

合意形成における社会的規範の影響に関する一考察

伊藤 孝行^{1,2,a)}

概要：本論文では、規範的効用が、エージェント間の交渉に基づく合意形成に与える影響を考察する。近年、誘惑下の自制行動の公理的意思決定モデルが注目を集めている。ここでは、自制や社会的な規範や恥を規範効用としてモデル化しメンタルコストとして明示的に効用関数に導入している。なぜなら、実験心理学や行動経済学によって、古典的な経済学で扱われるような単一の価値基準に基づく意思決定ではなく、さまざまな価値基準による意思決定が行われることが実証されているためである。自制と誘惑に関する効用モデルは、Gul と Pesendorfer による論文 [1] によって最初に提案されており、その後様々な拡張がなされている。さらに Dillenberger と Sadowski ら [2] は、GP モデルを拡張し、二人のプレイヤーのいる状況において、規範的効用と恥 (shame) を含んだ効用モデルを提案している。本研究では、エージェントの行動モデルとして、誘惑や自制、社会的規範や恥といった概念を取り込んだ効用関数に基づく意思決定モデルを導入し、その合意形成に対する影響を調査し考察する。

1. はじめに

本論文では、規範的効用が、エージェント間の交渉に基づく合意形成に与える影響を考察する。近年、誘惑下の自制行動の公理的意思決定モデルが注目を集めている。ここでは、自制や社会的な規範や恥を規範効用としてモデル化しメンタルコストとして明示的に効用関数に導入している。なぜなら、実験心理学や行動経済学によって、古典的な経済学で扱われるような単一の価値基準に基づく意思決定ではなく、さまざまな価値基準による意思決定が行われることが実証されているためである。本研究では、エージェントの行動モデルとして、規範効用に基づく意思決定モデルを導入し、その合意形成における規範的効用の影響を調査し考察する。

筆者は非線形の効用関数に基づく交渉機構や合意形成について研究している [3], [4], [5], [6], [7]。これらの研究では、人間の効用関数は必ずしも単調増加ではなく、非線形な出力を伴う関数であることを仮定している。特に非線形効用関数の一つのモデルとして、単純な多次元関数を取り上げ、むしろその分散計算アルゴリズムの方に注力してきた。非線形効用を扱う動機の一つとして、人間の価値判断が必ずしも単一の基準だけでなく、複数の基準からなっ

ている場合が多いためという動機があった。

標準的な経済学やゲーム理論の中で効用理論として最も広く受け入れられているのは、ノイマンとモルゲンシュテルンによるフォン・ノイマン・モルゲンシュテルン (NM) 効用と呼ばれる効用関数に関する理論である [8]。ノイマンとモルゲンシュテルンは、人間が持つ選好に関する公理として、完備性、推移性、置換可能性、分解可能性、単調性、および連続性の6つを示した。そして6つの公理を満たす NM 効用関数が存在することを示した。NM 効用関数の他にも様々な効用関数が提案され分析されている [9]。以上の効用理論を用いて、ミクロ経済学やゲーム理論では、エージェントは期待効用を最大化することが合理的意思決定であるとされる。一般的には、単一の選好や単一の価値基準に基づいた議論が多い。

以上のように、標準的な経済学やゲーム理論では、人間の選択行動は単一の選好に基づいた合理的意思決定に関する研究が多い。一方で、現実的には複数の価値基準を同時にもってしまうため、心理的葛藤に直面することがある。例えば、次のような例がある [1]。例えば、ある意思決定者が、昼食にサラダかハンバーガーかのどちらかを食べることを決定しなければならないとする。朝の時点では、空腹を感じていないので、サラダを好む。しかし昼の時点では、空腹を感じるために、ハンバーガーを食べたいという誘惑を受けるかもしれない。さらに、例えば、意思決定者は、ハンバーガーを食べたいという誘惑を受けつつも、ハンバーガーがメニューにないレストランにはいり、サラダだけを食するという行動を取ることがある。時間に伴う選

¹ 名古屋工業大学大学院
Nagoya Institute of Technology, Gokiso, Showa-ku, Nagoya
466-8555, Japan

² 東京大学政策ビジョン研究センター
PARI, University of Tokyo

a) ito.takayuki@nitech.ac.jp

好の逆転（サラダからハンバーガーへ）についての代表的な研究としては、Strotz[10]の研究があるが、基本的には選好自体が時間に伴って動的に変化することが仮定されている。ただし、選好自体が変化してしまうので、誘惑を受けながら自制をするという状況をうまく説明できない。そこで、比較的最近の研究で「自制 (self-control)」や「恥 (shame)」という概念を取り込んで、上のような状況をうまく説明できる効用理論が発展している [1], [11].

