

# Mind Probing: システムの積極的な働きかけによる 視線パターンからの興味推定

水口 充<sup>†</sup> 浅野 哲<sup>‡</sup> 佐竹 純二<sup>†</sup> 小林 亮博<sup>†</sup>  
平山 高嗣<sup>‡</sup> 川嶋 宏彰<sup>‡</sup> 小嶋 秀樹<sup>†</sup> 松山 隆司<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup> 情報通信研究機構 <sup>‡</sup> 京都大学

ユーザの視線からの興味推定は、情報提示システムにおいて提示内容をプロアクティブに制御するために有用である。従来の興味推定手法は「ユーザは興味があるものを注視する」ことを前提としているが、内容理解のために見ていたり、理由なく眺めている状態があるという問題があった。そこで、提示内容の時間的な制御によってユーザが対象物を見比べている状態を作り出す、いわばシステムがユーザの興味を積極的に探る手法を提案する。

## Mind Probing: Active Stimulation of Gaze Patterns for Inference of User's Interest

Mitsuru Minakuchi<sup>†</sup> Satoshi Asano<sup>‡</sup> Junji Satake<sup>†</sup> Akihiro Kobayashi<sup>†</sup>  
Takatsugu Hirayama<sup>‡</sup> Hiroaki Kawashima<sup>‡</sup> Hideki Kozima<sup>†</sup> Takashi Matsuyama<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup>National Institute of Information and Communications Technology <sup>‡</sup>Kyoto University

Inference of user's interest from gaze pattern is useful for information systems to proactively provide useful content. Many previous researches on interest inference have premised that users look where they are interested in. However, gaze patterns sometimes include ones that do not reflect interest, for example, when users are looking at pieces of information to understand them or when users look at them vacantly with no intention. We propose the *mind probing* method that the system actively investigates user's interest, for example, the system triggers users to compare interesting objects by temporal control of displayed content.

### 1 はじめに ～プロアクティブな対 話システムの実現を目指して

現在の一般的な情報システムは、ユーザの「明示的指示」に応じてシステムが反応し、情報を提示する reactive interaction モデルを採用している。対話のための入力デバイスとしてはキーボードとポインティングデバイスが一般的に用いられている。しかし従来システムでは、操作の手間や難しさ、あるいは意図表現の面倒さのために、人とシステムとの間の円滑なコミュニケーションが困難であった。

そこで、ここ 10 年来、ユーザの興味の状態などの非明示的な指示を、マルチモーダルセンサ群を利用して推定しようとする perceptual user interface が提案されてきた。視線推定に基づく情報提示はその代表例である。

しかし、「非明示的な指示」や「無意識レベルでの心的状態」の推定を reactive interaction モデルの中で実現するのは非常に困難である。なぜなら、人の気持ちを微妙な身体的反応から読み取ることは非常に高度な処理であり、我々人間でも難しい。光トポグラフィやポリグラフを使って生理的反応を計測

し心的状態を推定することも考えられるが、日常生活環境では利用し難い。

そこで本研究では、システムが主導権を持ってインタラクションを行う proactive interaction モデルを導入し、システム側から提示された情報・情報の変化に対する利用者の反応を計測するという **mind probing** によって、利用者の「非明示的指示」や「無意識レベルでの心的状態」を推定するというアイデアを提案する。

我々は、最終的には、reactive と proactive なインタラクションを織り交ぜ、息の合った対話を通じて利用者に情報を理解してもらう (understanding through harmonic interactions) ことができるシステムの実現を目指しており、mind probing はそのための重要な第一歩であると考えている。

本稿では、視線からの興味推定において、ユーザの心的状態を視線に反映させる情報提示制御により、興味推定の精度向上を図る mind probing について議論する。

## 2 視線での Mind Probing

ユーザの興味や意図を推定するための身体的反応の代表として視点が挙げられる。視覚は人間が情報を取得する上で支配的である一方で有効視野は限られているので、情報を取得するためには注視する必要がある。その結果、興味を持っている対象に視点が集中する。あるいは迷いがあったり意識が集中していない状況では視点が定まりにくい。このように、視点は人間の興味や意図を反映しやすいと言える。

