地域通貨的価値を利用した価値の交換システム

木下研究室　田島　佳明 (工学研究科 電気電子情報工学専攻 201170068)

1　まえがき

今日，ほとんどのものが法定通貨で取引が行われている．しかし，法定通貨だけだと特定のコミュニティの価値が反映されずうまく流通しない．そこで，近年地域通貨が導入され，特定のコミュニティだけで使える地域通貨により，コミュニティで共通の価値観を反映させ，流通しやすくなった．

しかし，同じコミュニティでも価値間が異なると流通しない可能性がある．そこで，本研究では，コミュニティ内での異なる価値を考慮し，情報を流通させた時の変化について考察する．さらに，情報やサービスの流れを増やすために，コミュニティ間の取引を提案する．ここで言う価値とは単なる金銭的な価値ではなく，地域通貨的に多様な価値を意味している．これまでに，異なる価値観を持つ二者間の価値交換システムについて検討がなされてきた [1][2][3].

しかし，これまでに提案されてきた価値観を持つ二者間での価値交換システムでは，各ユーザが満足する効用が得られるかどうかは未解決であり，複数人の場合にそのまま適用することができない．そこで，ゲーム理論を用いて特定の条件下で，n 人の各ユーザにおける効用が満足するようなモデルを提案する．このモデルは，既存の二者間だけでなく，n 人間での価値交換が可能となる.

一方で，コミュニティ間での価値の交換にそのまま適用することは困難である．そこで，異なる価値観を持つ 2 つのコミュニティ間で価値の交換を行う方法を提案する.

2　二者間での価値の記述

本節では，異なる価値を持つ二者間に限定した場合の価値交換システムについて述べていく [4]．まずは，二者間における価値の記述を行う．この価値交換システムにおいては，異なる価値を持つユーザー同士がお互いの価値を交換する．ここで，価値を交換することは，お互いにサービス (行動) を他者のために行い，そのサービスに対しての謝礼によって，実現されることとする．以下に，使用するパラメータを示す．n 種類の価値変数を x_1から x_nとする。

価値のベクトル $V = \{x_1, x_2, \cdot\cdot, x_n\}$

S: A が提供するサービス

R: B がお返しする御礼

A から見た S の価値ベクトルを $V_A(S)$、R の価値ベクトルを $V_A(R)$

B から見た S の価値ベクトルを $V_B(S)$、R の価値ベクトルを $V_B(R)$

V_{At}: 時刻 t において A に蓄積されている価値のベクトル

V_{Bt}: 時刻 t において B に蓄積されている価値のベクトル

A から B にサービス又は物を提供し，B から A にお返しをする.

二者間でお互いに利益が出ると判断しなければならないので，取引利益関数を以下のように定義する.

取引利益関数：
$F_A(V_A(S), VA(R)), F_B(V_B(S), V_B(R))$

まず，取り引き前にお互いが利益評価を行う.

本来，価値ベクトル $V_A(S)$, $V_A(R)$, $V_B(S)$, $V_B(R)$ から利益を評価するには，それぞれの価値の特性を考慮した評価関数が必要となるが，今回は簡略化の

A value exchange system using the local currency value, YOSHIAKI TAJIMA(kinoshita laboratory,Graduate School of Electrical, Electronics and Information Engineering).

ため価値は単純に各変数の総和とする

$F_A(V_A(S), VA(R)) > 0$ かつ $F_B(V_B(S), V_B(R)) > 0$ になれば取り引きが成立する．

取り引き後の価値ベクトルは以下のようになる．
$V_A(t+1) = V_{At} + (-V_A(S) + V_A(R))$

$V_B(t+1) = V_{Bt} + (+V_B(S) - V_B(R))$

このとき，A の取引利益関数は以下のようになる．ただし，取り引き利益関数を

$V_A(R) - V_A(S) = (a_1, a_2, \cdots, a_n)$ とおく．

$$F_A(V_A(S), V_A(R)) = \sum_{i=1}^{n} a_i$$

同様に B の取り引き利益関数は，
$V_B(S) - V_B(R) = (b_1, b_2, \cdots, b_n)$ のとき，

$$F_B(V_B(S), V_B(R)) = \sum_{i=1}^{n} b_i$$

このような価値ベクトルを考慮した交換システムを行うことで，お互いの利得が大きくなることを実現する．しかし，この場合各ユーザが満足する効用が得られるかどうかは未解決問題である．

