

人間とエージェントの交渉における プロファイリングを用いた交渉戦略

Strategy using profiling for human-agent negotiation

松下昌悟

Shogo Matsushita

(2019 年度入学, 19646029)

指導教員 藤田 桂英 准教授

東京農工大学 工学府 情報工学専攻

2020 年度修士論文

(2021 年 1 月 29 日提出)

題目 人間とエージェントの交渉における
プロファイリングを用いた交渉戦略

Strategy using profiling for human-agent negotiation

学籍番号 19646029 氏名 松下昌悟 (Shogo Matsushita)

提出日 2021 年 1 月 29 日

交渉は要求や意見の異なる他者と共同で意思決定を行うプロセスであり、社会生活を営む上で必要不可欠な工程である。しかし、大学を卒業した者であっても交渉スキルは十分でなく、企業は交渉スキルの向上に高いコストをかけている。そこで、エージェントを用いることで低いコストで交渉スキルの向上が行えるため、人間とエージェントの交渉に関心が高まっている。

人間とエージェントの交渉に関する既存研究では TKI を用いて相手の特性を推定し、譲歩速度を変更するエージェントが良い交渉結果を得ている。しかし、部分的な提案を許可していない、提案内容のみで相手の特性を推定している、TKI では相手の特性を的確に推定することは困難であるなどの問題点がある。人間とエージェントの交渉では提案内容以外にも感情やメッセージの送信が可能であり、これはエージェント同士の交渉である自動交渉と大きく異なる点である。しかし、提案以外の行動を考慮せずに戦略を決定している研究がほとんどである。

本稿では TKI とビッグファイブを併用して相手の特性を推定し、譲歩速度を変更するエージェントを提案する。また、相手の感情やメッセージなどの提案以外の行動と提案内容からビッグファイブの各因子の値を測定することを試みる。推定した TKI の各モードに分類される確率、ビッグファイブの各因子の値によってエージェントの譲歩速度を変更する。これにより、相手の特性に合わせて提案を行うことができるエージェントを実現する。

ビッグファイブの測定に用いるパラメータを調整するために予備実験を行い、予備実験により決定したパラメータを用いて評価実験を行った。評価実験により、ビッグファイブを用いた戦略は社会的余剰が高く、公平な解に到達可能であり、有効性が高いことが示された。また、相手に悪い印象を与えることなく相手の譲歩を引き出すことができ、より現実的な提案を行うことが可能であると示された。

目次

第1章 はじめに	1
1.1 研究背景	1
1.2 本研究の目的	3
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
2.2 IAGO	5
2.3 TKI	6
2.4 パーソナリティに関する研究	8
2.4.1 類型論	8
2.4.2 特性論	10
2.4.3 ビッグファイブ・5 因子モデル	11
2.4.4 ビッグファイブの測定法	13
2.5 TKI を用いた人間とエージェントの交渉に関する研究	14
第3章 問題設定	18
3.1 複数論点交渉問題	18
3.2 配分的交渉と統合的交渉	19
3.3 本稿における問題設定	19
第4章 プロファイリングを用いたエージェントの交渉戦略	22
4.1 戦略の概要	22
4.1.1 TKI のモード推定	25
4.1.2 ビッグファイブの推定	28

第5章	プロファイリング決定におけるパラメータ決定のための予備実験	37
5.1	実験設定	37
5.2	パラメータの設定	38
5.3	実験結果と考察	39
5.3.1	交渉結果	39
5.3.2	被験者のビッグファイブの推定	39
第6章	評価実験	42
6.1	実験設定	42
6.2	パラメータの設定	43
6.3	実験結果と考察	44
6.3.1	個人効用と社会的余剰	44
6.3.2	パレート最適性	45
6.3.3	交渉時間	46
6.3.4	被験者のビッグファイブの推定	47
6.3.5	交渉終了後のアンケート結果	49
第7章	おわりに	51
7.1	まとめ	51
7.2	今後の課題	51

目 次

2.1	IAGO のインタフェース	5
2.2	TKI によるパーソナリティの表現	7
2.3	Eysensck の円環モデル	9
2.4	ビッグファイブによるパーソナリティの表現	13
2.5	Koley らの目標効用関数	15
2.6	Koley らの研究における合意到達までの所要時間	16
2.7	Koley らの交渉結果	17
3.1	本稿で用いるドメインにおける合意案候補とパレート最適解	21
4.1	プロファイリングを用いた戦略の概要	22
5.1	エージェントと人間の個人効用	39
5.2	被験者のビッグファイブの値	40
6.1	エージェントと人間の個人効用の平均	44
6.2	社会的余剰の平均	44
6.3	各セッションにおける人間とエージェントの効用	45
6.4	合意到達までの所要時間	46
6.5	被験者のビッグファイブの値	48
6.6	交渉終了後のアンケート結果	49

表 目 次

2.1	ガレノスによる四気質説とヒポクラテスの四体液説	8
2.2	Kant による気質の分類	9
2.3	Kretschmer による体型と気質の関係	10
2.4	5 因子の下位次元	14
2.5	協調性および積極性の推定	14
3.1	本稿で用いるドメインで共通の属性	20
3.2	本稿で用いるドメイン	20
3.3	FavorGameSpec1 における bid_t の例	20
4.1	TKI のパラメータ	27
4.2	相手の行動に対する感受性と用いるクラス	28
4.3	神経症傾向の測定に用いる交渉の要素	30
4.4	外向性の測定に用いる交渉の要素	31
4.5	経験への開放性の測定に用いる交渉の要素	32
4.6	協調性の測定に用いる交渉の要素	33
4.7	誠実性の測定に用いる交渉の要素	34
4.8	ビッグファイブで変更するパラメータ	35
5.1	N, ψ, ν の値	38
5.2	ξ の値	38
6.1	実験に用いるエージェントの順序	43
6.2	N, ψ, ν の値	43
6.3	ξ の値	43

第1章 はじめに

1.1 研究背景

Gratch ら [1] は次のように述べている．“Negotiation is an indispensable skill for any social creature” (交渉は社会的生物に必要不可欠なスキルである [筆者訳])．交渉は要求や意見の異なる他者と共同で意思決定を行うプロセスであり，社会生活を営む上で必要不可欠な工程である．交渉スキルは友人への頼みごと等の日常的で小規模な問題だけでなく組織内での意思決定，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複数人で意思決定を行う場合が多く，交渉が行われる場面が多い [2]．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，人間と交渉ができるエージェントの開発はこれらの複数の分野での重要な課題であり，人間とエージェントとの交渉への関心が高まっている [1]．

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 [3]，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ために企業は従業員に対して専門家による指導を受けさせ，体験学習を行う必要があるなど非常に高いコストをかけている [4]．交渉スキルを向上させるためのコストは非常に高いが，教育ツールとして交渉できる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，対人による交渉スキルの訓練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訓練の場合は時間的制約もある程度排除できる．Broekens ら [5] や Core ら [6] はバーチャルエージェントを用いた訓練が交渉スキルの向上に役立つことを示している．

AI が普及しつつある昨今，交渉を人間を介さずにエージェント同士で自律的に行わせる自動交渉が意思決定を行う手段として注目されている [7]．自動交渉は合理的判断を下せるエージェント同士が交渉するため，心理的效果などによって非合理的な判断を下すことはない．実際，自動交渉に用いるエージェントの開発を行うプラットフォームとして Genius[8] や NegMAS[9] などがあるが，これらのプラットフォームには感情などを表出する機能はない．

一方で、近年人間同士の交渉への感情の影響に関心が高まっている [10]. 人間同士の交渉では怒りを表出した場合は相手が譲歩しやすく、喜びを表出した場合は相手があまり譲歩しない [11]. このように、人間同士の交渉において心理的な効果は交渉結果に影響する重要な要素である. また、人間とエージェントが交渉を行う際も怒りや喜びによって交渉結果が変化する [12]. 前述のようにエージェント同士の交渉に用いるエージェントは心理的要素などを考慮していないため、人間との交渉に用いることは困難である [13].

人間とエージェントの交渉のためのプラットフォームとして複数論点交渉問題について扱う Colored Trails[14], Colored Trails を WEB ブラウザで操作できるように拡張した WebCT[15], 自然言語による交渉に焦点を当てた NegoChat[16] などがある. しかし、これらのプラットフォームでは相手と情報を交換するための手段が少ない、感情を表出できないなどの問題がある [13]. 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として IAGO[13, 17] が開発されてからは、自動交渉エージェント競技会で IAGO を用いた人間とエージェントの交渉を取り扱うリーグが開催されるなど人間とエージェントの交渉に関する研究が進みつつある [18, 19, 20].

Koley ら [21] は TKI[22] で人間を分類し、特定のモードに分類された場合に譲歩速度を変更するエージェントを提案しており、合意案の多くがパレート最適解候補の近辺にあるという交渉結果を得ている. Koley らの研究で用いられているエージェントは良い交渉結果をもたらしているが、TKI による分類の方法に関して問題点もいくつか考えられる. 第一に TKI の特定のモードに対してのみ焦点が当てられているという点である. TKI の 5 つのモードのうち妥協と順応の 2 つに該当した場合は譲歩速度を変更するが、残りの 3 つのモードの戦略に関しては言及していない. 第二に相手のモードを分類する際に現在の提案で得られる効用と過去にされた提案による効用のみを使用している点である. 人間との交渉では提案以外の行動も行われるため、それらも考慮して分類を行うべきである. 第三に TKI のような分類法では人間を記述することは難しいという点である. 第 2.4 節で詳述するが、人間をカテゴリー化するような方法では個人の特徴を的確に捉えることは困難である.

前述のように人間同士の交渉では感情が重要な役割を持っている. しかし、自動交渉のエージェントはもちろんであるが、人間との交渉のためのエージェントであっても相手の提案内容のみによって戦略を変更する 경우가ほとんどである. そのため、相手の感情など提案以外の行動を考慮せずにエージェントの戦略が考えられているというのが現状である.

1.2 本研究の目的

本稿では、人間と円滑に交渉を行い、信頼関係を築きながら効用を高められるようなエージェントを作成することを目的としている。具体的には以下の3点である。

1. 交渉中の相手の行動や提案内容によって第2.4節で詳述するビッグファイブの各因子を測定することを試みる
2. 相手の特性によって譲歩速度を変更する戦略を提案する
3. 提案手法および既存研究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

本稿では、TKI、ビッグファイブといった人間のパーソナリティを測るための手法を使用し、相手の特性に合わせて譲歩速度を変化させることで、円滑な交渉を実現する。

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、IAGO、プロファイリング手法についての概要、TKIを利用した人間とエージェントの交渉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について述べる。第4章では、提案手法としてプロファイリング手法を用いた交渉戦略について述べる。第5章では、提案手法で用いるパラメータを調整するために行った予備実験の概要・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概要・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)

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 [23, 24, 25, 26]. 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 年からは International Joint Conference on Artificial Intelligence(IJCAI) と共催で行われ, 2020 年 (第 11 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, 2020 年は以下の 5 つのリーグが開催される予定である.

- Automated Negotiation League(エージェント同士での交渉)
- Human-Agent League(人間とエージェントの交渉)
- Supply Chain Management League(サプライチェーンにおける交渉)
- Werewolf Game League(人狼ゲームにおける交渉)
- HUMAINE(対話形式による人間と複数エージェントとの交渉)

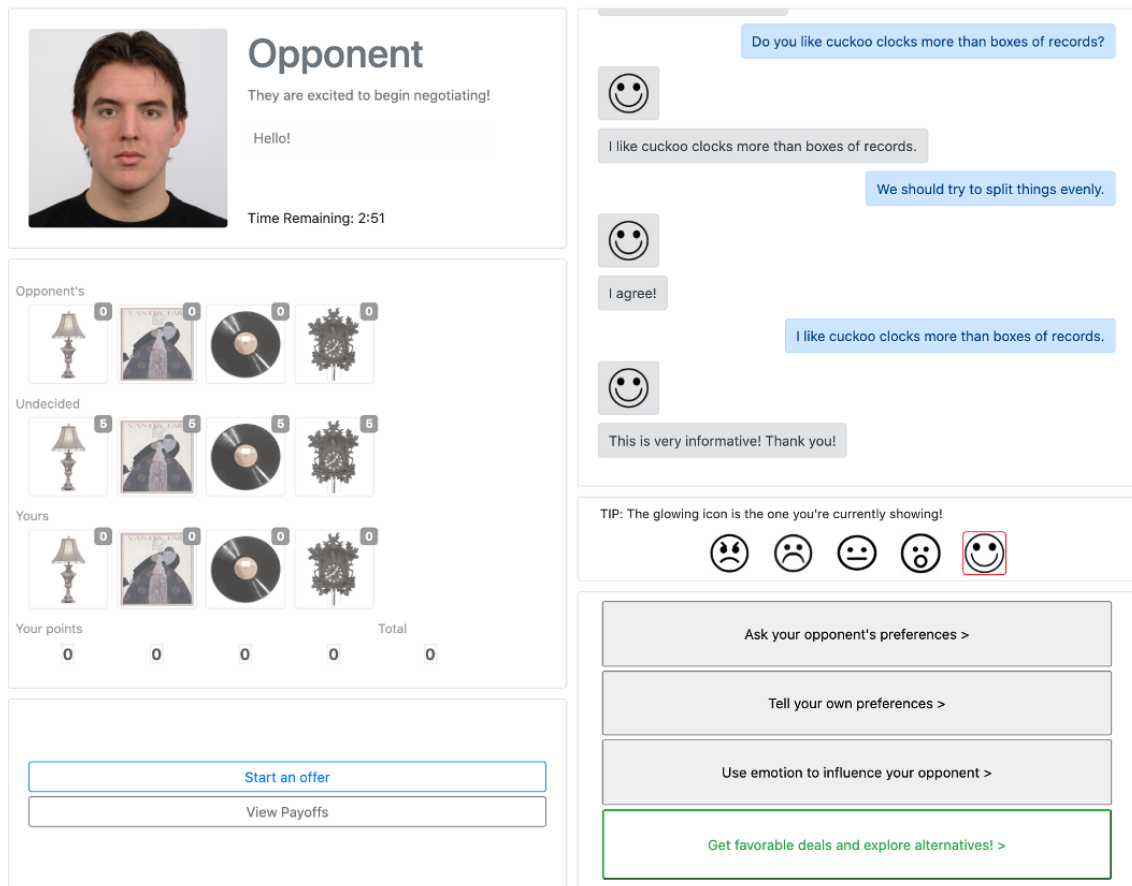


図 2.1: IAGO のインターフェース

2.2 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 [17]. IAGO のインターフェースを図 2.1 に示す.

IAGO では, 人間と交渉することが可能なエージェントおよび人間とエージェントの交渉に用いるドメインを作成することが可能である. IAGO の主な特徴として以下の 3 点が挙げられる [13].

1. 作成したエージェントは WEB サーバ上で動作し, ユーザはソフトウェアのインストールなどを行うことなく WEB ブラウザ上で簡単にエージェントと交渉を行うことができる
2. エージェントおよび交渉ドメインの設計・開発を独立して行えるように API が展開されている
3. 人間同士の交渉で用いられる行動・チャンネルが複数使用可能である

第 1.1 節で述べたように自動交渉の開発を行うプラットフォームとして Genius[8] や NegMAS[9] などがあるが, これらのプラットフォームではエージェント同士での交渉を前提としているため,

感情やメッセージの送受信など交渉で人間が行う行動を取り扱うことができない。一方、IAGOは人間と交渉できるエージェントを開発し、研究・シミュレーションを行うことができるように設計されている。そのため、IAGOで行われる交渉において人間およびエージェントは他のプラットフォームではサポートされていない様々な行動を行うことが可能である。交渉者は部分的な提案を行うことが可能で、さらに提案だけでなく感情の表出やメッセージの送信、お互いの選好に関する情報を送受信することができる。以上のような人間同士の交渉で用いられる諸要素をユーザおよびエージェントが使用することができるため、実際に行われる交渉と近い状況で人間との交渉をシミュレーションすることができる。

このように、人間と交渉可能なエージェントを開発することができるため、IAGOを用いて実験を行う研究が増えつつある。また、最新版のIAGOでは留保価格についての情報交換や見返りの要求や約束が行えるようになっており、より現実に近い交渉を行うことが可能になった。最新版のIAGOを用いて見返りを求めるエージェントの方が高い効用を得るという結果が示唆されている [27]。

2.3 TKI

TKIは対立した状況における個人の行動を評価・分析するための指標である [22]。TKIでは協調性 (cooperativeness) と積極性 (assertiveness) の2つの軸を用いる。協調性は相手の利益や要求を満たそうとする程度を表し、積極性は自分自身の利益や要求を満たそうとする程度を表す。TKIでは協調性と積極性の値によって以下の5つのモードに分類される。

共存 (Collaborating)

協調性が高く、積極性も高い人は共存モードに分類される。共存モードは相手と一緒に互いの要求を満たすような解決策を探る。また、両者の根本的な要求を把握し、両者の要求を満たすような代替案を探るために問題を深掘りする。

順応 (Accommodating)

協調性が高く、積極性が低い人は順応モードに分類される。順応モードは親身であり、自分の利益を無視してでも相手を満足させる。このように順応モードは自己犠牲の精神があり、相手の命令や脅迫に従うことがある。

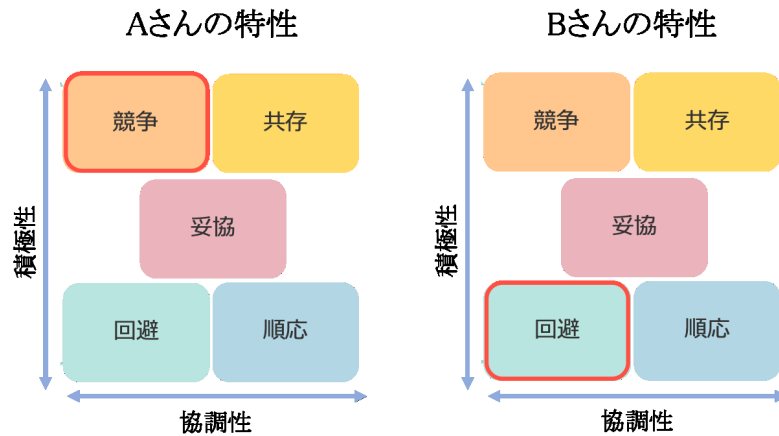


図 2.2: TKI によるパーソナリティの表現

競争 (Competing)

協調性が低く、積極性が高い人は競争モードに分類される。競争モードは衝突が起こった際、相手を犠牲にして自分の利益を追求する。また、自分の権利のために立ち上がり、自分が正しいと信じた信念を守り、相手に勝利するために行動する。

回避 (Avoiding)

協調性が低く、積極性も低い人は回避モードに分類される。回避モードは自分自身または相手の利益を追求することはない。また、自ら問題に対処することではなく、問題のすり替え、問題への対処を延期、問題からの撤退などの形を取る可能性がある。

妥協 (Compromising)

協調性と積極性が中庸な人は妥協モードに分類される。妥協する際の目標は両者が部分的に満足でき、互いに受け入れることができるような内容のものである。妥協の度合いとしては競争モードよりは譲歩し順応モードよりは譲歩しない。また、回避モードよりは問題に対処しようとするが共存モードのように問題を深掘りするわけではない。このように妥協モードはすべてのモードの中間の行動をとる。

TKI は上述のように各モードに典型的な特徴があり、その上で図 2.2 のように個人がどのモードを使用しやすいかを分類することで個人の特徴を判断する。

表 2.1: ガレノスによる四気質説とヒポクラテスの四体液説¹

四気質説			四体液説	
体液	気質	特徴	季節	元素
血液	多血質	怒りっぽい, 衝動的, 楽天的	春	空気
粘液	粘液質	受動的, 用心深い, 考え深い	冬	水
黒胆汁液	黒胆汁質	心配性, 悲観的, 内気	秋	土
黄胆汁液	黄胆汁質	愛想が良い, 社交的, 陽気	夏	火

2.4 パーソナリティに関する研究

本稿で用いるビッグファイブは人間のパーソナリティを5つの因子で表現するものである。まず、ビッグファイブが提唱されるまでのパーソナリティ研究について簡単にまとめる [28, 29, 30, 31].

