0 & (\text{else}) \end{cases} \quad (8)$$

$$a'_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{if } R_j > P_O) \\ 0 & (\text{else}) \end{cases} \quad (9)$$

これを満たす範囲で運営者の利得  $\Pi$  が最大となる  $f$  と  $P_I$  の組み合わせを探す。

ここで、 $R$  をの要素  $R_i$  を全て含んだ集合を

$$u = \{u_1, u_2, \dots, u_t\} \quad (10)$$

とする。また  $u$  に関する部分集合として、以下のものを定義する。

$$u^{P_I} = \{u_j \in u | u_j > P_I\} \quad (11)$$

$$u^{P_O} = \{u_j \in u | u_j > P_O\} \quad (12)$$

$$u^C = \{u_j \in u | u_j > C\} \quad (13)$$

これより(7)式は以下の様書き換えることができる。

$$\sum_{u_j \in u^{P_I}} (u_j - P_I) - f \geq \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O) \quad (14)$$

従って、消費者が「入会する」と意思決定する範囲では、

$$\sum_{u_j \in u^{P_I}} (u_j - P_I) - \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O) = f \quad (15)$$

を満たす  $(f, P_I)$  で運営者の期待利得は最大になる。

消費者が入会する場合の運営者の利得  $\Pi_I$  は

$$\Pi_I = fn + n \sum_{u_j \in u^{P_I}} (P_I - c) \quad (16)$$

\*3 完備情報ゲームとは、プレイヤの集合、各プレイヤの戦略の集合、各プレイヤの利得関数を全てのプレイヤが知っているゲームである。不完備情報ゲームはプレイヤの集合、各プレイヤの戦略の集合、各プレイヤの利得関数のひとつでもわからないゲームである。この場合留保価格がわからないので利得関数がわからないため不完備情報ゲームである。

である。その利得は (16) 式に (15) 式を代入すれば

$$\Pi_I = n \left\{ \sum_{u_j \in u^{P_I}} (u_j - c) - \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O) \right\} \quad (17)$$

となり、 $u$  および  $P_O$  は所与なので  $\Pi$  は  $P_I$  を変数とする関数となる。 $\bar{u}_c \leq c < \bar{u}_{c+1}$  (ただし  $\bar{u}_c, \bar{u}_{c+1} \in u$ ) とすると、

$$\begin{aligned} \Pi_I(P_I | P_I < \bar{u}_c) &= n \left\{ \sum_{u_j \in u \setminus u^c} (u_j - c) + \sum_{u_j \in u^c} (u_j - c) \right. \\ &\quad \left. - \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O) \right\} \quad (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_I(P_I | \bar{u}_c \leq P_I < \bar{u}_{c+1}) &= n \left\{ \sum_{u_j \in u^c} (u_j - c) - \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O) \right\} \quad (19) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_I(P_I | P_I \geq \bar{u}_{c+1}) &= n \left\{ \sum_{u_j \in u^c} (u_j - c) - \sum_{u_j \in u^c \setminus u^{P_I}} (u_j - c) \right. \\ &\quad \left. - \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O) \right\} \quad (20) \end{aligned}$$

以上より各式を比較した際、 $\bar{u}_c \leq P_I < \bar{u}_{c+1}$  のとき、 $\Pi_I$  は最大となる。

ここで、入会しない場合に運営者が得る利得  $\Pi_O$  は以下の通りである。

$$\Pi_O = n \sum_{u_j \in u^{P_O}} (P_O - c) \quad (21)$$

この  $\Pi_O$  は所与の  $P_O$ 、 $c$  の値によって決まる。そこで  $\Pi_I$  が最大値をとる場合の、 $\Pi_I$ 、 $\Pi_O$  の大きさの比較を行う。ここで以下の関数を定義する。

$$\begin{aligned} F &= \Pi_I - \Pi_O \\ &= n \left\{ \sum_{u_j \in u^{P_I} \setminus u^{P_O}} u_j - (|u^{P_I}| - |u^{P_O}|)c \right\} \quad (22) \end{aligned}$$

