



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	プレミアム固定型顧客主導予約調整メカニズムとその効果検証（〈特集〉ソフトウェアエージェントとその応用論文）
Author(s)	川村, 秀憲; 大内, 東
Citation	電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, 90(9), 2432-2443
Issue Date	2007-09-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/52023
Rights	Copyright © 2007 社団法人 電子情報通信学会(IEICE).
Type	journal article
File Information	110007380873.pdf



プレミアム固定型顧客主導予約調整メカニズムとその効果検証

川村 秀憲^{†,††} 大内 東^{†,††}

Effects of Premium-Fixed Customer-Driven Reservation Adjustment System

Hidenori KAWAMURA^{†,††} and Azuma OHUCHI^{†,††}

あらまし 本論文では、ある種のサービスに対して決められた数の予約を配分するという状況において、需要構造に偏りをもった非同時的に訪れる顧客が順に予約を入手していく際、顧客間で予約に対するプレミアムをやり取りすることによってより有効な予約配分が行える顧客主導型予約配分メカニズムに焦点を当てる。そして、このメカニズムにおいて、サービスの提供者がプレミアムを固定することで顧客の戦略性が簡便化し、全体として投機目的などの行動が起きにくい状況になることを検討する。また、プレミアムを固定した顧客主導型予約配分メカニズムがどの程度有効であるのかをエージェントベースシミュレーションによって検討する。実験結果として、提案手法によってサービスの提供者、顧客全体の観点から見てこのメカニズムが十分に有効に働くことを示す。

キーワード エージェントベースシミュレーション、メカニズムデザイン、オークション、マーケティング

1. ま え が き

映画やコンサートなどでは複数日にわたってサービスが提供されるが、事前調整のために「ある時間にサービスを楽しむ権利」が予約の形で顧客に配分される。一度に提供できるサービスの量には限度があり、事前に価格と供給量が決定される。顧客は自分のスケジュールや制約に合わせて最も都合がよい日時の予約を希望し、主に先着順に予約を入手していく。すべての予約が配分された時点で予約は終了し、それ以降に訪れた顧客は予約を入手することはできない。

ここで、サービス内容が同等でも各日時における予約の需要はフラットとは限らず、外的要因や顧客個別の要因によって偏りが生じる場合は多々ある。顧客個別の立場として見た場合は自分が望む予約を入手できるかどうかのみが重要であるが、社会全体として見た場合はできるだけ高い価値を見出している顧客にどうやって数多くの予約を効率良く配分するかが重要である。

顧客が予約を入手するタイミングを同時にできるならばオークションを導入して効率的な配分を行うことは可能であるが[1]~[3]、運用面から見て実現は容易ではない。また、サービス提供者側が需要に関する情報を事前に十分にもっており、時々によって価格を柔軟に変更することが可能ならば、レベニューマネジメントなどの手法でサービス提供者側の立場から効率的な配分を行うことは可能であるが[4]、そもそも事前の情報入手や同等のサービスに複数の価格を設定することは困難であり、理論どおり効率的配分が行われているとはいえないのが現状である。また、これらの不備を突いてサービスを受けるつもりのない予約を投機的で入手し、インターネットオークションなどで販売する顧客の存在も社会的問題となっている。

我々は、このような状況を改善し、顧客の非同時性を考慮しながらも配分プロセスの中で予約を柔軟に調整できる方法として顧客主導型予約調整メカニズムを提案した[5]。このメカニズムは、もし強く希望する予約が既になくなっていった場合でも、プレミアムを払うことで既に予約を入手している顧客との間で調整を図ることを可能とした仕組みである。非同時的に顧客が訪れる中で、顧客全体、サービス提供者、社会的な立場から見て有効な調整を図ることができる場合があることが示されており、ユビキタス環境における多数の

[†] 北海道大学大学院情報科学研究科, 札幌市
Graduate School of Information Science and Technology,
Hokkaido University, Sapporo-shi, 060-0814 Japan

^{††} 科学技術振興機構 CREST, 東京都
Japan Science and Technology Agency, CREST, Tokyo, 332-0012 Japan

顧客の間の調整を行う群ユーザ支援の応用の一つとして位置づけられる[6]。しかし、以前に提案した方法ではプレミアムの決定が顧客の申し出に基づいていたので、プレミアムの決定や授受に関する戦略が複雑化してしまい、投機目的の行動や不必要な第三者の参入を完全に防止することが困難であると考えられた。

そこで本論文では、顧客主導型予約調整メカニズムの枠組みにおいて、サービス提供者の主導によって固定されたプレミアムによる予約調整メカニズムを提案する。プレミアムの固定化によって顧客の戦略が単純化され、顧客の意思決定における誘因がより明確化されることを示した上で、エージェントベースシミュレーションによってプレミアムが固定化されても予約調整メカニズムの効果があることを確かめる。

2. プレミアム固定型顧客主導予約調整メカニズム

顧客主導予約調整メカニズム[5]について簡単に説明するため、一般的な予約配分の手順について以下のように考える。まず事前にサービス提供者が複数日程についてキャパシティに見合った数の予約を準備し、対応するサービスの価格を決定する。次に、順に顧客が1人ずつ訪れ、未配分予約の中から一番満足のいく予約の一つ入手する。もし、満足のいく予約が存在しない場合、若しくは満足できる予約が既になくなってしまった場合、その顧客は予約を入手せずに去っていく。終了期限に達するか、すべての予約がなくなってしまうと予約の配分が終了する。

顧客主導予約調整メカニズムでは、顧客に下記の手順を追加する。まず、顧客が満足できる予約が既になつてしまった場合、その顧客は自分が一番入手したいと思う予約とそのために払ってもよいプレミアムを提供者に伝えることができる。それを受けた提供者は、既にその予約をもっている他の顧客に対してプレミアムを受け取ることで未配分の予約に変更可能な者を募る。もしそのような顧客が何名か存在した場合、ランダムに顧客を抽選して予約の移譲を行い、前者の顧客はプレミアムを上乗せした価格をもって望む予約を入手し、後者の顧客はプレミアム分の価格の割引を受けて新たな予約を確定する。

この顧客主導予約調整メカニズムには、

- 一般的な予約配分の手順に調整の手順を付け加えた簡便な手続きである
- プレミアムはランダムに抽選された顧客との間

のみでやり取りされるので、プレミアムの獲得を前提とした第三者の不必要な参入を招きにくい

- 予約を変更することに伴うプレミアムのやり取りであるので投機的な取引が起きにくく、また提供者にとっては販売機会損失を防ぐことができる

- 顧客が非同時に訪れる制約を保ったまま社会的に最適な配分に近い配分を実現できる
- などといったメリットがある。多くの人々が携帯電話をもっており、メール等を利用したりリアルタイムな呼びかけに十分対応可能な状況になりつつある最近では、実用化も可能と思われる。

