

## インタラクションのうれしさの分析:

## 人と擬人化エージェントのインタラクションにおける脳活動計測

## Analysis of Joyfulness during Interaction: Brain Activity Analysis of Interaction between Human and Human-like Agent with Gaze and Facial Expression

黒木 裕己<sup>\*1</sup>  
Yuki Kuroki武川 直樹<sup>\*2</sup>  
Naoki Mukawa島田 尊正<sup>\*2</sup>  
Takamasa Shimada湯浅 将英<sup>\*2</sup>  
Masahide Yuasa<sup>\*1</sup>東京電機大学大学院 情報環境学研究科 <sup>\*2</sup>東京電機大学 情報環境学部<sup>\*1</sup>Graduate School of Information Environment, Tokyo Denki University <sup>\*2</sup>School of Information Environment, Tokyo Denki University

Human-like agents having facial expression may convey favorable impression of agents and produce joyfulness during interaction. This report describes physiological experiments using fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging). The research contributes for establishing non-verbal behavior design model of affective agents. The experimental results show that the agent's head turning behavior to user following user's action activates frontal association area (which is associated with affection and motivation process, and inference) and amygdala (which is associated with affection and reward). The results also suggest that those areas play an important role for user's favorable impressions on interactive agents.

## 1. はじめに

顔や表情を持つ擬人化エージェントをインタフェースとして利用するヒューマンコンピュータインタラクションは、日常の人同士のコミュニケーションルールをそのまま適用することができるため、注意を引きやすく、分かりやすく、快適となると期待されている。それに基づき、ペットエージェント、ヘルプエージェント、チューターエージェント、ホスティングエージェント、道案内エージェントなどのアプリケーションの研究が進められている。しかし、擬人化エージェントは、人、動物、物のどれでもない中間的な存在であるため、人と同程度のインタラクション効果があるとは限らない。インタラクションの過程において、ユーザは擬人化エージェントを人に近い存在として扱うかという問題は、想定するアプリケーションの目的を達成するために重要である。たとえば、人はエージェントとのインタラクションの際に、単に人のコミュニケーションの手順を適用して情報交換をしているだけかも知れない。たとえばパソコンのエージェントに顔を向けるのは単に必要な情報を取得するためである可能性がある。あるいは擬人化エージェントに対して意図や感情がある存在と認めて、(たとえば、エージェントに気を使いながら)インタラクションをするかもしれない。人がエージェントの行動に応じてどのように振舞うか、また人に特定の振る舞いをさせるような擬人化エージェントの表現手段の設計をする必要がある。

人のコミュニケーションにおいては、言語情報によってだけでなく、顔や視線の向き、顔の表情、ジェスチャー、パラ言語などの様々な情報が組み合わされ、意図・感情が調節されて伝えられる[Vargas Marjorie 1987]。さらにこれらの情報はお互いのインタラクションによってダイナミックに変化する。擬人化エージェントとのインタラクションにおいても人に伝えうる意図・感情を評価し、目的とするインタラクションを効果的に実現することが重要である。このような問題意識のもと、われわれは、人の顔の持つノンバーバル情報を表出できる擬人化エージェントのインタラクションの評価・分析を進め、エージェントの表出するノンバーバル行動の設計基準、表出モデルの確立を目指している。本報

告では、特にインタラクションによって生じる、うれしさ、楽しさの印象・情動について fMRI を用いた生理指標を用いて総合的に評価することを試みる。本結果は、人と人、人とコンピュータのコミュニケーションの仕組みの解明にも寄与すると期待できる。

## 2. 従来研究

人は顔の表情から相手の情動を推測し、また、表情表出によって相手に自己の情動を伝えることができる。心理学的知見は、人の顔が発する社会的メッセージの重要性を裏付けている。Ekman らは、顔の写真を用いて多くの感情評価を行い、6 つの基本感情(喜び、悲しみ、怒り、恐怖、嫌悪、驚き)が存在することを提言し、それらに対応する表情も 6 つ存在することを主張した[Ekman 1987]。Cook ら、吉川らは、視線や表情にその人の好感度や能力などの感性情報を伝達する機能があることを明らかにした[Cook 1975][吉川 2001]。また、生理学の分野では、Baron-Cohen らが、脳画像研究により、人の脳内に mentalizing (他人の意図を推定するためのメカニズム)に関連して活性化する神経機構があることを明らかにしている[Baron-Cohen 1995]。Kampe らは、人のコミュニケーションの成立は、最初の意図の伝達の認識に依存しているとし、視線が合ったとき mentalizing と関連のある前頭皮質および側頭極の双方が活性化されることを確認した[Kampe 2003]。しかしながら心理・生理学においては、人からの一方向からのメッセージに対する分析はされているが、双方向のインタラクションにおける分析はほとんどなく、HCI に適用できるエージェントの設計モデルに適用できる知見は少ない。

