3N1-1

ヘドニックゲームにおける新たな選好モデルの提案とコア安定性の解析

Proposing a new preference model and analysis of core stability in Hedonic games

大田 一徳　櫻井 祐子　横尾 真
Kazunori Ota　Yuko Sakurai　Makoto Yokoo

九州大学 大学院 システム情報科学府
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

Forming effective coalitions is one of the major research challenges in AI and multi-agent systems research communities. In this paper, we consider coalition formation games with hedonic preferences. In Hedonic games, each agent has a preference over all coalitions which she will belong to. We investigate hedonic games under enemies aversion and friends appreciation, where every agent considers each other as a friend or as an enemy. We extend these simple preferences by allowing each agent to also consider other agents as neutral. Surprisingly, we discover that neutral agents do not make things simpler. We prove that the core can be empty under enemies aversion and the strict core can be empty under friends appreciation. We also show that under friends appreciation, one can always find a core stable coalition structure in polynomial time.

1. 序論

利己的なエージェントが協力関係を結び，提携を形成する際に解くべき問題の一つに提携構造形成問題がある．ヘドニックゲーム (Hedonic Games) は提携構造形成問題の一種で，各エージェントは自身が所属しうる提携に対してのみ選好を持つ場合を考える [Dreze 80]．そうした場合に，望ましい提携の形成方法 (提携構造) を議論するゲームである [Aziz 16b]．応用事例として，ソーシャルネットワークの分類，共同研究チーム形成などが挙げられる [Alcalde 04]．

各エージェントは自身が所属しうる全ての提携に対してのみ選好を持つため，エージェント数が増加するに従って選好の記述量が指数関数的に増加するという問題点がある．そのため，簡潔な記述方法として，エージェントには提携に対する選好ではなく，他のエージェントに対する選好の表明だけを要求する．そして，あらかじめ定めた方式に従って他のエージェントに対する選好から，提携への選好を決定する．この一連の流れを選好モデルという．

ヘドニックゲームでは，望ましい提携構造の基準として様々な解概念が研究されている．例えば，決定された提携を逸脱して，新しい提携を形成したいと考えるエージェントが存在しない場合，その提携構造は解概念の一つであるコア安定性を満たすという．ヘドニックゲームにおいてエージェントは利己的であると仮定するため，各エージェントが提携を形成し，形成された提携構造が安定であることが求められる．そのため，コア安定性を満たす提携構造が常に存在するヘドニックゲームが盛んに研究されている [Dimitrov 06, Aziz 12, Burani 03, Aziz 16a]．

Dimitrov らは，エージェントの 2 分類と呼ばれる個人に対する選好の記述方法を用いた選好モデルを提案し，コア安定性について議論した [Dimitrov 06]．エージェントの 2 分類とは各エージェントにおける他のエージェントへの選好を，友達／敵対者という 2 つの分類で表現する方法である．しかしながら，現実社会では必ずしも全員を知っているわけではなく，友達／敵対者に分類することができないエージェントが存在する場合が多い．そのため，全エージェントを厳密に友達／敵対者と分類することは非現実的である．

連絡先: 大田一徳，九州大学大学院システム情報科学府，812-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地，(092)802-3576，ota@agent.inf.kyushu-u.ac.jp

本論文では，各エージェントの個人への選好を，友達／無関心な人／敵対者という 3 つの分類で表現する．そして，この個人に対する選好のもとで，提携への選好を友達優先方式，敵対者拒否方式という 2 つの方式で決定する新たな選好モデルを提案する．この選好モデルにおいて，コア安定性の解析を行う．敵対者拒否方式によって決定される選好では，コア安定性を満たす提携構造は常には存在しないことを証明する．一方，友達優先方式によって決定される選好では，コア安定性を満たす提携構造は常に存在することを証明する．また，コア安定性を満たす提携構造を多項式時間で求解可能なアルゴリズム [Dimitrov 06] は我々のモデルでも適用可能であることを示す．

