

構造化された情報を会話表現に変換する技術の実現と評価

磯和 隆道^{1,a)} 小川 浩平² 佐藤 理史² 石黒 浩¹

受付日 2022年4月7日, 採録日 2022年10月4日

概要: 近年の技術の発展により, 数多くの情報が様々なメディアによって伝達されている. また, 情報を会話形式で伝えることで, 人々の注意を喚起し, 効果的に情報伝達が可能であることが明らかになっている. 情報を会話形式で伝えるためには, 情報を人らしい会話へと自律的に変換するシステムが必要である. そこで, 本研究では, フレーム構造を用いることで情報を知識として構築し, 2つの不完全な知識構造を持つエージェントがそれぞれの持つ知識をすり合わせ, お互いを理解しようとする試みを会話として表現することで, 構造化された情報を2つのエージェントによる会話表現に変換するシステムを実現した. さらに, システムが出力した会話が明確な不自然さや不快感を与えない会話を生成できていたか, 加えてどのような出力会話が, より観察者に不自然さや不快感を与えず, 観察者に効果的かつ継続的な情報を伝達する可能性があるかを調査した実験を行った. 実験により, 提案システムは情報を会話へと構成し, 伝達するシステムとして, 観察者に明確な不自然さや不快感を与えずに機能することが明らかになった. また, 2つのエージェントによる, 「同意」などの振舞いを含む肯定的な会話や, 2つのエージェントの少なくとも一方が情報を知っている状態での会話を用いることで, より効果的で継続的な情報伝達の可能性が示された.

キーワード: 情報伝達システム, 知識表現, 複数エージェント対話

Realization and Evaluation of Technology for Converting Structured Information into Conversation

TAKAMICHI ISOWA^{1,a)} KOHEI OGAWA² SATOSHI SATO² HIROSHI ISHIGURO¹

Received: April 7, 2022, Accepted: October 4, 2022

Abstract: Due to recent technological developments, many information has been conveyed by various media. In addition, it has been shown that conveying information in a conversational style can arouse people's attention and effectively convey information. In order to convey information in a conversational style, a system that autonomously transforms information into human-like conversation is necessary. In this study, we have realized a system that transforms structured information into conversations by two agents. To achieve this, the system constructs information as knowledge by using a frame structure, and two agents with incomplete knowledge structures reconcile their knowledge and represent their attempts to understand each other as a conversation. In addition, experiments were conducted to investigate whether the system can generate conversations that did not cause clear discomfort and what kind of output conversations were more likely to convey information effectively and continuously. Experiments revealed that the proposed system works as a system for transforming information into conversations without causing any obvious discomfort. We also found that the use of positive conversations by the two agents that include behaviors such as "agreement" and conversations in which at least one of the two agents knows the information can convey information more effectively and continuously.

Keywords: system of conveying information, knowledge representation, conversations by multiple agents

¹ 大阪大学大学院基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science, Osaka University,
Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan

² 名古屋大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya,
Aichi 464-0814, Japan

^{a)} isowa.takamichi@irl.sys.es.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

近年の技術の発展により, 情報伝達の手法が多様化しており, ニュースや天気などの客観的情報や, お勧めなどの主観的情報が, 写真, 動画, ロボットなど, 様々なメデ

アによって伝達されている。その中でもロボットや、アバターなどのエージェントは、会話による情報提供や非言語的な情報提供が可能なることから、情報伝達システムとして注目されており、ヒューマンロボットインタラクションや、バーチャルリアリティの分野では多くの研究が試みられている。

たとえば、SoftBank 社が販売するヒューマノイドロボットである Pepper [1] はその一例であり、店舗やイベントなどで商品の紹介をしており、情報提供メディアとして利用されている。Shiomi ら [2] はショッピングモールでのロボットによる広告の有用性を確認し、また、森ら [3] はバーチャルエージェントを用いることで、人々の注意を引く、効果的かつ継続的な情報伝達が可能であることを示している。

情報を伝達する手法の中でも、情報を会話によって伝えることで、情報を効果的に人の記憶に残すことができるパッシブソーシャル対話が提案されており、これをロボットに適用することで、人々の興味を喚起し、情報伝達システムとして有効に働くことが示されている [4], [5]。

したがって、パッシブソーシャル対話を用いた、ロボットやバーチャルエージェントに代表される自律的なエージェントによる情報伝達は、より人々の興味を喚起し、さらに情報をより人々の記憶に残す、継続的で効果的な情報伝達となる可能性がある。

2つのエージェントによる会話を観察することを通じた情報伝達には、まず、2つのエージェントを用いて、伝達したい情報を、人同士が行う会話のような文章に構成する技術が必要となる。たとえば、「明日の大阪の天気は晴れである」といった情報を、人らしい会話文へと構成するには、まず片方のエージェントが明日の天気を尋ね、それに対してもう一方のエージェントが回答する、といった会話生成技術が必要である。

そこで、本研究では、あらかじめ属性が定義されている情報群を二分割し、二分割した情報群を2つのエージェントが、知識としてそれぞれが保持し、知識をすり合わせる過程を会話として表現することで、情報の会話的伝達の実現を目指す。また、情報を2つに分割し、それぞれの情報を知識として保持した2つのエージェントを用いて会話を構成する方法により、情報の分割方法に応じて多種多様な文章が生成でき、それが、人らしい会話を表現できる可能性がある。

実現に向けて、本研究では、伝達したい情報を2つのエージェントによる会話へと構成するシステムの開発を行い、本システムが出力した会話の、指定した実験設定における振舞いを分析し、考察する。具体的には、提案システムが、人同士が行う会話のような、自然で、不快感のない会話を生成できていることを検証する。加えてどのような出力会話が、より観察者に自然さを与え、不快感を感じさ

せず、観察者に効果的かつ継続的な情報を伝達する可能性があるかを調査する。

本稿では、2章において本研究の位置づけを明らかにし、3章では情報を会話形式に構成するアルゴリズムについて説明する。4章では、提案システムが出力した会話を与える観察者に対する効果について調査した実験と、実験から得られた結果について詳述する。5章では結論および制限について説明し、6章において今後の展望について述べる。

2. 関連研究

2つのエージェントの会話を人々が観察することで情報を効果的に伝達するシステムの実現に向けて、情報の伝達性の向上と、エージェント対話技術について注目する。本章では、これらに関する研究について詳述することで、本研究の立ち位置を明確にするとともに、本研究で解くべき問題について述べる。

2.1 エージェント対話システム

これまでにロボットを含めたエージェント対話技術として、チャットボット対話技術や、人対ロボットの対話技術などに関する様々な研究が進められている。それらをふまえて、本研究の目的である、2つのエージェントの会話技術に必要とされる技術および知見について述べる。

エージェント対話システムは、対話によって、決められたタスクを実行するタスク指向型対話システムと、タスクの実行を目的とせず、ユーザと雑談を行う非タスク指向型システムに分類される。

タスク指向型対話システムでは古くは、データベースを用いたルールベースで実現するものが多くみられた [9], [10]。最近では、GPT-2 [11] に代表される大規模言語モデルを用いて、End-to-End の対話システムが実現されており [12], [13]、スマートスピーカなどにみられるように、実用段階へと応用され、多くのサービスが利用されている。

非タスク指向型対話システムについて、最近では、Mitsuku [14] が人工知能として最も人間に近いと判定された会話ボットに対して毎年授与されるローブナー賞を5度受賞しており、人間らしい会話をすることが知られている。さらに、Meena [15] は「普通に会話する」性能を知るためのテストである SSA (Sensibleness and Specificity Average) において、人間が 86%、Mitsuku が 56% であるのに対し、79% のスコアを記録している。また、Blenderbot [16] については、評価者の 67% が Meena と比べ、BlenderBot をより人間的なものとして選択したことが報告されており、非タスク指向型対話においては、短いターン数の会話であれば、人間に近い評価値が得られている。日本国内においても、Meena や Blenderbot で用いられる、大規模な Transformer モデルを日本語で事前学習させ、雑談対話システムに適用する研究が進んでおり [17]、日本語の雑談対話システムに

においても、人間に近い評価値が得られる可能性がある。

しかしながら、対人エージェントの対話システムでは、いまだに対話破綻がみられることがあり [18], 人間の発話に対し、エージェントが、必ずしも、自然で矛盾のない会話を生成できるとはいきれない。

