# 利用者間及び利用者と電子マネー提供主体間における外部性を考慮した電子マネー規格競争の分析：Edy vs. Suica

プロフィットエンジニアリング研究　　5211F024-5　福長翔
指導教員　　大野高裕

# Analysis of Competition between Standards of Electronic Money with Externalities among Users and Subjects Offering Electronic Money Service: Edy vs. Suica

FUKUNAGA Shou

## 1. はじめに

2001 年の非接触型 IC 電子マネー Edy の発行をきっかけに多くの電子マネーが流通し，その発行数及び利用者数が増加している．一方で近年，様々な業態の企業が固有の電子マネーを発行し，規格が乱立している．電子マネー競争が激化することで，標準化及び淘汰が予想される．特に，日本初の Edy と，JR 東日本が 2005 年に発行開始した Suica は多くの人々が利用している．Edy はいち早く市場に導入され，多くの小売店で利用可能であり，全国的に加盟店及び利用者が存在する．一方，Suica は Edy に比べ後発となり，利用できる小売店は限られているが，駅等でも利用可能なことから利用者に支持されている．

一般的に，電子マネーには相互依存型外部性[1]が存在する．相互依存型外部性とは，複数主体が互いに影響を及ぼし合う性質のことである．消費者の利用が店舗での利用可能度から影響を受け，店舗も利用者の利用度を考慮しながら導入を検討する．そのため，電子マネー発行会社にとって，この外部性を考慮し，多くの利用者を確保する戦略が重要となる．

本研究では，現在利用者に認知度が高い Edy 及び Suica を対象に，電子マネー市場特有の相互依存型外部性を考慮に入れ，理論的な規格間競争モデルを構築する．そして，構築したモデルを用い，Edy 及び Suica の利用動向をシミュレーションする[2]．その結果から，各電子マネーの将来における利用状況を明らかにし，Edy，Suica の利用に外部性がどのように働くかを考察する．

貨幣の普及についての従来研究として Kiyotaki and Wright(以下 KW)[1] が挙げられる．KW は，様々な財と多くの主体が存在する経済の中で，貨幣が交換媒体として普及する条件を分析している．しかし，消費者と電子マネー提供主体という複数主体の行動を考慮した研究は，筆者の知る限り存在しない．一方で，Sandholm[2] は複数主体が互いに影響を与えながら意思決定を行なう状況で，主体の行動の変化を分析する進化ゲーム理論を提案している．そこで本研究では，KW をベースとし，進化ゲームを用いることで，相互依存型外部性を考慮した電子マネー規格競争の分析を行なう．

[1]外部性は，他の経済主体にとって有利に働く正の外部性と，他の経済主体にとって不利に働く負の外部性に大別される．
[2]構造計画研究所から貸与された artisoc を用いる．

## 2. 従来研究

KW は，交換機能を有した貨幣が普及するための条件を分析するために，次のような経済を設定している．有限の消滅しない充分多い個体と充分多い種類の財が存在するとする．個体は $N$ 個存在し，個体 $h \in [1, N-1]$ は財 $h+1$ のみを消費することができ，一定の効用 $(U > 0)$ を得る．個体は財を消費しなければ効用を得ることが出来ず，財を消費し効用を得ると財 $h \pmod N$ を生産する．また，個体が財 $h$ を所有するためには保管コスト $c_h$ をを支払わなければならない．さらに，特別な財として，どの個体も消費することができない不換紙幣 (以下現金) を取り入れる．財と現金は独立のものであり，個体は 1 単位の財もしくは 1 単位の現金しか所有できない．個体は 1 単位の財と 1 単位の現金を常に交換できる．このことから，個体は 2 種類の状態に分類することができる．すなわち，現金以外の財を所有している状態の個体 (commodity trader) と現金を所有している状態の個体 (money trader) としている．

個体は以上のような経済で，自身の効用を得るために，所有・交換・消費を行なう．現金はすべての財に対して保管コストが最小なので，交換機能を有して貨幣として循環すると結論づけている．

このように，KW のモデルでは，1 つの主体のみに対する貨幣普及モデルを構築している．しかし，電子マネー市場のような異なる主体が，貨幣の普及に対して互いに影響を与える状況を表現するには不十分である．