2. モデル

利己的に行動する複数のエージェントがゲームに参加するとき，エージェント間で拘束力のある合意が可能なゲーム，すなわち，協力関係を結ぶことが可能なゲームを協力ゲームという．本章では，協力ゲームの一形式であり，本研究で対象とするヘドニックゲーム (Hedonic Games) の基本的な用語を示す．

定義 1 (提携) ゲームに参加するエージェントの全体集合を N とし，$C \subseteq N, C \neq \emptyset$ を満たすエージェントの集合 C を提携という．i を含む提携の集合を $\mathcal{N}_i = \{C \subseteq N \mid i \in C\}$ と記す．

定義 2 (選好) 任意のエージェント $i \in N$ は $\mathcal{N}_i$ 上の選好関係 $\succeq_i$ を持つ．選好 $\succeq_i$ は，i が所属する全ての提携に対する好ましさを表現する．選好は反射性，完備性，推移性を満たすものとする．提携 $C_1, C_2 \in \mathcal{N}_i$ に対して i が C_2 を C_1 以上に好むとき，$C_2 \succeq_i C_1$ と表記し，C_2 を C_1 より好むとき，$C_2 \succ_i C_1$ と表記する．C_1, C_2 に対して i が無関心とは，$C_1 \succeq_i C_2$ かつ $C_2 \succeq_i C_1$ が成り立つことで，$C_1 \sim_i C_2$ と表記する．$P = (\succeq_1, \succeq_2, \ldots, \succeq_n)$ は全ての $i \in N$ における選好の組を表す．$\mathcal{P}$ は全選好の組の集合である．

定義 3 (提携構造) 提携構造 $\pi = \{C_1, C_2, \ldots\}$ とは，以下の

条件を満たすエージェントの全体集合 N の分割である．

$$\forall k, l\ (k \neq l),\ C_k \cap C_l = \emptyset,\ \bigcup_{C_k \in \pi} C_k = N.$$

π の要素のうち，$i \in N$ を含む提携を $\pi(i)$ と記す．

次にヘドニックゲームの定義を与える．

定義 4 (ヘドニックゲーム) 各エージェントが自身が所属しうる提携に対してのみ選好を持つ場合を対象に，各エージェントの提携の形成方法 (提携構造) について考えるゲームをヘドニックゲームという．ヘドニックゲームは，エージェントの全体集合 N と全てのエージェント $i \in N$ の選好の組 P の組合せ (N, P) で表現される．

定義 5 (逸脱) ヘドニックゲーム (N, P) と提携構造 π を与える．ある $i \in N$ が $\pi(i)$ から抜けて，他の提携を形成することを逸脱という．$\pi(i)$ から抜けて，他の提携を形成したほうが i にとって好ましい場合，i は逸脱する誘因があるという．

エージェントは利己的であると仮定するため，各エージェントが提携を形成し，形成された提携構造が逸脱する誘因がないことが求められる．そこで，本論文では解概念の中でも広く用いられる，コア安定性／強コア安定性について議論する．強コア安定性とはコア安定性をより強めた解概念である．これらの安定性を定義する上で重要な用語であるブロックの定義を与え，その上でコア安定性／強コア安定性を定義する．

定義 6 (ブロック) ヘドニックゲーム (N, P) と提携構造 π を与える．ある $C \subseteq N$, 全ての $i \in C$ に対して，$C \succ_i \pi(i)$ ならば π は C に強くブロックされるという．また，ある $C \subseteq N$, 全ての $i \in C$ に対して $C \succeq_i \pi(i)$ かつ，少なくとも 1 人以上の $j \in C$ に対して $C \succ_j \pi(j)$ ならば π は C にブロックされるという．

定義 7 (コア安定性／強コア安定性) ヘドニックゲーム (N, P) と提携構造 π を与える．π が任意の C に強くブロックされないならば提携構造はコア安定性を満たすという．また，π が任意の C にブロックされないならば提携構造は強コア安定性を満たすという．