さらに、Transformer ベースの大規模言語モデルを用いることで、決められた単語や語句などの情報を文章に組み込むことは可能だが [6], [7], 伝達したい情報の内容が変化してしまう可能性がある。たとえば「暑い」という情報を伝達したい場合、GPT-2 など、End-to-End のネットワークモデルの場合、「暑いわけではない」などの会話文章が生成される可能性がある。また、それまでの会話で「大阪の天気」の話をしていながらもかわらず、「ニューヨークは暑いらしいよ」というような、元の情報には含まれていない意味を持つ単語を含めて生成してしまう可能性が考えられる。したがって、End-to-End のネットワークモデルを用いるよりも、会話文章のテンプレートを用意し、そのテンプレートに伝達したい情報をあてはめて会話を生成する手法の方が、情報の内容を変化させず、過不足なく伝達するという点で優れていると考える。会話文章のテンプレートをつなぎ合わせ、会話を生成するためには、隣接ペア [8] のように、会話として破綻が起りにくいパターンに合わせ、テンプレート文章を分類し、決められた順番に従ってテンプレートを並べる必要がある。そこで、テンプレートを破綻の起りにくい順番で遷移していく状態遷移モデルを用いることで、この手法が実現できると考える。

2.2 エージェントによる情報の伝達性の向上に関する研究

ここでは、情報を伝達する態勢を情報の受容者に整えてもらうことで、情報の伝達性を向上させるための方法をこれまで行われてきた研究を交えながら述べる。

Reshmashree ら [19] は、CG で構築した複数のバーチャルヒューマンを用い、同じ情報源による説得を行った場合、バーチャルヒューマンの見た目や性別にかかわらず、2 人でのバーチャルヒューマンの設定が 1 人での設定と比較し、説得力があることを示している。

また、より効果的に情報を伝達するための方法として、パッシブソーシャルという会話形態がある。パッシブソーシャルとは 2 つのエージェント (人間も含める) を用いて対話をさせ、その様子を第三者が観察するという対話形態である。これを情報伝達に応用したものがパッシブソーシャルメディアであり、これは、会話によって観察者に情報を伝える。図 1 はエージェントをロボットとしたパッシブソーシャルメディアの例である。Hayashi らの研究 [4] が示しているように、ロボットを用いたパッシブソーシャルメディアは情報を提供するものとして確立しており、1 体より 2 体のロボットの方が人の足を止めやすく、情報をより効率的に伝えられることが分かっている。また、同じ

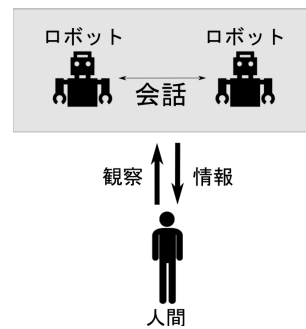


図 1 パッシブソーシャルメディアにおいてエージェントをロボットに適用した例

Fig. 1 An example of passive-social media in which we replace an agent with robots.

く Hayashi らのロボット漫才 [5] では、ロボットにおける漫才と人間における漫才を比較した実験をしており、同等の自然さが実現しているため、パッシブソーシャルメディアは人間による漫才と同様に、エンタテインメントの分野でも活躍できるほどに情報を伝える媒体として優れたものであるといえる。

また、人に酷似した構造を持つアンドロイドロボットは、言葉だけでなく、非言語的な手法を用いた感情表現などの、人と似通ったモダリティによって情報伝達が可能となり、従来のメディアでは困難な、主観的な情報も効果的に伝達できることが示されている [20]. このようなアンドロイドロボットをパッシブソーシャルメディアとして利用し、観察者とのインタラクションを加えることで、より人の記憶に残る情報伝達が可能であることが示されている [21].

これらの研究より、与えられた情報を用いて観察者をより納得させることを情報の伝達性と定義すると、複数のエージェントによる会話を観察されるというパッシブソーシャルという形態を利用することで、情報の伝達性が向上する可能性がある。また、バーチャルヒューマンだけでなく、ヒューマノイドロボットやアンドロイドロボットなどの、エージェントが持つ身体的特徴を活用することで、様々な状況やタスクに応用できる可能性がある。

パッシブソーシャル対話の研究では、ロボットは決められた会話をしており、2 つのエージェントがある情報を自律的に会話に構成する技術はまだ開発されていない。そこで、状態遷移モデルを用いた、情報の会話的構成システムを提案し、指定した実験設定の下でのシステムの振舞いを評価することを本研究の位置づけとする。

3. 情報の会話的構成システム

3.1 情報を会話形式へと構成するために

情報を人らしい会話へと構成するためには、会話を行う 2 つのエージェントが、情報を交換する様子を会話として表現する必要がある。たとえば、「明日の天気は晴れである」という情報を会話へと構成するには、まず片方が明日

の天気を尋ね、それに対してもう一方が回答するという手順が必要である。

会話は人の日常生活において、頻繁に用いられるコミュニケーション手段であり、多くの知識の獲得や、知識の伝達が会話を通じて実現されているといわれている [22]。そのため、お互いの知識の獲得や伝達、すなわち、知識のすり合わせの過程が定式化できれば、その過程から人らしい会話を生成できる可能性がある。

そこで、本研究では、情報を会話へと構成する方法の1つとして、伝達する情報の集合である、基となる知識を分割し、いくつかの情報を与えられた2つのエージェントが、それぞれ持つ知識のすり合わせを行うことで、基となる知識を復元していく過程を、会話として表現するという方法を採用した。

また、2つのエージェントがそれぞれの知識を保持する際、それぞれ不完全な知識を保持するように分割する。不完全な知識とは、伝達したい情報群である完全な知識から、1つ以上の情報が欠けた知識のことである。これにより、2つのエージェントが共有する情報と共有しない情報が生じ、共有する情報について話す際は、2つのエージェントが同一の話題を話しているように観察され、また、共有しない情報を話す際は相互の知識を理解する試みを表現できるため、会話を多様化させることが可能となる。

3.2 システムのアルゴリズム

2つのエージェントの知識のすり合わせを会話として適切に表現するためには、最適な知識の表現方法および知識のすり合わせ方を明らかにする必要がある。

まず、知識の表現方法として、本研究ではフレーム構造を導入する。フレーム構造とは、複数の、スロットと呼ばれる属性値と、そのスロットに属するファセットと呼ばれる具体的な値からなる、知識表現方法の1つである [23]。本研究では、具体的に、図2に示すような、各話題（この場合「天気」や「本」）に対して、あらかじめ定義されたスロットと、それに属するファセットで知識を表現する。ここで、スロットとは図2の「時間」や「場所」などの属性を意味し、ファセットとは、スロットに属している「今日」や「大阪」といった具体的な情報を意味する。

埋められていないスロット（図2の左側のフレーム構造の場合は「気温」が埋められていないスロットである）に属するファセットを情報によって埋める処理により、エージェントの知識の獲得が可能となる。

次に、知識のすり合わせ方法について述べる。会話のターンテイクはパターンで表現できることから、知識のすり合わせの方法に状態遷移モデルを用いることが適切であると考えた。そこで本研究では、知識に含まれる情報のやりとりを、図3に示す状態遷移モデルに基づいて行う。図3ではそれぞれのノードが会話の状態を示しており、状

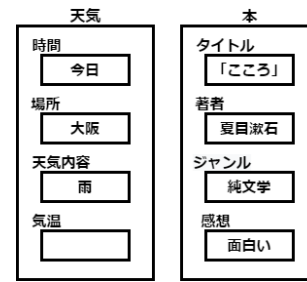


図2 フレームを用いた知識構造。話題フレーム（「天気」や「本」）が持つスロット（「時間」や「場所」などの属性）をあらかじめ決めておき、スロットに属するファセット（「今日」、「大阪」など）を埋める形で知識を表現する

Fig. 2 Knowledge structures using the frame. Slots (“time” and “place”) of the topic frame (“weather” and “book”) is decided in advance, and the knowledge is represented by filling the facet.