本論文では、自制や恥という概念を取り込んだ効用モデルを用い、交渉における自制や恥といった規範的効用の影響を分析する。第2章では、自制と誘惑に関する効用モデルである Gul と Pesendorfer によるモデル [1] (GP モデル) を紹介する。第3章では、GP モデルを2人での状況に拡張し、社会的規範としての恥 (shame) を取り入れたモデルを紹介する。第4章では、第3章で紹介したモデルに基づいた2人の合意形成をいくつかの効用関数に基づいて分析する。第5章で関連研究を述べ、第6章でまとめと今後の課題を示す。

2. 自制と誘惑に関する効用関数 (GP モデル) [1]

自制と誘惑に関する効用モデルは、Gul と Pesendorfer による論文 [1] によって最初に提案されており GP モデルと呼ばれる。基本アイデアは、選択肢の部分集合すなわち機会集合についての選好を考えるということである。次の定義をする（これらの定義の詳細は論文 [11] を参照のこと）。

- X : 最終的な選択肢の集合（コンパクトメトリック空間）
- $\delta(X)$: X 上のくじの集合（ X 上のすべてのボレル σ 代数/完全加法族上のすべての測度の集合）
- $X \equiv K(\delta(X))$: $\delta(X)$ の非空コンパクト部分集合の集合（ハウスドルフ位相を仮定）

ここで、機会集合を表すために A, B , および C を用いる。以下の3つの公理は、意思決定論では一般的な公理であり、NM 効用関数の特徴付ける公理でもある。

公理 1 (順序性) : \succeq は完備性と推移性を満たす。

完備性とは、2つの代替案が与えられたときに、意思決定者が一方を好むか、両者を同じくらい好むと決定しなければならないという公理である。すなわち、ここでは $A \succ B \vee B \succ A \vee A \sim B$ と表すことができる。

推移性とは、3つの代替案が与えられたときに、意思決定者が、 A を B より好み、かつ B を C より好むなら、 A を C より好まなければならない。すなわち、ここでは $(A \succ B) \wedge (B \succ C) \Rightarrow (A \succ C)$ と表すことができる。

公理 2 (連続性) : $A, B, C \in Z$ について、もし $A \succ B \succ C$ なら、以下のような $\alpha, \beta \in (0, 1)$ が存在する。

$$\alpha A + (1 - \alpha)C \succ B \succ \beta A + (1 - \beta)C$$

公理 3 (独立性) : $A, B, C \in Z$ と $\alpha \in [0, 1]$ について以下が成立する。

$$A \succeq B \Leftrightarrow \alpha A + (1 - \alpha)C \succeq \alpha B + (1 - \alpha)C$$

次の4つ目の公理は、自制と誘惑下の意思決定で特徴的な公理であり、論文 [1] で初めて導入された。

公理 4 (中間性 (set betweenness)) : すべての $A, B \in Z$ について以下が成立する。

$$A \succeq B \Rightarrow A \succeq A \cup B \succeq B$$

自制と誘惑があるという状況下では、機会集合を選択する場合、 $A \succeq A \cup B$ のような選好を考えることができる。すなわち、この場合、 A にはサラダのみのレストラン、 B はハンバーガーのレストラン、と考えると、機会集合を選択するという意味では、 B のハンバーガーに対する誘惑があるものの、自制をして A を選択するという事も考えられるのである。また、 $A \cup B \succ B$ は、 B を選ぶより $A \cup B$ を選ぶという自制を表しており、 $A \cup B \sim B$ であれば、 A の価値がないということであるから、誘惑に負けるということを意味する。より詳しい議論は論文 [1], [11] を参照していただきたい。

