

心理的効果を用いた人間とエージェントの 繰り返し交渉戦略

Strategy using psychological effects for multi-round human-agent
negotiation

松下 昌悟

Shogo MATSUSHITA

(2017 年度入学, 17268508)



指導教員 藤田 桂英 准教授

東京農工大学 工学部 情報工学科

2018 年度卒業論文

(平成 31 年 1 月 31 日提出)

題目 心理的效果を用いた人間とエージェントの繰り返し交渉戦略

Strategy using psychological effects for multi-round human-agent negotiation

学籍番号 17268508 氏名 松下 昌悟 (Shogo MATSUSHITA)

提出日 平成 31 年 1 月 31 日

交渉スキルは友人への頼みごと等の小規模な問題だけでなく企業の提携，国家間の取引等の大規模な問題を解決する際に必要である．しかし，交渉スキルを高めるには専門家による指導を受け，実践する必要があるため習得コストが非常に高い．特に，交渉はビジネス，衝突解消，AI など複数の分野で研究されているが，近年では交渉スキルの教育ツールなどへ応用が可能であるため，人間とエージェントとの交渉への関心が高まっている．

人間とエージェントの交渉では感情表現が及ぼす効果や，単一の交渉において効果のある戦略等が研究されている．一方で，繰り返し行われる交渉に対応できる戦略が少ないのが現状である．

そこで本論文では，同じ対戦相手と繰り返し行われる交渉に対する戦略として，人間の心理的效果を利用した交渉術である段階的要請法と譲歩的要請法を組み合わせた手法を提案する．提案手法では，1 回の交渉内では時間が経過するごとに提案を受諾する水準を変化させ，同時に相手との交渉回数が増加するごとに水準を変化させる．2 つの水準の変化に対して段階的要請法，譲歩的要請法，水準を変化させない方法の 3 種類からそれぞれ 1 つずつ適用し，これらを組み合わせた 8 種類の戦略を提案し，IAGO のサンプルエージェントと比較を行う．評価実験を行う前に予備実験を実施し，8 種類の戦略を適用したエージェントと予備実験用のエージェントでそれぞれ交渉を行い，段階的要請法と譲歩的要請法に用いるパラメータを決定した．

さらに，決定したパラメータを用いて 9 人の被験者に対してエージェントと交渉する実験を行った．評価実験において，エージェントと人間が得られた効用の差を比較すると 8 種類の戦略すべてが IAGO のサンプルエージェントより高いことを示した．

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	本研究の目的	2
1.3	本論文の構成	3
第2章	関連研究	4
2.1	自動交渉エージェント競技会 (ANAC)	4
2.1.1	ANAC	4
2.1.2	IAGO	5
2.2	自動交渉における心理的効果に関する研究	6
第3章	問題設定	7
3.1	複数論点交渉問題	7
3.2	繰り返し交渉問題	8
第4章	心理的効果を用いた人間とエージェントの繰り返し交渉戦略	9
4.1	段階的要請法 (Foot-in-the-Door technique)	9
4.2	譲歩的要請法 (Door-in-the-Face technique)	10
4.3	段階的要請法と譲歩的要請法を組み合わせた交渉戦略の提案	10
第5章	予備実験	13
5.1	目的と概要	13
5.2	実験設定	13
5.3	実験結果と考察	15
5.3.1	パラメータ α の実験結果と考察	18
5.3.2	パラメータ β の実験結果と考察	23
5.4	実験のまとめ	26

第 6 章	評価実験	27
6.1	目的と概要	27
6.2	実験設定	27
6.3	実験結果と考察	28
6.4	実験のまとめ	32
第 7 章	おわりに	33
7.1	まとめ	33
7.2	今後の課題	33

目 次

2.1	IAGO のインタフェース	5
4.1	段階的要請法の概要	9
4.2	譲歩的要請法の概要	10
4.3	提案手法の概要	11
5.1	提案手法のエージェントの個人効用	16
5.2	エージェントの社会的余剰	16
5.3	提案手法のエージェントの交渉決裂率	17
5.4	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (1)	18
5.5	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (2)	19
5.6	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (3)	19
5.7	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (1)	20
5.8	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (2)	20
5.9	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (3)	21
5.10	α の更新回数に対する個人効用	22
5.11	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (1)	23
5.12	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (2)	23
5.13	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (3)	24
5.14	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (1)	24
5.15	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (2)	25
5.16	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (3)	25
6.1	エージェントの個人効用	29
6.2	被験者の個人効用	29
6.3	エージェントと被験者の個人効用の差分	30

6.4 エージェントと被験者の社会的余剰	30
6.5 エージェントの交渉決裂率	31

表 目 次

4.1	戦略の組合わせ	12
5.1	予備実験で用いるドメイン	13
5.2	予備実験で用いるパラメータ	14
5.3	各論点の価値	14
5.4	予備実験用のエージェントに用いるパラメータ	15
6.1	評価実験で用いるパラメータ	28

第1章 はじめに

1.1 背景

交渉スキルは友人への頼みごと等の日常的な小規模な問題だけでなく企業の提携，国家間の取引等の大規模な問題を解決する際に必要である．特に，組織的な団体に属する場合は目標を達成するために交渉を行う必要がある場面が多い．しかし，交渉スキルなどの対人能力は大学を卒業した学生であっても不十分であり [1]，交渉スキルの不足により不利益を被ることも多い．交渉スキルを高めるには専門家による指導を受け，体験学習で実践を行う必要があり，受講の費用も高額であるため習得コストが非常に高い．このように交渉スキルを高めるためのコストは非常に高いが，教育ツールとして交渉エージェントを包含したソフトウェアを用いることで習得にかかるコストを劇的に削減することができる．また，専門家による指導は指導者と受講者の時間的制約もあるが，ソフトウェアによる指導の場合は時間的制約も削減することが可能である．人間とエージェントの交渉において交渉における5つの原則 [2] のうち3つをどの程度達成しているかを数値化し視覚化する研究 [3] も行われており，教育ツールへの応用が期待されている．交渉はビジネス，衝突解消，AI など複数の分野で研究されているが，前述のように交渉スキルを教育するためのツールなどへ応用が可能であるため，人間とエージェントとの交渉への関心が高まっている [4]．

近年，行動科学の研究では交渉中に感情が与える影響に関心が高まってきている [5]．感情は重要な社会的機能を有しており，個人の信条，欲望，意図などの情報を伝達する．例として多くの研究では交渉において怒りは相手からより多くの譲歩を引き出す一方で，喜びは相手からあまり譲歩を引き出すことができないという結果が示されている [6]．したがって，交渉相手が怒った場合は，合意に達するために要求を下げ，一方で，交渉相手が喜んだ場合は，戦略的に多くの要求をすることができる．これらの心理的効果が人間同士の交渉だけではなく人間とエージェントの交渉でも同様な効果があることが示された [7]．このように，人間とエージェントが交渉を行う際も感情などの心理的効果が交渉結果に影響を与えるが，人間とエージェントの交渉ではこれらの影響を考慮していないモデルが多かった．その要因として，エージェント同士の交渉に用いるエージェントを作成するプラットフォームとして Genius[8] などがある一方で，人間と交渉可能なエー

ジェントを作成するために最適なプラットフォームがないという問題点があった。複数論点交渉問題について扱う Colored Trails[9], Colored Trails の WEB 版である WebCT[10], 自然言語による交渉に焦点を当てた NegoChat[11] などが存在しているが, これらのプラットフォームは単一のチャネルを用いたコミュニケーションに重点を置いており, 感情に関する情報を表出するチャネルが含まれていない。人間と交渉を行うことができるエージェントを作成するためのプラットフォームである IAGO[12] は感情やメッセージの送信を行うためのチャネルがあらかじめ用意されており, IAGO が登場してからは, 心理的効果を反映したエージェントに関する研究が増えつつある。一方で, 繰り返し交渉に対応できる戦略が少ないのが現状である。

また, 作成したエージェントを用いて交渉を行い, 個人効用や社会的余剰の値を競い合う自動交渉エージェント競技会 (Automated Negotiation Agent Competition(ANAC)) が 2010 年から毎年開催されている [13, 14, 15, 16]。ANAC では 2016 年まではエージェント同士の交渉を行うリーグだけが開催されていたが, 自動交渉は Diplomacy などの交渉を行うゲーム AI や人間との交渉に応用されることが期待されており, ANAC では 2017 年から Diplomacy を取り扱う Diplomacy Strategy Game League, 人間とエージェントが交渉を行う Human-Agent Negotiation League が開催された。Human-Agent Negotiation League ではエージェントを作成するためのプラットフォームとして IAGO が採用され, 2018 年から繰り返し交渉を取り扱っており, 繰り返し交渉に対応した戦略に対する関心が高まってきている。

1.2 本研究の目的

本研究では, 人間と交渉を行うことが可能でかつ同じ相手と繰り返し交渉する際に個人効用が高くなるようなエージェントを提案することを目的とする。具体的には, 交渉時間の増加, 交渉回数の増加に応じて相手の提案を受諾する水準を変化させることで繰り返し交渉に対応する。本研究では, 提案を受諾する水準を変化させる手法として人間の心理的効果を利用した交渉術である段階的要請法および譲歩的要請法に着目し, これらの手法を組み合わせることで人間とエージェントの自動交渉に用いることで, 繰り返し交渉に対応可能な戦略を提案する。また, 提案手法および IAGO のベースラインのエージェントと人間が交渉を行う実験を実施し評価を行うことで, 提案手法の有効性を示すことを目的とする。

1.3 本論文の構成

以下に本論文の構成を述べる．第2章では，関連研究として，自動交渉エージェント競技会の概要，IAGO の概要，心理的効果が交渉に与える影響についての研究について述べる．第3章では，本研究で取り扱う交渉問題である複数論点交渉問題と繰り返し交渉問題について述べる．第4章では，提案手法の詳細として，段階的要請法および譲歩的要請法とこれらを組み合わせた繰り返し戦略について述べる．第5章では，繰り返し戦略に用いるパラメータを決定するために行なった予備実験の結果について述べる．第6章では，予備実験で決定したパラメータを用いて被験者に対して行なった評価実験の結果について述べる．最後に，第7章では本研究のまとめと今後の課題を示す．

第2章 関連研究

2.1 自動交渉エージェント競技会 (ANAC)

2.1.1 ANAC

自動交渉エージェント競技会 (Automated Negotiation Agent Competition) は各自が作成したエージェント同士で交渉を行い個人獲得効用や社会的余剰などを競う競技会である [13, 14, 15, 16]. ANAC は毎年開催され, 2010 年 (第 1 回) から 2016 年 (第 7 回) までは International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems(AAMAS) と共催で行われた. 2017 年 (第 8 回), 2018 年 (第 9 回) は International Joint Conference on Artificial Intelligence(IJCAI) と共催で行われ, 2019 年度 (第 10 回) も IJCAI と共催で行われる予定である. ANAC は以下の 4 点を目的としている.

- 未知の相手に対し, 様々な状況で巧みに交渉できる実用的な交渉エージェントの設計を促進する
- 様々な交渉戦略を客観的に評価する指標を提供する
- 様々な学習手法, 適応戦略, 交渉相手のモデル構築を探索する
- 最先端の交渉エージェントと交渉シナリオを収集し, 研究コミュニティに提供する

ANAC では 2016 年までは自動交渉のプラットフォームである Genius を用いて単一のリーグが開催されていた. 2017 年からは複数のリーグが開催され, Genius を使用し任意のドメインで交渉を行う Repeated Multilateral Negotiation League, Bandana(BASic eNvironment for Diplomacy playing Automated Negotiating Agents) を使用しボードゲームの Diplomacy の交渉を扱う Diplomacy Strategy Game League, IAGO(Interactive Arbitration Guide Online) を使用し人間とエージェントの交渉を扱う Human-Agent Negotiation League の 3 つのリーグが開催された. また, 2018 年からは Human-Agent Negotiation League では人間とエージェントの繰り返し交渉が行われている.