コア安定性を満たす提携構造とは，提携構造において決定された提携を逸脱して，新しい提携を形成したいと考えるエージェントが存在しない提携構造をいう．

例 1 3 人のエージェント $N = \{1, 2, 3\}$ が参加するヘドニックゲーム (N, P) を考える．各エージェントの提携に対する選好は下記の通りであるとする．

- $\{1, 2, 3\} \succ_1 \{1, 2\} \succ_1 \{1, 3\} \succ_1 \{1\}$
- $\{1, 2\} \succ_2 \{2\} \succ_2 \{2, 3\} \succ_2 \{1, 2, 3\}$
- $\{1, 3\} \succ_3 \{2, 3\} \succ_3 \{1, 2, 3\} \succ_3 \{3\}$

提携構造 $\pi = \{\{1, 3\}, \{2\}\}$ がコア安定性を満たすか否か考える．π が任意の C に強くブロックされないか確認する．エージェント 1, 2 について $\{1, 2\} \succ_1 \{1, 3\} = \pi(1)$, $\{1, 2\} \succ_2 \{2\} = \pi(2)$ となる． よって，$\pi = \{\{1, 3\}, \{2\}\}$ は $\{1, 2\}$ に強くブロックされるため，$\pi = \{\{1, 3\}, \{2\}\}$ はコア安定性を満たさない．

エージェント数を n としたとき，各エージェントの提携に対する選好は 2^{n-1} 個の要素を順序付ける必要があるため，簡潔に表現できない限り各エージェントの選好を得ることは非現実的である．そのため，選好の簡潔記述法として，エージェントには提携に対する選好ではなく，他のエージェントへの選好の表明だけを要求する．そして，あらかじめ定めた方式に従って各エージェントの個人への選好から提携への選好を決定する方法を議論する．

各エージェントの個人に対する選好についても，全ての他のエージェントへ完全に選好を決めることが困難な可能性がある．そこで，Dimitrov らは，エージェント個人への選好を友達／敵対者 の 2 分類で表現し，提携への選好を友達優先方式，敵対者拒否方式という 2 つの方式で決定する手法 [Dimitrov 06] を提案した．この選好モデルでは他のエージェント全員を知っているという仮定を置いているが，実社会では必ずしも全てのエージェントを知っているとは限らない．そのため本論文では，実社会での人間関係が必ずしも密ではなく，疎な状況もあることを考慮し，個人に対して友達／敵対者という判断が付かない，無関心な人という分類を導入する．各エージェントにおける他のエージェントへの選好を 3 つの分類で表現する方法をエージェントの 3 分類と定義する．

定義 8 (エージェントの 3 分類) あるエージェント $i \in N$ に対し，$F_i = F(\succeq_i) = \{j \in N \setminus \{i\} \mid \{i, j\} \succ_i \{i\}\}$ と定義する．エージェント i 自身は F_i の要素とする．$j \in F_i$ である場合 j は i の友達と呼ぶ．$E_i = E(\succeq_i) = \{j \in N \setminus \{i\} \mid \{i\} \succ_i \{i, j\}\}$ と定義する．$j \in E_i$ である場合 j は i の敵対者と呼ぶ．$\perp_i = N \setminus (F_i \cup E_i)$ と定義する．$j \in \perp_i$ である場合 j は i の無関心な人と呼ぶ．

各エージェントにおける他のエージェントへの選好を 3 つの分類で表現する個人に対する選好を定義した．本論文では個人に対する選好をグラフを用いて表現する．

定義 9 (個人に対する選好のグラフ表現) 頂点の集合を $V = N$, 有向辺の集合を $A_F = \{(i, j) \in N \times N \mid i \neq j, j \in F_i\}$, $A_\perp = \{(i, j) \in N \times N \mid i \neq j, j \in \perp_i\}$, $A_E = \{(i, j) \in N \times N \mid i \neq j, j \in E_i\}$ と表す．グラフを $G_{F \perp E} = (V, A_F \cup A_\perp \cup A_E)$ と表現する．グラフにおいて友達に向けての有向辺ならば F, 無関心な人に向けての有向辺ならば $\perp$，敵対者に向けての有向辺ならば E とラベルをつける．グラフでの表現は $A_F, A_\perp, A_E$ のうち一種類を省き，残り二種類を記述する．