2.4.1 類型論

第 2.3 節で述べた TKI のように人間のパーソナリティをいくつかの大きなグループに分類し、グループごとに典型的な性格や特徴などを記述する手法を類型論もしくは類型説と呼ぶ。類型論的なパーソナリティの記述は古代から行われている。人間の性格について記述された現存する世界最古の書物は、哲学者であり植物学者でもあるテオプラストスによって紀元前に書かれた“人さまざま”であるとされている。この書物の中ではへそまがり、お節介、傲慢などの 30 種類のパーソナリティを定義し、その特徴や具体的な人物像について記述されている [32]。また、テオプラストスが誕生する以前にヒポクラテスは人間の 4 種類の体液のバランスの歪みによって病気が生じるとする四体液説を提唱した [33]。ここで、4 種類の体液は血液、粘液、黒胆汁液、黄胆汁液であり、各体液は季節や四大元素などに対応している。ヒポクラテスの四体液説から 500 年後、ガレノスが四体液説を発展させ、四気質説という類型論を展開し、後世に大きな影響を与えた [34]。四気質説および四体液説の内容を表 2.1 に示す。

その後、ガレノスの説いた四気質説は人間の性格を記述する際の基本的な考えとなった。例えば、Kant はガレノスの気質論を踏襲しつつ新たな解釈を加えた [35]。Kant は人間の気質はまず感情と活動の 2 つの気質に分類でき、さらにそれぞれの下位分類として生命力の興奮と弛緩の 2 種類があり、最終的に人間をこれら 4 つの気質に分類できると述べた。表 2.2 に示すように Kant は多血質と憂鬱質は感情の気質、胆汁質と粘液質は活動の気質であるとした。

¹出典: 小塩. [30](一部修正)

表 2.2: Kant による気質の分類

上位分類	下位分類	気質	特徴
感情	興奮	多血質	無頓着, 社交的, 機嫌が良い
	弛緩	憂鬱質	慎重, 悲観的, 物事を重く受け止める
活動	興奮	胆汁質	熱血漢, 欲深い, プライドが高い
	弛緩	粘液質	情動があまり変動しない, 持続的, ずる賢い

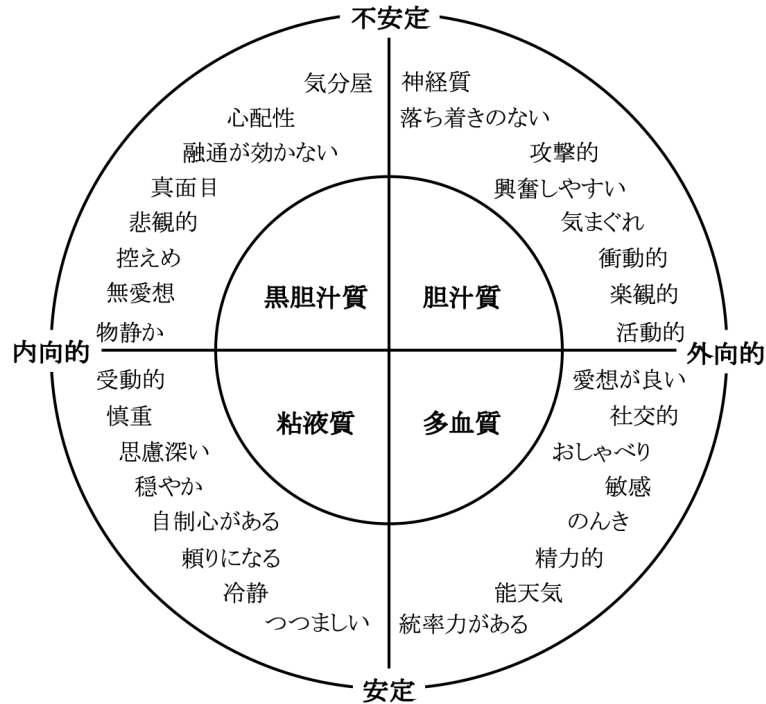


図 2.3: Eysenck の円環モデル²

パーソナリティ心理学が確立されてからはまず類型論的にパーソナリティを記述する研究が盛んに行われた。Eysenck[36]が四気質を用いたパーソナリティの円環モデルを発表した。そのモデルの概要を図 2.3 に示す。また, Kretschmer[37]は体型によって発症しやすい病気が異なることを示し, 体型ごとに気質が異なると考えた。体型ごとの気質を表 2.3 に示す。他にも, Jung[38]は精神分析学的な観点から関心・興味が外部に向いている人を外向型, 自分自身に向いている人を内向型に分類した。この外向型, 内向型という分類は後のパーソナリティ研究に引き継がれていった。

これまで述べたように, パーソナリティを記述する方法としては古代から 20 世紀前半まで類型論的なアプローチが主流であった。類型論はタイプごとの比較が行いやすく, タイプごとに大まかなイメージができるため人々に受け入れられやすいという長所がある。一方で, 少数のタイプ

²出典: Eysenck. [36](一部修正)

³出典: 小塩. [30](一部修正)

表 2.3: Kretschmer による体型と気質の関係³

体格	気質	特徴	対応する病理
細長型	分裂気質	非社交的, 無口, 神経質	統合失調症
肥満型	循環気質	社交的, 融通がきく, こだわりが弱い	躁うつ病
闘士型	粘着気質	秩序を好む, 几帳面, 綺麗好き	てんかん

で人間の特徴を記述することが難しく, タイプの特徴を無理に当てはめてしまったり中間的なタイプが記述できないという短所があるため, 現在の心理学研究では類型論はあまり扱われていない. 第 2.4.2 節で説明する特性論は, 個人の類似する行動をまとめ, それらの集積としての性格を把握するものである. そのため, 個人の特徴をより正確に捉えることができる.

2.4.2 特性論

パーソナリティ心理学者である Allport は類型論では人間の見た目および身体的特徴とパーソナリティが直接関係していることに疑問を持ち, これらを重視していることがパーソナリティの理解を阻害していると考えた. Allport[39] は “character” と “personality” を明確に区別するべきと主張し, この考えが他の心理学者らに受け入れられることによって personality という用語が定着した. また, Allport ら [40] は英語辞典 “Webster’s New International Dictionary 2nd Edition” に収録されている約 40 万語から人間の特徴を表現する約 18000 語を抽出し, これをさらに 4 つのカテゴリに分類した. 以降, パーソナリティ特性を語彙を用いて分析するという研究が行われていった.

Cattell[41] は Allport らの選んだ単語を因子分析を利用して整理し, 意味がよく似た単語と反対の意味の単語をグループにまとめ単語対を作成した. Cattell は相関係数の高い単語対をまとめていき, 最終的に 12 個の根源特性を導き出した. Cattell ら [42] はこれに 4 つの特性を追加した 16 個のパーソナリティ特性に基づく 16PF(Sixteen Personality Factor Questionnaire) という検査を開発した.

また, Eysenck[43] は因子分析を用いて神経症傾向と外向性の 2 つがパーソナリティの基本的な因子であると考え, これらを測るための MPI(Maudsley Personality Inventory) という検査を開発した. 後に Eysenck ら [44] は新たに精神病傾向を加えた 3 つのパーソナリティ因子を測る EPQ(Eysenck Personality Questionnaire) を開発した.

2.4.3 ビッグファイブ・5 因子モデル

このように人間のパーソナリティ特性の数は研究者ごとに主張が異なっていたが、現在、最も多くの研究者が支持しているのがこのように5つのパーソナリティ特性を用いて人間の特徴を記述するものである。これはビッグファイブ (Big Five) もしくは5 因子モデル (Five Factor Model) と呼ばれている。

Norman[45] は因子分析を行った結果、ビッグファイブ・5 因子モデルの前身とも言える外向性、協調性、誠実性、情緒安定性、文化という5つの因子を見出している。ビッグファイブはGoldberg[46, 47, 48] を中心としてAllport 以来の語彙研究の流れを汲み、語彙と因子分析などの統計的処理を用いてパーソナリティの因子を5つに収束させたグループであり、5 因子モデルはMcCrae とCosta[49, 50] を中心として複数のパーソナリティ理論をまとめた理論的なアプローチで、パーソナリティの階層構造を強調するグループである[30]。ビッグファイブおよび5 因子モデルに至るまでの背景はそれぞれ異なっているが、人間のパーソナリティを5つの大きな枠組みで捉えるという点では同じである。以降、5 因子モデルについて触れる必要がある場合を除き、表記はビッグファイブで統一する。この理論が登場したことにより、今までのパーソナリティ研究を包括的に説明することが可能になった。また、神経科学や遺伝学の発達により検証可能になった個人間での反応の差異はビッグファイブに当てはめることができる。これらの点から今日、ビッグファイブはパーソナリティを記述する枠組みとして最も信頼できるものとして利用されている。前述のようにビッグファイブは海外で生まれた枠組みであるが、日本でも和田[51]の研究によると日本でもビッグファイブに該当する5 因子が確認されている。

ビッグファイブで現在用いられている5つの因子は以下の通りである[31]。

神経症傾向 (Neuroticism)

神経症傾向 (情緒不安定性とも) のスコアが高い人は感情・情緒が不安定で恐怖などに対する警戒心が強く、ストレスを感じやすかったり心配性な傾向がある。また、ネガティブな情動は自己の内部へ向けられる傾向があり、スコアが高い人は自身の現状に不満を持つことが多いために人より努力する傾向がある。スコアが低い人は情緒的に安定しているが、恐怖などを感じる閾値が非常に高いため自身への脅威を感知できない場合もある。神経症傾向のスコアは怒った顔や墓地などのネガティブな画像刺激に対する反応の大きさと相関がある。

外向性 (Extraversion)

外向性のスコアが高い人は社会的であり、物事に熱中し、社会的地位や自己の目標などの報酬やそれらを達成するための刺激に対する欲求が非常に高い。また、報酬を求めるあまりに無謀な行動をする場合があり、大きなリスクを負う可能性があるという側面もある。スコアが低い人はよそよそしかったり物静かであり、報酬に対する欲求が低いためリスクを取ってまで報酬を求めることは少ない。外向性のスコアは子犬やアイスクリームなどのポジティブな画像刺激に対する反応の大きさと相関がある。

経験への開放性 (Openness)

経験への開放性のスコアが高い人は好奇心が高く、独創性や創造性が高い。一方で異常な信念があったり精神病を患う可能性が高いという傾向がある。スコアが低い人は現実的で新しい考え方を受け入れようとしない。拡散的思考と経験への開放性の関連が示唆されている。

協調性 (Agreeableness)

協調性 (調和性とも) のスコアが高い人は共感性が高く他者と調和的な社会関係を結ぶことに長けている。しかし、自分の利益やステータスを犠牲にしてまで他者への配慮を優先する場合もある。スコアが低い人は冷淡で他者に対する配慮をせず、自分の利益を優先し、敵対的な態度を取る場合もある。EQ (Emotional Intelligence Quotient) のスコアと協調性のスコアに相関がある。

誠実性 (Conscientiousness)

誠実性 (勤勉性とも) のスコアが高い人は自己を律する能力が高く、欲求やそれによる衝動的行動を抑制することが得意である。しかし、自分の計画に固執しすぎて融通が利かないという側面がある。スコアが低い人は集中力がなく、衝動的であり、物事を先延ばしにする傾向がある。ギャンブルや薬物への依存性の高さと誠実性のスコアの低さに相関がある。

ビッグファイブは図 6.5 のように個人が各因子をどの程度持っているかを測ることでその個人のパーソナリティを記述する。このように特性論的なアプローチは類型論的なアプローチよりも個人の特徴を的確に記述することができる。一方でビッグファイブは各因子が独立であるという前提に立っているが、Costa と McCrae[52] は神経症傾向と誠実性に負の相関、外向性と開放性に正の相関があると述べており、すべての因子が完全に独立しているわけではないといえる [53]。この

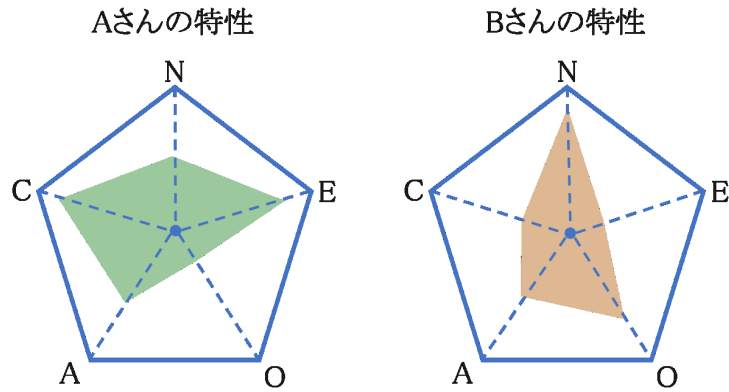


図 2.4: ビッグファイブによるパーソナリティの表現

ようにビッグファイブの理論にもいくつか問題点が指摘されている。ビッグファイブの測定法には様々なものが考案されているが、第 2.4.4 節ではその一部について述べる。

2.4.4 ビッグファイブの測定法

ビッグファイブを測定するために Gough ら [54] の ACL (Adjective Check List) が用いられることがある。ACL は性格を表すような形容詞で構成されており、文章形式の質問項目よりも構造が安定している。ACL はビッグファイブを測定するために開発されたものではないが、Piedmont ら [55] は ACL とビッグファイブとの関連性を示唆している。日本語版の ACL は柏木ら [56] によって作成されている。

また、5 因子モデルの各因子を測定する手法として Costa と McCrae [52] が開発した NEO-PI-R (Revised NEO Personality Inventory) がある。NEO-PI-R では前述の 5 因子を上位次元とし、各因子にはそれぞれ 6 つの下位次元が存在している。これら 30 個の下位次元に対して質問項目が用意されており、これにより各次元の値を測定する。日本語版の NEO-PI-R は下仲ら [57] によって作成されている。表 2.4 に各因子の下位次元を示す。

上述の測定法は質問項目が多く、被験者の負担や時間的制約などから使用が難しい場合があるため、Gosling ら [58] による各因子 2 項目ずつの計 10 項目でビッグファイブを計測する TIPI (Ten Item Personality Inventory)、小塩ら [59] による TIPI の日本語版である TIPI-J など少ない項目でビッグファイブを測定する方法も多く考案された。しかし、このような短い項目では因子が十分に測定できない可能性がある。

また、Nettle [31] は IPIP (International Personality Item Pool) 尺度を利用することを有効性・

表 2.4: 5 因子の下位次元⁴

因子	下位次元
神経症傾向	不安, 敵意, 抑うつ, 自意識, 衝動性, 傷つきやすさ
外向性	温かさ, 群居性, 断行性, 活動性, 刺激希求性, 良い感情
開放性	空想, 審美性, 感情, 行為, アイデア, 価値
協調性	信頼, 実直さ, 利他性, 応諾, 慎み深さ, 優しさ
誠実性	コンピテンス, 秩序, 良心性, 達成追求, 自己鍛錬, 慎重さ

表 2.5: 協調性および積極性の推定⁵

条件	協調性	条件	積極性
$U_{eH}(bid_t) > \mu_e$	非協調的	$\sigma_e^2(t) > \sigma_{eh}^2$	消極的
$U_{eH}(bid_t) = \mu_e$	中立	$\sigma_e^2(t) = \sigma_{eh}^2$	中立
$U_{eH}(bid_t) < \mu_e$	協調的	$\sigma_e^2(t) < \sigma_{eh}^2$	積極的

利用の容易さの観点から勧めている。同時に, IPIP 尺度の中でもできるだけ長い質問項目を利用するべきと述べている。

2.5 TKI を用いた人間とエージェントの交渉に関する研究

第 1.1 節でも述べたが, Koley ら [21] は TKI を用いたエージェントを使って人間との交渉を行った。自動交渉でも藤田 [60] が TKI を使用して譲歩速度を変更するエージェントを提案しており, Koler らはそれを人間とエージェントの交渉に応用した。藤田は過去の交渉セッションでのエージェントの提案と現在のエージェントの提案を比較することで相手のモードを推定していた。しかし, Koley らは過去の交渉のデータを使用しない。すなわち, 現在の提案と同一の交渉内での過去の提案を比較することによって相手のモードを推定している。これにより, Koley らのエージェントはあらゆる相手に適応できる柔軟性を持つことができると述べている。

藤田および Koley らは効用の平均と分散で相手の協調性, 積極性を測り相手のモードを推定した。表 2.5 に協調性, 積極性の推定方法を示す。

ラウンド t における相手が送信した提案を bid_t , bid_t によって人間が得られる推定効用を $U_{eH}(bid_t)$, 相手が送信した過去の提案で人間が得られる推定効用の平均を μ_e , bid_t によって人間が得られる推定効用の分散を $\sigma_e^2(t)$, 相手が送信した過去の提案で人間が得られる推定効用の分散を σ_{eh}^2 とす

⁴出典: 無藤ら. [29] (一部修正)

⁵出典: Koley et al. [21], 藤田 [60] (一部修正)

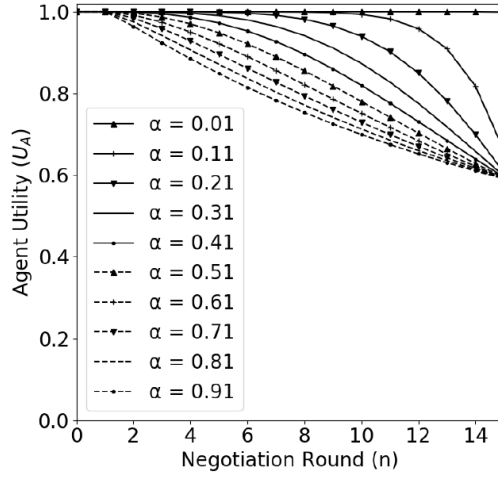


図 2.5: Koley らの目標効用関数⁶

る. $U_{eH}(bid_t)$ が μ_e より低い場合, 相手は譲歩しており, 協調的だとみなす. 一方, $U_{eH}(bid_t)$ が μ_e より高い場合, 相手は譲歩していないため相手は非協調的だとみなす. また, $\sigma_e^2(t)$ が σ_{eh}^2 より低い場合, 相手は同じ提案を多く送信しており, 積極的だとみなす. 一方, $\sigma_e^2(t)$ が σ_{eh}^2 より高い場合, 相手の提案は分散しているため相手は消極的だとみなす.