定理 1 以下のような任意の $A \in Z$ と連続線形関数 U, u, v によって選好 \succeq を表現される時、

$$U(A) := \max_{x \in A} \{u(x) + v(x)\} - \max_{y \in A} v(y) \quad (1)$$

選好 \succeq は、公理 1 ~ 公理 4 を満たす。

式 (1) に示される効用を、自制効用 (self-control utility) と呼ぶ [12]。自制効用 U は、二つの効用関数 u と v によって特徴付けられる。 u はコミットメント効用と呼ばれ、第1期の機会集合のランク付けを示す。 v は誘惑効用であり、第2期に、ある代替案にどの程度誘惑があるかを示す。つまり、 $u(x) > u(y)$ だが $v(y) > v(x)$ のとき、 $U(\{x\}) > U(\{x, y\})$ となる。これは、 y に対して誘惑が働いているが、自制して $\{x\}$ にコミットメントするような選好を示している。もしコミットメントが可能でなく、第1期でメニュー $\{x, y\}$ を選択した時、第2期では、誘惑に負けて y を選択するか、自制をして x を選択するかということになる。もし $u(y) + v(y) > u(x) + v(x)$ であれば誘惑に負けて y を選択する。 $u(y) + v(y) < u(x) + v(x)$ であれば自制して x を選択する。またこのとき、式 (2) は自制コストを表している。

$$v(x) - \max_{\{x, y\}} v(x) = v(x) - v(y) \quad (2)$$

3. 社会的規範効用を含んだ効用モデル

Dillenberger と Sadowski ら [2] は、GP モデルを拡張し、二人のプレイヤーのいる状況において、規範的効用と恥 (shame) をモデル化している。ここで恥とは、他人に対

する恥であり、GP モデルにおける誘惑に対応する概念である。

他人の選好を考慮にいれるような効用モデルが経済学においても注目を集めている。これは、実験心理学などの有名な実験結果などから、人間の効用が必ずしも過去の効用モデルでは説明しきれない部分があるためである。

例えば、独裁者ゲームは、二人のプレイヤー A と B でお金を分けるゲームである。ただし、二人のうち一方の A にある金額、例えば \$10 をわたし、A は \$10 をどのように分けるかを一人で決めることができ、決めた金額を B に分ける。B が拒否しても A は自分が決めた額を受け取ることができる。独裁者ゲームで、期待効用最大化原理に従えば、A はすべての金額 \$10 を受け取ることが合理的である。しかし、ほとんどの実験では、B に対して \$0~\$5 の間の額を渡すことが観察されている [13]。独裁者ゲームの結果は、選好における利他性 (altruistic) や平等性として考えられ、多くの分野で広く研究されている。

しかし、Dana ら [14] の以下の実験は、独裁者ゲームを少し変形することで、利他的な選好の特徴がさらに明らかになっている。ここでは、独裁者である A に対して、B がこのゲームが行われていること自体を知られることなしに、ゲームを終えて去る (途中退去) 選択権を与えるのである。Dana らの実験では、約 3 分の 1 の参加者が彼らに \$9、もう一方に \$0 を渡すという事で、ゲームを終えて去るという選択をするのである。これは、純粋な利他性という考えとは矛盾する結果である。人間が利他性や平等性を重視するならば、自分の \$9、相手に \$1 という選択が最も好まれるはずである。一方で、純粋な利己主義とも矛盾している。もし純粋に利己主義であれば、自分に \$10、相手に \$0 という選択をするはずである。Dillenberger と Sadowski ら [2] は上の実験結果は、人間が社会的な行動を取ることができずの場面で、利己的に振る舞うことに対して我慢している (コストを持っている) ことを示している、と解釈している。その上で、恥 (shame) を「社会規範に従った選択ではなく自分の物質的利益を得るための選択をしたときに経験するモラル上のコストである」と定義し、数理的な定義を与えている。

以下のいくつかの公理と定義は、Dillenberger と Sadowski ら [2] によるものである。どれも重要な公理と定義である。ここで $a = (a_1, a_2)$ は代替案と利得のペアを表す。もし代替案 a が選択されると、プレイヤー 1 は利得 a_1 が得られ、プレイヤー 2 は a_2 が得られる。

公理 5 (順序性) : \succeq は完備性と推移性を満たす。

公理 6 (連続性) : \succeq は連続である。

公理 7 (強左中間性) : もし $A \succeq B$ ならば、 $A \succeq A \cup B$ である。さらに、 $A \succ B$ かつ、 $A \cup C \succ A \cup B \cup C$ のような C が存在するとき、 $A \succ A \cup B$ である。

