

Gaze Mirroring による注視模倣効果の分析

石川 恵理奈^{†1} 米 谷 竜^{†1}
平 山 高 嗣^{†2} 松 山 隆 司^{†1}

ディスプレイに提示された擬人化エージェントを通して、システムがユーザの注視行動を同期同調して模倣する Gaze Mirroring を提案する。Gaze Mirroring による注視行動のフィードバックは、(1) ユーザに対して鏡の役割を果たすことで自己の注視に対する気付きを与える、(2) 共同注視の効果によって興味を反映した行動を引き出す可能性があり、ユーザの注視行動に変化をもたらすことが期待できる。本稿では、ユーザがディスプレイに提示された複数商品から好みのものを選択する状況を設定した被験者実験を行い、興味を持つ対象への注視持続時間が有意に増加するという Gaze Mirroring 効果を確認した。

Analysis of Gaze Mirroring Effects

ERINA ISHIKAWA,^{†1} RYO YONETANI,^{†1}
TAKATSUGU HIRAYAMA^{†2} and TAKASHI MATSUYAMA^{†1}

This work proposes a synchronous human-agent interaction, *Gaze Mirroring*, that an anthropomorphic agent imitates gaze behavior of user while he/she makes a choice from contents provided by an interactive system. Gaze Mirroring can perform as a mirror; it gives the user a visual feedback that makes aware his/her gaze targets. Gaze Mirroring can also establish the joint visual attention between the anthropomorphic agent and the user; it elicits gaze behavior reflecting interest from him/her. We confirmed Gaze Mirroring effects that the duration of gazes that focus on the contents which subjects are interested in becomes longer, through some experiments by applying Gaze Mirroring to content display system.

^{†1} 京都大学大学院情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kyoto University

^{†2} 名古屋大学大学院情報科学研究科 (本研究は京都大学在籍時から従事している)

Graduate School of Information Science, Nagoya University

1. はじめに

情報の量的巨大化、質的複雑化は情報弱者の普遍化を招いている。爆発した情報源へのインタフェースである一般的な情報検索システムを用いる場合、的確なキーワード入力、もしくは明確な判断基準による情報選択を行うことができれば、所望の情報にたどり着くことがしばしば困難となる。すなわち、従来のユーザ主導型の検索インタフェースでは、ユーザが自己の状態を明確に自覚していない状況やそれを明示的に表現できない状況において円滑な情報獲得に至らない。このような状況では、システムとユーザとが双方向的に働きかけを行うインタラクションが有効とされている¹⁸⁾。我々は、人同士の対話分析による従来知見に基づいて設計したシステム動作が、ユーザの状態をどのように変化させるかについて検証し、ユーザの内的状態を無意識的な行動に引き出すヒューマンマシンインタラクションの実現を目指している。本研究では、このインタラクションの手段の1つとして「模倣」に注目し、注視行動をその対象として分析を行う。

模倣は、人間の社会活動の根源的行動であるため重要視され、発達心理学、社会学、ロボット工学など多様な分野で研究がさかに行われている^{15),17)}。人同士のコミュニケーションにおける模倣の効果はカメレオン効果と呼ばれ、非言語的な振舞い(表情、姿勢、くせ)の無意識的な変化を引き起こし、円滑なインタラクションを促進させることが明らかになっている³⁾。この効果は、人とロボットやエージェントとのインタラクションにおいても表れることが示されている^{1),11)}。一方で「目は心の窓、目は口ほどに物を言う」と諺や慣用句でも広く用いられるように、注視行動は人間が内的状態を表出する非言語的な振舞いの1つとしてしばしば注目される。特に注視行動と人間の注意・関心の関係は、心理学、生理学分野を中心に研究され^{14),16)}、注視の滞留時間や頻度によって興味の対象を推定するという工学的応用も行われている⁹⁾。しかしながら、その多くは静的な情報提示環境下での注視行動を扱ったものであり、システムとのインタラクションによってユーザの注視行動がどのように変化するかを分析した従来研究^{2),8)}は限られ、その知見が十分に蓄積されているわけではない。

そこで、本研究では、擬人化エージェントが対面するユーザの注視行動を模倣することが、その行動自体に変化をもたらす、ヒューマンマシンインタラクションの重要な要素になると考え、このことを検証するために注視模倣インタラクション“Gaze Mirroring”を提案する。Gaze Mirroring がユーザの注視行動に変化をもたらすことは、以下に示す模倣に関わる従来知見からも十分に予想できる。

Gaze Mirroring は、バイオフィードバックに類推した提案でもある。バイオフィードバックとは、人間が無意識的に表出する生理指標や人間の内的な活動指標をシステムが観測し、その人間自身に知覚させるように帰還することで心身状態の制御を促すヒューマンマシンインタラクションである^{6),10)}。これに基づく、自己が何を見ているか、なぜ見ているかをユーザが自覚していない状況において、システムがその注視行動を人間にフィードバックすることによって、その気づきと調整を促し、注視行動を変化させる可能性がある。その一方で Gaze Mirroring は、注視対象に対するエージェントとの共同注視としてユーザに知覚されることも想定できる。共同注視とは、他者の心を理解するプロセスの 1 つであり⁴⁾、他者と関心を共有する事物へ注視を向けるよう行動を調整する模倣行動の一種である¹⁵⁾。Gaze Mirroring が共同注視の働きを果たすことで、ユーザの注視行動に影響を及ぼし、内的状態を外部から観測可能な振舞いに引き出す可能性がある。

本稿では、Gaze Mirroring による注視行動への影響を Gaze Mirroring 効果と呼び、その特性を明らかにすることを目的とする。

2. Gaze Mirroring

2.1 状況設定

本研究では、ヒューマンマシンインタラクションがユーザサポートのために効果的に働く状況の 1 つとして街角や店内に設置された大画面情報提示システムを用いて、ユーザが好みのコンテンツを選ぶという状況を想定する。このシステムは、あるカテゴリに属する複数の似通ったコンテンツを一覧提示する。類似した情報を目の前にして選択を行うという状況は日常的であり、ユーザは提示されたコンテンツに対して吟味や見比べといった注視行動を興味という心的要因に基づいて行うものと考えられる。Gaze Mirroring を行う擬人化エージェントはコンテンツと並んでディスプレイに表示され、ユーザの注視行動を模倣する(図 1)。以下ではその模倣メカニズムを示した後、Gaze Mirroring 効果に関する仮説を導く。