各エージェントが他のエージェントを 3 つの分類で表現した上で，提携への選好を友達優先方式，敵対者拒否方式という 2 つの方式で決定する新しい選好モデルの提案を行う．

定義 10 (友達優先方式) $P \in \mathcal{P}$ を与える．$i \in N$ かつ全ての $C, C' \in \mathcal{N}_i$ に対して $C \succeq_i C'$ が成り立つとき， 以下の (1), (2) 式のいずれかが成り立つような P の決定方式を友達優先方式と呼ぶ．

$$|C \cap F_i| \quad > \quad |C' \cap F_i| \tag{1}$$
$$|C \cap F_i| = |C' \cap F_i| \quad \wedge \quad |C \cap E_i| \leq |C' \cap E_i| \tag{2}$$

定義 11 (敵対者拒否方式) $P \in \mathcal{P}$ を与える．$i \in N$ かつ全ての $C, C' \in \mathcal{N}_i$ に対して $C \succeq_i C'$ が成り立つとき， 以下の (3), (4) 式のいずれかが成り立つような P の決定方式を敵対者拒否方式と呼ぶ．

$$|C \cap E_i| \quad < \quad |C' \cap E_i| \tag{3}$$
$$|C \cap E_i| = |C' \cap E_i| \quad \wedge \quad |C \cap F_i| \geq |C' \cap F_i| \tag{4}$$

友達優先方式は友達の数がより多い提携を好ましい，敵対者拒否方式は敵対者の数がより少ない提携を好ましいとする選好の決定方法である．具体例を用いて友達優先方式／敵対者拒否方式による各エージェントの選好を説明する．

例 2 $N=\{1,2,3\}$，$F_1=\{1\}, F_2=\{2\}, F_3=\{1,3\}, \perp_1=\{2\}, \perp_2=\{1,3\}, \perp_3=\emptyset, E_1=\{3\}, E_2=\emptyset, E_3=\{2\}$ である場合を考える．

- 友達優先方式による各エージェントの提携に対する選好は
  - $\{1\} \sim_1 \{1,2\} \succ_1 \{1,3\} \sim_1 \{1,2,3\}$
  - $\{2\} \sim_2 \{1,2\} \sim_2 \{2,3\} \sim_2 \{1,2,3\}$
  - $\{1,3\} \succ_3 \{1,2,3\} \succ_3 \{3\} \succ_3 \{2,3\}$
- 敵対者拒否方式による各エージェントの提携に対する選好は
  - $\{1\} \sim_1 \{1,2\} \succ_1 \{1,3\} \sim_1 \{1,2,3\}$
  - $\{2\} \sim_2 \{1,2\} \sim_2 \{2,3\} \sim_2 \{1,2,3\}$
  - $\{1,3\} \succ_3 \{3\} \succ_3 \{1,2,3\} \succ_3 \{2,3\}$

友達優先方式による選好の組の集合を $\mathcal{P}^f$ と定義する．敵対者拒否方式による選好の組の集合を $\mathcal{P}^e$ と定義する．

3. 敵対者拒否方式

本章では，提携への選好を敵対者拒否方式で決定する場合を議論する．敵対者拒否方式は敵対者が少ない提携をより好ましいとする提携の比較方法であった．敵対者拒否方式での提携構造に対するコア安定性を考える．任意の個人の選好に対して，コア安定性を満たす提携構造は常には存在しないことを示す．