3　コミュニティ間での取引方法

これまで述べてきた二者間での価値交換システムを拡張し，コミュニティ間での取引方法を考える．ここでは仮に，コミュニティに属する全員が，他コミュニティに属する人と価値を交換すると仮定する．

従来の研究，関連研究の場合，二者間での価値の交換は可能だったが，このような場合には，価値を交換する人数が爆発的に増加し，コミュニティ間での価値の交換に必要な手順が複雑になってしまう．そこで，各コミュニティの代表者同士で取引を行う．今回の方針としては，コミュニティ内の一人でも損をしないような方法を考え，仮に，損をする人が一人でもいれば取引は不成立となるとする．

また，代表者同士が直接取引できれば価値を把握可能で理想的だが，別々のコミュニティ同士なので，お互いのコミュニティが信頼できない可能性がある．そこで，仲介者を用意して取引する方法を考える．

3.1　コミュニティ A と B 両方に属している人がいる場合

図 1 のように，両コミュニティに属しているユーザが存在する場合の手順を以下に示す．

1. まず A と B 両方に属している人を探す．
2. その人がお互いに信頼できるならその人を介して取引を行う．

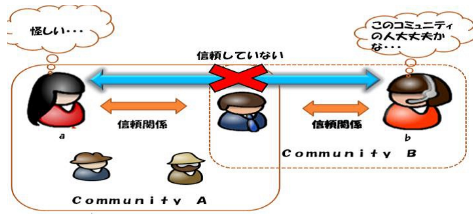

図 1: 信頼できる人がいる場合

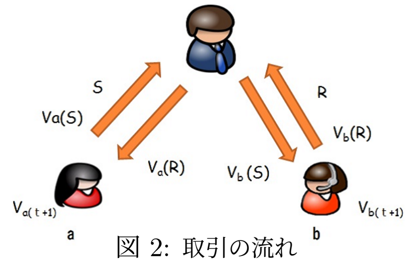

図 2: 取引の流れ

図 2 に示すように a から b にサービス又は物を提供し，b から a にお返しをする．記号を以下のように定義する．

- S：コミュニティ A 全体の価値を考慮した (A に属する価値の総和)a が提供するサービス
- R：コミュニティ B 全体の価値を考慮した (B に属する個々の価値の総和)b が提供するサービス
- a から見た S の価値ベクトルを $V_a(S)$, b から見た R の価値ベクトルを $V_b(R)$
- a から見た R の価値ベクトルを $V_a(R)$, b から見た S の価値ベクトルを $V_b(S)$
- $V_a(t+1)$：取引後において a に蓄積されている価値のベクトル
- $V_b(t+1)$：取引後において b に蓄積されている価値のベクトル

この取引方法でのメリットは，コミュニティの代表者のみが取引を行うので，少ない回数で取引ができる．また，信頼できる人が信頼しているので，取引が比較的安全にでき，新たな人間関係が生まれる可能性がある．

デメリットは，両方のコミュニティに属している人を探すのに時間がかかり，その人が本当に信頼できるかどうかもわからない．また，比較的安全に取引できるものの，完全に安全というわけではない．

3.2　コミュニティ A と B 両方に属している人がいない場合

お互いのコミュニティに属している人がいない状態を考える．信頼できる人がいないので代表者同士

だけでの取引はできない可能性がある．そこで信頼できる第三者機関を利用する．

3.1 と同様の手順で相手を探し，以降は同様に取引を行う．

この方法でのメリットは，コミュニティに属する全員が第三者機関を利用して取引をしようとすると莫大なコストが掛ってしまうが，代表者のみでの取引なのでコストを最小限に抑えられる．また，信頼できる第三者機関なので，詐欺に合うことはない．

デメリットは，まず両方のコミュニティに属している人を探すので時間がかかり，更に第三者機関に情報を提供するのにもコストがかかる． また，新たな人間関係が生まれる可能性が低い．

4 市場ゲームを拡張した価値交換モデル

本節では，ゲーム理論の市場ゲームを拡張することによって，提案価値交換システムをモデル化する．市場ゲームとはプレイヤー同士が提携を形成し，そのメンバー間で，自分の初期保有財を交換し，効用の和を最大化するゲームである [5]．