これを前提として、視点の滞留時間や滞留パターンによって興味の対象や興味の強弱を判定する手法が提案されてきた。しかし、従来手法には以下に挙げる3つの課題がある。

1つ目は、**見ているものに必ずしも興味があるとは限らない**という点である。人がある情報を目にしたときには、興味の有無以前に、何が描かれているかを理解するために主要な部分を注視する。このとき、意味の理解に時間を要する文字や複雑な図柄などは自ずと視点の滞留時間が長くなる。このような状態を興味推定から排除するためには視点の滞留パターンの利用が提案されている [5]。例えば一度だけしか見ていないものは単に情報理解のために見たと仮定できるし、逆に頻繁に視点が滞留するものは高

い興味を持つと言える。しかし、気まぐれな閲覧や、理解が不十分なために再度見た、などの要因は排除しきれない。

2つ目は、**興味の動的な推移が考慮されていない**という点である。従来手法の多くは静的な、比較的情報量の少ないコンテンツを対象として、短期間での興味を判定している。しかし、「よく見てみると面白くなかった」「関連するアイテムを見て興味を持った」など、コンテンツを見ているうちに興味の対象が変わる状況も想定される。これは情報量の多いコンテンツを長時間見ている場合には顕著となるだろう。また、動画などでは新出の対象物や色やコントラストの変化は視線を引きやすく [2]、1つ目に挙げた課題と関連して、興味推定の精度を下げる要因となる。

3つ目は、**興味の根拠が不明**な点である。例えば商品画像を見比べる際に視点が滞留した場合でも、「とても気に入ったのでずっと見ていた」「細部がよくわからなかったので注視した」「欲しくはなかったが珍しいので見た」「商品自体ではなく背景の画像が気になった」など、様々な興味の在り方が想定される。逆に「一番欲しいけどよく知っているものだからあまり見なかった」という状況もあり得る。この例では画像に対する「興味」が「欲しいもの」に直結していないことが問題である。これが、とにかく気になったものを判定する目的であれば問題ではないし、あるいは価格やスペックなどのシンプルな情報を見比べる場合では直結しやすいであろう。このように、コンテンツとタスクの設定は興味推定の精度に大きく影響すると考えられる。

これらの課題は技術的な制約と言うより、本質的な限界、すなわち、人の興味の詳細を探るには視点だけでは情報が不足しているためと考えられる。

この情報不足を解消するためのアプローチの一つは、別の情報を併用することである。視線と同時に計測可能な情報としては瞬目、サックード（跳躍運動）、瞳孔の開き具合などが利用できる。他にも表情の変化や顔きなどの身体的な反応、返答のタイミングやピッチなどの非言語音声による反応<sup>1</sup>なども利用できる。しかし、どこまで計測すれば十分かは不明であるし、装置が大掛かりになる問題もある。

そこで、もう一つのアプローチとして、興味の推

<sup>1</sup> 例えば、同じ「はい」という返答でも、即座に力強い声で返答するのと、ためらって（遅延を伴って）弱々しく返答するのでは、明らかに興味の現れ方が異なっている。

定が行いやすい状況を積極的に作り出すことを考える。

積極的な興味推定は、人同士の対話では自然に行われている。例えば、販売員が客に商品を奨める場合を考えてみる。客の風貌や所持品などから推測された嗜好や、客が見たり手に取った商品から推測された興味から、販売員は奨める商品を提示してみる。この時、提示する商品が客の好みに完全に合っていなかったとしても、奨められた商品に対する客の反応を見て、推測を修正して更に別の商品を提示してみることができるし、客自身から興味を聞き出せるかもしれない。

同様に、システムが提示する情報量やタイミングを適切に制御することで、情報取得のための注視の出現を押さえられると仮定できる。また、推定結果に応じてコンテンツを切り替えてユーザの反応を伺うことによって推定精度の向上を図れるし、興味の推移への追従や根拠の明確化も期待できる。