2.2 Gaze Mirroring によるユーザ・エージェントインタラクション

Gaze Mirroring による注視行動の模倣は、ディスプレイ上でユーザが視線を向けたコンテンツ領域に対してエージェントが同期的に注視を行うことで実現する。このとき Gaze Mirroring は、図 2 に示すようにセルフフィードバックを行うインタラクションモデルとして表現することができる。これは、ある時刻 t のユーザの注視コンテンツ z_t を制御する注視関数 g およびエージェントの注視コンテンツ a_t を制御する模倣関数 f によって構成され

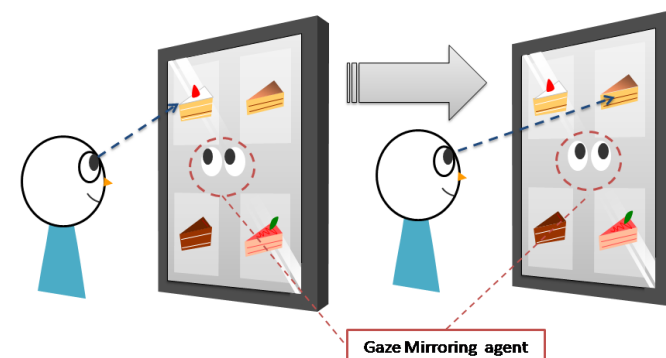


図 1 Gaze Mirroring : 擬人化エージェントによるユーザの注視模倣
Fig.1 Gaze Mirroring: imitation of user's gaze behavior by agent.

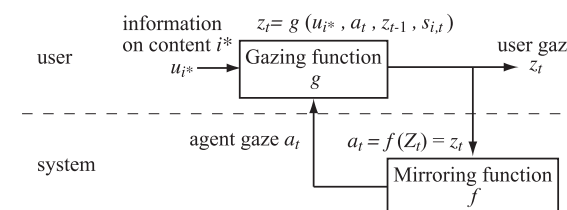


図 2 Gaze Mirroring におけるセルフフィードバックモデル
Fig.2 The visual feedback model for Gaze Mirroring.

る。ここで、注視関数とは、コンテンツ i への興味 $s_{i,t}$ 、ディスプレイ全体の視覚情報、および一時刻前の注視行動 z_{t-1} を入力とし、ディスプレイ上の注視コンテンツ z_t を出力するものである。ディスプレイ全体の視覚情報はシステムが提示したコンテンツ i の視覚情報 u_i 、エージェントの注視方向 a_t によって構成される。また模倣関数はユーザの注視コンテンツ z_t を入力とし、エージェントがこの z_t に同期して注視模倣を行うように、同時刻 t において注視コンテンツ a_t を出力するように設計する。すなわち、 $a_t = z_t$ であり、システムは観測されたユーザの注視行動を鏡のように視覚情報として可視化し、ユーザへと帰還する。したがって、ユーザは自身の内的状態を反映した情報を知覚可能な状態で外部から受け取ることになる。

2.3 Gaze Mirroring 効果

以下では Gaze Mirroring 効果、すなわちエージェントによる同期同調の注視模倣がユー

ザの注視行動に与える影響について仮説を与える．Gaze Mirroring による注視行動に関するセルフフィードバック系は、大画面に表示されるエージェント以外の情報が静的である場合には外乱的要因の影響を受けにくく、エージェントが自律した内部状態を持たないため、この Gaze Mirroring 効果はどのユーザに対しても普遍的に現れることが期待される．

バイオフィードバックに関わる従来知見に基づくと、以下の効果が期待できる．バイオフィードバックによってユーザは、帰還された身体の状態（客観的指標）と、自己が感じる身体の状態（主観的指標）をマッチングさせることで両者の乖離に気づき、それが手がかりとなって身体感覚の気づきが高まる⁶⁾．そして、このような気づきは、さらに感情の気づき、心身相関の気づきにつながると考えられている¹³⁾．

Gaze Mirroring はさらに、自己が視線を移した際に、対面する相手がその方向に視線を移動させ注視対象を共有する行為である共同注視を、ユーザにエージェントとの間で知覚させる可能性がある．従来研究で、人間と擬人化された人工物間でも人間同士のインタラクションと同様に共同注視が起こることが報告されている¹⁹⁾．共同注視は、行為者が対象への注視を先行するかどうかに基づいて、始発的共同注視 (initiating joint attention) ないしは応答的共同注視 (responding to joint attention) に分類され⁷⁾、Gaze Mirroring においては、ユーザ側が対象への自発的な注視を先行し、エージェント側がそれを追従する応答的共同注視が実現する可能性がある．また共同注視は、他者と関心を共有する事物へ注視を向けるように行動を調整することであるため、提示コンテンツへのユーザの注視行動をエージェントが模倣することで共同注視が成り立てば、ユーザの注視行動に影響を与える可能性がある．

國吉は、模倣の機能構成の最も原初的な基盤として、反応促進を提案している．これは、他者の行動に直接呼応し、それが自己の既存の行動単位を活性化し、非意図的に同じ行動を引き起こすものと考えられている．つまり、模倣は共鳴的動作である¹⁵⁾．模倣に基づくインタラクションの効果については、対話相手が快の表情を表出している場合にそれを模倣すると、対話相手による表情表出がより長く持続し、不快の表情の場合にはその持続時間が短くなることが従来研究によって明らかになっている⁵⁾．これは反応促進と内的状態とが結びついた例であり、模倣が肯定的要因に対してその行動を促進し、一方で否定的要因に対して抑制的に働く可能性を示唆している．