定理 1 エージェントの 3 分類, 敵対者拒否方式によって決定される選好においてコア安定性を満たす提携構造は常には存在しない．

証明 $N=\{1,2,\ldots,15\}$，$P \in \mathcal{P}^e$，$V=N$，有向グラフを $G_{F\perp}=(V, A_F \cup A_\perp)$ とする．任意のクリーク X_i $(i \in \{1,2,3,4,5\})$ は $a_{(i,0)}, a_{(i,1)}, a_{(i,2)}$ から構成される．$a_{(i,0)}, a_{(i,1)}, a_{(i,2)}$ はそれぞれエージェントを表し，$a_{(i,j)}$ は，$a_{(i,(j+1) \bmod 3)}$ と $a_{(i,(j+2) \bmod 3)}$ を友達とする．X_i の全てのエージェントは $X_{((i+2) \bmod 5)}$ と $X_{((i+3) \bmod 5)}$ の全てのエージェントを敵対者とする．X_i の全てのエージェントは $X_{((i+1) \bmod 5)}$ の全てのエージェントを友達とする．X_i 内の $a_{(i,j)}$ は $X_{((i-1) \bmod 5)}$ 内の $a_{((i-1) \bmod 5,(j+1) \bmod 5)}$ と $a_{((i-1) \bmod 5,(j+2) \bmod 5)}$ を友達とし，他を無関心な人とする．このような場合を考える．

各エージェントの他のエージェントに対する選好は有向グラフを用いて図 1 のように表される．この例がコア安定性を満たす提携構造ではないことを示す．コア安定性を満たす提携構造の要素となる提携は高々 2 つの隣り合うクリークから形成される提携のみである．なぜなら，その他の提携だとクリーク内の 3 人から形成される提携に強くブロックされる提携が，必ず存在するからである．

3 エージェントから形成される任意のクリークを X_i とする．まず，X_i に含まれる 1 人以上 3 人未満のエージェントと $X_{(i+1) \bmod 5}$ または，$X_{(i-1) \bmod 5}$ に含まれる 1 人以上，3 人以下のエージェントから形成される提携がコア安定性を満たす提携構造の要素に成り得ないことを示す．

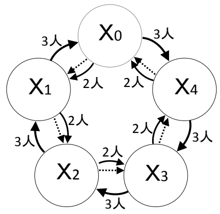

図 1: 定理 1 の証明で用いる個人に対する選好の例．各クリーク内の任意のエージェントが他のクリーク内のエージェントのうち，実線は友達とみなすエージェントを表し，点線は無関心な人とみなすエージェントを表す．

クリークは 3 人によって構成されるため，クリーク内のエージェントが別の提携を組む場合は，1 人と 2 人に分かれる場合のみである．この場合 X_i に含まれる 1 人のエージェント $a_{(i,0)}$ と提携を形成する $X_{(i+1) \bmod 5}$ の要素または $X_{(i-1) \bmod 5}$ の要素または $a_{(i,0)}$ のみから形成される提携について考える．

$a_{(i,0)}$ が，$X_{(i+1) \bmod 5}$ の要素と提携を形成する場合は，どのような提携の形成をしても X_i の要素の友達の数は高々 3 であるため，$X_i \cup X_{(i-1) \bmod 5}$ から形成される友達の数 4 の提携に強くブロックされる．$a_{(i,0)}$ が，$X_{(i-1) \bmod 5}$ の要素と提携を形成する場合は，どのような提携を形成しても $X_{(i-1) \bmod 5}$ の要素の友達の数は高々 3 であるため，$X_{(i-1) \bmod 5} \cup X_{(i-2) \bmod 5}$ から形成される友達の数 4 の提携に強くブロックされる． $a_{(i,0)}$ のみから形成される提携だった場合，$X_i \cup X_{(i+4) \bmod 5}$ から形成される友達の数 4 の提携として，X_i のエージェントが逸脱を起こす誘因のない唯一の提携の形成は $a_{(i,1)}$ と $a_{(i,2)}$ が X_{i+1} の全てのエージェントと提携を形成する場合である． ここで，$X_{(i+2) \bmod 5}$ に注目すると，$X_{(i+2) \bmod 5}$ は $X_{(i+3) \bmod 5}$ と，どのような提携の形成をしても $X_{(i+3) \bmod 5}$ の友達の数は高々 4 であるため，$X_{(i+3) \bmod 5} \cup X_{(i+4) \bmod 5}$ から形成される友達の数 5 の提携に強くブロックされる．従って，友達の数 2 の $X_{(i+2) \bmod 5}$ のみから形成される提携となるしかないが，その場合は，$X_{(i+1) \bmod 5} \cup X_{(i+2) \bmod 5}$ から形成される友達の数 5 の提携に強くブロックされる．よって X_i に含まれる 1 人以上 3 人未満のエージェントと $X_{(i+1) \bmod 5}$ または，$X_{(i-1) \bmod 5}$ に含まれる 1 人以上，3 人以下のエージェントから形成される提携がコア安定性を満たす提携構造の要素とは成り得ない．