### 3 選択タスクにおける情報取得パタンのモデル化

Mind probing によるユーザの視線からの興味推定の用途として、複数の項目を見比べて好みのものを選ぶための情報システムを想定する。このような選択行為は日常的であり応用が広い。ユーザの興味に応じて、気になっている項目の詳細情報を提供したり、興味を持っている項目に関連する項目を提示するなど、ユーザが積極的に操作しなくても欲しい情報を提供できる、気の利いた情報システムの実現が望める。また、マーケティングに使うなどコンテンツ提供者にとってもメリットがある。

#### 3.1 観察実験

このような選択タスクにおけるユーザの情報取得パターンを探るため、次のような観察実験を行った。

情報を表示する装置として、50型（高さ1150mm、幅622mm）のプラズマディスプレイを縦置きに、床から932mmの高さに設置したものを使用した。このディスプレイの下部中央に、1024×768ピクセル、256階調のグレイスケール画像を30fpsで撮影可能なカメラ<sup>2</sup>を、被験者の頭部を撮影できるよう

<sup>2</sup> Point Grey Research 社製 Dragonfly2

に設置した。装置の外観は、後述の観光案内プロトタイプシステム（図4）と類似である。

被験者は20代の男子学生3名で、いずれも矯正された視力を持つが、画面上の文字の読解には問題がなかった。

実験では、被験者はディスプレイの正面1mの距離に立ち、画面に表示される内容を見た。実験中の被験者の顔をカメラで撮影した動画は人手でオフライン処理し、各フレームごとに顔向きと眼球の位置からいずれの選択肢を見ていたかを判定した。この作業により視線推定精度の問題を排除することができた。

被験者には画面の上下・左右に4分割した領域のうち3つにそれぞれ同時に表示される選択肢を見て、好みのものを選択するタスクを課した。選択肢はラーメン、お菓子、旅行の内容で、それぞれに対して百文字程度の解説文のみ、画像のみ、解説文と画像、の組み合わせを用意した。

図1～3は、いずれの選択肢を見ていたかを時系列で示した例である。

解説文のみの場合（図1）は、表示開始からそれぞれの解説文に順次視点が長めの時間滞留し、その後各選択肢を随時、短めの時間滞留する様子が伺われた。この例では被験者は選択肢3を選択した。

画像のみの場合（図2）は、表示開始からの各選択肢への視点の滞留は短めで、順次見て回るようなパターンが抽出しにくい傾向にあった。また、選択肢間を頻繁に見て回る傾向が強かった。この例では、開始から約18秒以降は選択肢1と2とを見比べている様子が伺われる。最終的に被験者は選択肢1を選択した。

解説文と画像の両方の場合は図3のように、解説文のみと同様の長めの視点の滞留と、短い時間での見比べの混在が伺われた。この例では被験者は選択肢2を選択した。

#### 3.2 分析

観察実験の結果から、複数の項目に関する情報を見て好みのものを選択する過程はおおまかに次のように考えられる：ユーザはまず表示された文章を読み、画像を見て情報を理解する。この時、選択の候補になりうるかそうでないかの大きな判断も行われることが多いだろう。一通り情報を理解すると、