## 3. 提案モデル

### 3.1. 設定

$N^C$ 人の消費者と $N^S$ 店の店舗が存在し，これらは一定とする．1 日において，消費者及び店舗は 2 フェーズの行動を行なう．第 1 フェーズに消費者は 1 店の店舗とランダムに出会い，決済手段として現金か電子マネーを選択する．そして現金または電子マネーで商品を購買し，その商品の消費が行われる．商品を消費したことで効用 $U$ を得ると同時に，労働力を生産し所有する．第 2 フェーズで，消費者は労働力を賃金と交換することで現金 $P$ 円を得る．

店舗は，第 1 フェーズに複数の消費者に，$P$ 円の商品を販売することで現金を得る．第 2 フェーズで，店舗は手にした

現金と合成財を交換し，合成財から商品を生産，所有する．

また，店舗は駅・一部のコンビニエンスストア (以下コンビニ)・その他の店舗 (以下店舗) の 3 種類存在する．駅では現金もしくは Suica の決済が可能で Edy は利用できない．また，店舗では Suica にチャージが出来ない．店舗の種類を表わす変数を $V_l$ とおき，$V_l$ が 0 のとき駅を，1 のときコンビニを，2 のとき店舗を表わす．

### 3.2. 消費者のペイオフ

$t \in [1, 2, \ldots, T]$ 日目における，消費者 $k$ の各決済手段の予算を $B_k^{\mathcal{S}^C}(t)$ と表記する．ただし，各電子マネーは現金の予算から各電子マネーの予算にチャージすることで利用できる．消費者は各電子マネー決済を選択した時点で，各電子マネー予算よりも店舗商品の価格の方が大きい場合チャージする．さらに，消費者は現金及び Edy は財布へ，Suica はパスケースへ保管すると仮定する．

消費者は各期において確率 $R^C$ で自身の戦略を変更する機会が与えられ，そのとき，確率 $\boldsymbol{\rho}^{C_k}$ で戦略を切り替える．ここで，$t-1$ 日目に選択した決済手段と $t$ 日目に決定されるペイオフから次の戦略を決定する．ただし，消費者の戦略群は $\mathcal{S}^C = \{cash\ 決済, suica\ 決済, edy\ 決済\}$ である．また，消費者 $k \in [1, 2, \ldots, N^C]$ が選択した決済方法を表わす変数を $\sigma_t^{C_k}$ と表記する．ただし $\sigma_t^{C_k}$ は現金決済ならば 0 を，各電子マネー決済ならばそれぞれ 1 と 2 をとる変数である．

消費者は商品を手にして消費したとき効用 $U$ を得る．その効用から，各決済手段におけるコストを差し引いた余剰が消費者 $k$ のペイオフ $\pi_t^{C_k}$ となる．$t$ 日目に店舗 $l$ に来店した取引前の現金決済を選択していた消費者数を $n_1^l(t)$，suica 決済を選択していた消費者の中でチャージが必要な消費者数を $n_2^l(t)$ と表記すると，消費者 $k$ のペイオフは

$$
\begin{aligned}
\alpha =& U - \left(a\tau + \lambda^C \left(B_k^{cash}(t) + B_k^{edy}(t)\right) + P\right), \\
\beta =& U - \left(\tau + \lambda^C B_k^{sui}(t) + P\right), \\
\gamma =& U - \left(\tau + \lambda^C \left(B_k^{cash}(t) + B_k^{edy}(t)\right) + P\right),
\end{aligned}
$$

$$
\pi_t^{C_k} = \begin{cases}
\alpha + \omega\left(n_1^l(t), n_2^l(t)\right) \cdot \mathbf{1}_{V_l=0}, & \text{for } \sigma_t^{C_k} = 0, \\
\beta + \Big(\omega\left(n_1^l(t), n_2^l(t)\right) & \\
\quad + (a-1)\tau\Big) \cdot \mathbf{1}_{V_l=0 \wedge B_k^{sui}(t)<P}, & \text{for } \sigma_t^{C_k} = 1, \\
(\gamma + \zeta P) \cdot \mathbf{1}_{V_l \neq 0}, & \text{for } \sigma_t^{C_k} = 2
\end{cases}
$$