Koley らのエージェントは式 (2.1), 式 (2.2), 式 (2.3) で表される目標効用 $target(t, \alpha)$ が得られるような提案を行う.

$$target(t, \alpha) = \gamma_{min} + \Delta \cdot \Gamma(t, \alpha) \quad (2.1)$$

$$\Delta = \gamma_{max} - \gamma_{min} \quad (2.2)$$

$$\Gamma(t, \alpha) = 1 - U_A(bid_{t-1}) \cdot \left(\frac{t}{n}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (2.3)$$

各変数の定義

t : 現在のラウンド数

$\alpha \in [0, 1]$: 譲歩速度

γ_{min} : エージェントの目標効用の最低値

γ_{max} : エージェントの目標効用の最高値

$U_A(bid_{t-1})$: bid_{t-1} によってエージェントが得られる効用

n : 総ラウンド数

⁶出典: Koley et al. [21]

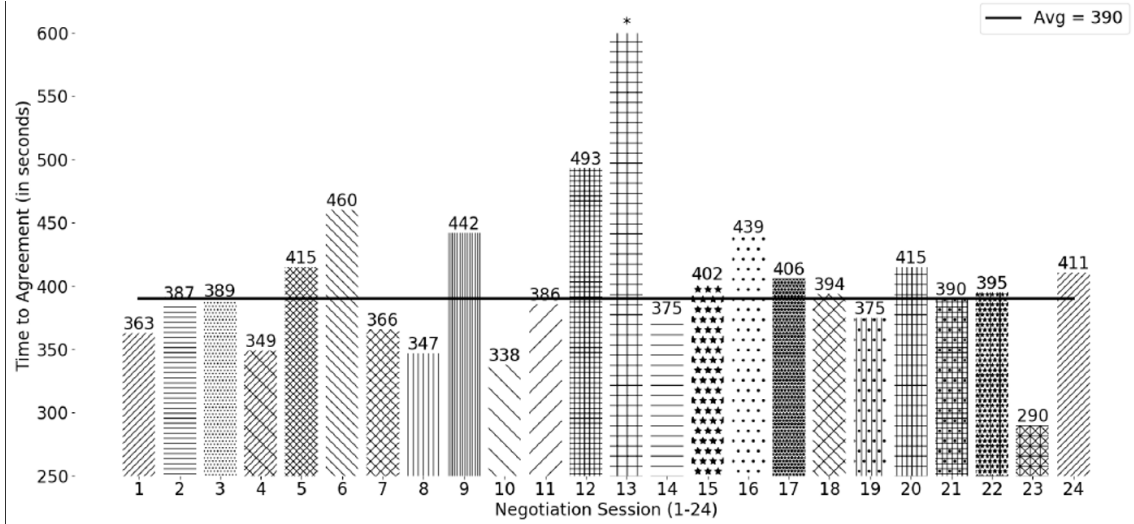


図 2.6: Koley らの研究における合意到達までの所要時間⁷

エージェントの目標効用は探索する効用空間の大きさを表す Δ と、ラウンド数とラウンド $t-1$ における提案に依存する $\Gamma(t, \alpha)$ によって決定する．すなわち、交渉初期のラウンド数が小さい場合やラウンド $t-1$ における提案でエージェントが得られる効用が低い場合は相手の譲歩を引き出すために目標効用が高くなる． α は協調性と積極性を表 2.5 の方法で測定し、相手のモードが妥協モードか順応モードであった場合に 0.1 ずつ増加していく．したがって、相手が譲歩した回数が多いほど α が大きくなり、図 2.5 のように譲歩速度が速くなる．

Koley らは上述のようなエージェントを作成し、人間と交渉する実験を行った．図 2.6 のように 24 人の被験者のうち 23 人が時間内に合意に至り、その平均値は約 392 秒であった．また、図 2.7 のように合意案のほとんどがパレート最適解近辺であり、さらに Kalai-Smorodinsky 解 [61] である $(0.7, 0.7)$ の近辺が最も多かった．Koley らは式 (2.4)、式 (2.5) によって合意に至った場合の交渉結果の有効性を計算しており、約 97.7% という値となった．

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \text{euclideanDist}(\text{result}_i, \text{paretoFront})^2}{N}} \quad (2.4)$$

$$\text{EfficacyScore} = \left(1 - \frac{RMS}{\sqrt{0.7^2 + 0.7^2}}\right) \quad (2.5)$$

⁷出典: Koley et al. [21]

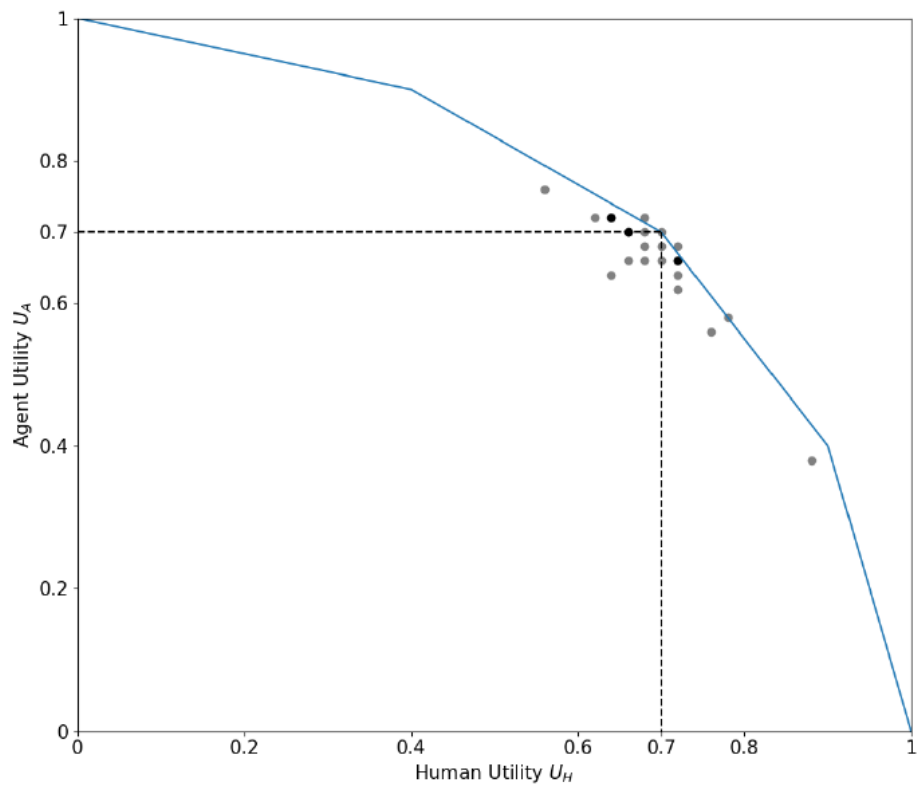


図 2.7: Koley らの交渉結果⁸

⁸出典: Koley et al. [21]

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 (Multi issue bargaining task) を扱う。まず、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_{iss} のドメインはそれぞれ固有の論点集合 $I = \{i_1, i_2, \dots, i_{N_{iss}}\}$ 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、 $s = (v_1, v_2, \dots, v_{N_{iss}})$ 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。

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

各エージェントは各論点 i_k について重み w_k ($\sum_{k=1}^{N_{iss}} w_k = 1$) 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。

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

論点 i_k の重み w_k が大きいほど i_k はエージェントにとって重要な論点である。論点 i_k がそのエージェントにとって $j(1 \leq j \leq N_{iss})$ 番目に重要であるという情報 $J = \begin{pmatrix} j_1 & j_2 & \dots & j_{N_{iss}} \end{pmatrix}$ をエージェントの選好 (Preference) と呼ぶ。ただし、各エージェントが持つ各論点の重みと選択肢の評価値は他のエージェントには公開されずに交渉が行われる。そのため、各エージェントは相手の効用関数を推定して提案を行う。また、エージェントに対して BATNA (Best Alternative To Negotiated Agreement) として留保価格 (reservation value) と呼ばれる値が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最低限獲得できる効用値である。

3.2 配分的交渉と統合的交渉

配分的交渉 (Distributive bargaining) は、当事者間で固定量の資源を分割する交渉であり、統合的交渉 (Integrative bargaining) は、相互問題解決技法を使用して、当事者間で分割される資産を拡大する交渉である。

複数論点交渉問題の場合、各エージェントの選好 J_A が同じ場合と異なる場合がある。配分的交渉の場合は選好が同じであり、一方の利益は一方の損失につながるため、資源の奪い合いとなる。対して、統合的交渉では選好が異なり、双方が重要でない論点で互いに譲歩することで双方の利益となる場合がある。

3.3 本稿における問題設定

本稿の目的は交渉中に相手のパーソナリティの測定を試みることであるが、相手の選好が正しく推定できていないとパーソナリティの測定は困難である。したがって、本稿で用いるエージェントは**相手の選好が正しく推定できている**、すなわち**相手の選好は既知である**という前提の下、交渉を行う。以降、数式や変数の添字において A はエージェント、H は人間を表す。

本稿では3種類のドメインを用いて実験を行う。各ドメインはIAGOの最新版にデフォルトで存在するドメインを一部修正したもので、いずれも統合的交渉となっている。各ドメインの詳細を表3.1、表3.2に示す。なお、表中のAはエージェント、Hは人間を指している。

本稿で用いるドメインでは論点としてそれぞれ項目が設定されており、選択肢はその項目をいくつ配分するかによって決まる。選択肢数は6なので選択肢の値は0から5のいずれかとなり、各

表 3.1: 本稿で用いるドメインで共通の属性

論点数	選択肢数	留保価格	交渉時間
4	6	0.24	600 秒

表 3.2: 本稿で用いるドメイン

ドメイン名	論点 1 の重み		論点 2 の重み		論点 3 の重み		論点 4 の重み	
	A	H	A	H	A	H	A	H
FavorGameSpec1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.4	0.4	0.1
FavorGameSpec2	0.1	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.1
FavorGameSpec3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.4

表 3.3: FavorGameSpec1 における bid_t の例

論点 1 の選択肢		論点 2 の選択肢		論点 3 の選択肢		論点 4 の選択肢	
A	H	A	H	A	H	A	H
2	1	4	0	3	2	0	0

論点におけるエージェントと人間の選択肢の値を足した値は常に 5 以下となり，これに未配分の項目数を足すと常に 5 となる．例として FavorGameSpec1 において表 3.3 のような提案が行われたとする．このドメインでは論点 1 はアンティークランプ，論点 2 は絵画，論点 3 はレコード，論点 4 は鳩時計という項目になっている．表 3.3 のような提案であればアンティークランプをエージェントが 2 つ，人間が 1 つ獲得し，絵画をエージェントが 4 つ獲得し人間が 1 つも獲得しない．なお，選択肢の評価値は選択肢の値に 0.2 を乗じた値とする．上述の例では論点 1 に対するエージェントの選択肢の評価値は 0.4，人間の選択肢の評価値は 0.2 となる．

また，本稿で用いるドメインでは bid_t は $N_{iss} \times 3$ の行列であり， k 行目には論点 k についての選択肢数，1 列目にはエージェントの選択肢 v_{kA} ，2 列目には未配分の項目数，3 列目には人間の選択肢 v_{kH} が代入されている．表 3.3 では bid_t は式 (3.5) となる．

$$bid_t = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 \\ 4 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 2 \\ 0 & 5 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

また，各ドメインの合意案候補によってエージェントと人間が得られる効用を 2 次元座標にプ

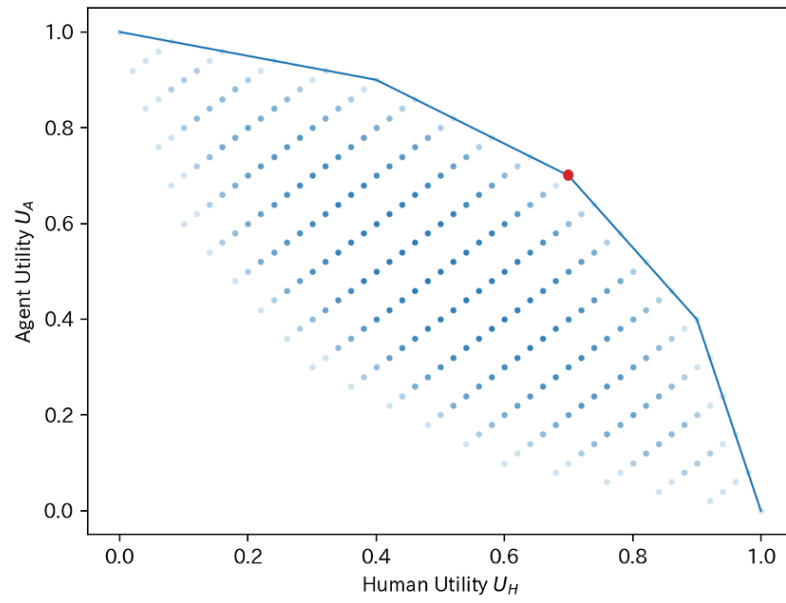


図 3.1: 本稿で用いるドメインにおける合意案候補とパレート最適解

ロットしたものを図 3.1 に示す. なお, 実線上にある点はパレート最適な合意案であり, 赤い点は Kalai-Smorodinsky 解である.

第4章 プロファイリングを用いたエージェントの交渉戦略

相手の性格や特性を推定し、特性に応じて自分の行動を決定することは交渉を含めた日常生活でも頻繁に行われる。第2章で述べたように TKI は対立関係に置かれた際の人間の対応方法を分類したものであり、ビッグファイブは5つの因子の値によって人間の特性を表したものである。本稿では、TKI とビッグファイブを用いて相手の特性を推定し、相手の特性によって譲歩速度を変更するエージェントを提案する。

4.1 戦略の概要

本稿で提案するエージェントの概要を図 4.1 に示す。エージェントは相手の提案や送信された感情、メッセージなどから TKI における協調性、積極性とビッグファイブの各因子の値を推定し、TKI については各モードに分類される確率をそれぞれ求める。また、過去の提案や行動より現在の提案や行動に大きい重みをかけて平均などを計算することによってより柔軟な対応を実現する。エージェントは推定した相手の各モードの分類確率およびビッグファイブの各因子の値によって

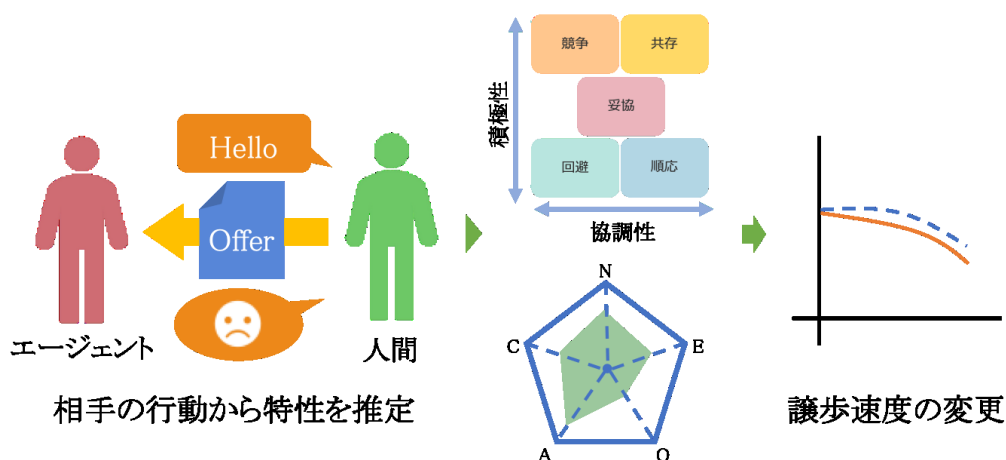


図 4.1: プロファイリングを用いた戦略の概要

譲歩速度を変更する．これにより，相手の特性に合わせた提案を行うことが可能となる．

エージェントは bid_t の効用，選択肢からモードや因子の値を推定する際，および目標効用を計算する際に，ダミーの提案として bid_{dumU_t} , bid_{dumV_t} , bid_{max_t} を用いる．これらは bid_t と同様に $N_{iss} \times 3$ の行列であり， k 行目には論点 k についての選択肢数，1 列目にはエージェントの選択肢 v_{kA} ，2 列目には未配分の項目数，3 列目には人間の選択肢 v_{kH} が代入されている． bid_{dumU_t} , bid_{dumV_t} , bid_{max_t} はそれぞれ式 (4.1)，式 (4.2)，式 (4.3) で計算される．

$$bid_{dumU_t}[k] = \begin{cases} \begin{pmatrix} 0 & 5 - v_{kH} - v_{kA} & v_{kH} + v_{kA} \end{pmatrix} & \text{if } k = \min_{\{x | v_{xH} + v_{xA} \neq 0, 1 \leq x \leq N_{iss}\}} J_H[x] \\ bid_t[k] & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.1)$$

$$bid_{dumV_t}[k] = \begin{pmatrix} 0 & 5 - v_{kH} - v_{kA} & v_{kH} + v_{kA} \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

$$bid_{max_t}[k] = \begin{pmatrix} v_{kH} + v_{kA} & 5 - v_{kH} - v_{kA} & 0 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

本稿で用いるエージェントは Koley らと同様に目標効用 $target(t, \alpha)$ が得られるような提案を行う．ただし，部分的な提案に対応し，ビッグファイブの測定を追加したため，式 (2.1)，式 (2.3) はそれぞれ式 (4.4)，式 (4.5) のように変更している．なお， u_{bias} , λ_{bias} , γ_{min} , α , n は相手の特性によって値が変化する．

$$target(t, \alpha) = \begin{cases} \gamma_{min} + \Delta \cdot \Gamma(t, \alpha) & \text{if } U_A(bid_{max_t}) \geq 0.02 \\ 0.02 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.4)$$

$$\Gamma(t, \alpha) = \max \left(0.0, 1 - \max \left(0.0, u_{bias} + \lambda_{bias} \cdot \frac{U_A(bid_{t-1})}{U_A(bid_{max_t})} \right) \cdot \left(\frac{t}{n} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \right) \quad (4.5)$$