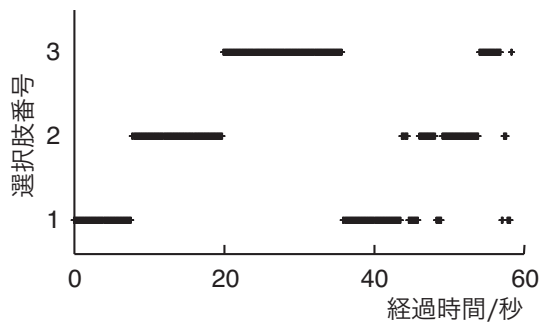


図 1: 解説文の選択肢を閲覧する視点の滞留パターン

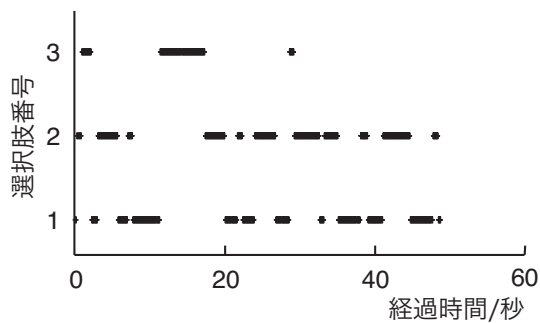


図 2: 画像の選択肢を閲覧する視点の滞留パターン

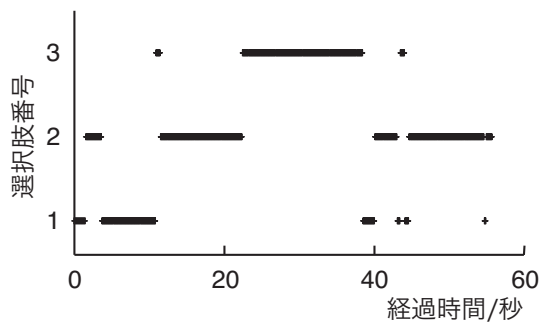


図 3: 解説文と画像の選択肢を閲覧する視点の滞留パターン

理解が不十分な情報を再確認したり、選択候補を見比べて比較したり、再吟味するために注視する。そして、選択する項目を決定する。

この過程における、情報に対するユーザの認知状態を、情報を読み取って理解する input 状態と、情報を評価する evaluate 状態とに大別することにする。Input と evaluate の両状態は明確に別けられる

とは限らない。最初に内容を理解する際にも好みの判断は大まかになされるであろうし、吟味する際に不明だった箇所を精査するために改めて情報を取得することもある。このように、input 状態と evaluate 状態とは混在していることの方が多いが、選択の過程においては、初期は input 状態が優位で、後期では evaluate 状態が優位になるように比率が変動していると考えられる。

観察実験では、文字情報のみの場合は、前半の順次滞留する期間である input 状態と後半の見比べる evaluate 状態は比較的明確に分離されていた。これは、文字情報を理解するためには注視して読む行動が要求されるためと考えられる。図 1 に示した例では選択肢 3 が選ばれたが、evaluate 状態と考えられる期間での視点の滞留時間と回数は少ない。これは、最初に視点が滞留した時間が最も長いことから分かるように、情報を理解した段階で選択が決定されたためである。このように、文字情報は情報を明確に表現しているので、一旦理解されると後からの見比べが発生しにくい可能性がある。

画像情報の場合は、閲覧の初期においては順次滞留する傾向が多かったものの、短めの滞留が多く、input 状態と evaluate 状態が区別しにくい傾向が観察された。これは、画像に対しては被写体の特性などの概要を短時間で理解しやすい一方で、一瞥しただけでは詳細を理解しにくく何度も精査する必要があるためと考えられる。しかし、閲覧の途中からは選択肢を見比べるようなパターンも多く観察され、多くの試行では視点の総滞留時間が長く、滞留回数が多いものが最終的に選択された。

Input 状態ではユーザは情報を理解するために見ているので、逆に言えば、視点は興味を反映していない状態である。反面、evaluate 状態はユーザは積極的に好みのものを選ぼうとしている状態であるので、視点は興味を強く反映しているであろう。先に挙げた視点による興味推定の課題「見ているものに必ずしも興味があるとは限らない」は、これらの input 状態と evaluate 状態を区別せずに扱うところに問題があるとも言える。

よって、input 状態と evaluate 状態とを分離しやすいように提示する情報を制御するプロビング手法によって、視点による興味推定の精度の向上が見込める。

では、どのようにすれば input 状態と evaluate 状

態を分離できるだろうか。ここでは、情報提示の初期には各項目の情報を順次切り替えて排他的に表示し（順次提示モード）、一通り表示し終えてからすべての項目を同時に表示（一覧提示モード）する方法を提案する。順次提示モードでは、比較の対象を見せないことによって、目にしている情報の取得にユーザを専念させる。このモードでは比較対象が表示されていないので evaluate 状態を反映する視線のパターンは現れないと考えられる<sup>3</sup>。一覧提示モードでは、順次提示モードで一通りすべての情報をユーザは理解しているものと前提できるので、視線は主にユーザの興味を強く反映すると期待できる。