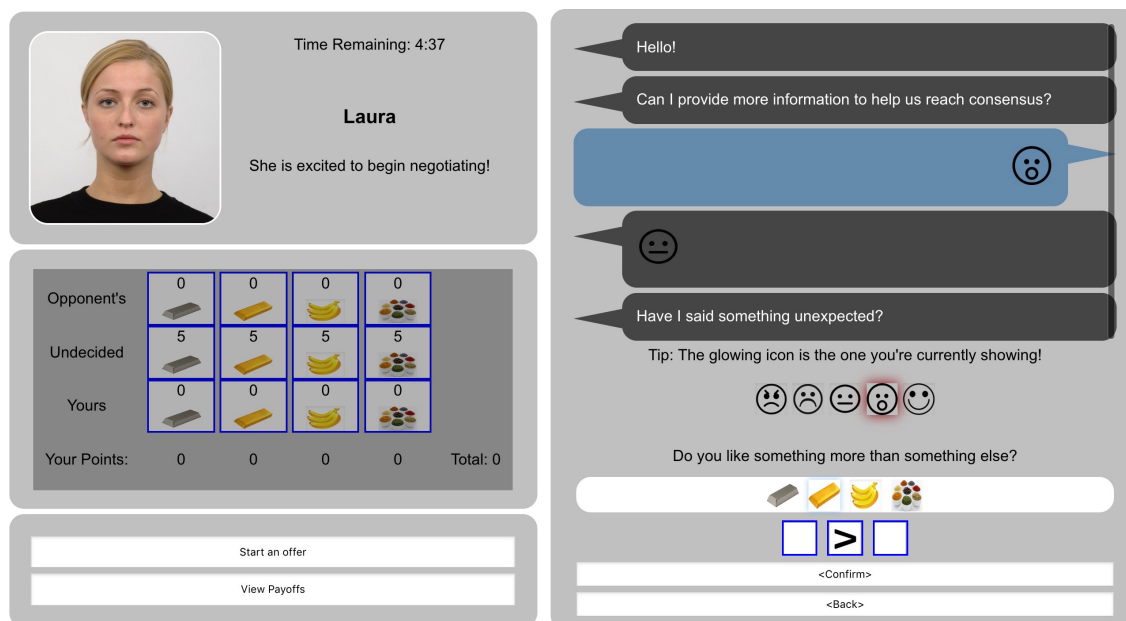


図 2.1: IAGO のインタフェース

2.1.2 IAGO

IAGO(Interactive Arbitration Guide Online) は ANAC の Human-Agent Negotiation リーグで使用される自動交渉のプラットフォームである [12]. IAGO のインタフェースを図 2.1 に示す. IAGO では, 人間と交渉を行うエージェントおよび交渉のドメインを作成することが可能である. IAGO の特徴として以下の 3 点が挙げられる [17].

1. WEB 上で動作する
2. API が公開されている
3. 人間同士の交渉で用いられるチャンネルが利用可能

第 1 の特徴により, エージェントと交渉を行うクライアントは WEB ブラウザ上で交渉を行うことが可能である. したがって, クライアントはソフトウェアのインストールなどを行うことなく交渉を開始することができる. 第 2 の特徴により, 競技会や研究のためのエージェントおよび交渉ドメインの設計を容易に行うことが可能となる. 第 3 の特徴により, エージェントおよびクライアントは感情の表出, メッセージの送信, 選好の公開および誘発などを交渉中に行うことが可能となる. これにより, 人間同士の交渉で用いられるチャンネルによる交渉結果への影響を研究することおよびこれらのチャンネルを利用した交渉を行うエージェントを作成することが容易とな

る。IAGO では、サンプルとして Pinocchio エージェントがあらかじめ用意されており、本研究では、Pinocchio エージェントをベースにして戦略の実装し、実験を行う。

2.2 自動交渉における心理的効果に関する研究

人間とエージェントの交渉における心理的効果に関する研究として Celso らの研究がある [7]。この研究では、交渉相手がエージェントだと知らされた上で感情が交渉に対して影響を与えるか調査している。同時に、感情の伝達方法によって交渉に与える効果の差異についても調査している。交渉は Alternating Offers Protocol[18] を用いて行い、感情は怒り、喜び、中立の 3 種類、感情の伝達方法は言語、画像の 2 種類について実験を行なっている。実験は 150 人の被験者に対して行われ、実験の結果、エージェントが怒りの感情を相手に伝えた場合被験者は大きく譲歩し、喜びの感情を相手に伝えた場合被験者はあまり譲歩しないという結果となった。また、感情の伝達方法については譲歩の度合いに有意差はなく、感情は伝達方法とは独立に交渉結果に影響を与え、感情によって交渉結果が異なることが明らかになった。この研究では、今後の展望として繰り返し交渉において感情のような心理的効果が与える影響について調査する必要性について述べられている。

第3章 問題設定

3.1 複数論点交渉問題

本研究では、交渉問題の中でも論点が複数存在する複数論点交渉問題を扱う。エージェント A_1 と A_2 が交渉を行う場合を考える。エージェント $a \in \{A_1, A_2\}$ の目的関数 f は、 a の効用関数 U_a とすべての合意案候補集合 S を用いると式 3.1 と表すことができる。

$$f = \arg \max_{s \in S} U_a(s) \quad (3.1)$$

複数論点交渉問題の場合、目的関数 g は式 3.2 で表され、この目的関数の値は社会的余剰と呼ばれる。

$$g = \arg \max_{s \in S} \sum_{a \in \{A_1, A_2\}} U_a(s) \quad (3.2)$$

一つの交渉問題はドメインと呼ばれ、論点数 N のドメインは固有の論点集合 $I = \{i_1, i_2, \dots, i_N\}$ を持つ。また、論点 $i_k \in I$ は選択肢集合 $V_k = \{v_{k1}, v_{k2}, \dots, v_{kn_k}\}$ を持つ。ただし、論点 i_k の選択肢数を n_k と定義する。

各論点 $i_k \in I$ についてそれぞれ選択肢 $v_k \in V_k$ を一つずつ選んだものを合意案候補 (Bid) と呼び、 $s = (v_1, v_2, \dots, v_N)$ として表現される。また、すべての合意案候補集合 S は式 3.3 と表すことができる。

$$S = \{s = (v_1, v_2, \dots, v_N) | v_k \in V_k, 1 \leq k \leq N\} \quad (3.3)$$

エージェントは各論点 i_k について重み w_k ($\sum_{k=1}^N w_k = 1$) および選択肢の評価値 $eval(v_k \in V_k)$ を持つ。ただし、 $eval(v_k \in V_k)$ は最大値が 1 となるように正規化されているものとする。このとき、エージェントの効用関数 U は式 3.4 となる。

$$U(s) = \sum_{k=1}^N w_k \cdot eval(v_k) \quad (3.4)$$

また、各エージェントに対し留保価格 (reservation value) 設定される場合がある。留保価格は合意形成に失敗した際にエージェントが獲得できる効用値である。

3.2 繰り返し交渉問題

本研究では、繰り返し交渉問題を扱う。繰り返し交渉問題は、交渉問題の中でエージェント A_1 と A_2 が複数回交渉を行うものを指す。本研究では、繰り返し交渉問題の中でも特に、以下の2つの関係を満たす交渉問題について取り扱う。これらは ANAC2018 の Human-Agent Negotiation League に基づいている。

1. 各交渉において各論点における各選択肢の一番高い値をエージェント A_1 が選択した場合の効用 U_1 と A_2 が選択した場合の効用 U_2 は等しい
2. 1, 2, \dots , n 回目の交渉において U_1 および U_2 の値は不変である

エージェント $a = \{A_1, A_2\}$ にとっての論点 i_k についての選択肢の実際の価値を $val(v_{ak} \in V_{ak})$ とすると、各交渉におけるエージェント A_1 と A_2 の効用値の関係は式 3.5 となる。

$$\sum_{k=1}^N w_{A_1k} \cdot val(v_{A_1k}) = \sum_{k=1}^N w_{A_2k} \cdot val(v_{A_2k}) \quad (3.5)$$

また、 n 回目の交渉におけるエージェント $a = \{A_1, A_2\}$ にとっての論点 i_k についての重みを w_{ak}^n 、選択肢の実際の価値を $val(v_{ak}^n \in V_{ak}^n)$ とすると、1, 2, \dots , n 回目の交渉における効用値の関係は式 3.6 となる。

$$\sum_{k=1}^N w_{ak}^1 \cdot val(v_{ak}^1) = \sum_{k=1}^N w_{ak}^2 \cdot val(v_{ak}^2) = \dots = \sum_{k=1}^N w_{ak}^n \cdot val(v_{ak}^n) \quad (3.6)$$

第4章 心理的効果を用いた人間とエージェントの 繰り返し交渉戦略

4.1 段階的要請法 (Foot-in-the-Door technique)

段階的要請法は交渉の際に用いられる心理的手法である [19, 20]。段階的要請法の概要を図 4.1 に示す。段階的要請法では、最初に相手に対して小さい要求を行い、徐々に要求を上げていく手法である。この手法は自分の行動を一貫したものにしたいという人間の一貫性の原理を利用した交渉術である。

図 4.1 では売り手は買い手に対して話を聞いてもらうという小さな要求を行い、次にこの要求を承諾した買い手に対して商品を購入してもらうという大きな要求を行なっている。このように、段階的要請法では事前に小さな要求を相手に承諾させることで真の要求を相手に拒否させづらくすることが可能である。

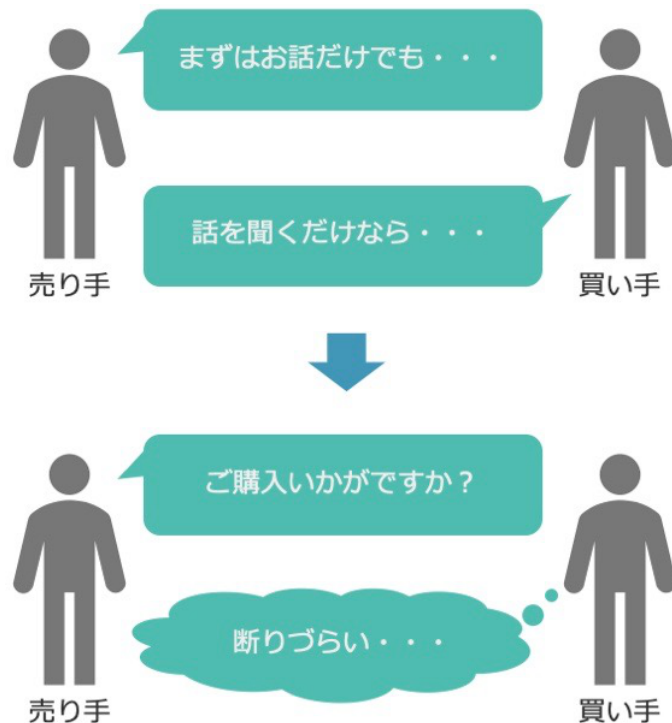


図 4.1: 段階的要請法の概要

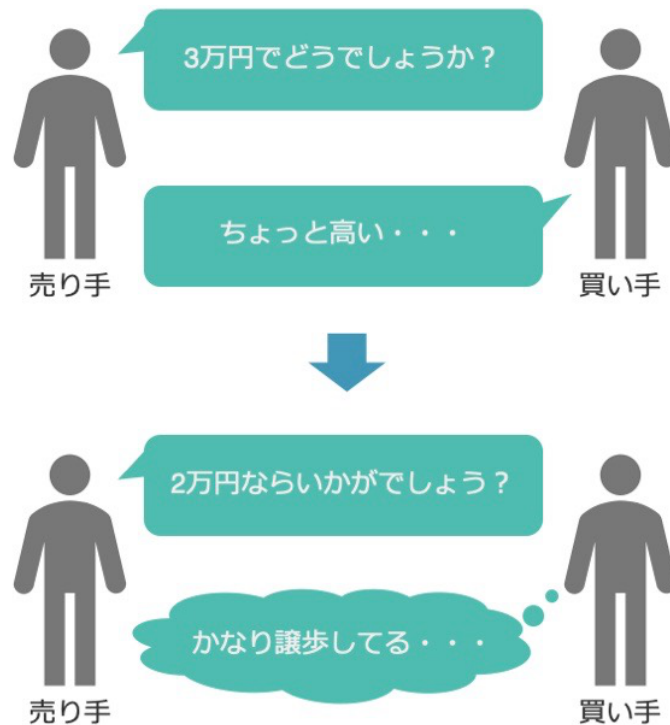


図 4.2: 譲歩的要請法の概要

4.2 譲歩的要請法 (Door-in-the-Face technique)

譲歩的要請法は交渉の際に用いられる心理的手法である [19, 21]。譲歩的要請法の概要を図 4.2 に示す。譲歩的要請法では、段階的要請法とは対照的に最初に相手に対して大きい要求を行い、徐々に要求を下げていく手法である。この手法は相手が譲歩してきたため自分も譲歩するべきという人間の返報性の原理を利用した交渉術である。

図 4.2 では売り手は買い手に対して 3 万円で商品を買ってもらおうという大きな要求を行い、次にこの要求を拒否した買い手に対して商品を値下げし 2 万円で商品を買ってもらおうという小さな要求を行なっている。このように、譲歩的要請法では事前に大きな要求を行い、相手に要求を拒否させることで真の要求を相手に拒否させづらくすることが可能である。

4.3 段階的要請法と譲歩的要請法を組み合わせた交渉戦略の提案

本稿では、先述した段階的要請法と譲歩的要請法を組み合わせることで繰り返し交渉に対応した戦略を提案する。提案手法の概要を図 4.3 に示す。以下、1 回目の交渉開始時に相手の提案を受諾する水準 (以降、受諾水準と略記) を L 、交渉の時間経過に伴って水準 L に加算する値を α 、交渉回数の増加に伴って水準 L に加算する値を β と定義する。なお L は相手から送信された提案にお

