

2019 年度修士論文
論理モデルに基づく感情生起と感情推測を
行うエージェント

奈良女子大学大学院 人間文化研究科 博士前期課程
情報衣環境学専攻 生活情報通信科学コース 2 回生
新出研究室 18720055 塚本麻衣

2020 年 1 月 31 日

目次

1	はじめに	3
2	関連研究	4
3	OCC theory	5
4	構文解析	6
5	実験	8
6	信頼度と他者感情を考慮した感情の形式化	10
6.1	構文	10
6.2	意味論	13
6.3	恒真論理式	16
6.4	感情	17
6.5	推測感情	21
6.6	記述例	22
6.7	推測感情に関する性質	23
7	まとめ	26
8	謝辞	27

概要

近年、人間との対話を目指すにあたり、ロボットに人間らしい感情を持たせる研究が進んでいる。感情を発生させる際に、発生原因や感情を向ける対象を明らかにすることができれば、より人間らしい行動選択に繋がると考えられる。従来の研究では、OCC theory と BDI モデルの結合を用いた Adam らによる形式化に基づいて感情を形式化、実装していたが、感情生起の条件となる信念の取得には手動で与える必要があった。そこで、本研究では与えられた文から信念を抽出し、エージェントに与える構文解析プログラムの実装を行った。また、従来の形式化では情報源となる人物に関係なく信念が渡されたときにそのまま取得していた。しかし、相手に対する信頼度が受け取り方に影響を与える方が妥当であると考えられる。加えて他者の感情の推測を取り入れておらず、他者にとって望ましいイベントに対する感情の定義が不十分であった。そこで、信頼度を考慮した感情や他者の感情の形式化も合わせて行う。本論文では信念抽出を行う構文解析プログラムの検証結果と、信頼度を考慮した感情および他者の感情の形式化について述べる。

1 はじめに

近年、ロボットに人間らしい感情を持たせる研究が進んでいる。特に行動選択において、ロボットが抱いた感情を反映できれば、より人間らしい行動がとれると考えられる。そのためには、行動選択と感情の生起が共通の機構で表現、および実現できることが望ましい。常に周囲の環境が変化していく実世界において、問題解決のための行動を決定するロボットの実装には BDI アーキテクチャが有効とされている [5]。BDI アーキテクチャとは、人間の行動を「信念」、「願望」、「意図」の3つの心的状態でモデル化した BDI モデル [3] による行動決定方式を計算機上で実現したものである。また、感情の形式化には、心理学に基づいた感情の生起に関する OCC theory [2] と呼ばれる、人間の包括的な感情を形式化し、信念、願望などの心的状態を用いて感情を分類、特徴づける理論が多く使われている。この OCC theory による特徴づけは論理モデルによる表現が可能であり、BDI logic を持つ BDI モデルとの親和性が高く、既存の BDI アーキテクチャの実装である Jason [4] 上の信念ベースを用いての実現が可能である。

Adam らの研究 [1] では、OCC theory を BDI モデルに取り込むことで、感情を論理式でモデル化している。BDI モデルでの形式化に用いられる論理体系である BDI logic に対し、「不確実だが起こると期待されている事柄」など、複数の新たなオペレータを導入し、用いることによって、OCC theory によって扱われる 22 種類のうち、20 種類の感情の特徴づけを論理式として形式化し、BDI モデルに取り込んでいる。しかし、この研究では OCC theory で扱われる感情のうち一階述語論理が必要となる感情 Love、Hate の形式化は行っていない。

従来の研究 [6][7][8][9] では、Adam の論理式を基に拡張を行って、Love、Hate を含む 22 種類の感情の形式化を行った上で、既存の BDI アーキテクチャの実装である Jason の信念ベースを用いてエージェントの感情生起を実装し、複数の感情の同時生起や、生起した感情の時間経過による度合いの減衰、また、度合いが 0 に減衰した感情の削除などを実現した。さらに、他者の感情推測を実装し、推測感情に影響を受ける感情の生起過程を過去の研究に比べて改良した。しかし、感情生起の条件となる心的状態を手動で論理式に変換して与える必要があった。本来であれば、ロボッ

ト自身が環境から必要な信念を取り出し、感情生起することが望ましい。そこで、本研究では与えられた情報を論理式の形に変換し感情生起を行うエージェントの実装を行っている。また、従来の感情の形式化において、感情生起の際に外部から得た情報をそのまま反映していたが、情報提供者に対する信頼度は生起する感情の強さに影響を与えると考えられることから、情報提供者に対する信頼度を考慮した感情の形式化も併せて行った。

2 関連研究

感情に関する研究には、機械学習を用いたものもみられる。[10]では、他者反応を含めた文章に感情ラベルを付加し、学習させることによって、感情を示す言葉や、直接的な感情表現のない文章に対しても、その後続く他者からの反応によって感情の推定を可能としている。しかし、機械学習を用いた研究では、感情の生起理由の説明が困難である。それに対し本研究では、感情生起をOCC theoryの形式化による論理式で行っているため、生起した感情に対し、その理由を明確にできる利点がある。また機械学習にはより精度を上げるために多量の教示データが必要となるが、多量のデータを実験で得ることが難しいなどの問題があるため、我々は採用していない。

ロボットに感情を持たせるにあたり、『ポチは散歩した事を喜んだ』のように、どの事柄に対して感情を生起しているのか正しく表現することは、感情が生起した理由説明に用いることができるなどの理由で望ましく、感情に関する既存研究においてそのような研究もみられる[11]。これは、「うれしい」「かなしい」等の感情表現となる語句の係り元となる2文節を抽出し、末尾に「のが」「ことが」を含むものを感情生起表現（感情が向けられる事象）として得ることを可能としている。しかし、感情表現となる語句が存在しない文が与えられた場合は感情の推定が困難であり、感情生起表現が存在しない文が与えられた場合は、生起した感情を向ける事象を明確にすることが困難であると考えられる。本研究では、4章で述べるように、一つの文から人物、事象、信念の種類と度合いを得ることによって信念を生成し、特定の信念を得たとき感情生起を行うため、文中に感情表現となる語句が存在しない場合も信念生成、感情生起を行うことを可能としている。また、動詞、または動名詞を感情を向ける事象として抽出するため、主語述語が明記された文であれば、感情生起表現が存在しない文であっても感情を向ける事象を明確にすることを可能としている。

推定した他者の感情からの行動選択を行う研究や他者の行動から自身の感情生起を行う研究も多くみられる。例えば[12]では、話者の発話による音響的特徴によつての感情推定を可能としており、推定した感情に合わせた対話の実現を目指しているが、自身の感情生起は行っていない。また、[13]では、他者の説得に対する受託状況によつて自身の感情状態を遷移させ、感情状態に合わせた対話を試みているが、他者の感情の推測は行っていない。人間らしさのある自然な行動を選択するにあたり、他者の感情の推測と自身の感情生起の両方を行い、生起、推測した感情に沿って行動を選択するよう実装を行うことが望ましいと考えられる。またその際、自身の感情生起と他者の感情推測を同一の条件に基づいて行うことが妥当である。本研究では自身の感情生起と他者の感情推測を同一の条件に基づいて行うよう形式化および実装の拡張を行った。

3 OCC theory

OCC theory[2] とは Ortony, Clore, Collins らが提唱した、人間の感情を信念や願望といった心的状態を用いて特徴づけた理論であり、感情を 22 種類に分類している。分類された感情は、それぞれの特徴づけが明確であるため扱いやすく、計算機科学分野において広く用いられている。OCC theory によって分類された 22 種類の感情については表 1 に示す。

表 1 OCC theory による感情の分類

1. 事象の結果の望ましさに関して	(a) 結果の望ましさに関して (自分)	i. イベントに関して		Joy(喜び) Distress(嘆き)
		ii. 予想に関して	A. 単なる予想	Hope (望み) Fear (恐れ)
			B. 予想したことが起こった	Satisfaction (満足) FearConfirmed(恐れていたことが確定)
			C. 予想したことが起こらなかった	Relief (安堵) Disappointment (落胆)
	(b) 結果の望ましさに関して (他者)	i. 他者がいい結果を得る		HappyFor (共に喜ぶ) Resentment (憤り)
		ii. 他者が悪い結果を得る		SorryFor (共に残念に思う) Gloating (ほくそ笑む)
2. 行動に対する賞賛度について	a. 自分の行動			Pride (自尊心) Shame (羞恥心)
	b. 自分の行動とイベントに関して			Gratification (満足) Remorse (後悔)
	c. 他者の行動			Admiration (賞賛) Reproach (非難)
	d. 他者の行動とイベントに関して			Gratitude (謝意) Anger (怒り)
3. 対象に対する好き嫌い				Love (好き) Hate (嫌い)

4 構文解析

従来の研究では、事例として物語文からの感情生起を扱っていたが、感情生起の条件となる信念を、与えられた物語文から人間が解釈して抽出し、実装に用いているエージェント記述プラットフォームである Jason[4] での表記によって手動で与えることで感情生起を行う必要があった。しかし、これでは環境からの自然な入力から感情生起することができない。したがって、エージェント自身が文の中から必要な信念を取り出し、感情生起を行うことが望ましい。そこで、本研究では与えられた文を構文解析することで信念を論理式として取り出し、感情生起を行うよう実装した。

例えば「ポチは散歩したい」という文が与えられると、『ポチ』を『人物を表す名詞』、『は』を『助詞』、『散歩し』を『動詞「する」の連用形』、『たい』を『希望の助動詞』のように解析し、図2のように名詞から感情生起の主体である『ポチ』、動詞または動名詞から信念が発生するイベント『散歩』、助動詞から信念の種類『des(願望)』を取り出す。そして、Jasonの記法で信念 $\text{des}(\text{pochi}, \text{散歩})[\text{degOfCert}(0.5)]$ (ポチは散歩が度合い 0.5 ほど望ましい) を生成し、我々のシステムに入力として与え、エージェント『ポチ』の信念に追加する。信念の第一引数はイベントの主体となるエージェント名、第二引数はイベント名、 $\text{degOfCert}()$ は信念の度合い (0 ~ 1) を表す。度合いについては、『とても』、『少し』などの副詞が文にある時に増減するものとし、この例のように副詞のない文については、中間となる「0.5」を度合いとして信念を生成するようにしている。この時、従来研究で述べられている所定の感情生起の条件を満たしていれば、感情が生起する。