これらのことから、ユーザの注視行動をエージェントが模倣すると、ユーザは自身の注視行動や興味に気づき、肯定的要因に対しての注視が促進され、否定的要因に対しての注視は抑制される可能性がある．すなわち、持続時間を注視対象の切り替わりから次の切り替わり

までの時間と定義すると、以下の仮説を立てることができる．

仮説

Gaze Mirroring によって、興味対象への注視の持続時間が長くなる．

また注視の持続時間とともに人間の内的状態が反映される主な注視行動として、注視対象の遷移パターンがしばしば議論されている^{8),12)}．Gaze Mirroring がもたらす効果について、本研究ではこの注視のパターンについても注目し分析を行う．

3. Gaze Mirroring 効果の分析

3.1 Gaze Mirroring システムの構成

Gaze Mirroring 効果を分析するために、図 3 (a) に示す大画面情報提供システムを構築した．ユーザとディスプレイ間の距離は 2,000 mm に設定した^{*1}．このシステムはディスプレイ上でのユーザの注視位置を計測する視線計測モジュールと、コンテンツ表示とエージェントの注視行動の制御を行う情報提供モジュールから構成される．視線計測モジュールには、角膜反射法に基づくアイトラッカー^{*2}を適用し、ユーザの眼下に設置した (図 3 (b) 参照)^{*3}．アイトラッカーのパラメータを事前に調整するために、ユーザはディスプレイに提示される 9 つの青色で塗りつぶされた円を順に注視する必要がある^{*4}．注視位置は 0.5 度 (ディスプレイ上で約 18 mm) の精度で 60 fps で獲得することができる．情報提供モジュールは、大画面ディスプレイ (表示領域は縦 1,434 mm, 横 807 mm)^{*5}を上下・左右に 4 分割した領域それぞれに 1 つのコンテンツを提示し (すなわち、2.2 節において $i = 1, 2, 3, 4$)、視線計測モジュールによって得られたユーザの注視位置に基づいてエージェントの表示を制御する．なお、それぞれの領域の提示コンテンツは 1 枚の画像、80 字程度の説明文からなる (図 4 参照)．

*1 被験者実験では、所要時間が長くなることによる影響を考慮し、被験者は椅子に着席した．

*2 Tobii 製 X60 EyeTracker．頭部の移動可能範囲は幅 400 mm, 高さ 220 mm, 奥行き 300 mm．

*3 CPU : Core2Quad 2.83 GHz, グラフィックカード : EN9600GT SILENT, メモリ : 4 GB, OS : Windows XP．

*4 いわゆるキャリブレーションを、被験者が椅子に着席した状態で、後述する事前評価フェーズと選択フェーズの間で行う．完了までの所用時間は失敗した場合の再試行を含めても 5 分程度である．

*5 Panasonic 製 65 インチプラズマディスプレイ TH-P65VT2．解像度 1,920 × 1,080 pixel, リフレッシュレート 60 Hz．

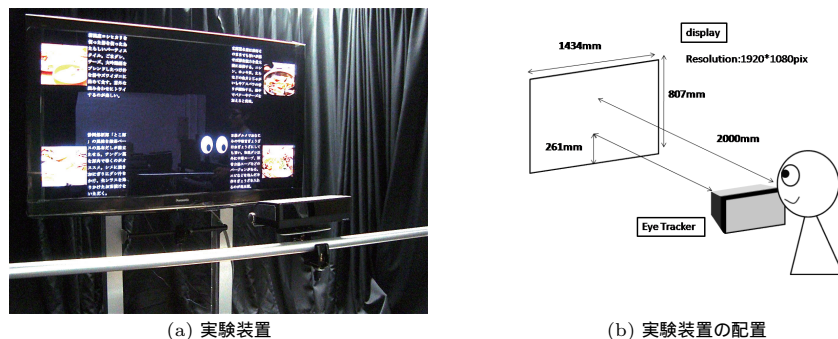
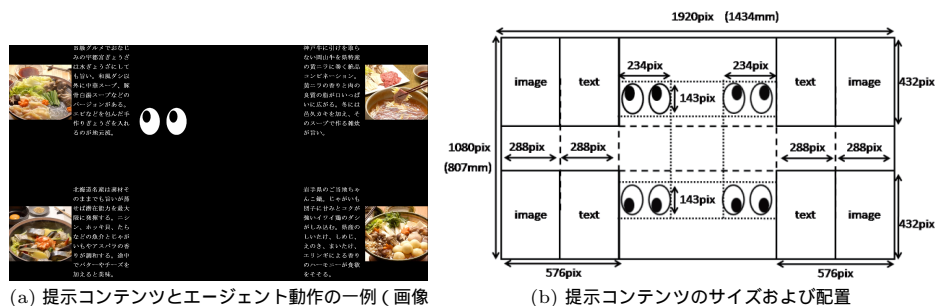


図 3 実験環境

Fig. 3 Experimental environment.



(a) 提示コンテンツとエージェント動作の一例 (画像は (株) ミツカンのホームページから引用. 文章は実験者が改編.)

(b) 提示コンテンツのサイズおよび配置

図 4 エージェントとコンテンツ

Fig. 4 Agent and contents.

3.2 エージェントデザイン

Gaze Mirroring を行うエージェントのデザインには, 目玉だけを持つ単純なものを用いる. 本研究では表情変化, 瞬き, アピランスなどエージェントの表面的なデザインに依存しない, Gaze Mirroring によってもたらされる根幹の効果を分析することを目的としており, エージェントの視線方向を表すために必要な要素以外は省いた. 注視位置の計測精度がディスプレイ上で約 18 mm であり, 人間の中心視野がディスプレイ上で直径約 70 mm の円領域であることを考慮し, 上下・左右のコンテンツ領域の間には少なくとも 88 mm の境

界領域を設ける. エージェントはディスプレイ中央部にできる境界領域に表示し, コンテンツ領域へ目玉自体を接近させるとともに, 虹彩を移動させることによって注視模倣を実現する. これにより, エージェントの注視模倣が十分な視覚的变化によってユーザの注意をひくことを期待できる. ユーザがあるコンテンツを注視している際に, エージェントによる注視模倣を比較的解像度の高い周辺視野 (5 度範囲の傍中心視野) で十分に知覚できるように, コンテンツ領域の端から 175 mm の位置へと目玉を接近移動させる.