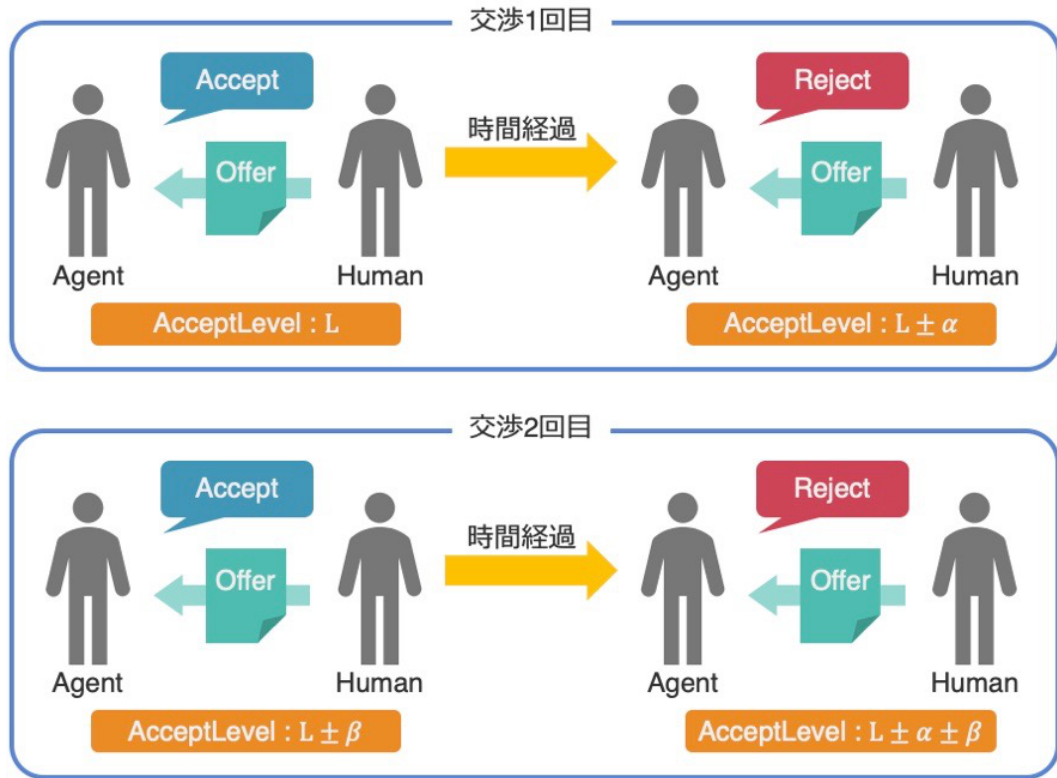


図 4.3: 提案手法の概要

ける相手の推定効用の値である．提案手法では受諾水準を変化させる．1回の交渉ごとでは，時間経過に伴って受諾水準を変化させる．すなわち，図 4.3 のように交渉開始時の受諾水準が L であった場合，一定時間経過後受諾水準を $L \pm \alpha$ ，さらに一定時間経過後受諾水準を $L \pm 2\alpha$ と変化させる．以下， α を内側のパラメータ， α を使用する戦略を内側の戦略と記述する．また，同時に交渉回数の増加に伴って受諾水準を変化させる．すなわち，図 4.3 のように交渉開始時の受諾水準が L であった場合，2 回目の交渉開始時の受諾水準を $L \pm \beta$ ，3 回目の交渉開始時の受諾水準を $L \pm 2\beta$ と変化させる．以下， β を外側のパラメータ， β を使用する戦略を外側の戦略と記述する．

提案手法では，これら 2 種類の受諾水準の変化を組み合わせることで，繰り返し交渉に対応する．受諾水準の変化にそれぞれ段階的要請法，譲歩的要請法，水準を変化させない方法の 3 種類を適用した 9 種類の戦略を提案する．戦略の組合わせと対応する戦略名を表 4.1 に示す．表 4.1 の 9 種の戦略の内，内側および外側の戦略がどちらも変化しない NotNot はベースラインとして使用し，NotNot を除外した 8 種類の戦略を提案手法とし，これらの戦略を IAGO のサンプルエージェントである Pinocchio エージェントに適応させたエージェントを用いて第 5 章の予備実験および第 6 章の評価実験を行う．

表 4.1: 戦略の組み合わせ

戦略名	内側の戦略	外側の戦略	α の値	β の値
NotNot	なし	なし	0	0
NotFoot		段階的要請法		> 0
NotDoor		譲歩的要請法		< 0
FootNot	段階的要請法	なし	> 0	0
FootFoot		段階的要請法		> 0
FootDoor		譲歩的要請法		< 0
DoorNot	譲歩的要請法	なし	< 0	0
DoorFoot		段階的要請法		> 0
DoorDoor		譲歩的要請法		< 0

第5章 予備実験

5.1 目的と概要

提案手法に用いる各種パラメータを決定することを目的としてエージェント同士での交渉を行う実験を行う。具体的には提案手法の戦略を適用した8つのエージェントと予備実験用の戦略を適用したエージェントでそれぞれ交渉を行う。本実験では、提案手法の戦略を適用したエージェントの個人効用が高いほど良いパラメータであると評価する。

5.2 実験設定

本実験では、各論点が0～5の計6つの選択肢を有する、4つの論点について交渉を行う。本実験で用いるドメインの詳細およびパラメータを表5.1、表5.2にそれぞれ示す。

本実験では表5.1に示したように、1セット5回の交渉を行う。各論点の価値は1セットごとにランダムに変化させるが、各論点の価値は1～4の間の整数値で重複はない。また、提案手法のエージェントにとって価値が一番高いものは予備実験用のエージェントにとって一番価値が低いといったように、一方にとって価値が高いものはもう一方にとって価値が低くなるように設定する。各論点の価値の例を表5.3に示す。論点1を例にとると、提案手法のエージェントにとっての価値は4であり、一番価値がある論点となる。一方、予備実験用のエージェントにとっての価値は1であり、一番価値がない論点となる。本実験では各論点に対して0から5の計6つの選択肢が存在し、提案手法のエージェントと予備実験用のエージェントは同一の論点において選択肢の値の合計は5以下でなければならない。例えば、提案手法のエージェントが論点1において選択肢3を選択した場合、予備実験用のエージェントは論点1において選択肢3, 4, 5を選択することはできない。最終的にすべての論点において両エージェントの選択肢数の合計が5となった提案

表 5.1: 予備実験で用いるドメイン

論点数	各論点の選択肢数	繰り返し回数	留保価格
4	6	5	4

表 5.2: 予備実験で用いるパラメータ

	α の初期値	α の増分	β の初期値	β の増分	α の更新回数
取りうる値	0. 0 ~ 8. 0	0. 5 ~ 4. 0	0. 0 ~ 8. 0	0. 5 ~ 4. 0	1 ~ 10
刻み幅	1. 0	0. 5	1. 0	0. 5	1
取りうる値の総数	9	8	9	8	10

表 5.3: 各論点の価値

	論点 1 の価値	論点 2 の価値	論点 3 の価値	論点 4 の価値
提案手法のエージェント	4	2	3	1
予備実験用エージェント	1	3	2	4

(FullOffer) が受諾された場合、交渉は終了する。時間内にすべての論点における両エージェントの選択枝数の合計が5にならない場合、両エージェントは留保価格が個人効用となる。本実験では交渉が合意に至った場合、交渉終了時の選択枝の値に各論点の価値を乗じた値がエージェントの個人効用となる。すなわち、式 3.5 の w_{ak} が論点の価値、 $val(v_{ak})$ が各論点の選択枝の値としたものが個人効用となる。表 5.3 でそれぞれの価値が与えられている場合、提案手法のエージェントが論点 1 で選択枝 3、論点 2 と論点 3 で選択枝 4、論点 4 で選択枝 0 を選択していた場合、個人効用は 32 となる。一方で、予備実験用エージェントは論点 1 で選択枝 2、論点 2 と論点 3 で選択枝 1、論点 4 で選択枝 5 を選択しているため、個人効用は 27 となる。この場合、提案手法のエージェントが論点 1 および論点 3 で選択枝 5、予備実験用エージェントが論点 2 および論点 4 で選択枝 5 を選択した場合社会的余剰が最大となる。社会的余剰が最大となるような提案で合意した場合、エージェントの個人効用は両者ともに 35、社会的余剰は 70 となる。

この実験では 300 ターンで 1 回の交渉が構成されている。1 ターンで各エージェントは以下の行動のいずれかを行う。

- (1) 両エージェントは自分の選好の相対的な関係を 1 つ相手に伝える
- (2) 一方のエージェントはもう一方のエージェントに提案を行う
- (3) 自分に送られてきた提案を受諾もしくは拒否する

(1) に関しては 10% の確率で (2), (3) が行われる前に実行される。(2), (3) に関しては提案手法のエージェントと予備実験用エージェントのどちらか一方が必ず行う。(2) によって自分に対して提案が行われていた場合は (3)、提案が行われていない場合は (2) を行う。(2) または (3) が行

表 5.4: 予備実験用のエージェントに用いるパラメータ

α の初期値	α の増分	β の初期値	β の増分	α の更新回数
0. 0	-1. 0	0. 0	0. 0	15

われた場合, 1 ターンが終了し次のターンが開始する. (3) で受諾した提案が FullOffer であった場合, 交渉は終了し次の交渉が開始する. 交渉は各戦略について同じパラメータの組み合わせが 10 回程度現れることが期待される回数行になっている. すなわち, FootFoot, FootDoor, DoorFoot, DoorDoor については合計で

$$9 \times 8 \times 9 \times 8 \times 10 \times 10 \times 5 \times 4 \approx 12500000 \text{ 回}$$

の交渉を行い, NotFoot, NotDoor, FootNot, DoorNot については合計で

$$9 \times 8 \times 10 \times 10 \times 5 \times 4 \approx 150000 \text{ 回}$$

の交渉を行った. また, 予備実験用のエージェントは, NotNot の戦略をベースとし, 交渉時間が経過するにつれて譲歩を行うような戦略をとる. このような戦略をとることで, 交渉時間を十分に活用することで譲歩を促す [22]. 以上から, 交渉の早い段階で合意をするべきではないという Harold H. Kelly の交渉に関する論文 [2] で提案されている交渉原則を再現している. 予備実験用のエージェントに用いた各パラメータの値を表 5.4 に示す.

5.3 実験結果と考察

予備実験において, 提案手法のエージェントの個人効用の平均値, 提案手法と予備実験用のエージェントの社会的余剰の平均値, 提案手法のエージェントの交渉決裂率の平均値をそれぞれ図 5.1, 図 5.2, 図 5.3 に示す¹.

¹図 5.1, 図 5.2, 図 5.3 のグラフ中のエラーバーは標準偏差である.

