

マルチプラットフォームのある市場での意思決定

大阪府立大学大学院 理学系研究科 情報数理科学専攻
橋本 哲志 北條 仁志

Satoshi Hashimoto Hitoshi Hohjo
Department of Mathematics and Information Sciences,
Graduate School of Science,
Osaka Prefecture University

1 はじめに

インターネット環境の普及により Amazon や楽天などインターネットを介しての取引が注目されている。このような取引が行われる市場は両面性市場とよばれている。両面性市場とは、買い手と売り手というそれぞれ相手がいないと取引が成立しないような2つのグループが存在し、楽天、Amazon のような仲介者(プラットフォーム)を介して取引する市場であり、通常はそれらを使用することにより大きな利益を得ることができる。このような相互関係が起こることにより市場全体にネットワーク外部性を生み出す市場である。このことから両面性市場において重要な事柄はネットワーク外部性である。ネットワーク外部性とは、同じサービスを消費する人または消費する量が多ければ多いほど、自分がそのサービスを消費する際の効用が高まる効果(バンドワゴン効果ともいう)であり、Leibenstein[7]によって提案された。

学術面では、Rochet et.al.[9]を先駆けとして両面性市場の研究は行われてきた。Rochet et.al.[9]は、クレジットカード市場においてプラットフォームで取引を行うことによって経済価値が生まれるモデルを提案した。そのときの買い手側と売り手側に課す料金はそれぞれの価格弾力性の比によって決まり、弾力性が大きいほど課す料金を引き下げなければならないことを示した。また、両面性市場における買い手や売り手の数に着目し、ネットワーク外部性を明示的に導入したのがArmstrong[1]である。Armstrong[1]は売り手と買い手のグループの効用を利用者数の関数として表し、最適価格は価格弾力性が十分大きいか、もしくはネットワーク外部性が大きいときには限界費用より小さくなることを示した。そしてChang et.al.[2]はArmstrongのモデルにHotellingモデル[5]を導入し、市場に2つのプラットフォームが存在する複占市場を考え、買い手側では物理空間で差別化し、売り手側では特徴空間で差別化するモデルを提案した。

本稿は、Chang et.al.[2]のモデルをもとに、2つのプラットフォームのある両面性市場において合理的に行動する人に非合理的に行動する人を加えたより現実に近いモデルを提案し、プラットフォームの使用料に関する均衡価格について考察する。本稿において合理的であるとは、効用に基づき行動を判断することを指し、それ以外の判断による行動は非合理的であるという。

2 仮定と表記

本稿では、プラットフォームを介してのみ製品を売買できる市場を考える。以下の仮定の下で、各プラットフォームの使用料のナッシュ均衡価格を考える。

仮定

1. プラットフォームは A, B の 2 種類あり, それらは競合状態にある.
2. 市場には 2 種類の製品が提供されており, それらを製品 1, 製品 2 とする.
3. 買い手は製品 1 から 1 つ, 製品 2 から 1 つの計 2 つの製品を購入する.
4. 効用をもとに行動する合理的な買い手と, 効用を考えずに行動する非合理的な買い手が存在する.
5. プラットフォームは製品の品質について優位性があり, 製品 1 についてはプラットフォーム A の方が品質が優れた製品を扱い, 製品 2 についてはプラットフォーム B の方が品質が優れた製品を扱っているものとする.
6. プラットフォーム A または B しか使用できない買い手と両方のプラットフォームを使用できる買い手が存在する. プラットフォームを両方使用できる買い手の行動には, A で製品 1 を購入し, B で製品 2 を購入するパターンと, A で製品 1 と製品 2 をまとめて購入するパターン, B で製品 1 と製品 2 をまとめて購入するパターンの 3 通り存在する.
7. プラットフォームを 1 つしか使用できない買い手とプラットフォームを 2 つ使用できる買い手の割合は $q : (1 - q)$ で与えられる. また, プラットフォームを両方使用できる買い手の中で, 両方を使用して購入する買い手と製品をまとめて購入する買い手の割合は $s : (1 - s)$ で与えられており, 製品をまとめて購入する買い手の中で, プラットフォーム A を利用する人とプラットフォーム B を利用する人の割合は $u : (1 - u)$ で与えられる.
8. 買い手側の各プラットフォームは縦軸が嗜好, 横軸を利便性とした空間 $[0, 1] \times [0, 1]$ 内に立地している.
9. プラットフォームが 1 つしか使用できない合理的な買い手は空間 $[0, 1] \times [0, 1]$ 上に一様に分布している.
10. 空間内においてプラットフォーム A は $[0, \frac{1}{2}] \times [0, \frac{1}{2}]$, プラットフォーム B は $[\frac{1}{2}, 1] \times [\frac{1}{2}, 1]$ の範囲内に位置する.
11. 売り手は横軸を機能性とした特徴空間 $[0, 1]$ 上に一様に分布している.
12. 売り手側のプラットフォームは両端に位置している.
13. 売り手は, すべての買い手が合理的に行動すると仮定してプラットフォーム A を使うか, プラットフォーム B を使うかを決める.
14. 売り手の行動は各プラットフォームに対する効用で判断し, 合理的であるとする.
15. 売り手および買い手全体の人数をそれぞれ 1 とする.