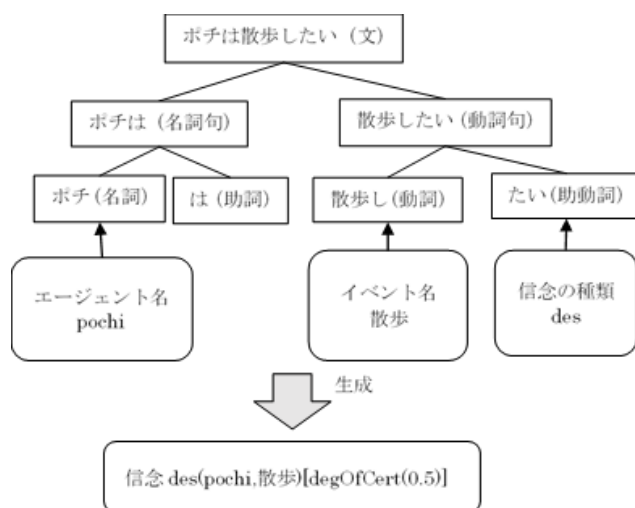


図1 構文木および生成される信念

このように信念生成の際、イベントを主語と動詞句のみからなる文から生成することも可能である。しかし、より正確な感情を生成するのであれば、動詞のみでなく主体になり得ない名詞(場所、物、など)をイベント名に組み込むことで、何に対してその感情を生起したのかを細かく表現する必要がある。そのため、場所や物を示す名詞をイベントの一部とし、信念を生成するようにした。これにより、『ポチは公園で散歩した』と言う文から感情 *Joy* (喜び) が生起した際、『ポチ』が『公園で散歩した』事に対して『喜び』と言う感情を生起した」ことが分かるようになり、場所が違うなどの違う条件で起こる同じイベントで別の感情を発生させることが可能となった。

感情を表す信念は、

『感情(イベントの主体となる人物, イベント)[度合い]』

または

『感情(感情を向ける対象)[度合い]』

という形で表現しており、相手に向ける感情を表す際に後者の形式をとる。感情の生起条件は、

- 主体となる人物
- イベント
- 信念の種類: *bel*(事象の成立を信じる)、*des*(事象の成立を望む)、*prob*(事象の成立を予想する)、*effort*(事象の成立のために努力する)、*deserve*(事象の成立が相応しい)、*praise*(事象の成立は賞賛される)、*appealing*(相手に魅力を感じる)、*unappealing*(相手に魅力を感じない)、*familiar*(相手に親しみを感じる) 等
- 信念の度合い

などを用いた論理式で表現している。

与えられた文から信念を抽出する際、「～を探す」といったイベントの場合、自身が探し物をしていることを認識していると共に、探し物を見つけることを望んでいると考えられる。そのため、エージェントは探していることを信じる信念 *bel*(*pochi*, "探す") を持つと共に、「見つける」ことを望む信念 *des*(*pochi*, "見つける")[*degOfCert*(*D*)] を持つ必要がある。これにより、探し物を見つけた際に感情 *Joy* (喜び) を生起させることができる。これは、見つけたことによって「見つける」を達成したという信念が生まれ、我々の形式化では 6.4 節に述べるように、ある事象 ϕ を望んでおりかつそれが実現したと信じれば、 ϕ に関する *Joy* が生まれるからである。「～を頼む」という動詞についても同様に、相手に頼み事をしていることを認識していると共に、相手が頼み事を達成する事を望んでいると考えられる。そのため、頼むことを信じる信念の他に、他者が～に入るイベントを発生させることを望む信念を持つ必要がある。例えば『お使いを頼む』であれば、相手がお使いをすることを望む信念 *des*(*pochi*, *bel*(*mike*, "お使い"))[*degOfCert*(*D*)] が生成される。これにより、相手が頼み事を達成した際に感情 *Joy* を生起させることができる。このように同じ動詞であってもイベント構成の一部となるもの(～で遊ぶ) 別のイベントに対する信念を呼び出すもの(～を探す) 信念となる感情を生成するもの(～を頼む) が存在する。助動詞についても、信念となる感情生成に使用するため、種類や順番を考慮して正しい信念を生成する必要がある。

これらのことから、単語一つ一つに必要な要素を持たせ、構文解析中に必要であれば追加、削除

を行い、適切な形の信念に変換する必要があった。これらの実現のために、本研究では形態素解析・構文解析プログラムとして既存のものを採用せず、信念の抽出に適した構文解析プログラムを新たに作成した。ただし、現段階では、物語文を解析に適した形に編集してから入力することで信念を抽出する。また、現在約 1000 単語の名詞、動詞、助動詞などを解析可能としており、今後も適宜増やしていくことが望まれる。

5 実験

本章では、構文解析プログラムが期待通りの信念を抽出するかどうか、また、正しく感情生起を行うことができるかの検証を行う。生起した感情の妥当性を調べる手段として、本来は人間を対象とした調査が望ましいが、大人数を必要とする心理実験は難しいため、現段階では文学作品を入力として用い、生成される感情が人間の読み取ったものと一致するかを見ることで検証を行う。シナリオは『はじめてのおつかい』[14] から一部抜粋して使用した。シナリオは以下の通りである。

『お母さんからお使いを頼まれ家を出たみいちゃんは、坂で転んでしまい、その拍子に持っていたお金を落とした。落ちたお金を無事見つけたみいちゃんは元気に坂を登って行った。無事にお使いを済ませたみいちゃんをお母さんが迎えにきた。』

このシナリオを、現段階の構文解析プログラムで信念抽出可能な形に変えて入力する。なお、本実験では情報はエージェント本人から与えられる情報であり、信頼度による影響はないものと考え。本実験で、生成されることが期待される、みいちゃんの信念は以下のようなものである。それぞれ、上段に Jason での表記、下段にその内容を示す。

bel(haha,des(michan,"お使い"))[degOfCert(0.5)]

(みいちゃんは「お母さんがお使いすることを望んでいる」ことを信じる)

bel(michan,"転ぶ")

(みいちゃんは転んだことを信じる)

des(michan,not "転ぶ") [degOfCert(0.5)]

(みいちゃんは転ばないことを望む)

bel(michan,"お金落とす")

(みいちゃんは落とし物をしたことを信じる)

des(michan,not "お金落とす") [degOfCert(0.5)]

(みいちゃんは落とし物をすることを望まない)

bel(michan,"お金探す")

(みいちゃんはお金を探した)

des(michan,"お金見つける") [degOfCert(0.5)]

(みいちゃんはお金を見つけない)

bel(michan,"お金見つける")

(みいちゃんはお金を見つけた)

bel(haha,bel(michan,"お使い"))

(みいちゃんは「お母さんがお使いできたことを信じている」ことを信じる)

また、これらの信念からは、お金を落としたことに対する感情 *Distress*(嘆き)、落としたお金を見つめることができたことに対する感情 *Joy*(喜び) の生起、お使いを済ませた事に対する母の *Joy* の感情推測が起こることが期待される。

本実験では、入力としては物語を以下の様に編集して与える。

- みいちゃんはお母さんにお使いを頼まれた
- みいちゃんは転んでしまった
- みいちゃんはお金を落としてしまった
- みいちゃんはお金を探した
- みいちゃんはお金を見つけた
- みいちゃんはお母さんにお使いを伝えた

このように、現段階では、主語が明確な形の文を入力することで信念を抽出する。

実験の結果を以下に示す。まず、入力の各文からは以下の信念が抽出された。

みいちゃんはお母さんにお使いを頼まれた

bel(haha,des(michan,"お使い"))[degOfCert(0.5)]

みいちゃんは転んでしまった

bel(michan,"転ぶ")

des(michan,not "転ぶ") [degOfCert(0.5)]

みいちゃんはお金を落としてしまった

bel(michan,"お金落とす")

des(michan,not "お金落とす") [degOfCert(0.5)]

みいちゃんはお金を探した

bel(michan,"お金探す")

des(michan,"お金見つける") [degOfCert(0.5)]

みいちゃんはお金を見つけた

bel(michan,"お金見つける")

みいちゃんはお母さんにお使いを伝えた

bel(haha,bel(michan,"お使い"))

このように、みいちゃんが望んでいなかったと考えられる「転ぶ」、「お金を落とす」というイベントの発生を望まない信念を、「お金を探す」というイベントに対して「お金を見つめる」というイベントの発生を望む信念を抽出できるなど、期待通りの信念が抽出されている。また、それらの信念が入力された結果、生起した、あるいは他者に対して推測した感情は以下の様になった。

イベント：転ぶ

Distress(嘆き) を生起 (度合い 0.5)

イベント：お金を落とした

Distress(嘆き) を生起 (度合い 0.5)

イベント：探していたお金を見つけた

Joy(喜び) を生起 (度合い 0.5)

イベント：お使いを済ませた

母の *Joy* (喜び) を推測 (度合い 0.5)

このように、期待された感情が生起している他、母がイベント「お使い」に対して、感情 *Joy* の生起条件である信念 *des*、*bel* を持っていることを信じたとき、母の感情 *Joy* を推測しており、自身の感情生起と同一の条件に基づいて他者の推測を行えている。

6 信頼度と他者感情を考慮した感情の形式化

従来研究では、6.1 節で略記として導入している、信念が生起したことを表すオペレータ *Bel_{arise}* を用いて、ある感情が生起したことを表す論理式を定義することにより、感情が時間経過により減衰することを表す論理式を定義することを可能としている。しかし、信念の入手先による度合いの影響は考慮されておらず、信念入手のための情報提供者に関わらず同様の強さの度合いの信念をもつようになっていた。そこで、6.1 節で相手に対する、又は相手の情報に対する信頼度を *Trust* として新たに導入し、感情の度合い決定において信頼度を考慮することによって、より妥当性のある感情の定義を行っている。本章では、従来研究において提案されている論理体系に新たに信頼度を導入したものを提案する。

6.1 構文

本節では、我々の提案する論理体系での論理式の定義を記述する。従来研究 [6] において提案された論理体系では、LTL(線形時相論理) に感情表現の定義に用いるさまざまな様相オペレータの導入に加えて、述語論理への拡張が行われており、それを基に新たにいくつかの論理式を定義する。まず、以下のものを定める。

