

## ユーザとエージェント間の 適応ギャップの展開

黒澤里恵<sup>†</sup> 小松孝徳<sup>†</sup> 山田誠二<sup>††</sup>

エージェントに対して予測した機能とインタラクション後に実際に感じた機能との差である「適応ギャップ」がユーザとエージェントとのインタラクションにどのような影響を与えるのかを実験的に調査した。実験の結果、適応ギャップの正負がユーザのエージェントに対する行動に大きな影響を与えていたことが明らかになった。具体的には、エージェントに期待した機能よりも実際に感じた機能の方が高い「適応ギャップの値が正」の状態においては、ユーザはエージェントの提案をより多く受け入れる一方、エージェントに期待した機能よりも実際に感じた機能の方が低い「適応ギャップの値が負」の状態においては、ユーザはエージェントの提案をあまり受け入れないことが実験的に観察された。

### How does Difference between Users' Expectations and Perceptions about a Robotic Agent (Adaptation Gap) Affect Their Behaviors?

Rie Kurosawa<sup>†</sup> Takanori Komatsu<sup>†</sup> and Seiji Yamada<sup>††</sup>

We describe how the notion of “adaptation gap” can be used to describe the differences between the functions of a robotic agent that the users are expecting from it before starting their interactions and the functions they perceive after their interactions in this paper. We investigated the effect of this adaptation gap on the users' behaviors toward a robotic agent. The results show that the positive or negative signs of this adaptation gap significantly affect the users' behaviors towards the agents.

### 1. はじめに

近年の Human-Computer Interaction (HCI) や Human-Agent Interaction (HAI) 研究分野 [1] において注目されているトピックの一つが、「最初にユーザの抱いたエージェントに関するメンタルモデルが、ユーザとエージェント間のインタラクションにどのような影響を与えるのか」といった問題である。なぜなら、ユーザは相手の外見や振る舞い、または個人の嗜好などに基づき、相手の行動を予測するメンタルモデルを構築し、このモデルに基づいてインタラクションを行うという認知的な特性を有しているからである [2]。そして、このようなユーザの認知的特性に注目したエージェントの設計手法が、これまでにいくつか提案されている。Matsumoto et al. [3] は、ユーザがエージェントを正しく認識し、適切なメンタルモデルを構築できるよう必要最低限の特徴でエージェントの外見をデザインするというミニマルデザイン (Minimal Design) を提案しており、実際に Muu [4] や Talking Eye [5] などの彼らが開発したエージェント設計に用いられている。また Kiesler [6] はユーザがエージェントに抱くであろうメンタルモデルを踏まえた上で、エージェントの外見や振る舞いを設計する必要性を Common Ground 理論 [7] に基づいて説明している。Common Ground 理論とは、「人間同士のコミュニケーションは相互理解に至るための調整過程を必要としており、この調整過程はコミュニケーションに関与する者の間の共有知識 (Common Ground) に依存している」という考え方であり、Kiesler はこの考え方を踏まえた上で、エージェントの外見や振る舞いを設計することが重要であると主張している。

これら Matsumoto et al. および Kiesler によって提案されたエージェントの設計手法は、特に、ユーザがエージェントと初めて対面した時にそのエージェントとインタラクションを開始するか否かを決定する際に重要な役割を果たすと考えられる。しかし、これらの手法では、「あるユーザがあるエージェントに対してメンタルモデルを構築した後に、そのエージェントがユーザのメンタルモデルから逸脱した行動を表出した場合」を扱うことはできない。ここで我々はこのような状態を正確に把握するために、ユーザがインタラクション前に予測した機能と実際のインタラクションを通して感じた機能との差異が、ユーザとエージェントとのインタラクションの在り方、具体的にはユーザがエージェントとインタラクションを続けたいか否かという点に大きく関わっていると仮定し、そのような差異を **適応ギャップ (Adaptation Gap, 以下 AG)** と定義した [8,9]。具体的には、ユーザがエージェントに対して期待した機能を  $F_{before}$ 、実際のインタラクションを通じてエージェントから感じた機能を  $F_{after}$  とした場合、適

<sup>†</sup> 信州大学

Shinshu University

<sup>††</sup> 国立情報学研究所/総合研究大学院大学/東京工業大学

National Institute of Informatics/ SOKENDAI/ Tokyo Institute of Technology

応ギャップ  $AG$  は  $AG = F_{after} - F_{before}$  と定義される。ここで定義した適応ギャップには以下のような性質があると我々は想定した (図 1)。