HCI の分野において擬人化エージェントに関する多くの研究が続けられている。これらの研究は Reeves らが Media Equation の研究の中で、コンピュータやインタフェースに性格や感情を持たせることが可能であり、ユーザはコンピュータに対して、無意識の内に対人的な印象を感じることを示した[Reeves 1996]ことに根拠を持たせたものと考えられる。すなわち、外見やコミュニケーション方法が人間に近い擬人化エージェントは、ユーザの無意識の対人的反応が誘発されやすく、人同士のコミュニケーションのモデルが成り立つことが期待できる。たとえば深山らは人の視線と印象に関する心理学的知見を基に、「凝視量」、「凝視継続時間」、「非凝視時視線位置」の 3 種類のパラメータを制

御する視線エージェントの視線移動モデルを提案し、エージェントの視線のみからユーザが受ける印象を操作できることを示した[深山 2002]. また、さまざまなエージェントとのインタラクションに対してユーザ評価の立場から研究がなされているが、従来研究は、被験者のアンケートと主観評価実験によるものがほとんどであり、被験者が得た解釈についての根拠を明らかにすることは難しく、HCI の設計モデルの確立は研究の途上にある。

### 3. インタラクションの評価

本研究では、ユーザからの呼びかけによる擬人化エージェントとのインタラクションに焦点を当て、人の反応の評価を行う。視線、表情など顔が発する情報の組み合わせにより、ユーザに伝わる意図、印象を分析し、人の感情や意図を考慮した新しいインタフェースの設計論のためのモデル化に寄与することを目的とする。将来的には、コンピュータインタフェースの使い易さだけでなく、ユーザの満足度、快感、達成感などのダイナミックな効果を生むエージェントの提案を目指す。

これまでに、著者らは、視線と表情を持つ擬人化エージェントと人とのインタラクションにおいて、エージェントが人に与える印象の心理評価実験を行った[黒木 2005]. 実験は、視線、表情、顔の向きのパラメータを変化させるエージェントの映像を被験者に提示し、印象を SD 法に基づいて評価するものである。実験の結果、エージェントの視線と表情の動作の組み合わせを変化させることによって人の受ける印象を操作可能であること、ユーザからの挨拶を模倣するアクションに対してエージェントが友好的なノンバーバル情報を返すことによって好印象がより強く伝達されることを示した。

また、ユーザからの挨拶に対してエージェントが挨拶と解釈できるアクションを返す場合と、ユーザからの挨拶がないときにエージェントが動作する場合の印象を比較する実験を行った。実験の結果、ユーザからアクションを起こした場合の方が、エージェントからアクションを起こした場合よりも友好的に解釈される可能性が高いという結果が得られた。しかし、その友好性の差は有意水準ではなかった。この要因としてエージェントがユーザからのアクションに先立って動作することは、エージェントによる自発的挨拶行動だと解釈すると、ユーザからのアクションが先の場合と同様に好印象を与える可能性が考えられた。さらに、心理評価では、時間に対するユーザの印象の変動や、ユーザの認知・解釈のプロセスを明らかにすることは困難であった。この限界を越え、インタラクションにおけるユーザの解釈の本質的な違いを調べるためには、インタラクション中の解釈の時間変化、解釈の意味づけの違いなどを分析する必要がある。fMRI などの生理指標計測はこれらを可能にするものと考えられる。

### 4. 生理指標に基づく仮説

人のインタラクションの解釈の違いを調べるため、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging)を用いて実験を行なう。fMRI は人の顔知覚や、社会認知のプロセスの解明などに大きく寄与し、HCI の分野にも重要な知見をもたらしつつある。心理評価実験での実験結果と考察を基に、次の仮説を立てた。

仮説 1: ユーザからアクションを起こした場合と、エージェントからアクションを起こした場合とで、ユーザのインタラクションの解釈における生理的反応は異なる

仮説 2: ユーザからアクションを起こしてエージェントが友好的なリアクションをした場合、エージェントから受ける好印象は強調される

## 5. 実験

### 5.1 実験デザイン

Galatea Toolkit[嵯峨山 2003]を用いて擬人化エージェントを作成した。エージェントの顔には、女性 30 名から成る平均顔[原島]を使用し、図 1 に示すエージェントを作成した。エージェントは MMI 記述言語である XISL (Extensible Interaction Sheet Language) で制御する。