$F$  に関して、前提条件である  $P_I < P_O$  より  $u^{P_I} \supseteq u^{P_O}$ 、 $P_I \geq \bar{u}_c$  より、 $u^{P_I} \setminus u^{P_O}$  の要素である  $u_j$  に関してすべて  $u_j > c$  が成立。よって  $F \geq 0$  が成立し、 $\bar{u}_c \leq P_I < \bar{u}_{c+1}$  のときは常に  $\Pi_I \geq \Pi_O$  が成立する。すなわち入会する場合が均衡となる。

以上より均衡状態は、

$$\begin{aligned} (f, P_I) &= \\ &\quad \{(f^*, P_I^*) | \bar{u}_c \leq P_I^* < \bar{u}_{c+1}, \\ &\quad f^* = \sum_{u_j \in u^{P_I}} (u_j - P_I^*) - \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O)\} \quad (23) \end{aligned}$$

消費者の入会意思決定：入会する

消費者の消費意思決定： $R_j > P_I^*$  のときチケット購入となる。

ここで、コスト  $c$  に関して、 $\bar{u}_c \leq c < \bar{u}_{c+1}$  としてきたが、境界条件として  $c < u_1$ 、 $c \geq u_t$  の場合の均衡を求める。

- $c < u_1$  のとき

$$\begin{aligned} \Pi_I(P_I | P_I < u_1) &= n \left\{ \sum_{u_j \in u} (u_j - c) - \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O) \right\} \quad (24) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_I(P_I | P_I \geq u_1) &= n \left\{ \sum_{u_j \in u^{P_I}} (u_j - c) - \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O) \right\} \quad (25) \end{aligned}$$

(25) 式における  $u^{P_I}$  は  $u^{P_I} \subset u$  を満たす。よって  $\Pi_I$  は  $P_I < u_1$  のとき最大となる。

$F$  に関して、 $u_i > c$  ( $i = 1, 2, \dots, t$ ) なので  $F \geq 0$  が成り立つ。すなわち  $\Pi_I \geq \Pi_O$ 。したがって、均衡における会員価格が  $P_I^* < u_1$  を満たし、入会価格  $f$  および消費者の意思決定は上述の解と同様となる。

- $c \geq u_T$  のとき

$P_O > c$  より  $\Pi_O = 0$  が成立する。また

$$\begin{aligned} \Pi_I(P_I | P_I < u_1) &= n \left\{ \sum_{u_j \in u} (u_j - c) - \sum_{u_j \in u^{P_O}} (u_j - P_O) \right\} \\ &= n \sum_{u_j \in u} (u_j - c) \quad (26) \\ &< 0 \quad (\because P_I < u_T < c) \end{aligned}$$

$$\Pi_I(P_I | P_I \geq u_1) = 0 \quad (27)$$

よって均衡においては、 $P_I^* \geq u_I$  となり、 $\Pi_I = \Pi_O = 0$  となる。

また、消費者が入会するときと入会しないときそれぞれの総余剰\*4は

- 入会するとき

$$\Pi + nU = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t a_{ij} (P_I - c) \quad (28)$$

- 入会しないとき

$$\Pi + nU = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t a'_{ij} (P_O - c) \quad (29)$$

となる。(28) 式が最大化される条件は、

$$P_I = \{P_I | u_{k-1} \leq P_I < u_k, u_{k-1} \leq c < u_k\} \quad (30)$$

で (23) 式より均衡状態での  $P_I$  は (30) 式を満たすため均衡状態では総余剰も最大化される。

\*4 総余剰とは全ての主体の利得を合計したものであるとする。

#### 4. 被験者実験による意思決定の分析

被験者実験では、本モデルの利得構造で実際に人間がどのような意思決定を行うかを見る。

##### 4.1 設定

2008年11月26日、29日に京都産業大学で被験者実験を行った。被験者は京都産業大学の学生で人数はそれぞれ24人、28人の計52人であった。被験者はそれぞれパーティションで区切られたブースに設置した計算機から実験を行った。実験はネットワークで繋がった実験専用のアプリケーション z-Tree[Fischbacher 07]を用いた。実験終了後、実験結果に比例する報酬として、被験者には1点を0.1円に換算した額に参加報酬として1000円を加えた額を支払った。

表1は実験におけるパラメータを示している。設定1～3に関してそれぞれ被験者1人あたりのサービスのコスト  $c$  を1100,1400の2パターン行っているため全部で6つの組み合わせで実験を行った。