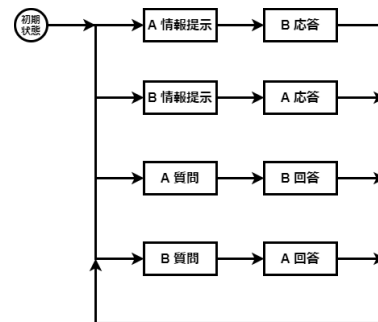


図3 すり合わせにおける状態遷移モデル。初期状態から開始し、最初に片方の情報提示もしくは質問があり、それに回答する形でもう一方の応答や回答がある。それぞれの状態間に個別に状態遷移確率が設定されている

Fig. 3 State transition model we use. This model starts from the initial state. Next, one provide information or question and the other answer or response it. The state transition probability is set between each state.

態間において状態遷移確率が個別に設定されている。2つのエージェントとは異なる、統括システムが状態遷移を管理し、現在の状態を確率的に決定する。2つのエージェントは決定された状態に従い、情報提示であればフレーム内のファセットを1つ提示し、質問であればフレーム内の足りないファセットを埋めるために情報を要請する処理を行う。

図3に示す状態と、交換する具体的なファセットによって、2つのエージェントの情報の交換が可能になる。各状態間において発話する予定の文章を、ファセットが入る部分を空白にしてあらかじめ用意しておき、実際に会話を行う際に、会話文の空白部分をファセットで埋める処理を行うことで会話文を生成する。

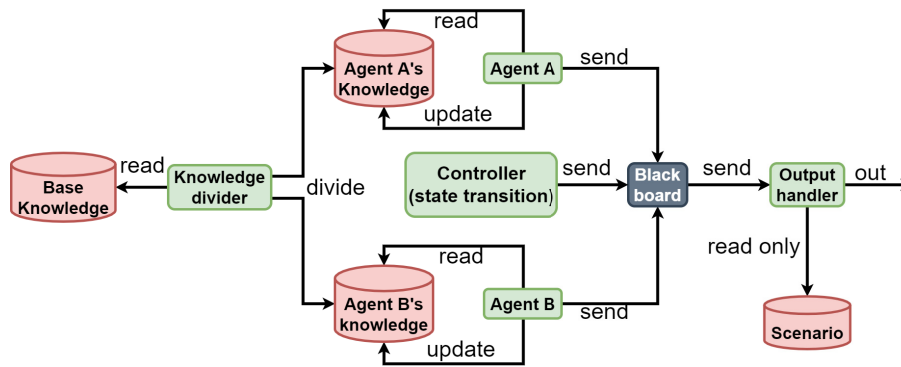


図 4 システム全体図. 完全な知識構造が “Base Knowledge” に格納されており, それを “Knowledge divider” が不完全な知識 2 つに分割している. 分割された知識が 2 つのエージェントの知識データベースとなり, 2 つのエージェントはそれぞれの知識を参照しながら, 会話によって知識をすり合わせ, 足りない知識を埋める

Fig. 4 System diagram. “Base Knowledge” stores the complete knowledge and “Knowledge divider” divides it into two incomplete knowledge. The divided knowledge is the two agents’ knowledge, and the two agents refer to each knowledge and reconcile the knowledge through conversation to fill in the missing knowledge.

3.3 システムの実装

上記をもとに, 情報の会話的構成システムを作成した. このシステムの全体の流れを以下に述べる. 各モジュールの名称とその役割, また, データの保持の仕方については, 本節の後半に詳述する.

初めに, “Knowledge divider” は “Base Knowledge” を, 2 つの不完全な知識構造である, “Agent A’s Knowledge” と “Agent B’s Knowledge” へ分割し, それぞれのエージェントの知識構造を構築する. “Base Knowledge” にはあらかじめ完全な知識構造が構築されている. “Agent A” と “Agent B” は, “Controller” が決定した会話の状態に基づいて, お互いが持っている知識をすり合わせる. “Black board” は, 会話状態や交換した知識の内容をログとして保持し, そのログと, “Scenario” データベースを参照しながら, “Output handler” は会話を生成する. 全体のシステム図を図 4 に示し, 各モジュールについて順次詳述する.

3.3.1 データベース

Base Knowledge

知識構造は RDBMS を用いて保持される. 図 2 に示すように, ある話題に対して, それに付随するスロットがあらかじめ決められており, スロットに属するファセットを充填する形で知識が保持されている. スロットとファセットの集合が 1 つのフレームを形成する. すべてのファセットが情報によって充填された, 完全な知識構造である “Base Knowledge” が, “Knowledge divider” により, 2 つの不完全な知識構造である, “Agent A’s Knowledge” ならびに “Agent B’s Knowledge” へと分割される.

Agent’s Knowledge

各エージェントが保持する知識構造であり, “Knowledge divider” が “Base Knowledge” を 2 つに分割することで作

成された, 不完全な知識構造である. “Base Knowledge” が, ファセットが情報によってすべて埋められているのに対し, あえてファセットが部分的に欠落させられているため, 不完全な知識構造と称している. 本システムでは, 明示的に 2 つのエージェントの知識構造を 2 つのデータベースへと分割しているが, 2 つのエージェントが持つファセットについて, どちらも埋まっていない場合は 0, 片方のみ埋まっている場合は 1 というように, 1 つのデータベースで表すことも可能である.

Scenario

このデータベース内には, 各エージェントが会話として交わす文章が保持されている. 各スロットごとに会話状態の数 (図 3 の「情報提示」, 「応答」, 「質問」, 「回答」の 4 種類) に加え, 応答と回答に関しては, その直前の会話状態である, 情報提示と質問の内容に対し, エージェント自身が知っている情報だった場合と知らない情報だった場合についてそれぞれ文章群がデータベースに用意されている.

3.3.2 データ処理モジュール

Black board

あるモジュールから送られてきたデータを保持し, 他モジュールへブロードキャストするモジュールである. 通信はこのモジュールを含め, すべてテキスト情報の交換で行う. 他のモジュール間の仲立ちを担うモジュールであり, モジュール間 (データベースは含まない) の情報の交換はこのモジュールが必ず仲介する.

3.3.3 会話生成モジュール

Output handler

このモジュールは, エージェント間が交わした情報に基づき, “Scenario” データベースを参照し, 具体的な文章を生成するモジュールである.

Knowledge divider

あらかじめ用意された完全な知識構造を、不完全な2つの知識構造に分割するモジュールである。

Controller

このモジュールは、図3の会話状態を遷移確率に基づいて決定するモジュールである。それぞれの状態間の状態遷移確率は可変であり、会話の状態の制御を容易に行うことができる。状態遷移確率に基づき、会話状態を遷移するシステムであり、本研究独自のシステムである。遷移した会話状態に従って、2つのエージェントが会話をする。

Agent

図4に示されているように、エージェントは2つあり、同一モジュールが2つ作動する。“Controller”が決定した会話状態を元に2つのエージェントが知識のすり合わせを行う。たとえば“Controller”が図3の「A 情報提示」、「B 応答」、「B 質問」、「A 回答」の順に状態遷移を行った際の2つのエージェントの処理を以下に詳述する。

まず、エージェントAは自身の知識データベースから話すフレームをランダムに選択する。そして、話題の種類（「天気」や「本」）、フレームID、ならびにその話題に付随したファセットのうち、1つのファセット（「今日」や「大阪」など）を“Black board”を通じてエージェントBに渡す。これが「A 情報提示」の処理となる。次にエージェントBは渡されたファセットを自身のデータベースが保持しているか検索し、「保持」か「不保持」かの情報を“Black board”に渡す。これが「B 応答」の処理となる。さらにエージェントBは自身のデータベースより、保持していないスロット名（「時間」や「場所」などのスロットの属性の名前）を“Black board”を通じてエージェントAに渡す。これが「B 質問」の処理である。最後にエージェントAは受け取ったスロット名を確認し、ファセットを保持していた場合はその具体的な情報を、保持していなかった場合は「不保持」という情報を“Black board”に渡す。これが「A 回答」の処理となる。

このようにそれぞれの会話状態で異なる処理をし、知識を相互に確認したり、要請し合ったりすることで知識のすり合わせを表現する。それぞれのエージェントは、自身のデータベースとは別に、相手のエージェントのデータベースを疑似的に持っており、知識をすり合わせる過程で、自身のデータベースと自身の中にある、疑似的な相手のデータベースを更新する。自身のデータベースと疑似的に持っている相手のデータベースが一致したときに知識のすり合わせ処理を終了する。

3.4 出力結果

表1に上記のシステムが動的に生成した会話の例をいくつか示す。たとえば、Example 1は、Aが「今日」、「大阪」で「雨」というファセットを持つフレームを保持し、

表1 提案システムの出力結果 (例)

Table 1 Output example of the proposed system.