エージェントが不自然な動作をした場合、ユーザは違和感を感じる可能性があるため、擬人化エージェントの自然な動作時間を求める予備実験を行った結果、「振り向きに要する時間」、「リアクションまでの時間」、「アクションまでの時間」をそれぞれ 0.4 秒、0.5 秒、0.5 秒とした。

事象関連デザインに基づいた仮説検証実験をデザインした。実験デザインの概要を図 2 に示す。Task1 では、被験者は任意のタイミングでボタンを押してエージェントに呼びかけ、ボタンを押してから 0.9 秒後にエージェントが振り向く。Task2 では、被験者がボタンを押す前に (0.9 秒後に) エージェントが自動的に振り向き、それに対し被験者が任意のタイミングで挨拶 (ボタン押し) をする。ダミー課題として、ボタンを押してもエージェントが振り向かない Task3 が全体の 2 割程度含まれている。各 Task 間には、Rest として静止したエージェントの顔画像が 10.0 秒提示される。また、Task1 ではエージェント振り向き後、Task2 では被験者がボタンを押した後、それぞれ 1 秒後からスキャンしたデータを解析に用いる。これにより、被験者がボタンを押した時と、エージェントが振り向いた時の脳活動の信号の両方をなるべく安定した状態で捉えることができる。



図 1 実験用エージェント

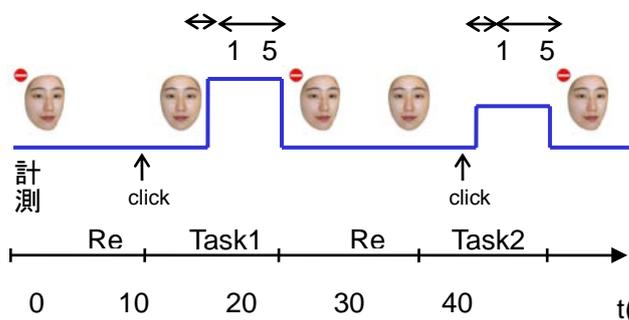


図 2 実験デザイン概要

### 5.2 実験準備

被験者は、右利きの男性健康者 11 名で、年齢は 20 代前半である。倫理的配慮として、被験者には事前に実験内容、注意事項について説明し、同意を得た。

fMRI 撮像には 1.5T 超伝導磁場型 MRI スキャナ(日立メディコ製:Stratis-II)を使用した。

また、被験者には予め、「ボタンを押すことはエージェントへの挨拶を模擬している」旨を教示し、エージェントに挨拶をしてエージェントとコミュニケーションをとるよう指示した。また、エージェントから挨拶された場合は、ボタンを押して挨拶を返すよう指示した。

### 5.3 実験手順

スクリーン上に擬人化エージェントの顔画像を提示する。各試行において、最初に顔の向きを被験者から逸らした状態のエージェントが表示される。被験者はボタンを押してエージェントに呼びかけ、ボタンを押した直後にエージェントが振り向く課題(Task1)と、ボタンを押す前に自動的にエージェントが振り向く課題(Task2)を行なう。また、ボタンを押してもエージェントが振り向かないダミー課題(Task3)も行う。各 Task はランダムで提示され、各 Task 間には取り込み中のエージェントの顔画像が 10 秒間提示される(Rest)。被験者はトータル 300 秒の実験を 3 回行った。

SPM2 (Statistical Parametric Mapping 2)を用いての統計解析を行った。被験者全ての結果をグループ解析し、標準脳上に図示した。

## 6. 実験結果と考察

### 6.1 実験結果

Task1 実行時と Task2 実行時の脳活動の比較し、Task1 において有意に賦活した部位を図 3 に示し、賦活部位と Brodmann area を表1に示す。主に側頭葉の視覚連合野、前頭葉の前頭連合野、辺縁葉の鉤に賦活が認められた。

### 6.2 考察

図 3 および表 1 より、Task2 に対して Task1 を実行している時の脳の賦活部位を見ると、側頭葉では上側頭回、中側頭回、そして後頭葉では紡錘状回、中後頭回に賦活が認められた。これらの部位は、主に従来研究で確認されている視覚、顔の認知に関連するものである。紡錘状回は、静止した顔の特徴処理に関与し、上側頭回は、表情や視線などの形態情報と運動情報の両方を含むダイナミックに変化する情報の処理に関わるとされている[吉川 2004]。また、側頭極(Brodmann area 38)にも賦活が認められた。側頭極は、視線や表情などから他者の意図を推測するための機能である mentalizing(心の理論)に関連するとされている。