エージェントの模倣制御について述べる. 視線計測システムによって, ユーザの視線データがディスプレイ上の注視点 $e(t) = [e_x(t), e_y(t)]$ として 60 fps で得られる. この視線データには, 瞬きや突発的なノイズが含まれるので, 安定した注視模倣を行うために, $e(t)$ に対して中央値フィルタ^{*1}を施す. この注視データからユーザが注視しているコンテンツを以下のように識別する. いま, ディスプレイに提示されたコンテンツ集合を $\mathcal{C} = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ と表現する. コンテンツ C_n はディスプレイ上において特定の領域^{*2}に配置されており, 以下ではその領域を $C_n = \{x, y \mid u_n \leq x \leq u'_n, v_n \leq y \leq v'_n\}$ と定義する^{*3}. このとき, 時刻 t におけるエージェントの注視コンテンツ $a(t)$ は, 以下のように注視点 $e(t)$ を各領域に照合することで得られる.

$$a(t) = \begin{cases} n & (e(t) \in C_n) \\ \phi & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

ここで n は各コンテンツを示す ID であり, ϕ はどのコンテンツも注視していない状態を示す. また今回用いたシステムの反応速度 (視線データの獲得からエージェントによる模倣がディスプレイに反映されるまでにかかる遅延) は, 100 msec 以下であり人間が遅延を知覚できない程度である. 図 4(a) は, 提示コンテンツとエージェントによる注視行動の一例を示す.

3.3 実験デザイン

被験者に与える基本タスクは, 同じカテゴリの 4 つのコンテンツから好みのものを 1 つ選択するというものを設定し, 以下の事前評価フェーズ, 選択フェーズ, 事後評価フェーズ

*1 時刻 t を含め $t - 4$ フレームまでの注視点系列 (80 msec) の中央値を返す.

*2 前述した人間の中心視野, 計測装置の測定誤差を考慮し, 模倣のためのコンテンツ領域は実際の領域に 87 mm のマージンを設けた.

*3 $u_1 = u_2 = -100, u_3 = u_4 = 1,244, u'_1 = u'_2 = 676, u'_3 = u'_4 = 2,020$
 $v_1 = v_4 = -100, v_2 = v_3 = 548, v'_1 = v'_4 = 532, v'_2 = v'_3 = 1,180$ (単位は画面上の画素値 [pix])



図 5 事前評価フェーズでの提示コンテンツの例

Fig. 5 An example of content displayed in the initial evaluation phase.

の手順で実験を行う。用意したコンテンツは、4つのカテゴリにおいて16個ずつ計64個のコンテンツである。

事前評価フェーズ

被験者ごとに選択肢となる提示コンテンツの統制を行う。提示コンテンツのそれぞれに対する被験者の興味の度合い（興味度）に大きな差がある場合、被験者は吟味のうえでの比較を行わずに選択を完了してしまう恐れがあり、Gaze Mirroring の効果が必ずしも期待できない。そこで、被験者に用意したすべてのコンテンツを1つずつ順番に提示し、興味に応じて7段階の採点を行う事前評価を課す。そして、この評価に基づいて興味度がより高いものから優先的に、互いの興味度の差が小さい4つのコンテンツを1セットとし、各カテゴリにおいて2セットずつ、計8セット（32コンテンツ）を抽出する。この事前評価は、次に述べる選択フェーズでのコンテンツへの興味度の大きな時間変化を抑えることが期待できる。Gaze Mirroring は内的状態の変化にも影響を及ぼす可能性があるが、本研究では2.2節で述べたように、内的状態を反映した注視行動を引き出す効果に注目しているため、内的状態の変化を実験間である程度統制する必要がある。なお、この事前評価の段階で被験者が選択を完了してしまわないように、被験者に提示する情報を最小限にとどめる。具体的には、コンテンツの説明文を表示せず、説明文を要約した10数文字程度のキャプションと画像のみを表示する（図5参照）。

選択フェーズ

事前評価フェーズで抽出したコンテンツセットを1セットずつ提示し、各セットから最も気に入ったコンテンツを1つ選択するタスクを被験者に課す。このとき各コンテンツにおいて、それぞれ説明文と画像を表示する。本実験では抽出した8つのコンテンツセットを用い

て、Gaze Mirroring を行う実験とエージェントを表示しない実験を交互に計8回行う。なお被験者には選択が完了した時点で口頭で結果を伝えてもらうこととし、選択完了までの制限時間はなしとする。

事後評価フェーズ

選択フェーズの全試行の終了後、被験者に事後評価を課す。具体的には、1回目の試行から順にコンテンツセットを再度提示し、選択したコンテンツ以外に気になったものがあったかどうかについて回答を求める。これは、選択されたコンテンツが唯一の興味対象であるとは限らず、興味対象が複数あった場合の Gaze Mirroring 効果をも分析するためである。またこれに加えて、提示されたエージェントに関する簡単な印象評価を課す。

3.4 分析手法

2.3節で述べたように、Gaze Mirroring による注視模倣は、注視行動への被験者の興味を反映する可能性があると考えられる。したがって以下では、被験者の興味の有無によって、各コンテンツに対し興味コンテンツ（I）および非興味コンテンツ（NI）の2つのラベルを与え、それぞれへの注視行動を分けて扱う。Iには被験者が選択フェーズにおいて選択したコンテンツ、および選択はしなかったが事後評価フェーズにおいて「選択コンテンツ以外に気になったコンテンツ」としたものを含め、これら以外のコンテンツをNIとする。実験はGaze Mirroring ありの場合となしの場合の2条件で行ったため、本研究では
GM・I Gaze Mirroring ありの場合の興味コンテンツへの注視行動
GM・NI Gaze Mirroring ありの場合の非興味コンテンツへの注視行動
NGM・I Gaze Mirroring なしの場合の興味コンテンツへの注視行動
NGM・NI Gaze Mirroring なしの場合の非興味コンテンツへの注視行動
という4種類の注視行動を考える。