- $AG < 0$  ( $F_{after} < F_{before}$ ) : エージェントに期待した機能  $F_{before}$  が実際に感じた機能  $F_{after}$  よりも高い場合で、負の適応ギャップが生じる場合。この場合のユーザは  $F_{after}$  を感じることでエージェントに対する印象が悪くなり、それ以降のインタラクションを継続しなくなると考えられる。
- $AG > 0$  ( $F_{after} > F_{before}$ ) : エージェントに期待した機能が、実際に感じた機能よりも低い場合で、正の適応ギャップが生じる場合。この場合のユーザは  $F_{after}$  を感じることでエージェントに対する印象が良くなり、ユーザは積極的にエージェントとインタラクションを行っていくと考えられる。

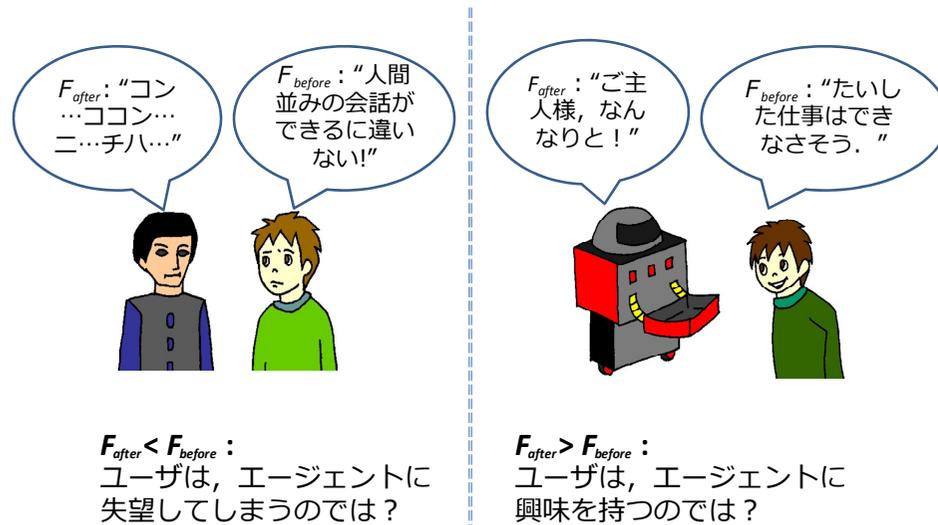


図 1 適応ギャップの直観的イメージ

## 2. 先行研究との差異

そこで我々は、適応ギャップの正負の値がエージェントとインタラクション状態にあるユーザにおける「エージェントに対する最終的な印象」にどのような影響を及ぼすのかを実験的に調査したところ、適応ギャップの正負の値と、実験前に実験参加者がエージェントに抱いた印象という二つの要因が、参加者の印象に影響を与えている

ことが明らかになった [10,11]. 具体的には、適応ギャップが負の値を示す (つまり、エージェントに期待した機能の方が実際に感じた機能よりも高いという場合) と同時に実験前のエージェントに対する印象が高い参加者は、エージェントに対する印象が悪化する方向に変化しており、その一方、適応ギャップの値が正であると同時に実験前の印象が低い参加者は、エージェントに対する印象が好転していることが確認された。この先行研究 [10,11]にて我々は、適応ギャップの正負の値がユーザのエージェントに対する最終的な印象に及ぼす影響について明らかにすることができたが、その際、適応ギャップの値のみならず実験前に参加者がエージェントに抱いた印象という要因も同時に参加者のエージェントに対する印象に影響を及ぼしていることが明らかにされたため、結果として適応ギャップの値のみが参加者に及ぼす影響を観察することが出来なかった。