本モデルでは以下の記号を用いて定式化を行う.

記号

$i = A, B$ に対して

- μ_b^i : プラットフォーム i を利用する買い手の効用
- μ_s^i : プラットフォーム i を利用する売り手の効用
- n_b^i : プラットフォームを 1 つしか使用できず, 合理的に行動する買い手の割合
- n_s^i : プラットフォーム i を利用する売り手の数
- p_b^i : プラットフォーム i で購入するときにかかる買い手の使用料
- p_s^i : プラットフォーム i でかかる売り手の使用料
- α : 買い手側のプラットフォームのネットワーク外部性
- β : 売り手側のプラットフォームのネットワーク外部性
- x_i : プラットフォーム i における製品 1 の性質に関する位置

- y_i : プラットフォーム i における製品 2 の性質に関する位置
- q : 買い手のうちプラットフォームを 1 つしか使用できない人の割合
- s : 買い手のうちプラットフォームを複数使用でき、A, B 両方使用する人の割合
- u : 買い手のうちプラットフォームを複数使用できるが、A のみを使用する人の割合
- t : 買い手の製品に対する不効用
- r : 売り手側のプラットフォームに対する不効用
- d^i : 売り手側がプラットフォーム i に対して感じる機能性の差異

我々の問題は、プラットフォームの立場から利得最大化の基準のもとで最適な使用料を決定することである。

3 モデルの定式化

本研究では、プラットフォームを利用する買い手のグループの中に合理的に行動する人と非合理的に行動する人が存在するモデルを扱う。そのため、モデルの解析にあたって合理的行動者と非合理的行動者を別々に考えて定式化していく必要性がある。

3.1 合理的に行動する人数の導出

Armstrong[1] にならって買い手および売り手の効用関数を導出していく。 $\tilde{n}_b^A, \tilde{n}_b^B$ を買い手全体を効用による判断で合理的に行動するとみなした時にプラットフォーム A, B それぞれを使用する人数とする。買い手と売り手の効用は、ネットワーク外部性に人数をかけたものから使用料やプラットフォームに対する不効用を引いたもので与えられる。それゆえ、 $[0, 1] \times [0, 1]$ 上の位置 (x, y) にいる買い手のプラットフォーム i に対する効用関数を

$$\mu_b^i(x, y) = \alpha n_s^i - p_b^i - t(x - x_i)^2 - t(y - y_i)^2 \quad (1)$$

と定義する。同様に、 $[0, 1]$ 上の位置 z にいる売り手のプラットフォーム i に対する効用関数を

$$\mu_s^i(z) = \beta \tilde{n}_b^i - p_s^i - r d^i \quad (2)$$

で定義する。ここで、

$$d^i = \begin{cases} z, & i = A \\ 1 - z, & i = B \end{cases} \quad (3)$$

である。これらの関係から実際に合理的に行動する買い手の割合を求める。仮定 $x_A \leq x_B, y_A < y_B$ の下で、買い手市場の限界需要直線は (1) 式より

$$\begin{aligned} y &= y(x) \\ &= -\frac{x_A - x_B}{y_A - y_B}x + \frac{(x_A - x_B)(x_A + x_B) + (y_A - y_B)(y_A + y_B)}{2(y_A - y_B)} \\ &\quad - \frac{\alpha(n_s^A - n_s^B) - (p_b^A - p_b^B)}{2t(y_A - y_B)} \end{aligned} \quad (4)$$

となる。

今, $0 \leq y(0) \leq 1$ かつ $0 \leq y(1) \leq 1$ を満たすと仮定する. 他のケースでも同様に議論を扱える. このとき, 合理的に行動する買い手の中でプラットフォーム A およびプラットフォーム B を使用する割合はそれぞれ

$$n_b^A = \frac{(x_A - x_B)(x_A + x_B) + (y_A - y_B)(y_A + y_B) - (x_A - x_B)}{2(y_A - y_B)} - \frac{\alpha(n_s^A - n_s^B) - (p_b^A - p_b^B)}{2t(y_A - y_B)} \quad (5)$$

$$n_b^B = 1 - n_b^A \quad (6)$$

と求まる.