- 命題記号の無限集合を $ATM = \{P_1, P_2, \dots\}$ とする。また、命題記号は論理式である。
- エージェントを表す記号の無限集合を $AGT = \{i_1, i_2, \dots\}$ とする。
- 述語記号の無限集合を $PRD = \{R_1, R_2, \dots\}$ とする。
また、 $Appealing, Unappealing, Familiar, Trust \in PRD$ とする。
- 定数記号の無限集合を $CST = \{c_1, c_2, \dots\}$ とする。
- 変数記号の無限集合を $VRB = \{x_1, x_2, \dots\}$ とする。
- 関数記号の無限集合を $FUC = \{f_1, f_2, \dots\}$ とする。

以上を定めただうえで、項および論理式を以下のように定義する。

- $c \in CST$ ならば、 c は項である。
- $x \in VRB$ ならば、 x は項である。
- $f \in FUC$ 、 $t_1, t_2, \dots, t_n (n > 0)$ が項ならば、 $f(t_1, t_2, \dots, t_n)$ は項である。
- $r \in PRD$ 、 $t_1, t_2, \dots, t_n (n \geq 0)$ が項ならば、 $r(t_1, t_2, \dots, t_n)$ は論理式である。これを原始論理式と呼ぶ。
- $x \in VRB$ 、 $\varphi(x)$ が論理式ならば、 $\forall x\varphi(x)$ 、 $\exists x\psi(x)$ は論理式である。
- φ_1, φ_2 が論理式ならば、 $\neg\varphi_1, \varphi_1 \vee \varphi_2$ も論理式であるとする。また、 $\wedge, \rightarrow, \leftrightarrow$ の省略形を以下のように定義する。

- $\varphi_1 \wedge \varphi_2 := \neg(\neg\varphi_1 \vee \neg\varphi_2)$
- $\varphi_1 \rightarrow \varphi_2 := \neg\varphi_1 \vee \varphi_2$
- $\varphi_1 \leftrightarrow \varphi_2 := (\varphi_1 \rightarrow \varphi_2) \wedge (\varphi_2 \rightarrow \varphi_1)$

- φ_1, φ_2 が論理式ならば、 $\neg\varphi_1, \varphi_1 \vee \varphi_2, \varphi_1 U \varphi_2$ も論理式である。
- φ が論理式、 $i \in AGT$ 、 $d(\text{desirability})$ が $0 \leq d \leq 1$ を満たす実数の時、 $Des_d^i \varphi$ は論理式である。

直感的には、 $Des_d^i \varphi$ は「エージェント i にとって φ は度合い d で望ましい」ことを示す。

- φ が論理式、 $i \in AGT$ 、 $l(\text{likelihood})$ が $0 \leq l \leq 1$ を満たす実数の時、 $Prob_l^i \varphi$ は論理式である。

省略形として、以下を定義する。

- $Bel^i \varphi := Prob_{1,0}^i \varphi$
- $Bel^i(Prob_l^k \varphi[\text{source}(j)]) := Trust(i, j, t1) \wedge Trust(i, k, t2) \rightarrow Bel^i Prob_{l,1}^k \varphi \wedge Prob_{l,t1,t2}^i \varphi$
ただし $k=j$ の時
 $Bel^i(Prob_l^j \varphi[\text{source}(j)]) := Trust(i, j, t) \rightarrow Bel^i Prob_{l,1}^j \varphi \wedge Prob_{l,t}^i \varphi$

直感的には、 $Prob_l^i \varphi$ は「エージェント i は φ が見込み l 程度で真になる可能性がある」と信じる、 $Bel^i \varphi$ は「エージェント i は φ が真であると信じる」、 $Bel^i Prob_p^k \varphi[\text{source}(j)]$ は「エージェント i が『エージェント k は φ が見込み l 程度で真になる可能性がある」と信じる』ことをエージェント j から伝えられたことを信じる、 $Trust(i, j, t1)$ は「エージェント i はエージェント j を $t1$ 程度信頼している」ことを示す。

- φ が論理式ならば、 $G\varphi$ は論理式である。

省略形として、以下を定義する。

$$F\varphi := \neg G\neg\varphi$$

直感的には、 $G\varphi$ は「 φ は現在時刻以降ずっと成り立つ」、 $F\varphi$ は「 φ は現在時刻以降のある時点で成り立つ」ことを示す。

- φ が論理式ならば、 $H\varphi$ は論理式である。

省略形として、以下を定義する。

$$P\varphi := \neg H\neg\varphi$$

直感的には、 $H\varphi$ は「 φ は現在時刻までずっと成り立つ」、 $P\varphi$ は「 φ は現在時刻までのある

時点で成り立つ」ことを示す。

- φ が論理式ならば、 $X\varphi$ は論理式である。

直感的には、 $X\varphi$ は「 φ は現在時刻より 1 時刻後で成り立つ」ことを示す。

- φ が論理式ならば、 $Y\varphi$ は論理式である。

省略形として、以下を定義する。

$$_ Bel_arise^i\varphi := Bel^i\varphi \wedge \neg YBel^i\varphi \quad (1)$$

$$_ Prob_arise^i\varphi := Prob^i\varphi \wedge YProb^i_0\varphi \quad (2)$$

直感的には、 $Y\varphi$ は「 φ は現在時刻より 1 時刻前で成り立つ」ことを表す。

- φ が論理式、 $i \in AGT$ 、 e が $0 \leq e \leq 1$ を満たす実数の時、 $Effort^i_e\varphi$ は論理式である。

直感的には、 $Effort^i_e\varphi$ は「エージェント i は φ を真にするために、 e 程度努力した」ことを示す。

- φ が論理式、 $i \in AGT$ 、 v (value) が $0 \leq v \leq 1$ を満たす実数の時、 $Deserve^i_v\varphi$ は論理式である。

直感的には、 $Deserve^i_v\varphi$ は「エージェント i にとって φ が v 程度相応しい」ことを示す。

- φ が論理式、 $i \in AGT$ 、 p (praiseworthiness) が $0 \leq p \leq 1$ を満たす実数の時、 $Praise^i_p\varphi$ は論理式である。

直感的には、 $Praise^i_p\varphi$ は「エージェント i が φ を真にすることは、度合い p 程度評価される」ことを示す。

この他、 \wedge, \vee, \neg などのオペレータ間に一般的な優先順位を導入する。

述語記号、定数記号、変数記号、関数記号を組にしたものを一階言語と呼ぶことにする。一階言語を定めることにより、一階言語の原始論理式の集合が決まるため、これを AF と書く。

ただし、述語記号 *Appealing*, *Unappealing*, *Familiar*, *Trust* については、以下のように定める。

- *Appealing* については、任意の $i \in AGT, j \in AGT$ と、 $0 \leq a \leq 1$ を満たす実数 a に対し、 $Appealing(i, j, a)$ を原始論理式とする。直感的には、 $Appealing(i, j, a)$ は、エージェント i がエージェント j に対し、 a 程度の好意を感じることを表す。
- *Unappealing* については、任意の $i \in AGT, j \in AGT$ と、 $0 \leq a \leq 1$ を満たす実数 a に対し、 $Unappealing(i, j, a)$ を原始論理式とする。直感的には、 $Unappealing(i, j, a)$ は、エージェント i がエージェント j に対し、 a 程度の嫌悪を感じることを表す。
- *Familiar* については、任意の $i \in AGT, j \in AGT$ と、 $0 \leq f \leq 1$ を満たす実数 f に対し、 $Familiar(i, j, f)$ を原始論理式とする。直感的には、 $Familiar(i, j, f)$ は、エージェント i がエージェント j に対し、 f 程度の親しさを感じることを表す。
- *Trust* については、任意の $i \in AGT, j \in AGT$ と、 $0 \leq t \leq 1$ を満たす実数 t に対し、 $Trust(i, j, t)$ を原始論理式とする。直感的には、 $Trust(i, j, t)$ は、エージェント i がエージェント j に対し、 t 程度信頼していることを表す。

本節での従来研究 [6] で行われた形式化との違いは述語記号 *Trust* に関する特別扱いが加わった点と、*source(j)* を含む略記を導入した点である。これらは [9] で行われた、信頼度を考慮した感情

の度合い決定の実装と整合するよう定義されている。従来はこの部分には形式的な定義がなかったが、今回の *Trust* の導入によって形式的な定義が可能となった。

6.2 意味論

6.2.1 構造

領域の無限集合を $U = \{u_1, u_2, \dots\}$ とし、以後、 U の要素は全て *CST* に属するものとする。また、以下、 $\mathbb{B} = \{\top, \perp\}$ とする。

以下のものを定めておく。

- 可能世界の集合 $W (\neq \emptyset)$
- 各世界 w ごとに、領域 U のもとでの一階述語論理の解釈を 1 つ決めると、 w での原始論理式の真偽が決まる。これを関数

$$V : W \times AF \rightarrow \mathbb{B}$$

で表す。ただし、*Appealing*, *Unappealing*, *Familiar*, *Trust* については、以下のように決めておく。

- *Appealing* については、各世界 w ごとに、任意の i, j に対し、 $0 \leq a \leq 1$ を満たし、*Appealing*(i, j, a) を真にする a が一つだけ存在することとする。
- *Unappealing* については、各世界 w ごとに、任意の i, j に対し、 $0 \leq a \leq 1$ を満たす *Appealing*(i, j, a) が存在する時、*Unappealing*($i, j, 1 - a$) が存在することとする。
- *Familiar* については、各世界 w ごとに、任意の i, j に対し、 $0 \leq f \leq 1$ を満たし、*Familiar*(i, j, f) を真にする f が一つだけ存在することとする。
- *Trust* については、各世界 w ごとに、任意の i, j に対し、 $0 \leq t \leq 1$ を満たし、*Trust*(i, j, t) を真にする t が一つだけ存在することとする。ただし、 $i = j$ のときは、自身から発生した情報は常に信じると考えられるため、 $t = 1$ とする。
- *AGT* の各要素 i に対し、 $W \times W$ から $[0, 1]$ への関数

$$\mathcal{B}^i : W \times W \rightarrow [0, 1]$$

ただし任意の $i \in AGT$ 、 $w \in W$ に対し、 $\sum_{w' \in W} \mathcal{B}^i(w, w') = 1$ であること。また、エージェントが自身の心的状態に関して完全な信念を持つという、通常の BDI logic と同じ性質を成り立たせるため、 \mathcal{B}^i は以下を満たすものとする。

$$\mathcal{B}^i(w, w') > 0 \text{ ならば、} \mathcal{B}^i(w, w'') = \mathcal{B}^i(w', w'')$$