しかし、顧客の意思決定の戦略性といった観点から検討してみると、この手法はメカニズムとして望ましくない点がいくつか存在する。まず、移譲を申し込む顧客にとっては、メカニズムを利用した際の予約の入手可能性がプレミアムの大きさと他の顧客の状況に依存し、現在入手可能な予約で妥協するかメカニズムに期待するのがよいのか判断しなければならない。更に、プレミアムは自分で決定できるため低く抑えたいが、あまり低すぎると移譲が実施されないのではどの程度まで低くしてよいのか判断する必要がある。また、移譲を依頼される顧客側にとっては、移譲を受けるかどうかだけではなく、後に高いプレミアムを獲得できる可能性が残っているかもしれないのに今その移譲を受けるべきかといったことまで考慮しなければならない。

これらの戦略性の複雑さはメカニズム導入の効果測定を困難にするばかりではなく、実際の運用を考えた際にも予期せぬ不具合を招く原因となる可能性がある。そこで、ここでは上記の戦略性の複雑さを排除し、双方の顧客にとってより意思決定が容易となるモデルとして、プレミアム固定型顧客主導予約調整メカニズムについて検討を行う。プレミアム固定型では、顧客の申し出によってプレミアムを決定するのではなく、あらかじめ提供者が価格を考慮してプレミアムの大きさを事前決定し、そのプレミアムに基づいて顧客主導予約調整メカニズムを実行するものとする。

プレミアムは固定されているので、予約を入手する顧客の立場に立った場合、入手可能な予約を手に入れるかプレミアムを上乗せして移譲を申し出るかの選択については、移譲の成功確率に基づいた期待値のみで判断できる。その成功確率をどう見積もるかの問題は残るが、プレミアムを追加支払いすることを含めて入手が不確実な選択をした方が得となる状況は想定しにくいことから、ほとんどの場合において確実に入手で

きる予約を優先する戦略が優位になると思われる。したがって、メカニズムを利用しないで入手可能な場合は普通に入手し、入手不可能な場合に限りメカニズムを利用することが自然な戦略となると考えられる。また、移譲を依頼される顧客の立場に立った場合、どのタイミングにおいてもプレミアムは固定されているので、もし移譲によって得をするならば予約変更の選択肢の多い早い段階から移譲に応じることが自然な戦略となる。

以上のように、プレミアムを固定することによって双方の顧客の意思決定を簡便化でき、全体の挙動も予想外のことが起きにくいと考えられる。この手法は望ましい点が多いと考えられるが、実際にプレミアムを固定したメカニズムが有効に働くのか、また有効に働くのはどんな状況なのかについては上記の考察からは分らない。そこで、エージェントベースシミュレーションによってその有効性について検討していく。

3. シミュレーションモデル

3.1 要素

モデルの構成要素は、予約ユニット、サービス提供者エージェント、顧客エージェントの3種類である。予約ユニットは、例えば「コンサートチケット」のように、1人のエージェントに提供されるサービスの予約を表す最小単位である。顧客エージェント1人が行う一連の予約入手行動を1ステップとし、顧客エージェントすべてが行動を終えるまでシミュレーションが行われる。

まず、予約ユニットの種類を表す集合を $U = \{1, 2, \dots, m\}$ とし、それぞれのユニットの数を $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_m)$ とする。これらは事前に与えられる。

次に、顧客エージェントの集合を $A = \{1, 2, \dots, n\}$ とする。顧客エージェントは添字の順に訪れ、それぞれできるだけ評価値の高いユニットを購入することを目的とする。顧客 i の予約ユニット j に対する評価値を v_j^i とする。 v_j^i は他の顧客とは独立であいまいなく知っている個人価値とし、その予約ユニットに対応するサービスに支払ってもよいと考える最大限の価格を表すものとする。ユニット k の評価値から後に支払う必要のある価格を減じたものが顧客 i の個人的な余剰となる。顧客エージェント i がステップ t 終了時において所持しているユニット数を $\mathbf{qb}^i(t) = (qb_1^i(t), \dots, qb_m^i(t))$ とする。ただし、 $\mathbf{qb}^i(0) = \mathbf{0}$ である。

提供者エージェントは1人で、ステップ t 終了時に

所有するユニット数を $\mathbf{qs}(t) = (qs_1(t), \dots, qs_m(t))$ とする。ただし、 $\mathbf{qs}(0) = \mathbf{q}$ である。また、提供者による各予約ユニットに対応するサービスの価格は $\mathbf{p} = (p_1, \dots, p_m)$ と表す。ここで、価格を適宜変更するという戦略も考えられるが、本論文においては価格はすべてのステップにおいて同一に固定される状況に限定する。更に、プレミアムの大きさを P と表す。この値が価格にプレミアムとして上乗せされる増加分となる。プレミアムの決定に関しても様々な決定戦略が考えられるが、ここでは事前に一定の値が与えられるものとする。

3.2 予約配分プロセス

各ステップにおいて、顧客エージェント1人が予約入手を試みることができる。ステップ t に顧客 i が予約入手を行うとすると、未配分のものの中から余剰が正で最大となるユニット k を選択する。

$$k = \arg \max_{j \in U} (v_j^i - p_j | (v_j^i - p_j > 0) \wedge (qs_j(t-1) > 0)) \quad (1)$$

ここで $\arg \max_{j \in U} (v_j^i - p_j)$ とは、 $(v_j^i - p_j)$ を最大化する j を表す。ユニット k が存在した場合は、後に価格分を払うことを約束してそのユニットを入手したものとし、 $qb_k^i(t) \leftarrow 1$ とする。それに応じて、提供者も $qs_k(t) \leftarrow qs_k(t-1) - 1$ とし、このステップは終了する。もし入手対象となるユニットが存在しなかった場合、予約調整メカニズムが非導入の場合はそのままこのステップを終了するが、メカニズムを導入している場合は更に下記のプロセスが実行される。

顧客 i にとってプレミアムを上乗せした価格を払っても入手する価値があるユニット k を選択する。

$$k = \arg \max_{j \in U} (v_j^i - p_j - P | v_j^i - p_j - P > 0) \quad (2)$$

もしユニット k が存在しない場合はこのステップを終了する。ユニット k が存在した場合、そのユニットには通常より高い価格を払っても余剰が正になることを表しており、売切れユニットの中から選択されることになる。顧客 i はこのユニットの種類を提供者に通知する。

次に提供者は既に入手を試みた顧客の中でユニット k を所有しているものに対し、プレミアムを受け取ってそのユニットを移譲可能かどうか問い合わせる。ユニット k をもっている顧客を i' とした場合、下記を満たすユニット r が存在するならば、顧客 i' は移譲可能

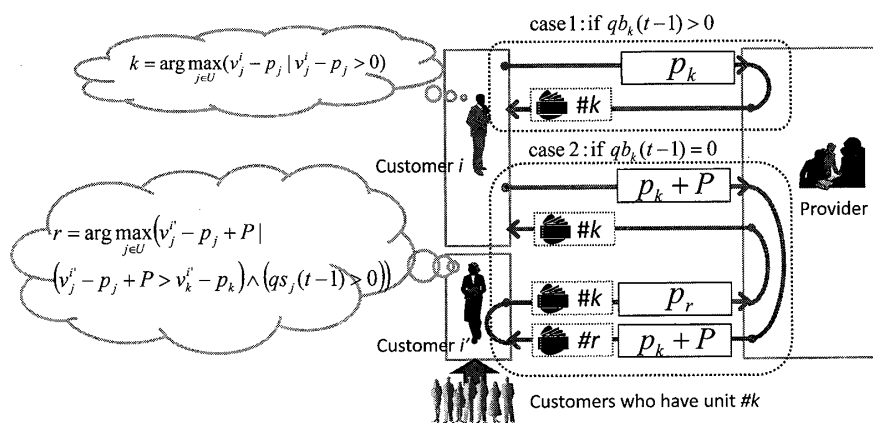


図1 シミュレーションの概念図

Fig. 1 Concept of simulation.