次に売り手の人数を求める. 売り手側ではプラットフォームは数直線上の両端に位置していることから, $d^A + d^B = 1$ である. また, プラットフォーム A を利用する売り手の数は d^A の値と等しくなるので, (2) 式より

$$n_s^A = \frac{1}{2} + \frac{\beta(\tilde{n}_b^A - \tilde{n}_b^B) - (p_s^A - p_s^B)}{2r} \quad (7)$$

$$n_s^B = 1 - n_s^A \quad (8)$$

と求まる.

本モデルでは, 合理的に行動する買い手と非合理的に行動する買い手が存在するが, 仮定より売り手はすべての買い手が合理的であると考えて行動する. それゆえ, $\tilde{n}_b^A, \tilde{n}_b^B$ を n_b^A, n_b^B と同一視して行動する. したがって, (5)-(8) 式より, $\Delta p_b = p_b^A - p_b^B, \Delta p_s = p_s^A - p_s^B, \Delta x = x_A - x_B, \Delta y = y_A - y_B, X = \Delta x(x_A + x_B) + \Delta y(y_A + y_B) - \Delta x$ とおくと, 合理的に行動する場合の割合が次のように求まる.

$$n_b^A = \frac{trX + \alpha\beta + r\Delta p_b + \alpha\Delta p_s}{2(tr\Delta y + \alpha\beta)} \quad (9)$$

$$n_b^B = 1 - n_b^A \quad (10)$$

$$n_s^A = \frac{1}{2} + \frac{\beta tX - \beta t\Delta y + \beta\Delta p_b - t\Delta y\Delta p_s}{2(tr\Delta y + \alpha\beta)} \quad (11)$$

$$n_s^B = 1 - n_s^A \quad (12)$$

仮定 15 より売り手および買い手の総人数は 1 であるので, プラットフォーム A, B をそれぞれ利用する売り手側の利用者数は n_s^A, n_s^B であり, 買い手側の利用者数は qn_b^A, qn_b^B と求まる.

3.2 非合理的に行動する人数の導出

次にプラットフォームを 2 つ使用することができる買い手を考える. 非合理的に行動する人は効用が判断基準ではなく, 2 節で与えられた割合に従って存在するものとしてその人数について考える. このとき, 非合理的に行動する人の中でプラットフォーム A を利用している人は

$$s(1 - q) + u(1 - s)(1 - q) \quad (13)$$

である. また, 非合理的に行動する人の中でプラットフォーム B を利用している人は

$$s(1 - q) + (1 - u)(1 - s)(1 - q) \quad (14)$$

である.

3.3 プラットフォームの買い手の実際の利用者数の導出

実際の利用者は 3.1 節および 3.2 節で求めた合理的行動者と非合理的行動者の人数の合計となる。したがって、プラットフォーム A の実際の使用者数は

$$qn_b^A + s(1 - q) + u(1 - s)(1 - q) \quad (15)$$

となり、プラットフォーム B の実際の利用者数は

$$qn_b^B + s(1 - q) + (1 - u)(1 - s)(1 - q) \quad (16)$$

となる。

4 解析

この節では、目的関数であるプラットフォームの利得関数を定式化し、買い手および売り手に課すプラットフォームの使用料に関するナッシュ均衡価格を求める。

4.1 プラットフォームの利得関数

プラットフォームの利得は、そのプラットフォームを実際に利用している人数に依存する関数となる。前節で導出した実際の利用者数からプラットフォーム $i, i = A, B$ の利得関数 π_i は次のように与える。

$$\pi_A = p_b^A [qn_b^A + s(1 - q) + u(1 - s)(1 - q)] + p_s^A n_s^A \quad (17)$$

$$\pi_B = p_b^B [qn_b^B + s(1 - q) + (1 - u)(1 - s)(1 - q)] + p_s^B n_s^B \quad (18)$$