表1 パラメータの設定

消費者プレイヤー数	$n = 3$
1 期間中のサービスの回数	$t = 6$
観客一人あたりのサービスのコスト	$c = 1100, 1400$
非会員向けチケット価格	$P_O = 1800$
留保価格の集合	$R_j \in \{1200, 1600, 2000, 2400\}$
期間の繰り返し回数	3

##### 4.2 被験者実験の結果

図1, 図2, 図3はそれぞれ各設定における、運営者プレイヤーの平均利得、消費者プレイヤーの平均利得、平均総余剰を示している。図1から運営者プレイヤーの利得はコストが低い方が高く、 $c = 1100$ では情報がより多く与えられるほど利得は高く、 $c = 1400$ では情報がより多く与えられるほど利得は低くなっている。図2でも  $c = 1100$ では情報がより多く与えられるほど利得は高くなる傾向は見られるが  $c = 1400$ では運営者プレイヤーと同じ傾向は見られなかった。図3では情報がより多く与えられることで  $c = 1100$ では総余剰も増加するという傾向が見られた。

図4は、各設定での消費者プレイヤーの入会割合を示している。コストが低い場合の方がより高い入会割合を示しており、 $c = 1400$ ではいずれの設定でも入会割合は5割に満たない。均衡分析の結果から、 $c = 1400$ ,  $P_O = 1800$ のときの均衡状態では消費者プレイヤーは必ず入会する。従って、コストが高くなった場合に入会割合が低下し、その結果として総余剰も下がっている可能性がある。

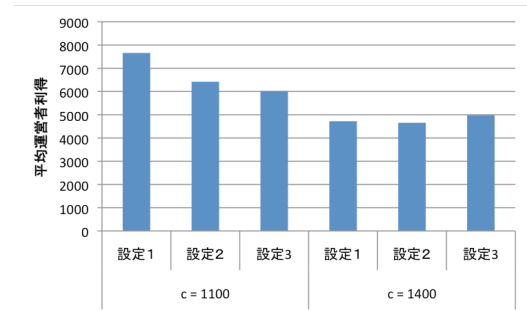


図1 各設定における運営者プレイヤーの平均利得

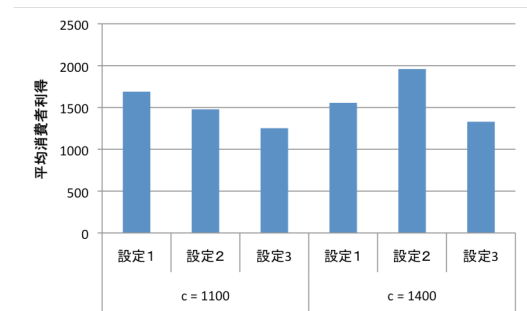


図2 各設定における消費者プレイヤーの平均利得

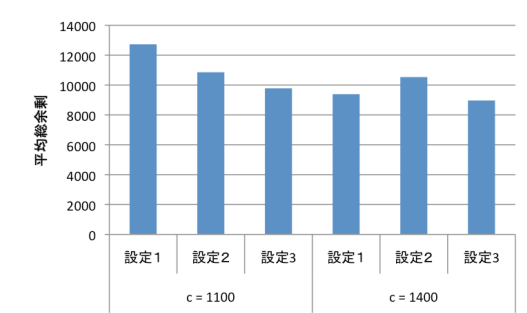


図3 各設定における平均総余剰

##### §1 消費者プレイヤーの消費意思決定について

表2は各設定における非合理的な消費意思決定の割合を示している。ここで非合理的な意思決定とは自身の利得を最大化しない行動を選択する意思決定のことを指し、具体的には、サービスを利用することで正の利得が得られるのに利用しないことと、サービスを利用することで負の利得が得られる場合に利用してしまうことを指す。

結果として非合理的な消費意思決定は多くても3%程度の割合でしか観察されず、基本的に消費意思決定においては消費者プレイヤーの意思決定の困難さは少なく、被験者は合理的な意思決定をとっていると考えられる。

##### §2 運営者プレイヤーの価格意思決定について

図5は運営者プレイヤーの決めた会員向け利用価格の平均値を示している。均衡分析の結果から、均衡における会員向け利用価格は  $P_{c=1100}^* < 1200$ ,  $1200 \leq P_{c=1400}^* < 1600$  である。図5はいずれの場合においても均衡における価格よりも高い値を取る傾向にあることを示している。