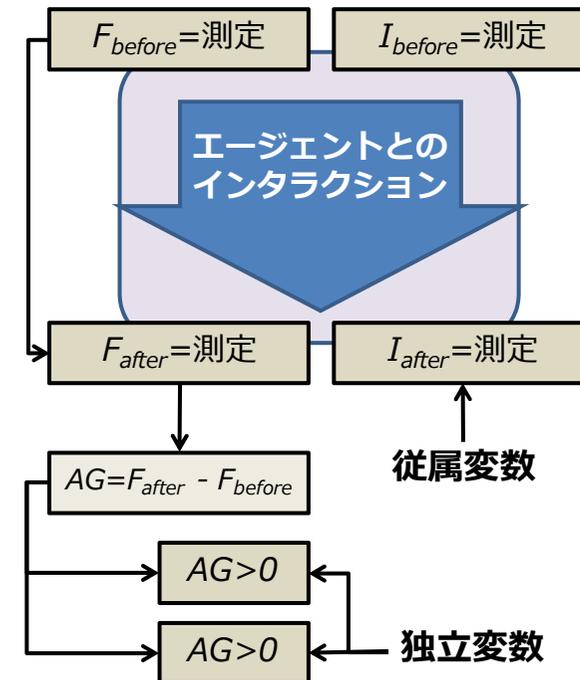


図 2 先行研究における独立変数と従属変数との関係

その理由として挙げられるのが、先行研究ではエージェントに感じた「機能 (F)」と「印象 (I)」とはそれぞれ独立に扱えるものと仮定して独立変数 (適応ギャップの値) と従属変数 (ユーザのエージェントに対する最終的な印象) を設定し、実験開始前および終了直後にエージェントに対して感じた機能と印象とを同時に測定していたことによって独立変数と従属変数との関係が複雑になってしまったことである (図 2)。さらに先行研究では、適応ギャップの値がどのようにしてユーザの最終的な印象に影響を及ぼすのかといった問題に着目したものの、1 節における適応ギャップの性質で記載したように (例.  $AG > 0$  の場合, 「ユーザは積極的にエージェントとインタラクションを行っていきと考えられる」), 本来は適応ギャップの値がユーザの行動に直接的に及ぼす影響について考察する必要があると考えた。よって本研究では、適応ギャップの値が唯一の独立変数, ユーザのエージェントに対する行動が唯一の従属変数となるような実験環境を構築し, 適応ギャップの値が純粋にユーザの行動に及ぼす影響を実験的に観察することとした。本実験における独立変数と従属変数の関係図は 3.3 節で詳しく説明する。

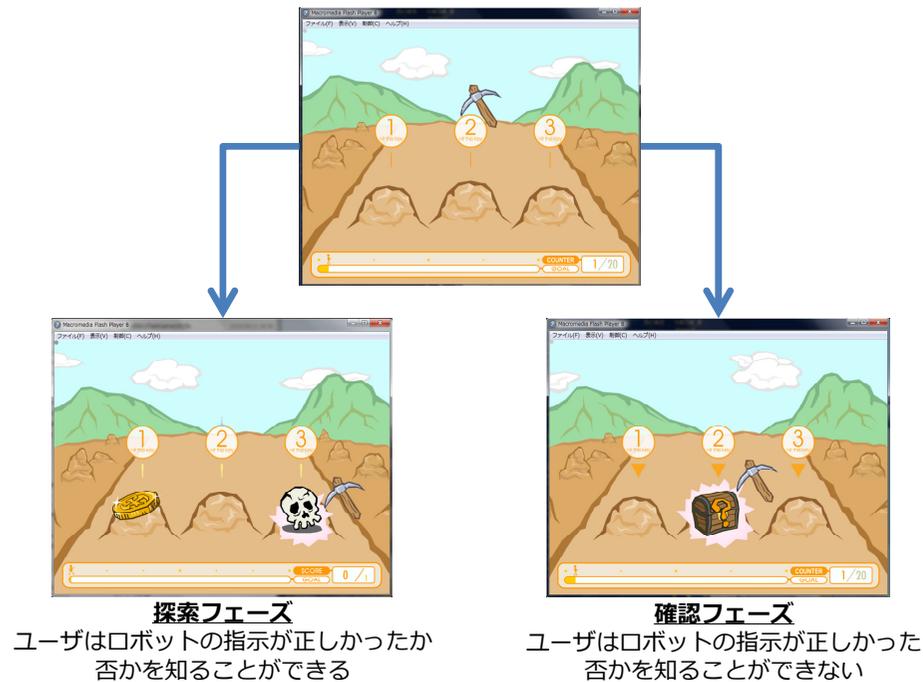


図 3 宝探しゲーム

### 3. 実験

#### 3.1 タスク

ユーザとエージェントとのインタラクションにおいて適応ギャップの値がユーザの行動に与える影響を観察するための実験環境を実現するためには、独立変数と従属変数とを完全に分離する配慮が必要となる。そこで本実験は、二つのフェーズにて構成されることとした。まず一つ目が、独立変数である適応ギャップの値を測定するための探索フェーズ, そして二つ目が従属変数であるユーザの行動を測定するための確認フェーズである。