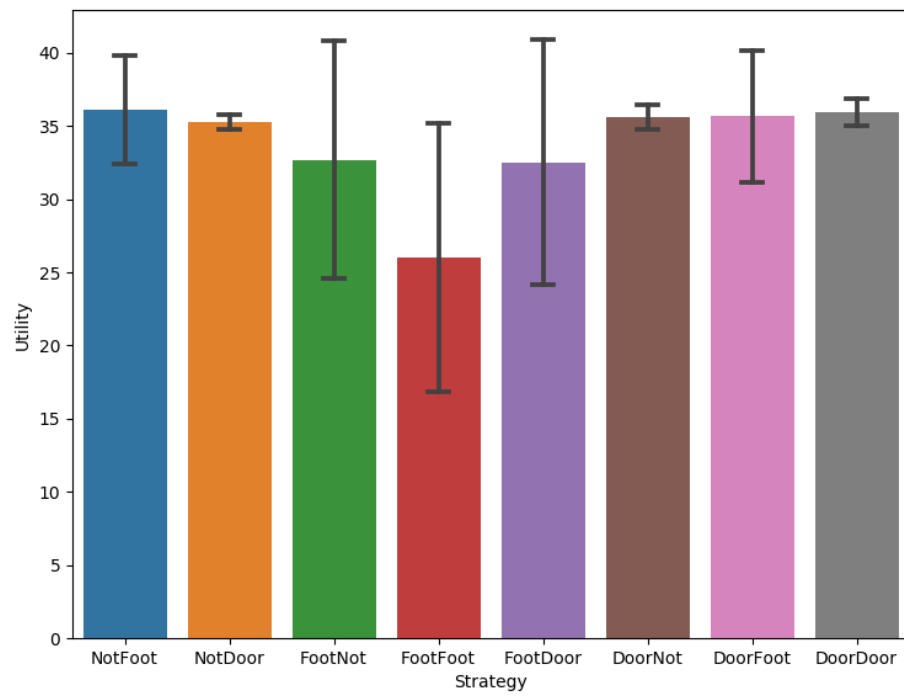


図 5.1: 提案手法のエージェントの個人効用

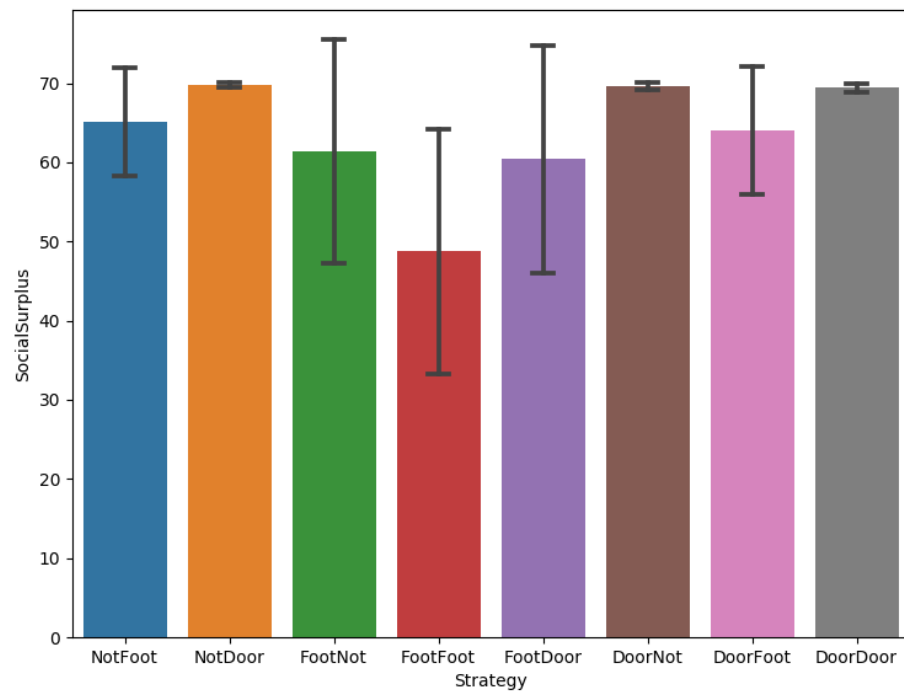


図 5.2: エージェントの社会的余剰

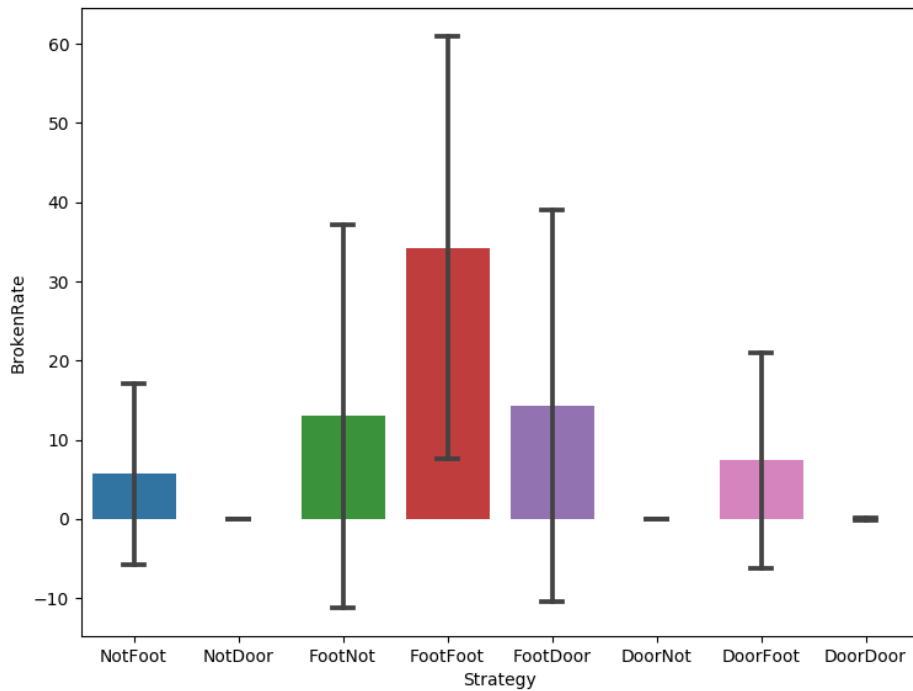


図 5.3: 提案手法のエージェントの交渉決裂率

図 5.3 のように、FootFoot は他の戦略と比較して交渉決裂率の平均値が約 40% と高く、一方で NotDoor, DoorNot, DoorDoor は約 0%, NotFoot, DoorFoot は約 5%, FootNot, FootDoor は約 15% となった。FootFoot は、相手の提案に対して自らが譲歩することがなく受諾水準は単調に増加していくため、予備実験用エージェントが譲歩しても合意できない場合が多く交渉決裂率が高くなった。FootFoot は交渉決裂率が高いため、これに伴って他の戦略と比較してエージェントの個人効用および社会的余剰が低くなってしまった。

一方、NotDoor, DoorNot, DoorDoor はいずれも交渉回数および交渉時間に応じて受諾水準は単調に減少していき、予備実験用エージェントも譲歩していくため最終的にほとんどの交渉において合意に至った。これらの戦略は交渉が決裂することが少なかったため、FootFoot と比較してエージェントの効用および社会的余剰が高くなった。また、これらの戦略はエージェントの個人効用が平均値が約 35, 社会的余剰の平均値が約 70 となっており、分散も小さい。したがって、これらの戦略では安定して社会的余剰が最大となる合意案に達することが可能である。

NotFoot, DoorFoot はいずれも外側の戦略が Foot であり、交渉時間に応じて受諾水準は単調に増加していくが、内側の戦略では単調減少または変化なしである。そのため、外側の戦略が同じく Foot である FootFoot と比較して交渉決裂率が低くなった。また、これらの戦略は NotDoor,

DoorNot, DoorDoor よりも交渉決裂率が高いにもかかわらずエージェントの個人効用の平均値は約 35 である。したがって, NotFoot, DoorFoot の戦略は交渉が合意に至らない可能性があるが代わりに個人効用が高くなりやすい戦略である。

FootNot, FootDoor はいずれも内側の戦略が Foot であり, 交渉回数に応じて受諾水準は単調に増加していくが, 内側の戦略では単調減少または変化なしである。そのため, 外側の戦略が同じく Foot である FootFoot と比較して交渉決裂率が低くなった。また, これらの戦略は NotFoot, DoorFoot よりもエージェントの個人効用および社会的余剰の平均値が低くなっている。これは, 外側の戦略では 4 回水準が増加するのに対して, 本実験では内側の戦略は平均で 5 回水準が増加するからである。したがって, 水準の更新回数が多い内側の戦略に Foot を用いている FootNot, FootDoor は NotFoot, DoorFoot よりエージェントの個人効用および社会的余剰の平均値が低くなってしまった。

5.3.1 パラメータ α の実験結果と考察

予備実験において, パラメータ α の増分および初期値ごとの提案手法のエージェントの効用値を図 5.4, 図 5.5, 図 5.6 に, 交渉決裂率を図 5.7, 図 5.8, 図 5.9 にそれぞれ示す。図 5.4, 図 5.5, 図 5.6 は縦軸が α の増分, 横軸が α の初期値, 色が個人効用を表しており, 青に近いほど低い値, 赤に近いほど高い値となる。図 5.7, 図 5.8, 図 5.9 は縦軸が α の増分, 横軸が α の初期値, 色が交渉決裂率を表しており, 青に近いほど低い値, 赤に近いほど高い値となる。

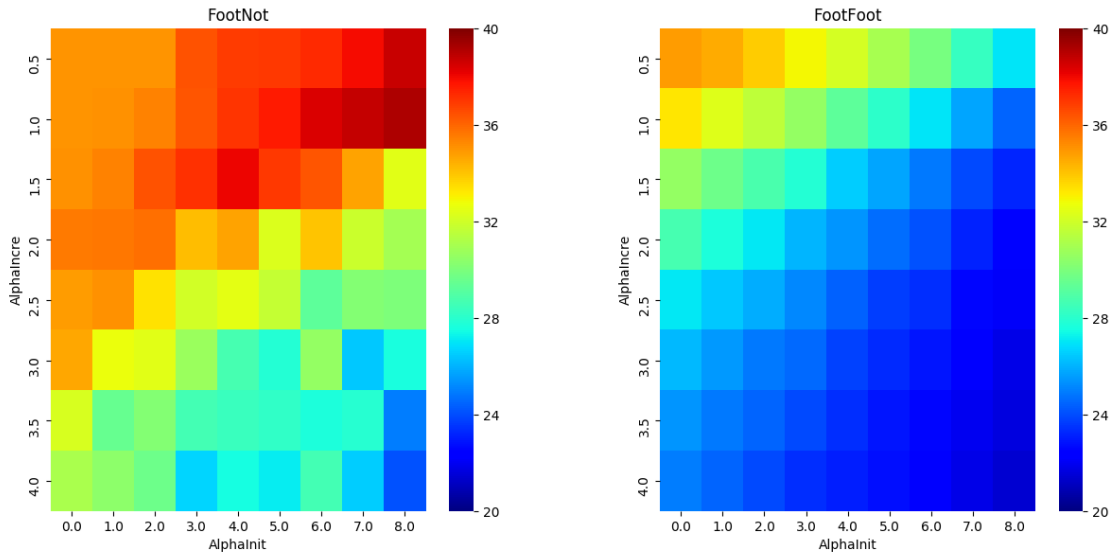


図 5.4: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (1)

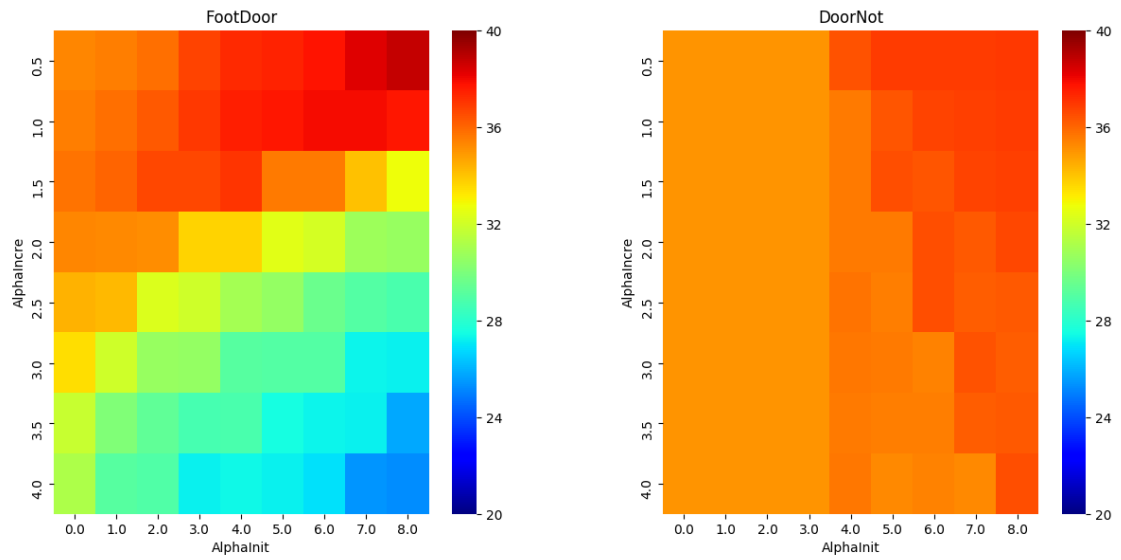


図 5.5: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (2)

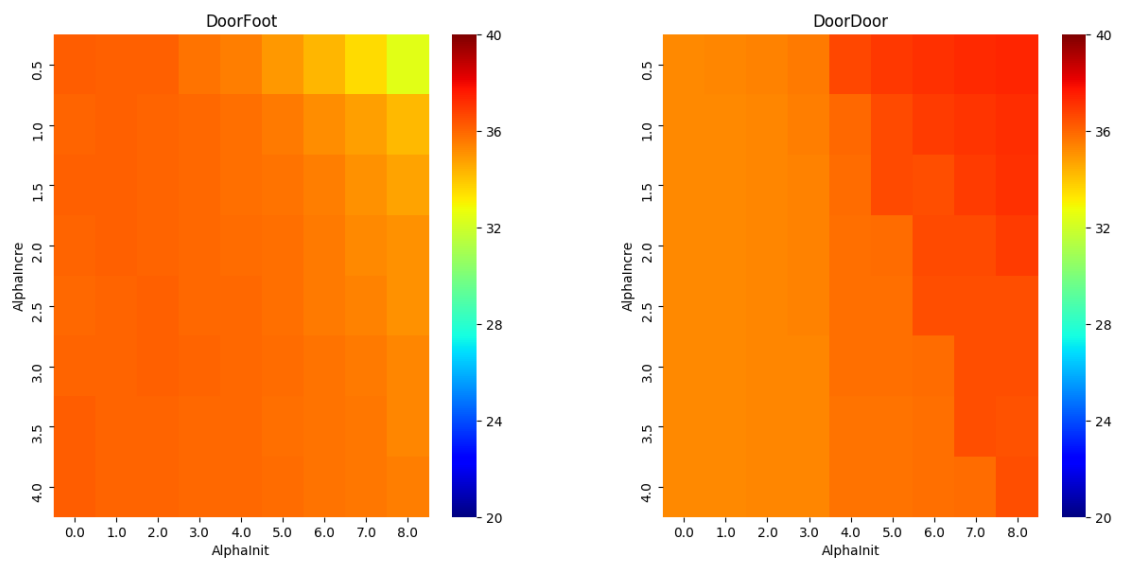


図 5.6: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (3)