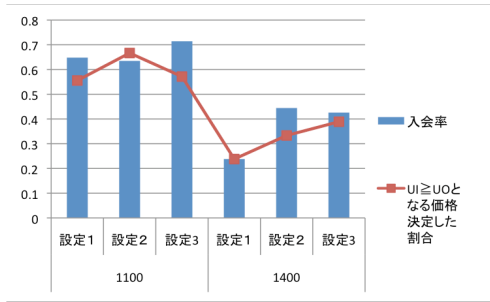


図4 各設定における消費者プレイヤーの入会率(被験者実験)と運営者プレイヤーが(7)式を満たす価格設定をした割合

表2 各設定における非合理的な消費意思決定の割合

	$R_i > P$ でサービスを利用しなかった割合	$R_i < P$ でサービスを利用した割合
コスト c=1100		
設定1	0.017	0.026
設定2	0	0.008
設定3	0.013	0.007
コスト c=1400		
設定1	0	0.013
設定2	0.008	0
設定3	0.017	0

均衡においては提供者の利得を最大化し、かつ消費者が会員サービスに入会するための入会価格および会員向け価格の設定が必要である。図4の折れ線グラフは各設定における消費者の入会率と(7)式を満たす価格設定を運営者プレイヤーが行った割合を示している。c=1100においては入会率が6割ほど、c=1400の場合には5割に満たない。この入会率と運営者プレイヤーの価格設定の割合が同じ傾向を示していることから、運営者プレイヤーが自分の利得を増やすために、入会価格と会員価格を高く設定してしまっている場合があることが考えられる。

図6は1回のゲームにおいて、2人以上が入会した場合とそうでない場合に運営者が得た利得の平均値を表し

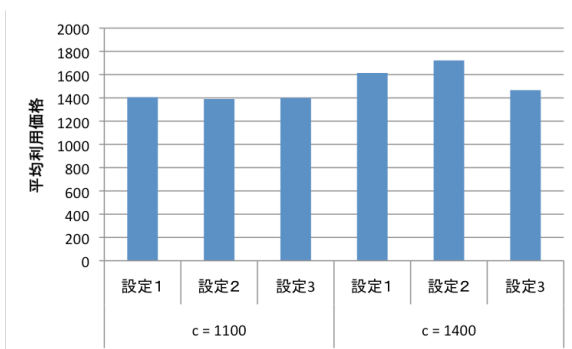


図5 各設定における運営者プレイヤーの会員利用価格の平均値

たものである。会員数が多い場合の方が利得が高い傾向にあるが、逆の場合も生じており、いずれの設定においても2つの間に統計的に有意な差は見られなかった。これは運営者が入会価格を設定する場合に、合理的には消費者が入会した場合に少しでも利得があがるように設定することが利得最大化となるが、消費者が入会しやすいように入会価格を下げているためであると考えられる。

以上より、運営者プレイヤーは価格設定に関して2通りの不適切な価格設定を行う傾向にある。一つは価格を高く設定しすぎてしまって、消費者が入会しなくなってしまう、一方は価格を安く設定しすぎてしまって自分の利得を増加させることができないことである。よって、運営者は割引プログラムを有効に活用できていないと考えられる。

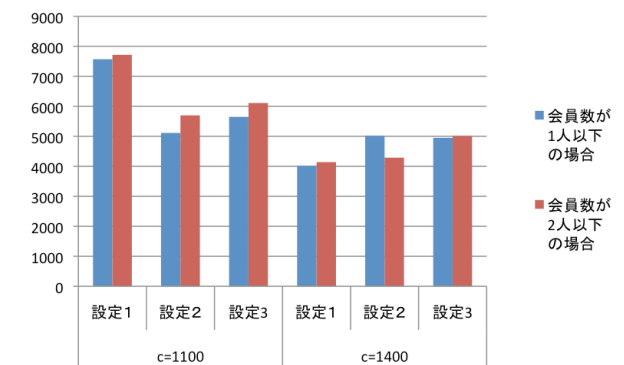


図6 会員数の違いによる運営者利得の比較

### §3 消費者プレイヤーの入会意思決定に関して

表3は各設定において、消費者が非合理的な入会意思決定をした割合を示している。設定2および設定3の場合には情報が不完備であるため、消費者にとっては入会した場合とそうでない場合のどちらが合理的な意思決定かは分からない状態である。

