

行動主体の意思決定を考慮した製造業による会員型サービスの分析

03100974 奥田啓介
指導教員 西野成昭 准教授

1. 背景、目的

近年、経済のグローバル化、過酷な価格競争、情報技術の発展、生活様式の多様化といった様々な影響を受け、製造業のサービス化が進んでいる。製造業のサービス化は主に、製品の販売を容易にするため、顧客との関係を維持するため、成熟した市場で成長機会を作るため[1]なされており、具体例としてコピー機のメンテナンスサービス、航空機のエンジンレンタルサービス、カーシェアリングを挙げることが出来る。カーシェアリングに着目すると、近年我が国のカーシェアリングの会員数は増加している(2002年:50人→2011年:73224人)[2]。カーシェアリングは一般に会員登録をすることで利用できるようになり、利用した分だけ使用料を支払うサービスであるため、会員型サービスに分類することができる。今後カーシェアリングのような製造業の会員型サービスが増加することが予想されるが、人間の意思決定を考慮した製造業の会員型サービスの分析は十分にはなされていない。そこで本研究では人間の意思決定を考慮し、製造業における会員型サービスの有効性を検証することを目的とする。

2. 製造業の3つの基本モデルの構築

まず、製造業元来の物を造るという性質に着目し、本研究における製造業の会員型サービスを以下のように定義する。

製品の製造者をサービス提供者とし、会員契約を結ぶことで初めて利用出来るようになるサービスであり、製品自体に対価を支払わず、製品がもたらす機能に対価を支払うという仕組みのサービス次に、製造業における会員型サービスの比較対象として、以下の二つのモデルを定義する。

①従来の製品販売

②製造業の非会員型サービス

先ほど定義した製造業の会員型サービスを③とし、これら3つの製造業の基本モデルのモデル化を行う。なお、全てのモデルは正規化して考える。以下 r, A といった記号に添え字 $i = \{1, 2, \dots\}$ を、 P, F といった記号に添え字 $j = \{1, 2, 3\}$ を使用するが、 i は各モデルの消費者を表し、 j は各モデルの番号を表すインデックスである。

2.1. モデルの基本構造

2.2.1. 製造者

各モデルには製造者が一人存在する。製造者は提供する製品の機能、製品の価格やサービスに関する価格を、自身の利益の最大化を目的として決める。なお、製品を造る際にはコストがかかるとし、製品一つの製造コストは式(2.1)のように定式化される。

$$C(F) = \alpha F^2 \quad (2.1)$$

ただし、 α は製品の生産コストに関わる技術係数、 F は製品の機能である。

2.2.2. 消費者

各モデルには複数人の消費者がいる。各消費者は自身の効用の最大化を目的とし、製造者が提供する製品やサービスの購入や利用の意思決定を行う。なお、消費者の効用は各消費者が持っている、製品またはサービスを利用した時間に応じて変化する、その時点で製品またはサービスに対して支払ってもよいと考える最大額である留保価格の関数に基づき決まる。各消費者の留保価格の関数は式(2.2)のように定式化される。

$$r_i = -A_i t + \sqrt{F} \quad (i = 1, 2, \dots) \quad (2.2)$$

ただし、 A_i は消費者 i の限界効用、 t は時間を表す。消費者の限界効用 A_i は各消費者のタイプを表す変数 θ_i を用いて式(2.3)のように表される。

$$A_i = \frac{1}{1 - \theta_i} \quad (\theta_i \in [0, 1]) \quad (2.3)$$

2.3. モデル1: 従来の製品販売

製造者は自身の利益 Π_1 の最大化を目的とし、提供する製品の機能 F_1 と価格 p_1 を決める。消費者は提供される製品の購入の意思決定をする。 $[0, \theta_k]$ の範囲の消費者が購入する時、製造者の利益と消費者の効用はそれぞれ式(2.5), (2.6)のようになる。

$$\text{製造者の利益: } \Pi_1(p_1, F_1) = \theta_k p_1 - \theta_k C(F_1) \quad (2.5)$$

$$\text{消費者の効用: } U_i = \begin{cases} \int_0^{t_i} r_i dt - p_1 & (\text{if purchase}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2.6)$$

2.4. モデル2: 製造業の非会員型サービス

製造者は自身の利益 Π_2 の最大化を目的とし、提供するサービスに用いる製品の機能 F_2 と消費者がサービスを単位時間当たりの利用料金(以後、サービス価格とする) p_2 を決め、消費者はサービス利用時間の意思決定をする。また、製造者がサービスを提供する時に必要となる製品の個数は必ずしもサービス利用者数と等しいわけではなく、 $[0, \theta_k]$ の範囲の消費者がサービスを利用する時、式(2.7)で表される。

$$q = \frac{\int_0^{\theta_k} (t_i) d\theta}{t_0} \quad (2.7)$$

この時製造者の利益と消費者の効用は式(2.8), (2.9)