定義 1 $A \succ A \cup B$ となるような A と B があるとき、

意思決定者は、恥に影響されやすい (susceptible) という。この定義は、自制効用モデルにおける誘惑の影響を受けるという状況と同じである。

定義 2 もし意思決定者が恥に影響を受けるなら、意思決定者は b を a より規範的により選好している (normatively better than) といひ、次のように書く。もし $\exists A \in Z$ で $a \in A$ のとき $A \succ A \cup \{b\}$ のとき、 $b \succ_n a$ 。

b を含む機会集合よりも、それが無い機会集合を好むとき b に対して a より規範的に選好していることをしめしている。

公理 8 (ランキング) : \succ_n は非対称で、推移的ではない。公理 8 は、二つの代替案 a と b および、二つの機会集合 A と B があり、 $\{a, b\} \subset A \cap B$ であるとき、 a が A の恥に寄与し、 b が B の恥に寄与するような状況を仮定していない。

公理 9 (パレート) : もし $b \leq a$ かつ $b \neq a$ ならば、 $b \succ_n a$ である。

両方の参加者にとって、より高い利得を示す代替案は、規範的にもベターであることを示している。

公理 10 (補償) : すべての a, b に関して、 $(a_1, x) \succ_n (b_1, b_2)$ かつ $(y, a_2) \succ_n (b_1, b_2)$ となるような x, y が存在する。

公理 11 (利己性) : もし $a_1 > b_1$ かつ $a \succ_n b$ ならば、 $\{a\} \succ \{b\}$ である。

利己性の公理は、単一元の機会集合についての公理である。すなわち、機会集合中に一つの選択肢のみしかないため、第 1 期の選択がそのまま第 2 期の選択となる。

定義 3 f と h を X^2 上の二つの関数であるとする。すべての a と、 $(a_1 - \delta_1, a_2 - \delta_2) \in X^2$ になるようなすべての δ_1 と δ_2 が、以下 2 つを満たし、少なくとも一つの δ_1, δ_2 のペアが厳密な不等号 (strict inequality) であるとき、 h は f より利己的 (more selfish) であるという。

$$\begin{aligned} h(a) &= h(a_1 - \delta_1, a_2 + \delta_2) \rightarrow \\ f(a) &\leq f(a_1 - \delta_1, a_2 + \delta_2) \\ h(a) &= h(a_1 + \delta_1, a_2 - \delta_2) \rightarrow \\ f(a) &\geq f(a_1 + \delta_1, a_2 - \delta_2) \end{aligned}$$

上の定義では、自分の取り分を高めに設定すると、関数としての値が減少し、自分の取り分を低めに設定すると関数としての値が増加するような関数 f と比較して、変化しない関数 h の方が利己的であるという定義である。

定義 4 関数 $\varphi : X^2 \rightarrow \mathbb{R}$ は、次を満たすときに主観的規範関数 (subjective norm function) と呼ばれる。厳密に増加、かつ、すべての $y \in X$ と $b \in X^2$ について、 $\sup_{x \in X} \varphi(x, y) > \varphi(b)$ 、かつ $\sup_{x \in X} \varphi(y, x) > \varphi(b)$ を満たす。

定理 2 (DS モデル [2]) : 関係 \succeq と \succ_n は、以下の (i), (ii), および (iii) を満たした上で、 \succeq を表す関数 $U : K \rightarrow \mathbb{R}$ (式 3) と \succ_n を表す φ が存在するとき、公理 5~公理 11

を満たす。(i)連続主観的規範関数 φ が存在する。(ii) φ より、弱増加かつより利己的な連続関数 $u : X^2 \rightarrow \mathbb{R}$ が存在する。(iii) $g : X^2 \times \varphi(X^2) \rightarrow \mathbb{R}$ で、その第2引数について厳密に増加で、 $\varphi(a) = x$ のときはいつも $g(a, x) = 0$ を満たす連続関数が存在する。

$$U(A) = \max_{a \in A} [u(a) - g(a, \max_{b \in A} \varphi(b))] \quad (3)$$

ここで u も φ も NM 効用関数である。 $U(A)$ の $u(a)$ の部分が、利己的な効用を表しており、 $g(a, \max_{b \in A} \varphi(b))$ の部分が、社会的規範に対するメンタルコスト (恥) を表している。