分析にあたっては、まず Gaze Mirroring 有/無における興味/非興味コンテンツへの注視の持続時間の差異を検証するために、GM・I と NGM・I、および GM・NI と NGM・NI に対して、それぞれの注視持続時間分布間の差についての統計的仮説検定を行う。注視持続時間は、注視コンテンツの切り替わりから次の切り替わりまでのインターバルを求めることで算出し、インターバル内で瞬きなどによるデータの欠損^{*1}が生じた場合においても、そのコンテンツへの注視は持続しているとする。

*1 具体的には、300 msec 以下の欠損かつ前後で同じコンテンツを注視している場合、瞬きもしくは測定不良によるデータの欠損と見なす。

次に、注視対象の遷移パターンをラベル I, NI からなる 3-gram によって表現する。8 種類ある遷移パターンの出現頻度は、コンテンツセットに対する興味/非興味コンテンツの数に影響されるため、ここでは分析に十分なデータ数を確保できるコンテンツセットとして I, NI をともに 2 個ずつを含んだものに対する実験試行を抽出し、各パターンの出現頻度を求める。

4. 検証実験

前章で述べた Gaze Mirroring システムと実験デザインを用いて、Gaze Mirroring 効果の検証実験を 20 歳代男女 9 名の被験者に対して行った。コンテンツのカテゴリは、鍋料理、パスタ、ラーメン、ケーキとした（図 4(a), 図 6 参照）。

4.1 実験結果

計測によりディスプレイの左上を原点として得られた被験者の注視座標の時系列データ、およびそれらを注視コンテンツの時系列データに分節化した結果の例を、それぞれ図 7(a), 図 7(b) に示す。

まず全被験者を統合した計測データにおける、GM・I, NGM・I, GM・NI および NGM・NI それぞれについて、注視持続時間の頻度分布を算出した結果を図 8 に示す。興味コンテンツ注視時 (GM・I と NGM・I), および非興味コンテンツ注視時 (GM・NI と NGM・NI) のそれぞれにおいて、Gaze Mirroring ありの条件の方が Gaze Mirroring なしの条件より、長期の注視持続時間の頻度が増大する傾向にあることが分かる。特に、興味コンテンツ注視時 (GM・I と NGM・I) において Gaze Mirroring によって注視持続時間が 2,000 msec ま

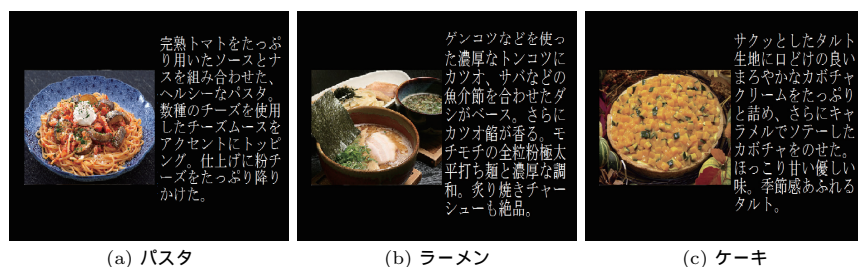


図 6 選択フェーズでの提示コンテンツの例（コンテンツの画像は（株）日本レストランシステム、（株）角川マガジン、キルフェボンのホームページから引用。文章は実験者が改編および、作成した）

Fig. 6 Examples of contents displayed in the selection phase. The images are referred to the web pages of nippon restaurant system Inc., kadokawamagazines Inc. and quail fait bon.

での注視の頻度が減少し、4,000 msec 前後の注視の頻度が増加することが確認できる。それぞれの分布は非正規分布でありかつ不等分散であることが各図より確認できるため、ここでは Gaze Mirroring ありとなしの分布が異なる中央値を持つという対立仮説を設定し、中央値検定^{*1}を適用する。興味コンテンツ注視時において、GM・I の注視持続時間の中央値は 4,172 msec, NGM・I の注視持続時間の中央値は 3,510 msec であり、有意水準 5% で有意差が認められた ($p = 0.0118$)。一方、非興味コンテンツ注視時においては、GM・NI の注視持続時間の中央値は 4,040 msec, NGM・NI の注視持続時間の中央値は 3,514 msec であり、有意差は認められなかった ($p = 0.0713$)。なお、GM・I と GM・NI の分布間、NGM・I と NGM・NI の分布間に有意差は認められなかった。

次に、Gaze Mirroring を行うことで、行わない場合より興味コンテンツに対する注視持続時間が増加した要因を分析する。各コンテンツは、文章と画像という異なる性質を持つ視覚情報で構成されたため、文章提示領域に向けられた注視行動と画像提示領域に向けられた注視行動を分けて分析を行う。興味コンテンツ内における文章、画像各領域への注視の持続時間の頻度分布を算出した結果を図 9, 図 10 に示す。コンテンツ領域全体への注視持続時

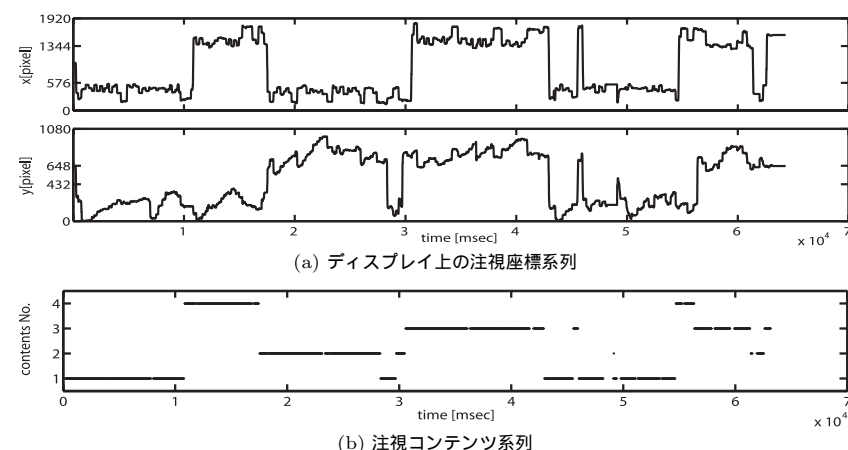


図 7 視線計測モジュールによって得られた注視座標系列と注視コンテンツ系列の例
Fig. 7 Examples of gaze data obtained by the eye tracking module.