対称性より同様に，X_i に含まれる 1 人以上 3 人以下のエージェントと $X_{(i+1) \bmod 5}$ または，$X_{(i-1) \bmod 5}$ に含まれる 1 人以上，3 人未満のエージェントから形成される提携はコア安定性を満たす提携構造の要素に成り得ないことが示される．

上記より，提携は隣り合うクリークの全エージェントを含むか，単一のクリークから形成されるかのいずれかである．また，隣り合うクリーク X_i と $X_{(i+1) \bmod 5}$ がそれぞれ友達の数 2 の提携として共に単独で提携を形成することはありえない．なぜなら，X_i と $X_{(i+1) \bmod 5}$ に含まれる全エージェントで提携を形成することによって，それぞれ友達の数 5 と 4 から成る提携を形成し，強くブロックされるためである．よって一般性を失うことなしに，X_i と $X_{(i+1) \bmod 5}$ の要素が全エージェントで提携を形成し，それぞれ友達の数 5 と 4 から成る提携を形成する． $X_{(i+2) \bmod 5}$ と $X_{(i+3) \bmod 5}$ の要素が全エージェントで提携を形成し，それぞれ友達の数 5 と 4 から成る提携を形成する．そして，$X_{(i+4) \bmod 5}$ の要素のエージェントのみから成る友達の数 2 の提携が形成される． しかし，この提携は $X_{(i+3) \bmod 5}$ と $X_{(i+4) \bmod 5}$ に含まれる全エージェントで

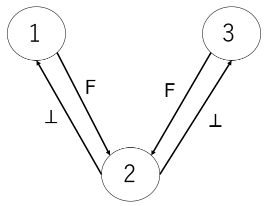

図 2: 定理 3 の証明で用いる個人に対する選好の例.

提携を形成することで，それぞれ友達の数 5 と 4 から形成される提携に強くブロックされるため， コア安定性を満たす提携構造はない.

従って，エージェントの 3 分類, 敵対者拒否方式によって決定される選好においてコア安定性を満たす提携構造が常には存在しない. □

上記の証明より，敵対者拒否方式による選好においてコア安定性を満たす提携構造が常には存在しないことが示された．従って，コア安定性を強めた強コア安定性を満たす提携構造は常には存在しない.

4. 友達優先方式

本章では，提携への選好を友達優先方式で決定する場合を議論する．友達優先方式は友達が多い提携を好ましいとする提携の比較方法であった．友達優先方式での提携構造に対するコア安定性と強コア安定性を考える．まず，任意の個人の選好に対して，コア安定性を満たす提携構造は常に存在することを示す．そして，任意の個人の選好に対して，強コア安定性を満たす提携構造は常には存在しないことを示す.

定理 2 エージェントの 3 分類, 友達優先方式によって決定される選好においてコア安定性を満たす提携構造は常に存在する.

紙幅の都合上，証明は割愛する.

証明は割愛したが，定理 2 で用いる証明によって，コア安定性を満たす提携構造を多項式時間で求解可能なアルゴリズム [Dimitrov 06] が我々のモデルでも同様に適用可能であることを示すことができる.