Example 1	Example 2
A: 雨か～	A: タイトルって「ころ」だよな？
B: 雨なんだ	B: うん。
B: どこで？	B: 夏目漱石の作品だっけ？
A: 大阪で。	A: そうだよ。
B: いつの話？	B: ジャンルって何になるのかな？
A: 今日だよ。	A: 純文学かな。
A: 気温は？	B: 面白いよね～
B: 暑いらしいよ	A: そうだよな

Bは「暑い」というファセットのみを保持しており、他のファセットは空であるときの会話の生成例である。状態遷移は「A 情報提示」、「B 応答」、「B 質問」、「A 回答」、「B 質問」、「A 回答」、「A 質問」、「B 回答」の順で遷移した例である。エージェントは、あらかじめ定義していた、「天気」という話題に対して付随するスロットである、「時間」、「場所」、「天気内容」、「気温」の中で、欠けた情報を質問したり、保持している情報を提示したりする処理をしている。Example 2は、Aが「ころ」、「夏目漱石」、「純文学」、Bが「ころ」、「夏目漱石」、「面白い」というファセットを保持し、「A 情報提示」、「B 応答」、「B 情報提示」、「A 応答」、「B 質問」、「A 回答」、「B 情報提示」、「A 応答」の順で状態遷移した会話である。

提案システムはこのように、状態遷移モデルに沿って会話状態が遷移し、会話状態にもなつて2つのエージェントが知識をすり合わせるシステムである。本システムは、2つのエージェントの知識が分割され、それらをもとに会話を生成するため、2つのエージェントの知識の偏りによって様々な会話が出力される。Example 1のように片方のエージェントが持つ情報が多い場合、物知りな人が、一方的に知識を教えているような会話が出力される。また、Example 2で出力されている、「面白い」といった個人の意見に基づく情報も扱うことができているため、2つのエージェントの性格や間柄を会話に組み込みやすいように設計されている。

4. 出力会話の観察者に対する効果を検証する実験

本システムの目的は、2つのエージェントの会話の観察を通じた、効果的な情報伝達であるため、文法的な適切さに加え、観察者が2者の対話に主観的な不快感を覚えないような会話文の生成が必要である。加えて、より効果的かつ継続的な情報伝達を実現するためには、観察者に情報を受容する態勢を整えてもらうことが必要であり、そのためには、エージェントどうしのやりとりを単なる情報の交換ではなく2つのエージェントが積極的に参与した会話であるととらえ、会話に興味を持たせる必要があると考えた。

3.4 節で述べたように、提案システムからは、2つのエージェントが保持する知識の偏りにより、多種多様な会話が出力される。そのため、出力される会話が知識の偏りの違いによりどのような特徴を持つかを調査する必要がある。そこで本実験では、知識の偏りについて、2つのエージェントが持つ情報の網羅性と、2つのエージェントによる主観的情報の共有の有無、という2つの観点から調査を実施する。

情報の網羅性とは、2つのエージェントに分割した情報が、フレームに入力された情報を網羅しているかどうかを指す。網羅していない場合は、片方からの問いかけに対して「分からない」という反応が出力される場合がある。加えて、網羅している情報が限りなく少ない場合は、情報を補完するための質問に対して、「分からない」という反応が互いに繰り返されることになる。このような会話には意味的な齟齬はないものの、観察者が自然さを感じなかったり、不快感を感じ、興味を失ってしまったりする可能性があるため、2つのエージェントに対し、フレームに入力された情報をどの程度網羅的に分割することが適当かを検証する必要がある。

次に、主観的情報の共有の有無とは、2つのエージェントが、図2にある「感想」といった個人の意見に基づく情報を共有しているか、共有していないかの違いを指す。2つのエージェントが主観的な情報を共有するということは、たとえば、図2にある「面白い」という情報を双方が保持することであり、会話としては、「面白いよね」「私も面白いと思う」という出力がされる。一方、2つのエージェントが主観的な情報を共有していないということは、片方が主観的情報を保持していない、もしくは双方が保持していないことであり、片方が保持していない場合、「感想どう?」「面白いと思う」という会話や、「面白いよね」「そうなんだ」といった会話が出力される。主観的情報を共有した場合、「同意」や「同調」を表す肯定的な文章が出力されるため、観察者が、不快感を感じにくく、より人らしい会話として認識される可能性がある。したがって、エージェントの主観的情報を共有するべきかを検証する必要がある。

そこで本実験では、会話における2つのエージェントの情報の網羅性および主観的情報の共有の有無によって、(1)出力会話に対する快・不快感をどの程度感じるか、(2)出力文章を単なる文字情報の交換ではなく、2つのエージェントが積極的に参与した会話文章であると感じるか、(3)会話に興味を感じるか、の3点から、提案システムがどのような会話を出力すればより効果的かつ継続的な情報伝達を実現できる可能性があるかを検証する。ここで、本稿では、上記の3つの観点をそれぞれ(1)「適切性」、(2)「会話感」、(3)「興味」と呼称する。

具体的には、まず、上述した情報の網羅性および主観的情報の共有の有無の影響について2つの実験を通じて検証

する。次に、2つの実験結果を通じて、文法的な間違いや、会話として不適切な表現などに起因する、出力された会話に対して観察者が感じる自然さおよび快・不快感について検証する。

4.1 実験方法

本実験では、出力された会話の「適切性」、「会話感」、「興味」の3つの観点から、提案システムがどのような会話を出力すればより効果的かつ継続的な情報伝達を実現できるか、以下の2つの仮説を通じて検証する。

仮説1 フレームに入力された情報を網羅するように分割されたエージェント対話の方が、網羅されない場合よりも、「適切性」、「会話感」、「興味」の3つの観点すべてにおいて、観察者に好意的な印象を与える。

仮説2 2つのエージェントが主観的な情報を共有する方が、主観的な情報を共有しない場合よりも、「適切性」、「会話感」、「興味」の3つの観点すべてにおいて、観察者に好意的な印象を与える。

2つの仮説の検証のため、本実験では、2つの実験を実施した。仮説1については4.3.1項に、仮説2については4.3.2項に、それぞれ詳述する。また、2つの実験で用いた会話が実験参加者に与えた快・不快感に関して、4.3.3項で「適切性」の観点から検証する。

4.2 分析方法

被験者の会話文章に対する快・不快感を評価するために「会話の自然さ」の指標を、被験者の会話者に対する快・不快感を評価するために「会話をしている2つのエージェントの親密さ」の指標を用いる。以上の2つの指標により、出力会話の「適切性」を評価する。

次に、出力文章を単なる文字情報の交換ではなく、2つのエージェントが積極的に参与した会話文章であると感じるかということの評価するために「会話の盛り上がり」の指標を用いる。この指標により、出力会話の「会話感」を評価する。

最後に、会話へ興味を持ったかを評価するために「会話への興味」の指標を用いる。この指標により、観察者の出力会話への「興味」を評価する。

上記の4つの指標を調査するために、具体的に以下の4つの質問を用いる。

● Q.1 会話は自然だったか?

