

視線計測と分析によるインタラクションにおける 情報受容に対する記憶の影響評価

盆子原直己^{†1} 白山晋^{†1}

概要: インタラクションが行動の正確性、効率性、安全性などに与える影響は、自分自身が、環境やシステムを含む他者からの情報をどの程度受容しているか、あるいは受容できるかに依存するとされる。このため、インタラクションにおける人間の情報受容度を推定する必要が生じる。本研究では、インタラクションにおける視覚情報の受容度を視線行動から推定する方法の確立を目指す。視線行動から情報受容度を推定するためには、提示される情報に対する事前知識の有無など、記憶がインタラクションにおける情報受容に及ぼす影響を評価する必要がある。そこで、本稿では、視線計測と分析により、記憶の影響を評価する。

キーワード: 視線計測, 視線分析, インタラクション, 記憶

Evaluation of the Effect of Memory on Information Accessibility in Human-Machine Interaction by Eye-Tracking

NAOKI BONKOHARA^{†1} SUSUMU SHIRAYAMA^{†1}

Abstract: It is acknowledged that the effect of the human-machine interaction on the accuracy, efficiency, and safety of behavior depends on information accessibility. Therefore, it is necessary to estimate information accessibility in human-machine interaction. Our long-term goal is to estimate visual information accessibility by eye-movement. In order to accomplish this goal, we investigated the effect of memory on information accessibility by eye-tracking, which is necessary to estimate information accessibility.

Keywords: eye-tracking, interaction, memory

1. 緒言

人間は、他者、生活環境に存在する様々な掲示板、コンピュータなどの電子機器、それらの背後にあるインターネット等のシステムなどから情報を取得し、また逆に情報を発信しながら自身の思考や判断を行なっている。すなわち、自身の行動によって、他者の行動、環境、情報機器やシステムなどの挙動が変化するというプロセスの繰り返しの中で活動している。例えば、近年普及が進んでいる公共交通空間や商業施設における、タッチパネル式ディスプレイによる道路、施設案内では、利用者がディスプレイを介して視覚情報や音声案内による聴覚情報を受け取り、知りたい情報を得るための操作を選ぶ。システムは利用者の操作に従って、該当する視覚情報や音声情報を提示し、利用者はその情報を受け取り次の行動につながるというプロセスが繰り返される。

このように、人間の行動の多くには他者、周囲の環境、情報機器、システムとの情報のやり取りに基づいたインタラクションが存在し、行動の正確性、効率性、安全性などに影響する。そのようなインタラクションは、情報学の観

点からは、情報の提示、提示された情報の取得、取得情報に基づく行動、行動によってもたらされる新たな情報の生成から成り立つとされる。

特に、インタラクションが行動の正確性、効率性、安全性などに与える影響は、自分自身が、環境やシステムを含む他者からの情報をどの程度受容しているか、あるいは受容できるかに依存するとされる。このため、インタラクションにおける人間の情報受容度を推定する必要が生じる。また、情報受容度に基づいてインタラクションのデザインが行われることも多い。なお、インタラクションデザインは、中小路らによって、「ユーザがどのような思考と行為の過程を経験しながらシステムを利用するのか」という視点から、システムの表現系と操作系とを決めていくこと」と定義されている[1]。本研究ではこの定義に従う。

インタラクションに関連する研究においては、情報の中でも視覚情報の受容度の推定が重要になっている。一般的に情報に占める視覚情報の割合は8割とされているからである。また、視覚情報の受容度の推定は、視線計測に基づく視線行動の分析から行われることが多い。

例えば、藤本らは、運転熟練者の視線履歴から重み付けして可視化された注視点分布を運転非熟練者に呈示するこ

^{†1} 東京大学大学院工学系研究科
Graduate School of Engineering, the University of Tokyo.