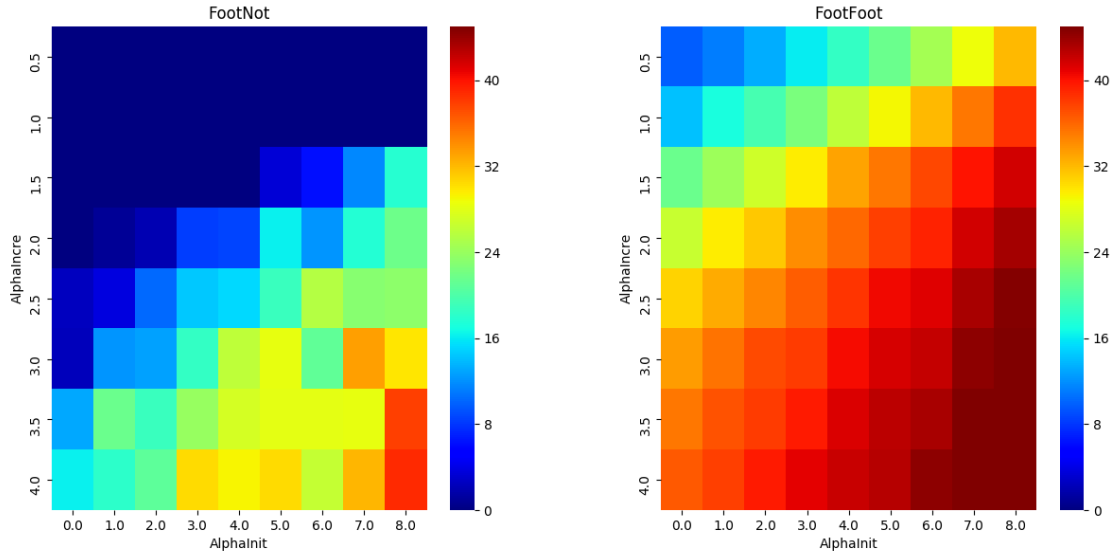


図 5.7: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (1)

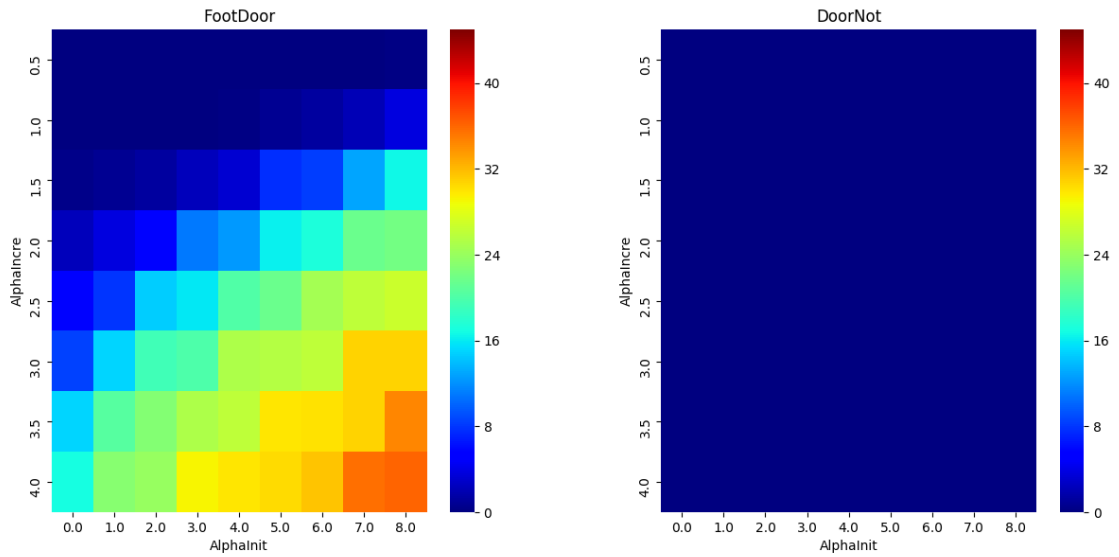


図 5.8: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (2)

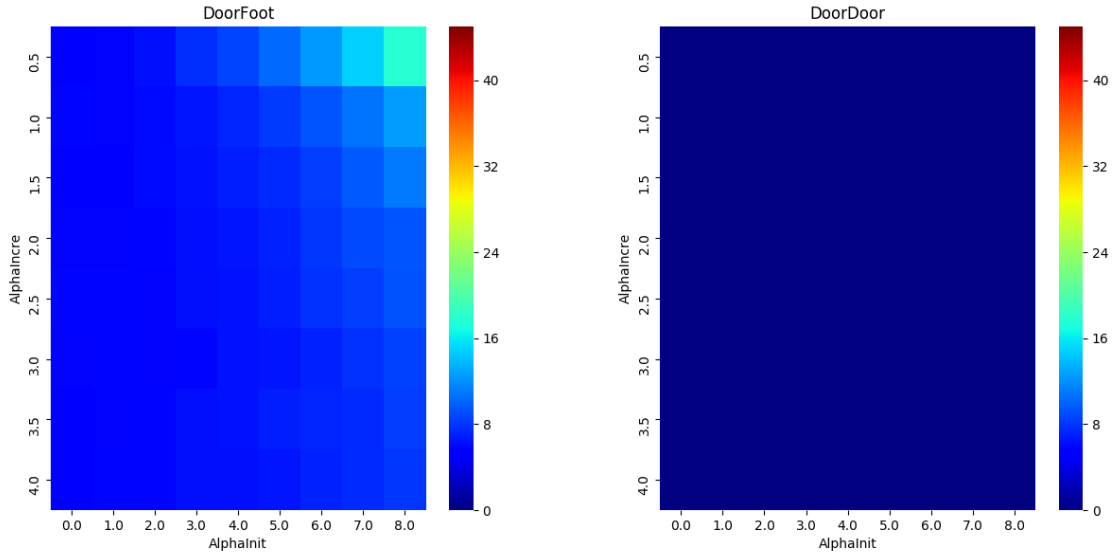


図 5.9: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (3)

FootNot, FootDoor は α の増分が 0. 5, 1. 0 の場合は α の初期値が高くなるにつれて個人効用は高くなり, α の増分が 1. 5 以上の場合は α の初期値が高くなるにつれて個人効用が低くなった. α の増分が低い場合は初期値が高くても相手が譲歩して合意に至ることができた. また, α の初期値が高い方がエージェントの受諾水準が高くなるため, α の増分が低く初期値が高い場合に合意できたときは個人効用が高い値になった. 一方で, α の増分が高い場合は相手が譲歩しても受諾水準が高すぎて合意に至ることができなかった. そのため, 初期値が高くなるにつれて交渉決裂率が高くなり個人効用が低くなった.

FootFoot は α の増分および初期値が非常に低い場合だけが個人効用が高くなった. FootFoot は外側の戦略にも Foot を用いているため, α の増分および初期値が低い値でないと受諾水準が高くなりすぎてしまう. したがって, α の増分および初期値が高い場合は交渉決裂率が非常に高くなり, その結果個人効用が低くなる. 一方で, α の増分および初期値が非常に低い場合は相手の譲歩を十分に引き出すことができないため, 合意に至ったとしても個人効用が FootNot, FootDoor と比較して低くなった.

DoorNot, DoorDoor は α の初期値が 3. 0 以下のとき α の増分に関わらず個人効用はほぼ一定となり, α の初期値が 4. 0 以上のときは α の増分が低いほど個人効用が高くなった. Door 戦略は受諾水準を単調に減少させるため, α の初期値が低いと受諾水準が下がりすぎてしまい, 合意に至ることはできるが相手の譲歩を引き出すことができず, 個人効用が低くなってしまった. α の初期値が高い場合であっても増分が大きい場合も同様に相手の譲歩を引き出すことができず, 個人

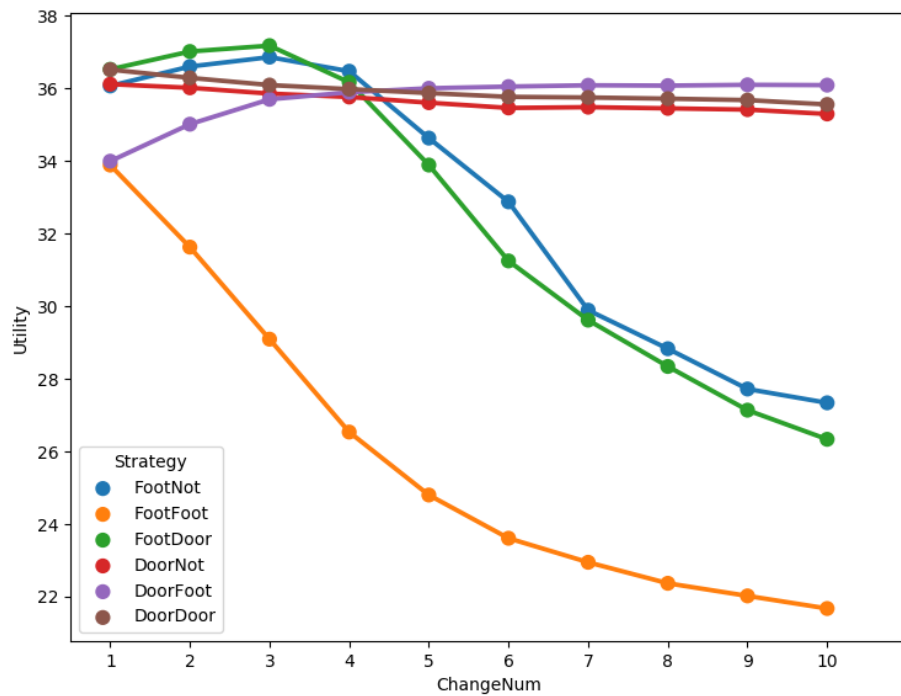


図 5.10: α の更新回数に対する個人効用

効用が低くなる。

DoorFoot は α の初期値が高く、増分が小さいほど個人効用が低くなった。DoorFoot は外側の戦略に Foot を用いているため、 α の初期値が高く、増分が小さい場合は受諾水準が高くなりすぎてしまい、交渉決裂率が上昇し個人効用が低くなる。それ以外の場合は、個人効用の値および交渉決裂率があまり変化していない。これは DoorNot, DoorDoor と同様の理由で受諾水準が下がりすぎてしまい相手の譲歩を引き出すことができず、個人効用が低くなる。

また、 α の更新回数ごとの提案手法のエージェントの個人効用の平均値を図 5.10 に示す。縦軸がエージェントの個人効用、横軸が α の更新回数である。

FootNot, FootFoot, FootDoor は他の戦略と比較して α の更新回数を变化させた場合の個人効用の変化率が高くなっている。これらは共通して内側の戦略に Foot を用いているため、 α の更新回数が多いと受諾水準が上昇し、交渉決裂率が上昇するため、個人効用が減少した。一方、DoorNot, DoorDoor は α が変化しても個人効用はあまり変化しなかった。これらは内側の戦略に Door を用いているため、 α の更新回数が多いと受諾水準が下降し、相手の譲歩が引き出せなくなるが、交渉決裂率は上昇しないため、個人効用の平均値はあまり変化しなかった。また、DoorFoot は α の更新回数が多いほど個人効用が高くなった。DoorFoot は外側の戦略が Foot であるため、 α の更新回数が少ない場合、受諾水準が高くなってしまい、交渉決裂率が高くなってしまう。

5.3.2 パラメータ β の実験結果と考察

予備実験において、パラメータ β の増分および初期値ごとの提案手法のエージェントの個人効用を図 5.11, 図 5.12, 図 5.13 に、交渉決裂率を図 5.14, 図 5.15, 図 5.16 にそれぞれ示す。図 5.11, 図 5.12, 図 5.13 は縦軸が β の増分, 横軸が β の初期値, 色が個人効用を表しており, 青に近いほど低い値, 赤に近いほど高い値となる。図 5.14, 図 5.15, 図 5.16 は縦軸が β の増分, 横軸が β の初期値, 色が交渉決裂率を表しており, 青に近いほど低い値, 赤に近いほど高い値となる。