システムの目的は、2つのエージェントの会話の観察を通じた、効果的な情報伝達であるため、文法的な適切さに加え、観察者が2者の対話に主観的な不快感を覚えないような会話文の生成が必要であると述べた。そこで、出力された2つのエージェントの会話文を、観察者が、文法的に適切な、違和感のない人らしい自然な会話として認識することができたかどうかを評価

するために、本質問を設定する。また、本質問項目は「適切性」に対応する。

● Q.2 2人に親密さを感じたか？

システムの目的は、2つのエージェントの会話の観察を通じた、効果的な情報伝達であるため、文法的な適切さに加え、観察者が2者の対話に主観的な不快感を覚えないような会話文の生成が必要であると述べた。そこで、出力された2つのエージェントの会話者に感じた主観的な快・不快感を評価するために、本質問を設定する。本実験では、敬語を使わないような知り合い同士での雑談を想定した会話を出力しているため、2人の会話者の親密度が低く、よそよそしいと感じた場合に親密度が高い場合と比べ、観察者は不快感を感じやすいと考えたため、会話者に対する快・不快感を評価するためにこの質問を設定している。また、本質問項目は「適切性」に対応する。

● Q.3 会話は盛り上がっていたか？

効果的かつ継続的な情報伝達を実現するためには、観察者に情報を受容する態勢を整えてもらうことが必要であり、そのためには、エージェントどうしのやりとりを単なる情報の交換ではなく、2つのエージェントが積極的に参与した会話であるととらえることが必要であると述べた。そこで、2つのエージェントが積極的に会話に参与していることで、会話が盛り上がると考えるため、本質問を設定する。また、本項目は「会話感」に対応する。

● Q.4 会話に興味を引かれたか？

効果的かつ継続的な情報の伝達を可能にするためには、観察者に対し、会話に興味を持たせる必要があると述べた。そこで、観察者が出力会話に興味をいだいたかどうかを評価するために、本質問を設定する。また、本質問項目は「興味」に対応する。

4つの指標について、それぞれ0から100までの101段階でアンケート評価を行うことで、出力会話の「適切性」、「会話感」、「興味」を評価し、それぞれの実験で、得られた評価得点を分析することで、仮説の検証を行った。

4.3 実験

4.3.1 情報の網羅性による影響を調査する実験

提案システムが、完全な知識を2つの不完全な知識に分割した際、2つのエージェントの知識の偏りは、図5に示すようなグループのいずれかに属する。1属はAがBの持つ情報を包含しており、2属はAとBが一部の情報を共有している。3属はAとBが情報を共有しておらず、4属はAとBの知識が一致している状態である。1属と5属、2属と6属、3属と7属、4属と8属のペアはそれぞれ対応関係にあり、2つのエージェントの知識に含まれる情報が、分割する前のフレームに入力された知識を網羅するか否か

※各属の1番外枠が完全な知識

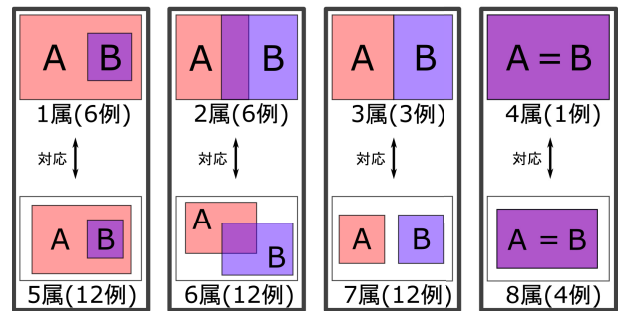


図5 2つのエージェントの知識の偏りを示した図。知識の偏りは図の1～8属にグループ分けすることができる。また、1属と5属、2属と6属、3属と7属、4属と8属のペアはそれぞれ、2つのエージェントの知識が完全な知識を網羅するか否かを示しており、対応関係にある。括弧内は実験に用いた、各属に属する会話の数である

Fig. 5 This figure shows the distribution of knowledge of two agents. The distribution of knowledge can be grouped into the 1st to 8th type in the figure. In addition, the pairs of 1st & 5th type, 2nd & 6th type, 3rd & 7th type, and 4th & 8th type indicate whether or not the knowledge of 2 agents cover complete knowledge. And these pairs in a correspondence relationship.

表2 2つのエージェントが持つ情報の網羅性による影響を調査した実験で用いた会話例

Table 2 Conversation examples used in the experiment investigating the effect of whether the knowledge possessed by the two agents cover the complete knowledge.

1属に属する会話の例	5属に属する会話の例
B:タイトルは「こころ」だよ A:そうだよ	B:タイトルは「こころ」だよ A:そうだよ
A:夏目漱石の作品だっけ? B:うんうん	A:夏目漱石の作品だっけ? B:うんうん
B:ジャンルは何だろう? A:純文学かな	B:ジャンルは何だろう? A:わからんな～
A:面白いよね B:うんうん	A:面白いよね～ B:そうなんだ

を示している。

したがって、それぞれの属に該当する会話文に対して4.2節で述べた4つの質問を観察者に回答してもらい、図5のペアごとに評価を比較することで、「適切性」、「会話感」、「興味」についての3つの観点すべてにおいて、フレームに入力された知識を網羅する会話が、網羅していない会話に比べ、観察者に好意的な印象を与えるかどうかを検証する。

成人男性13名、成人女性9名、性別未回答の成人1名の計23名の被験者に対し、各属に属する会話を図5の括弧内に示す数ずつ、合計56パターンの会話について見てもらい、4.2節で述べた4つの質問に回答してもらうことで評価を行った。表2に1属と5属に属する会話の例を示す。1属ではどちらかが必ず情報を知っている一方で5属では

「純文学」という情報を両者が知らず、「分らんな〜」といったエージェントの情報の不足を表す会話が出力されている。ここで、各属それぞれにおいて、AとBが持つ情報の数を固定し、それにより出力された会話を、各属に該当する代表的な会話として選択し、実験に使用した。たとえば、1属に属する会話の場合、「面白い」、「純文学」、「こころ」、「夏目漱石」の4つの情報のうち、エージェントAは4つすべての情報を持っており、エージェントBは2つの情報を保持している出力対話を実験に使用している。表2はその一例である。

実験の際には、情報を提示する順番による評価への影響を排除するために、表2に示すように、すべての出力会話で、必ず「タイトル」(「こころ」) → 「著者」(夏目漱石) → 「ジャンル」(純文学) → 「感想」(面白い)の順で情報提示が行われるように固定している。また、一方からの発話が多くなりすぎると、会話への快・不快感などに影響が出る可能性があるため、AとBの発話回数が等しくなるように、図6に示す状態遷移確率に従った会話遷移が行われた会話を実験に用いている。

図7に実験で得られた結果を示す。対応関係のある1属と5属、2属と6属、3属と7属、4属と8属において、ウィルコクソンの符号順位和検定を行い、平均値を統計的に比較した。

結果は、「Q.1 自然さ」、「Q.3 盛り上がり」、「Q.4 興味」の指標については、対応関係のある属のすべての比較において有意差が見られ、「Q.2 親密さ」においては2-6属と、4-8属の比較において、有意差が見られた。

これらの結果は、2つのエージェントの知識が、完全な知識を網羅し、「分からない」などのエージェントの情報の

不足を表す文章が含まれていない会話が、「会話感」、「興味」において観察者に好意的な印象を与えたことを示している。「適切性」という観点では「Q.2 親密さ」の指標で有意差の認められない比較があったことから、明確な結論は得られなかった。

「Q.2 親密さ」の1-5属では有意差がみられなかった。図5に示すように、1属は、完全な知識を持つエージェントAと不完全な知識を持つエージェントBの間に明らかに情報量の差があるため、Aが一方向的にBに知識を与えるような会話が出力された。表2に示す、本実験で用いた敬語を用いない知り合い同士の雑談を想定した対話で、片方が相手に一方的に知識を与えるような会話、すなわち教え

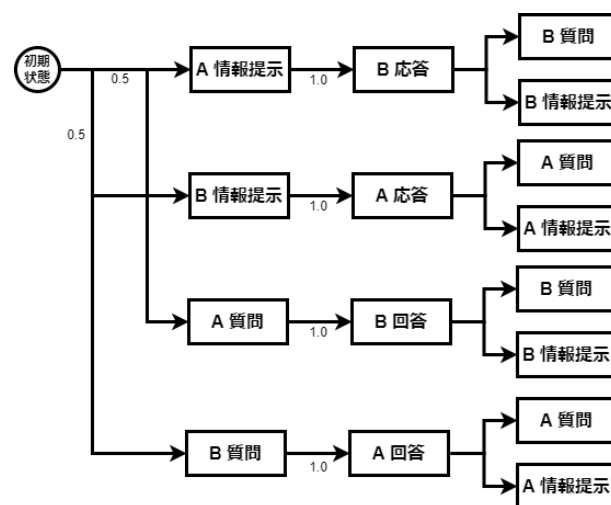


図6 実験で用いた状態遷移モデルと、状態遷移確率

Fig. 6 This figure shows the state transition model which is used for experiments.