前頭葉では、上前頭回、中前頭回、下前頭回に賦活が認められた。前頭葉は、言語理解や推論など高次の認知機能のベースとなる重要な帰納である。前頭葉の中心的な機能はワーキングメモリであり、情報を意識的に保持・操作・統合して答えを導き出すという一連の過程を含んでいる。また、前頭葉の前頭連合野は、報酬情報の処理などの情動・動機付けにも重要な役割を果たしていると言われている。辺縁葉においては、鉤に賦活が認められた。鉤は海馬傍回が内側に鉤上に曲がった領域であり、深部には扁桃体が含まれている。扁桃体は、自己の生存にとって有益および有害な刺激に対する情動の発現に関与している。さらに、表情認知や心の状態の認識などの人間生活に必要な社会認知機能の中心的な役割を果たしていると考えられている。今回の実験では、左半球の鉤が賦活している。左の扁桃体に関しては、複雑な視覚的刺激からの精神状態を示す情報や、感情的な情報を同定する際に重要な部位である

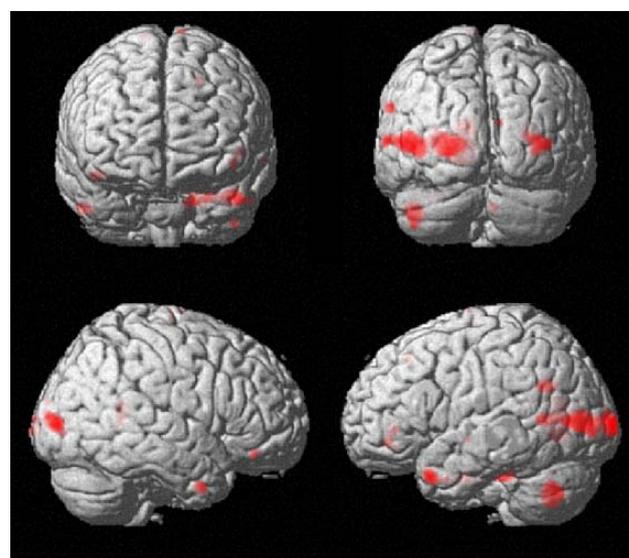
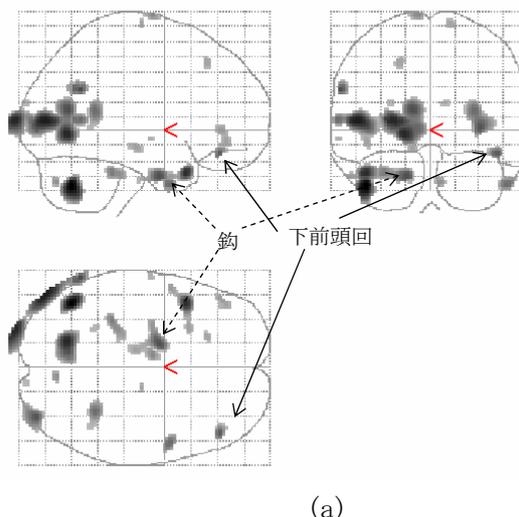


図 3 Task1 と Task2 の脳活動の比較

表 1 主な賦活部位と Brodmann area

賦活部位		Brodmann area
前頭葉	左右 下前頭回	46,47
	左 中前頭回	11
側頭葉	左右 上側頭回	38,39
	左右 中側頭回	21
後頭葉	左右 中後頭回	18,19
	右 紡錘状回	19
辺縁葉	左 鉤	36

と言われている[Baron-Cohen 2000]。これは左の扁桃体が情緒処理に特異的に活性化するという先行研究の報告と一致するものである。さらに、曖昧な表情認知や、表情に対する感情カテゴリ判断などの実験結果から、前頭連合野は大雑把な情報出力する扁桃体の活動を抑制することで、より分析的な処理を可能にしていることが示唆されている。扁桃体と前頭連合野は、適切な社会行動を生み出すために相互作用している神経機構

である。今回の実験においては、前頭連合野の下前頭回と扁桃体が、エージェントとのコミュニケーションの解釈において相互に重要な役割を果たしていると考えられる。

### 6.3 仮説の検証

4章で示した仮説を検証する。

仮説 1: ユーザからアクションを起こした場合、エージェントからアクションを起こした場合と、ユーザのインタラクションの解釈における生理的反応は異なる

Task1 実行時の脳活動と Task2 実行時の脳活動を比較すると、主に視覚、顔の認知に関連する部位の他に、前頭葉の前頭連合野、および辺縁葉の鉤において賦活が認められ、仮説 1 は支持される。