もちろん、一覧提示モードにおいても、順次提示モードで十分に情報を理解できなかつたり気づかなかつた部分を改めて注視するような input 状態は排除しきれないだろう。それでも、最初からすべての情報を提示して比較するのに比べると input 状態の比率は少なくなると期待できる。

## 4 観光案内システムプロトタイプ

以上の考察を元に、観光案内システムを題材として、ユーザの興味を積極的に探る情報システムの構築を進めている。街角に置かれたシステムにふらっと訪れて画面を眺めるユーザに対して、ユーザの興味に応じてコンテンツをプロアクティブに制御し、興味を喚起する用途を想定している。なお、興味は喚起されて積極的に情報を閲覧・検索したくなったユーザに対しては、音声認識・合成やタッチディスプレイなどのインタフェースを別途提供する予定である。

図4はシステムの外観である。50型のプラズマディスプレイを縦置きに設置し、その左右、下辺に1024×768ピクセル、256階調のグレイスケール画像を30fpsで撮影可能なカメラを3台配置した。複数のカメラを使用したのは、顔向きによって生じるセルフオクルージョンの影響を低減させるためである。更に、ユーザの立ち位置が変化しても常に顔を画像の中心に収めることができるように、左右のカメラにはパン・チルト制御機構を設けた。また、周囲の照明条件によらず安定して顔、特に虹彩を検出

できるように、ディスプレイの両側にライト<sup>4</sup>を設置した。



図4: システム外観

図5に構成を示す。それぞれのカメラに対応する視線推定サーバ<sup>5</sup>は各カメラ画像を処理し、顔画像から顔向きと眼球の向きを推定し、画面上の注視点を求める。統合サーバは各視線推定サーバの推定結果のうち、顔や虹彩の検出に失敗しているものを除き、残った視線情報の重み付き平均からディスプレイ上の視点座標を求める。インタラクティブサーバ<sup>6</sup>は推定された視点座標を統合サーバから受け取り、ユーザの興味を推定して提示情報を制御する。

視点推定の詳細は別途報告のとおりであるが[7]、おおまかな流れとしては、まず Active Appearance Model によって顔の特徴点を抽出し、最急降下法で顔向きを推定し、更に、目領域画像から虹彩を検出し、顔向きと虹彩の変位量から視点を判定した。この処理によって、非装着・非拘束でリアルタイムに(30fps)、同システムから1mの距離で100mm程度の誤差範囲での推定を実現している。

インタラクティブサーバは次のような流れで情報を提示する(図6):

- 通常時は画面を上下・左右に4分割した各領域に、タイトル、画像、概要から構成される観光情報を一つずつ順に12秒間表示する(図6a)。これはinput状態を作り出すための順次提

<sup>4</sup> 写真電気工業社製 RIFA-F

<sup>5</sup> Intel Core2 Duo 2.66 GHz プロセッサ、メモリ 2GB の Dell 社製 PC を使用。

<sup>6</sup> Dual-Core Intel Xeon 2.66 GHz × 2 プロセッサ、メモリ 4GB、ATI Radeon X1900 XT 512MB グラフィクスカードの Apple 社製 Mac Pro を使用。

<sup>3</sup> 考え事をしていたり、興味がなくなつたりして情報の取得に専念してないような状態も視線パターンから検出可能とも考えられるが、順次提示モードでの視線パターンは今では取り扱わないことにする。