となる．$\tau$ は取引時間コストであり，電子マネー決済より現金決済の方が $a(>1)$ 倍大きいとする．$\omega$ は，来店した消費者の待ち時間を表わす関数であり，チャージする人数に比例する．$\lambda^C$ は紛失リスク，$\zeta$ は Edy のポイント付与率である．

さらに，消費者の $t$ 日目における戦略分布を $\boldsymbol{x_t} = \left(x_t\left(\sigma_t^{C_k}=i\right)\right)$ $(i = 0, 1, 2)$ と表わすと，消費者 $k$ が戦略を切り替える確率は次の i-ロジット・プロトコルで与えられる;

$$
\rho_{ii'}^{C_k} = x_t\left(\sigma_t^{C_k}=i'\right) \cdot \frac{\exp\left(\pi_t^{C_k}\left(\sigma_t^{C_k}=i'\right)\right)}{\sum_r \exp\left(\pi_t^{C_k}\left(s_t^{C_k}=r\right)\right)}.
$$

### 3.3. 店舗のペイオフ

一方，店舗は各期において確率 $R^S$ で自身の戦略を変更する機会が与えられ，そのとき，確率 $\boldsymbol{\rho}^{S_l}$ で戦略を切り替える．すると現在の消費者の決済手段動向から，自店において電子マネー決済対応にするかどうか意思決定を行なう．その際，$t-1$ 日目に選択した意思決定と $t$ 日目に決定されるペイオフから次の戦略を意思決定する．店舗の戦略群を $\mathcal{S}^S = \{$ 電子マネー非対応, $suica$ のみ対応, $edy$ のみ対応, 両規格対応 $\}$ とする．また，$t$ 日目になったとき，店舗 $l \in [1, 2, \ldots, N^S]$ が選択した戦略を表わす変数を $\sigma_t^{S_l}$ と表記する．$\sigma_t^{S_l}$ は電子マネー非対応の場合 0，suica のみ対応の場合 1，edy のみ対応の場合 2，両規格対応の場合 3 をとる変数である．1 決済あたりの 1 店舗のペイオフは次のようになる;

$$
\Pi_t = \begin{cases}
P - \left(a\tau + \mathbf{1}_{V_l \neq 0} \cdot \lambda^S P\right), & \text{for } \sigma_{t+1}^{S_l} = 0, \\
P - \left(\tau + \mathbf{1}_{V_l \neq 0} \cdot \epsilon_r P\right), & \text{for } \sigma_{t+1}^{S} = 1, 2.
\end{cases}
$$

ここで，$\lambda^S$ は紛失リスク，$\epsilon_r$ は各手数料である．

$t$ 日目に店舗 $l$ に来店した消費者数を $v^l(t)$ は，$t$ 日目の店舗 $l$ に来店し，前日に現金決済した消費者数を $v_0^l(t)$，前日に各電子マネー決済した消費者数をそれぞれ $v_1^l(t)$，$v_2^l(t)$ の和で表わされる．店舗のペイオフは各戦略をとった場合における 1 決済分のペイオフの総和で表わされ，次式となる;

$$
\pi_t^{S_l} = \begin{cases}
v^l(t)\Pi_t, & \text{for } \sigma_{t+1}^{S} = 0, \\
v_0^l(t)\Pi_t + v_{\sigma_{t+1}^S}^l(t)\Pi_t, & \text{for } \sigma_{t+1}^{S} = 1, 2, \\
\displaystyle\sum_{\sigma_t^S, r} v_{\sigma_{t+1}^S}^l(t)\Pi_t, & \text{for } \sigma_{t+1}^{S} = 3.
\end{cases}
$$

さらに，各種店舗が戦略を切り替える確率も，消費者と同様に i-ロジット・プロトコルで与えられる．

## 4. シミュレーション

構築したモデルを用いて，東京都内を想定し，シミュレーションを行なう．4.2 では Suica が発行開始された 2005–2010 年のシミュレーションを行い，モデルの妥当性を検証する．具体的には，2010 年時点での Suica 及び Edy の利用率を比較することと，2010 年までの電子マネーカード発行枚数の推移を比較することとする．消費者が初めて現金から電子マネーに戦略を切り替えた事象を電子マネーカードの発行とみなし，シミュレーション上の各規格における累積発行枚数推移と実際のそれとを比較する．また，2010 年時点での消費者の利用率に関して，各試行に対する分布と実際の各規格の利用率を比較する．次に 4.3 では，2005–2025 年のシミュレーションを行ない，各試行に対する 20 年後の最終利用率の分布と消費者間及び消費者と 3 種の店舗間に働く外部性との関係をを分析する．最後に 4.4 では，2005–2025 年間で，4.2 のシミュレーション状況に加えて，2013 年から Suica の手数料に関してパラメータを変化させシミュレーションを行なう．各規格の利用率と各試行に対する 20 年後の最終利用率の分布を感度分析する．