4. エージェント間交渉における分析

4.1 リソース配分問題としてのモデル化

社会的規範としての恥を考慮にいれた効用モデル (DS モデル) を前提とした場合、既存の単一価値効用モデル (NM モデルなど) では合意形成が得られない状況でも、合意形成を得ることができることを示す。

前章で社会的規範としての恥を取り入れ、7つの公理を満たす DS 効用モデルを示した。本章では、マルチエージェントシステムの自動交渉に関する研究の一つで、2 エージェントによるリソース配分に関する合意形成問題を取り上げる [15], [16], [17]。2 エージェントによるリソース配分問題は、複数の異なる財を、異なる効用関数を持ち、それらの値を明かさないうエージェント間でどのように配分するかという問題である。特にパレート最適な割り当てなど望ましい割り当てを得ることが目的となる。本論文では、論文 [15], [16] で扱われるようなリソース配分の具体例 1 を用いて、規範的効用の影響を考察する。

表 1 リソース配分の例 [15]

配分	1 の利得	2 の利得
$(\{\}, \{abcd\})$	0	20
$(\{a\}, \{bcd\})$	6	12
$(\{b\}, \{acd\})$	8	14
$(\{c\}, \{abd\})$	5	16
$(\{d\}, \{abc\})$	7	18
$(\{ab\}, \{cd\})$	9	8
$(\{ac\}, \{bd\})$	10	9
$(\{ad\}, \{bc\})$	11	8
$(\{bc\}, \{ad\})$	10	8
$(\{bd\}, \{ac\})$	11	13
$(\{cd\}, \{ab\})$	12	15
$(\{abc\}, \{d\})$	12	6
$(\{abd\}, \{c\})$	14	7
$(\{acd\}, \{b\})$	16	7
$(\{bcd\}, \{a\})$	14	8
$(\{abcd\}, \{\})$	20	0

複数リソース配分問題は、エージェント集合 $N =$

$\{1, 2\}$, リソース集合 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}, k \geq 2$, 割当 $(a_1, a_2), a_1 \wedge a_2 = \emptyset, a_1 \in R, a_2 \in R$, 各エージェント i の利得関数 $p_i : a_i \rightarrow \mathbb{R}$ から構成される。本モデルに基づいて、文献 [17] では、シンプルな交互提案型の段階的交渉プロトコルが提案されている。論文 [15], [16] では、交渉ツリーを導入した段階的な交渉プロトコルが提案されている。本論文では、2段階の交渉プロトコルを考える。エージェントは、第1期に機会集合に関する合意形成を行った後に、第2期に具体的な割り当てを交渉する。本論文では特に第1期の合意形成に注目する。第2期の具体的な割り当てには、文献 [15], [16], [17] が応用できる。

社会的規範としての恥を考慮にいれた効用モデル (DS モデル) を前提とした場合、既存の単一価値効用モデル (NM モデルなど) では合意形成が得られない状況でも、合意形成を得ることができることを示す。

ここで2つの機会集合を以下のように設定する。表2に示す割当の候補集合を機会集合 A とする。表3に示す割当の候補集合を機会集合 B とする。ここで $A \cup B$ は、表1に等しい。機会集合 A は、エージェント1か2に偏った割当になっている。機会集合 B は、エージェント1と2で何方かと言えばフェアな割当に近い。

表 2 リソース配分の例 (機会集合 A)

配分	1 の利得	2 の利得
$(\{\}, \{abcd\})$	0	20
$(\{a\}, \{bcd\})$	6	12
$(\{b\}, \{acd\})$	8	14
$(\{c\}, \{abd\})$	5	16
$(\{d\}, \{abc\})$	7	18
$(\{abc\}, \{d\})$	12	6
$(\{abd\}, \{c\})$	14	7
$(\{acd\}, \{b\})$	16	7
$(\{bcd\}, \{a\})$	14	8
$(\{abcd\}, \{\})$	20	0

表 3 リソース配分の例 (機会集合 B)

配分	1 の利得	2 の利得
$(\{ab\}, \{cd\})$	9	8
$(\{ac\}, \{bd\})$	10	9
$(\{ad\}, \{bc\})$	11	8
$(\{bc\}, \{ad\})$	10	8
$(\{bd\}, \{ac\})$	11	13
$(\{cd\}, \{ab\})$	12	15