\mathcal{B}^i は、エージェント i にとっての度合い付きの信念を表す関数である。

以下、 $\mathcal{B}^i(w, w') > 0$ が成り立つとき、 w' は w から \mathcal{B}^i で到達可能な世界であると言う。

また、ある世界 w において、*Appealing*(i, j, a), *Unappealing*($i, j, 1 - a$), *Familiar*(i, j, f), *Trust*(i, j, t) が成り立つのであれば、 w から \mathcal{B}^i で到達可能な世界 w' においても同様に成り立つことと

する。この制約はのちに 6.3 節で述べる論理式 (4-MIX'), (5-MIX') を恒真とするためのものである。

- AGT の各要素 i に対し、 W から $[0,1]$ への関数

$$\mathcal{D}^i : W \rightarrow [0, 1]$$

\mathcal{D}^i はエージェント i にとっての各世界の望ましさを定める関数である。

- 可能世界の集合 W から W への全単射

$$\mathcal{X} : W \rightarrow W$$

この \mathcal{X} は可能世界 w の未来の可能世界 $\mathcal{X}(w)$ を表す関数である。同様に、 \mathcal{X}^{-1} も可能世界 w の過去の可能世界 $\mathcal{X}^{-1}(w)$ を表す関数である。

ただし、任意の 0 以上の整数 t に対して、 $\mathcal{B}^i(w, w_1) > 0$ かつ、 $w_2 = \mathcal{X}^{-t}(w)$ かつ、 $w_3 = \mathcal{X}^{-t}(w_1)$ かつ、 $\mathcal{B}^i(w_2, w') = d > 0$ ならば、 $\mathcal{B}^i(w_3, w') = d$ を満たすものとする。この制約を (1P) と呼ぶことにする。この制約はのちに 6.4 節で述べる論理式 (4-Bel_ariseⁱ)、(5-Bel_ariseⁱ) を恒真とするためのものである。

ここで、 $\mathcal{X}^t(w)$ は、 w に関数 \mathcal{X} を t 回適用して得られる世界で、 w の t 時刻後の世界、 $\mathcal{X}^{-t}(w)$ は、 w に関数 \mathcal{X}^{-1} を t 回適用して得られる世界で、 w の t 時刻前の世界である。

- AGT の各要素 i に対し、 $w' \in \mathcal{G}(w)$ を満たす w と w' の組から、 $[0,1]$ への関数

$$\mathcal{E}^i : \{(w, w') \mid w' \in \mathcal{G}(w)\} \rightarrow [0, 1]$$

\mathcal{E}^i はエージェント i の努力を表す関数である。ここで、関数 \mathcal{G}, \mathcal{H} を W から 2^W への関数とし、以下のように定める。

- $\mathcal{G}(w) = \{\mathcal{X}^n(w) \mid n \text{ は非負整数}\}$
- $\mathcal{H}(w) = \{\mathcal{X}^{-n}(w) \mid n \text{ は非負整数}\}$

- AGT の各要素 i に対し、 W から $[0,1]$ への関数

$$\mathcal{V}^i : W \rightarrow [0, 1]$$

\mathcal{V}^i はエージェント i にとっての各世界の相応しさを定める関数である。

- AGT の各要素 i に対し、 W から $[0,1]$ への関数

$$\mathcal{P}^i : W \rightarrow [0, 1]$$

\mathcal{P}^i はエージェント i にとっての各世界の称賛度を定める関数である。

以上を組にしたものを構造 M と呼ぶ。

図 2 は、先に述べた制約 (1P) を表した図である。これは、現在時刻 w の 1 時刻前の世界 $w_3 (= \mathcal{X}^{-1}(w))$ と、現在時刻 w から \mathcal{B}^i で到達可能な世界 $w_1 (= \mathcal{B}^i(w))$ の 1 時刻前の世界 $w_2 (= \mathcal{X}^{-1}(w_1))$ から、 \mathcal{B}^i で到達可能な世界は同じ世界であるということである。

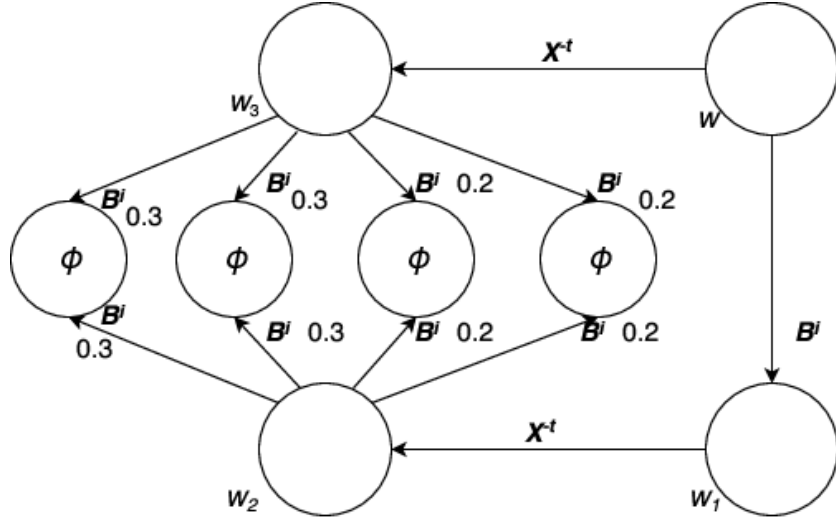


図2 制約 (1P)

6.2.2 解釈

論理式 ϕ と構造 M 、および M の世界 w に対し、 ϕ の M, w での解釈を $\llbracket \phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle}$ を以下のように定義する。

- $P \in AF$ ならば、 $\llbracket P \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff $V(w, P) = \top$
- $\llbracket \neg \phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff not $\llbracket \phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$
- $\llbracket \phi \vee \psi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff $\llbracket \phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ or $\llbracket \psi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$
- $\llbracket \forall x \phi(x) \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff $u \in U$ を満たす全ての u に対し、 $\llbracket \phi(u) \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$
- $\llbracket \exists x \phi(x) \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff $u \in U$ を満たす、ある u に対し、 $\llbracket \phi(u) \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$
- $\llbracket Prob_l^i \phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff $\sum_{\substack{w' \in W \\ w' \text{ で } \phi \text{ が真}}} \mathcal{B}^i(w, w') = l$
- $\llbracket Effort_e^i \phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff $w \in \mathcal{G}(w')$ を満たす w' が存在して、
 $\llbracket \phi \rrbracket_{\langle M, w' \rangle} = \top$ and $\mathcal{E}^i(w, w') = e$
- $\llbracket Des_d^i \phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff $\frac{\sum_{\substack{w' \in W \\ w' \text{ で } \phi \text{ が真}}} (\mathcal{D}^i(w') \times \mathcal{B}^i(w, w'))}{\sum_{\substack{w' \in W \\ w' \text{ で } \phi \text{ が真}}} \mathcal{B}^i(w, w')} = d$
- $\llbracket Deserve_v^i \phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff $\frac{\sum_{\substack{w' \in W \\ w' \text{ で } \phi \text{ が真}}} (\mathcal{V}^i(w') \times \mathcal{B}^i(w, w'))}{\sum_{\substack{w' \in W \\ w' \text{ で } \phi \text{ が真}}} \mathcal{B}^i(w, w')} = v$
- $\llbracket Praise_p^i \phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff $\frac{\sum_{\substack{w' \in W \\ w' \text{ で } \phi \text{ が真}}} (\mathcal{P}^i(w') \times \mathcal{B}^i(w, w'))}{\sum_{\substack{w' \in W \\ w' \text{ で } \phi \text{ が真}}} \mathcal{B}^i(w, w')} = p$
- $\llbracket G\phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff 任意の $w' \in \mathcal{G}(w)$ に対して $\llbracket \phi \rrbracket_{\langle M, w' \rangle} = \top$
- $\llbracket H\phi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top$ iff 任意の $w' \in \mathcal{H}(w)$ に対して $\llbracket \phi \rrbracket_{\langle M, w' \rangle} = \top$

- $\llbracket X\phi \rrbracket_{\langle M,w \rangle} = \top$ **iff** $\llbracket \phi \rrbracket_{\langle M, \mathcal{X}(w) \rangle} = \top$
- $\llbracket Y\phi \rrbracket_{\langle M,w \rangle} = \top$ **iff** $\llbracket \phi \rrbracket_{\langle M, \mathcal{X}^{-1}(w) \rangle} = \top$

任意の構造 M の任意の世界 w に対し、 $\llbracket \phi \rrbracket_{\langle M,w \rangle} = \top$ が成り立つ時、 ϕ が恒真であるといい、 $\vdash \phi$ と書く。

本節での従来研究 [6] で行われた形式化との違いは述語記号 *Trust* に関する特別扱いが加わった点である。

6.3 恒真論理式

我々の論理体系では、いくつかの基本的な性質を満たす。本研究では新たに述語記号に関するもの (4-MIX'), (5-MIX') を追加しており、それ以外は従来研究 [6] で成り立っていたものである。

\Box を Bel^i, G, H のうち、いずれか1つのオペレータとすると、以下が成り立つ。

$$\Box(\phi \rightarrow \psi) \rightarrow (\Box\phi \rightarrow \Box\psi) \quad (\text{K-}\Box)$$

$$\frac{\phi}{\Box\phi} \quad (\text{RN-}\Box)$$

$$\Box(\phi \wedge \psi) \leftrightarrow (\Box\phi \wedge \Box\psi) \quad (\text{C-}\Box)$$

ただし、 $\frac{\phi}{\psi}$ は、「 ϕ が恒真ならば、 ψ も恒真である」という性質を表す。

また、 \Diamond を、 F, P のうち、いずれか1つのオペレータとすると、以下が成り立つ。

$$\frac{\phi}{\Diamond\phi} \quad (\text{RN-}\Diamond)$$

$$\Diamond(\phi \wedge \psi) \rightarrow (\Diamond\phi \wedge \Diamond\psi) \quad (\text{C-}\Diamond)$$