表 1. 消費者のパラメータ

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $N^C$ | $3,000$ | $x_1(\sigma_1^{C_k}=1)$ | 0.03 | $\tau$ | 9.3 |
| $G_{V_l=0}$ | 0.55 | $x_1(\sigma_1^{C_k}=2)$ | 0.06 | $a$ | 2.0 |
| $G_{V_l=1}$ | 0.3 | $\lambda^C$ | 0.0004 | $R^C$ | 1.0 |
| $G_{V_l=2}$ | 0.15 | $\zeta$ | 0.005 | | |

表 2. 各種店舗のパラメータ

| Type | Parameter | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sta. | $N^S_{V_l=0}$ | 30 | $R^S$ | 0.0027 |
| | $y_1(\sigma_1^{S_l}=0)$ | 0.2 | $y_1(\sigma_1^{S_l}=1)$ | 0.8 |
| CVS | $N^S_{V_l=1}$ | 100 | $R^S$ | 0.0027 |
| | $y_1(\sigma_1^{S_l}=0)$ | 0.4 | $y_1(\sigma_1^{S_l}=1)$ | 0.25 |
| | $y_1(\sigma_1^{S_l}=2)$ | 0.3 | $y_1(\sigma_1^{S_l}=3)$ | 0.05 |
| Others | $N^S_{V_l=2}$ | 200 | $R^S$ | 0.0027 |
| | $y_1(\sigma_1^{S_l}=0)$ | 0.25 | $y_1(\sigma_1^{S_l}=1)$ | 0.2 |
| | $y_1(\sigma_1^{S_l}=2)$ | 0.5 | $y_1(\sigma_1^{S_l}=3)$ | 0.05 |

### 4.1. 設定

表 1，表 2 のように各パラメータの初期値として，2005 年におけるデータに沿って設定し，2005 年から 20 年分のシミュレーションを 10,000 回行い，各試行ごとのデータの平均値を利用率とする．ただし，$G_{V_l=r}$ $(r=0,1,2)$ は消費者が各種の店舗に行く確率である．

### 4.2. 検証

図 1 は，本モデルにおける Suica 及び Edy の累積発行枚数と，実際のそれとを比較したものである．シミュレーション結果と実際の推移が同様に増加していることが分かる．2009 年まで本モデルの方が実際の累積発行枚数より多く算出された理由として，実際の累積発行枚数は東京都内に限ったデータは取れず，単純に人口比で除したためだと考えられる．実際のカード発行は東京とそれ以外の地域で比較した場合，東京での発行量の方が比較的多いと考えられる．

次に，図 2 は，2010 年における各規格の利用率の分布と実際の利用率データを示している．両規格とも，シミュレーション結果の平均値と実際の利用率が近いことが分かる．Edy に比べ，Suica の方が実際のデータとのかい離がみられる理由として，本モデルでは Suica 定期券をモデル化の対象として含んでいない点が挙げられる．

### 4.3. 20 年後の各規格の利用率

図 3 は，各決済手段の利用率推移を表した図である．Edy 及び Suica とも利用率が増加していることが分かる．図 4 は，3 種の店舗において Suica 対応の店舗の選択率推移を表した図である．駅以外の店舗は Suica 対応店の比率が高いと Edy 対応店の比率が低く，Suica 対応店の比率が低いと Edy 対応店の比率が高いことを意味する．この図から，図 3 で