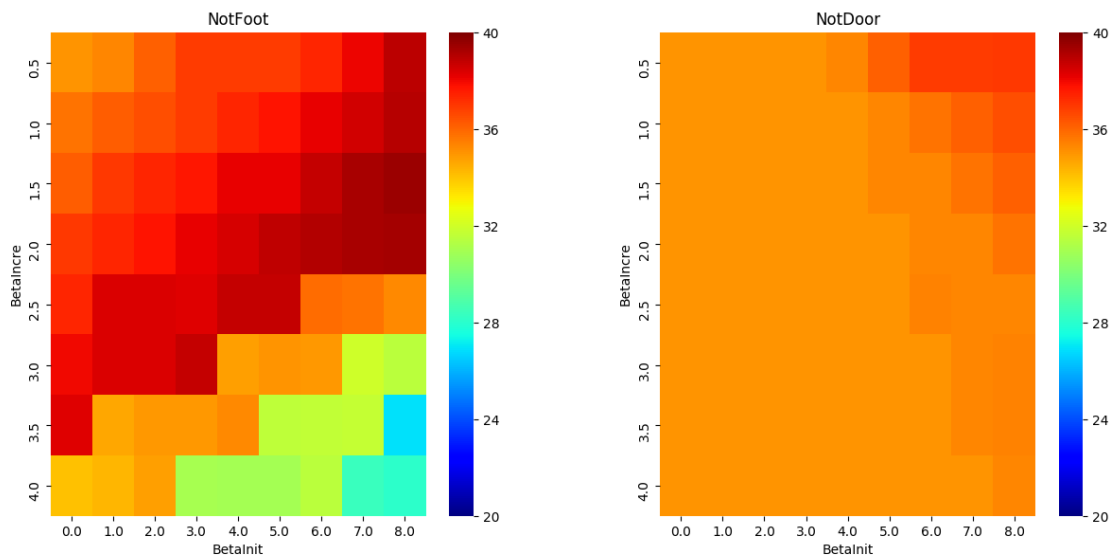


図 5.11: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (1)

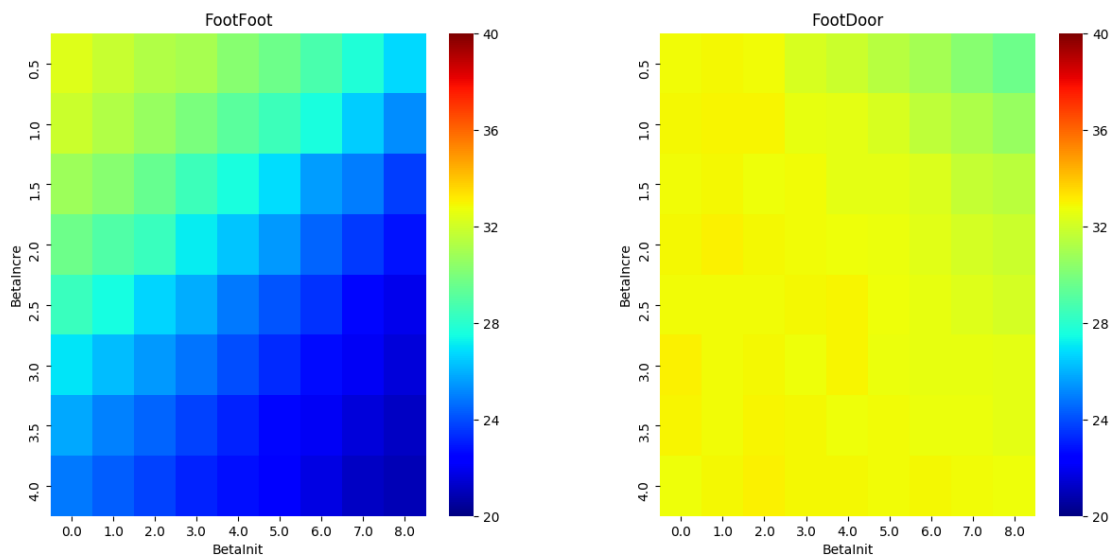


図 5.12: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (2)

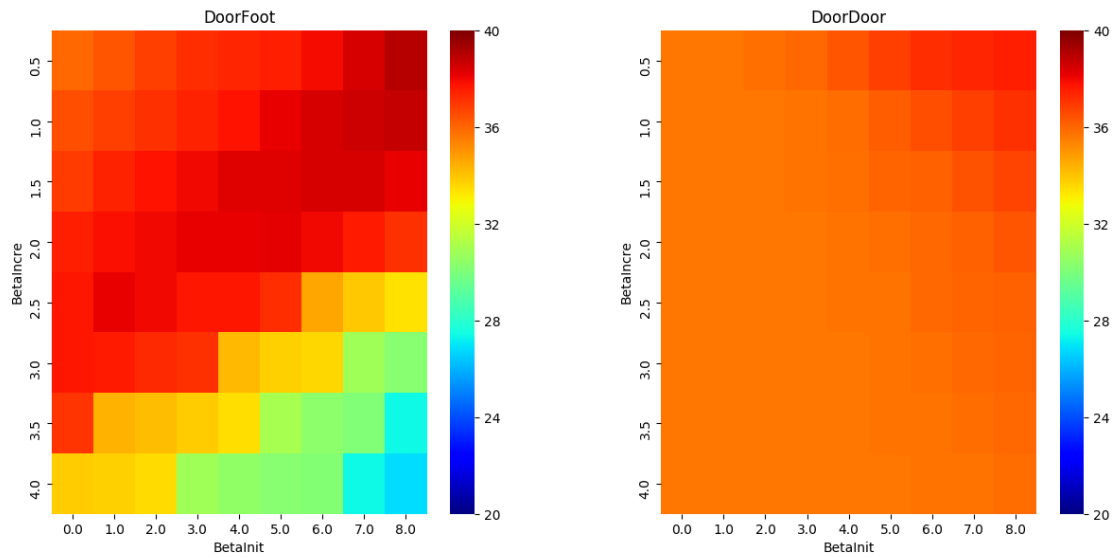


図 5.13: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (3)

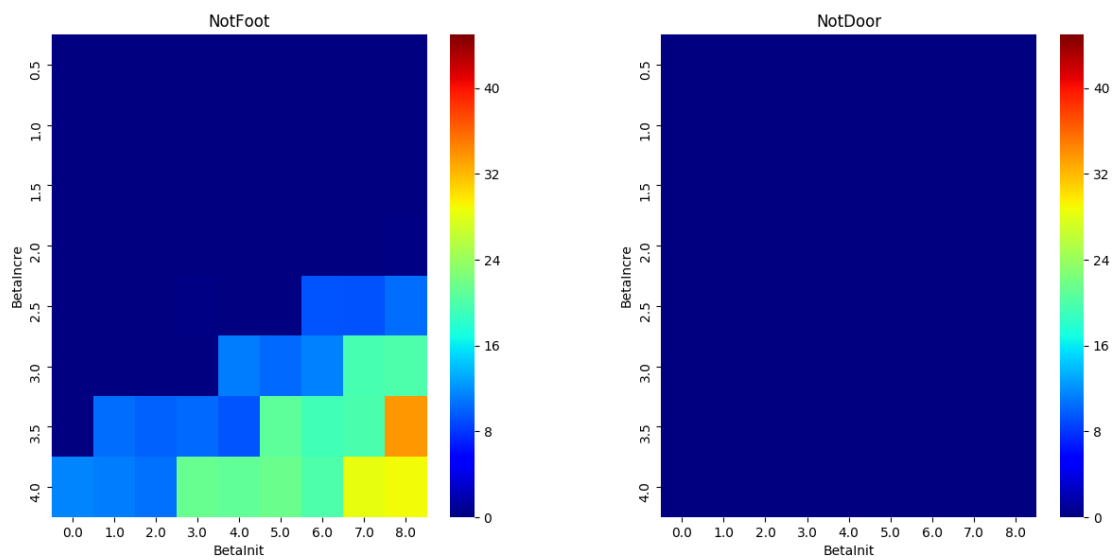


図 5.14: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (1)

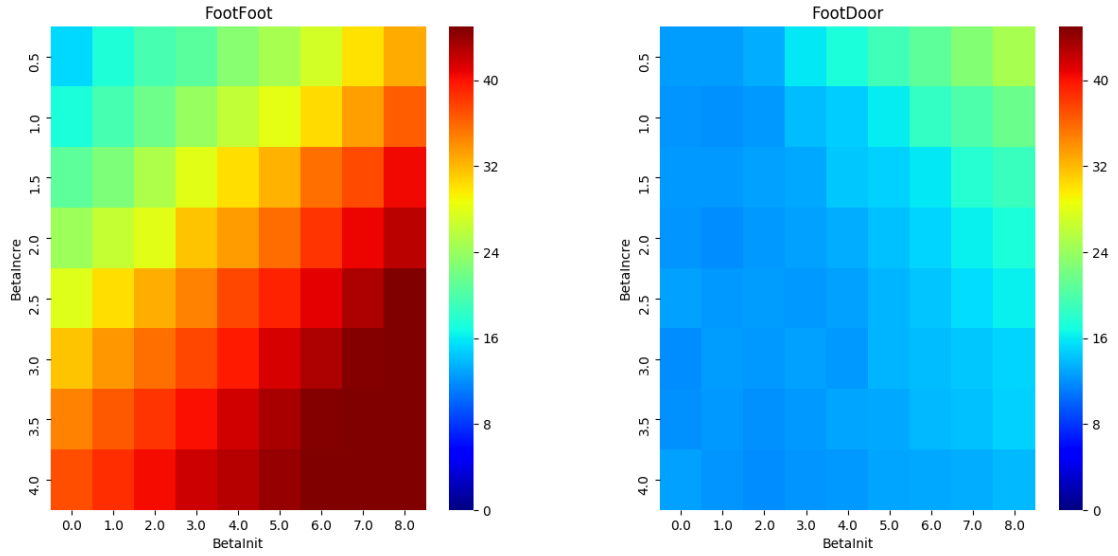


図 5.15: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (2)

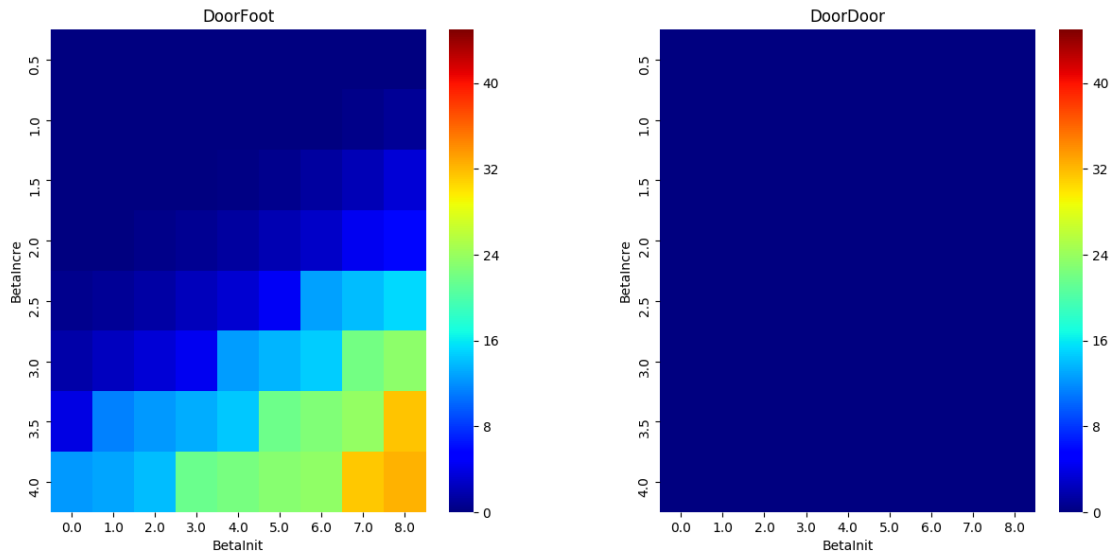


図 5.16: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (3)

NotFoot, DoorFoot は β の増分が 1.5 から 2.0 以下の場合は β の初期値が高くなるにつれて個人効用は高くなり, β の増分が 2.0 から 2.5 以上の場合は β の初期値が高くなるにつれて個人効用が低くなった. β の増分が低い場合は初期値が高くても相手が譲歩して合意に至ることができた. また, β の初期値が高い方がエージェントの受諾水準が高くなるため, β の増分が低く初期値が高い場合に合意できたときは個人効用が高い値になった. 一方で, β の増分が高い場合は相手が譲歩しても受諾水準が高すぎて合意に至ることができなかった. そのため, 初期値が高くなるにつれて交渉決裂率が高くなり個人効用が低くなった.