オペレータ Bel^i は公理系 KD45 に当てはまる。このオペレータは、一般的な様相論理の公理に加え、以下の論理式を恒真にする。

$$Bel^i\phi \rightarrow \neg Bel^i\neg\phi \quad (\text{D-}Bel^i)$$

$$Bel^i\phi \rightarrow Bel^i Bel^i\phi \quad (\text{4-}Bel^i)$$

$$\neg Bel^i\phi \rightarrow Bel^i\neg Bel^i\phi \quad (\text{5-}Bel^i)$$

また、オペレータ Bel_{arise}^i においても、上記と同様の論理式を恒真にする。

$$Bel_{arise}^i\phi \rightarrow \neg Bel_{arise}^i\neg\phi \quad (\text{D-}Bel_{arise}^i)$$

$$Bel_{arise}^i\phi \rightarrow Bel^i Bel_{arise}^i\phi \quad (\text{4-}Bel_{arise}^i)$$

$$\neg Bel_{arise}^i\phi \rightarrow Bel^i\neg Bel_{arise}^i\phi \quad (\text{5-}Bel_{arise}^i)$$

以上の恒真論理式は、信念に矛盾がない (D- Bel^i)(D- Bel_{arise}^i)、自身の信念を自覚している (4- Bel^i)(4- Bel_{arise}^i)、自身の信念でないものを信念でないものと自覚している (5- Bel^i)(5- Bel_{arise}^i) ことを示す。

\Box が、オペレータ $Prob^i, Des^i_d, Praise^i_p, Deserve^i_v$ のいずれかの場合、以下が論理式が成り立つ。自身の $Prob^i$ などを自覚していることを示す。

$$\Box \varphi \leftrightarrow Bel^i \Box \varphi \quad (4-MIX)$$

$$\neg \Box \varphi \leftrightarrow Bel^i \neg \Box \varphi \quad (5-MIX)$$

φ が、*Appealing, Unappealing, Familiar, Trust* のいずれかを述語記号とし、第 1 引数を i とする原始論理式であるとき、以下が成り立つ。

$$\varphi \leftrightarrow Bel^i \varphi \quad (4-MIX')$$

$$\neg \varphi \leftrightarrow Bel^i \neg \varphi \quad (5-MIX')$$

6.4 感情

本章では、OCC theory で定義されている感情を、Adam らの論文を参考に 6.1 節で定義したオペレータを用いて定義する。従来研究 [6] では、6.1 節で定義した、信念が生起したことを表すオペレータ Bel_{arise} を用いることによって、ある感情が生起したことを表す論理式を定義し、時間経過により減衰する感情の論理式の定義を可能としている。しかし、従来の定義において、他者の感情の推測は含まれておらず、推測した感情に影響を受ける感情の定義についても不十分であった。そこで他者の感情の推測と推測感情に影響を受ける感情の論理式を定義する。また、新たに感情を定義する際に必要な感情の定義も示す。

6.4.1 従来研究での定義

ここでは 6.4.2 で導入する、他者感情の推測に影響を受ける感情の定義、および、6.5 節で導入する感情推測において、定義に用いるため必要となる感情の定義を [6] から再掲する。なお、他者に関する好意や嫌悪は、イベントや生起感情に影響を受けると考えられるため以下 4 つのうち *Love* と *Hate* は時間経過による減衰は考慮しないものとする。

Joy

Joy の生起条件は、以下のように定義されている。

$$Joy_arise^i_{f_J(d)} \varphi := Des^i_d \varphi \wedge Bel_arise^i \varphi$$

$Joy^i_{f_J(d,t)} \varphi$ を新たなオペレータとし、 $Joy^i_{f_J(d,t)} \varphi$ の解釈を以下のように定義されている。

$$\llbracket Joy^i_{f_J(d,t)} \varphi \rrbracket_{(M,w)} = \top \text{ iff } \llbracket Joy_arise^i_d \varphi \rrbracket_{(M, \mathcal{X}^{-t}(w))} = \top$$

ただし、 t は 0 以上の整数とし、上記の iff の右側を満たすような t が複数存在する場合、最小の t をとることにする。また、関数 f_J は、 d に関する増加関数であり、関数 f_J は、 t に関する減少関数で、 $f_J(d,0) = d$ を満たすものとする。関数 f_J 、関数 f_{f_J} のどちらも、値域は $[0,1]$ とする。

Distress

Distress の生起条件を以下のように定義されている。

$$Distress_arise_{f_D(d)}^i \varphi := Des_d^i \varphi \wedge Bel_arise^i \varphi$$

$Distress_{f_D(d,t)}^i \varphi$ を新たなオペレータとし、 $Distress_{f_D(d,t)}^i \varphi$ の解釈を以下のように定義されている。

$$[[Distress_{f_D(d,t)}^i \varphi]]_{\langle M, w \rangle} = \top \text{ iff } [[Distress_arise_d^i \varphi]]_{\langle M, \mathcal{X}^{-t}(w) \rangle} = \top$$

ただし、 t は 0 以上の整数とし、上記の iff の右側を満たすような t が複数存在する場合、最小の t をとることとする。また、関数 f_D は、 d に関する減少関数であり、関数 f_D は、 t に関する減少関数で、 $f_D(d, 0) = d$ を満たすものとする。関数 f_D 、関数 f_D のどちらも、値域は $[0, 1]$ とする。

Love

Love は魅力的なオブジェクトに対する好意の感情タイプである。また、強さに影響する変数については、以下の変数が定義されている。

- オブジェクトがどの程度魅力的か
- オブジェクトとどの程度親しみがあるか

この変数を、魅力の程度を変数に持つオペレータ *Appealing* と、親しみの程度を変数に持つオペレータ *Familiar* で表現し、オペレータ *Love* を以下のように定義されている。

$$Love_{f_L(a,f)}^i j := Appealing(i, j, a) \wedge Familiar(i, j, f)$$

この関数 f_L は、 a, f に関する増加関数とする。

Hate

Hate は非魅力的なオブジェクトに対する嫌悪の感情タイプである。また、強さに影響する変数については、以下の変数が定義されている。

- オブジェクトがどの程度魅力的ではないか
- オブジェクトとどの程度親しみがあるか

この変数を、魅力的ではない程度を変数に持つオペレータ *Unappealing* と、親しみの程度を変数に持つオペレータ *Familiar* で表現し、オペレータ *Hate* を以下のように定義されている。

$$Hate_{f_{Ha}(u,f)}^i j := Unappealing(i, j, u) \wedge Familiar(i, j, f)$$

この関数 f_{Ha} は、 u, f に関する増加関数とする。

6.4.2 Fortune-of-others emotions

ここでは、他者感情の推測に影響を受ける感情 (Fortune-of-others emotions) の再定義を行う。Fortune-of-others emotions は他者にとっての結果の望ましさについての感情とされており、結果を認識したとき、同時に他者の感情推測を行うと考えられる。そのため、本章で新たに定義し、従来のもとの比較を行う。定義中に用いる $Guess_Joy$ 、 $Guess_Joy_arise$ 、 $Guess_Distress$ 、 $Guess_Distress_arise$ については後に 6.5 節で定義する。

HappyFor

従来研究では HappyFor の生起条件は以下のように定義されている。

$$HappyFor_arise_{f_{HF'}(d_i, d_j, v, LD)}^{i,j} \varphi := Bel_arise^i \varphi \wedge Des_{d_i}^i Bel^j \varphi \wedge Bel^i Des_{d_j}^j \varphi \\ \wedge Bel^i Deserve_v^j \varphi \wedge Love_{LD}^i j$$

我々は新たに HappyFor の生起条件を以下のように定義する。

$$HappyFor_arise_{f_{HF'}(d_i, x, v, LD)}^{i,j} \varphi := Guess_Joy_arise_x^{i,j} \varphi \wedge Des_{d_i}^i Bel^j \varphi \wedge Bel^i Deserve_v^j \varphi \wedge Love_{LD}^i j$$

$HappyFor_{f_{HF}(d,t)}^{i,j} \varphi$ を新たなオペレータとし、 $HappyFor_{f_{HF}(d,t)}^{i,j} \varphi$ の解釈を以下のように定義する。

$$[[HappyFor_{f_{HF}(d,t)}^{i,j} \varphi]]_{(M,w)} = \top \text{ iff } [[HappyFor_arise_d^{i,j} \varphi]]_{(M, \mathcal{X}^{-t}(w))} = \top$$

ただし、 t は 0 以上の整数とし、上記の iff の右側を満たすような t が複数存在する場合、最小の t をとることとする。また、関数 $f_{HF'}$ は、 d_i, x, v, LD に関する増加関数、関数 f_{HF} は、 t に関する減少関数で、 $f_{HF}(d, 0) = d$ を満たすものとする。関数 f_{HF} 、関数 $f_{HF'}$ のどちらも、値域は $[0, 1]$ とする。 $HappyFor$ は他者の Joy の生起の推測に影響を受ける感情であり、我々の定義では、他者の Joy の生起の推測を表すオペレータの $Guess_Joy$ を用いている。従来研究でも、 $HappyFor$ の生起条件は我々のものと同様ではあるが、他者感情の推測が形式化されていなかったため、 $HappyFor$ の定義にも他者の Joy 生起の推測が直接に現れておらず、直感に即していない点で不十分であった。我々の定義はその点が改善されている。以降に示す他 3 つの感情についても同様のことが言える。

SorryFor

従来研究では SorryFor は以下のように定義されている。

$$SorryFor_arise_{f_{HF'}(d_i, d_j, v, LD)}^{i,j} \varphi := Bel_arise^i \varphi \wedge Des_{d_i}^i Bel^j \varphi \wedge Bel^i Des_{d_j}^j \varphi \\ \wedge Bel^i Deserve_v^j \varphi \wedge Love_{LD}^i j$$

我々は新たに SorryFor の生起条件を以下のように定義する。

$$SorryFor_arise_{f_{HF'}(d_i, x, v, LD)}^{i,j} \varphi := Guess_Distress_arise_x^{i,j} \varphi \wedge Des_{d_i}^i Bel^j \varphi \wedge Bel^i Deserve_v^j \varphi \wedge Love_{LD}^i j$$