$\rho = s(1 - q) + u(1 - s)(1 - q)$, $\omega = u(1 - s)(1 - q)$, $\phi = tr\Delta y + \alpha\beta$ とおき、(9)–(12) 式を代入すると

$$\begin{aligned} \pi_A = & \rho p_b^A + \frac{1}{2} p_s^A + \frac{tX(qrp_b^A + \beta p_s^A) + q\alpha\beta p_b^A - t\beta\Delta y p_s^A}{2\phi} \\ & + \frac{(qrp_b^A + \beta p_s^A)\Delta p_b + (q\alpha p_b^A - t\Delta y p_s^A)\Delta p_s}{2\phi} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \pi_B = & (1 - \omega)p_b^B + \frac{1}{2} p_s^B - \frac{tX(qrp_b^B + \beta p_s^B) + q\alpha\beta p_b^B - t\beta\Delta y p_s^B}{2\phi} \\ & - \frac{(qrp_b^B + \beta p_s^B)\Delta p_b + (q\alpha p_b^B - t\Delta y p_s^B)\Delta p_s}{2\phi} \end{aligned} \quad (20)$$

を得る。

プラットフォーム i の目的は、自身の利得関数 π_i を最大にするようなプラットフォームの使用料に対するナッシュ均衡価格 $((p_b^A, p_s^A), (p_b^B, p_s^B))$ を求めることである。

4.2 均衡価格の導出

前節で導出した利得関数から均衡価格を導出する。本稿では、 $\phi < 0, 4tqr\Delta y + (q\alpha + \beta)^2 < 0$ を満たす場合のみを扱う。相手のプラットフォームの使用料が与えられているものとして、自分のプラットフォームの利得が最大になるような使用料を求める。

まず、目的関数の 1 階および 2 階の偏導関数を求めることから始める。1 階の偏導関数は

$$\frac{\partial \pi_A}{\partial p_b^A} = \rho + \frac{qtrX + q\alpha\beta + 2qrp_b^A - qrp_b^B + (q\alpha + \beta)p_s^A - q\alpha p_s^B}{2\phi} \quad (21)$$

$$\frac{\partial \pi_B}{\partial p_b^B} = 1 - \omega - \frac{qtrX + q\alpha\beta + qrp_b^A - 2qrp_b^B + q\alpha p_s^A - (q\alpha + \beta)p_s^B}{2\phi} \quad (22)$$

$$\frac{\partial \pi_A}{\partial p_s^A} = \frac{1}{2} + \frac{t\beta X - t\beta\Delta y + (q\alpha + \beta)p_b^A - \beta p_b^B - 2t\Delta y p_s^A + t\Delta y p_s^B}{2\phi} \quad (23)$$

$$\frac{\partial \pi_B}{\partial p_s^B} = \frac{1}{2} - \frac{t\beta X - t\beta\Delta y + \beta p_b^A - (q\alpha + \beta)p_b^B - t\Delta y p_s^A + 2t\Delta y p_s^B}{2\phi} \quad (24)$$

となり、2 階の偏導関数は $i = A, B$ に対して $\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial (p_b^i)^2} = \frac{qr}{\phi}$, $\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial (p_s^i)^2} = -\frac{t\Delta y}{\phi}$, $\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial p_b^i \partial p_s^i} = \frac{q\alpha + \beta}{2\phi}$ となる。仮定 $\phi < 0, 4tqr\Delta y + (q\alpha + \beta)^2 < 0$ より目的関数 π_i のヘッセ行列の 1 次および 2 次の主小行列式の値は、 $\Delta_1 = \frac{qr}{\phi} < 0, \Delta_2 = -4tqr\Delta y - (q\alpha + \beta)^2 > 0$ となり、ヘッセ行列は負定値である。ゆえに、関数 π_i が可能領域 $\{(p_b^i, p_s^i) | p_b^i \geq 0, p_s^i \geq 0\}$ の内点に最適解をもつならば、連立方程式

$$\frac{\partial \pi_A}{\partial p_b^A} = 0, \frac{\partial \pi_B}{\partial p_b^B} = 0, \frac{\partial \pi_A}{\partial p_s^A} = 0, \frac{\partial \pi_B}{\partial p_s^B} = 0 \quad (25)$$