として提供者に r を通知する.

$$r = \arg \max_{j \in U} \left(v_j^{i'} - p_j + P \mid (v_j^{i'} - p_j + P > v_k^{i'} - p_k) \wedge (q_{s_j}(t-1) > 0) \right) \quad (3)$$

ユニット r が存在する場合、プレミアムを受け取ってユニット r へ変更し、ユニット k を顧客 i に移譲することで顧客 i' は余剰を増加させることができる。提供者はユニット k をもつ顧客の返答をまとめ、移譲可能と答えた顧客が存在する場合はその中からランダムに1人を選択する。移譲可能な顧客が存在しなかった場合はステップを終了する。

移譲が行われた場合、 $qb_k^i(t) \leftarrow 1$, $qb_k^{i'}(t) \leftarrow 0$, $qb_r^{i'}(t) \leftarrow 1$, $q_{s_r}(t) \leftarrow q_{s_r}(t-1) - 1$, となる。結果として顧客 i は価格 $p_k + P$ でユニット k を入手し、顧客 i' は価格 $p_r - P$ でユニット r を入手したことになる。顧客 i は正規よりも高い価格を払うことになったが入手不可能であったはずのユニットを入手できたメリットがあり、顧客 i' にとってはこの移譲によって余剰を増加させることができたメリットがある。また、提供者にとっては機会損失するはずであったが、メカニズムによってユニットが一つ多く配分できたメリットがあることになる。

ここで、顧客のユニット選択の戦略について、合理性の厳密性を追求するのであれば単にあるユニットを選択した際の余剰の最大化だけではなく、移譲の対象になる可能性を考慮して(ユニットを入手した際の余剰) + (移譲による余剰の増加分) $\times$ (移譲に選ばれる確率) を最大化して意思決定する必要がある。余剰の増加分に関してはプレミアムが固定されていることか

ら計算は可能であるが、移譲に選ばれる確率に関しては、どのユニットに人気があるのかの事前知識がない状況で対象者数が不明なランダム抽選確率を見積もる必要があり、計算することが困難である。そのような項がすべての選択肢にかかるわけであるが、ここでのシミュレーションでは顧客は予測不能な項に関しては中立的な態度をとるものとし、計算上移譲による余剰増加の期待値は省いて意思決定するものとした。

図1は提供者、顧客間の価格、プレミアム、ユニットのやり取りの概念図である。移譲が発生する case 2 では最終的に顧客 i がユニット k の価格とプレミアムを支払うことでユニット k を受け取り、顧客 i' がユニット r の価格を支払うことでユニット r とプレミアムを受け取るという構図になっている。その際、提供者はユニット k と r の価格分のみを受け取っており、プレミアムのやり取りは提供者の仲介を経て顧客間のみで行われる。

3.3 評価

評価については、すべての顧客への配分プロセスが終了した $t = n$ 時におけるユニットの価格と配分数、顧客による評価値に基づいて計算される余剰を用いる。

まず提供者の余剰であるが、ここでは最終的に配分されたユニット数に価格を乗じた値の合計を提供者の余剰 us として定義する。

$$us = \sum_{j \in U} p_j \cdot (q_j - q_{s_j}(n)) \quad (4)$$

顧客の余剰 ub は、ユニットを入手した際の評価値から価格を減じた各顧客の余剰の合計値とする。ここで、実際にはプレミアムのやり取りに伴い顧客ごとの支払合計は異なってくるが、合計を計算する際にプレ

ミアムに関する項は打ち消される。

$$ub = \sum_{i \in A} \sum_{j \in U} (v_j^i - p_j) \cdot qb_j^i(n) \quad (5)$$

提供者と顧客を含めた社会的余剰は、それぞれの和として定義される。

$$\begin{aligned} U &= ub + us \\ &= \sum_{i \in A} \sum_{j \in U} (v_j^i - p_j) \cdot qb_j^i(n) \\ &\quad + \sum_{j \in U} p_j \cdot (q_j - qs_j(n)) \\ &= \sum_{i \in A} \sum_{j \in U} v_j^i \cdot qb_j^i(n) \end{aligned} \quad (6)$$

社会的余剰は、オークション、市場指向モデル等、資源配分などを研究する分野で有効性の尺度として一般的に扱われている [1]~[3], [7], [8]。ここでは、この社会的余剰をメカニズムの有効性を測る尺度とし、メカニズムの導入/非導入によってどの程度社会的余剰が増加するのか検討していく。

4. 実験環境

ここでは、予約ユニットの種類 $m = 20$ 、各個数 $q_j = 400$ 、計 8,000 ユニットの予約を販売する状況を想定する。各ユニットの価格は $p_j = 1$ とする。プレミアムの大きさについては、メカニズムの導入効果が顕著となる設定として予備実験を行った結果から価格の 1 割にあたる $P = 0.1$ とした。また、顧客数は全ユニットの 2 倍、つまり $n = 16,000$ とした。

顧客の各ユニットに対する評価値について実測値を用いることは困難であるが、できるだけ一般的な評価値の分布の特徴 [9] を満たすことが望ましい。ここでは、航空券に対する評価値の分布が正規分布で近似できることを参考とし [4]、ユニット j に対する顧客エージェントの評価値は平均 μ_j 、標準偏差 σ_j の正規分布に従う乱数によって決定するものとした [5]。

$$v_j^i = \mu_j + \xi_j^i \cdot \sigma_j \quad (7)$$

ここで、 ξ_j^i は標準正規乱数を表す。顧客全体の評価値の分布傾向を μ_j 、 σ_j で設定することができる。

ここでの目的は、需要の大小や偏りによる需要構造の違いがメカニズムの有効性に与える影響について考察することであるため、分布傾向を決定するパラメータに関しては下記のように表現することとした。

$$\mu_j = p_j \cdot \left\{ a + \frac{b}{m-1} \cdot \left(j - \frac{m+1}{2} \right) \right\} \quad (8)$$

$$\sigma_j = 0.2p_j \quad (9)$$

ここで、各ユニットの μ_j の平均値 $\frac{1}{m} \sum_j \mu_j$ について、すべての価格が $p_j = 1$ である条件のもとでは、

$$\begin{aligned} \frac{1}{m} \sum_j \mu_j &= \frac{1}{m} \sum_j \left\{ a - \frac{b(m+1)}{2(m-1)} + \frac{b}{m-1} \cdot j \right\} \\ &= a - \frac{b(m+1)}{2(m-1)} + \frac{b}{m-1} \cdot \frac{m+1}{2} \\ &= a \end{aligned} \quad (10)$$