$SorryFor_{f_{SF}(d,t)}^{i,j} \varphi$ を新たなオペレータとし、 $SorryFor_{f_{SF}(d,t)}^{i,j} \varphi$ の解釈を以下のように定義する。

$$\llbracket SorryFor_{f_{SF}(d,t)}^{i,j} \varphi \rrbracket_{(M,w)} = \top \text{ iff } \llbracket SorryFor_arise_d^{i,j} \varphi \rrbracket_{(M, \mathcal{X}^{-t}(w))} = \top$$

ただし、 t は 0 以上の整数とし、上記の iff の右側を満たすような t が複数存在する場合、最小の t をとることにする。また、関数 $f_{SF'}$ は、 LD に関する増加関数、 d_i, x, v に関する減少関数、関数 f_{SF} は、 t に関する減少関数で、 $f_{SF}(d, 0) = d$ を満たすものとする。関数 f_{SF} 、関数 $f_{SF'}$ のどちらも、値域は $[0, 1]$ とする。

Resentment

従来研究では Resentment は以下のように定義されている。

$$\begin{aligned} Resentment_arise_{f_{RS'}(d_i, d_j, v, HTD)}^{i,j} \varphi := & Bel_arise^i \varphi \wedge Des_{d_i}^i Bel^j \varphi \wedge Bel^i Des_{d_j}^j \varphi \\ & \wedge Bel^i Deserve_v^j \varphi \wedge Hate_{HTD}^i j \end{aligned}$$

我々は新たに Resentment の生起条件を以下のように定義する。

$$Resentment_arise_{f_{RS'}(d_i, x, v, HTD)}^{i,j} \varphi := Guess_Joy_arise_x^{i,j} \varphi \wedge Des_{d_i}^i Bel^j \varphi \wedge Bel^i Deserve_v^j \varphi \wedge Hate_{HTD}^i j$$

$Resentment_{f_{RS}(d,t)}^{i,j} \varphi$ を新たなオペレータとし、 $Resentment_{f_{RS}(d,t)}^{i,j} \varphi$ の解釈を以下のように定義する。

$$\llbracket Resentment_{f_{RS}(d,t)}^{i,j} \varphi \rrbracket_{(M,w)} = \top \text{ iff } \llbracket Resentment_arise_d^{i,j} \varphi \rrbracket_{(M, \mathcal{X}^{-t}(w))} = \top$$

ただし、 t は 0 以上の整数とし、上記の iff の右側を満たすような t が複数存在する場合、最小の t をとることにする。また、関数 $f_{RS'}$ は、 x, HTD に関する増加関数、 d_i, v に関する減少関数、関数 f_{RS} は、 t に関する減少関数で、 $f_{RS}(d, 0) = d$ を満たすものとする。関数 f_{RS} 、関数 $f_{RS'}$ のどちらも、値域は $[0, 1]$ とする。

Gloating

従来研究では Gloating は以下のように定義されている。

$$\begin{aligned} Gloating_arise_{f_{GI'}(d_i, d_j, v, HTD)}^{i,j} \varphi := & Bel_arise^i \varphi \wedge Des_{d_i}^i Bel^j \varphi \wedge Bel^i Des_{d_j}^j \varphi \\ & \wedge Bel^i Deserve_v^j \varphi \wedge Hate_{HTD}^i j \end{aligned}$$

我々は新たに Gloating の生起条件を以下のように定義する。

$$Gloating_arise_{f_{GI'}(d_i, x, v, HTD)}^{i,j} \varphi := Guess_Distress_arise_x^{i,j} \varphi \wedge Des_{d_i}^i Bel^j \varphi \wedge Bel^i Deserve_v^j \varphi \wedge Hate_{HTD}^i j$$

$Gloating_{f_{GI}(d,t)}^{i,j} \varphi$ を新たなオペレータとし、 $Gloating_{f_{GI}(d,t)}^{i,j} \varphi$ の解釈を以下のように定義する。

$$\llbracket Gloating_{f_{GI}(d,t)}^{i,j} \varphi \rrbracket_{(M,w)} = \top \text{ iff } \llbracket Gloating_arise_d^{i,j} \varphi \rrbracket_{(M, \mathcal{X}^{-t}(w))} = \top$$

ただし、 t は 0 以上の整数とし、上記の iff の右側を満たすような t が複数存在する場合、最小の t をとることにする。また、関数 $f_{GI'}$ は、 d_i, v, HTD に関する増加関数、 x に関する減少関数、関数 f_{GI} は、 t に関する減少関数で、 $f_{GI}(d, 0) = d$ を満たすものとする。関数 f_{GI} 、関数 $f_{GI'}$ のどちらも、値域は $[0, 1]$ とする。

従来の定義において *Guess_Joy* または *Guess_Distress* の生起条件となる信念を推測感情に置き換えたものを新たに定義として示しており、感情生起条件となる信念には影響はないものとしている。

6.5 推測感情

前述した感情の定義を基に他者の推測感情を定義する。他者の感情を推測は、自身の感情生起と同様の条件で行われると考えられる。そのため、他者の信念生起を認識することで感情を推測するものとする。まず以下に感情 *Joy* と *Distress* の例を示し、続いて他の感情について述べる。

Guess_Joy

Joy の推測条件を以下のように定義する。

$$Guess_Joy_arise_{f_{J'}(d)}^{i,j} \varphi := Bel^i Des_d^j \varphi \wedge Bel^i Bel_arise^j \varphi$$

これは以下のように置き換えることができる。

$$Guess_Joy_arise_{f_{J'}(d)}^{i,j} \varphi := Bel^i (Des_d^j \varphi \wedge Bel_arise^j \varphi)$$

右辺の Bel^i 以降は感情 *Joy* の生起条件と同一であり、さらに以下のように表すことができる。ただし、 $d' = f_{J'}(d)$ とする。

$$Guess_Joy_arise_{d'}^{i,j} \varphi := Bel^i (Joy_arise_{d'}^j \varphi)$$

また、 $Guess_Joy_{f_J(d,t)}^{i,j} \varphi$ を新たなオペレータとし、 $Guess_Joy_{f_J(d,t)}^{i,j} \varphi$ の解釈を以下のように定義する。

$$\llbracket Guess_Joy_{f_J(d,t)}^{i,j} \varphi \rrbracket_{\langle M, w \rangle} = \top \text{ iff } \llbracket Guess_Joy_arise_{d'}^{i,j} \varphi \rrbracket_{\langle M, \mathcal{X}^{-t}(w) \rangle} = \top$$

ただし、 t は 0 以上の整数とし、上記の iff の右側を満たすような t が複数存在する場合、最小の t をとることにする。また、 $f_{J'}$ と f_J は、6.4.1 の *Joy_arise* の定義に用いた、 $f_{J'}$ 、 f_J と同じ関数とする。

Guess_Emotion

他の感情についても同様に定義することができるため、以下のようにまとめて記載する。なお、以下では、*Emotion* は感情を表すオペレータ (*Joy*、*Distress* など) を表すものとする。従って *Emotion_arise* は *Joy_arise* や *Distress_arise* など、*Guess_Emotion_arise* は *Guess_Joy_arise* や

$Guess_Distress_arise$ などを表す。また、個別の $Emotion_arise$ の定義は、6.4 節で再定義したものの他は、[6] によるものである。

・ $Emotion_arise$ オペレータの肩付き添字がエージェント 1 つだけである場合

$$Guess_Emotion_arise_d^{i,j} \varphi := Bel^i(Emotion_arise_d^j \varphi)$$

また、 $Guess_Emotion_{f(d,t)}^{i,j} \varphi$ を新たなオペレータとし、 $Guess_Emotion_{f(d,t)}^{i,j} \varphi$ の解釈を以下のように定義される。

$$[[Guess_Emotion_{f(d,t)}^{i,j} \varphi]]_{(M,w)} = \top \text{ iff } [[Guess_Emoiton_arise_d^{i,j} \varphi]]_{(M, \mathcal{X}^{-t}(w))} = \top$$

ただし、 t は 0 以上の整数とし、上記の iff の右側を満たすような t が複数存在する場合、最小の t をとることとする。また、関数 f は各 $Emotion$ の定義の左辺において、 $Emotion$ オペレータの右下添字に現れる関数と同じものとする。

・ $Emotion_arise$ オペレータの肩付き添字がエージェント 2 つである場合

$$Guess_Emotion_arise_d^{i,j,k} \varphi := Bel^i(Emotion_arise_d^{j,k} \varphi)$$

また、 $Guess_Emotion_f^{i,j,k} \varphi$ を新たなオペレータとし、 $Guess_Emotion_f^{i,j,k} \varphi$ の解釈を以下のように定義される。

$$[[Guess_Emotion_{f(d,t)}^{i,j,k} \varphi]]_{(M,w)} = \top \text{ iff } [[Guess_Emoiton_arise_d^{i,j,k} \varphi]]_{(M, \mathcal{X}^{-t}(w))} = \top$$

ただし、 t は 0 以上の整数とし、上記の iff の右側を満たすような t が複数存在する場合、最小の t をとることとする。関数 f は各感情の生起条件と同様のものが入る。

6.6 記述例

本節では新たに定義した信頼度と他者の感情推測についての記述例を示す。6.1 節で省略形として定義した $Bel^i Prob_p^k \varphi[source(j)]$ を用いて感情生起の例をあげる。

エージェント i が信頼度が 0.5 程度ある人物 j から予期の信念 $Prob_{0.7}^j \varphi$ が与えられたとする。これは我々の体系では以下のように書くことができる。

$$Trust(i, j, 0.5) \wedge Bel^i Prob_{0.7}^j \varphi[source(j)] \quad (3)$$

6.1 節で述べた省略形の定義によると

$$Bel^i Prob_{0.7}^j \varphi[source(j)] := Trust(i, j, 0.5) \rightarrow Bel^i Prob_{0.7,0.5}^j \varphi \wedge Prob_{0.7,0.5}^j \varphi$$