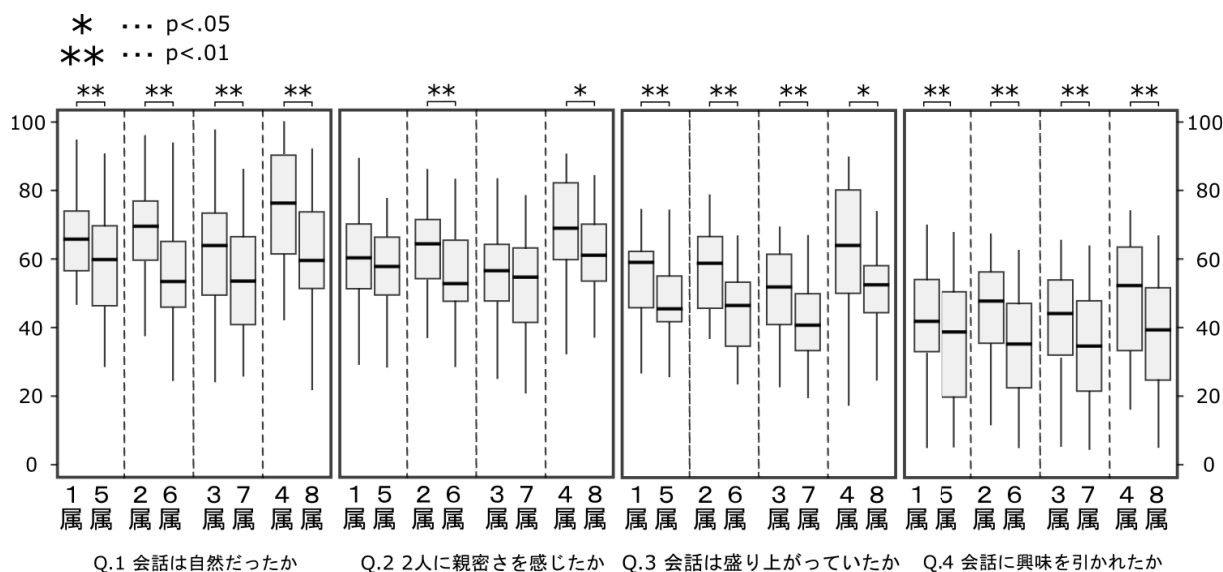


図7 2つのエージェントが持つ情報による網羅性の影響を比較した図

Fig. 7 This figure shows the result of comparing the effect of whether the knowledge possessed by the two agents cover the complete knowledge.

		主観的情報(S)	
		共有	非共有
客観的情報(O)	共有	SO (1例)	\overline{SO} (14例)
	非共有	\overline{SO} (14例)	$\overline{\overline{SO}}$ (14例)

図 8 客観的情報と主観的情報に着目した 2 つのエージェントの知識の偏り。括弧内は実験に用いた各グループに属する会話の数である

Fig. 8 Distribution of knowledge of 2 agents focusing on objective information and subjective information.

る側と教えられる側といった上下関係が示唆される会話文が出力された場合、2 つのエージェントの関係性と発話内容に対する齟齬が生じ、情報の網羅性にかかわらず、「親密さ」が損なわれてしまった可能性があると考ええる。

また、「Q.2 親密さ」の 3-7 属において有意差がみられなかった理由の 1 つとして、2 つのエージェントが情報を 1 つも共有していない会話が、観察者から共通点のない 2 人の会話としてとらえられ、情報の網羅性とは関係なく親密さが損なわれてしまった可能性が考えられる。

「Q.4 興味」の指標について、対応関係のある属間で情報の網羅性について有意差が確認できた一方で、平均評価点が全体的に低かった (1 属: 42.3, 2 属: 44.3, 3 属: 41.1, 4 属: 48.3, 5 属: 36.0, 6 属: 34.0, 7 属: 33.4, 8 属: 38.3)。これは、「興味」という指標が、会話の話題によって大きく左右される可能性が高いからであると考ええる。たとえば、観察者が、「本」という話題に興味がない場合、会話に対して全体的に興味をいだきにくい可能性がある。

4.3.2 主観的情報の共有の有無による影響を調査する実験

提案システムが生成する会話には、図 2 の「本」フレームにある、「タイトル」や「著者」といった個人の意見と関係がない客観的情報と、「感想」といった個人の意見に基づく主観的情報が含まれる。システムが、完全な知識を 2 つのエージェントの知識へと分割する際に、2 つのエージェントが、主観的情報を共有するか、共有しないかという違いによって、出力される会話も異なる印象を与える。

提案システムが、完全な知識を 2 つの不完全な知識に分割した際、2 つのエージェントの知識の偏りは、図 8 のように 4 種類のグループのいずれかに属する。本システムでは、知識構造として、図 2 のようなフレーム構造を採用しているため、主観的情報の数が増えると、客観的情報の数が減る。したがって、主観的情報と客観的情報は相補的な存在であるため、実運用においては、主観的情報だけを変数として考えることができない。よって、本実験では、主

表 3 2 つのエージェントにおける主観的情報の共有の有無による影響を調査した実験で用いた会話例

Table 3 Conversation examples used in the experiment investigating the effect of sharing subjective information between two agents.

グループ SO に属する会話の例	グループ \overline{SO} に属する会話の例
A: 「こころ」だったよね?	A: 「こころ」だったよね?
B: そうだよ	B: そうだよ
B: 夏目漱石の作品だったけ?	B: 夏目漱石の作品だったけ?
A: うんうん	A: うんうん
A: 純文学だね	A: 純文学だね
B: そうだね	B: そうだね
B: 面白いよね~	B: どう?
A: 面白いね	A: 面白いよ
A: 文章が美しいよね	A: 文章が美しいよね
B: だよ	B: そうなのね
B: 好きなんだよね~	B: 好き?
A: あ、わかる	A: 好きだね~

観的情報の共有の有無とともに、客観的情報の有無を実験条件として考慮し、分析を行う。

具体的には、それぞれの属に該当する会話文に対して 4.2 節で述べた 4 つの質問を観察者に回答してもらい、図 8 に示す、 2×2 の 2 要因分散分析を行った後、グループ SO とグループ \overline{SO} 、グループ \overline{SO} とグループ $\overline{\overline{SO}}$ の比較による単純主効果の検証を行うことで 2 つのエージェントが主観的情報を共有した状態で生成された会話は、「適切性」、「会話感」、「興味」の観点において観察者に好意的な印象を与えるかどうかを検証する。

成人男性 10 名、成人女性 12 名の計 22 名の被験者に対し、各グループに属する会話を図 8 の括弧内に示す数ずつ、合計 43 パターンの会話について見てもらい、4.2 節で述べた 4 つの質問に回答してもらうことで評価を行った。表 3 にグループ SO とグループ \overline{SO} に属する会話例を示す。グループ SO に属する会話はすべての情報を共有している会話であり、グループ \overline{SO} に属する会話は、主観的情報 (「面白い」、「文章が美しい」、「好き」) が共有されていない会話である。また、4.3.1 項の実験と同様に、情報提示の順番が評価に影響を与えないように、情報提示の順番は固定しており、さらに、エージェントの発話回数が偏らないように、状態遷移確率は図 6 に示す状態遷移確率を用いている。

主観的情報の共有・非共有と、客観的情報の共有・非共有を要因とする 2×2 の分散分析を行った。図 9 左に分散分析における交互作用図を、図 9 右に交互作用が認められた「Q.2 親密さ」、「Q.4 興味」の指標における単純主効果の検証の結果を示す。

結果は、「Q.1 自然さ」では、それぞれの主効果と交互作用は認められず、「Q.2 親密さ」では主観的情報の共有・非共有の主効果と、交互作用が認められた (主観的

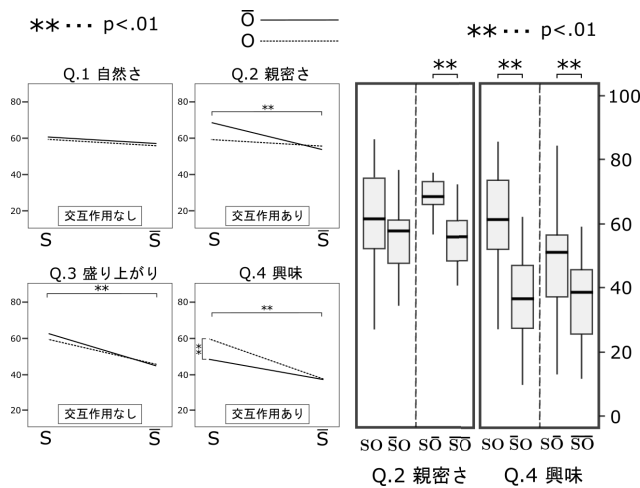


図9 左：主観的・客観的情報の共有・非共有の2要因による交互作用図。右：交互作用のあった2つの指標における、主観的・客観的情報の共有・非共有要因の単純主効果検証結果の図

Fig. 9 Left: Interaction diagram by two factors of subjective and objective information sharing/non-sharing. Right: Simple main effect test results for the shared and unshared factors of subjective information for the two indicators with interaction effects.