まず，下記に示す交換経済を考える．使用するパラメータは以下のとおりである．

$i \in N$ ： プレイヤー

$N = (1, \cdots, n)$ ： プレイヤーの集合

$\boldsymbol{w_i} = (w^1, ..., w^{m+n})$ ： プレイヤー i の財の初期保有ベクトル

$\boldsymbol{x} = (x^1, ..., x^{m+n})$ ： 譲渡可能な財ベクトル

$\boldsymbol{x'} = (x^{m+1}, ..., x^{m+n})$ ： 多様な価値ベクトル

n 人のプレイヤーが，$m+n$ 種類の財の交換を行い，$m+1$ 番目の財を貨幣，$m+2$ 番目を地域通貨，$(m+3, ..., m+n)$ 番目を気持ちや感情といった価値とする．これらは，分割可能な財とする．ここで，財ベクトル $\boldsymbol{x}$ に対するプレイヤー i の効用関数 U_i を以下のように定義する．

$$\begin{aligned} U_i(x^1, ..., x^{m+n}) &= u_i(x^1, ..., x^{m+n}) \\ &\quad + x^{m+1} + p_i(x^{m+2}) \\ &\quad + q_i(x^{m+3}, ..., x^{m+n}) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで，式 (1) 中のパラメータの意味は以下のとおりである．

U_i ： プレイヤー i の効用関数

u_i ： プレイヤー i の財の効用関数

p_i ： プレイヤー i の地域通貨の効用関数

q_i ： プレイヤー i の多様な価値の効用関数

式 (1) より，ユーザ i の効用とは，商品やサービスなどの譲渡可能な財ベクトルと貨幣，地域通貨と多様な価値観で表される．

ここで，本モデルにおいては，あるコミュニティ内で，財を交換すると仮定する．コミュニティ内の価値交換ではメンバーごとの地域通貨に対する効用は等しいと仮定し，また，地域通貨における効用は，貨幣における効用とは異なる効用をもつと考えられる．以上より，以下の式 (2) を仮定する．

$$p(x^{m+2}) = \lambda x^{m+2} \quad (2)$$

しかし，プレイヤーが持つ価値感は，同じコミュニティに属するプレイヤー同士であってもプレイヤーごとに異なると仮定できる．さらに，貨幣や地域通貨における効用とも異なる値を持つと考えられるため，以下の式 (3) を仮定する．

$$q_i(x^{m+3}, ..., x^{m+n}) = \boldsymbol{\mu} \boldsymbol{x'}^{\mathrm{T}} \quad (3)$$

ただし，$\boldsymbol{x'}^{\mathrm{T}}$ は，$\boldsymbol{x'}$ の転置ベクトルとする．

ここで，プレイヤー同士が提携することを考える．提携 S とは，N の部分集合 $S \subseteq N$ を意味する．市場ゲームにおいては，プレイヤーの提携 S が形成され，提携 S のメンバー間で財を交換する．このとき，S のすべてのプレイヤー i にとって実現可能な財ベクトル $\boldsymbol{x_i} = (x_i^1, ..., x_i^{m+n})$ は，以下の不等式を満たす必要がある．

$$\sum_{i \in S} x_i^j \leq \sum_{i \in S} w_i^j, \quad j = 1, \ ... \ , m+n \quad (4)$$

すなわち，提携 S のプレイヤーの総効用は，式 (5) で表される．提携Sのメンバーの総効用は，分割不可能な物やサービスの総効用，貨幣の総効用，地域通貨の総効用，多様な価値の総効用を足し合わせである．

$$\sum_{i \in S} U_i(x^1, ..., x^{m+n}) = \sum_{i \in S} u_i(x^1, ..., x^m)$$

$$+\sum_{i\in S} x^{m+1} + \sum_{i\in S} p(x^{m+2})$$
$$+\sum_{i\in S} q_i(x^{m+3},...,x^{m+n}) \tag{5}$$

ここで，財の交換によって実現可能な提携 S のプレイヤーの総効用の最大値を，提携 S の特性関数値 $v(S)$ とする．

$$v(S) = \max_{(x_i)_i} \left\{ \sum_{i\in S} u_i(x^1,...,x^m) + \sum_{i\in S} x^{m+1} \right.$$
$$\left. + \sum_{i\in S} p(x^{m+2}) + \sum_{i\in S} q_i(x^{m+3},...,x^{m+n}) \right\}$$
$$s.t. \sum_{i\in S} x_i^j \leq \sum_{i\in S} w_i^j, \quad j = 1, \ldots, m+n \tag{6}$$