表3 各設定における非合理的な入会意思決定の割合

	$U_I \geq U_O$ でサービスに入会しなかった割合	$U_I < U_O$ でサービスに入会した割合
コスト c=1100		
設定1	0.133	0.375
設定2	0.167	0.238
設定3	0.139	0.519
コスト c=1400		
設定1	0.200	0.162
設定2	0.167	0.250
設定3	0.333	0.273

表3より、情報が不完備である設定2および設定3において非合理的な意思決定の割合はやや高い値を示している。また、c=1400の設定1をのぞき、入会しないほ

うがよいときに入会してしまった割合の方が大きくなっていることから、消費者は入会をためらうより、入会してしまう傾向があることが考えられる。この消費者の入会意思決定に関して、次章にてエージェントシミュレーションを用いることにより、考察を行う。

## 5. エージェントシミュレーション

### 5.1 シミュレーションの設定

本章では消費者の入会意思決定に着目する。被験者実験の結果と比較することによって、消費者が運営者によって入会価格と会員価格を提示された際にどのように入会意思決定を行っているのかを考察する。

消費者エージェントを強化学習を搭載した学習エージェントとして実装し、マルチエージェントシミュレーションを行った。運営者エージェントの価格意思決定には被験者実験の際に被験者が行った行動結果をそのまま用いた。

### 5.2 消費者エージェントの行動ルール

消費者エージェントは次のように意思決定を行う。運営者エージェントが提示する入会価格  $f$ 、会員向け利用価格  $P_i$  が環境  $s$  として入力され、 $Q$  値をもとにボルツマン選択によって行動  $a \in (\text{会員サービスに入会する}/\text{入会しない})$  を選択する。つまり、実験中の設定 2、設定 3 における情報が不完備な状況を簡単な内部構造をもつ学習エージェントとしてモデル化したものである。

全エージェントが行動を選択した後、 $Q$  値を以下のように更新する。

$$Q_T(s, a) = (1 - \alpha)Q_{T-1}(s, a) + \alpha P_i \quad (31)$$

ただし  $P_i$  はエージェント  $i$  の利得を表し、 $\alpha$  は学習率、 $T$  は繰り返しターン数を表す。今回のシミュレーションでは  $\alpha = 0.1$  とした。

### 5.3 シミュレーションの結果

被験者実験において、各実施日で 6 組もしくは 7 組のグループにより 3 期間繰り返して実験を行ったため、運営者プレイヤーの価格意思決定の行動結果は 18 組もしくは 21 組ある。

そこで、各設定で  $(18\text{or}21) \times 10 \times 100$  ターンの実験を行い、それぞれの最後の  $(18\text{or}21) \times 10$  ターンの平均をとった結果を以下で示す。シミュレーションでは、学習プロセスを観察するのではなく、適応的なエージェントがどのような安定状態になるかを調べることに主眼を置いている。よって、十分に収束した状況である最後の  $(18\text{or}21) \times 10$  ターンを使用している。

図 7、図 8、図 9 はそれぞれ、運営者の平均利得、消費者の平均利得、平均総余剰を被験者実験の結果と比較して表したものである。総余剰は  $c = 1100$  の設定 2 および設定 3 の場合を除いてシミュレーションの場合の方が