情報共有・非共有： $F(1, 18) = 10.04, p < .01$, 交互作用： $F(1, 18) = 8.187, p < .01$ 。「Q.3 盛り上がり」では、主観的・客観的情報の共有・非共有の主効果が認められ、交互作用は認められなかった ($F(1, 18) = 29.81, p < .01$)。「Q.4 興味」では、すべての主効果と、交互作用が認められた (主観的・客観的情報の共有・非共有： $F(1, 18) = 33.14, p < .01$, 客観的・主観的情報の共有・非共有： $F(1, 18) = 8.033, p < .01$, 交互作用： $F(1, 18) = 16.22, p < .01$)。交互作用が認められた「Q.2 親密さ」では、図9に表すように、客観的・主観的情報の非共有条件でのみ主観的・客観的情報の共有・非共有要因の単純主効果が有意に認められ ($F(1, 18) = 33.14, p < .01$)、同じく交互作用が認められた「Q.4 興味」では、図9に表すように、どちらの条件でも主観的・客観的情報の共有・非共有要因の単純主効果が有意に認められた。

「Q.1 自然さ」については、主観的・客観的情報の共有・非共有で主効果で有意な差が認められず、主観的・客観的情報を共有の有無による影響について明確な結果は得られなかった。

「Q.2 親密さ」については、主観的・客観的情報の共有・非共有で主効果で有意な差が認められたものの、主観的・客観的情報を共有の有無による影響について明確な結果は得られなかった。

「Q.3 盛り上がり」については、主観的・客観的情報の共有・非共有において、単純主効果で有意な差が認められていることから、主観的・客観的情報を共有した状態で生成された会話は、エージェントのやりとりを単なる情報の交換ではなく、会話であるとより感じさせることができると示された。

「Q.4 興味」について、主観的・客観的情報の共有・非共有で、主効果が有意に認められ、交互作用が認められないことから、主観的・客観的情報を共有した状態で生成された会話は、観察者の

興味を引きやすいことが示された。

これらの結果から、2つのエージェントが主観的・客観的情報を共有することで、2つのエージェントが互いに同意、同調する肯定的な会話を行っている様子を示すことができ、これにより「会話感」と「興味」において、観察者に好意的な印象を与えることが示された。

「適切性」において、主観的・客観的情報の共有・非共有による影響について明確な結論は得られなかった理由の1つとして、本システムでは主観的・客観的情報をフレームに入れ込むことで、2つのエージェントの主観的・客観的情報の共有の有無にかかわらず、主観的・客観的情報に関連する会話を出力させることができ、それ自体が人らしく、親密なエージェントどうしの会話として自然であるととらえられたからだと考えられる。たとえば、フレームに「感想」という主観的・客観的情報を扱うスロットが用意されていれば、双方が主観的・客観的情報を持っていても、「感想どう?」「どうだろうな〜」という、主観的・客観的情報に関する会話を登場させることができ、このような会話が、人らしい会話として観察されやすい可能性がある。

4.3.3 出力会話の「適切性」を調査する実験

システムが出力した会話が観察者に情報を伝達するためには、本システムの出力会話が明確な不自然さ、不快感を感じさせず、「適切性」を損なわない会話を出力する必要がある。そこで本項では、4.3.1項と4.3.2項で述べた2つの実験を通じて出力会話の「適切性」に関する検証を行う。

会話が自然だったかを評価する「Q.1 自然さ」と、会話者への快・不快感を評価する「Q.2 親密さ」の指標において、4.3.1項の実験で、評価点の68.2%が50点(0~100の101段階評価であるため50点は「どちらでもない」を意味する)を上回っており、4.3.2項の実験では、評価点の70.8%が50点を上回った。また、同じく2つの指標で「どちらかといえば低い」と判断される25点を下回るものは4.3.1項の実験では6.3%、4.3.2項の実験では5.2%という結果となった。

以上の結果から、システムが出力した会話に、一定程度の「適切性」が認められたと考える。「適切性」については、比較項目の設定が困難なため、統計的に明確に結論づけることはできないが、「Q.1 自然さ」と「Q.2 親密さ」の指標において69.3%の評価点がどちらでもないという50点を上回っていることから、少なくとも、「適切性」を著しく損なうことなく、会話により観察者に情報を伝達できる可能性が示されたと考えられる。

一方、今回の実験では、2つのエージェントの会話状況が、人が日常生活で最も行うであろう知り合い同士での雑談を想定した出力会話を設定しているため、「Q.1 自然さ」や「Q.2 親密さ」の評価点が一定程度高く評価される可能性がある。そのため、本考察は雑談状況下に限定されており、より精緻な分析のためには、異なる会話状況を設定する必要があると考える。

4.4 実験の考察

仮説1について、4.3.1項で述べた、情報の網羅性による影響を調査する実験の結果より、2つのエージェントが持つ知識が、完全な知識構造を網羅している状態で会話を生成することで、会話の「会話感」、「興味」において、観察者により好意的な印象を与えることが明らかになった。これにより、4.1節で述べた仮説1が部分的に支持された。「適切性」の部分においては明確な結論は得られず、仮説は部分的に支持されなかった。

仮説2について、4.3.2項で述べた、主観的情報の共有の有無による影響を調査する実験の結果より、2つのエージェントが主観的情報を共有することで、「会話感」、「興味」において、観察者により好意的な印象を与えることが明らかになった。これにより、仮説2が部分的に指示された。「適切性」の部分においては明確な結論は得られず、仮説は部分的に支持されなかった。

この2点より、本システムにおいては、同意や同調を含む会話や、2つのエージェントの少なくとも一方が情報を知っている状態で生成される会話を用いることで、継続的で効果的な情報伝達が可能になることが分かった。

一方で、「適切性」における、情報の網羅性や主観的情報の共有の有無による影響について明確な結論は得られなかった。しかし、4.3.3項より、少なくとも、「適切性」を著しく損なうことなく、会話により観察者に情報を伝達できる可能性が示されたことから、本システムは、情報を会話として伝達するシステムとして機能すると考えられる。

5. 結論

本研究では、自律的なエージェントによる、会話を用いた情報伝達システムの実現に向け、伝えたい情報を2つのエージェントによる会話へと構成するシステムの開発を行った。また、指定した実験設定の下で、提案システムが、明確な不自然さや不快感を与えない会話を生成できているか、加えてどのような出力会話が、より観察者に違和感や不快感を与えず、観察者に効果的かつ継続的な情報を伝達する可能性があるかを調査する実験を行った。実験結果より、提案システムは観察者に明確な不自然さや不快感を与えない会話を生成することができ、情報を会話形式へと構成し、伝達するシステムとして機能する可能性が示された。また、主観的情報を共有することによる同意・同調を示す会話を生成することで、継続的で効果的な情報伝達を実現できる可能性が示された。

制限事項

本稿で述べた結果が適用できるのは、2つのエージェントによるテキストチャット会話を用いた情報伝達システムである。しかし、実際に情報伝達をする際には、テキストチャット以外でのメディアを用いることを考えており、本

研究では、その際の影響は確かめられていない。したがって、ロボットや、アバタなど、実際のメディアを用いた対話実験を行うことで、より一般的な知見が得られ、実際に効果的で継続的な情報伝達が可能になると考えられる。さらに、より多くの人に情報を受容する態勢を整えてもらうといった観点から見た情報伝達の効果性を定量的に調べるためには、実験室内での実験だけでなく、フィールド実験での実証が必要であると考えられる。

次に、本稿では、エージェントが保持する知識として、主観的情報を客観的情報と同等のものとして扱ったが、本来、人間は同意することはあっても、2人で主観的情報を共有することはないため、これは本システム特有の知識の表現方法であり、実験で得られた結果も本システムのみに基づくものである。したがって、より人らしい会話を表現し、効果的に情報を伝達するためには、知識を分割する際に、主観的情報はエージェントに渡さず、それぞれのエージェントが独自の主観的情報を獲得するようなシステムが必要であると考えられる。