定理 3 エージェントの 3 分類, 友達優先方式によって決定される選好において強コア安定性を満たす提携構造は常には存在しない.

証明 $N = \{1, 2, 3\}$, $P \in \mathcal{P}^f$, $V = N$, 有向グラフを $(V, A_F \cup A_\perp)$ とする．$F_1 = \{1, 2\}, F_2 = \{2\}, F_3 = \{2, 3\}, \perp_1 = \emptyset, \perp_2 = \{1, 3\}, \perp_3 = \emptyset, E_1 = \{3\}, E_2 = \emptyset, E_3 = \{1\}$ である場合を考える．この例において，コア安定性を満たす提携構造が存在しないことを示す．各エージェントの他のエージェントに対する選好は有向グラフを用いて図 2 のように表される.

まず，全員が個人で提携を形成する場合，提携構造 {{1}, {2}, {3}} は {1, 2} にブロックされる．次に全員で提携を形成する場合 {{1, 2, 3}} も同様に {1, 2} にブロックされる．従って，考えられるのはエージェント数が 1 と 2 の提携から形成される提携構造である．まず，{{1, 2}, {3}} は {2, 3} にブロックされる．次に，{{1}, {2, 3}} は {1, 2} にブロックされる．最後に，{{1, 3}, {2}} は {1, 2} にブロックされる.

従って，エージェントの 3 分類, 友達優先方式によって決定される選好において強コア安定性を満たす提携構造は常には存在しない. □

5. 結論

本論文では，各エージェントにおける他のエージェントへの選好を友達／無関心な人／敵対者という 3 つの分類で表現する方法を定義した．この個人に対する選好のもとで提携への選好を友達優先方式，敵対者拒否方式という 2 つの方式で決定する新たな選好モデルのコア安定性について解析を行った．敵対者拒否方式による選好では，コア安定性を満たす提携構造は常には存在しないことを証明した．一方，友達優先方式による選好では，コア安定性を満たす提携構造は常に存在することを証明した．また，コア安定性を満たす提携構造を多項式時間で求解可能なアルゴリズム [Dimitrov 06] が，我々のモデルでも適用可能であることを示した.

今後の方針として，本論文で扱った 3 つの分類をさらに細かくした，個人に対する選好の表現方法を定義する．そして，提携への選好を友達優先方式で決定する選好モデルを新たに定義し，コア安定性を満たす提携構造が常に存在するか否かに関する考察をすることが挙げられる.

謝辞

本研究は JSPS 基盤研究 (S) (24220003)，JST 国際科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プログラム) の助成を受けました．深く感謝致します.

参考文献

[Alcalde 04] Alcalde, J. and Revilla, P.: Researching with whom? Stability and manipulation, *Journal of Mathematical Economics*, Vol. 40, No. 8, pp. 869–887 (2004)

[Aziz 12] Aziz, H. and Brandl, F.: Existence of stability in hedonic coalition formation games, in *Proceedings of the Eleventh International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS2012)*, Vol. 2, pp. 763–770 (2012)

[Aziz 16a] Aziz, H., Harrenstein, P., Lang, J., and Wooldridge, M.: Boolean hedonic games, in *Proceedings of the Fifteenth International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR2016)*, pp. 166–175 (2016)

[Aziz 16b] Aziz, H. and Savani, R.: Hedonic Games, in *Handbook of Computational Social Choice*, chapter 15, Cambridge University Press (2016)

[Burani 03] Burani, N. and Zwicker, W. S.: Coalition formation games with separable preferences, *Mathematical Social Sciences*, Vol. 45, No. 1, pp. 27–52 (2003)

[Dimitrov 06] Dimitrov, D., Borm, P., Hendrickx, R., and Sung, S. C.: Simple priorities and core stability in hedonic games, *Social Choice and Welfare*, Vol. 26, No. 2, pp. 421–433 (2006)

[Dreze 80] Dreze, J. H. and Greenberg, J.: Hedonic coalitions: Optimality and stability, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp. 987–1003 (1980)