であるため、これと (3) から

$$Bel^i Prob_{0.7,0.5}^j \varphi \wedge Prob_{0.7,0.5}^j \varphi$$

が成り立つ。ここでさらにエージェント i が人物 j の $YProb_0^j \varphi$ を信じたとする ($Bel^i YProb_0^j \varphi$) と、これと $Bel^i Prob_{0.7,0.5}^j \varphi$ から

$$Bel^i Prob_arise_{0.7-0.5}^j \varphi \quad (4)$$

が成り立ち、さらにエージェント i が人物 j の $Des_{0.4}^j \varphi$ を信じたとする ($Bel^i Des_{0.4}^j \varphi$) と、これと (4) から

$$Guess_Hope_arise_{fH(0.4,0.7-0.5)}^{i,j} \varphi$$

が成り立つ。このようにして、 i が j の *Hope* の発生を推測したことが結論される。

6.7 推測感情に関する性質

従来研究において、自身の感情に関する性質を表す論理式が示されている。本研究では新たに他者の感情推測について述べているため、本節では、新たに推測感情に関する性質を表す論理式を示す。これらの式は、6.3 節に述べた (4-*Bel_arise* ^{i})、(5-*Bel_arise* ^{i})、(4-MIX)、(5-MIX) などの式を用いて容易に示すことができる。

6.7.1 感情の対立関係

相反する感情

ここで示すのは、同じグループに属する、相反する感情は同時に生起されないという性質である。ここでは、well-being emotions についてのみ説明するが、他の感情グループでも同様に示せるので、他の感情グループについての対立関係については省略する。なお、以降に現れる関数は [6] での各感情の定義に現れる関数 (f_J 、 $f_{J'}$ など) と同一のものである。

- *Joy* の定義に現れる $f_J, f_{J'}$ が、 $f_J(f_{J'}(d), 0) = 1.0$ iff $d = 1.0$ を満たし、かつ、*Distress* の定義に現れる $f_D, f_{D'}$ が、 $f_D(f_{D'}(d), 0) = 1.0$ iff $d = 0$ を満たすとき、
 $\vdash \neg(Guess_Joy_{1.0}^{i,j} \varphi \wedge Guess_Distress_{1.0}^{i,j} \varphi)$
- *HappyFor* の定義に現れる $f_{HF}, f_{HF'}$ と、*Distress* の定義に現れる $f_D, f_{D'}$ が、以下のいずれかを満たすとき、
 - $f_{HF}(f_{HF'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $d_j = 1.0$ かつ、 $f_{SF}(f_{SF'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $d_j = 0$
 - $f_{HF}(f_{HF'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ かつ、 $f_{SF}(f_{SF'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $x = 0$
 - $f_{HF}(f_{HF'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $v = 1.0$ かつ、 $f_{SF}(f_{SF'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $v = 0$ $\vdash \neg(Guess_HappyFor_{1.0}^{i,j,k} \varphi \wedge Guess_SorryFor_{1.0}^{i,j,k} \varphi)$
- *Resentment* の定義に現れる $f_{RS}, f_{RS'}$ と、*Gloating* の定義に現れる $f_{GI}, f_{GI'}$ が、以下のいずれかを満たすとき、
 - $f_{RS}(f_{RS'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $d_j = 0$ かつ、 $f_{GI}(f_{GI'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $d_j = 1.0$
 - $f_{RS}(f_{RS'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ かつ、 $f_{GI}(f_{GI'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $x = 0$
 - $f_{RS}(f_{RS'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $v = 0$ かつ、 $f_{GI}(f_{GI'}(d_j, x, v), 0) = 1.0$ iff $v = 1.0$ $\vdash \neg(Guess_Resentment_{1.0}^{i,j,k} \varphi \wedge Guess_Gloating_{1.0}^{i,j,k} \varphi)$
- *Hope* の $f_H, f_{H'}$ が、 $f_H(f_{H'}(d), 0) = 1.0$ iff $d = 1.0$ を満たし、かつ、*Fear* の $f_F, f_{F'}$ が、

- $f_F(f_{F'}(d), 0) = 1.0$ iff $d = 0$ を満たすとき、
 $\vdash \neg(\text{Guess_Hope}_{1,0}^{i,j} \varphi \wedge \text{Guess_Fear}_{1,0}^{i,j} \varphi)$
- *Satisfaction* の定義に現れる $f_{St}, f_{St'}$ が、 $f_{St}(f_{St'}(x, e, l), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ を満たし、かつ、*FearConfirmed* の定義に現れる $f_{FC}, f_{FC'}$ が、 $f_{FC}(f_{FC'}(x, e, l), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ を満たし、かつ、上記の *Hope* と *Fear* に関する条件が満たされるとき、
 $\vdash \neg(\text{Guess_Satisfaction}_{1,0}^{i,j} \varphi \wedge \text{Guess_FearConfirmed}_{1,0}^{i,j} \varphi)$
 - *Relief* の定義に現れる $f_{RI}, f_{RI'}$ が、 $f_{RI}(f_{RI'}(x, e, l), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ を満たし、かつ、*Disappointment* の定義に現れる $f_{Ds}, f_{Ds'}$ が、 $f_{Ds}(f_{Ds'}(x, e, l), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ を満たし、かつ、上記の *Hope* と *Fear* に関する条件が満たされるとき、
 $\vdash \neg(\text{Guess_Relief}_{1,0}^{i,j} \varphi \wedge \text{Guess_Disappointment}_{1,0}^{i,j} \varphi)$
 - *Pride* の定義に現れる $f_{Pr}, f_{Pr'}$ が、 $f_{Pr}(f_{Pr'}(p, l), 0) = 1.0$ iff $p = 1.0$ を満たし、かつ、*Shame* の定義に現れる $f_{Sh}, f_{Sh'}$ が、 $f_{Sh}(f_{Sh'}(p, l), 0) = 1.0$ iff $p = 0$ を満たすとき、
 $\vdash \neg(\text{Guess_Pride}_{1,0}^{i,j} \varphi \wedge \text{Guess_Shame}_{1,0}^{i,j} \varphi)$
 - *Admiration* の定義に現れる $f_{Ad}, f_{Ad'}$ が、 $f_{Ad}(f_{Ad'}(p, l), 0) = 1.0$ iff $p = 1.0$ を満たし、かつ、*Reproach* の定義に現れる $f_{Rp}, f_{Rp'}$ が、 $f_{Rp}(f_{Rp'}(p, l), 0) = 1.0$ iff $p = 0$ を満たすとき、
 $\vdash \neg(\text{Guess_Admiration}_{1,0}^{i,j,k} \varphi \wedge \text{Guess_Reproach}_{1,0}^{i,j,k} \varphi)$
 - *Gratification* の定義に現れる $f_{Grtf}, f_{Grtf'}$ と、*Remorse* の定義に現れる $f_{Rm}, f_{Rm'}$ が、以下のいずれかを満たすとき、
 - f_{Grtf} が、 $f_{Grtf}(f_{Grtf'}(x, y), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ を満たし、かつ、 f_{Rm} が、 $f_{Rm}(f_{Rm'}(x, y), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ かつ、上記の *Joy* と *Distress* に関する条件が満たされる
 - f_{Grtf} が、 $f_{Grtf}(f_{Grtf'}(x, y), 0) = 1.0$ iff $y = 1.0$ を満たし、かつ、 f_{Rm} が、 $f_{Rm}(f_{Rm'}(x, y), 0) = 1.0$ iff $y = 1.0$ かつ、上記の *Pride* と *Shame* に関する条件が満たされる $\vdash \neg(\text{Guess_Gratification}_{1,0}^{i,j} \varphi \wedge \text{Guess_Remorse}_{1,0}^{i,j} \varphi)$
 - *Gratitude* の定義に現れる $f_{Grtt}, f_{Grtt'}$ と、*Anger* の定義に現れる $f_{An}, f_{An'}$ が、以下のいずれかを満たすとき、
 - f_{Grtt} が、 $f_{Grtt}(f_{Grtt'}(x, y), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ を満たし、かつ、 f_{An} が、 $f_{An}(f_{An'}(x, y), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ かつ、上記の *Joy* と *Distress* に関する条件が満たされる
 - f_{Grtt} が、 $f_{Grtt}(f_{Grtt'}(x, y), 0) = 1.0$ iff $y = 1.0$ を満たし、かつ、 f_{An} が、 $f_{An}(f_{An'}(x, y), 0) = 1.0$ iff $y = 1.0$ かつ、上記の *Admiration* と *Reproach* に関する条件が満たされる $\vdash \neg(\text{Guess_Gratitude}_{1,0}^{i,j,k} \varphi \wedge \text{Guess_Anger}_{1,0}^{i,j,k} \varphi)$
 - *Love* の定義に現れる f_L が $f_L(a, f) = 1.0$ iff $a = 1.0$ を満たし、かつ、*Hate* の定義に現れる f_{Ha} が $f_{Ha}(u, f) = 1.0$ iff $u = 1.0$ を満たすとき、
 $\vdash \neg(\text{Guess_Love}_{1,0}^{i,j} \varphi \wedge \text{Guess_Hate}_{1,0}^{i,j} \varphi)$

友好と嫌悪の感情

友好的な感情と嫌悪的な感情は同時に生起しないという性質がある。これは、エージェントがある事象や物に対して、友好的な感情と嫌悪的な感情を同時に持ち得ないということを証明できる。