となり、 $\frac{1}{m} \sum_j \mu_j$ の値はパラメータ a の値と一致する。このことから、 a の値が大きいときには平均して各ユニットの評価値が大きく設定され、 a の値が小さいときには評価値も小さく設定されることを表している。

また、一番平均値が低い場合である μ_1 と一番高い場合である μ_m の差 $\mu_m - \mu_1$ について、すべての価格が $p_j = 1$ である条件のもとでは、

$$\begin{aligned} \mu_m - \mu_1 &= \left\{ a + \frac{b}{m-1} \left(m - \frac{m+1}{2} \right) \right\} \\ &\quad - \left\{ a + \frac{b}{m-1} \left(1 - \frac{m+1}{2} \right) \right\} \\ &= b \end{aligned} \quad (11)$$

となり、 $\mu_m - \mu_1$ の値は b の値に一致する。このことから、 b の値が大きいときにはユニットごとの評価値の平均値の差が大きく設定され、 b の値が小さいときには差は小さく設定されることになる。

以上より、 a 、 b によって全体的な評価値の傾向、及び偏りを設定することができる。今回の実験においては、それぞれのパラメータを $a = \{0.50, 0.52, \dots, 0.80\}$ 、 $b = \{0, 0.1, 0.2, 0.3\}$ の組合せで設定し、様々な需要構造でメカニズムの有効性を測定する。なお、今後の各実験結果はすべて 100 試行を行った平均値を示している。

ここで、各設定に従って評価値を設定した際、各ユニットにおける顧客の評価値が価格を超えるもの、つまり余剰が正となるユニットをカウントしてその数の平均値をとったものが図 2 である。グラフの横軸は a 、縦軸は価格を超える評価値をもつユニット数の平均値である。グラフを見ると、 a は評価値の全体の平均値を決定するため、ユニット数も a の増加に従って大きくなっていることが分かる。一方、 b は評価値の偏りを設定するだけで全体の平均には影響を与えない

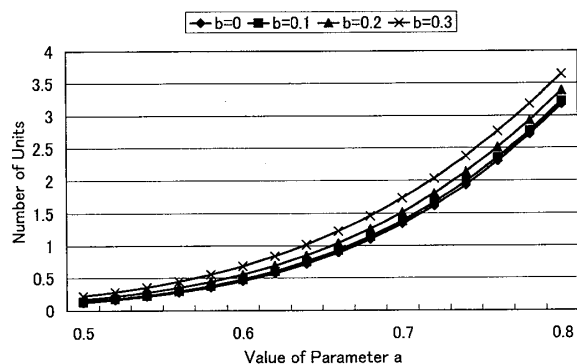


図2 評価値が価格を超えるユニット数のエージェントごとの平均値

Fig. 2 Average number of units with over-price evaluation.

ので、中間値が段階的に設定されることに起因する若干の影響はあるが、グラフの傾向に大きく影響を与えない。この結果より、 a の設定が小さいときは各顧客は平均して 0.2 個程度のユニットしか正の余剰をもち得ないが、 a が大きいときには 3 個を超えるユニットで余剰が正となることが分かる。

以降の実験ではこれらの需要構造において提案メカニズムの効果を測定する。

5. 実験結果

5.1 結果 1

図 3, 図 4 は、メカニズム非導入時/導入時におけるユニットの総合配分率、つまりそれぞれのユニット配分数を 8,000 で除したものをプロットしたものである。 a が大きくなるほど余剰が正となるユニット数は多くなるので、総合配分率は大きくなる。個別に見ていくと、 $b = 0$ のケースでは $a = 0.64$ を超えるあたりからユニットの総合配分率がほぼ 100% に達している一方で、 $b = 0.3$ のケースでは、 $a = 0.80$ に達するあたりでやっと 100% に達する。図 2 の結果では b による違いはそれほど見られなかったが、 b が大きいということはある特定のユニットに人気が集中している状況なので、後半に訪れる顧客にとっては前半で既に人気のあるユニットがすべて配分されてしまい、何も入手できなかった場合が多いという結果を表している。

図 5 は、図 3, 図 4 で示されたそれぞれの総合配分率の比をとったものである。100% より大きくなるにつれてメカニズム導入による総合配分率の増加が大きいことを表す。それぞれの b の設定において、ユニット配分率におけるメカニズム導入の効果が $a = 0.64$ あたりで最大になっていることが分かる。 a が 0.64 より

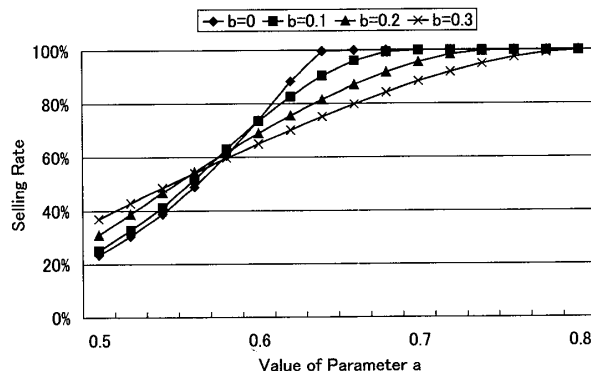


図3 メカニズム非導入時における総合配分率

Fig. 3 Rate of sold units in case of non-mechanism.

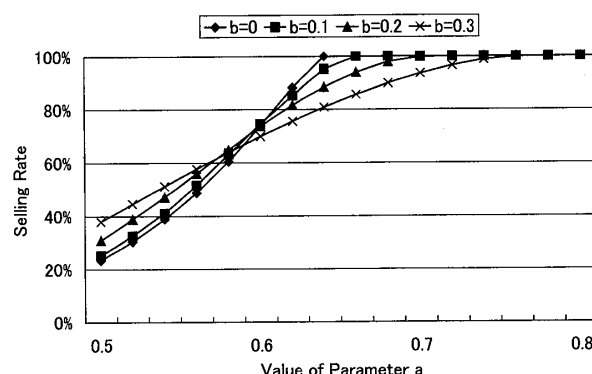


図4 メカニズム導入時における総合配分率

Fig. 4 Rate of sold units in case of mechanism.

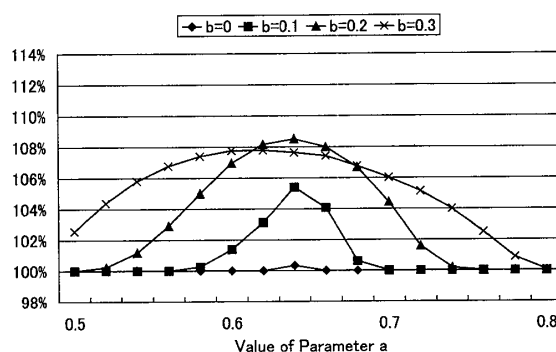


図5 メカニズム導入時/非導入時における総合配分率の比

Fig. 5 Rate of number of sold units with/without mechanism.