4.2 利己的な効用関数の場合

利己的な効用関数を仮定した場合を考察する。ここでエージェント i の効用関数を以下のように定義する。様々な定義の方法はあるが、機会集合に対して利己的な効用関数を定義するとすると式 (4) のように定義できる。

$$U_i(A) = \max_{a \in A} u_i(a) \quad (4)$$

例えば, $u_i(a) = 2a_i$ とする (2 はどのような 0 より大きい定数ならどのような数でも良い). 機会集合 A と機会集合 B を比較したとき, $U_1(A) = 20, U_1(B) = 12, U_2(A) = 20$, および $U_2(B) = 15$ となる. 従って, 機会集合としては, 二つのエージェントが「偏りのある」機会集合 A を選ぶ方が二人にとって合理的である.

しかし, 第 2 期までを考えた場合, $U_1(A) = 20$ は, $(\{a, b, c, d\}, \{\})$ の場合であり, エージェント 1 がすべてのリソースを配分されている状態である. $U_2(A) = 20$ は $(\{\}, \{a, b, c, d\})$ の場合であり, エージェント 2 がすべてのリソースを配分されている状態である. 交渉において, それぞれに偏った機会集合を選びながら, 最終的には合意に達することが難しいという状態である.

既存の交渉に関する研究では, 効用関数に関わらず, 合意が得られない場合は, 各プレイヤーが妥協をしながら交渉をしていくという仮定が非常に多くの研究で採用された (例えば, 文献 [18]). 妥協というのは, 効用値が減少するような選択肢をあえて合意のために提案するという交渉プロトコルである. どのように戦略的に妥協をしながら合意を目指すかという点も非常に興味深い研究対象である [19].

ただし, 各エージェントが, 本質的になぜ妥協するのかという点については, それほど多くは議論されていない. 交渉のプロトコルとして, エージェントに妥協を強要させることで, グループとしては良い結果を得ることができているのである. 本論文では, エージェント自身が社会的規範をモデル化した効用関数を持ち, 期待効用最大化原理や各種の効用関数に関する公理を満たしながら, エージェント自身が合意形成を可能にするモデルを提案している.

4.3 社会規範が効用関数に含まれる場合

社会規範としての恥が効用関数に含まれることを仮定した場合を考察する. ここでエージェント i の効用関数を以下のように定義する.

$$U_i(A) = \max_{a \in A} [u_i(a) - g_i(a, \max_{b \in A} \varphi(b))]$$

$u_i(a) = 2a_i$, $\varphi_i(a) = (a_1 + 1)(a_2 + 1)$, $g_i(a, y) = y - \varphi(a)$ とする (論文 [2] の例より).

エージェント 1 の機会集合 A に対する効用は $U_1(A) = 16$ となる. 計算がやや複雑であるので, 以下にこの場合の計算を例として示す.

$$\begin{aligned} U_1(A) &= \max_{a \in A} [2a_1 - (\max_{b \in A} (b_1 + 1)(b_2 + 1) - (a_1 + 1)(a_2 + 1))] \\ &= \max_{a \in A} [2a_1 - (152 - (a_1 + 1)(a_2 + 1))] \\ &= \max_{a \in A} [a_1 a_2 + 3a_1 + a_2 - 151] \\ &= 16 \end{aligned}$$

$\max_{b \in A} (b_1 + 1)(b_2 + 1)$ は, 相手の取り分 b_2 までを含ん

だ時, 利得 (の積) を最大化できる割当を探している. 利得の積は, 他の演算でもかまわないが一般には積が望ましい. $\max_{b \in A} (b_1 + 1)(b_2 + 1)$ で最大化される割当は $(\{d\}, \{a, b, c\})$ である. すなわち, エージェント 1 にとって, 2 の割当も考えた上での規範的な効用を最大化する割当は, $(\{d\}, \{a, b, c\})$ であり, その値は 152 となる. 一方, $\max_{a \in A} [2a_1 + (a_1 + 1)(a_2 + 1)]$ は自分にとって, 最も良い割当を選んだ時の利己的な効用値と, 相手を含んで考えた場合の規範的な効用値を最大化したものであり, 168 となる. 以上と同様に, $U_1(B) = 24$ で割当は $(\{c, d\}, \{a, b\})$, $U_2(A) = 30$ で割当は $(\{d\}, \{a, b, c\})$, および $U_2(B) = 30$ で割当は $(\{c, d\}, \{a, b\})$ となる.