なお，実際に相手に送信する提案はアルゴリズム 1 にしがって決定される．なお，すでに受諾したまたは相手に受諾された提案を bid_{acc} とする．相手に送信する提案は目標効用にかかわらず常にアルゴリズム 1 によって作成される．そのため，常に $target(t, \alpha) \geq U_A(propose)$ であるが $target(t, \alpha) = U_A(propose)$ は成り立つとは限らない．

本稿では，相手の提案を受諾する際の戦略は IAGO のデフォルトエージェントで用いられているものを使用する．すなわち，式 (4.6) が真になるような提案がなされたとき，その提案を受諾す

アルゴリズム 1 送信する提案 $propose$ を決定するアルゴリズム

Input: $bid_t, bid_{acc}, J_H, J_A$

Output: $propose$

```

1:  $propose \leftarrow bid_{acc}$ 
2:  $temp \leftarrow bid_{acc}$ 
3:  $free \leftarrow (bid_{acc})^T[1]$ 
4:  $count \leftarrow 0$ 
5: while  $target(t, \alpha) > U_A(propose) \wedge \sum_{k=1}^{N_{iss}} propose[k][1] \neq 0$  do
6:    $best_H = \min_{\{x|v_{xH}+v_{xA} \neq 0, 1 \leq x \leq N_{iss}\}} J_H[x]$ 
7:    $best_A = \min_{\{x|v_{xH}+v_{xA} \neq 0, 1 \leq x \leq N_{iss}\}} J_A[x]$ 
8:   if  $count \bmod 3 = 1$  then
9:      $propose[best_H] \leftarrow [temp[best_H][0], free[best_H] - 1, temp[best_H][2] + 1]$ 
10:     $free[best_H] \leftarrow free[best_H] - 1$ 
11:     $propose[best_A] \leftarrow [temp[best_A][0] + 1, free[best_A] - 1, temp[best_A][2]]$ 
12:     $free[best_A] \leftarrow free[best_A] - 1$ 
13:   else
14:     $propose[best_A] \leftarrow [temp[best_A][0] + 1, free[best_A] - 1, temp[best_A][2]]$ 
15:     $free[best_A] \leftarrow free[best_A] - 1$ 
16:   end if
17:    $count \leftarrow count + 1$ 
18:    $temp \leftarrow propose$ 
19: end while
20: while  $\sum_{k=1}^{N_{iss}} propose[k][1] \neq 0 \wedge \sum_{k=1}^{N_{iss}} propose[k][1] \geq \sum_{k=1}^{N_{iss}} bid_t[k][1]$  do
21:    $best_H = \min_{\{x|v_{xH}+v_{xA} \neq 0, 1 \leq x \leq N_{iss}\}} J_H[x]$ 
22:    $propose[best_H] \leftarrow [temp[best_H][0], free[best_H] - 1, temp[best_H][2] + 1]$ 
23:    $free[best_H] \leftarrow free[best_H] - 1$ 
24:    $temp \leftarrow propose$ 
25: end while

```

る. なお, $margin$ は $0 \leq margin \leq 0.02 \times N_{iss}$ であり, エージェントが相手の提案を拒否するごとに 0.02 ずつ加算されていく.

$$U_A(bid_t) > U_A(bid_{acc}) \wedge U_A(bid_t) - U_A(bid_{acc}) + margin > U_H(bid_t) - U_H(bid_{acc}) \quad (4.6)$$

また, エージェントは相手から送信されたすべての提案 $bids = \{bid_1, bid_2, \dots, bid_t\}$ を 2 つに分割し計算で使用する. 直近の N_{bid} 個の提案を $bids^{rec}$, それ以前の提案を $bids^{pre}$ とし, $bids^{pre}$ には $\psi_{bid}^{pre} (0 \leq \psi_{bid}^{pre} \leq 1)$ を乗じて計算することで, 過去の提案を参考にしつつ直近の提案を重視して特性の推定が可能になる.

また, TKI における積極性, 協調性やビッグファイブの各因子の値を $[-1.0, 1.0]$ に正規化するために式 (4.7) のような関数を使用する.

$$norm(x, x_{max}, x_{min}) = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \cdot 2 - 1 \quad (4.7)$$

4.1.1 TKI のモード推定

TKI のモード推定は藤田 [60] や Koley ら [21] のように提案によって得られる効用によって行う. 協調性は効用の平均, 積極性は効用の標準偏差で計算する. 協調性は式 (4.8) で計算する.

$$coop = -norm\left(\mu, \max\left(\mu, \mu_{dum} \cdot \xi_{max}^{util}\right), \min\left(\mu, \mu_{dum} \cdot \xi_{min}^{util}\right)\right) \quad (4.8)$$

$$\mu = mean(U_H(bids^{pre})) \cdot \psi_{bid}^{pre} + mean(U_H(bids^{rec}))$$

$$mean(utills) = \frac{1}{size(utills)} \sum_{i=1}^{size(utills)} utills_i$$

$$\mu_{dum} = mean(dumU(bids_{dumU}^{pre})) \cdot \psi_{bid}^{pre} + mean(dumU(bids_{dumU}^{rec}))$$

$$dumU(u) = \begin{cases} u & \text{if } u \leq 0.75 \\ u \cdot (1.0 + u^{\frac{3}{2}} \cdot 0.2) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.9)$$

積極性は式 (4.10) で計算する.

$$assert = -norm\left(\sigma, \max\left(\sigma, \sigma_{dum} \cdot \xi_{max}^{dev}\right), \min\left(\sigma, \sigma_{dum} \cdot \xi_{min}^{dev}\right)\right) \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned}
\sigma &= dev(bids^{pre}) \cdot \psi_{bid}^{pre} + dev(bids^{rec}) \\
dev(argbids) &= \frac{1}{\sqrt{size(argbids)}} \sum_{i=1}^{size(argbids)} |U_H(argbids_i) - mean(U_H(argbids))| \\
\sigma_{dum} &= dev(bids_{dumU}^{pre}) \cdot \psi_{bid}^{pre} + dumDev(bids_{dumU}^{rec}) \\
dumDev(argbids) &= tempDev(argbids) + devBias(mean(U_H(argbids)), tempDev(argbids)) \\
tempDev(argbids) &= \frac{1}{\sqrt{size(argbids)}} \sum_{i=1}^{size(argbids)} dumV(argbids_i, mean(U_H(argbids))) \\
devBias(m, dev) &= \begin{cases} \frac{1}{(1.1-m) \cdot 50dev + 0.01} \cdot 0.01 & \text{if isNearZero} \\ diffMaxMean & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.11) \\
diffMaxMean &= \max U_H(bids^{rec}) - mean(U_H(bids^{rec})) \\
isNearZero &= \sum_{i=1}^{size(bids^{rec})} undef(bids_i^{rec}) \neq 0 \vee diffMaxMean < \frac{0.022}{N_{bid}} \\
undef(bid) &= \sum_{k=1}^{N_{iss}} bid[k][1] \\
dumV(bid, m) &= \begin{cases} |dumU(U_H(bid)) - m| & \text{if } dumU(U_H(bid)) \leq 0.75 \\ |dumU(U_H(bid)) - m| \cdot \left(1.0 + \sqrt{dumU(U_H(bid))} \cdot 1.25 \cdot 0.7\right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.12)
\end{aligned}$$

部分的な提案が可能な IAGO では交渉の序盤お互いにとって利益の高い論点の割り当てが発生すると考えられる。したがって、交渉が進むにつれて $U_H(bid_t)$ と $U_H(bid_{t-1})$ の差は小さくなっていき、平均値および標準偏差の増分も小さくなるため、式 (4.8)、式 (4.10) では協調性、積極性の測定が正しく行えない可能性がある。そのため、交渉後半 ($U_H(bids[i]) > 0.75$) のダミーの提案の効用は式 (4.9)、式 (4.12) のように実際より高い値で計算を行なっている。式 (4.11) は、効用があまり変動しないような提案が連続で行われたときにダミーの提案の標準偏差を高い値にするために加えた。これにより、同じような提案が連続で送信されると積極性が低くなる。

TKI のモード推定には式 (4.8)、式 (4.10) により計算した、協調性と積極性の組 $P_h = (coop, assert)$ を使用する。協調性を x 軸、積極性を y 軸とし、妥協以外の 4 つのモードについて表 4.1 に示すようなパラメータを設定する。なお、各モードの中庸である妥協モードは本稿では使用しない。

これらのモードと P_h との距離の逆数 $invDist$ をそれぞれ計算する．ただし， P_h といずれかのモードの座標との距離が 0 である場合はそのモードのみ $invDist$ の値を十分に大きい値に設定する．そして， $invDist$ をこれらの総和 $invDistSum$ で割ることによって各モードまでの距離の逆数の比 $ratio$ を求める．各モードの $ratio$ の値をそのモードに分類される確率とする．各モードに設定された α_{mode} ， n_{mode} の値に $ratio$ の値を重みとして乗じた α_{TKI} ， n_{TKI} の重み付き和を計算する．ただし， P_h といずれかのモードの座標との距離が 0 である場合はそのモードに設定された α_{mode} ， n_{mode} の値をそのまま使用する．

例として， $P_h = (0.3, -0.4)$ だった場合を考える．各モードの $invDist$ および $invDistSum$ は以下ようになる．

$$\begin{aligned}
invDist_{col} &= \overline{P_h P_{col}} = \frac{1}{\sqrt{(0.3-1)^2 + (-0.4-1)^2}} \sim 0.639 \\
invDist_{acc} &= \overline{P_h P_{acc}} = \frac{1}{\sqrt{(0.3-1)^2 + (-0.4-(-1))^2}} \sim 1.084 \\
invDist_{com} &= \overline{P_h P_{com}} = \frac{1}{\sqrt{(0.3-(-1))^2 + (-0.4-1)^2}} \sim 0.523 \\
invDist_{avo} &= \overline{P_h P_{avo}} = \frac{1}{\sqrt{(0.3-(-1))^2 + (-0.4-(-1))^2}} \sim 0.698 \\
invDistSum &= invDist_{col} + invDist_{acc} + invDist_{com} + invDist_{avo} \sim 2.944
\end{aligned}$$

したがって，各モードに分類される確率は以下ようになる．

$$\begin{aligned}
ratio_{col} &= \frac{invDist_{col}}{invDistSum} \sim 0.217 \\
ratio_{acc} &= \frac{invDist_{acc}}{invDistSum} \sim 0.368 \\
ratio_{com} &= \frac{invDist_{com}}{invDistSum} \sim 0.178 \\
ratio_{avo} &= \frac{invDist_{avo}}{invDistSum} \sim 0.237
\end{aligned}$$

表 4.1: TKI のパラメータ

モード	モードの座標	α_{mode}	n_{mode}
共存	$P_{col} = (1, 1)$	0.95	20
順応	$P_{acc} = (1, -1)$	0.95	10
競争	$P_{com} = (-1, 1)$	0.01	20
回避	$P_{avo} = (-1, -1)$	0.01	10

これにより、TKIによって計算されるエージェントのパラメータはそれぞれ式 (4.13)、式 (4.14) となる。

$$\alpha_{TKI} = ratio_{col} \cdot 0.95 + ratio_{acc} \cdot 0.95 + ratio_{com} \cdot 0.01 + ratio_{avo} \cdot 0.01 \sim 0.560 \quad (4.13)$$

$$n_{TKI} = \lfloor ratio_{col} \cdot 20 + ratio_{acc} \cdot 10 + ratio_{com} \cdot 20 + ratio_{avo} \cdot 10 \rfloor \sim 13 \quad (4.14)$$

4.1.2 ビッグファイブの推定

ビッグファイブは提案内容だけでなく相手の行動も考慮し各因子の値を測定する。提案と同様に行動も2つに分割して計算を行う。ラウンド t までに相手から送信された提案以外の行動の数を τ とする。相手から送信された提案以外のすべての行動 $behs = \{beh_1, beh_2, \dots, beh_\tau\}$ のうち、直近の N_{beh} 個の行動を $behs^{rec}$ 、それ以前の行動を $behs^{pre}$ とし、 $behs^{pre}$ には $\psi_{beh}^{pre} (0 \leq \psi_{beh}^{pre} \leq 1)$ を乗じて計算する。なお、 $behs$ のうち特定の行動 ρ に該当する部分集合を $behs\{\rho\}$ とする。

また、ビッグファイブの推定では Hindriks ら [62] が用いた相手の行動に対する感受性という指標を一部修正し使用する。相手の行動に対する感受性は表 4.2 に示すクラスを用いて計算する。なお、 $\Delta U_H = U_H(bid_t) - U_H(bid_{t-1})$ 、 $\Delta U_A = U_A(bid_t) - U_A(bid_{t-1})$ 、 $U_A(bid_0) = U_H(bid_0) = 0.0$ とする。

ここで、クラスを計算するために $bids^{rec}$ 、 $bids^{pre}$ とは別に $bids$ を2つに分割したものを計算で使用する。直近の N_{off} 個の提案を $offs^{rec}$ 、それ以前の提案を $offs^{pre}$ とし、 $offs^{pre}$ には $\psi_{off}^{pre} (0 \leq \psi_{off}^{pre} \leq 1)$ を乗じて計算する。また、各クラスに対してクラスの和、クラスの割合をそれぞれ式 (4.15)、式 (4.16) を定義する。ここで、 $offs\{class\}$ は $offs$ において $class$ に該当する部分集合で

表 4.2: 相手の行動に対する感受性と用いるクラス

クラス	人間の効用の増分	エージェントの効用の増分
<i>Silent</i>	$\Delta U_H = 0$	$\Delta U_A = 0$
<i>Nice</i>	$\Delta U_H = 0$	$\Delta U_A > 0$
<i>Fortunate</i>	$\Delta U_H > 0$	$\Delta U_A > 0$
<i>Selfish</i>	$\Delta U_H \geq 0$	$\Delta U_A < 0$
	$\Delta U_H > 0$	$\Delta U_A = 0$
<i>Concession</i>	$\Delta U_H < 0$	$\Delta U_A \geq 0$
<i>Unfortunate</i>	$\Delta U_H < 0$	$\Delta U_A < 0$

ある．

$$\Sigma_{class} = size(offspre\{class\}) \cdot \psi_{off}^{pre} + size(offsrc\{class\}) \quad (4.15)$$

$$\%_{class} = \frac{size(offspre\{class\})}{size(offss)} \cdot \psi_{off}^{pre} + \frac{size(offsrc\{class\})}{size(offsrc)} \quad (4.16)$$

なお、式 (4.16) の 1 項目の分母が $size(offspre)$ ではなく $size(offss)$ であるのは、 $size(offspre)$ が小さいときに 1 項目の影響が大きくなりすぎるのを防ぐためである．式 (4.15) を用いて行動に対する感受性を式 (4.17) と定義する．

$$senseBeh = \frac{\Sigma_{Fortunate} + \Sigma_{Nice} + \Sigma_{Concession}}{\Sigma_{Selfish} + \Sigma_{Unfortunate} + \Sigma_{Silent}} \quad (4.17)$$

行動に対する感受性が 1 より小さいとき、人間はエージェントの行動に対して鈍感である．行動に対する感受性が 1 より大きいとき、人間はエージェントの行動に対して敏感であり、分母が 0 の場合は人間はエージェントの行動に対して極めて敏感である．

交渉は提案の送信が主目的であり、人によっては提案以外の行動を行わない可能性がある．そのため、最初は提案に対する重みを大きめに設定し因子の測定を行い、提案以外の行動回数に応じて提案に対する重みを小さくしていく．相手の提案以外の行動の回数を n_{beh} とする．このとき、提案に対する重み ν_{bid} 、提案以外の行動に対する重み ν_{beh} はそれぞれ式 (4.18)、式 (4.19) で計算される．

$$\nu_{bid} = \max \left(\nu_{bid}^{lim}, 1.0 - \frac{n_{beh}}{2.0 \cdot N_{beh}} \right) \quad (4.18)$$

$$\nu_{beh} = \min \left(\nu_{beh}^{lim}, \frac{n_{beh}}{2.0 \cdot N_{beh}} \right) \quad (4.19)$$

神経症傾向

神経症傾向が高い人は脅威に対する警戒心が高い．交渉における最大の脅威は交渉の決裂であると考えられる．そのため、神経症傾向が高ければ交渉の決裂を避けるため、できるだけ受諾されやすい提案を行うと推測される．よって、エージェントの利益を優先させる提案が行われたことを表すクラスである *Nice* と *Concesion* を測定に用いる．また、神経症傾向が高い人はストレスを感じやすい．したがって、ネガティブな行動が増えると考えられるため、ネガティブな感情、

表 4.3: 神経症傾向の測定に用いる交渉の要素

$\%_{Nice}$
$\%_{Concession}$
ネガティブな感情 $behs\{emo_{neg}\}$
ネガティブなメッセージ $behs\{mes_{neg}\}$

ネガティブなメッセージの送信数を測定に用いる。なお、IAGO には人間が送信可能なネガティブ感情として “Angry” と “Sad” が用意されている。“Angry”の方が “Sad” に比べて相手に対して否定的であると考えられるため、“Sad” に小さい重みをかける。これらをふまえ、本稿では神経症傾向は表 4.3 に示す要素によって測定を行う。

神経症傾向は式 (4.20) で計算する。

$$\begin{aligned}
 neuro &= neuroOff \cdot \nu_{bid} + neuroBeh \cdot \nu_{beh} \\
 neuroOff &= norm \left(niceCon, \max \left(niceCon, \xi_{max}^{offN} \right), \min \left(niceCon, \xi_{min}^{offN} \right) \right) \\
 niceCon &= \%_{Nice} \cdot \xi^{Nice} + \%_{Concession} \cdot \xi^{Concession} \\
 neuroBeh &= norm \left(negBeh, \max \left(negBeh, \xi_{max}^{behN} \right), \xi_{min}^{behN} \right) \\
 negBeh &= neg(behs^{pre}) \cdot \psi_{beh}^{pre} + neg(behs^{rec}) \\
 neg(argbehs) &= size(argbehs\{mes_{neg}\}) + size(argbehs\{emo_{Angry}\}) \\
 &\quad + size(argbehs\{emo_{Sad}\}) \cdot 0.5
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