次に、4.3.3項で述べたように、今回の実験の設定として、知り合い同士での雑談を想定した出力会話となっているが、情報を会話として伝達する際には、このような対話状況以外のパターンも考えられる。さらに、今回の実験では、フレーム内のスロットどうしに依存関係のない話題を扱ったが、スロットどうしに依存関係があるフレームも考えられ、そのような話題では対話の制御が困難になる（たとえば、「今日」、「花火大会」、「楽しみ」という知識フレームでは、「楽しみ」という情報を持っているのに「花火大会」を持っていない状況になると、「何かを楽しみにしていたのは覚えてるけど何だったかな」といった複雑な会話出力となる）。そのため、提案システムを有効に用いるためには、対話状況と、フレーム構造を適切に設定する必要があると考えられる。

また、実験で用いた「本」についてのフレームを用いた会話に関しても、本実験では、情報提示の順番や、状態遷移モデルの状態遷移確率、会話に出力される語尾などの要因は固定して実施したため、異なる条件で出力される会話の効果については明らかではない。しかし、本実験で採用した条件においては、一定の効果を確認することができたと考える。今後、他の要因についても調査をすることで、本システムの一般的な貢献を示すことができると考える。

また、本稿では、他の会話生成モデルと比較を行っていないため、指定した実験設定の下での最適な会話生成システムとはいききれない。2章で述べたような、Transformerを代表とするネットワークモデルを用いることで、情報の過不足はあるものの、より自然な会話の出力を目指すためには、様々なモデルとの比較実験を行う必要があると考える。

6. 今後の展望

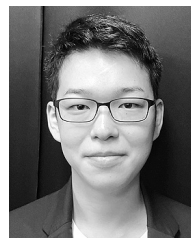
制限事項で述べたように、より人らしい会話を表現し、効果的に情報を伝達するためには、エージェントそれぞれが、異なる主観的情報を保持するような知識構造を構築し、お互いの主観的情報を確認し合う会話を行うシステムが必要である。また、人間が行うように、話題を遷移しながら、長い会話を行うことで、より継続的な情報伝達が可能であると考えられる。そのためには、本システムで用いたフレームによる知識構造に、ネットワーク構造を付加することで、異なるフレーム間の情報を接続し、そのリンク接続に従って、会話を遷移するシステムが必要である。したがって、今後は2つのエージェントがお互いの主観的情報を確認しながら、話題を遷移するシステムの実装を目指す。

また、本稿で述べたシステムは、用いるメディアによって効果が変化する可能性がある。たとえば、2章で述べたように、アンドロイドロボットは主観的な情報も効果的に伝達できることが示されており、パッシブソーシャル対話においても有効な情報伝達の可能性が示されている。したがって、2つのエージェントをアンドロイドに置き換えることで、より主観的な情報を伝達する情報提供システムが実現できる可能性がある。今後は、本稿で述べたような、テキストチャットで会話をするエージェントだけではなく、アンドロイドを含めた様々なメディアを用いて、本システムの有効性を実験室およびフィールドで検証する。

参考文献

- [1] ソフトバンク株式会社：Pepper (2014).
- [2] Shiomu, M. et al.: Recommendation effects of a social robot for advertisement-use context in a shopping mall, *International Journal of Social Robotics*, Vol.5, No.2, pp.251–262 (2013).
- [3] 森 博志, 白鳥和人, 星野准一：往来者の注意を喚起するヴァーチャルヒューマン広告提示システム, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.4, pp.1453–1464 (2011).
- [4] Hayashi, K. et al.: Humanoid robots as a passive-social medium—a field experiment at a train station, *2007 2nd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, IEEE (2007).
- [5] Hayashi, K. et al.: Robot manzai: Robot conversation as a passive-social medium, *International Journal of Humanoid Robotics*, Vol.5, No.1, pp.67–86 (2008).
- [6] Xu, W. and Marine, C.: Editor: An edit-based transformer with repositioning for neural machine translation with soft lexical constraints, *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, Vol.9, pp.311–328 (2021).
- [7] Sun, S. et al.: IGA: An Intent-Guided Authoring Assistant, *Proc. 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* (2021).
- [8] Schegloff, E.A. and Harvey S.: *Opening up closings*, pp.289–327 (1973).
- [9] Green Jr., B.F. et al.: Baseball: An automatic question-answerer, *Western Joint IRE-AIEE-ACM Computer Conference* (1961).

- [10] Winograd, T.: *Procedures as a representation for data in a computer program for understanding natural language*, MASSACHUSETTS INST OF TECH CAMBRIDGE PROJECT MAC (1971).
- [11] Radford, A. et al.: Language models are unsupervised multitask learners, *OpenAI blog*, Vol.1, No.8, p.9 (2019).
- [12] Peng, B. et al.: Soloist: Building task bots at scale with transfer learning and machine teaching, *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, Vol.9, pp.807–824 (2021).
- [13] Yang, Y., Yunhao L. and Xiaojun Q.: Ubar: Towards fully end-to-end task-oriented dialog systems with gpt-2, *arXiv preprint arXiv:2012.03539* (2020).
- [14] Worswick, S.: Mitsuku wins Loebner Prize 2018! (2018), available from (<https://medium.com/pandorabots-blog/mitsuku-wins-loebner-prize-2018-3e8d98c5f2a7>).
- [15] Adiwardana, D. et al.: Towards a human-like open-domain chatbot, *arXiv preprint arXiv:2001.09977* (2020).
- [16] Roller, S. et al.: Recipes for building an open-domain chatbot, *arXiv preprint arXiv:2004.13637* (2020).
- [17] 杉山弘晃ほか：Transformer encoder-decoder モデルによる趣味雑談システムの構築, 人工知能学会研究会資料言語・音声理解と対話処理研究会 90 回, 一般社団法人人工知能学会 (2020).
- [18] 角森唯子ほか：対話破綻検出チャレンジ 3 における対話破綻検出の評価尺度の選定, 人工知能学会論文誌, Vol.35, No.1, DSI-G-1 (2020).
- [19] Reshmashree B.K. et al.: Is two better than one? Effects of multiple agents on user persuasion, *Proc. 18th International Conference on Intelligent Virtual Agents* (2018).
- [20] Watanabe, M., Kohei, O. and Ishiguro, H.: Can androids be salespeople in the real world?, *Proc. 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (2015).
- [21] Nishio, T. et al.: Development of an effective information media using two android robots, *Applied Sciences*, Vol.9, No.17, p.3442 (2019).
- [22] 黒橋慎夫ほか：会話型知識プロセスのための言語情報のメディア変換, 社会技術研究論文集 2, pp.173–180 (2004).
- [23] Minsky, M.: *A framework for representing knowledge* (1974).



磯和 隆道

2021 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。現在、同研究科博士後期課程在学中。コミュニケーションロボットや対話型情報メディアに興味を持つ。



小川 浩平

2010年公立ほこだて未来大学博士課程（後期）修了。システム情報科学博士。その後、ATR 知能ロボティクス研究所、大阪大学大学院基礎工学研究科講師等を経て、2019年より名古屋大学大学院工学研究科准教授。専門は、知能ロボット学、ヒューマンエージェントインタラクション等。2001年ヒューマンインタフェース学会論文賞受賞。2017年文化庁メディア芸術祭アート部門優秀賞受賞。



佐藤 理史（正会員）

1988年京都大学大学院工学研究科博士後期課程研究指導認定退学。京都大学工学部助手、北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授、京都大学情報学研究科助教授を経て、2005年より名古屋大学大学院工学研究科教授。博士（工学）。言語処理学会、人工知能学会、日本認知科学会、ACM各会員。



石黒 浩（正会員）

1991年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。その後、京都大学大学院情報学研究科助教授、大阪大学大学院工学研究科教授等を経て、2009年より大阪大学大学院基礎工学研究科教授。ATR 石黒浩特別研究所客員所長（ATR フェロー）。2017年から大阪大学名誉教授。専門は、ロボット学、アンドロイドサイエンス、センサネットワーク等。2011年大阪文化賞受賞。2015年文部科学大臣表彰受賞。