すなわち, エージェント 1 にとって $U_1(A) = 16 < 24 = U_1(B)$, エージェント 2 にとって $U_2(A) = 30 = 30 = U_2(B)$ となる. この二つのエージェントにとって, 機会集合 B を取る方がベターなことが分かる. 特に, 本例では, 二つのエージェントの第 2 期の最も良い選択肢も割当 $(\{c, d\}, \{a, b\})$ となり, 一つの選択肢に合意できる.

以上のように, 利己的な効用関数だけでは, 交渉プロトコルにより, エージェントを制御することで合意形成を可能にしている. 一方, 本論文で示した規範的効用モデルに基づく効用関数では, 交渉プロトコルに頼ることなく合意形成を得ることができる.

5. 関連研究

エージェントが互いに協調的な交渉や合意形成に関する研究は, マルチエージェント研究の中心的な研究分野であり, 非常に広く研究が行われている (例えば, 文献 [18]). 既存の交渉に関する研究では, 効用関数に関わらず, 合意が得られない場合は, 各プレイヤーが「妥協」することが仮定されることが多い. 妥協というのは, 効用値が減少するような選択肢をあえて合意のために提案するという交渉プロトコルである. 例えば, リソースの割当問題では, 具体的な交渉プロトコルが提案されている [15], [16], [17].

ANAC (Automated Negotiating Agent Competition) では, どのように妥協するか, もしくは妥協を引き出すかという戦略をプログラムとして実装し, その影響を分析するためのプログラム協議会である [19]. どのように戦略的に妥協をしながら合意を目指すかも興味深い.

非線形の効用関数に基づく合意形成機構について筆者らは研究を行っている [3], [4], [5], [6], [7]. そこでは, 多属性の効用関数を定義して, 効用空間が非常に複雑であるという仮定のもと, どのような分散計算によって効率的に, 望ましい合意ポイントを探しだすことができるか, というこに焦点をおいて進めている.

以上の研究では, 社会的規範のモデルを含んだ効用関数を公理に従って組み立てているものは非常にすくない. 一方で, ミクロ経済学および意思決定論では, 社会的規範と

としての恥や自制を含んだ効用モデルを組み立てている。特に本論文でしめした GP モデルは単一エージェントの自制モデルであり [1], DS モデルは 2 人のエージェントの社会的規範としての恥のモデルを提案している [2].

GP モデルにはたくさんの拡張モデルが提案されており, 上の DS モデルも拡張の一つである。例えば, GP モデルでは, 機会集合上の選好のみ, すなわち, 第 1 期の選好のみを対象しているが, Noor と Takeoka らはこれを拡張し, 機会集合から何が選択されるかまでを含んだ一般モデルを提案している [20]. 異時点間の選好逆転現象の説明を与えようとする試みもある [21], [22].

6. まとめと今後の課題

本論文では, 既存の期待効用最大化を合理的とする利己的な NM 効用モデルを拡張し, 自制と誘惑, 規範的効用としての恥, の概念を取り入れた効用モデルを紹介した。そして, 規範的効用を取り入れた効用モデルに基づいて, リソース配分における合意形成にどのように影響がおこるかを例示し, その特徴を考察した。リソース配分はマルチエージェントシステムの自動交渉や合意形成の研究で良く取り上げられるが, 各エージェントが利己的であることを仮定すると, 外部的な交渉プロトコルとして, 各エージェントに「妥協」を強制する形式になることが多い。各研究で, なぜエージェントが妥協するのか, という点は単に社会的に望ましいからという理由が多く, 本質的な妥協を議論していることは少ない。一方で, 実験心理学などの分野での成果によって, 人間の意思決定に影響する本質的なメンタルコストがあることが分かってきた。そのようなメンタルコストは, 自制や恥といった概念でとらえることができる。本論文では, 利己的な価値基準と恥という社会規範の価値基準の二つの基準を取り入れた効用モデルを示し, それに基づいたリソース配分における合意形成への影響を考察した。そして社会規範に基づく効用モデルを用いることで, リソース配分においてより効率的に合意を得ることができる可能性を示した。今後の課題としては, 本論文では, 一つの例題を用いてリソース配分問題の特徴を議論したが, より異なる実験設定や効用関数を用いた感度分析的な調査が必要であると考えている。