外向性

外向性が高い人は報酬に対しての欲求が非常に高い。交渉において、報酬はすなわち自身の効用である。したがって、外向性が高ければ自身の効用が高くなるような提案を行うと推測される。よって、人間の利益を優先させる提案が行われたことを表すクラスである *Selfish* と *Fortunate* を外向性の測定に用いる。また、エージェントに対して人間にとって良い提案を送信するように頼むメッセージとして FAVOR_REQUEST が用意されている。FAVOR_REQUEST が送信されるとエージェントは人間の効用だけが高くなるような提案を送信する。そのため、FAVOR_REQUEST が送信される回数が多いほど報酬が高くなるため、外向性が高いと考えられる。また、外向性が高い人は社交的である。したがって、提案や行動の頻度が高いほど、外向性が高いと推測できる。行

表 4.4: 外向性の測定に用いる交渉の要素

$\%_{Selfish}$
$\%_{Fortunate}$
FAVOR_REQUEST $behs\{mes_{favReq}\}$
行動の頻度 $freq$

動の頻度を計算するために $behTimings = \{time_1, time_2, \dots, time_{t+\tau}\}$ を定義する．なお， $time$ は行動もしくは提案が行われた瞬間の交渉経過時間とする．これらをふまえ，外向性は表 4.4 に示す要素によって測定を行う．

外向性は式 (4.21) で計算する．

$$\begin{aligned}
 extra &= extraOff \cdot \nu_{bid} + extraBeh \cdot \nu_{beh} \\
 extraOff &= norm\left(selfFort, \max\left(selfFort, \xi_{max}^{offE}\right), \min\left(selfFort, \xi_{min}^{offE}\right)\right) \\
 selfFort &= \%_{Selfish} \cdot \xi^{Selfish} + \%_{Fortunate} \cdot \xi^{Fortunate} \\
 extraBeh &= \min\left(1.0, -norm\left(freq, \max\left(freq, \xi_{max}^{freq}\right), \min\left(freq, \xi_{min}^{freq}\right)\right) + favReq\right) \\
 freq &= \frac{behTimings_{size(behTimings^{pre})}^{pre} - behTimings_1^{pre}}{size(behTimings^{pre})} \cdot \psi_{beh}^{pre} \\
 &\quad + \frac{behTimings_{size(behTimings^{rec})}^{rec} - behTimings_1^{rec}}{size(behTimings^{rec})} \\
 favReq &= norm\left(favReqNum, \max\left(favReqNum, \xi_{max}^{favReq}\right), \xi_{min}^{favReq}\right) \\
 favReqNum &= size(behs\{mes_{favReq}\})
 \end{aligned} \tag{4.21}$$

経験への開放性

経験への開放性が高い人は知的好奇心が非常に高い．各論点の選択枝が異なっても効用が同じ提案が存在する場合がある．経験への開放性が高い人はさまざまな提案を送信し合意案を探索すると推測される．そのため，提案の選択枝の標準偏差を経験への開放性の測定に使用する．また，知的好奇心が高いため相手の情報について質問する回数が高いと考えられる．よって，選好や BATNA についてエージェントに質問した回数を測定に使用する．IAGO にはエージェントに対して選好をランダムで 1 つ送信するように依頼するためのメッセージとして PREF_REQUEST が用意されている．PREF_REQUEST もエージェントに対する質問に関するメッセージなので経験への開放性の測定に用いる．これらをふまえ，経験への開放性は表 4.5 に示す要素によって測定を行う．

表 4.5: 経験への開放性の測定に用いる交渉の要素

提案の選択枝の標準偏差 dev_{val}
選好の質問 $behs\{mes_{preAsk}\}$
BATNA の質問 $behs\{mes_{batAsk}\}$
PREF_REQUEST $behs\{mes_{preReq}\}$

経験への開放性は式 (4.22) で計算する.

$$\begin{aligned}
 open &= openOff \cdot \nu_{bid} + openBeh \cdot \nu_{beh} \\
 openOff &= norm\left(\eta, \max\left(\eta, \eta_{dum} \cdot \xi_{max}^{devO}\right), \min\left(\eta, \eta_{dum} \cdot \xi_{min}^{devO}\right)\right) \\
 \eta &= dev_{val}(bids^{pre}) \cdot \psi_{bid}^{pre} + dev_{val}(bids^{rec}) \\
 dev_{val}(argbids) &= \frac{1}{\sqrt{size(argbids) \cdot N_{iss}}} \sum_{i=1}^{size(argbids)} \sum_{j=1}^{N_{iss}} |argbids_i[j][2] - mean_{val}(argbids)[j]| \\
 mean_{val}(argbids) &= \frac{1}{size(argbids)} \left(\sum_{i=1}^{size(argbids)} (argbids_i)^T[2] \right)^T \\
 \eta_{dum} &= dumDev_{val}(bids_{dumV}^{pre}) \cdot \psi_{bid}^{pre} + dumDev_{val}(bids_{dumV}^{rec}) \\
 dumDev_{val}(argbids) &= dev_{val}(argbids) + biasV(dev_{val}(argbids)) \\
 biasV(dev) &= \begin{cases} \frac{1}{0.5 \cdot \max(0.0, dev - 1.5) + 0.01 \cdot \max(0.01, dev)} \cdot 0.5 & \text{if isNearZero} \\ diffMaxMean \cdot 25 \cdot N_{bid} \cdot N_{iss} & \text{otherwise} \end{cases} \\
 openBeh &= norm\left(askBeh, \max\left(askBeh, \xi_{max}^{behO}\right), \xi_{min}^{behO}\right) \\
 askBeh &= ask(behs^{pre}) \cdot \psi_{beh}^{pre} + ask(behs^{rec}) + size(behs\{mes_{preReq}\}) \\
 &\quad + size(behs\{mes_{batAsk}\}) \cdot \xi^{batAsk} \\
 ask(argbehs) &= size(argbehs\{mes_{preAsk}\})
 \end{aligned}
 \tag{4.22}$$

協調性

協調性が高い人は他者に配慮する能力が非常に高い。そのため、相手の行動に対し敏感であると考えられる。よって、行動に対する感受性を協調性の測定に用いる。また、自分の利益よりも他者の利益を優先するため、提案によって得られる効用の割合も測定に用いる。IAGO には FAVOR_REQUEST に対してお返しをするためのメッセージとして FAVOR_RETURN が用意さ

表 4.6: 協調性の測定に用いる交渉の要素

行動に対する感受性 $senseBeh$
提案により得られる効用の割合 $utilRatio$
FAVOR_RETURN $behs\{mes_{favRet}\}$
提案の受諾 $behs\{accept\}$
ポジティブな感情 $behs\{emo_{pos}\}$
ポジティブなメッセージ $behs\{mes_{pos}\}$

れている。FAVOR_RETURN が送信されるとエージェントはエージェントの効用だけが高くなるような提案を送信する。そのため、FAVOR_RETURN が送信される回数が多いほど相手に配慮していると考えられるため、協調性が高いと考えられる。また、相手の提案を受諾することは調和的な行為である。そのため、受諾の回数も協調性に測定に使用する。協調性が高い人は相手と良い関係を築くことに長けている。そのような人は、ポジティブな行動回数が多いと考えられるため、ポジティブな感情、ポジティブなメッセージの送信数を測定に用いる。なお、IAGO には人間が送信可能なポジティブ感情として “Happy” と “Surprised” が用意されている。“Happy” の方が “Surprised” に比べて相手に対して肯定的であると考えられるため、“Surprised” に小さい重みをかける。これらをふまえ、協調性は表 4.6 に示す要素によって測定を行う。

協調性は式 (4.23) で計算する。

$$\begin{aligned}
 agree &= agreeOff \cdot \nu_{bid} + agreeBeh \cdot \nu_{beh} & (4.23) \\
 agreeOff &= \frac{sense + utilRatio}{2} \\
 sense &= norm(senseBeh, \max(senseBeh, \xi_{max}^{sense}), \min(senseBeh, \xi_{min}^{sense})) \\
 utilRatio &= norm(\epsilon, \max(\epsilon, \xi_{max}^{ratioA}), \min(\epsilon, \xi_{min}^{ratioA})) \\
 \epsilon &= \begin{cases} \frac{\epsilon_A}{\epsilon_A + \epsilon_H} & \text{if } \epsilon_A + \epsilon_H \geq \frac{0.022}{size(bids)} \\ 0.02 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \epsilon_A &= mean(U_A(bids^{pre})) \cdot \psi_{bids}^{pre} + mean(U_A(bids^{rec})) \\
 \epsilon_H &= mean(U_H(bids^{pre})) \cdot \psi_{bids}^{pre} + mean(U_H(bids^{rec})) \\
 agreeBeh &= \min\left(1.0, norm\left(posBeh, \max\left(posBeh, \xi_{max}^{behA}\right), \xi_{min}^{behA}\right) + favRet\right) \\
 posBeh &= pos(behs^{pre}) \cdot \psi_{beh}^{pre} + pos(behs^{rec})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
pos(argbehs) &= size(argbehs\{mes_{pos}\}) + size(argbehs\{accept\}) \\
&\quad + size(argbehs\{emo_{Happy}\}) + size(argbehs\{emo_{Surprised}\}) \cdot 0.5 \\
favRet &= norm\left(favRetNum, \max\left(favRetNum, \xi_{max}^{favRet}\right), \xi_{min}^{favRet}\right) \\
favRetNum &= size(behs\{mes_{favRet}\})
\end{aligned}$$

誠実性

誠実性が高い人は物事を順序立てて行う能力が非常に高い。そのため、少しずつ効用が高くなるように提案を行ってくると推測される。したがって効用の標準偏差が小さいほど誠実性が高いと考えられる。同様の理由で、誠実性の高さと $(bid_t)^T[1]$ の変化率の大きさは反比例すると考えられる。また、真面目であるため、相手に自分の情報を開示する回数が高いと考えられる。よって、選好や BATNA についてエージェントに公開した回数を測定に使用する。IAGO ではエージェントに対して選好や BATNA について嘘をつくことが可能である。嘘をつくことは誠実性の高さと反比例すると考えられるため、測定に使用する。また、お互いの情報を十分に集めてから提案を行うと考えられる。そのため、 bid_1 の送信前の行動数で誠実性の測定を行う。これらをふまえ、誠実性は表 4.7 に示す要素によって測定を行う。

誠実性は式 (4.24) で計算する。なお、 σ は TKI の積極性の測定で使ったものと同じものを利用する。

$$\begin{aligned}
consci &= consciOff \cdot \nu_{bid} + consciBeh \cdot \nu_{beh} \\
consciOff &= \frac{-\sigma + undefRatio}{2} \\
undefRatio &= -norm\left(\zeta, \max\left(\zeta, \xi_{max}^{ratioC}\right), \min\left(\zeta, \xi_{min}^{ratioC}\right)\right)
\end{aligned} \tag{4.24}$$

表 4.7: 誠実性の測定に用いる交渉の要素

提案の効用の標準偏差 σ
$(bid_t)^T[1]$ の変化率 $undefRatio$
選好の公開 $behs\{mes_{preTel}\}$
BATNA の公開 $behs\{mes_{batTel}\}$
嘘 $behs\{lie\}$
bid_1 の送信前の行動数 $behs\{fast\}$

$$\begin{aligned}
\zeta &= \frac{\left| \left(\text{undef}_{\max} - \text{undef} \left(\text{bids}_{\text{size}(\text{bids}^{\text{pre}})}^{\text{pre}} \right) \right) - \left(\text{undef}_{\max} - \text{undef} (\text{bids}_1^{\text{pre}}) \right) \right|}{\text{size}(\text{bids}^{\text{pre}})} \cdot \psi_{\text{bid}}^{\text{pre}} \\
&+ \frac{\left| \left(\text{undef}_{\max} - \text{undef} \left(\text{bids}_{\text{size}(\text{bids}^{\text{rec}})}^{\text{rec}} \right) \right) - \left(\text{undef}_{\max} - \text{undef} (\text{bids}_1^{\text{rec}}) \right) \right|}{\text{size}(\text{bids}^{\text{rec}})} \\
\text{undef}_{\max} &= \sum_{i=1}^{N_{iss}} v_{in_i} \\
\text{consciBeh} &= \max \left(-1.0, \frac{\text{norm}(\text{telBeh}, \max(\text{telBeh}, \xi_{\max}^{\text{beh}C}), \xi_{\min}^{\text{beh}C}) + \text{fastBeh}}{2} + \text{lie} \right) \\
\text{telBeh} &= \text{tel}(\text{behs}^{\text{pre}}) \cdot \psi_{\text{beh}}^{\text{pre}} + \text{tel}(\text{behs}^{\text{rec}}) + \text{size}(\text{behs}\{\text{mes}_{\text{batTel}}\}) \cdot \xi^{\text{batTel}} \\
\text{tel}(\text{argbehs}) &= \text{size}(\text{argbehs}\{\text{mes}_{\text{preTel}}\}) \\
\text{fastBeh} &= \text{norm} \left(\text{fastBehNum}, \max \left(\text{fastBehNum}, \xi_{\max}^{\text{fastBeh}} \right), \xi_{\min}^{\text{fastBeh}} \right) \\
\text{fastBehNum} &= \text{size} \left(\text{behs}_{\{x | \text{behTimings}_x \leq \text{behTimings}_{\text{bid}_1}, 1 \leq x \leq t + \tau\}} \right) \\
\text{lie} &= -\text{norm} \left(\text{lieNum}, \max \left(\text{lieNum}, \xi_{\max}^{\text{lie}} \right), \xi_{\min}^{\text{lie}} \right) \\
\text{lieNum} &= \text{size}(\text{behs}\{\text{mes}_{\text{lie}}\})
\end{aligned}$$

ビッグファイブによる目標効用の変更

測定したビッグファイブの値によって目標効用のパラメータを変化させる．各因子は $[-1.0, 1.0]$ の値をとり，各因子が最小値，最大値だったときのパラメータを設定しておく．実際に測定したビッグファイブの各因子の値に応じて，各因子に設定された最小値，最大値を混合し各パラメータの値を計算する．各因子で変化させるパラメータを表 4.8 に示す．

例として，神経症傾向が 0.2，外向性が 0.6，経験への開放性が -1.0，協調性が 1.0，誠実性が -0.5 である場合を考える．このとき，各パラメータは以下のように計算される．

表 4.8: ビッグファイブで変更するパラメータ

因子	パラメータ	因子が最小値のときの パラメータの値	因子が最大値のときの パラメータの値
神経症傾向	u_{bias}	-0.1	0.1
外向性	n_{big5}	10	20
経験への開放性	γ_{\min}	0.2	0.4
協調性	α_{big5}	0.01	0.95
誠実性	λ_{bias}	0.8	1.2

$$u_{bias} = 0.1 \cdot \frac{neuro + 1}{2} + (-0.1) \cdot \left(1 - \frac{neuro + 1}{2}\right) = 0.1 \cdot 0.6 + (-0.1) \cdot 0.4 = 0.06 \quad (4.25)$$

$$n_{big5} = \lfloor 20 \cdot \frac{extra + 1}{2} + 10 \cdot \left(1 - \frac{extra + 1}{2}\right) \rfloor = \lfloor 20 \cdot 0.8 + 10 \cdot 0.2 \rfloor = 18 \quad (4.26)$$

$$\gamma_{min} = 0.4 \cdot \frac{open + 1}{2} + 0.2 \cdot \left(1 - \frac{open + 1}{2}\right) = 0.4 \cdot 0 + 0.2 \cdot 1 = 0.2 \quad (4.27)$$

$$\alpha_{big5} = 0.95 \cdot \frac{agree + 1}{2} + 0.01 \cdot \left(1 - \frac{agree + 1}{2}\right) = 0.95 \cdot 1.0 + 0.01 \cdot 0 = 0.95 \quad (4.28)$$

$$\lambda_{bias} = 1.2 \cdot \frac{consci + 1}{2} + 0.8 \cdot \left(1 - \frac{consci + 1}{2}\right) = 1.2 \cdot 0.25 + 0.8 \cdot 0.75 = 0.9 \quad (4.29)$$

また、 α , n に関しては TKI で計算した式 (4.13), 式 (4.14) の値を平均して用いる。すなわち、目標効用に用いる α , n はそれぞれ式 (4.30), 式 (4.31) となる。

$$\alpha = \frac{\alpha_{TKI} + \alpha_{big5}}{2} = \frac{0.560 + 0.95}{2} = 0.755 \quad (4.30)$$

$$n = \lfloor \frac{n_{TKI} + n_{big5}}{2} \rfloor = \lfloor \frac{13 + 18}{2} \rfloor = 15 \quad (4.31)$$

エージェントは式 (4.25), 式 (4.29), 式 (4.27), 式 (4.30), 式 (4.31) で計算したパラメータを使用し、目標効用 $target(t, \alpha)$ を計算する。

第5章 プロファイリング決定におけるパラメータ 決定のための予備実験

第4章で述べたビッグファイブの測定に関して、各種パラメータの値を調節することを目的として人間の被験者に対して実験を行う。同時に、エージェントの目標効用に関するパラメータが適切であるかを評価する。予備実験の結果によってエージェントのパラメータ調節を行い、評価実験を実施する。

5.1 実験設定

被験者はIAGOを用いてエージェントと交渉を行う。被験者はエージェントと交渉を行う前にチュートリアルを行い、あらかじめIAGOの操作に慣れてから実験を行った。予備実験では、ドメインとしてFavorGameSpec1を使用する。また、被験者に対して事前質問を行い被験者のビッグファイブを測定する。事前質問による値と交渉中に測定した値を比較することで人間のビッグファイブの値を測定できているか評価する。なお、事前質問には50項目の質問によってビッグファイブの値を測定するIPIP尺度を利用する。各項目は“まったく当てはまらない”から“よく当てはまる”までの5段階評価となっており、各項目の評価値によってビッグファイブの値を測定する。

予備実験に用いるエージェントは、交渉中に測定したビッグファイブの値を使用せず、事前質問によるビッグファイブの値を目標効用の計算に用いる。すなわち、TKIの積極性、協調性の値は交渉中に計算するがビッグファイブの値を固定値として目標効用を計算する。これにより、目標効用のパラメータ設定が測定したビッグファイブの値に対して適切に行われているかを確認する。予備実験の被験者は3人であり、いずれも弊学の学生である。

表 5.1: N , ψ , ν の値

$bids$ に関する パラメータ	$behs$ に関する パラメータ	$offs$ に関する パラメータ
$N_{bid} = 3$	$N_{beh} = 10$	$N_{off} = 5$
$\psi_{bid}^{pre} = 0.1$	$\psi_{beh}^{pre} = 0.5$	$\psi_{off}^{pre} = 1.0$
$\nu_{bid}^{lim} = 0.5$	$\nu_{beh}^{lim} = 0.5$	

表 5.2: ξ の値

因子	最小値の計算に 用いるパラメータ	最大値の計算に 用いるパラメータ	その他の パラメータ
TKI			
協調性	$\xi_{min}^{util} = 0.45$	$\xi_{max}^{util} = 0.65$	
積極性	$\xi_{min}^{dev} = 0.4$	$\xi_{max}^{dev} = 0.8$	
ビッグファイブ			
神経症傾向	$\xi_{min}^{offN} = 0.1$ $\xi_{min}^{behN} = 0.0$	$\xi_{max}^{offN} = 0.75$ $\xi_{max}^{behN} = 7.5$	$\xi^{Nice} = 1.0$ $\xi^{Concession} = 1.0$
外向性	$\xi_{min}^{offE} = 0.1$ $\xi_{min}^{freq} = 10.0$ $\xi_{min}^{favReq} = -1.0$	$\xi_{max}^{offE} = 0.75$ $\xi_{max}^{freq} = 40.0$ $\xi_{max}^{favReq} = 1.0$	$\xi^{Selfish} = 1.0$ $\xi^{Fortunate} = 1.0$
経験への開放性	$\xi_{min}^{devO} = 0.2$ $\xi_{min}^{behO} = 0.0$	$\xi_{max}^{devO} = 0.675$ $\xi_{max}^{behO} = 7.5$	$\xi^{batAsk} = 2.0$
協調性	$\xi_{min}^{sense} = 0.5$ $\xi_{min}^{ratioA} = 0.2$ $\xi_{min}^{behA} = 0.0$ $\xi_{min}^{favRet} = -1.0$	$\xi_{max}^{sense} = 1.75$ $\xi_{max}^{ratioA} = 0.7$ $\xi_{max}^{behA} = 7.5$ $\xi_{max}^{favRet} = 1.0$	
誠実性	$\xi_{min}^{ratioC} = 1.0$ $\xi_{min}^{behC} = 0.0$ $\xi_{min}^{fastBeh} = 0.0$ $\xi_{min}^{lie} = -1.0$	$\xi_{max}^{ratioC} = 7.0$ $\xi_{max}^{behC} = 7.5$ $\xi_{max}^{fastBeh} = 10.0$ $\xi_{max}^{lie} = 1.0$	$\xi^{batTel} = 2.0$

5.2 パラメータの設定

予備実験では TKI の協調性, 積極性, ビッグファイブの各因子の計算の途中で用いるパラメータ N , ψ , ν を表 5.1, ξ を表 5.2 に示す値に設定する. これらの値はあらかじめヒューリスティックに決定したものである.