*1 ここでは Gaze Mirroring 有/無それぞれにおける注視持続時間を統計量とし、マンホイットニーの U 検定を用いた。

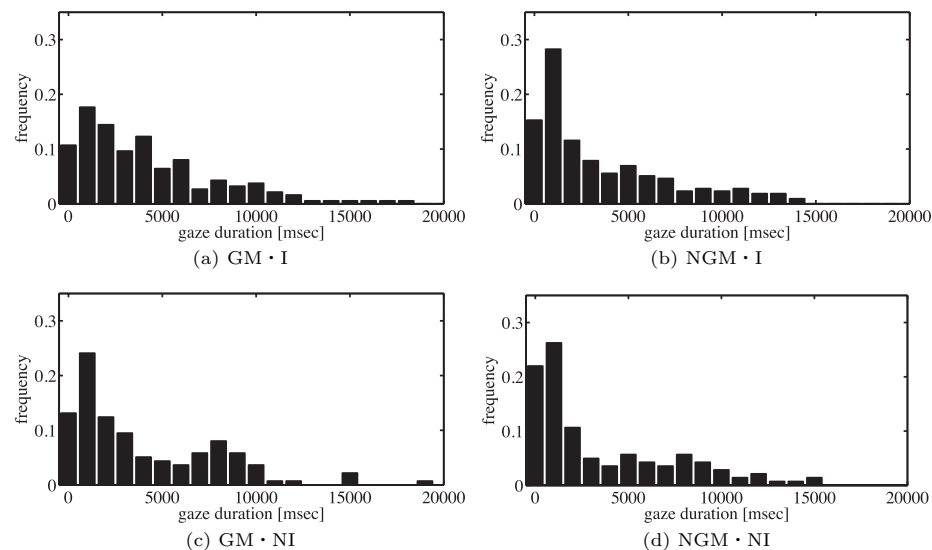


図 8 コンテンツへの注視持続時間の頻度分布

Fig.8 Frequency of gaze duration.

間での分析と同様に、文章、画像各領域への注視持続時間に対しても、注視持続時間を統計量として中央値検定を行った。文章領域注視時において、GM・Iの注視持続時間の中央値は1,547 msec、NGM・Iの注視持続時間の中央値は1,079 msecであり、有意水準1%で有意差が認められた ($p = 0.0060$)。一方、画像領域注視時においては、GM・NIの注視持続時間の中央値は415 msec、NGM・NIの注視持続時間の中央値は438 msecであり、有意差は認められなかった ($p = 0.7072$)。これにより、Gaze Mirroringによって興味コンテンツに対する注視持続時間が長くなることの一要因を示唆する結果が得られた。

注視コンテンツの遷移パターンについては、相対的出現頻度を求める。相対的出現頻度とは、各試行におけるそれぞれのパターンの出現回数を選択フェーズで費やされた時間で割ったものとし、単位時間あたりのパターン出現回数を指す。相対的出現頻度の全試行の平均値を図11に示す。遷移パターンの表記は、たとえば(I,I,NI)は最初に興味コンテンツを見て、次にもう1つの興味コンテンツ、そして非興味コンテンツという順番で注視を行うパターンを表す。3.4節で述べたように、本分析ではIが与えられたコンテンツおよびNIが与えられたコンテンツがそれぞれ2個ずつ存在するコンテンツセットに対する実験のデー

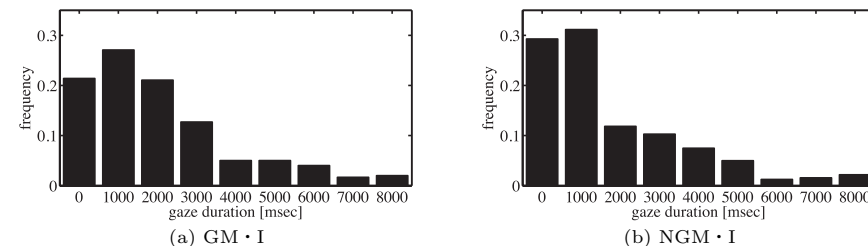


図 9 文章領域への注視持続時間の頻度分布

Fig.9 Frequency of gaze duration in text regions.

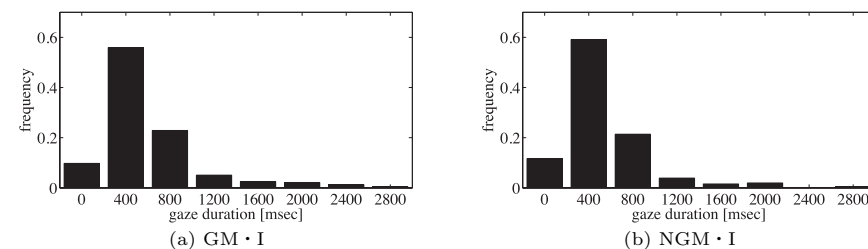


図 10 画像領域への注視持続時間の頻度分布

Fig.10 Frequency of gaze duration in image regions.