謝辞 本研究の一部は, 内閣府の先端研究助成基金助成金 (最先端・次世代研究開発プログラム) により助成を受けている。

参考文献

[1] Gul, F. and Pesendorfer, W.: Temptation and Self-Control, *Econometrica*, Vol. 69, No. 6, pp. 1403-1435 (2001).
[2] Dillenberger, D. and Sadowski, P.: Ashamed to be selfish, *Theoretical Economics*, Vol. 7, No. 1 (2012).
[3] 伊藤孝行: マルチエージェントの自動交渉モデルとその応

用, 知能と情報 (日本知能情報フアジ学会誌), Vol. 22, No. 3, pp. 295-302 (2010).
[4] Ito, T., Klein, M. and Hattori, H.: A Multi-Issue Negotiation Protocol among Agents with Nonlinear Utility Functions: A Preliminary Report, *Journal of Multiagent and Grid Systems*, Vol. 4, No. 1, pp. 67-83 (2008).
[5] Fujita, K., Ito, T. and Klein, M.: Secure and Efficient Protocols for Multiple Interdependent Issues Negotiation, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, Vol. 21, No. 3, pp. 175-185 (2010).
[6] Fujita, K., Ito, T. and Klein, M.: An Approach to Scalable Multi-issue Negotiation: Decomposing the Contract Space, *Computational Intelligence* (2011), (to appear).
[7] Fujita, K., Ito, T. and Klein, M.: Efficient issue-grouping approach for multiple interdependent issues negotiation between exaggerator agents, *Decision Support Systems* (2012), (to appear).
[8] Neumann, J. V. and Morgenstern, O.: *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press (1944).
[9] 田村坦之, 中村豊, 藤田眞一: 効用分析の数理と応用, コロナ社 (1997).
[10] Strotz, R. H.: Myopia and Inconsistency in Dynamic Utility Maximization, *The Review of Economic Studies*, Vol. 23, pp. 165-180 (1955).
[11] 武岡則男: 誘惑と自制の意思決定, 大垣昌夫, 小川一夫, 小西秀樹, 田淵隆俊 (編), 現代経済学の潮流 2012, 第 5 章, pp. 117-151, 東洋経済新報社 (2012).
[12] Lipman, B. L. and Pesendorfer, W.: Temptation (2011), working paper.
[13] Camerer, C.: *Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction*, The Roundtable Series in Behavioral Economics, Princeton University Press (2003).
[14] Dana, J., Cain, D. M. and Dawes, R. M.: What you don't know won't hurt me: Costly (but quiet) exit in dictator games, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 100, No. 2, pp. 193-201 (2006).
[15] Saha, S. and Sen, S.: An efficient protocol for negotiation over multiple indivisible resources, in IJCAI'07, pp. 1494-1499, (2007).
[16] Hao, J. and Leung, fung H.: An Efficient Negotiation Protocol to Achieve Socially Optimal Allocation, in PRIMA 2012, pp. 46-60, (2012).
[17] Brams, S. J. and Taylor, A. D.: *Fair division - from cake-cutting to dispute resolution*, Cambridge University Press (1996).
[18] Rosenschein, J. S. and Zlotkin, G.: *Rules of encounter: designing conventions for automated negotiation among computers*, MIT Press (1994).
[19] Baarslag, T., Fujita, K., Gerding, E., Hindriks, K., Ito, T., Jennings, N. R., Jonker, C., Kraus, S., Lin, R., Robu, V. and Williams, C.: The First International Automated Negotiating Agents Competition, *Artificial Intelligence Journal (AIJ)* (2012), (to appear).
[20] Noor, J. and Takeoka, N.: Uphill self-control, *Theoretical Economics*, Vol. 5, No. 2, pp. 127-158 (2010).
[21] Gul, F. and Pesendorfer, W.: Self-Control and the Theory of Consumption, *Econometrica*, Vol. 72, No. 1, pp. 119-158 (2004).
[22] Gul, F. and Pesendorfer, W.: Self Control, Revealed Preferences and Consumption Choice, *Review of Economic Dynamics*, Vol. 7, No. 2, pp. 243-264 (2004).