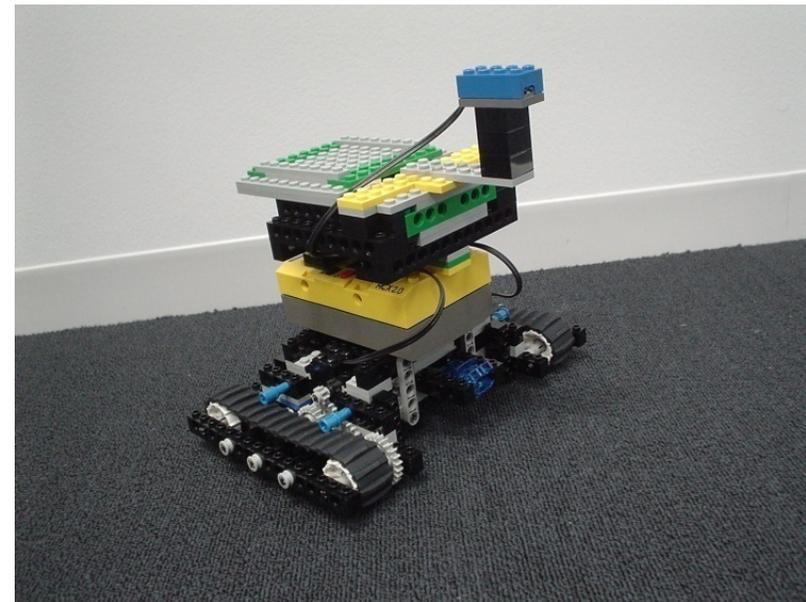


図 4 MindStorms ロボット

いずれのフェーズにおいてもユーザとエージェントとのインタラクションを観察する実験環境として、先行研究と同様の「宝探しゲーム」を採用した (図 3)。このゲームは、画面奥の方向に進んでいくと、三つの盛り土が目の前に現れて、この三つの盛り土のうち一つの盛り土だけに隠されている金貨を集めていくというゲームである。探索フェーズでは三つの盛り土は合計 40 回登場し, 確認フェーズでは 20 回登場する。このゲームを行う際, 参加者の横には LEGO 社製 MindStorms ロボット (図 4) が置か

れ、三つの盛り土の前に来ると、そのロボットが金貨が隠された盛り土についての自らの予想を人工的な音声にて参加者に伝える設定とした。具体的には、ゲームの画面においては図3のようにそれぞれの山に番号が割り振られているため、右の山と予想した場合には「いちばん」と発話、中央の山と予想した場合には「にばん」と発話するように設定された。その際、参加者にはロボットの予想と自身との考えとで、できるだけ多くの金貨を集めることが目的であるとのみ教示を行った。

なお、宝探しゲームは参加者の正面におかれた 46 インチ液晶モニタに表示され、ロボットの音声は、隣室の実験者が操作する音声用 PC にて再生された音声 FM トランスミッターを介してロボットに搭載された FM ラジオから流されることで、参加者に提示された (図 5)。