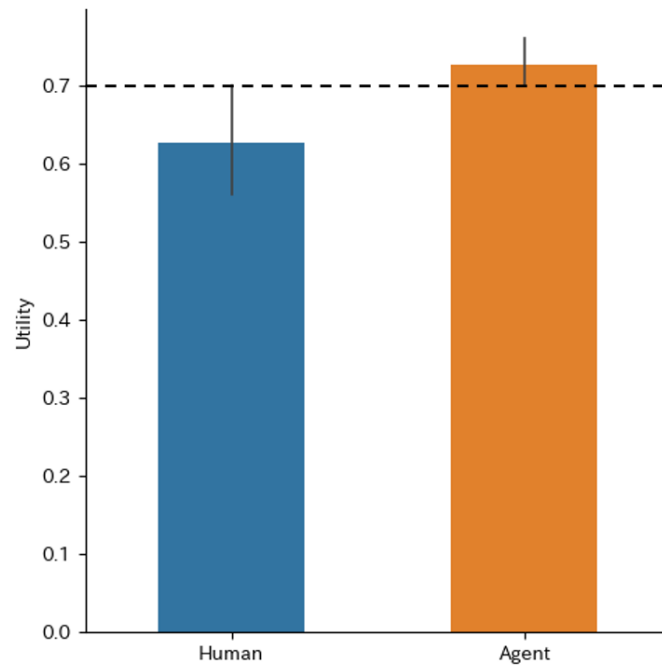


図 5.1: エージェントと人間の個人効用

5.3 実験結果と考察

5.3.1 交渉結果

エージェントと人間の効用の平均を図 5.1 に示す．なお，黒の破線は効用値 0.7 を表しており，図中のエラーバーは 95%信頼区間である．

図 5.1 のように，エージェントの効用の平均は人間の効用の平均より高い値となっている．また，いずれの被験者に対してもエージェントは 0.7 以上の高い効用を獲得することができた．そのため，目標効用に関するパラメータ設定は妥当であると考えられる．また， $\alpha = 0.05$ として対応のある t 検定を行った結果， $p \geq 0.05$ であり，有意差はなかった．この実験はサンプル数が 3 と非常に少なかったことが要因として考えられる．

5.3.2 被験者のビッグファイブの推定

被験者のビッグファイブの値を図 5.2 に示す．青のチャートは事前質問により測定した値，橙のチャートは交渉中に計算した各因子の平均値，緑のチャートは交渉終了時に計算した各因子の値である．

図 5.2 より，いずれの被験者も交渉中に計算した神経症傾向の値が事前質問の値よりも非常に低

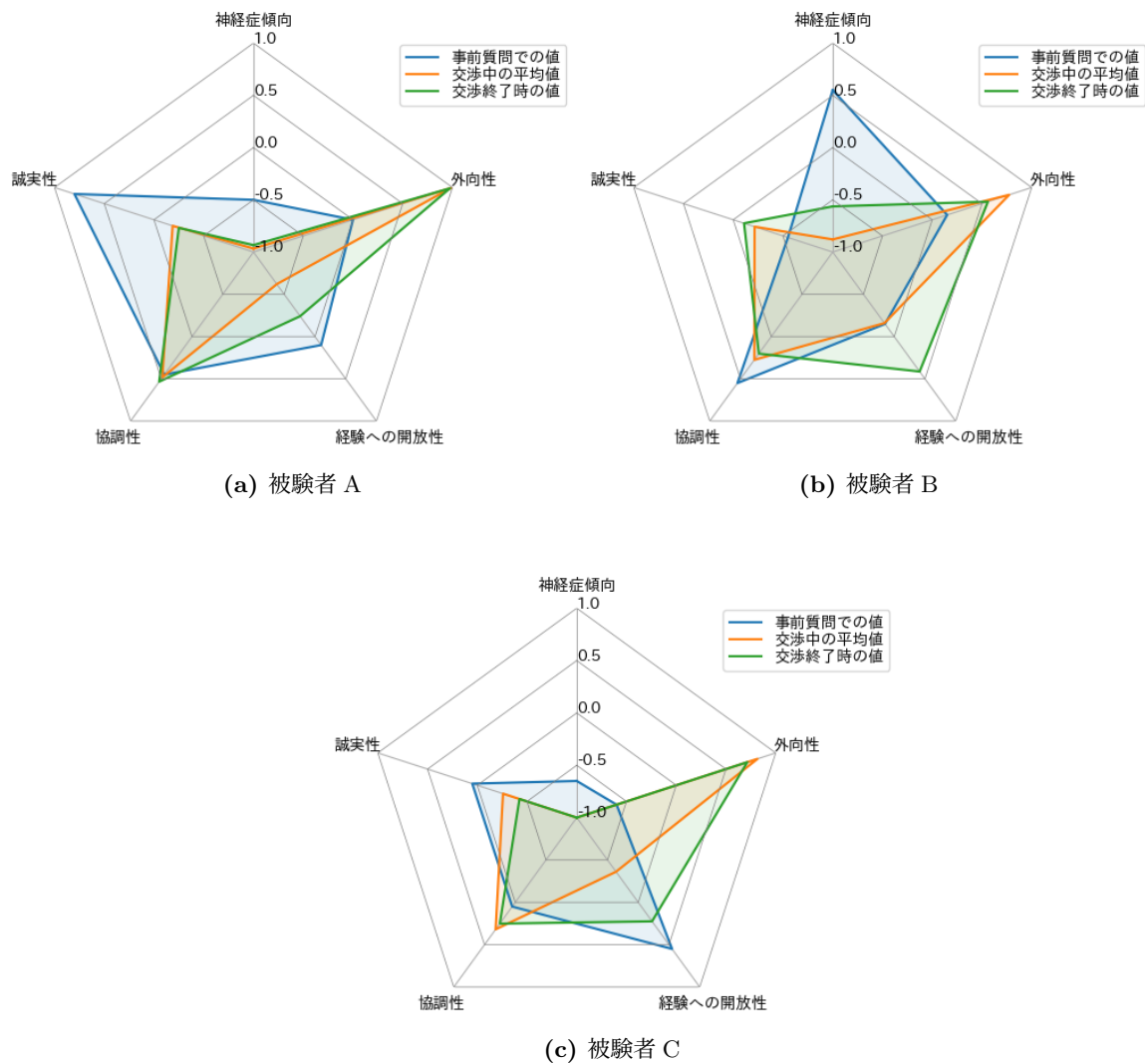


図 5.2: 被験者のビッグファイブの値

くなった。神経症傾向はネガティブな情動を引き起こすが、その情動は内側、すなわち自己に向きやすい。また、ネガティブな行動というのは一般的に好ましくない。したがって、ネガティブな行動は自らがマイナスであるという印象を交渉相手に与え、それが交渉結果にも影響する可能性がある。これらを考慮した結果、ネガティブな行動そのものが交渉においてあまり行われなかったと考えられる。そのため、交渉相手に対してはネガティブな行動を行う回数が少なく、神経症傾向の値を十分に測定できなかった可能性が考えられる。

一方で、外向性の値は事前質問の値よりも非常に高くなった。交渉は合意形成を行うことが主目的であるが、その中で、ほとんどの交渉者は自分の利益を少しでも多く得ようとする と推測できる。また、報酬に対する欲求が非常に高いと外向性は高くなるため、交渉という行為のみでビッグファイブの測定を行うと外向性が高くなりやすいと考えられる。

協調性については事前質問の値と計算値が同じような値となっている。協調性は提案の効用値の割合を測定に用いているが、このような結果から自分勝手な提案を行う人は予想より少ないと考えられる。また、ポジティブな行動は一般的に好ましい。したがって、ポジティブな行動はネガティブな行動よりも多く行われ、測定が容易だったと考えられる。

これに対して、経験への開放性と誠実性に関してはあまり傾向が掴めなかった。これら2つの因子の測定には選択肢、効用の標準偏差を使用している。そのため、測定のぶれが大きく正しく測定ができなかった。

また、ビッグファイブの測定に関して提案の内容を重視しすぎた可能性がある。IAGOにおいて提案以外の行動は必須ではない。したがって、提案のみを行う可能性もあるため、常に $\nu_{bid} \geq \nu_{beh}$ としていた。しかし、提案の内容のみでビッグファイブの各因子を正確に測定するのは困難である。よって、ビッグファイブの測定がうまく行えなかったと考えられる。

予備実験では、3人の被験者がエージェントと交渉を行ったが、いずれの被験者も交渉に関する研究を行っていた。そのため、交渉について熟知しており、合意形成に至るまでのラウンド数が非常に少なかった。また、選好をエージェントに聞くのではなく、提案内容からおおよその選好を推測する傾向があった。これらの要因により、エージェントが相手の特性を推定するために必要な情報を十分に収集することができなかった可能性がある。

第6章 評価実験

第4章で述べたビッグファイブを用いた提案手法に関して、有効性を確認することを目的として人間の被験者に対して実験を行う。同時に、交渉中に相手のビッグファイブの値を推測できるか確認する。

6.1 実験設定

被験者はIAGOを用いてエージェントと交渉を行う。評価実験では、ドメインとしてFavorGameSpec1, FavorGameSpec2, FavorGameSpec3の3つを使用する。また、被験者に対して事前質問を行い被験者のビッグファイブを測定する。事前質問による値と交渉中に測定した値を比較することで人間のビッグファイブの値を測定できているか評価する。なお、事前質問には予備実験と同様のものを使用する。

評価実験では3種類のエージェントを用いる。交渉中に測定したビッグファイブの値を目標効用の計算に用いる動的測定エージェント、交渉中に測定したビッグファイブの値を使用せず、事前質問によるビッグファイブの値を目標効用の計算に用いる静的測定エージェント、ビッグファイブを用いずKoleyらのTKIのみによって目標効用を計算する既存手法エージェントである。なお、動的測定、静的測定ではどちらもTKIの積極性、協調性の値は交渉中に計算する。被験者はエージェントと交渉を行う前にチュートリアルを行い、あらかじめIAGOの操作に慣れてから実験を行った。また、順序効果を低減するために表6.1に示す3タイプの順序うち1つを各被験者に割り当てて実験を行う。これらのエージェントの交渉結果を比較することにより、ビッグファイブを用いたエージェントの有効性を確認する。なお、評価実験の被験者は6人であり、いずれも弊学の学生である。

表 6.1: 実験に用いるエージェントの順序

交渉回数	ドメイン	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3
1	FavorSpec1	動的測定	静的測定	既存手法
2	FavorSpec2	静的測定	既存手法	動的測定
3	FavorSpec3	既存手法	動的測定	静的測定

表 6.2: N , ψ , ν の値

$bids$ に関する パラメータ	$behs$ に関する パラメータ	$offs$ に関する パラメータ
$N_{bid} = 3$	$N_{beh} = 7$	$N_{off} = 5$
$\psi_{bid}^{pre} = 0.1$	$\psi_{beh}^{pre} = 0.5$	$\psi_{off}^{pre} = 0.5$
$\nu_{bid}^{lim} = 0.25$	$\nu_{beh}^{lim} = 0.75$	

表 6.3: ξ の値

因子	最小値の計算に 用いるパラメータ	最大値の計算に 用いるパラメータ	その他の パラメータ
TKI			
協調性	$\xi_{min}^{util} = 0.45$	$\xi_{max}^{util} = 0.65$	
積極性	$\xi_{min}^{dev} = 0.4$	$\xi_{max}^{dev} = 0.8$	
ビッグファイブ			
神経症傾向	$\xi_{min}^{offN} = 0.0$ $\xi_{min}^{behN} = 0.0$	$\xi_{max}^{offN} = 0.4$ $\xi_{max}^{behN} = 5.0$	$\xi^{Nice} = 0.8$ $\xi^{Concession} = 1.0$
外向性	$\xi_{min}^{offE} = 0.4$ $\xi_{min}^{freq} = 10.0$ $\xi_{min}^{favReq} = -3.0$	$\xi_{max}^{offE} = 1.0$ $\xi_{max}^{freq} = 35.0$ $\xi_{max}^{favReq} = 3.0$	$\xi^{Selfish} = 1.0$ $\xi^{Fortunate} = 0.8$
経験への開放性	$\xi_{min}^{devO} = 0.2$ $\xi_{min}^{behO} = 0.0$	$\xi_{max}^{devO} = 0.675$ $\xi_{max}^{behO} = 5.0$	$\xi^{batAsk} = 1.5$
協調性	$\xi_{min}^{sense} = 0.5$ $\xi_{min}^{ratioA} = 0.2$ $\xi_{min}^{behA} = 0.0$ $\xi_{min}^{favRet} = -2.0$	$\xi_{max}^{sense} = 1.75$ $\xi_{max}^{ratioA} = 0.7$ $\xi_{max}^{behA} = 7.0$ $\xi_{max}^{favRet} = 2.0$	
誠実性	$\xi_{min}^{ratioC} = 1.0$ $\xi_{min}^{behC} = 0.0$ $\xi_{min}^{fastBeh} = 0.0$ $\xi_{min}^{lie} = -1.0$	$\xi_{max}^{ratioC} = 7.0$ $\xi_{max}^{behC} = 7.0$ $\xi_{max}^{fastBeh} = 7.0$ $\xi_{max}^{lie} = 1.0$	$\xi^{batTel} = 1.5$

6.2 パラメータの設定

予備実験の結果を考慮した各種パラメータの値を表 6.2, ξ を表 6.3 に示す. なお, 太字は予備実験から変更した値である.

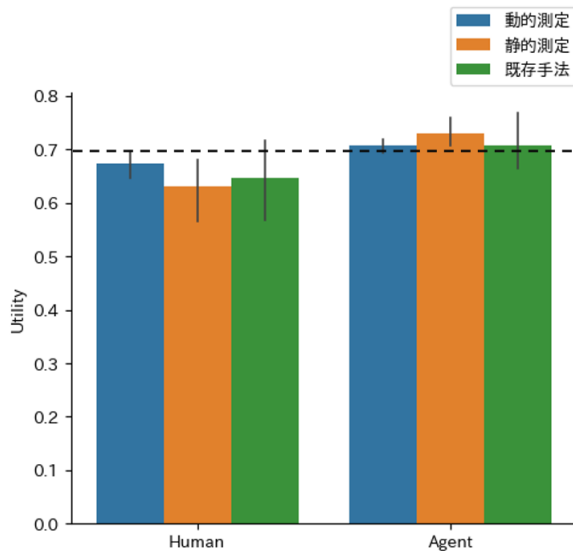


図 6.1: エージェントと人間の個人効用の平均

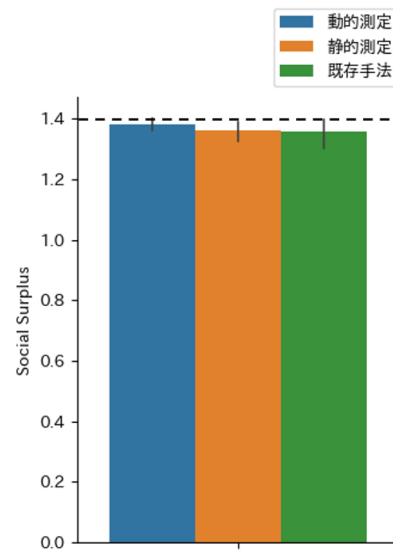


図 6.2: 社会的余剰の平均

6.3 実験結果と考察

6.3.1 個人効用と社会的余剰

交渉時間内に合意に至ったセッションにおけるエージェントと人間の効用の平均と社会的余剰の平均をそれぞれ図 6.1, 図 6.2 に示す. なお, 図 6.1 における黒の破線は効用値 0.7, 図 6.2 における黒の破線は効用値 1.4 を表しており, 図中のエラーバーは 95%信頼区間である.

図 6.1 のように, すべての手法においてエージェントの効用の平均は人間の効用の平均より高い値となっている. また, 動的測定よりも静的測定の方が効用の平均値が高かった. このことから, 交渉中にビッグファイブの測定を正確に行うことができれば高い効用を獲得することができると思われる. 社会的余剰は図 6.2 のようにいずれの手法も社会的余剰の値が 1.4 付近であり, 公平な合意案を探索できていたと考えられる. また, 社会的余剰の値は動的測定, 静的測定, 既存手法の順で高かった. このことから, 交渉中にビッグファイブの測定を行うことで相手の行動に合わせた提案を行うことができ, その結果, 公平な合意案に到達できたと考えられる. また, エージェントの効用, 人間の効用, 社会的余剰についてそれぞれ $\alpha = 0.05$ として分散分析を行った結果, $p \geq 0.05$ であり, 有意差はなかった. 評価実験はサンプル数が 6 と少なかったことが要因として考えられる.