り小さくなるにつれてプレミアムを払ってまで入手したいユニットが少なくなるのでメカニズムの利用機会も減少し、また a が 0.64 より大きくなるにつれて余剰が正となるユニットの選択肢が多くなるのでメカニズムを利用するまでもなくいずれかのユニットを入手できる機会が増加していることに対応していると考えられる。

図 6 は、メカニズム導入時においてユニットの総合配分率に対してメカニズムを利用して配分されたユ

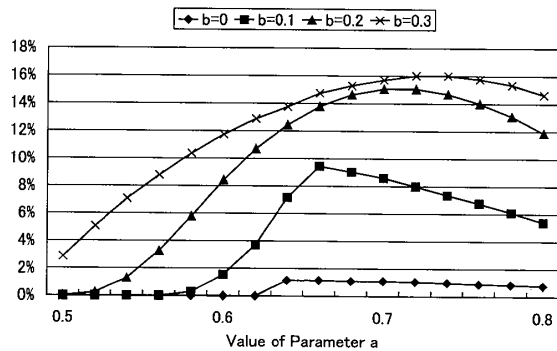


図 6 メカニズム導入時においてメカニズムを利用して販売されたユニットの割合

Fig. 6 Ratio of units sold by mechanism in mechanism case.

ニットが占める割合を縦軸に示したグラフである。グラフを見てみると、それぞれの b の値において a の値が小さいときにはメカニズムによる配分の比率は小さいが、 a が上昇するにつれて比率が増加し、あるところでピークを迎えて a に応じて比率は小さくなっていく。

b の値によってピークを迎える a の値が異なるのは、図 4 で示されている総合配分率が 100% になるときの a の値に依存する。図 4 の各 b のグラフにおいて、総合配分率が 100% に達したあたりの a ではすべての顧客が訪れ終わるタイミングでユニットの総合配分率が 100% を迎えるが、それより a の値が大きくなればすべての顧客が訪れる前にすべてのユニットを配分し終わってしまう状況となる。もし、ユニットの種類が無限にある場合には、すべての顧客が訪れ終わるまでメカニズムによる調整が機能するので a に応じて比率は単純増加すると考えられるが、今回の設定ではすべてのユニットを配分し終わった段階で販売プロセスは終了してしまうのでこのような結果を招いていると思われる。

5.2 結果 2

次に、図 6 の状況をより詳しく調べるためにステップごとの配分率の変化を調べた。図 7～図 10 はメカニズム導入の効果が最も大きいと思われる $a = 0.64$ の場合のメカニズム導入時の総合配分率の変化を示したグラフである。横軸は顧客が訪れるステップ数を示しており、縦軸は 100 ステップ当りの総合配分率とメカニズム非利用の配分率を示している。各ステップにおいて二つの値の差がメカニズムを利用して配分されたユニット数を表すことになる。

まず、 $b = 0$ の図 7 のグラフであるが、この場合

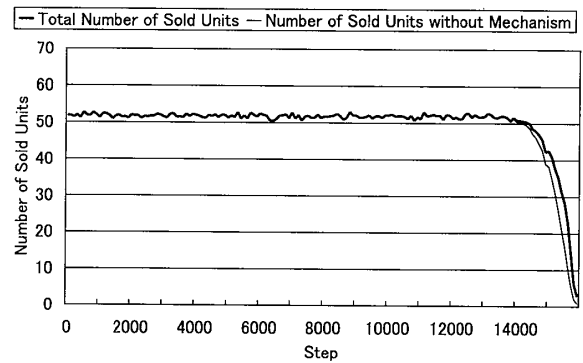


図 7 設定 ($a = 0.64$, $b = 0$) における総合配分率とメカニズム非利用配分率のステップごとの変化

Fig. 7 Total number of sold units and number of sold units without mechanism in setting ($a = 0.64$, $b = 0$).

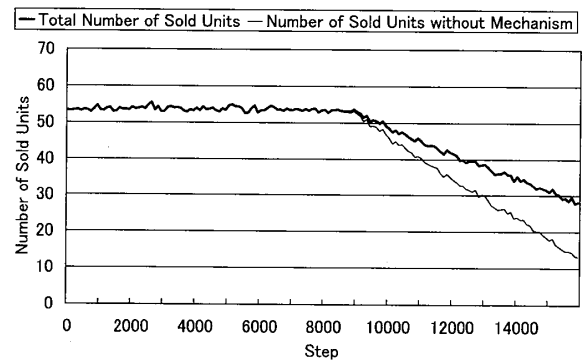


図 8 設定 ($a = 0.64$, $b = 0.1$) における総合配分率とメカニズム非利用配分率のステップごとの変化

Fig. 8 Total number of sold units and number of sold units without mechanism in setting ($a = 0.64$, $b = 0.1$).

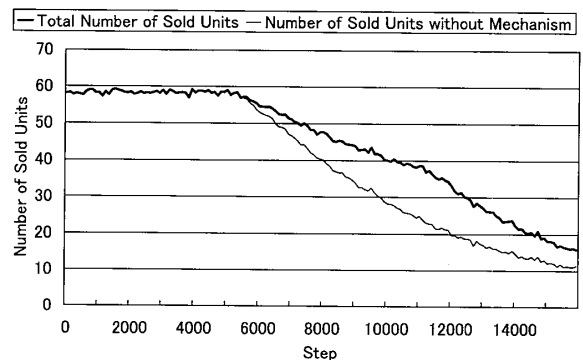


図 9 設定 ($a = 0.64$, $b = 0.2$) における総合配分率とメカニズム非利用配分率のステップごとの変化

Fig. 9 Total number of sold units and number of sold units without mechanism in setting ($a = 0.64$, $b = 0.2$).

はユニット間の評価値の分布に偏りがないため、メカニズムが利用される機会があまり存在しない。したがって、メカニズムを利用しない配分形態が維持され、

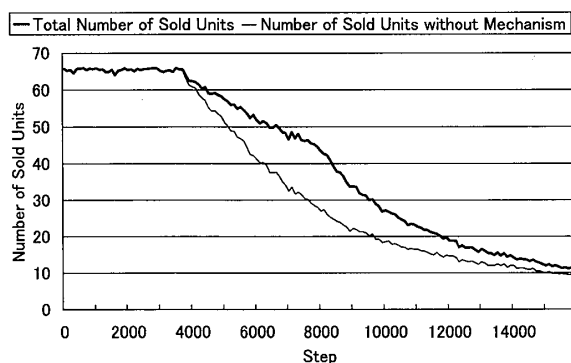


図 10 設定 ($a = 0.64$, $b = 0.3$) における総合配分数とメカニズム非利用配分数のステップごとの変化

Fig. 10 Total number of sold units and number of sold units without mechanism in setting ($a = 0.64$, $b = 0.3$).