ここで，貨幣に着目すると，式 (6) の特性関数は，戦略的同等性より以下の特性関数となる．

$$v(S) = \max_{(x_i)_i} \left\{ \sum_{i\in S} u_i(x^1,...,x^m) \right.$$
$$\left. + \sum_{i\in S} p(x^{m+2}) + \sum_{i\in S} q_i(x^{m+3},...,x^{m+n}) \right\}$$
$$s.t. \sum_{i\in S} x_i^j \leq \sum_{i\in S} w_i^j, \quad j = 1, \ldots, m+n \tag{7}$$

また，地域通貨に着目すると，式 (2) より，式 (7) の特性関数は，戦略的同等性より以下の特性関数となる．

$$v(S) = \max_{(x_i)_i} \left\{ \sum_{i\in S} u_i(x^1,...,x^m) \right.$$
$$\left. + \sum_{i\in S} q_i(x^{m+3},...,x^{m+n}) \right\}$$
$$s.t. \sum_{i\in S} x_i^j \leq \sum_{i\in S} w_i^j, \quad j = 1, \ldots, m+n \tag{8}$$

以上より，地域通貨およびプレイヤーごとの価値を考慮した交換経済を提携形ゲームの市場ゲームとして定式化できる．

一方，一般的な市場ゲームは，任意に分割可能な財は貨幣のみを仮定しているため，戦略的同等により，以下の式が市場ゲームの特性関数として定義される．

$$v(S) = \max_{(x_i)_i} \left\{ \sum_{i\in S} u_i(x^1,...,x^m) \right\}$$
$$s.t. \sum_{i\in S} x_i^j \leq \sum_{i\in S} w_i^j, \quad j = 1, \ldots, m+n \tag{9}$$

このようにして，市場ゲームとして定式化できる．この一般的な市場ゲームではコアが存在すると証明されている．しかし，今回定義した特性関数 $v(S)$ は提携 S のメンバーの提携 S に対する多様な価値の総効用が異なるため，コアが存在するかは不明である．よって，コアが存在する条件を別途考察する必要がある．

ここで，プレイヤーごとの価値の財も，プレイヤー i の財の効用関数 u_i に含まれると仮定すると，以下のようになる．

$$v(S) = \max_{(x_i)_i} \left\{ \sum_{i\in S} u_i(x^1,...,x^m,x^{m+3},...,x^{m+n}) \right\}$$
$$s.t. \sum_{i\in S} x_i^j \leq \sum_{i\in S} w_i^j, \quad j = 1, \ldots, m+n \tag{10}$$

式 (10) を仮定した場合，一般的な市場ゲームの式 (9) と同等なので，コアが存在する．つまり，提携した場合，誰一人不満を持たないような財の交換が存在する．

5 むすび

本稿では，ゲーム理論を用いて特定の条件下で，n 人の各ユーザにおける効用が満足するようなモデルを提案した．このモデルは，既存の二者間だけでなく，n 人間での価値交換が可能となる．

また，異なる価値観を持つ二つのコミュニティ間で価値の交換を行うための方式を提案した．各コミュニティにおいては，様々な価値を持つ人が複数存在するため，これまでに提案されてきた二者間での価値交換システムは，コミュニティ間での価値の交換にそのまま適用することは困難であった．しかし，取引をする際，信頼できる代表者が居る場合と居ない場合を考えることで，交換手順を複雑にすることなく，各コミュニティの価値と情報リソースを適切に交換可能であることが明らかとなった．

参考文献

[1] 三浦一輝:“ 地域通貨制度の経済学的位置づけ ”, pp57-68．(2005).

[2] 小西英行 :“ ポイント経済と電子マネー，地域通貨に関する考察 (2007)”．

[3] 加藤敏春：”エコマネー　ビッグバンから人間にやさしい世界へ”，日本経済評論社 (1998).

[4] K.Hirotsugu,T.Yoshiaki et.al, ”A local currency system reflecting variety of values with a swarm intelligence,” Proc. IEEE/IPSJ SAINT 2012, pp.251-255, July. 2012.

[5] 岡田章：”ゲーム理論 [新版]”，有斐閣 (2011).