FootFoot は β の増分および初期値が非常に低い場合だけが個人効用が高くなった。FootFoot は内側の戦略にも Foot を用いているため、 β の増分および初期値が低い値でないと受諾水準が高くなりすぎてしまう。したがって、 β の増分および初期値が高い場合は交渉決裂率が非常に高くなり、その結果個人効用が低くなる。一方で、 β の増分および初期値が非常に低い場合は相手の譲歩を十分に引き出すことができないため、合意に至ったとしても個人効用が NotFoot, DoorFoot と比較して低くなった。

NotDoor, DoorDoor は β の初期値が 3.0 以下のとき β の増分に関わらず個人効用はほぼ一定となり、 β の初期値が 4.0 以上のときは β の増分が低いほど個人効用が高くなった。Door 戦略は受諾水準を単調に減少させるため、 β の初期値が低いと受諾水準が下がりすぎてしまい、合意に至ることはできるが相手の譲歩を引き出すことができず、個人効用が低くなってしまう。 β の初期値が高い場合であっても増分が大きい場合も同様に相手の譲歩を引き出すことができず、個人効用が低くなる。

FootDoor は β の初期値が高く、増分が小さいほど個人効用が低くなった。FootDoor は内側の戦略に Foot を用いているため、 β の初期値が高く、増分が小さい場合は受諾水準が高くなりすぎてしまい、交渉決裂率が上昇し個人効用が低くなる。それ以外の場合は、個人効用の値および交渉決裂率があまり変化していない。これは NotDoor, DoorDoor と同様の理由で受諾水準が下がりすぎてしまい相手の譲歩を引き出すことができず、個人効用が低くなる。また、図 5.12 は全体的に効用の平均値があまり変化していないのに対して図 5.5 は効用の値はばらつきが大きい。このことから、FootDoor に関しては内側のパラメータによって個人効用が大きく左右される。

5.4 実験のまとめ

予備実験の結果をまとめると以下ようになる。

- Foot 戦略において初期値および増分の値を高く設定すると個人効用が低くなる。
- Door 戦略において初期値を高く、増分を低く設定すると個人効用が高くなる。
- 交渉決裂率は FootFoot が最も高い。

第6章 評価実験

6.1 目的と概要

提案手法の有効性を示すことを目的として人間とエージェントで交渉を行う。被験者は提案手法の戦略を適用した8つのエージェントにベースラインである NotNot エージェントを加えた計9種類のエージェントすべてと交渉を行う。本実験では、提案手法の戦略を適用したエージェントの個人効用が高いほど良い戦略であると評価する。

6.2 実験設定

評価実験では、予備実験と同様に各論点が0～5の計6つの選択肢を有する、4つの論点について交渉を行う。評価実験で用いるドメインは予備実験で用いたドメイン(表5.1)と同一のものである。各論点の価値は交渉ごとに毎回ランダムで変化し、エージェントと被験者の各論点の価値の関係は予備実験と同様であり、社会的余剰の最大値は70である。1交渉300秒とし、被験者はチュートリアルとして1回交渉を行なったのちに、各エージェントと5回連続で交渉を行う。被験者、エージェントは自分にとっての各論点の価値だけを知っており、相手にとっての価値はわからない状態から交渉が開始する。相手にとっての価値は相手の選好に関する返答や相手の提案内容から予想する。本実験は9人の被験者に対して行なった。被験者ごとに交渉するエージェントの順番は異なり、ラテン方格法によって決定した。交渉中、被験者は以下の行動を取ることができる。

- (1) 自分の選好の相対的な関係を1つ相手に伝える
- (2) 相手の選好について質問する
- (3) 自分の感情を相手に伝える
- (4) 相手に固定メッセージを送信する
- (5) エージェントに提案を行う

表 6.1: 評価実験で用いるパラメータ

	α の初期値	α の増分	β の初期値	β の増分	α の更新回数
NotNot	0. 0	0. 0	0. 0	0. 0	0
NotFoot	0. 0	0. 0	8. 0	0. 5	0
NotDoor	0. 0	0. 0	8. 0	0. 5	0
FootNot	8. 0	0. 5	0. 0	0. 0	3
FootFoot	0. 0	0. 5	0. 0	0. 5	1
FootDoor	8. 0	2. 0	0. 5	1. 0	3
DoorNot	8. 0	0. 5	0. 0	0. 0	1
DoorFoot	2. 0	1. 0	8. 0	0. 5	10
DoorDoor	8. 0	0. 5	8. 0	0. 5	1

(6) エージェントから送られてきた提案を受諾もしくは拒否する

(7) 被験者にとっての各論点の価値を確認する

交渉はエージェントと被験者の両者が FullOffer を受諾するか交渉の残り時間が 0 になると終了する。基本的にエージェントは被験者の行動に対して受動的に行動する。例として、被験者が (1) の行動を行うとエージェントは自分の選好の相対的な関係を 1 つ被験者に伝える。他の被験者の行動に対しても同様である。エージェントが被験者に対して能動的に提案を行うのは交渉の残り時間が 30 秒となったとき、被験者がエージェントに提案を要求する固定メッセージを送信したときだけである。同様にエージェントから新しい提案を行うことはなく、被験者から送信された提案を拒否した場合に提案を行う。予備実験をもとに戦略ごとに決定したパラメータを表 6.1 に示す。被験者はこれらのエージェントと交渉を行う。

6.3 実験結果と考察

エージェントの個人効用の平均値、被験者の個人効用の平均値、エージェントと被験者の個人効用の差分の平均値、エージェントと被験者の社会的余剰の平均値、エージェントの交渉決裂率の平均値をそれぞれ図 6.1-図 6.5 に示す¹。

¹図 6.1-図 6.5 のグラフ中のエラーバーは標準偏差である。

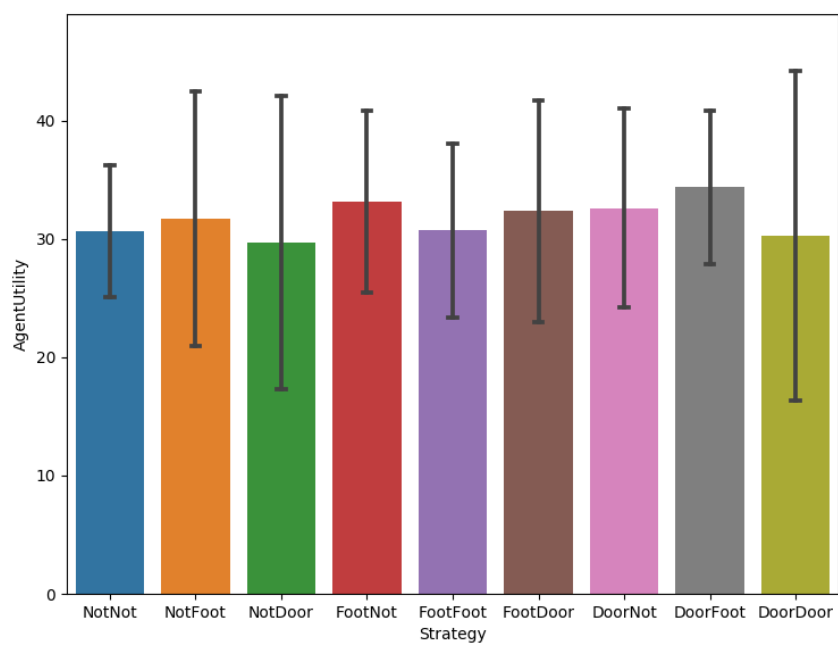


図 6.1: エージェントの個人効用

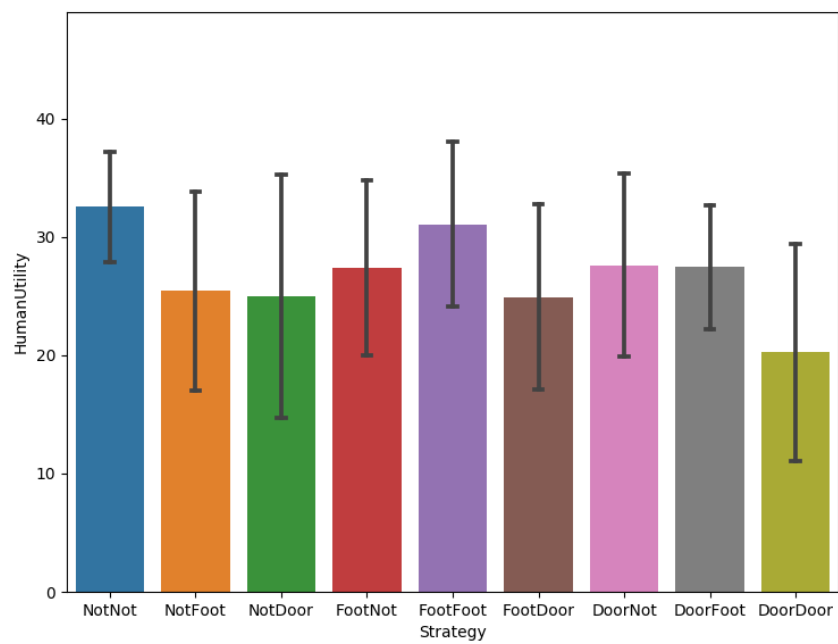


図 6.2: 被験者の個人効用

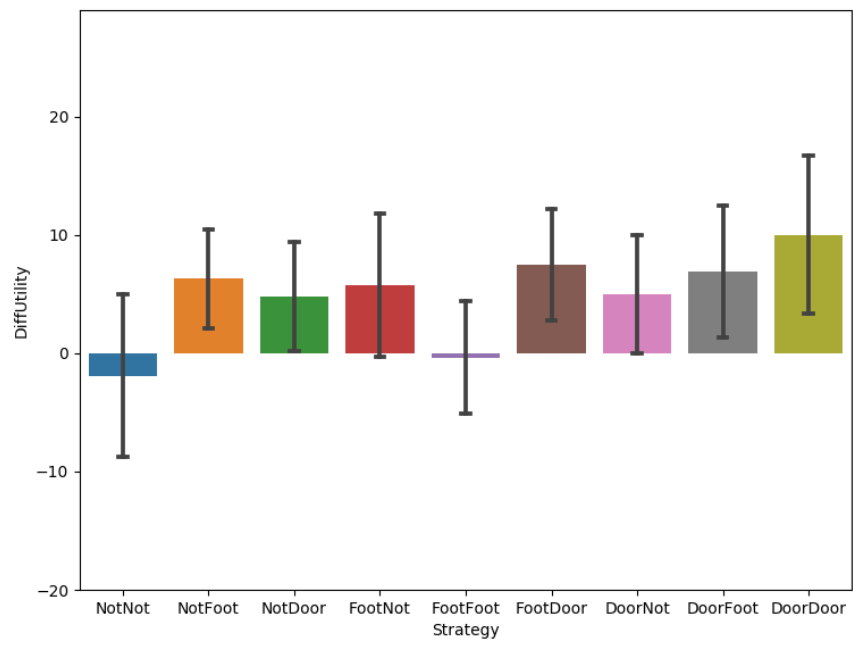


図 6.3: エージェントと被験者の個人効用の差分

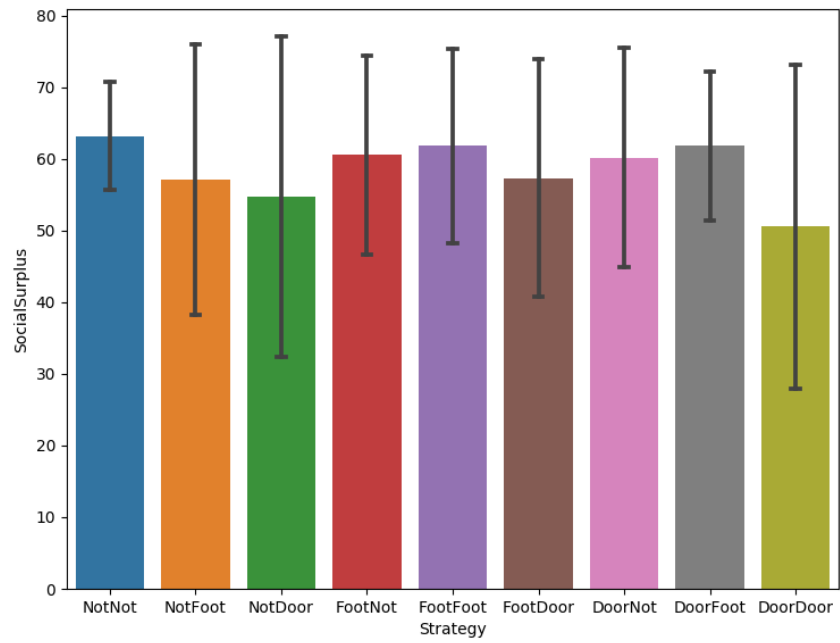


図 6.4: エージェントと被験者の社会的余剰

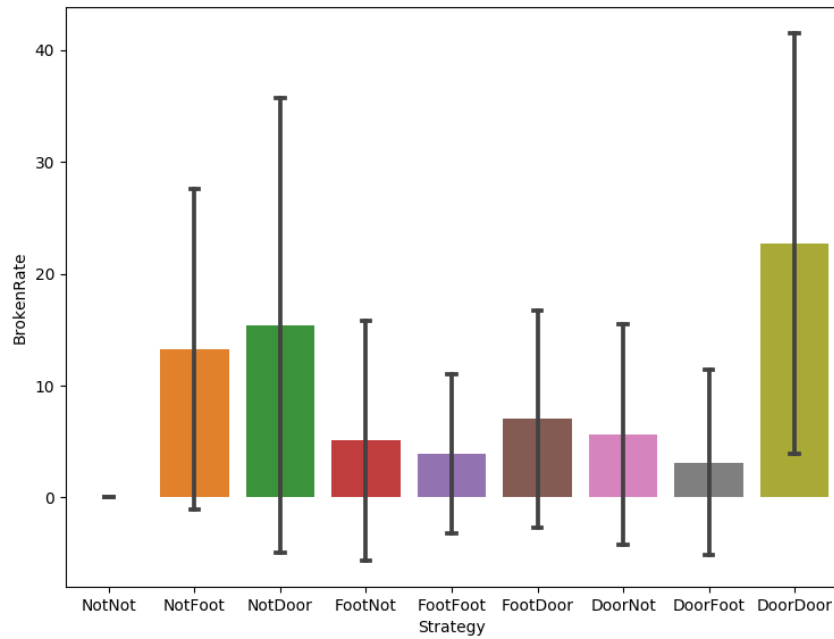


図 6.5: エージェントの交渉決裂率

各実験結果について NotNot と提案手法の戦略でそれぞれ t 検定を行なった。エージェントの個人効用は DoorFoot だけが有意差があり，その他の戦略は有意差がない結果になった。被験者の個人効用，エージェントと被験者の個人効用の差分は FootFoot 以外は有意差があり，FootFoot だけが有意差がない結果になった。エージェントと被験者の社会的余剰は NotDoor，FootDoor，DoorDoor は有意差があり，それ以外の戦略は有意差がない結果になった。エージェントの交渉決裂率は DoorDoor だけが有意差があり，DoorDoor 以外の戦略は有意差がない結果になった。