14,000 ステップあたりまでで 8,000 ユニットのほとんどが配分され、最終的に配分数が 0 付近になることが確認できる。

次に $b = 0.1 \sim 0.3$ の図 8～図 10 のグラフについてであるが、これらのケースは、評価値の分布の偏りが大きく評価値が大きい特定のユニットが存在する状況であるので、ステップの初期の段階からユニットの総合配分率が $b = 0$ の場合と比べて高い値で推移している。そして、高評価値のユニットが配分し終わったあたりのステップからメカニズムを利用した配分が行われていることが分かる。その後メカニズムを利用した配分が継続するが、次第にプレミアムを受け入れて移譲することで余剰が増加する顧客が減少し、メカニズムを利用した配分もあまり行われなくなっていくことが分かる。 $b = 0.1$ の場合は、もし実験設定より多くの顧客エージェントが訪れたら更に配分数を増加できる余地があることが予想されるが、 $b = 0.3$ の場合はこれ以上顧客が訪れてもあまり増加の余地がないことが分かる。

5.3 結果 3

次にメカニズムの導入/非導入による余剰の変化について調べてみる。まず、図 11 は提供者の余剰について、それぞれの設定においてメカニズム導入時と非導入時について比をとったものである。提供者の余剰はユニットの総合配分数に比例するので図 4 と同様の結果となっている。提供者エージェントはメカニズムの導入によってその余剰を増加させることができることが示されている。どの程度増加するかは評価値の分布に依存するが、平均的な評価値の分布を仮定した場合の顧客の余剰の増加がメカニズム導入のコストを上

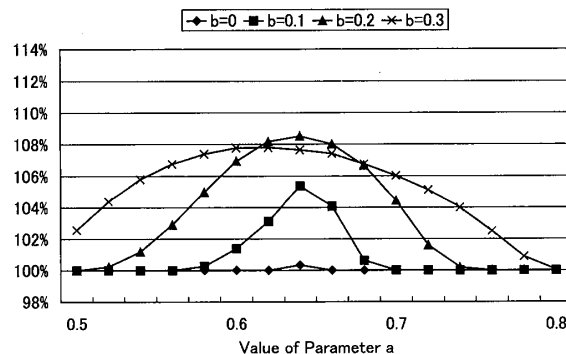


図 11 メカニズム導入時/非導入時における提供者エージェントの余剰の変化

Fig. 11 Ratios of supplier surplus with/without mechanism.

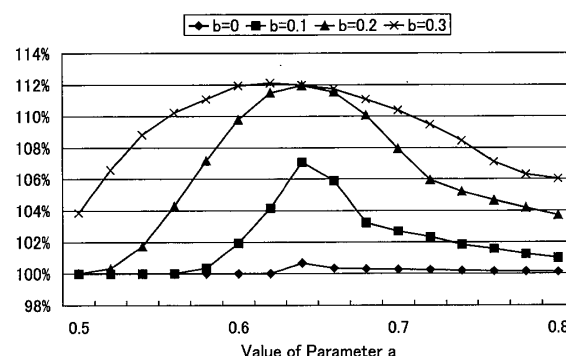


図 12 メカニズム導入時/非導入時における顧客エージェントの余剰の変化

Fig. 12 Ratios of customer surplus with/without mechanism.

回ると判断できれば、顧客にとってメカニズムを導入するメリットは十分にあると考えられる。

図 12 は顧客の余剰についてメカニズム導入時と非導入時の比をとったものである。顧客の余剰は配分されたユニットそれぞれの評価値の合計で決定されるが、評価値よりも配分数の効果が大きいと推測され、図 4 と同様の傾向を示していると理解できる。つまり、顧客の余剰の増加については、割り当てられた評価値そのものが増加しているというよりは、配分数が増加している影響が大きい。ただし、 a の値が大きいケースでは評価値の増加分も寄与していると思われる。

図 13 は顧客と提供者の余剰を合計した社会的余剰の比である。社会的余剰も図 11, 図 12 と同様の傾向になっている。ここで重要なのは、 a や b の設定にかかわらずメカニズムを導入した際の提供者、顧客、社会的余剰が非導入の場合よりも増加しており、特に $a = 0.64$ あたりの社会的余剰は最高で約 9% も増加していることである。つまり、顧客、提供者、社会的余剰それぞれの立場から見てもメカニズムの導入には十

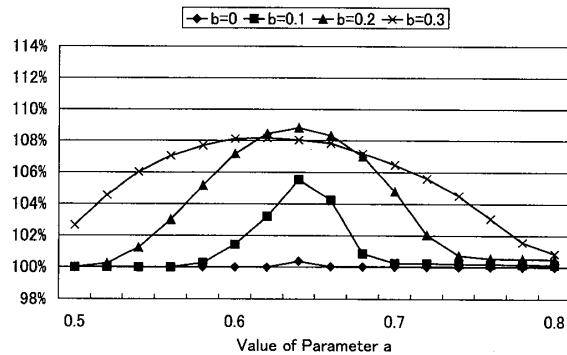


図 13 メカニズム導入時/非導入時における社会的余剰の変化

Fig. 13 Ratios of social surplus with/without mechanism.

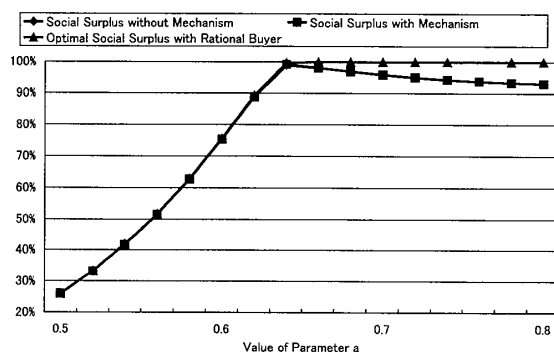


図 14 設定 $b = 0$ における最適社会的余剰との比較
Fig. 14 Comparison with optimal social surplus and simulation results in setting $b = 0$.

分に検討の余地があり、最悪のケースでも導入前後で効果が見られないだけで余剰を悪化させることはないことが示された。

また、図 13 のデータより、今回のプレミアムを固定した場合の各設定での社会的余剰の比の平均値は約 2.58% になる。同様の設定下でプレミアムを固定しない場合の社会的余剰の比の平均値は約 7.03% であることと比較して [5]、プレミアムを固定したことで達成できる社会的余剰は固定しない場合の 36.7% 程度であることが分かる。

5.4 結果 4

ここでは、メカニズムの導入/非導入によって達成された社会的余剰が最適なユニット配分によって達成される社会的余剰と比較してどの程度の差があるか比較を行う。

図 14～図 17 で示されたグラフは、16,000 人の顧客エージェントが同時に訪れたものとし、個々の顧客の余剰が正になるかどうかは無視して 8,000 のユニットを最適に割り当てた際の社会的余剰を整数計画法に

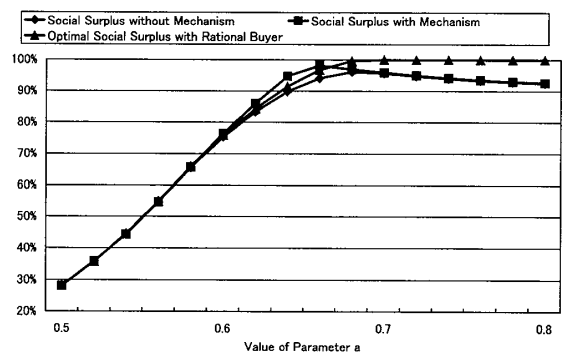


図 15 設定 $b = 0.1$ における最適社会的余剰との比較
Fig. 15 Comparison with optimal social surplus and simulation results in setting $b = 0.1$.