とにより、運転時の危険予知能力が向上し、安全性が高まることを示唆している[2]。阪井らは、Web アプリケーション使用時のユーザビリティの評価において、システムが提示する情報に対するユーザの視線移動に注目している[3]より多くの視覚情報が受容された場合にユーザビリティの評価が高くなるという考えである。情報探索の効率性の向上のためにも、人と機械のインタラクションにおける視覚情報の受容度が問題になる。梅本らは、情報探索の効率を高めるために、Web ページ閲覧中の視線情報からユーザの検索意図を推定し、検索結果の内容を変更する手法や、検索意図に適合する箇所を強調するというものを提案している[4]。高木は、情報検索においてユーザの迷いの状態を視線行動から検出し、迷いのパターンに応じて適切に自動的に支援を行うシステムの実現性を検討している[5]。また、河原らは、ユーザが持つ潜在的な興味を探り、潜在的興味への気付きの支援と、興味に基づいた情報推薦のシステムを開発するために視線情報を利用している[6]。

これら以外にも多くの研究があるが、視覚情報の受容性を定性的に議論するものがほとんどであり、インタラクションにおける視覚情報の定量的な受容度を推定する方法は確立されていない。インタラクションにおける視線計測と分析手法が確立できていないことが一因である。

我々は、インタラクションにおける視覚情報の受容度を視線行動から推定する方法の確立を目指している。その中で記憶が影響することが明らかになってきた。インタラクションにおいて、人間がどのようにして、どの程度視覚情報を受容するかは、事前知識の有無など個人の持つ記憶によって異なるためである。例えば、元々よく知っている事柄に関しては、インタラクションの中で、次に提示される視覚情報を先読みすることで短時間での判断、行動がなされる可能性がある。すなわち、インタラクションの過程とそこでの視線行動は記憶の影響を受ける。視覚情報の受容度の推定には、記憶の影響を評価する必要がある。

そこで、本稿では、インタラクションにおける記憶の影響を評価するための実験方法を提案する。また、実際に行った実験結果の一部を示す。

2. 提案手法

本稿では、2つの評価実験を提案する。2.1 節において実験装置について説明する。2.2 節と 2.3 節で2つの評価実験の詳細を示す。

2.1 視線計測と実験装置

本稿では、Tobii Technology 社の設置型視線計測装置 Tobii EyeX を使用する。Tobii EyeX では、PC のディスプレイに設置し、ユーザのディスプレイ上における視線位置(x, y)を、60Hz の時間分解能で記録できる。図 1 の黄色の枠で囲まれ

ている部分が Tobii EyeX である。

この計測装置では、視線位置を取得するために角膜反射法を利用し、眼球に近赤外線光を照射し、眼球にできるブルキニエ像と瞳孔中心を検出している。角膜反射法は、視線位置の測定精度も高く、調整の手間も少ない、最も一般的な視線計測法とされるが、近赤外線光を用いるという点で注意が必要である。Kinect のような近赤外線光を用いた計測装置を併用する場合には、誤検出の原因となる可能性があるためである。

ディスプレイは 1680x1050 ピクセルの Apple 社の PC ディスプレイを用い、実験において視覚刺激は全てこのディスプレイ上に表示される。また、入力操作にはキーボードとマウスを用いる。

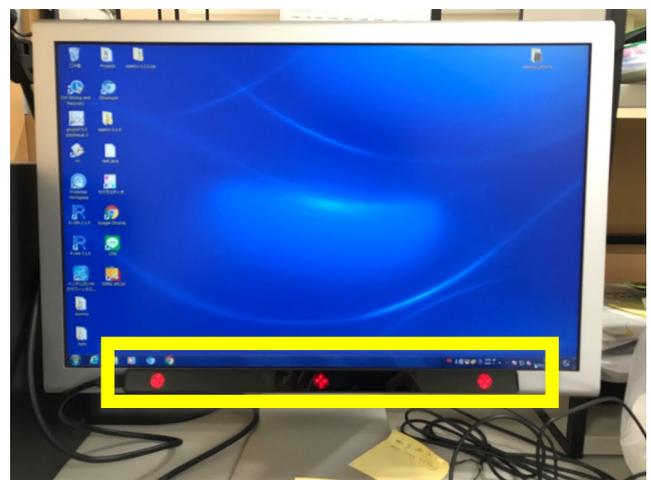


図 1 設置型視線計測装置 (Tobii EyeX)

2.2 記憶影響の評価実験 I

インタラクションに関する研究ではないが、Balaguer らは、架空の路線図を記憶して駅間を移動する課題に取り組んでいる時の血流動態反応を fMRI で取得し、行動分析することによって、人間が記憶に基づいてどのようにして計画を立てるかを調べている[7]。

評価実験 I では、この実験を参考にし、fMRI による血流動態反応計測を視線計測に置き換え、被験者に視覚刺激を示し、記憶してもらった後に、その視覚刺激中の情報に基づく課題に取り組む際の視線を計測する。また、視線計測データの分析から記憶の影響を推定する。