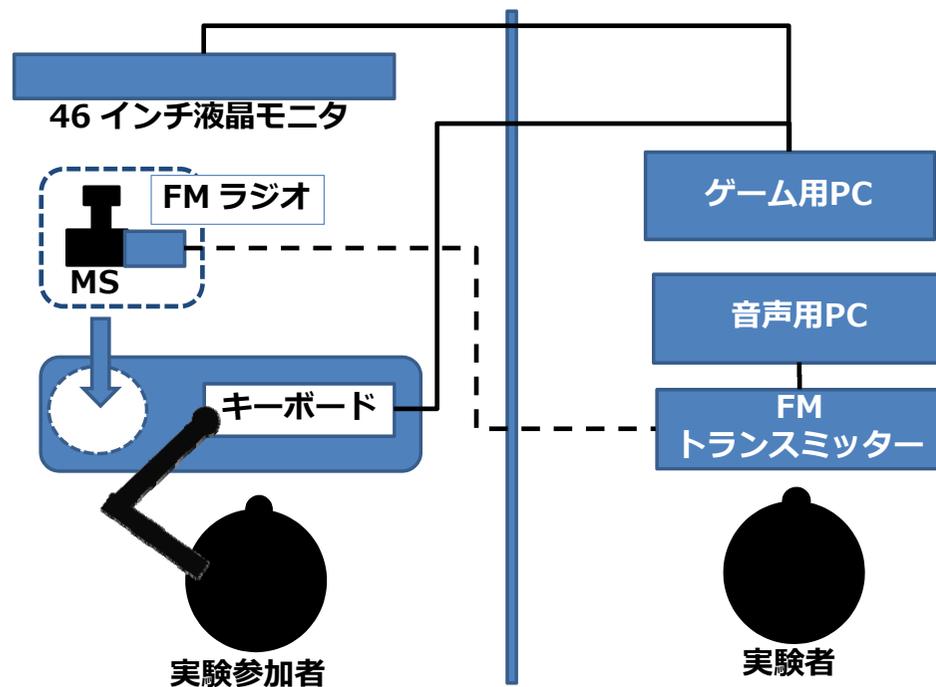


図 5 実験設定

なお本実験では、「いちばん」「にばん」「さんばん」という画面上の盛り土に割り振られた番号の他に「よんばん」というこのゲームでは全く意味のない音声も出力された。その理由としては、ロボットが画面上の盛り土を指す番号のみ (1~3 番) を指示する場合、参加者はその指示に盲目的に従ってしまうというケースが予備実験の段階で多々観察され、その現象は Koehler [12] の「あらゆる仮説が反証不可能な状況で他者から与えられた仮説は確信度が高く見積られる傾向がある」という主張で説明できると考えられたからである。そこで、宝探しゲームにおいてありえない番号を発話することで「ロボットの仮説が完全に間違っているという反証」を強制的にユーザに提示することで、自らの仮説の確信度を上げることができるとする清河ら [13] の主張を取り入れることで、ロボットの仮説に対する確信度を下げて、その指示に盲目的に従うのではなくロボットの指示と自らの予想とを比較することができるような状況を実現するためにこのような実験刺激を採用した。

また、探索フェーズでは、参加者は自分の選択した盛り土およびロボットが予測した盛り土に金貨が入っていたかのフィードバックを得ることができるが、確認フェーズではそれらの情報は参加者にフィードバックされず、参加者が選択した盛り土にクエスチョンマークのみが表示される設定とした (図 3)。その理由としては、探索フェーズでは参加者に対して「このロボットはどのくらいの確率で金貨を見つけられるのか」といったロボットの機能を予測してもらう必要があるため、ロボットの指示が正解だったか否かという情報を参加者に開示する必要があるが、確認フェーズでは参加者がロボットの指示に従うか否かという行動の観察が目的であるため、ロボットの指示が正解だったか否かという情報は不必要になるからである。

この宝探しゲームというタスクは、実験参加者のタスクに関する事前知識を必要とせず、また背景知識にも依存しない。さらに、エージェントとの協調が、三択問題のアドバイスという非常に単純なインタラクションに限定されているため、ユーザがエージェントとのインタラクションを継続しているのか拒否しているのかを短いインタラクションで観測できる点が強長である。

### 3.2 実験参加者

本実験には 30 人の大学生 (男性 22 人、女性 8 人、年齢 19~25 歳) が参加した。これらの参加者は、以下の二つのグループに無作為に配置された。

- 低予測グループ (15 人; 男性 12 人、女性 3 人): 探索フェーズの直前に、実験者から「このロボットは 10% の確率で金貨の位置を当てることができます」と教示を受けるグループ。この教示により、参加者に対してロボットに対して予測する機能  $F_{before}$  は 10% であるという情報を与える。
- 高予測グループ (15 人; 男性 10 人、女性 5 人): 探索フェーズの直前に、「このロボットは 90% の確率で金貨の位置を当てることができます」と教示を受けるグ

ループ. この教示により, 参加者に対して  $F_{before}$  は 90% であるという情報を与える.

実験者の教示によって各グループの実験参加者に対して  $F_{before}$  が適切な範囲に設定されたか否かを確認するために, 上記の教示を与えた直後の参加者に対してもう一度「このロボットはどのくらいの確率で金貨の位置を当てることができると思いますか」と参加者の感じた  $F_{before}$  を直接的に回答してもらった. その結果, 低予測グループの参加者における平均  $F_{before}$  は 16.2 (S.D.=8.38), 高予測グループの参加者における平均  $F_{before}$  は 75.1 (S.D.=22.0) となった. この結果より, 低予測グループの  $F_{before}$  が 10% に, また高予測グループの  $F_{before}$  が 90% に厳密に設定された訳ではないが, これらの平均値には有意差が存在することが確認されたため(一要因二水準被験者間計画分散分析, 独立変数: 実験グループ, 従属変数平均  $F_{before}$ ,  $F(1,28)=87.6, p<.01 (**)$ ), 教示による  $F_{before}$  の設定は適切に行われているとみなすこととした. なお, 本実験においてロボットが実際に金貨の位置を当てる確率は低予測および高予測の両グループともに 33% に設定されているために, 低予測グループにおける AG の値は正に, 高予測グループにおける AG の値は負となり, 適切に独立変数が設定されると予想される.