減少している。同時にこれらの場合はシミュレーションの結果の方が運営者の利得、消費者の利得も少ない。

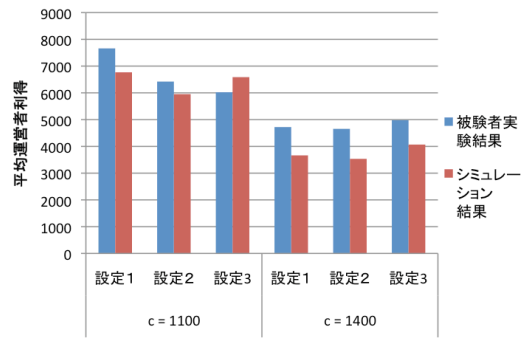


図 7 各設定における運営者エージェントの平均利得

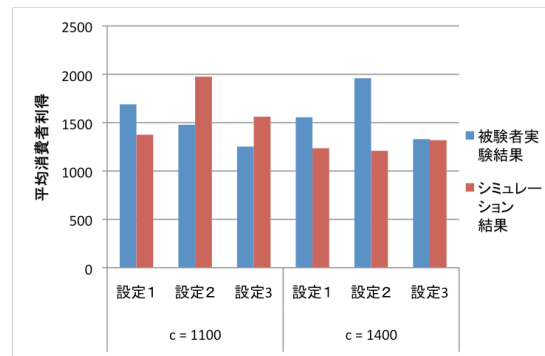


図 8 各設定における消費者エージェントの平均利得

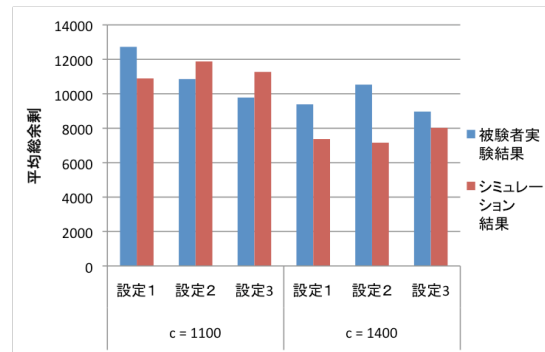


図 9 各設定における平均総余剰

図 10 は図 4 と同様にシミュレーションにおける消費者エージェントの入会率を表したものである。シミュレーションの場合の方が、入会率の結果が赤い折れ線グラフの結果に近づいているのがわかる。これは、ある入会価格と会員価格の時に、平均的に得られる利得の割合に応じた確率分布に従って、消費者は入会の意思決定を行っているためであると考えられる。つまり、入会した場合に損をすることが予想される場合の入会率が下がっていると考えられる。 $c = 1100$  における設定 2、3 において消費者の利得が上昇したのはこのためであろう。

図 11, 図 12 は被験者実験およびシミュレーションにおいて, 設定 3 における運営者が決めた入会価格ごとの消費者の入会率を示したものである. 本稿では図は省略するが, 被験者実験の結果とシミュレーションの比較をすると, どの設定においても, グラフの形状が近い形を示した. このことから, 消費者プレイヤは入会した場合に得られる利得の期待値をある程度予測し, 入会意思決定を行っているのではないかと考えられる.

ただし, 被験者実験の方が全体的に高い入会率を示している. つまり, 入会した方が得をするであろうという予測も考慮に入れて, 入会意思決定をしている可能性が示唆される. 4.2.3 節において, 消費者が入会しないほうがいい場合に誤って入会してしまっている割合が高いことはこれによって説明できる.

また, シミュレーションの結果より被験者実験の結果の方が総余剰が大きくなっていることは, 消費者プレイヤが入会しようとする傾向が強いことによって, 入会した方がよい場合の入会率が上がり, 全体の利得を上昇させているためであると考えられる.

以上の結果から, 消費者プレイヤの入会意思決定に関しては, 基本的には入会した場合に得られる期待値に基づいて判断が行われ, 情報に不確実性が含まれる場合に, 入会する意思決定を選ぶ確率が高くなっていると考えられる.

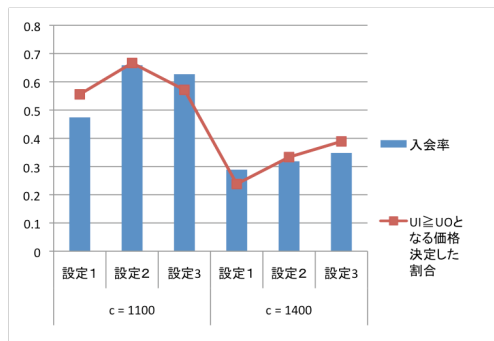


図 10 各設定における消費者プレイヤの入会率(シミュレーション)と運営者プレイヤが(7)式を満たす価格設定をした割合

## 6. ま と め

本稿では会員サービスをクラブ財としてモデル化し, 均衡分析, 被験者実験, シミュレーションを用いて, 会員サービスにおける割引プログラムについて検証した.