2.2.1 実験方法

実験装置は、先述のように視線計測装置 Tobii EyeX を設置した PC ディスプレイと入力操作を行うキーボードである。

視覚刺激は先行研究[7]を模した架空の路線図を用いる。路線図の詳細を以下に示す。

- 路線図は4路線からなり、色（赤、青、緑、黄）により識別される．複数の路線が交わる駅は黒色とする．
- 駅名には、国名や都市名、または一般的な人名を用い、実在する路線図とは全く関連のないものとする．
- 路線図全体の形状は被験者全員に対して共通であるが、路線の色と駅名は被験者によって変化し、向きも回転させて提示する．一例を図2に示す．

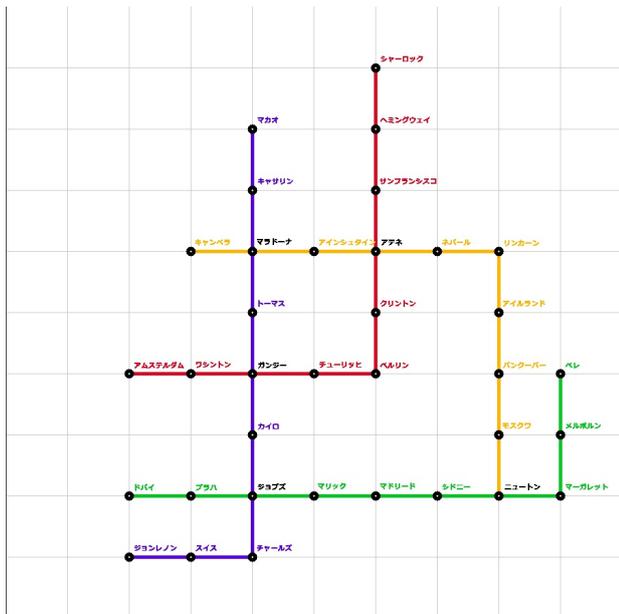


図2 架空の路線図の例

被験者には、始点の駅と終点の駅を提示し、記憶をたどりながらキーボードの十字キーを操作することにより、目的地である終点の駅に辿り着くことを目指すという課題を課す．

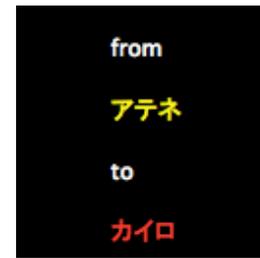
始めに被験者に提示する始点の駅と終点の駅の例を図3(A)に示す．次に、図3(B)に示す移動する方向を選択する画面が示される．この画面では、路線図の形状のみを示した灰色の点の集合と、ガイド画面(図3(C))が表示される．

ガイド画面は現在いる駅名、目的地の駅名、路線が存在する方向に路線の色のついた矢印が表示される．なお、画面推移の間は黒一色の画像が表示される．

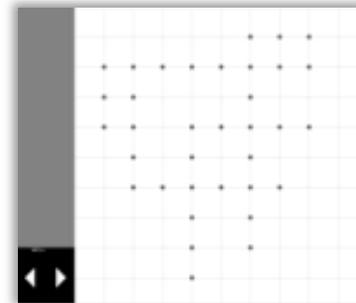
実験は二つのセッションからなる．セッション1は、路線図を記憶してもらうことが目的である．セッション2は記憶に基づいて課題を解いてもらうことが目的である．

セッション2において視線計測を行う．また、後述するように、個々の被験者が目的駅にたどり着いたか否かの情報や、たどり着くまでの操作履歴を取得する．また、移動する方向を選択する画面に切り替わってからキーが押されるまでの反応時間を記録する．

各セッションの詳細を以下に示す．



(A)



(B)



(C)

図3 実験構成画面

(1) セクション1

1. 始めに路線図を10秒間表示させ、被験者に記憶するように指示する．
 2. 始点と終点を提示し、記憶を頼りに始点の駅から終点の駅まで十字キーを操作する試行を行う．
 3. 手順1~2を45分間行い、記憶の定着を図る．
- セッション1の手順を図4に示す．