### 3.3 調査項目

本実験の目的は, 探索フェーズで測定された適応ギャップ AG の値 (=独立変数) が, 確認フェーズで観察される参加者の行動 (=従属変数) に及ぼす影響を調査することである (図 6). 独立変数である AG の値は, 探索フェーズ開始直前に「このロボットはどのくらいの確率で金貨の位置を当てることができると思いますか」と尋ねることで  $F_{before}$  を, 探索フェーズ終了直後に「このロボットはどのくらいの確率で金貨の位置を当てていたと感じますか」と尋ねることで  $F_{after}$  を測定し, その差として求められる. その際, 低予測グループの参加者から測定された AG の値は正となり, 高予測グループの参加者から測定された AG の値は負となると予想される.

また, 従属変数である参加者の行動として, 確認フェーズにおける 20 回の宝探し試行中何回ロボットの指示に従ったのかという「許諾数」を計測する. 1 節の適応ギャップに関する性質の記述にて, 「AG > 0 の場合, ユーザはエージェントとのインタラク션을継続し, AG < 0 の場合ユーザはエージェントとのインタラク션을継続しなくなる」としたが, 実際に実験を行っている参加者がインタラク션을拒絶し中座することは現実的には起こり得ないと考えられる. よって, ロボットの指示に従わないという行動をユーザがロボットとのインタラク션을拒絶している状況とみなすこととし, 各実験群間における許諾数を比較することでユーザがロボットとのインタラク션을継続したいか否かを把握できると考えた. なお, 確認フェーズにおける 20 回の指示のうち, 与えられても指示に従えない「よんぱん」という音声は二

回使用されているために, 許諾数の最大値は 18 回となる.

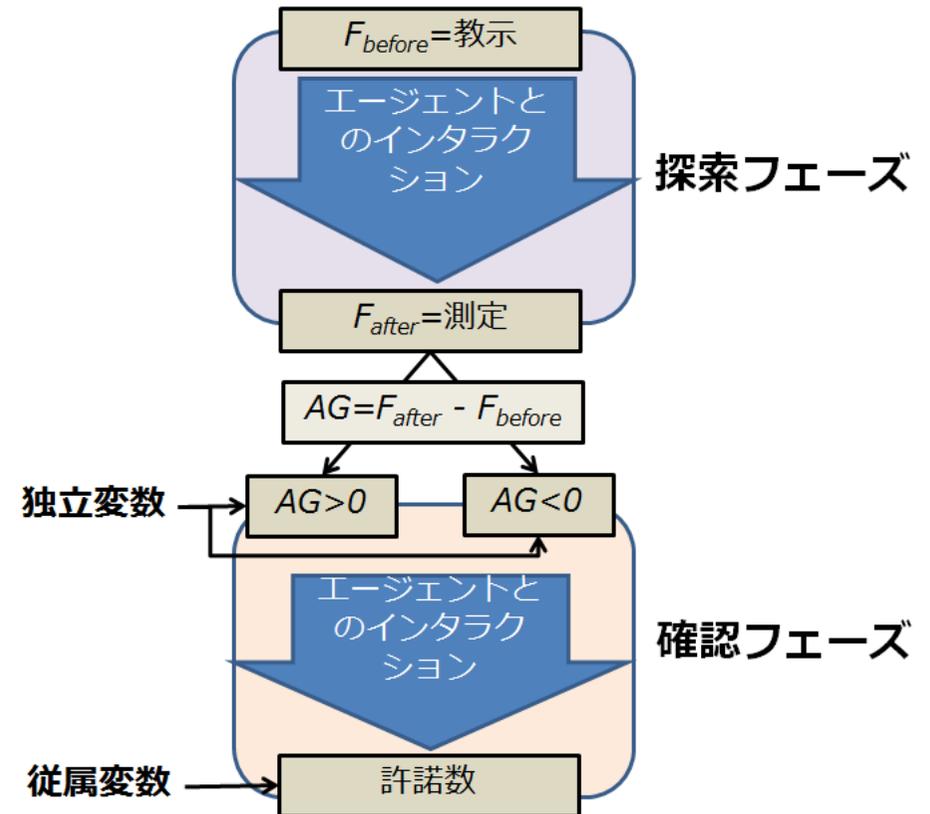


図 6 本研究における独立変数と従属変数との関係

### 3.4 結果

まず各実験グループにおいて本実験の独立変数である AG の値が適切に設定されていたか否か, つまり, 低予測グループにおける AG の値が正となり, 高予測グループにおける AG の値が負となっているか否かを確認した. その結果, 低予測グループ 15 人の参加者における AG の平均値は +6.0 (S.D.=8.79), 高予測グループ 15 人の参加者における AG の平均値は -43.9 (S.D.=25.2) であった. 低予測グループの AG の平均値が正, 高予測グループの AG の平均値が負となっており, さらにこれらの AG の値に関する