- *HappyFor* の定義に現れる $f_{HF}, f_{HF'}$ と、*Resentment* の定義に現れる $f_{RS}, f_{RS'}$ が、以下のいずれかを満たすとき、
 - $f_{HF}(f_{HF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $d_j = 1.0$ かつ、
 $f_{RS}(f_{RS'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $d_j = 0$
 - $f_{HF}(f_{HF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $v = 1.0$ かつ、
 $f_{RS}(f_{RS'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $v = 0$
 - $f_{HF}(f_{HF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $LD = 1.0$ かつ、
 $f_{RS}(f_{RS'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $HTD = 1.0$ $\vdash \neg(\text{Guess_HappyFor}_{1.0}^{i,j,k} \varphi \wedge \text{Guess_Resentment}_{1.0}^{i,j,k} \varphi)$
- *HappyFor* の定義に現れる $f_{HF}, f_{HF'}$ と、*Gloating* の定義に現れる $f_{GI}, f_{GI'}$ が、以下のいずれかを満たすとき、
 - $f_{HF}(f_{HF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$ かつ、
 $f_{GI}(f_{GI'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $x = 0$
 - $f_{HF}(f_{HF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $LD = 1.0$ かつ、
 $f_{GI}(f_{GI'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $HTD = 1.0$ $\vdash \neg(\text{Guess_HappyFor}_{1.0}^{i,j,k} \varphi \wedge \text{Guess_Gloating}_{1.0}^{i,j,k} \varphi)$
- *SorryFor* の定義に現れる $f_{SF}, f_{SF'}$ と、*Resentment* の定義に現れる $f_{RS}, f_{RS'}$ が、以下のいずれかを満たすとき、
 - $f_{SF}(f_{SF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $x = 0$ かつ、
 $f_{RS}(f_{RS'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $x = 1.0$
 - $f_{SF}(f_{SF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $LD = 1.0$ かつ、
 $f_{RS}(f_{RS'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $HTD = 1.0$ $\vdash \neg(\text{Guess_SorryFor}_{1.0}^{i,j,k} \varphi \wedge \text{Guess_Resentment}_{1.0}^{i,j,k} \varphi)$
- *SorryFor* の定義に現れる $f_{SF}, f_{SF'}$ と、*Gloating* の定義に現れる $f_{GI}, f_{GI'}$ が、以下のいずれかを満たすとき、
 - $f_{SF}(f_{SF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $d_j = 1.0$ かつ、
 $f_{GI}(f_{GI'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $d_j = 1.0$
 - $f_{SF}(f_{SF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $v = 1.0$ かつ、
 $f_{GI}(f_{GI'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $v = 1.0$
 - $f_{SF}(f_{SF'}(d_j, x, v, LD), 0) = 1.0$ iff $LD = 1.0$ かつ、
 $f_{GI}(f_{GI'}(d_j, x, v, HTD), 0) = 1.0$ iff $HTD = 1.0$ $\vdash \neg(\text{Guess_SorryFor}_{1.0}^{i,j,k} \varphi \wedge \text{Guess_Gloating}_{1.0}^{i,j,k} \varphi)$

6.7.2 予想された事象の実現と非実現

予想された事象が、実現したときに生起される感情と実現しなかったときに生起される感情は同時に持ち得ないという性質がある。

- *Satisfaction* の定義に現れる $f_{St}, f_{St'}$ が、 $f_{St}(f_{St'}(x, e, l), 0) = 1.0$ iff $l = 1.0$ を満たし、かつ、*Disappointment* の定義に現れる $f_{Ds}, f_{Ds'}$ が、 $f_{Ds}(f_{Ds'}(x, e, l), 0) = 1.0$ iff $l = 1.0$ を満たすとき、 $\vdash \neg(\text{Guess_Satisfaction}_{1.0}^{i,j} \phi \wedge \text{Guess_Disappointment}_{1.0}^{i,j} \neg \phi)$
- *FearConfirmed* の定義に現れる $f_{FC}, f_{FC'}$ が、 $f_{FC}(f_{FC'}(x, e, l), t) = 1.0$ iff $l = 1.0$ を満たし、かつ、*Relief* の定義に現れる $f_{Rl}, f_{Rl'}$ が、 $f_{Rl}(f_{Rl'}(x, e, l), t) = 1.0$ iff $l = 1.0$ を満たすとき、 $\vdash \neg(\text{Guess_FearConfirmed}_{1.0}^{i,j} \phi \wedge \text{Guess_Relief}_{1.0}^{i,j} \neg \phi)$

6.7.3 推測感情の自覚

定義した 22 個の全ての感情 *Emotion* について、以下が成り立つ。

- *Emotion_arise* オペレータの肩付き添字がエージェント 1 つだけである場合
 $\vdash \text{Guess_Emotion}_f^{i,j} \phi \leftrightarrow \text{Bel}^i \text{Guess_Emotion}_f^{i,j} \phi$
 $\vdash \neg \text{Guess_Emotion}_f^{i,j} \phi \leftrightarrow \text{Bel}^i \neg \text{Guess_Emotion}_f^{i,j} \phi$
- *Emotion_arise* オペレータの肩付き添字がエージェント 2 つである場合
 $\vdash \text{Guess_Emotion}_f^{i,j,k} \phi \leftrightarrow \text{Bel}^i \text{Guess_Emotion}_f^{i,j,k} \phi$
 $\vdash \neg \text{Guess_Emotion}_f^{i,j,k} \phi \leftrightarrow \text{Bel}^i \neg \text{Guess_Emotion}_f^{i,j,k} \phi$
 また、本研究で定義した推測感情について、以下が恒真論理式となる。
- *Emotion_arise* オペレータの肩付き添字がエージェント 1 つだけである場合
 $\vdash \text{Guess_Emotion_arise}_f^{i,j} \phi \leftrightarrow \text{Bel}^i \text{Guess_Emotion_arise}_f^{i,j} \phi$
- *Emotion_arise* オペレータの肩付き添字がエージェント 2 つである場合
 $\vdash \text{Guess_Emotion_arise}_f^{i,j,k} \phi \leftrightarrow \text{Bel}^i \text{Guess_Emotion_arise}_f^{i,j,k} \phi$

7 まとめ

本研究では、外部から与えられた文から、感情を生起する人物、イベントの主体となる人物、イベント、信念となる感情を抽出し、感情生成、推測の部分に与える信念として構成する構文解析プログラムの実装を行った。また、他者の感情推測条件の定義と情報提供者に対する信頼度や推測感情を反映した感情の定義を行った。

構文解析プログラムによる信念の抽出については、長期的には、人間による入力文の調整を必要としない方向を目指すことが必要であるが、それ以外の課題を述べる。まず、現段階では『ポチは～した』といった、主語の存在する文でのみの信念生成となっているが、今後、より人間らしい感情を生起するために、会話を取り入れた感情生起を目指す必要があると考えられる。そのため、主

語なしの文において主語を補った信念の生成を行うよう実装を改良することが課題である。また、信念の中でも、イベント発生のために努力する、イベントが発生することが賞賛される、などの文の中からの抽出が困難である特定の信念については、エージェント自身が初期信念として所持することで対処しているが、初期信念として所持するだけでなく、イベント発生や環境の変化により、新たに生成することも可能であるべきであると考えられる。しかし、現段階ではこれらの信念の生成は行われていないため、今後はそれらの信念を文脈から判断、抽出するよう実装を改良することも課題である。

他者の感情推測については、自身の感情の生起条件となる信念を他者が持っていることと認識することで行うものとする。これにより、同一の条件で定義することができた。これにより、自身の感情と同様に時間経過によって推測感情の強さの減衰も表現できるようになっている。従来の論理体系では、*Happyfor*(共に喜ぶ)などの他者にとって望ましいイベントに対する感情を、他者の信念を認識することで生起していたが、本来は相手の感情に沿っての感情生起となる方が自然であると考えられる。本研究では推測感情を取り入れたことにより、相手の感情を推測したうえでの感情生起を行うことが可能となり、より自然な感情を持つことができたと考えられる。また、信頼度についても、情報を提供された際に好意嫌悪同様に相手によって情報の受け取り方はさまざまであると考えられるため、信頼度を反映させることによってより人間らしい幅のある感情を持つことが可能となった。しかし、本論理体系ではある事柄を認識した際に生起した感情が、真逆の事柄を認識した場合に消去されず残り続けてしまうため、今後も検討していく必要がある。それに加え、感情の強さを決める関数や減衰させる関数についても適当な値を返す関数としか決められておらず、それらについての検討も今後の課題である。

8 謝辞

本研究の遂行及び本論文の作成にあたり、指導教員の新出尚之准教授から丁寧なご指導、ご助言を賜りました。心からの感謝の気持ちと御礼を申し上げます。謝辞にかえさせていただきます。

参考文献

- [1] Carole Adam, Andreas Herzig and Dominique Longin: A logical formalization of OCC theory of emotions, *Synthese*, Vol.168, No.2, pp.201-248 (2009).
- [2] A. Ortony, G. L. Clore and A. Collins: *The Cognitive Structure of Emotions*, Cambridge University Press (1988).
- [3] Anand S. Rao, Munindar P. Singh and Michael P. Georgeff: *Formal Methods in DAI: Logic-Based Representation and Reasoning*, Massachusetts Institute of Technology (1999).
- [4] Rafael H. Bordini, Jomi Fred Hübner and Michael Wooldridge: *Programming MultiAgent Systems in AgentSpeak using Jason*, John Wiley & Sons (2007).
- [5] 藤田恵, 片山寛子, 新出尚之, 高田司郎: 実世界の多様性に適応した BDI ロボットについて, 情

- 報処理学会論文誌数理モデル化と応用, Vol. 5, No.1, pp.50–64, (2012).
- [6] 今井那緒: OCC theory に基づく感情表現と時間経過に関する論理モデル, 2017 年度修士論文, 奈良女子大学大学院人間文化研究科情報科学専攻 (2018).
 - [7] 浅井沙良: エージェントの感情生起について - 新たな感情の追加 - , 2017 年度卒業論文, 奈良女子大学生生活環境学部情報衣環境学科生活情報通信科学コース (2018).
 - [8] 塚本麻衣: 感情表現をもつ自律エージェント, 2017 年度卒業論文, 奈良女子大学生生活環境学部情報衣環境学科生活情報通信科学コース (2018).
 - [9] 吉井優佳: 自律エージェントの感情表現の度合いと他者からの情報の信頼性について, 2018 年度卒業論文, 奈良女子大学生生活環境学部情報衣環境学科生活情報通信科学コース (2019).
 - [10] 堀宮ありさ, 坂野遼平, 佐藤晴彦, 小山聡, 栗原正仁, 沼澤政信: Twitter における発話者へのリプライを用いたユーザ感情推定手法, Proceedings of DEIM 2012 (2012).
 - [11] 遠藤大介, 齋藤真実, 山本和英: 係り受け関係を利用した感情生起表現の抽出, 言語処理学会第 12 回年次大会発表論文集, pp.947-950, (2006).
 - [12] Tang Ba Nhat, 目良和也, 黒澤義明, 竹澤寿幸: 音声に含まれる感情を考慮した自然言語対話システム, Proceedings of Human-Agent Interaction Symposium 2014 (2014).
 - [13] 石川葉子, 水上雅博, 吉野幸一郎, Sakti Sakriani, 鈴木優, 中村哲: 感情表現を用いた説得対話システム, 人工知能学会論文誌, Vol. 33, No. 1, pp. DSH-B_1-9 (2018).
 - [14] 筒井依子 (作), 林明子 (絵): はじめてのおつかい, こどものとも傑作集, 福音館書店 (1977).