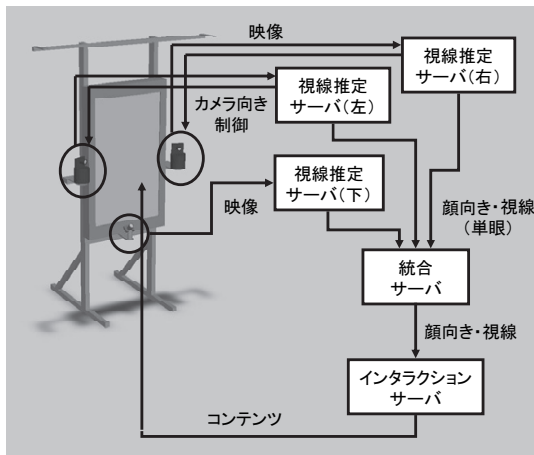


図 5: システム構成

示モードである。観光情報の表示過程では、各構成情報は、タイトルが1秒間でズームイン、続いて画像が1秒間でズームイン、更に続いて概要が1行ごとに1.5秒間でフェードインするアニメーションを伴って表示される。これは、ユーザの視線を誘導して情報獲得を確実にに行わせる効果を狙ったものである。各解説文の長さは同程度（75文字前後、5行分）に揃えた。アニメーションの継続時間は文章を概ね読みやすいように経験的に設定した。表示終了時には全構成情報がフェードアウトする。

- 次に、順次提示モードで表示した4つの観光情報を12秒間、同時に表示する（図6 b）。これは evaluate 状態を作り出すための一覧提示モードである。
- 一覧提示モードでの視点の滞留時間とパターンからユーザの興味の対象を推定する。ここでは、視点の滞留時間の総和、滞留回数、最長滞留時間、および滞留パターンの2-Gram（どこからどこに移ったか）に基づいて、一つを集中して閲覧、二つを比較するように閲覧、幾つかをある程度注視、特に注視した対象が認められなかった、の4つのパターンのいずれかと判定する<sup>7</sup>。

<sup>7</sup> 判定方法はヒューリスティックに決めたもので現時点では妥当性が検証されていないため詳細は省略するが、大まかに次のような流れである：滞留時間および回数について、それぞれ値の自乗と、4候補に対する値の自乗和との比に重みを掛け、合算し正規化する。この値と閾値とを比較して各項目への注目度を判定する。また、2-Gram で特定の2項目間の移行パターンが他よりも特に多い場合には「二つを比較するような閲覧」パターンの

- 判定結果に応じて次のいずれかの提示モードに移行する：一つに注目していた場合はその詳細情報を提示する（図6 c-1）。二つを比較していた場合はそれらの詳細情報を提示する（図6 c-2）。幾つかをある程度注視していた場合は注視していた項目以外をフェードアウトさせ（図6 c-3）、それらを別の情報に入れ替えて再度順次提示モードに戻る。それ以外の場合はすべての項目をフェードアウトさせ（図6 c-4）、すべてを別の情報に入れ替えて順次提示モードに戻る。

## 5 議論

プロトタイプシステムの有効性については、定量的な評価はまだ行っていない。

試用を通じた定性的な観察では期待される効果が認められた。input 状態を作り出すための個々の情報の提示時間は、概ね文章を読み終わるのに十分であった。特に文章を漸次的に表示させるアニメーションは、ユーザに確実に文章を読み進めさせるために有用であった。input 状態ではユーザが一通りの情報取得を完了していることが提案手法の成功の鍵となる。アニメーションなどの時間的なコンテンツの表示制御は、視線を誘導して情報取得を支援できると考えられる。更に、誘導されるべき視線の動きからの逸脱を評価することでユーザの興味の有無や集中度の推定に役立つ可能性がある。

現状の実装では、一覧提示モードでの視点パターンから推定された興味に応じて詳細情報や別の情報を提示するにとどまっているが、これらの移行先の画面でも興味を推定する方法について検討中である。つまり、推定結果に対する反応を何うようにして推定を修正するもので、推定精度の不十分さや本質的な限界を改善することが期待できる。これは、販売員が商品を勧めながら客の反応を見る手法を模倣するものである。