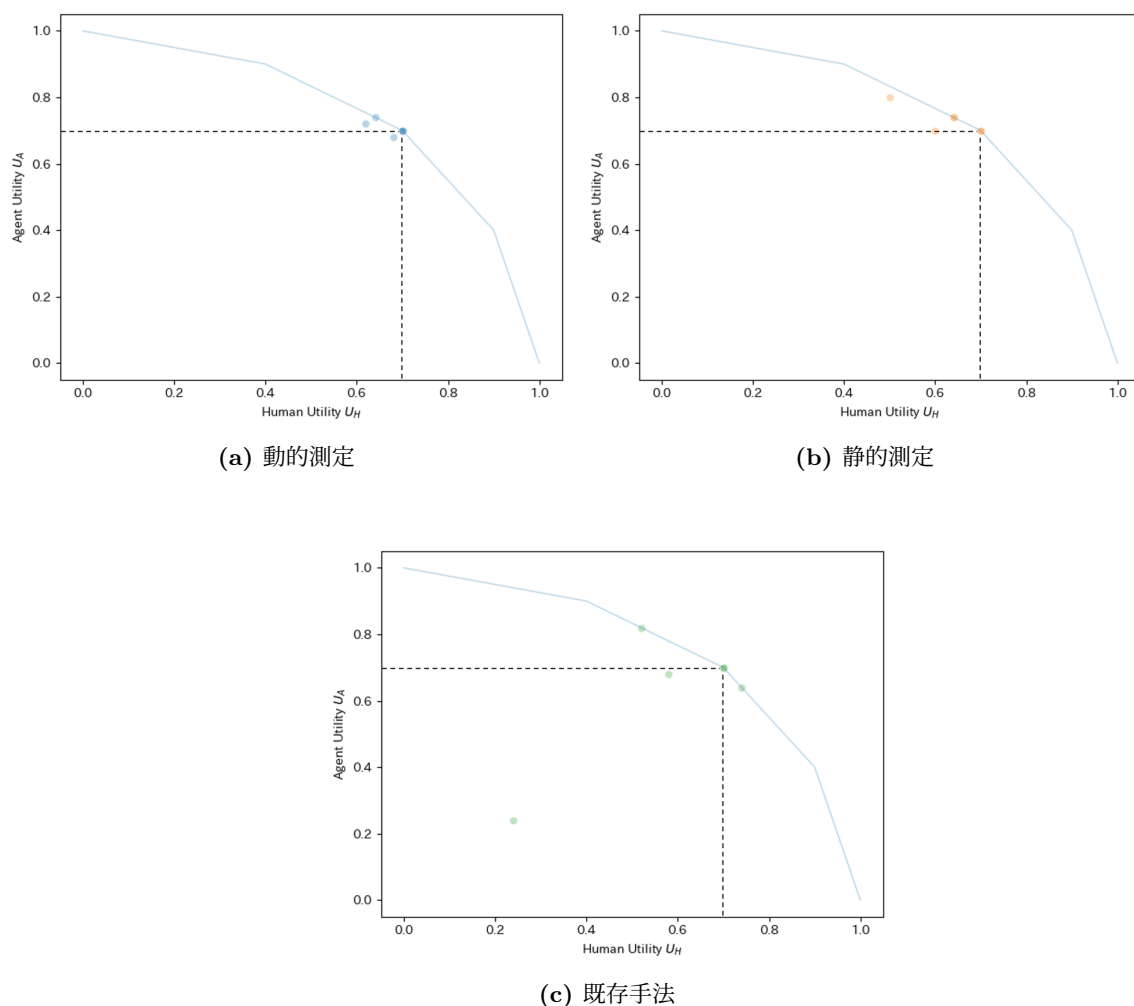


図 6.3: 各セッションにおける人間とエージェントの効用

6.3.2 パレート最適性

各セッションにおけるエージェントと人間の効用を2次元座標にプロットしたものを図6.3に示す。なお、実線上の点はパレート最適な合意案、黒の破線が交差する点は Kalai-Smorodinsky 解を表しており、同じ合意案に到達している被験者数に比例して各点の色が濃くなっている。

図6.3のように、すべての手法において合意案のほとんどはパレート最適性を満たすような合意案であった。Kalai-Smorodinsky 解に到達したセッション数は動的測定で3、静的測定と既存手法で2であった。また、既存手法のみ合意に到達できないセッションがあった。式(2.5)の値は動的測定で約98.4%、静的測定で約97.4%、既存手法で約67.2%であった。なお、合意に到達しなかった交渉結果を除いた場合の既存手法の式(2.5)の値は約96.2%であった。Koley らの研究では式(2.5)の値は約97.7%であったため、動的測定のみ Koley らの結果よりも高い値となり、静的測定と既存手法は Koley らの値を僅かに下回った。これらより動的測定を用いた場合の交渉結果は

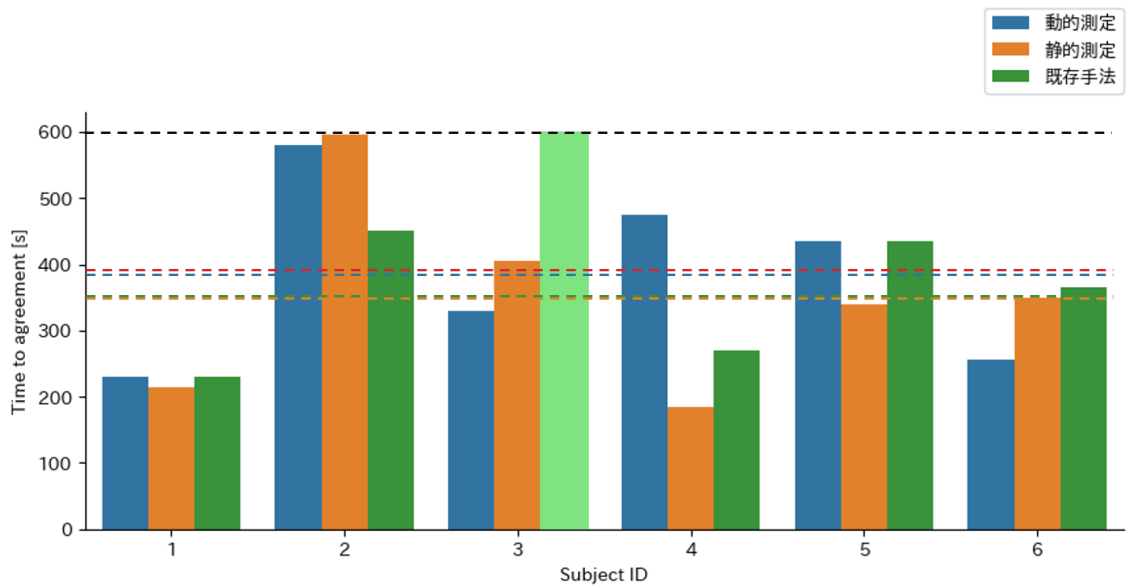


図 6.4: 合意到達までの所要時間

他の手法と比較して有効性が高いと考えられる．動的測定は交渉中の相手の行動などに応じて目標効用のパラメータを変更したため，相手の戦略に柔軟に対応することができ，その結果，パレート最適な合意案に到達することができた．静的測定は交渉中に目標効用のパラメータを変更しないため，交渉中の相手の戦略に対応できなかったが，相手の特性に合わせた目標効用で交渉を行ったため，既存手法と動的測定の中庸の結果になった．既存手法はビッグファイブを用いず，TKIの特定のモードと判断したときのみ目標効用を変更していた．そのため，相手の特性を的確に判断することができず，特定のモード以外の戦略が考慮されていなかったため相手の戦略に合わせた目標効用を設定できなかったため，パレート最適ではない合意案で妥協するあるいは交渉が合意に至らずに終了する場合があったと考えられる．

6.3.3 交渉時間

交渉開始から合意到達までに要した時間を図 6.4 に示す．なお，黒の破線は交渉の終了時刻，赤色の破線は Koley らの合意到達までの平均時間，青，橙，緑色の破線はそれぞれ動的測定，静的測定，既存手法の合意到達までの平均時間，明度が高い棒グラフは合意できずに交渉が終了したセッションである．

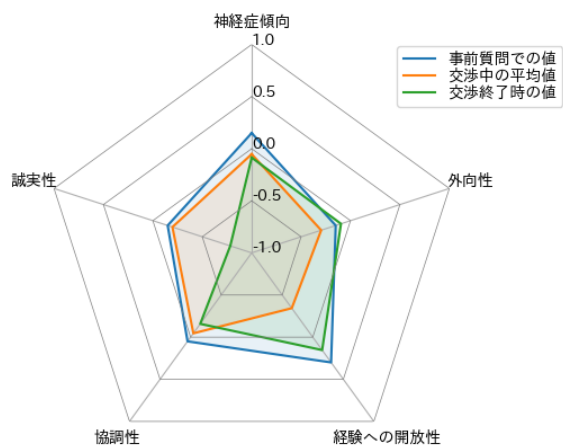
合意到達までの所要時間の平均は動的測定で約 384 秒，静的測定で約 348 秒，既存手法で約 350 秒であった．Koley らの研究では平均が約 392 秒であったのですべての手法において合意到達ま

での所要時間が短くなった。また、合意到達までのラウンド数の平均は動的測定と静的測定で約 4.83, 既存手法で約 4.6 となった。動的測定は相手の行動などから特性を推定する必要があるため、3つの手法の中で交渉時間が最も長くなった。静的測定は交渉中に特性を推定する必要がなく、交渉開始時から適切なパラメータを設定できるため3つの手法の中で一番交渉時間が短くなった。既存手法は相手が協調的である場合にのみ目標効用を低下させる。そのため、協調的な相手に対してはエージェントも譲歩するため交渉が早期で終了する。一方で非協調的な相手に対しては全く譲歩しないため、交渉が平行線となり合意に至らない場合がある。

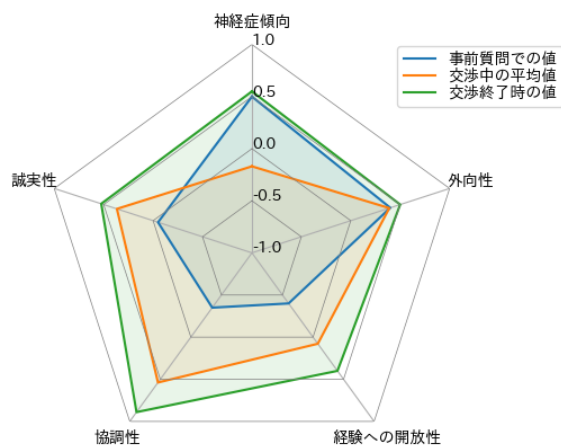
6.3.4 被験者のビッグファイブの推定

被験者のビッグファイブの値を図 6.5 に示す。青のチャートは事前質問により測定した値、橙のチャートは交渉中に計算した各因子の平均値、緑のチャートは交渉終了時に計算した各因子の値である。

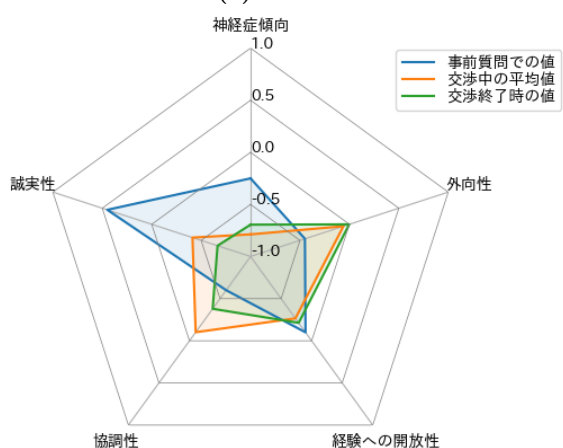
図 6.5 は図 5.2 と比較すると神経症傾向と外向性の推定について精度が向上している。このことから、神経症傾向と外向性については予備実験によるパラメータ調整は概ね成功している。一方で、協調性については予備実験と比較して推定精度が低下している。前述のように、予備実験の被験者はいずれも交渉について熟知していた。交渉において良い合意案を探索する際には譲歩することは重要な要素であり、そのことを十分理解していたため協調性が高く出たと考えられる。そのため、協調性に関しては偏ったパラメータ調整になってしまった可能性がある。また、経験への開放性と誠実性については推定精度はあまり変わらなかった。したがって、これら3つの因子については測定に用いる要素の見直し、および更なるパラメータ調整が必要であると考えられる。評価実験において特に推定精度が高かった被験者 A および被験者 D はどちらも表 6.1 のタイプ 2 の順序で実験を行った。そのため、動的測定のエージェントは最後の交渉相手であった。したがって、被験者は交渉の流れや IAGO の操作に十分慣れた状態で動的測定のエージェントと交渉を行った。その結果、被験者は IAGO で行える各種行動を効果的に用いることができ、それらの行動から相手の特性を十分に推定することができたため、他の順序で行った場合より推定精度が高くなった。



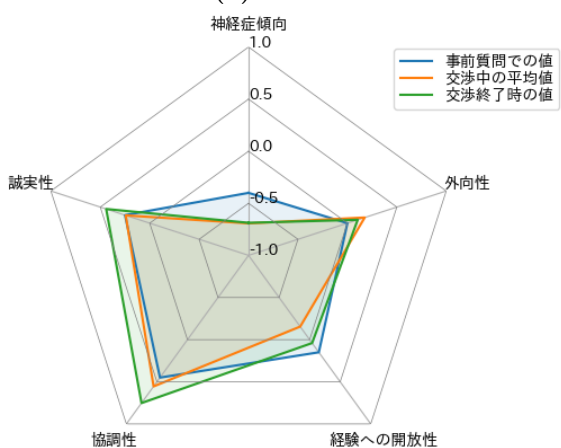
(a) 被験者 A



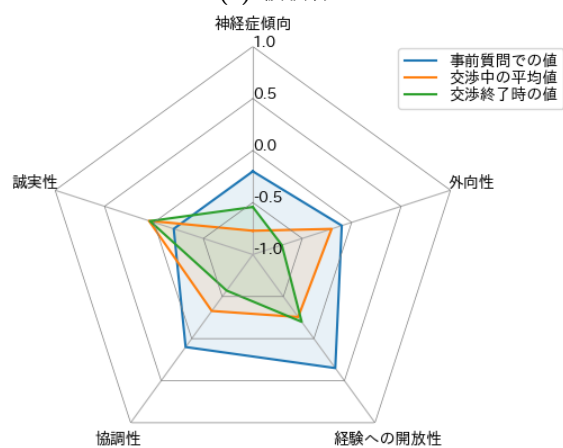
(b) 被験者 B



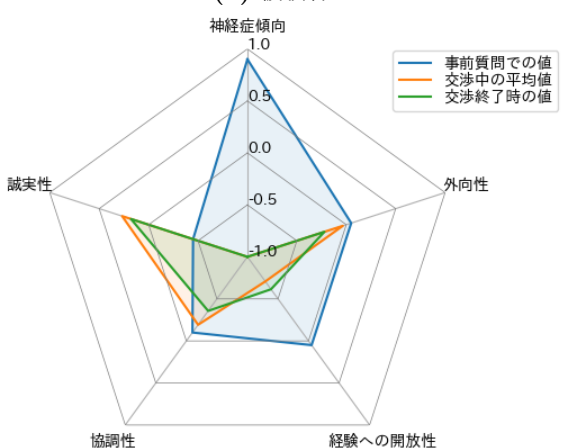
(c) 被験者 C



(d) 被験者 D

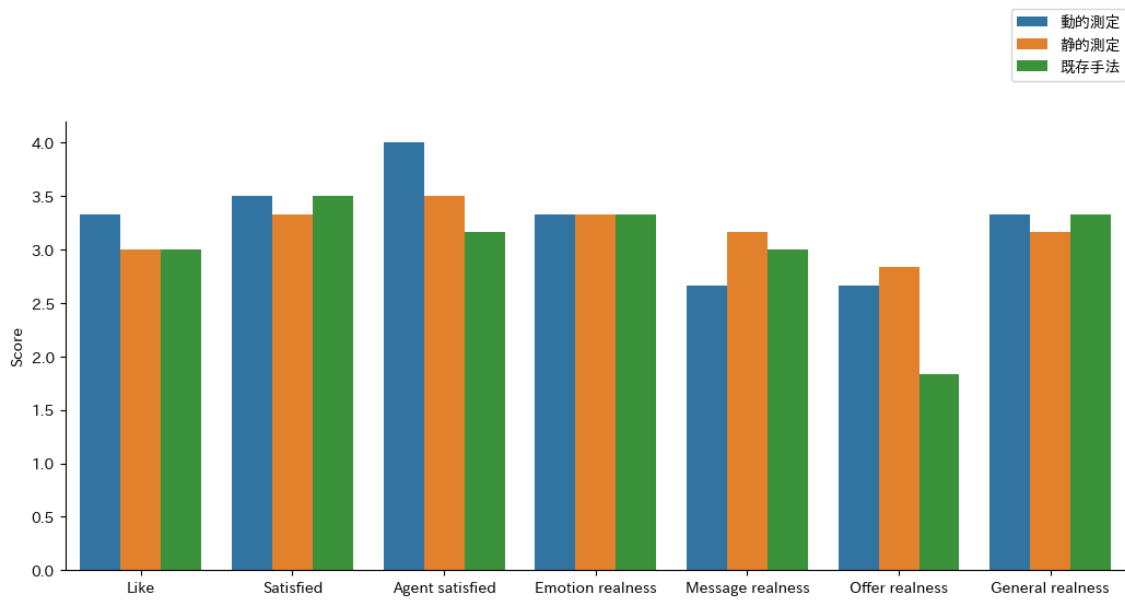


(e) 被験者 E

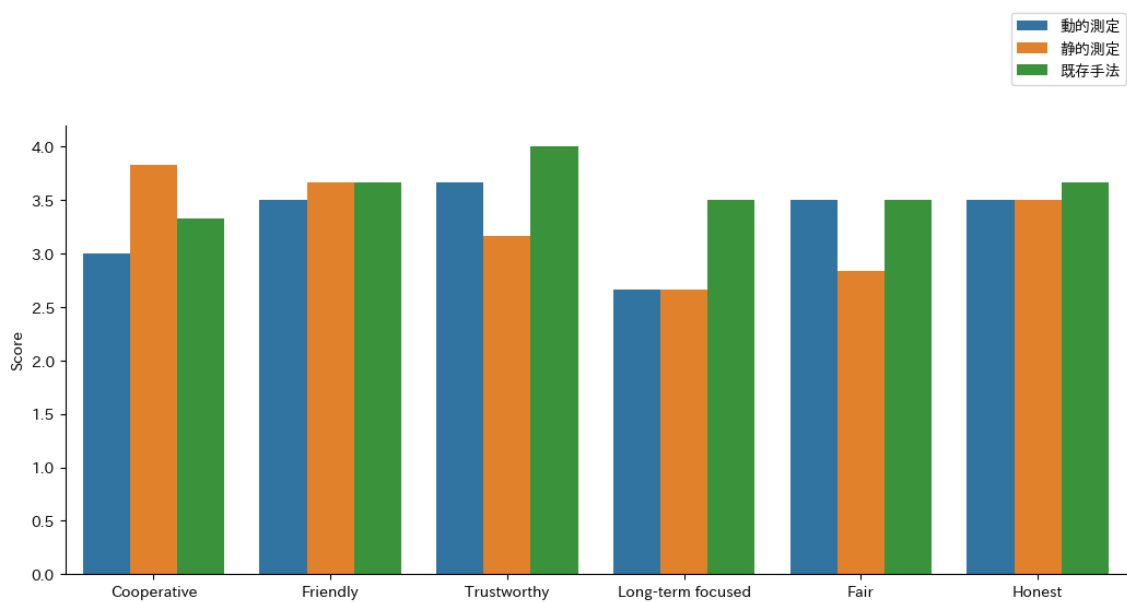


(f) 被験者 F

図 6.5: 被験者のビッグファイブの値



(a) アンケート A



(b) アンケート B

図 6.6: 交渉終了後のアンケート結果

6.3.5 交渉終了後のアンケート結果

交渉終了直後に行ったアンケートの結果を図 6.6 に示す。図 6.6a より、動的測定は 3 つの手法の中で最も感じが良く、最も交渉結果に満足していると思われる。すなわち、相手に対して悪い印象をあまり与えずに相手の譲歩を引き出すことに成功している。また、エージェントが行った提案が最も現実的であるのが静的測定、次点で動的測定、最も非現実的であったのが既存手法