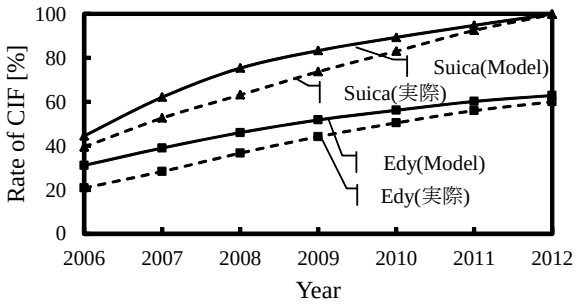


図 1. 各規格の累積発行枚数比率推移比較

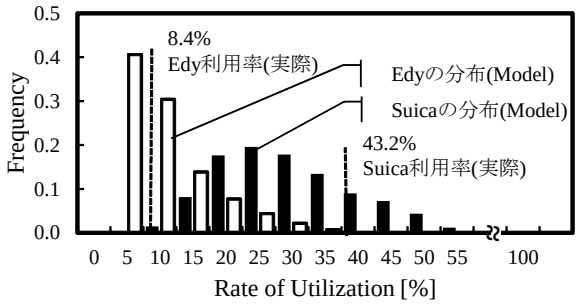


図 2. 2010 年における各規格の利用率比較

Suica の利用率を上げる要因は，駅間での外部性が正の方向に働いたためだと考えられる．一方，図 3 で Edy の利用率が上がった要因は，コンビニや店舗間で正の方向に外部性が働いたためだと考えられる．図 5 は，2005 年から 20 年後における Suica 及び Edy の最終利用率の分布を表した図である．この結果より，Edy は Suica に比べて利用されにくいということがわかる．これは，Suica の発行会社は消費者が比較的多い頻度で利用する駅というプラットフォームを独占状態で所有しているためだと考えられる．次に，Edy 及び Suica の分布が，比較的利用されない場合とより利用される場合の 2 パターンに分かれるような二山型になっている．これは，負の外部性が働く場合と正の外部性が働く場合との二極化が起こるためだと考えられる．

### 4.4. 感度分析

図 6–8 は 2005–2012 年まで 4.2 と同様にシミュレーションを行ない，2013 年から Suica の手数料について変化させ，Suica の利用率推移及び Suica の 20 年後の最終利用率分布を示した図である．まず，図 6 より，Suica の手数料を減らすと消費者の Suica 利用率は増加することが分かる．その理由として，図 7 を見ると，Suica 手数料を減らしていくと，図 4 では Suica 対応店の比率が低いコンビニや店舗での導入が増加し，正の外部性が生まれるためだと考えられる．

また，図 8 は，Suica の手数料ごとの Edy 及び Suica の 20 年後の最終利用率分布図である．この図から，Suica 手数料を減らすと，負の外部性が生まれる場合と正の外部性が生まれる場合の二極化していた分布が，正の外部性のみ働く分布に変化し，その標準偏差も減少することがわかる．これ

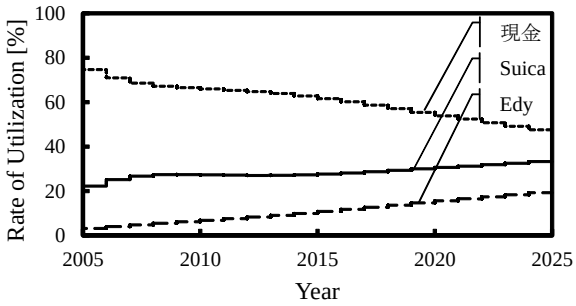


**図 3. 各規格の利用率推移**

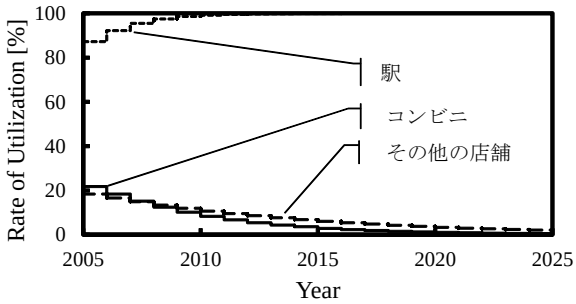


**図 4. 種類別店舗の Suica 対応店率推移**

は，手数料に関して Edy の方が有利である一方で，駅という強力不可侵な基盤を持つという点で Suica が有利であるという状況が二極化を生み出していた．しかし，手数料に関しても Edy より Suica の方が低くなったため，正の外部性がより強く働いたためだと考えられる．