また、2章で述べた、別の情報を併用するアプローチも採用していきたい。視線の推定精度を高めるために目領域のみを撮るカメラを別途追加することを検討しており、このカメラを使えば瞬目や瞳孔などの変化を測定することが可能である。

判定の閾値を通常よりも下げる。

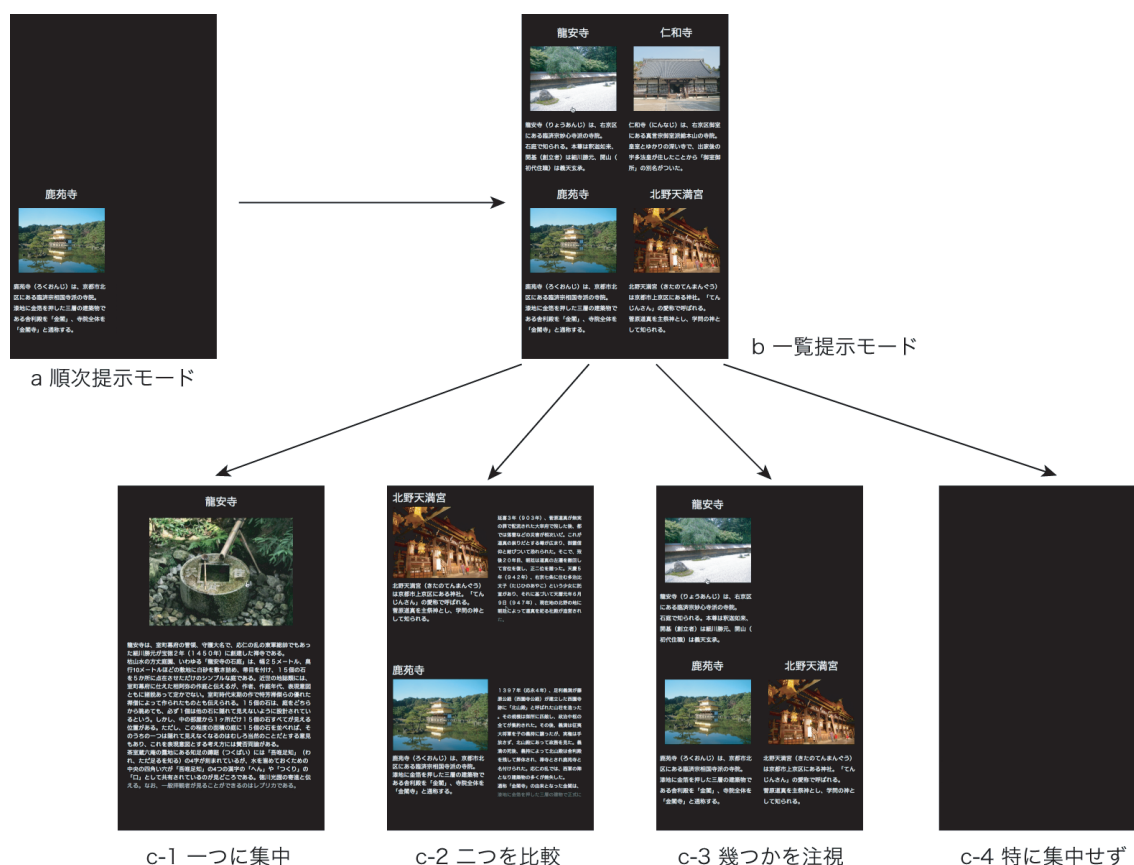


図 6: 画面フロー

システムの想定する用途では、一人だけではなく、複数のユーザへの対応が必要となる。このために、ユーザ同士のオクルージョンを低減するための複数カメラの利用、オクルージョンのある画像からの視点推定アルゴリズム、複数ユーザの視点パタンの分析、などの開発を予定している。更に、複数ユーザを対象とした場合は、ユーザ同士の対話を含めた対話モデルを構築する必要がある。人間同士の対話においては表情の変化や顔きなどの身振りや発話（言語的な内容だけでなくタイミングや抑揚などの非言語情報を含む）がコミュニケーションを円滑に進めるのに重要な役割を担っている。身振りについては、例えば指差しを伴った「これ」などの指示語等、発話の意図理解の補足にも有用である。これらの、人の表情や仕草の認識、音声対話インタフェースとの統合を今後進めていく予定である。