という結果だった。これらより、既存手法のような TKI のみによる提案戦略では相手の特性を捉えきれず、相手が受諾しないような提案をしてしまう可能性が高いと考えられる。これに対して、ビッグファイブを併用した提案戦略は相手の特性をよりの確に捉えることができたため、受諾されうる現実的な提案を行うことができた。

また、図 6.6b より、静的測定が最も協調的で動的測定が最も非協調的であるという結果だった。動的測定は最も感じが良いエージェントであったにもかかわらず、非協調的と判断されたことがわかる。動的測定は交渉序盤は相手の特性を判断しきれていないため、相手に合わせて譲歩が行えず非協調的な提案を行う。しかし、交渉後半は相手の特性に合わせた提案を行うことができ、交渉後半の譲歩によって動的測定の印象が交渉前半と比較して良くなった。その結果、非協調的で感じが良いという相反するアンケート結果になった。一方、静的測定は交渉序盤から相手の特性に合わせた譲歩が行える。そのため、全体を通して協調的に振る舞うことができた。また、既存手法が最も信頼でき、長期的な関係を見据えた交渉を行っているという評価だった。動的測定や静的測定はパラメータの値によって交渉中に行う提案の内容が激しく変動する可能性がある。一方で既存手法は相手のモードが変動しない限り、譲歩しないため同じような提案を送信する傾向がある。一貫した行動は相手に対して信頼感や安心感を与えるため、既存手法の信頼性が最も高いと評価された。

第7章 おわりに

7.1 まとめ

本稿では、TKI、ビッグファイブを用いて相手の特性を推定することで人間と円滑に交渉を行い、信頼関係を築きながら効用を高められるようなエージェントを提案した。提案内容や相手の行動から TKI のモード、ビッグファイブの各因子の値を求めるために使用する交渉の要素を定義し、これらの定式化を行なった。また、部分的な提案を許容し、それに応じて既存研究で使用されていた目標効用関数の拡張、考慮されていなかったモードに対する戦略の提案を行い、より汎用的なエージェントおよび戦略を提案した。ビッグファイブの各因子を実際に測定できるか確認し、パラメータを調整するために予備実験を行った。

また、予備実験で決定したパラメータを用いて TKI とビッグファイブを併用するエージェントの有効性とビッグファイブ測定の精度を評価するための実験を行った。実験の結果、交渉中にビッグファイブを測定する動的測定エージェントは高い社会的余剰を実現しつつ、相手に良い印象を与えており、なおかつ現実的な提案を行うことができたと評価された。また、事前に測定したビッグファイブの値を使用した静的測定エージェントは短い交渉時間で高い効用を獲得することができ、協調的な印象であるという評価であった。これらより、動的測定、静的測定エージェントはどちらも異なる点で既存手法より優れていることが示された。

7.2 今後の課題

以下に今後の課題、および展望を示す。

TKI の測定に関する課題

本稿では TKI のモードを測定するために提案の効用の平均、効用の標準偏差のみを用いていた。既存研究では部分的な提案を許容していなかったため、これらによって協調性、積極性を測定することで効果的な提案を行うことができた。しかし、部分的な提案を許容した場

合、効用の平均と標準偏差のみでこれらの測定を行うことは困難である、そのため、TKI の協調性、積極性の測定方法についても議論が必要である。

ビッグファイブの測定に関する課題

本稿で定式化したビッグファイブの各因子の測定方法はすべて現在の IAGO のバージョンで利用できる行動に完全に依存している。そのため、他のプラットフォームでは同様な測定を行うことができない。また、人間同士の交渉では相手の仕草、フレーズなど IAGO では提供されていない要素から相手の特性を判断することが可能であり、それらの要素をエージェントも考慮すべきである。このように、本稿で定式化した測定方法では相手の特性を完全に把握することは困難である。

被験者数を増やして実験を再試行

予備実験、評価実験ともに被験者数が少なく、十分なサンプルが取れなかった。これにより、サンプルの偏りによって有意差が出なかった、もしくは偏った結果になっている可能性がある。したがって、被験者数を増やしてパラメータ調整や評価実験を行う必要がある。

謝辞

本稿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。

研究に関する知識や手法に関する意見をいただいたり，お力添えいただいた藤田桂英研究室の皆様は心より感謝申し上げます。

本実験を行うにあたってお忙しい中実験にご協力いただいた被験者の皆様がいなければ本稿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] Jonathan Gratch and Gale Lucas. Negotiation as a challenge problem for virtual humans. In *Proceedings of the 15th International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pp. 201–215, Delft, Netherlands, August 2015.
- [2] 厚生労働省. “4 団体交渉に関する状況【本部組合及び単位労働組合】”. 平成 29 年労使間の交渉等に関する実態調査 結果の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/18-29gaiyou02-4.pdf>, 2017. (参照 2020-12-11).
- [3] Robert S. Rubin and Erich C. Dierdorff. How relevant is the mba? assessing the alignment of required curricula and required managerial competencies. *Academy of Management Learning & Education*, Vol. 8, No. 2, pp. 208–224, June 2009.
- [4] Hal Movius. The effectiveness of negotiation training. *Negotiation Journal*, Vol. 24, No. 4, pp. 509–531, October 2008.
- [5] Joost Broekens, Maaïke Harbers, Willem-Paul Brinkman, Catholijn M. Jonker, Karel Van den Bosch, and John-Jules Meyer. Virtual reality negotiation training increases negotiation knowledge and skill. In *Proceedings of the 12th international conference on Intelligent Virtual Agents*, pp. 218–230, Santa Cruz, CA, September 2012.
- [6] Mark Core, David Traum, H. Chad Lane, William Swartout, Jonathan Gratch, Michael van Lent, and Stacy Marsella. Teaching negotiation skills through practice and reflection with virtual humans. *Simulation*, Vol. 82, No. 11, pp. 685–701, November 2006.
- [7] 産業競争力懇談会. 人工知能間の交渉・協調・連携. <http://www.cocn.jp/report/theme98-L.pdf>, 2018. (参照 2020-12-13).

- [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. *Computational Intelligence*, Vol. 30, No. 1, pp. 48–70, February 2014.
- [9] Yasser Mohammad, Amy Greenwald, and Shinji Nakadai. Negmas: A platform for situated negotiations. In *12th International Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2019) in conjunction with IJCAI*, Macau, August 2019.
- [10] Gerben A. Van Kleef, Carsten K. W. De Dreu, and Antony S. R. Manstead. An interpersonal approach to emotion in social decision making: the emotions as social information model. *Advances in Experimental Social Psychology*, Vol. 42, pp. 45–96, 2010.
- [11] Gerben A. Van Kleef, Carsten K. W. De Dreu, and Antony S. R. Manstead. The interpersonal effects of anger and happiness in negotiations. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 86, No. 1, pp. 57–76, January 2004.
- [12] 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, May 2011.
- [13] Johnathan Mell and Jonathan Gratch. Grumpy & pinocchio: Answering human-agent negotiation questions through realistic agent design. In *Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, pp. 401–409, São Paulo, May 2017.
- [14] Ya’akov A. Gal, Barbara J. Grosz, Sarit Kraus, Avi Pfeffer, and Stuart 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, January 2005.
- [15] Johnathan Mell, Gale Lucas, and Jonathan Gratch. An effective conversation tactic for creating value over repeated negotiations. In *Proceedings of the 2015 International Con-*

- ference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 1567–1576, Istanbul, Turkey, May 2015.
- [16] Avi Rosenfeld, Inon Zuckerman, Erel Segal-Halevi, Osnat Drein, and Sarit Kraus. Negochat: 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.
- [17] Johnathan Mell and Jonathan Gratch. Iago: Interactive arbitration guide online (demonstration). In *Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 1510–1512, Singapore, May 2016.
- [18] Johnathan Mell, Jonathan Gratch, Tim Baarslag, Reyhan Aydoğan, and Catholijn M. Jonker. Results of the first annual human-agent league of the automated negotiating agents competition. In *Proceedings of the 18th International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pp. 23–28, Sydney, Australia, November 2018.
- [19] Johnathan Mell, Jonathan Gratch, Reyhan Aydoğan, Tim Baarslag, and Catholijn M. Jonker. The likeability-success tradeoff: Results of the 2nd annual human-agent automated negotiating agents competition. In *Proceedings of the 8th International Conference on Affective Computing & Intelligent Interaction (ACII)*, pp. 1–7, 2019.
- [20] Reyhan Aydoğan, Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Johnathan Mell, Jonathan Gratch, Dave De Jonge, Yasser Mohammad, Shinji Nakadai, Satoshi Morinaga, Hirotaka Osawa, Claus Aranha, and Catholijn Jonker. Research challenges for the automated negotiating agents competition (anac) 2019. In *7th International Conference on Agreement Technologies*, Thessaloniki, Greece, September 2020.
- [21] Gaurav Koley and Shrisha Rao. Adaptive human-agent multi-issue bilateral negotiation using the thomas-kilman conflict mode instrument. In *22nd IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT 2018)*, Madrid, Spain, October 2018.

- [22] Ralph H. Kilmann and Kenneth W. Thomas. Developing a forced-choice measure of conflict-handling behavior: The “mode” instrument. *Educational and Psychological Measurement*, Vol. 37, No. 2, pp. 309–325, July 1977.
- [23] Catholijn M. Jonker, Reyhan Aydogan, Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, and Koen V. Hindriks. Automated negotiating agents competition (anac). In *Proceedings of the 31st AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pp. 5070–5072, San Francisco, California, USA, February 2017.
- [24] Reyhan Aydogan, Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Dave de Jonge, Catholijn Jonker, and Johnathan Mell. The 9th international automated negotiating agents competition(anac2018). <http://web.tuat.ac.jp/~katfuji/ANAC2018/>, 2018. (参照 2020-12-05).
- [25] Reyhan Aydogan, Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Dave de Jonge, Catholijn Jonker, and Johnathan Mell. The 10th international automated negotiating agents competition(anac2019). <http://web.tuat.ac.jp/~katfuji/ANAC2019/>, 2019. (参照 2020-12-05).
- [26] Reyhan Aydogan, Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Dave de Jonge, Catholijn Jonker, and Johnathan Mell. The 11th international automated negotiating agents competition(anac2020). <http://web.tuat.ac.jp/~katfuji/ANAC2020/>, 2020. (参照 2020-12-05).
- [27] Johnathan Mell, Gale M. Lucas, and Jonathan Gratch. Varied magnitude favor exchange in human-agent negotiation. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pp. 1–8, Glasgow, UK, October 2020.
- [28] Oliver P. John and Sanjay Srivastava. The big five trait taxonomy: History, measurement, and theoretical perspectives. *Handbook of personality: Theory and research*, pp. 102–138, March 1999.
- [29] 無藤隆, 森敏昭, 遠藤由美, 玉瀬耕治. 心理学 新版. 有斐閣, 2018.
- [30] 小塩真司. はじめて学ぶパーソナリティ心理学 -個性をめぐる冒険-. ミネルヴァ書房, 2010.

- [31] Daniel Nettle. *Personality: What Makes You the Way You Are*. Oxford University Press, 2007. (竹内和世 (訳). パーソナリティを科学する -特性 5 因子であなたがわかる-. 白楊社, 2009).
- [32] テオプラストス, 森進一 (訳). 人さまざま. 岩波書店, 1982.
- [33] ヒポクラテス, 小川正恭 (訳). 古い医術について: 他八篇. 岩波書店, 1970.
- [34] Wesley D. Smith. *The hippocratic tradision*. Cornell University Press, Ithaca, NY, 1979.
- [35] Immanuel Kant. *Anthropologie in pragmatischer hinsicht*. 1798. (山下太郎 (訳), 坂部恵 (訳). 人間学. カント全集. 14 巻, 理想社, 1966).
- [36] Hans J. Eysenck. Biological basis of personality. *Nature*, Vol. 199, No. 4898, pp. 1031–1034, September 1963.
- [37] Ernst Kretschmer. *Körperbau und Charakter. Untersuchungen zum Konstitutionsproblem und zur Lehre von den Temperamenten*. Springer, Berlin, 1921. (相場均 (訳). 体格と性格 : 体質の問題および気質の学説によせる研究. 文光堂, 1966).
- [38] Carl G. Jung. *Psychological types*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1971. (Helton G. Baynes trans. orinal published 1923).
- [39] Gordon W. Allport. Personality and character. *Psychological Bulletin*, Vol. 18, No. 9, pp. 441–455, September 1921.
- [40] Gordon W. Allport and Henry S. Odbert. Trait-names: A psycho-lexical study. *Psychological Monographs*, Vol. 47, No. 1, pp. i–171, 1936.
- [41] Raymond B. Cattell. *Description and measurement of personality*. World Book Company, 1946.
- [42] Raymond B. Cattell, Herbert W. Eber, and Maurice M. Tatsuoaka. *Handbook for the Sixteen Personality Factor Questionnaire(16PF)*. Institute for Personality and Ability Testing(IPAT), Champaign, 1970.

- [43] Hans J. Eysenck. *Manual of the Maudsley Personality Inventory*. University of London Press, London, England, 1959.
- [44] Hans J. Eysenck and Sybil B.G. Eysenck. *Manual of the Eysenck Personality Questionnaire (Junior and Adult)*. Hodder & Stoughton, London, England, 1975.
- [45] Warren T. Norman. Toward an adequate taxonomy of personality attributes : replicated factor structure in peer nomination personality ratings. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, Vol. 66, No. 6, pp. 574–583, June 1963.
- [46] Lewis R. Goldberg. Language and individual differences: The search for universals in personality lexicons. *Review of Personality and Social Psychology*, Vol. 2, pp. 141–165, 1981.
- [47] Lewis R. Goldberg. An alternative “description of personality” : The big-five factor structure. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 59, No. 6, p. 1216–1229, December 1990.
- [48] Lewis R. Goldberg. The development of markers for the big-five factor structure. *Psychological Assessment*, Vol. 4, No. 1, p. 26–42, March 1992.
- [49] Robert R. McCrae and Paul T. Costa Jr. Validation of the five-factor model of personality across instruments and observers. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 52, No. 1, p. 81–90, January 1987.
- [50] Robert R. McCrae and Oliver P. John. An introduction to the five-factor model and its applications. *Journal of Personality*, Vol. 60, No. 2, p. 175–215, June 1992.
- [51] 和田さゆり. 性格特性用語を用いた big five 尺度の作成. *心理学研究*, Vol. 67, No. 1, pp. 61–67, April 1996.
- [52] Paul T. Costa Jr. and Robert R. McCrae. *Revised NEO Personality Inventory (NEO-PI-R) and NEO Five-Factor Inventory (NEO-FFI) Professional Manual*. Psychological Assessment Resources, Odessa, FL, 1992.

- [53] Michael W. Eysenck. Psychology: A student ' s handbook. Psychology Press, Hove, 2000.
(山内光哉 (監修), 白樫三四郎 (訳), 利島保 (訳), 鈴木直人 (訳), 山本力 (訳), 岡本祐子 (訳),
道又爾 (訳). アイゼンク教授の心理学ハンドブック. ナカニシヤ出版, 2013).
- [54] Harrison G. Gough and Alfred B. Heilbrun. *The Adjective Check List manual*. Consulting
Psychologists Press, Palo Alto, CA, 1983.
- [55] Ralph L Piedmont, Robert R. McCrae, and Paul T. Costa Jr. Adjective check list scales
and the five-factor model. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 60, No. 4, pp.
630–637, April 1991.
- [56] 柏木繁男, 和田さゆり, 青木孝悦. 性格特性の big five と日本語版 acl 項目の斜交因子基本パ
ターン. *心理学研究*, Vol. 64, No. 2, pp. 153–159, August 1993.
- [57] 下仲順子, 中里克治, 権藤恭之, 高山緑. 日本版 neo-pi-r の作成とその因子的妥当性の検討. *性
格心理学研究*, Vol. 6, No. 2, pp. 138–147, March 1998.
- [58] Samuel D. Gosling, Peter J. Rentfrow, , and William B. Swann Jr. A very brief measure of
the big-five personality domains. *Journal of Research in Personality*, Vol. 37, p. 504–528,
2003.
- [59] 小塩真司, 阿部晋吾, Pino Cutrone. 日本語版 ten item personality inventory (tipi-j) 作成の
試み. *パーソナリティ研究*, Vol. 21, pp. 40–52, 2012.
- [60] Katsuhide Fuijita. Efficient strategy adaptation for complex multi-times bilateral negoti-
ations. In *2014 IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and
Applications*, pp. 207–214. IEEE, November 2014.
- [61] Ehud Kalai and Meir Smorodinsky. Other solutions to nash's bargaining problem. *Econo-
metrica*, Vol. 43, No. 3, pp. 513–518, 1975.
- [62] Koen V. Hindriks, Catholijn M. Jonker, and Dmytro Tykhonov. Let ' s dans! an analytic
framework of negotiation dynamics and strategies. *Web Intelligence and AgentSystems*,
Vol. 9, No. 4, pp. 319–335, 2011.