均衡分析の結果から本モデルの利得構造においては, 運営者プレイヤが適切な入会価格および会員価格を設定し, 消費者が会員になることが均衡として導き出された. しかし, 被験者実験の結果からは, 運営者が適切な価格設定を行うことが困難で, 消費者は入会意思決定に関して非合理的な選択をすることがあり, 全体の余剰を下げていることがわかった. また, シミュレーションの結果から, 消費者は利得の期待値を予測して入会の意思決定を行おうとしているが, 入会の選択肢を選びやすい傾向に

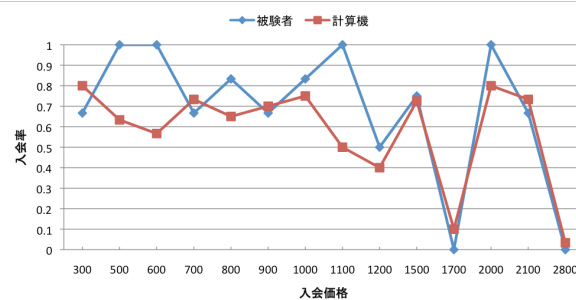


図 11 入会価格別の消費者の入会率 ( $c = 1100$  設定 3)

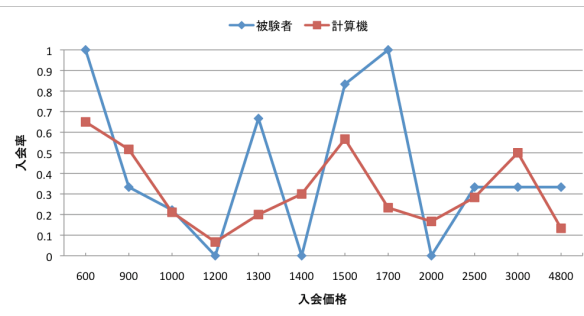


図 12 入会価格別の消費者の入会率 ( $c = 1400$  設定 3)

あることが示唆された.

今後はこれらの結果を用いて, 適切に財を供給するためのサービスの制度設計を行ってきたい.

## ◇ 参 考 文 献 ◇

- [Berglas 76] Berglas, E.: On the Theory of Clubs, *American Economic Review*, Vol. 66, pp. 116–121 (1976)
- [Brueckener 91] Brueckener, J. K. and Lee, K.: Economies of Scope and Multiproduct Clubs, *Public Finance Quarterly*, Vol. 19, pp. 193–208 (1991)
- [Buchanan 65] Buchanan, J. M.: An Economic Theory of Clubs, *Economica*, Vol. 32, pp. 1–14 (1965)
- [Fischbacher 07] Fischbacher, U.: z-Tree: Zurich toolbox for ready-made economic experiments, *Experimental economics*, Vol. 10, No. 2, pp. 171–178 (2007)
- [Keh 06] Keh, H. T. and Lee, Y. H.: Do reward programs build loyalty for services? The moderating effect of satisfaction on type and timing of rewards, *Journal of Retailing*, Vol. 82, No. 2, pp. 127–136 (2006)
- [Kim 01] Kim, B. D., Shi, M., and Srinivasan, K.: Reward Programs and Tacit Collusion, *Marketing Science*, Vol. 20, No. 2, pp. 99–120 (2001)
- [Kim 04] Kim, B. D., Shi, M., and Srinivasan, K.: Managing capacity through reward programs, *Management Science*, Vol. 50, No. 4, pp. 503–520 (2004)
- [Lee 91] Lee, K.: Transaction Costs and Equilibrium Pricing of Congested Public Goods with Imperfect Information, *Journal of Public Economics*, Vol. 45, pp. 337–362 (1991)
- [Lescop 06] Lescop, D.: Optimal Mechanisms for Siting Noxious Facilities, *Review of Economic Design*, Vol. 10, pp. 273–284 (2006)
- [Taylor 05] Taylor, G. A. and Neslin, S. A.: The current and future sales impact of a retail frequency reward program, *Journal of Retailing*, Vol. 81, No. 4, pp. 293–305 (2005)
- [Tiebout 56] Tiebout, C. M.: A Pure Theory of Local Expenditures, *The Journal of Political Economy*, Vol. 64, pp. 416–424 (1956)
- [経済 07] 経済産業省: 企業ポイントのさらなる発展と活用に向けて, <http://www.meti.go.jp/press/20070702005/20070702005.html> (2007)