NotNot, FootFoot 以外の戦略では被験者よりエージェントの方が個人効用が高くなった。NotNot と FootFoot は社会的余剰も高いため，他の戦略と比較するとエージェントと被験者が公平な提案で合意した。今回，FootFoot は α および β の増分が小さく， α の更新回数も 1 回であるので，受諾水準が NotNot とあまり変わらなかったため NotNot と類似した結果となった。

DoorDoor は被験者とエージェントの個人効用の差が最大となった。DoorDoor は α および β の初期値が高く，増分が小さいので受諾水準が高いため，合意に至った場合はエージェントが被験者より個人効用が高くなるが，交渉決裂率も全戦略の中で最も高いため，エージェントおよび被験者の効用，社会的余剰が最も低くなった。

外側に Door を用いている NotDoor，FootDoor，DoorDoor はいずれも被験者の個人効用が低く，社会的余剰も低くなった。予備実験における Door の結果を踏まえ，評価実験では β の初期値

を高く、増分を低い値に設定したためエージェントの受諾水準が高くなり、合意に至っても被験者の効用が低くなった。

NotFoot, FootNot は片側に Foot, もう片側に Not を用いた戦略であり、パラメータの初期値, 増分も同じ値であるにも関わらず交渉決裂率の平均が NotFoot の方が FootNot と比較して 10% 程度高くなっている。また、同様に NotDoor, DoorNot も同様の傾向が見られる。このことから、外側戦略の方が被験者に与える影響が大きくなる。

予備実験の結果と比較するとほとんどの戦略で社会的余剰, 個人効用ともに減少している。予備実験ではエージェント同士で交渉を行い、パラメータを設定したため、人間との交渉においては適していないパラメータになっていたため、個人効用が低下した。また、Door を用いた戦略は初期値が高く、増分が低いパラメータを設定したため、交渉決裂率が高い戦略が多かった。また、合意に至った場合でも個人効用の差が大きいため、公平な提案で合意が行えておらず、良好な関係構築は果たせていない。9 種類のエージェントの中で NotNot だけが唯一交渉決裂率が 0% となった。他の戦略はすべて NotNot よりも受諾水準が高いため、これに伴って交渉が決率する回数も多くなった。

6.4 実験のまとめ

評価実験の結果をまとめると以下ようになる。

- すべての戦略で NotNot より個人効用の差が大きくなった。
- DoorDoor 戦略は個人効用の差は最も大きくなったが、社会的余剰, 被験者とエージェントの個人効用は最も小さくなった。
- 社会的余剰は NotNot よりも低い戦略が多く、良好な関係を構築できているとは言い難い。

第7章 おわりに

7.1 まとめ

本研究では、同じ相手と繰り返し交渉する場合に適応可能な戦略として、段階的要請法、譲歩的要請法を組み合わせ受諾水準を変化させる戦略を提案した。提案した戦略を IAGO の Pinocchio エージェントに適応させたエージェントと対戦させ、エージェントのパラメータを決定するために予備実験を行なった。

予備実験を行なった結果、Foot 戦略において初期値および増分の値を高く設定すると個人効用が低くなり、Door 戦略において初期値を高く、増分を低く設定すると個人効用が高くなる傾向があることが確認できた。また、予備実験で決定したパラメータを設定したエージェントを用いて被験者に対して評価実験を行なった。評価実験を行なった結果、提案した戦略すべてが繰り返し交渉に対応していない NotNot より個人効用の差が大きくなったが、社会的余剰は NotNot よりも低い戦略が多く、良好な関係を構築できていないことが確認できた。

7.2 今後の課題

人間との関係構築に関する課題

今回の戦略では受諾水準を変化させることで個人効用を上昇させたが、交渉が決裂するよりは公平でなくても提案を受諾した方が良いため仕方なく合意に至ったというケースが多く、両者が歩み寄るような良好な関係を構築できたとは言い難い。関係構築がうまくいかない場合、同じ相手と交渉をするときに不利益を被ってしまうため、良好な関係を保ちつつ個人効用を上昇させるような繰り返し交渉戦略を提案する必要がある。

パラメータの値に関する課題

予備実験ではエージェント同士で交渉を行うことで評価実験に用いるパラメータを決定した。しかし、評価実験では人間とエージェントが交渉を行うため、パラメータの値が最適な値でない可能性がある。そのため、パラメータの調整も含めて人間とエージェントで交渉を行うことでより良い結果になる可能性がある。

受諾水準の変化に関する課題

本稿では受諾水準を時間経過，交渉回数の2種類で変化させた．時間経過による変化はステップ関数的に，交渉回数による変化は線形関数的に変化させたが，これらに対数関数など他の関数を用いて変化させることで人間の譲歩をより再現することができ，社会的余剰を高めつつ個人効用を高めることができる可能性がある．

被験者数による実験結果の誤差に関する課題

評価実験では9人の被験者に対して実験を行なった．エージェントと交渉する順番による順序効果を相殺するために $9n$ 人に対して実験を行う必要があり，本稿では $n = 1$ として実験を行なった．しかし， $n = 1$ では各個人の誤差が結果に反映されてしまい，結果が正しくない可能性がある．したがって， n の値を大きくして実験を行う必要がある．

謝辞

本論文を執筆するにあたり，多数の方々からご指導・ご協力いただきましたことを，心より御礼申し上げます．

指導教員である藤田桂英准教授には，研究の機会を与えていただき，研究の方針に関する助言や発表練習等の多大なるご指導や助言をいただきましたことを深く感謝いたします．

研究に関する知識のご教示に加えて，本実験の準備を行うにあたって WEB サーバを構築する際にお力添えいただいた松根鷹生様に深く感謝申し上げます．また，藤田桂英研究室の皆様には研究に必要な知識や意見等をいただいたことを心より感謝いたします．

本実験を行うにあたってお忙しい中ご協力いただいた同期の編入生の方々，および安井貴規様がいなければ本論文は完成に至りませんでした．心より御礼申し上げます．

最後に，様々な面で私を支えていただいた家族に，心より感謝いたします．ありがとうございました．

参考文献

- [1] R. S. Rubin and E. C. Dierdorff. How Relevant Is the MBA? Assessing the Alignment of Required Curricula and Required Managerial Competencies. In *Academy of Management Learning & Education*, Vol. 8, pp. 208–224, 2009.
- [2] Harold H. Kelley. A classroom study of the dilemmas in interpersonal negotiations. In *Strategic interaction and conflict*, pp. 49–73, 1966.
- [3] Emmanuel Johnson, Jonathan Gratch, and David Devault. Towards An Autonomous Agent that Provides Automated Feedback on Students’ Negotiation Skills. In *Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, pp. 410–418, So Paulo, 8-12 May 2017.
- [4] J. Broekens, M. Harbers, W.-P. Brinkman, C. M. Jonker, K. Van den Bosch, and J.-J. Meyer. Virtual Reality Negotiation Training Increases Negotiation Knowledge and Skill. In *12th International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pp. 218–230, 2012.
- [5] G. Van Kleef, C. De Dreu, and A. Manstead. An Interpersonal Approach to Emotion in Social Decision Making: The Emotions as Social Information Model. In *Advances in Experimental Social Psychology*, Vol. 42, pp. 45–96, 2010.
- [6] G. Van Kleef, C. De Dreu, and A. Manstead. The interpersonal effects of anger and happiness in negotiations. In *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 86, pp. 57–76, 2004.
- [7] Celso M. de Melo, Peter Carnevale, and Jonathan Gratch. The Effect of Expression of Anger and Happiness in Computer Agents on Negotiations with Humans. In *The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Vol. 3, pp. 937–944, Taipei, Taiwan, 2-6 May 2011.

- [8] Raz Lin, Sarit Kraus, Tim Baarslag, Dmytro Tykhonov, Koen Hindriks, and Catholijn M. Jonker. Genius: an Integrated Environment for Supporting the Design of Generic Automated Negotiators. In *Computational Intelligence*, Vol. 30, pp. 48–70, 2014.
- [9] Y. A. Gal, B. J. Grosz, S. Kraus, A. Pfeffer, and S. Shieber. Colored Trails: A Formalism for Investigating Decision-making in Strategic Environments. In *Proceedings of the 2005 IJCAI Workshop on Reasoning, Representation, and Learning in Computer Games*, pp. 25–30, 2005.
- [10] Johnathan Mell, Gale Lucas, and Jonathan Gratch. An Effective Conversation Tactic for Creating Value over Repeated Negotiations. In *Proceedings of the 2015 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 1567–1576, Istanbul, 4-8 May 2015.
- [11] Avi Rosenfeld, Inon Zuckerman, Erel Segal-Halevi, Osnat Drein, and Sarit Kraus. Ne-goChat: a chat-based negotiation agent. In *Proceedings of the 2014 international conference on Autonomous agents and multi-agent systems*, pp. 525–532, Paris, 5-9 May 2014.
- [12] Johnathan Mell and Jonathan Gratch. IAGO: Interactive Arbitration Guide Online (Demonstration). In *Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems*, pp. 1510–1512, Singapore, 9-13 May 2016.
- [13] Tim Baarslag, Reyhan Aydogan, Koen V. Hindriks, Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, and Catholijn M. Jonker. *The Automated Negotiating Agents Competition, 2010-2015*, Vol. 36, pp. 115–118. AI Magazine, 2015.
- [14] Reyhan Aydogan, Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Koen Hindriks, Takayuki Ito, and Catholijn Jonker. The Seventh International Automated Negotiating Agents Competition(ANAC2016). <http://web.tuat.ac.jp/~katfuji/ANAC2016/>, 2016.
- [15] Reyhan Aydogan, Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Dave de Jonge, Catholijn Jonker, and Johnathan Mell. The Eighth International Automated Negotiating Agents Competition(ANAC2017). <http://web.tuat.ac.jp/~katfuji/ANAC2017/>, 2017.

- [16] Reyhan Aydogan, Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Dave de Jonge, Catholijn Jonker, and Johnathan Mell. The Ninth International Automated Negotiating Agents Competition(ANAC2018). <http://web.tuat.ac.jp/~katfuji/ANAC2018/>, 2018.
- [17] Johnathan Mell and Jonathan Gratch. Grumpy & Pinocchio: Answering Human-Agent Negotia-tion Questions through Realistic Agent Design. In *Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, pp. 401–409, So Paulo, 8-12 May 2017.
- [18] Ariel Rubinstein. A Bargaining Model with Incomplete Information About Time Preferences. In *Econometrica*, Vol. 53, pp. 1151–1172, 1985.
- [19] 唐沢かおり編. 朝倉心理学講座 7 社会心理学, pp. 126–134. 朝倉書店, 2005. 海保博之監修.
- [20] Jonathan L. Freedman and Scott C. Fraser. Compliance without Pressure:The Foot-in-the-Door Technique. In *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 4, pp. 195–202, 1966.
- [21] Robert B. Cialdini, Joyce E. Vincent, Stephen K. Lewis, Jose Catalan, Diane Wheeler, and Betty Lee Darby. Reciprocal Concessions Procedure for Inducing Compliance:The Door-in-the-Face Technique. In *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 31, pp. 206–215, 1975.
- [22] A. F. Stuhlmacher, T. L. Gillespie, and M. V. Champagne. The Impact of Time Pressure in Negotiation:A Meta-Analysis. In *The International Journal of Conflict Management*, Vol. 9, pp. 97–116, 1998.