## 5. おわりに

本研究では，Kiyotaki and Wright のモデルを基に，Suica と Edy という電子マネーを対象にして，相互依存型外部性を考慮した電子マネー規格間の理論的な競争モデルを構築した．進化ゲームを適用することにより，消費者や店舗がそれぞれ意思決定を繰り返し，かつ消費者間及び消費者と店舗間における相互作用を踏まえたうえで，Edy 及び Suica の利用率をシミュレーション，分析した．Suica の利用は主に駅から，Edy の利用は主に駅以外の小売店から正の外部性を受け，最終的な利用率の分布は二極化することがわかった．また，Suica の手数料を減らしていくと，負の外部性が働かなくなり，正の方向に外部性の強さが増していくこともわかった．

今後の課題として，電子マネー発行会社の採算を考慮した競争モデルの構築が挙げられる．

## 参考文献

[1] Kiyotaki, N. and Wright, R.: “A Search-Theoretic Approach to Monetary Economics,” *The American Economic Review*, Vol. 83, No. 1, pp.63–77 (1993)

[2] Sandholm, WH.: “Population Games and Evolutionary Dynamics (Economic Learning and Social Evolution),” *The MIT Press* (2010)

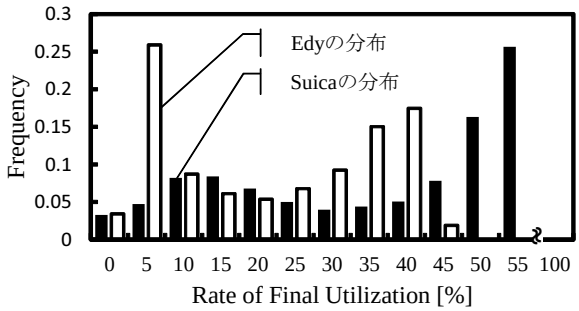


**図 5. 各規格の最終利用率分布**

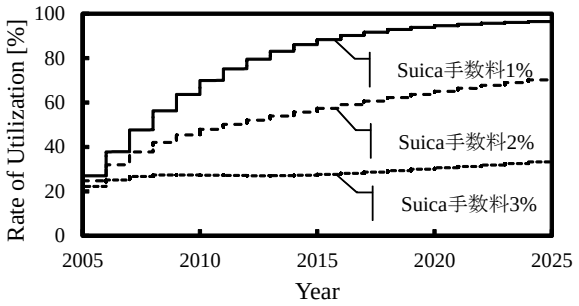


**図 6. 消費者における Suica の利用率推移**

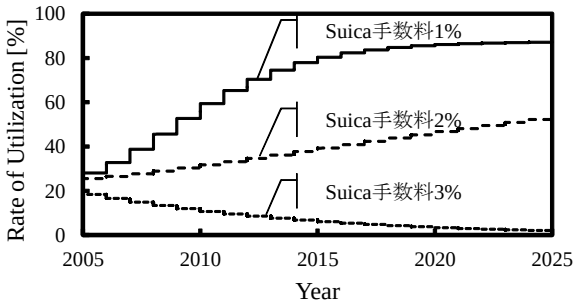


**図 7. コンビニにおける Suica 導入店率推移**

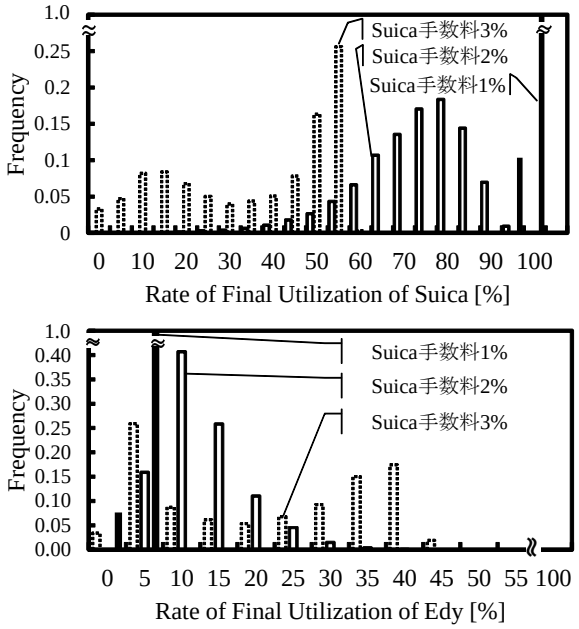


**図 8. Suica，Edy の最終利用率分布推移**