一要因二水準被験者間計画の分散分析（独立変数：実験グループ（低予測/高予測），従属変数：AG の平均値）を行ったところ，これらの間には有意差が存在することが確認された ( $F(1,28)=49.12, p<.01 (**)$ )．よって低予測グループおよび高予測グループは，AG の正負という独立変数が適切に設定されていたと考えることができた．

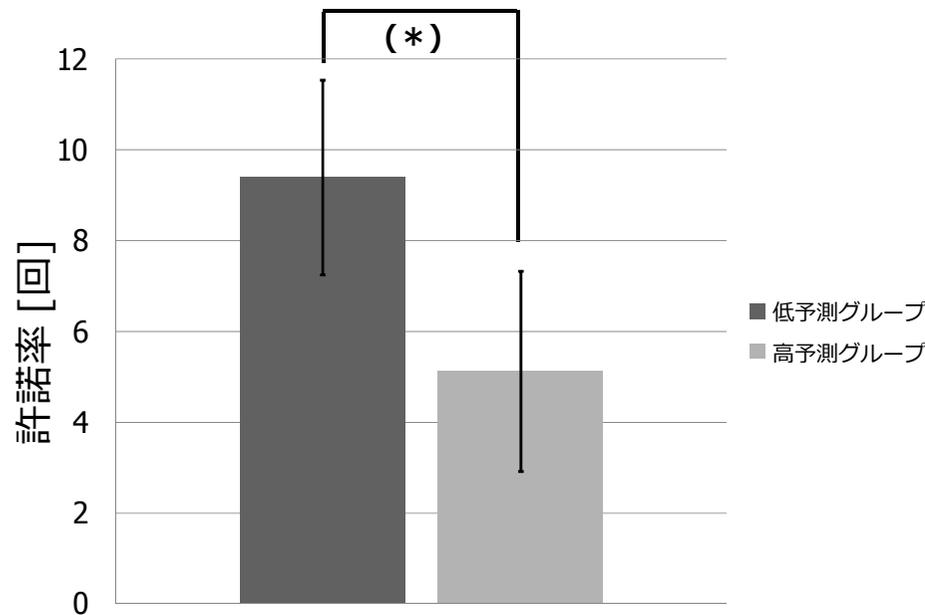


図7 各実験グループにおける許諾率

そこで，低予測グループおよび高予測グループの参加者から観測された許諾率を計測したところ，18 試行中における低予測グループの参加者の許諾率の平均は 18 回の指示中 9.40 回 (S.D.=4.33)，高予測グループの参加者の平均は 5.13 回 (S.D.=4.47)であった．これら許諾率に関して一要因二水準被験者間計画（独立変数：実験グループ（低予測/高予測），従属変数：許諾率）の分散分析を行ったところ，これらの間には有意差が存在することが確認された ( $F(1,28)=6.58, p<.05 (*)$ )．これより，低予測グループの参加者は，高予測グループの参加者よりも有意にエージェントの指示を許諾していたことが明らかになり，AG の値が参加者の行動に有意に影響を与えていたことが確認された．よって前述の適応ギャップに関する以下のような性質を本実験によって明らかにすることができた：「エージェントに対して予測した機能が実際に感じた機能よ

りも上回っている場合，ユーザはエージェントとのインタラクションを継続しなくなる．その一方，エージェントに対して実際に感じた機能が予測した機能よりも上回っている場合，ユーザはエージェントとのインタラクションを継続する．」

#### 4. おわりに

本実験の結果より，探索フェーズにおいて適応ギャップの値が正であった参加者は適応ギャップの値が負であった参加者よりも，確認フェーズにおいて有意にロボットの指示に従っていたことが明らかとなった．よって，適応ギャップの正負の値はユーザのロボットに対する行動に大きな影響を与えていることが明らかとなり，1 節で想定した適応ギャップの性質が実験的に観察された：「負の適応ギャップが生じる場合．この場合のユーザは  $F_{after}$  を感じることでエージェントに対する印象が悪くなり，それ以降のインタラクションを継続しなくなると考えられる」「正の適応ギャップが生じる場合．この場合のユーザは  $F_{after}$  を感じることでエージェントに対する印象が良くなり，ユーザは積極的にエージェントとインタラクションを行っていくと考えられる」．