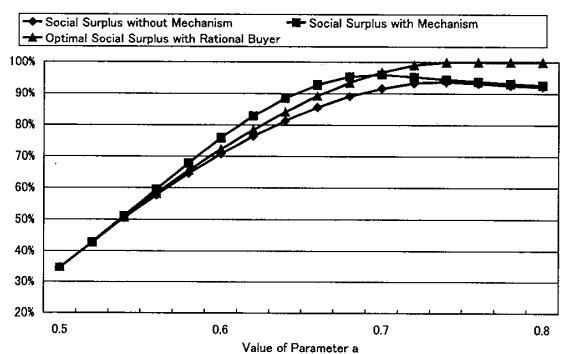


図 16 設定 $b = 0.2$ における最適社会的余剰との比較
Fig. 16 Comparison with optimal social surplus and simulation results in setting $b = 0.2$.

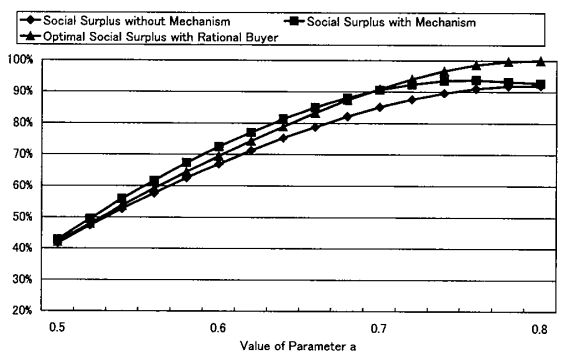


図 17 設定 $b = 0.3$ における最適社会的余剰との比較
Fig. 17 Comparison with optimal social surplus and simulation results in setting $b = 0.3$.

よって求め、その値を 100% として作成したものである。各プロットは、メカニズム導入時の社会的余剰、非導入時の社会的余剰、及び顧客エージェントの余剰が正となるものに限定して整数計画法で最適ユニット配分を求めた場合の社会的余剰を表している。便宜上、顧客の余剰の正負を無視して達成した最適配分を社会的最適配分、正の余剰のみのユニットで達成した最適配分を顧客最適配分と呼ぶこととする。社会的最適配

分の社会的余剰は与えられた評価値の分布において達成できる最大値であり、各結果がこの値を超えることはない。

まず顧客最適配分についてであるが、どの b の設定においても a の値がある大きさ以上になると社会的最適配分の結果と同様の結果である 100% に到達している。顧客最適配分では、評価値が価格を上回ったユニットのみで配分を行うため、 a の値が小さく配分対象となるユニットが少ない場合は社会的最適配分の結果と乖離するが、 a の値が大きくなるに連れて社会的最適配分の社会的余剰に接近していることが分かる。しかし、 $b = 0, 0.1$ の場合において顕著であるが、顧客最適配分と傾向が違うのは、社会的余剰の比がピークとなる $a = 0.64$ あたりを過ぎて a が大きくなると、ピーク時よりわずかに社会的余剰が減少していくことである。

メカニズムの導入/非導入時の結果を見てみると、顧客最適配分と同様に a の値が小さいときには各顧客エージェントの評価値がユニットの価格より大きくなる場合が少ないため、社会的最適配分とは大きく乖離しているが、 a の値が大きくなるに連れて社会的最適配分の社会的余剰に接近していることが分かる。しかし、 $b = 0, 0.1$ の場合において顕著であるが、顧客最適配分と傾向が違うのは、社会的余剰の比がピークとなる $a = 0.64$ あたりを過ぎて a が大きくなると、ピーク時よりわずかに社会的余剰が減少していくことである。

これは、 $a = 0.64$ を過ぎるに従ってメカニズム導入/非導入時の場合では早期にすべてのユニットが配分されてしまい、後半に訪れるより高い評価値をもった顧客にユニットを割り当てる機会がなくなってしまうことによる。社会的最適配分、若しくは顧客最適配分の場合はすべての顧客エージェントの順番は考慮しないので分布の中から評価値が高いものを割り当てればよいが、順番による制約がある場合にはより後半に高い評価値をもつ顧客が訪れたとしてもユニットを配分することはできないからである。

また、これらの結果で特筆すべきは、メカニズム導入時において顧客最適配分を上回る社会的余剰を達成するケースがあるということである。顧客最適配分では、ユニットに対する評価値が価格を超えるもののみしか配分の対象にならない。しかし、メカニズム導入時の配分では、評価値がプレミアムを上乘せした価格を超えるユニットと評価値がプレミアムを差し引いた価格を超えるユニット間でプレミアムをやり取りすることにより、顧客最適配分よりも多いユニット配分数を達成できることになる。非同時性の特徴から顧客にプレミアムを出させることの誘因を引き出し、顧客を一同に集めてオークションなどを実施するよりも社

会的余剰を大きくできるということは、メカニズムを導入することの大きなメリットの一つであると考えられる。

5.5 結果 5

最後の実験として、メカニズム導入の効果が最も大きかった $a = 0.64$, $b = 0.3$ の設定についてプレミアムの設定が各余剰にどのように影響を与えるのかについて調べる。図 18～図 20 はそれぞれプレミアムを

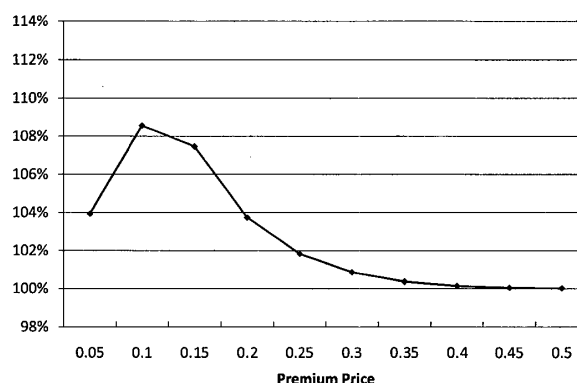


図 18 プレミアムと提供者エージェントの余剰の変化
Fig. 18 Premium price and ratios of supplier surplus.