仮説 2: ユーザからアクションを起こしてエージェントが友好的なりアクションをした場合、エージェントから受ける好印象は強調される

先行研究の知見に基づいて仮説 2 を解釈すると、ユーザからのアクションに対してエージェントが振り向いてくれた時に、前頭連合野が前後の関係から統合的に行動を判断、評価し、辺縁系の扁桃体近傍が活動することによって好印象が形成され、ユーザは Task1 のエージェントに対して Task2 より好印象を感じた可能性が示唆される。

### 7. まとめ

本研究では、擬人化エージェントのインタラクションにおいてうれしさ・楽しさが人にどのように解釈され、感じられるかを明らかにし、適切なエージェントの表現パラメータを設計に寄与することを目的として、fMRI を用いた生理指標計測実験による分析を行った。視線と笑顔表情をもつエージェントがユーザからのアクションに対して振り向き反応する Task において、情動処理や動機付け、推論などの高次の認知機能を担う前頭連合野と、情動や報酬と関連のある扁桃体に賦活が見られ、インタラクションによって人が受ける好印象は、前頭連合野と扁桃体が相互に重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

今後は、今回のインタラクションがアクションとリアクションの1対だけからなっているが、相互のインタラクションが継続する場合の評価を行う。また、擬人化エージェントとのインタラクションだけでなく、人が物体を操作するインタラクションにおいても、ある意味の楽しさ、面白さが人に伝わるが、これら2つのインタラクションの質的違いをfMRI を用いて分析する。さらに、多様な表情変化により心理評価、生理指標評価実験を重ね、コミュニケーションにおける最適なノンバーバル情報を定量化していきたい。インタラクションはコミュニケーションの重要な一形態であり、人が他者との友好的なインタラクションを好ましいと感じる神経機構の存在は、集団社会生活を円滑に営む上で重要である。人のインタラクションの仕組みを解明し、それに伴うノンバーバ

ル情報を適切に操ることのできる擬人化エージェントの設計が可能になれば、コンピュータは文字通り人の心を理解し、より円滑なコミュニケーションが可能になるであろう。

### 謝辞

実験に用いた女性平均顔の使用を認めて頂いた東京大学大学院情報学環・学際情報学府原島博教授のご好意に感謝する。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(B)16300032, 2005, 東京電機大学総合研究所一般研究課題 Q04J-10 および東京電機大学先端工学研究所重点課題による。

### 参考文献

- [Vargas Marjorie 1987] Vargas Marjorie F: "Louder Than Words? An Introduction to Nonverbal Communication", 新潮選書, (1987).
- [Ekman 1987] Ekman, P. and Friesen, W.: 表情分析入門, 誠信書房(1987).
- [Cook 1975] M. Cook and J.M.C Smith: "The Role of Gaze in Impression Formation", *J. Soc. Clin. Psychol*, 14, pp.19-25 (1975).
- [吉川 2001] 吉川佐紀子: 社会的注意と感情の認知: 視線・表情の相互作用, *失語症研究* 21(2), pp.103-112 (2001).
- [Baron-Cohen 1995] S. Baron-Cohen: "Mindblindness - An Essay on Autism and Theory of Mind", MIT Press (1995).
- [Kampe 2003] Knut KW Kampe, Chris D. Frith, and Uta Frith: "Hey John": signals conveying communicative intention toward the self activate brain regions associated with "mentalizing," regardless of modality. *J Neurosci* 2003 Jun 15 23(12):5258-63 (2003).
- [Reeves 1996] B. Reeves, C.Nass, : "The Media Equation", Cambridge University press, (1996) .
- [深山 2002] 深山篤, 大野健彦, 武川直樹他: 擬人化エージェントの印象操作のための視線制御方法, *情報処理学会論文誌*, Vol.43, No.12, pp.3596-3606, (2002).
- [黒木 2005] 黒木裕己, 白石祥子, 武川直樹, 湯浅将英, 深山篤: 視線と表情を持つ擬人化エージェントのインタラクションによる印象変化, *信学技報*, HIP2004-108, Mar. (2005).
- [嵯峨山 2003] 嵯峨山茂樹他: 擬人化音声対話エージェントツールキット Galatea, *情報処理学会研究報告*, 2002-SLP-45-10, pp.57-64,(2003) .
- [原島] 東京大学 原島・苗村研究室: face gallery, <http://www.hc.t.u-tokyo.ac.jp/facegallery/index.html>.
- [吉川 2004] 吉川佐紀子: 表情認知の脳科学, *分子精神医学* Vol.4, No.1, pp.12-17.(2004).
- [Baron-Cohen 2000] S. Baron-Cohen, et al.: "The amygdale theory of autism." *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 24, 355-364, (2000).