そこで，この適応ギャップという考え方を利用することで，「実際の機能よりも極端な高い期待を抱かせるエージェントは適応ギャップが負となるため，ユーザが失望してしまう可能性が高い」といったようなエージェントの設計論が構築できると期待できよう．ただし今回の結果からは「適応ギャップの値を正にするには，エージェントに対する期待である  $F_{before}$  をできるだけ低くすることが効果的である」といった解釈も可能となる．しかしながら，このような極端に低い予測を  $F_{before}$  として与えてしまうと，ユーザが最初にそのエージェントに対してインタラクションを始める動機を失うことになり，インタラクション自体が開始されなくなるとも予想される．そのため，適応ギャップが適応可能である  $F_{before}$  および  $F_{after}$  の範囲についての考察が今後必要となるであろう．

本研究では，算出された適応ギャップの値のうち，その絶対値ではなく符号である正負の値がユーザの行動に与える影響に注目した．その理由としては，ユーザがエージェントに対して予測したり実際に感じたりする機能の数値化が非常に困難であるために，適応ギャップ問題の大まかな傾向であるその符号がユーザの行動に及ぼす影響に注目したからである．我々の先行研究 [10,11]でも明らかになったように，ユーザは自らの性格，学術的背景，および嗜好などに基づいた上でエージェントに対してメンタルモデルを構築するために，あるエージェントを一目見ただけで一様な  $F_{before}$  を想起できるとは限らない．そこで現在，特定の  $F_{before}$  を想起できるようなエージェントのピアランス上の特徴と特定のタスクとの関係を精査するためのアンケート調査を計画している．この調査によってこれらピアランス上の特徴とタスクとの関係を明

確にすることで、ユーザの性格や嗜好がメンタルモデル構築に及ぼす影響を極力減らすことで  $F_{before}$  を一意に決定する方法論が提案できると期待されよう。このような方法論によって  $F_{before}$  を一意に決定することができるようになると、 $F_{after}$  はそのエージェントに実装された実際の機能によってほぼ一意に決定されるために、適応ギャップの符号および絶対値を現在よりもさらに正確に算出できるようになると考えられる。その際には、適応ギャップの絶対値がユーザに及ぼす影響を詳細に検討できるようになると考えられ、適応ギャップのより詳細な性質の把握およびより現実的な利用方法などが明らかにされると期待されよう。

**謝辞** 本研究の一部は、文部科学省科学技術振興調整費「若手研究者の自立的研究環境整備促進プログラム」の一環として行われた。また、平成 22 年度国立情報学研究所共同研究（公募型 No.38）の支援を受けた。ここに謝意を記す。

## 参考文献

- 1) 山田誠二（編著）：人とロボットの〈間〉をデザインする，東京電機大学出版局（2007）
- 2) 中島義明，安藤清志，子安増生，坂野雄二，繁樹算男，立花政夫，箱田裕司（編）：心理学辞典，有斐閣（2004）
- 3) Matsumoto, N., Fujii, H., Goan, M., and Okada, M.: Minimal Design Strategy for Embodied Communication Agents, In Proceedings of the 14th IEEE International Workshops on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN'05), pp. 335-340 (2005)
- 4) Okada, M., Sakamoto, S., and Suzuki, N.: Muu: Artificial Creatures as an Embodied Interface, In Proceedings of the 27th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2000), p. 91 (2000)
- 5) Suzuki, N., Takeuchi, Y., Ishii, K., and Okada, M.: Talking Eye: Autonomous Creatures for Augmented Chatting, Robotics and Automation Systems, 31, 171-184 (2000)
- 6) Kiesler, S.: Fostering Common Ground in Human-Robot Interaction, In Proceedings of the 14th IEEE International Workshops on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN'05), pp. 729-734 (2005)
- 7) Clark, H. H.: Arenas of Language Use, University of Chicago Press (1992)
- 8) Yamada, S. and Komatsu, T.: Designing Simple and Effective Expression of Robot's Primitive Minds to a Human, In Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'06), pp. 2614-2619 (2006)
- 9) Komatsu, T. and Yamada, S.: Effect of Agent Appearance on People's Interpretation of Agents' Attitude, In Extended Abstract (Work in Progress) of the ACM-CHI 2008 (CHI2008), pp. 2919-2924 (2008)

- 10) 小松孝徳・山田誠二：適応ギャップがユーザのエージェントに対する印象変化に与える影響，人工知能学会論文誌，24 (2)，232-240 (2009)
- 11) Komatsu, T., and Yamada, S.: Adaptation gap hypothesis: How differences between users' expected and perceived agent functions affect their subjective impression, Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, 9 (1), 67-74 (2011).
- 12) Koehler, D.J.: Hypothesis generation and confidence in judgment, Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 20, 461-469 (1990).
- 13) 清河幸子・植田一博・岡田猛：科学的推論プロセスにおける他者情報利用の効果，認知科学，11 (3)，228-238 (2004)