タのみを扱った。また注視コンテンツの遷移パターンの出現頻度を議論するにあたって、十分な数の注視切替えを行っている試行に着目する必要があるため、ここでは獲得されたデータのうち、被験者が各コンテンツを少なくとも1回は注視した実験のデータについて分析を行った^{*1}。図11より、Gaze Mirroring ありの条件の方が Gaze Mirroring なしの条件に対して、(I,I,NI)、(NI,NI,NI) 以外のパターンにおいて相対的出現頻度が20~40%程度減少している。それぞれのパターンについて、各試行における相対的出現頻度を統計量として Gaze Mirroring 有/無の2分布間で中央値検定を行ったが、どのパターンにおいても有意差は認められなかった。

4.2 考 察

Gaze Mirroring を行うことで、行わない場合より興味コンテンツに対する注視持続時間

*1 Gaze Mirroring 有/無それぞれ36試行のうち、この条件を満たした実験データは、Gaze Mirroring ありが22試行、Gaze Mirroring なしが28試行であった。

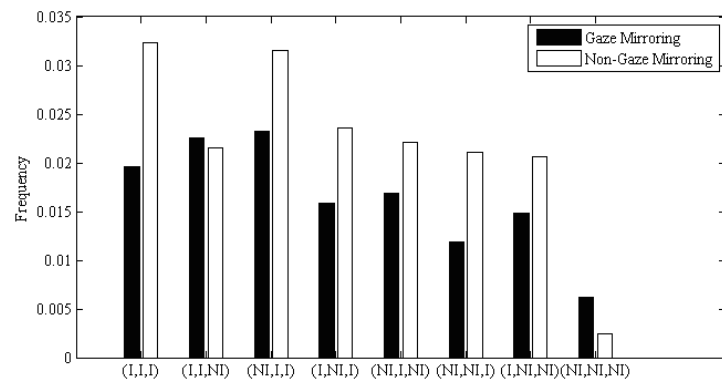


図 11 興味 (I)/非興味 (NI) コンテンツへの注視の 3-gram 遷移パターンの相対的出現頻度分布 [回/秒]

Fig. 11 Frequency of gaze-target transition patterns (3-gram) [times/sec].

が増加し、2.3 節で設定した仮説を支持する結果が得られたといえる。つまり、従来研究で明らかになっている模倣の効果は注視行動にも同様に現れ、共同注視の観点からは対象への興味の度合いに応じて共同注視が促進されることを示唆する。さらに興味コンテンツに対する注視行動をより詳細に分析したところ、文章領域への注視持続時間が有意に増大し、画像領域への注視持続時間には有意差はみられなかった。これに関して、画像情報は事前評価フェーズですでに提示された既知情報であることに対し、文章情報は事前評価フェーズでは提示されず選択フェーズにおいて初めて提示される未知情報であるということから、Gaze Mirroring によって未知情報への積極的な情報獲得が促されていると考えられる。

興味コンテンツへの注視と非興味コンテンツへの注視の遷移パターンについては、その出現頻度に有意差が認められず、Gaze Mirroring による効果を確認できなかった。人間の興味を表す注視行動として、対象に注視を向ける頻度がしばしば議論される⁹⁾が、この注視パターンに関する結果は Gaze Mirroring が注視頻度に影響を及ぼさないことを示唆している。ただし、注視パターンは、画面上に提示されるコンテンツ数に強く依存して、その結果が変化するものと考えられる。本研究における実験では、その数が少なかったため、1 回の実験試行における注視パターンの出現頻度が抑えられ、有意差も得られなかった可能性がある。

上述のように、Gaze Mirroring は興味コンテンツへの注視持続時間を有意に増加する効果を持ち、注視パターンの単位時間あたりの出現頻度に影響を及ぼさないため、ユーザがコンテンツを選択するために費やす時間を引き延ばしている可能性がある。そこで、各コンテ

ンツに対する累積注視時間を選択フェーズの開始から完了の間で計測し、Gaze Mirroring を行った条件と行わなかった条件でその分布間に対して中央値検定を行った。その結果、前者の中央値は 7,626 msec、後者は 8,102 msec であり、有意差は認められなかった ($p = 0.7696$)。したがって、Gaze Mirroring は、ユーザがコンテンツ情報の獲得開始から選択完了までに費やす時間を引き延ばすことなく、興味がある対象への注視の持続時間を引き延ばすため、短時間での注視の切替えによる見比べを抑制する効果を持つことが考えられる。

また事後評価フェーズにおいて実施したエージェントの印象に関する自由記述のアンケートでは、一部の被験者から「自分の興味や好みエージェントから実感できた」、「自分が悩んでいるコンテンツを意識した」などの評価が得られた。これは 2.3 節で述べたバイオフィードバックと関連させると、Gaze Mirroring が被験者の注視行動を視覚刺激としてフィードバックを返すことで、被験者が自身の注視行動および興味の気づきを得た可能性を示唆している。

5. む す び

本研究では、擬人化エージェントによる注視模倣を行う Gaze Mirroring を提案し、ユーザの注視行動に与える効果を検証することを目的とした。具体的には、情報システムによって提示された複数情報をユーザが閲覧し、それらから選択を行うという状況を設定し、Gaze Mirroring によって興味対象への注視の持続時間が長くなる、という仮説を立て、被験者実験によってこれを支持する結果を得た。

今後の展望としては、模倣行動を通じた人とシステムとの息の合ったインタラクションの実現を目指す。そのための重要な機能の 1 つとして、システムによるユーザの興味対象推定があげられ、Gaze Mirroring の応用を考えている。たとえば、システムがユーザとのインタラクションの中で、Gaze Mirroring を行うモードと行わないモードを切り替え、それぞれで観測される各コンテンツへの注視持続時間の差を分析することで、興味コンテンツを推定することができる可能性がある。この切替えのタイミングを設計するためには、Gaze Mirroring が興味の短い周期での時間変化に影響を及ぼすかどうかの検証が必要であろう。また、共同注視やバイオフィードバックの観点からの考察に加え、生理指標計測や脳機能イメージングを導入することによって、Gaze Mirroring 効果の心的、認知的要因について議論を深化させることで、さまざまな分野で注目されている模倣行動に対して重要な知見を得たいと考えている。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 18049046 および 23700168 の補助を受けて