## 6 関連研究

視点からの興味推定手法については、単に滞留時間の長短や滞留回数の多寡による判定だけではなく、多様な改善手法が提案されている。統計量の改善としては、例えば西田らは、一定の停留時間を満たす停留点の時間的な発生頻度を指標として提案した [3]。滞留パタンの利用としては、Hidden Markov Model を利用した手法 [6]、N-Gram 解析による迷いの検出手法 [8]、ニューラルネットによる戸惑い状態の検出手法 [1] などがある。これらの改善手法は通常の情報閲覧時における視線パターンに対するもので、mind probing によって精度の向上が見込まれる。

視線の計測による情報の理解モデルの分析に関しては様々な報告がある。例えば、大野は、Web 閲覧時における情報取得の際の視線パターンを分析し、同一領域を注視する時間は 200~500 ms 程度の場合が多いと報告している [4]。このような閲覧パターン

に関する知見を利用して、興味推定の行いやすいコンテンツの提示方法や、提示方法に応じた興味推定手法を創出することが可能と考えられる。例えば、梅村らは、文の言語情報から標準的な閲覧時間を推定し、それと実測閲覧時間との乖離の程度を文章閲覧時の興味を推定する指標として提案している [9]。iTourist[5] は、Wizard of Oz 方式で予め調べられた地図上の情報の閲覧モデルに基づいて、視点パターンから注目していると推定された場所の観光情報を自動的に提示する観光案内システムである。

## 7 おわりに

プロアクティブな対話システムの実現を目指して、システムがユーザの身体的な反応からユーザの暗示的な興味や意図を積極的に探る手法について議論した。興味の推定が行いやすい状況を積極的に作り出すために、複数の項目に関する情報を見て好みのものを選択するタスクにおいて、情報を読み取って理解する input 状態と情報を評価する evaluate 状態とを分離させる情報の提示制御を提案し、プロトタイプを実装して実現可能性を確認した。今後、提案手法の有効性の評価を行うとともに拡張を図りたい。

## 謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金特定領域研究 No.18049046 の補助を受けて行った。

## 参考文献

- [1] 青山 憲之, 田中 靖哲, 中村 正士, 福田 忠彦: 眼球運動データを用いた戸惑い状態検出手法の開発と評価; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 8, No. 2, pp. 93–100 (2006).
- [2] Carmi, R. and Itti, L.: Causal saliency effects during natural vision; In *Proceedings of ETRA '06*, pp. 11–18 (2006).
- [3] 西田 謙太郎, 吉高 淳夫, 平嶋 宗: 停留点の時間的な発生頻度に着目した注目点検出法の検討; 情報処理研究報告, 2007-HCI-122, pp. 121–126 (2007).
- [4] 大野 健彦: Web 画面における情報選択行動と視線の関係; 信学技報, HIP2000-11, pp. 31–36 (2000).
- [5] Qvarfordt, P. and Zhai, S.: Conversing with the user based on eye-gaze patterns; In *Proceedings of CHI '05*, pp. 221–230 (2005).
- [6] Salvucci, D. D. and Anderson, J. R.: Automated eye-movement protocol analysis; *Human-Computer Interaction*, Vol. 16, pp. 39–86 (2001).
- [7] 佐竹 純二, 他: インタラクティブな情報提示システムのための非装着・非拘束な視線推定; 情報処理研究報告, 2007-HCI-125 (2007). (発表予定)
- [8] 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—効果的な作業支援を目指して; 情報学会論文誌, Vol. 41, No. 5, pp. 1317–1327 (2000).
- [9] 梅村 祥之, 増山 繁: 文章閲覧における読者の操作行動からの興味の推定; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 8, No. 3, pp. 115–124 (2006).