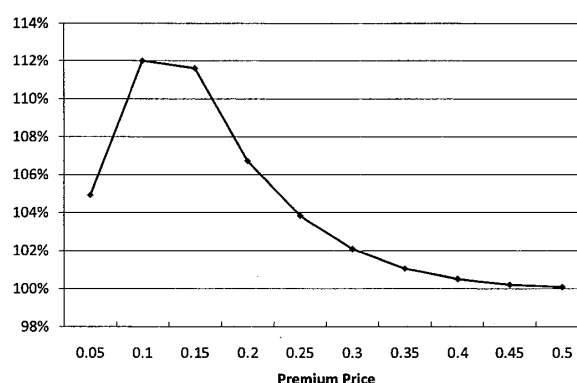


図 19 プレミアムと顧客エージェントの余剰の変化
Fig. 19 Premium price and customer surplus.

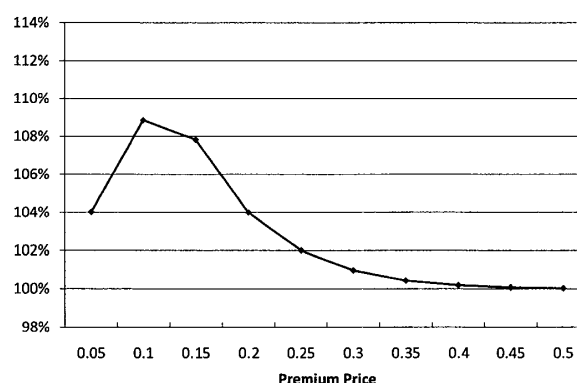


図 20 プレミアムと社会的余剰の変化
Fig. 20 Premium price and ratios of social surplus.

0.05~0.5 の間で 0.05 刻みで変化させた場合のメカニズム導入/非導入による提供者、顧客、社会的余剰のグラフである。それぞれのグラフにおける余剰はプレミアムが 0.1 のときに最大値をとる上に凸な形状をしている。

メカニズムの特徴として、プレミアムが低すぎればユニットを移譲するメリットが薄れ、またプレミアムが高すぎれば余分な支払いを行ってまでユニットを入手するメリットがなくなってしまうので、適切なプレミアムを設定することは重要な課題である。このような観点から実験結果を見た場合、プレミアムと余剰との関係について二つの望ましい点があると思われる。

まず一つ目は、提供者、顧客、社会的余剰がどれも同様の傾向を示しており、かつ最大値を示すプレミアムが同じであるという点である。このメカニズムの実用化を考えた場合、プレミアムの決定権は提供者にあると考えられ、提供者は自己の余剰を最大化するように決定すると考えるのが自然である。実験結果より提供者が自己の余剰を最大化したときに社会的余剰も最大化されていることから、提供者のみにプレミアム決定権が与えられたとしても全体として望ましい状況を実現できると期待できる。

二つ目は、提供者の余剰が上に凸であり、最大値の探索が容易に行えることが期待できる点である。このメカニズムを実用化する場合、顧客の評価値の分布は未知であり、その調査は容易に行えないことが予想される。提供者はそのような状況下でプレミアムを決定する必要があるが、試行錯誤による山登り的な探索でも最大化を実現しやすいと期待できることは大きなメリットである。

プレミアムを移譲の頻度などに応じて動的・適応的に設定する方法も考えられるが、そのような手法を導入した場合には初期に訪れた顧客と後に訪れた顧客の間では状況が変化するので、どのタイミングで訪れたら得になるかといった新たな戦略が発生してしまうおそれもある。プレミアムの設定に関しては今後も検討する必要がある。

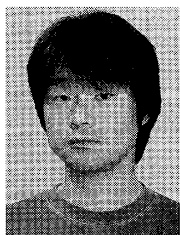
6. む す び

本論文では、非同時的に訪れる顧客に予約を配分・調整する顧客主導型予約配分メカニズムにおいて、プレミアムを固定することで顧客の意思決定を簡便化可能であること、及びシミュレーションによりその効果を検証した。

プレミアムを固定するというアイデアはシンプルであるが、顧客主導型予約調整メカニズムを実用化するという観点から見た場合 [10]、一定の有効性は保持したままで手続きを簡便化しつつも不正を招きにくい構造に変革できた。また、プレミアムが固定化されているということから、予約の入手時に移譲を受ける余地があるかどうかの意思確認をとっておくことも可能となり、運用面から見ても全体の手続きを簡便化することができると思われる。

文 献

- [1] P. Klemperer, "Auction theory: A guide to the literature," J. Economic Surveys, vol.13, pp.227-286, 1999.
 - [2] V. Krishna, Auction Theory, Academic Press, 2003.
 - [3] 松井知己, 渡辺隆裕, "オークションの設計理論と数理計画," 日本 OR 学会第 49 回シンポジウム「数理計画における理論と実装」, pp.7-12, 2002.
 - [4] J.I. McGill and C.J.V. Ryzin, "Revenue management: Research overview and prospects," Transportation Science, vol.33, no.2, pp.233-256, 1999.
 - [5] H. Kawamura, M. Yamamoto, and A. Ohuchi, "Multiagent simulation of customer-driven reservation adjustment mechanism," Proc. 9th Japan and Australia Joint Workshop on Intelligent and Evolutionary Systems 2005, CD-ROM, 2005.
 - [6] K. Kurumatani, "User intention market for multiagent navigation — An artificial intelligent problem in engineering and economic context," AAAI2002 Workshop on Multiagent Modelling and Simulation of Economic Systems, pp.1-4, 2002.
 - [7] M.P. Wellman and W.E. Walsh, "Auction protocols for decentralized scheduling," Games and Economic Behavior, vol.35, pp.271-303, 2001.
 - [8] M.P. Wellman, "A market-oriented programming environment and its application to distributed multi-commodity flow problems," J. Artificial Intelligence Research, vol.1, pp.1-22, 1993.
 - [9] G. Gallego and G.V. Ryzin, "Optimal dynamic pricing of inventories with stochastic demand over finite horizons," Manage. Sci., vol.40, pp.999-1020, 1994.
 - [10] 佐藤博信, 村上 仁, 川村秀憲, 山本雅人, 大内 東, "顧客主導型予約調整メカニズムによる新電子予約システムの開発," 観光情報学会誌, vol.1, no.1, pp.64-70, 2005.
- (平成 18 年 11 月 30 日受付, 19 年 3 月 5 日再受付)



川村 秀憲 (正員)

1996 北大・工・情報工学卒，2000 同大大学院工学研究科博士後期課程期間短縮了。同年同大学院工学研究科助手。2004 同大学院情報科学研究科助手，2006 同助教授，現在に至る。飛行船ロボット，マルチエージェントシステム，複雑系工学，観光情報学等の研究に従事。博士（工学）。情報処理学会，人工知能学会，日本オペレーションズ・リサーチ学会，観光情報学会各会員。



大内 東

1968 北大・工・応用物理卒，1974 同大大学院工学研究科博士後期課程了。同年，同大学工学部助手，助教授，1989 同大学大学院工学研究科教授。2004 同大学大学院情報科学研究科教授，現在に至る。飛行船ロボット，DNA コンピューティング，マルチエージェントシステム，医療システムなどの研究に従事。工博。情報処理学会，日本オペレーションズ・リサーチ学会，医療情報学会，観光情報学会各会員。