のようになる。

製造者の利益:

$$\Pi_2(p_2, F_2) = \int_0^{\theta_k} \left(\int_0^t p_2 dt \right) dt - C(F_2)q \quad (2.8)$$

$$\text{消費者の効用: } U_i(t) = \int_0^t (r_i(t) - p_2) dt \quad (2.9)$$

2.5. モデル 3: 製造業の会員型サービス

モデル 2 との違いは製造者が入会価格 f を決定する点である。製造者の利益、消費者の効用は式(2.10), (2.11) のようになる。

製造者の利益:

$$\Pi_3(p_3, F_3, f) = \int_0^{\theta_k} \left(\int_0^t p_3 dt \right) dt + \theta_k f - C(F_3)q \quad (2.10)$$

消費者の効用:

$$U_i(t) = \begin{cases} \int_0^t (r_i - p_3) dt - f & (\text{if enter}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2.11)$$

3. 完備情報下の均衡分析

2章で構築した 3 つの基本モデルの均衡解を求める。各モデルで $\max \Pi_j \text{ s.t. } \forall i U_i \geq 0$ を解くと表 1 が得られる。

表 1 全モデルの製造者の利益

	モデル 1	モデル 2	モデル 3
製造者の利益 Π	$\frac{1}{108\alpha}$	$\frac{9}{128} \left(\frac{t_0}{4\alpha} \right)^{\frac{2}{3}}$	$\frac{1}{12} \left(\frac{t_0}{4\alpha} \right)^{\frac{2}{3}}$

各モデルの製造者の利益を製品の生産に関わる技術係数 α の値に応じて場合分けすると式(3.1)が得られる。

$$\begin{aligned} \cdot \Pi_3 > \Pi_2 \geq \Pi_1 & \text{ if } \frac{16 \cdot 32^3}{243^3 t_0^2} \leq \alpha \\ \cdot \Pi_3 \geq \Pi_1 > \Pi_2 & \text{ if } \frac{16}{729 t_0^2} \leq \alpha < \frac{16 \cdot 32^3}{243^3 t_0^2} \\ \cdot \Pi_1 > \Pi_3 > \Pi_2 & \text{ if } \alpha < \frac{16}{729 t_0^2} \end{aligned} \quad (3.1)$$

式(3.1)より、製造業は製品の生産コストに関わる技術係数 α が大きければサービス化した方が良く、小さければサービス化しないほうが良いという結果が得られた。

4. 不完備情報下における被験者実験を用いた行動主体の意思決定分析

被験者実験から観察された行動をそのまま再現するようなエージェントを構築し、そのエージェントから構成されるマルチエージェントシステムの挙動を調べるために、本章で被験者実験を行い、消費者の持つ行動計画を戦略として導き出し、5章でマルチエージェントシミュレーションを行う。本実験のパラメータ設定における理論解と被験者実験の結果を表2に示す。

表 2 理論解と被験者実験の結果 (製造者の利益)

	モデル1	モデル2	モデル3
理論解	120	117	150
被験者実験	84	98	98

各モデルの製造者の利益の理論解と被験者実験の結果を比較するとモデル 1 では理論解の 70%、モデル 2 では理論解の約 84%、モデル 3 では理論解の約 65% の実験結果となっている。このことから、製造者の利益で比較すると、モデル 2 が一番安定しており、次いでモデル 1, 3 の順に安定していると言える。

そして、本実験から観察された消費者の行動から以下の 4 つの戦略を導き出した。

戦略 1: 合理的に意思決定を行う戦略

戦略 2: 得られる効用を知っている組み合わせのみ合理的に意思決定する戦略

戦略 3: 得られる効用が閾値よりも大きな組み合わせのみ購入する戦略

戦略 4: 得られる効用が閾値よりも大きいと知っている組み合わせのみ購入する戦略

5. 不完備情報下における行動主体の意思決定を考慮したマルチエージェントシミュレーション

本章では製造者を Q 学習に基づき強化学習をする学習器エージェントとし、その学習器エージェント 1 人と 4 章で導き出した戦略をもつ消費者エージェント 100 人から構成されるマルチエージェントシステムの挙動を観察した。被験者実験の結果を導入したシミュレーションの結果を表 3 に示す。

表 3 理論解と被験者実験の結果を考慮したシミュレーション収束解 (製造者の利益)

	モデル1	モデル2	モデル3
理論解	56.8	73.5	81.8
収束解	52.4	73.5	80.3

理論解における製造者の利益はモデル 3 > モデル 2 > モデル 1 であるが、被験者実験の結果を考慮したマルチエージェントシミュレーションの収束解における製造者の利益もモデル 3 > モデル 2 > モデル 1 となった。このことと表 3 の結果より、実際の人間が意思決定すると理論解よりも得られる利益は小さくなることに注意しなければならないが、製造者は会員型サービスを導入することで利益を向上させることができるということが分かった。

参考文献

- 1) Datta, P.P. Roy, R., 2010, Cost Modelling Techniques for Availability type service support contracts: a Literature Review and Empirical Study, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 3, No.2, pp. 142-157
- 2) 交通エコロジー・モビリティ財団. わが国のカーシェアリング車両台数と会員数の推移, http://www.ecomo.or.jp/environment/carshare/carshare_graph2011.1.html