の解が最大点となる。これを解くと

$$p_b^A = \frac{-(2q\alpha + \beta)C_2 - 3t\Delta y C_1}{(2q\alpha + \beta)(q\alpha + 2\beta) + 9qtr\Delta y} \quad (26)$$

$$p_b^B = \frac{2\{t\Delta y(\omega - \rho - 1) - \beta\}}{q} - p_b^A \quad (27)$$

$$p_s^A = \frac{3qrC_2 - (q\alpha + 2\beta)C_1}{(2q\alpha + \beta)(q\alpha + 2\beta) + 9qtr\Delta y} \quad (28)$$

$$p_s^B = 2\{(\omega - \rho - 1)\alpha + r\} - p_s^A \quad (29)$$

を得る。ここで、

$$\begin{aligned} C_1 &= 2\phi\rho + qtrX + q\alpha\beta + r\{2t\Delta y(1 - \omega + \rho) + 2\beta\} + 2q\alpha\{\alpha(1 - \omega + \rho) - r\} \\ C_2 &= \phi + t\beta X - t\beta\Delta y + \frac{2\beta\{t\Delta y(1 - \omega + \rho) + \beta\}}{q} - 2t\Delta y\{\alpha(1 - \omega + \rho) - r\} \end{aligned}$$

である。これらの組がナッシュ均衡価格となる。また、連立方程式の解の中に負の値が存在する場合には、その価格を 0 とおき、連立方程式の式の数減らして解く必要がある。

5 数値例

前節で求めた均衡結果について数値例を考える。 $(x_A, y_A) = (0.3, 0), (x_B, y_B) = (0.8, 1), s = 0.7, u = 0.5, t = 1, r = 0.5, \alpha = 0.3, \beta = 0.4$ とする。 $q = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$ に対する感度分析の結果を表 1 に与える。結果として、 q の値が増えるに従って買い手の使用料を減らし、売り手の使用料を増やすことがプラットフォームの利得の最大化につながることがわかる。また、 q の値を 0 に近づけるにつれて $p_s^B = 0$ で最適となり、プラットフォーム B を使用する売り手には使用料を課さないようにすることがよいと言える。さらに、合理的な買い手の数が少ないときには、買い手の使用料を大きく引き上げるべきであると結論づけられる。

q	p_b^A	p_b^B	p_s^A	p_s^B
0.2	5.810	5.790	0.036	0.028
0.4	2.564	2.536	0.076	0.072
0.6	1.482	1.451	0.118	0.114
0.8	0.941	0.909	0.160	0.157
1	0.616	0.584	0.201	0.199

表 1: 均衡価格

6 まとめ

本稿では、差別化した2つのプラットフォームのある両面性市場において、プラットフォームを使用する買い手側のグループに非合理的に行動する人を考慮したモデルを提案した。プラットフォームを運営する企業の立場から売り手および買い手に課すプラットフォームの使用料について利得関数の最大化基準の下でナッシュ均衡価格を導出した。

本研究では、非合理的に行動するグループの割合を定数で与えていた。しかしながら、売り手側に対して非合理的に行動する買い手がどれだけいるかという情報を与えることや、購買行動として「購入しない」という選択肢を含めることが考えられる。これらは今後の課題として残す。

参考文献

- [1] Armstrong, M. (2006) Competition in two-sided markets, *RAND Journal of the Economics* **37**, 668-691.
- [2] Chang, C.W., Y.S. Lin, H. Ohta (2013) Optimal location in two-sided markets, *Economic Modelling* **35**, 743-750.
- [3] Gabszewics, J.J. and X.Y. Wauthy (2003) The option of joint purchase in vertically differentiated markets, *Economic Theory* **22**, 817-829.
- [4] Gabszewics, J.J. and X.Y. Wauthy (2014) Vertical product differentiation and two-sided markets, *Economic Letters* **123**, 58-61.
- [5] Hotelling, H. (1929) Stability in competition, *The Economic Journal* **39**, 153, 41-57.
- [6] Katz, M. and C. Shapiro (1986) Technology adoption in the presence of network externalities, *Journal of Political Economy* **94**(4), 822-841.
- [7] Leibenstein, H. (1950) Bandwagon, Snob, and Veblen Effects in the Theory of Consumers' Demand, *The Quarterly Journal of Economics* **64**(2), 183-207.
- [8] Meagher, K.J. and K.G. Zauner (2005) Location-then-price competition with uncertain consumer tastes, *Economic Theory* **25**, 799-818.
- [9] Rochet, J.C., J. Tirole (2003) Platform competition in two-sided markets, *Journal of the European Economic Association* **1**(4), 990-1029.