行った。

参 考 文 献

- 1) Bailenson, J.N. and Yee, N.: Digital Chameleons, *Psychological Science*, Vol.16, No.10, pp.814–919 (2005).
- 2) Brandherm, B., Prendinger, H. and Ishizuka, M.: Interest Estimation Based on Dynamic Bayesian Networks for Visual Attentive Presentation Agents, *ICMI '07* (2007).
- 3) Chartrand, T.L. and Bargh, J.A.: The Chameleon Effect: The Perception-Behavior Link and Social Interaction, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.76, No.6, pp.893–910 (1999).
- 4) Emery, N.J.: The Eyes Have It: The Neuroethology, Function, and Evolution of Social Gaze, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Vol.24, pp.581–604 (2000).
- 5) Ichikawa, H. and Makino, J.: Function of Congruent Facial Responses to Smiling and Frowning, *Perceptual and Motor Skills*, Vol.105, pp.838–851 (2007).
- 6) Ikemi, Y. and Ikemi, A.: An Oriental Point of View in Psychosomatic Medicine, *Psychother Psychosom*, Vol.45, pp.118–126 (1986).
- 7) Mundy, P. and Newell, L.: Attention, Joint Attention, and Social Cognition, *Current Directions in Psychological Science*, Vol.16, No.5, pp.269–274 (2007).
- 8) Nakano, Y. and Ishii, R.: Estimating User's Engagement from Eye-gaze Behaviors in Human-Agent Conversations, *International Conference on Intelligent User Interfaces*, pp.139–148 (2010).
- 9) Qvarfordt, P. and Zhai, S.: Conversing with the User Based on Eye-gaze Patterns, *Proc. SIGCHI Conference on Human-Factors in Computing Systems*, pp.221–230 (2005).
- 10) Sakurazawa, S., Yoshida, N., Munekata, N., Tsukahara, Y. and Matsubara, H.: Entertainment Feature of the Computer Game Using a Skin Conductance Response, *Proc. SIGCHI Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, pp.181–186 (2004).
- 11) Shimada, M., Yamauchi, Y., Minato, T., Ishiguro, H. and Itakura, S.: Studying the Influence of the Chameleon Effect on Humans using an Android, *Proc. 16th IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.767–772 (2008).
- 12) 高木啓伸：視線の移動パターンに基づくユーザの迷いの検出，情報処理学会論文誌，Vol.41, No.5, pp.1317–1327 (2000).
- 13) 神原憲治，伴 郁美，福永幹彦，中井吉英：身体感覚の気づきへのプロセスとバイオフィードバック，バイオフィードバック研究，Vol.35, No.1, pp.20–25 (2008).
- 14) 池田光男：眼は何を見ているか，平凡社 (1988).

- 15) 國吉康夫：ロボット模倣の創発・発達の構成論にむけて，バイオメカニズム学会誌，Vol.29, No.1, pp.20–25 (2005).
- 16) 長沢伸也，森口健生：アイカメラによる視線から興味度を推定する可能性：眼球運動の専門家へのインタビューを通して，社会システム研究，Vol.5, pp.73–93 (2002).
- 17) 明和政子：模倣はいかに進化してきたのか？—比較認知科学からのアプローチ，バイオメカニズム学会誌，Vol.29, No.1, pp.9–13 (2005).
- 18) 河原達也，川嶋宏彰，平山高嗣，松山隆司：対話を通じてユーザの意図・興味を探り情報検索・提示する情報コンシェルジェ，情報処理，Vol.49, No.8, pp.912–918 (2008).
- 19) 米澤朋子，山添大丈，内海 章，安部伸治：視線コミュニケーションのためのぬいぐるみの視線行動の設計と分析，電子情報通信学会論文誌，Vol.J92-D, No.1, pp.81–92 (2009).

(平成 23 年 4 月 11 日受付)

(平成 23 年 9 月 12 日採録)



石川恵理奈

2011 年京都大学工学部電気電子工学科卒業．現在，同大学大学院情報学研究科修士課程在学中．ヒューマンコンピュータインタラクションの研究に興味を持つ．



米谷 竜 (学生会員)

2009 年京都大学工学部電気電子工学科卒業．2011 年同大学大学院情報学研究科修士課程修了．現在，同博士課程在籍．ヒューマンコンピュータインタラクションの研究に興味を持つ．2010 年第 20 回パターン認識国際会議 IBM Best Student Paper Award．電子情報通信学会学生会員．



平山 高嗣（正会員）

2002 年大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了．2005 年同博士課程修了．2005 年より京都大学大学院情報学研究科特任助教．2011 年より名古屋大学大学院情報科学研究科特任助教．博士（工学）．コンピュータビジョン，ヒューマンビジョン，人と人や人と機械の協調行動に関する研究に従事．2009 年第 9 回ヒューマンインタフェース学会論文賞受賞．電子情報通信学会，ヒューマンインタフェース学会各会員．



松山 隆司（フェロー）

1976 年京都大学大学院修士課程修了．京都大学助手，東北大学助教授，岡山大学教授を経て，1995 年より京都大学大学院電子通信工学専攻教授．現在，同大学院情報学研究科知能情報学専攻教授．2002 年学術情報メディアセンター長，京都大学評議員，2005 年情報環境機構長．2008 年副理事．工学博士．画像理解，分散協調視覚，3 次元ビデオの研究に従事．最近は「人間と共生する情報システム」，「エネルギーの情報化」の実現に興味を持っている．1980 年情報処理学会創立 20 周年記念論文賞，1990 年人工知能学会論文賞，1993 年情報処理学会論文賞，1994 年電子情報通信学会論文賞，1995 年第 5 回国際コンピュータビジョン会議 Marr Prize，1999 年電子情報通信学会論文賞，2000 年画像センシングシンポジウム優秀論文賞．2004 年，2005 年 FIT 優秀論文賞，2009 年ヒューマンインタフェース学会論文賞，文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）．国際パターン認識連合，情報処理学会，電子情報通信学会フェロー．日本学術会議連携会員．