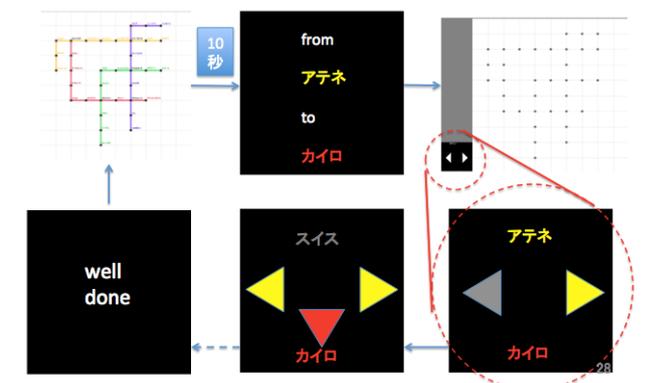


図4 セクション1の手順の例

(2) セクション 2

セクション 2 はセクション 1 の二日後に行う。セクション 1 と異なる点を以下に示す。

- 実験中路線図を一切見ることができない。
- 図 5(A)に示すように、ガイド画像上で、目的駅以外の路線の色が表示されない。
- 試行中、一定の確率で強制終了となる(図 5(B))。
- 制限時間が存在し一定時間経過すると画面が遷移する。制限時間内に操作が行われない場合は、次の画面に置いても同じ駅にとどまる。
- 試行は 20 回行う。
- すべての試行において視線計測を行い、PC ディスブレイの画面のスクリーンショットを保存し、各画像の撮影時間を記録する。



図 5 実験構成画面 (セクション 2)

2.2.2 分析手法

ある移動する方向を選択する画面における、画面画像と、その際の視線情報とを対応させ、同期を図る。スクリーンショットで得た画面画像とその時刻、視線座標とその時刻のデータを用いる(表 1 と表 2)。表の赤太字で示した部分は、画面画像と対応する視線データを示している。画面画像 n の取得時刻から $n+1$ の取得時刻の直前までを画面画像 n の表示時刻とし、この時刻に対応する視線データ(表 2 では m から $m+4$ まで)を抽出する。

さらに、時刻を対応させた視線座標を画面画像にマッピングすることで、gaze plot を作成する。ここで、視線位置の時系列変化がわかるようにマッピングした円の色を変化させる工夫を施す。以上の手順によって作成した gaze plot の例を図 6 に示す。

表 1 画面画像データの例

| 画面画像 | 時刻 t [ms] |
|-----------------------------|-------------|
| ... | ... |
| data[$n-1$] | 109 |
| data[n] | 203 |
| data[$n+1$] | 299 |
| ... | ... |

表 2 視線データの例

| 視線データ | x 座標 [px] | y 座標 [px] | 時刻 t [ms] |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| ... | ... | ... | ... |
| data[$m-1$] | 785 | 627 | 198 |
| data[m] | 778 | 613 | 212 |
| data[$m+1$] | 778 | 612 | 226 |
| data[$m+2$] | 778 | 608 | 242 |
| data[$m+3$] | 777 | 615 | 257 |
| data[$m+4$] | 772 | 616 | 281 |
| data[$m+5$] | 771 | 608 | 303 |
| ... | ... | ... | ... |

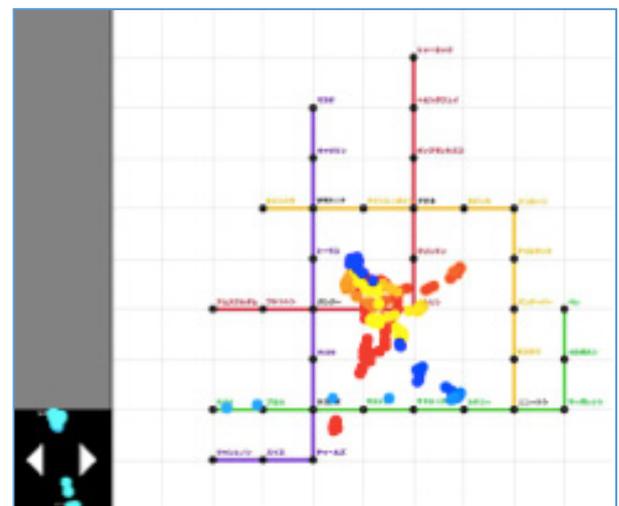


図 6 gaze plot の例

2.3 記憶影響の評価実験 II

評価実験 I では、最初に提示された視覚情報を基準とし、操作の結果として得られる情報に基づいて次の行動を決定し、最終的な目標を目指すといったものを対象としている。この際の操作は、十字キーを操作するといった単純なものであった。

一方、インタラクションにおいては、より複雑な操作によって次の行動が決まるといったものも多い。この際に、類似操作の経験の有無(類似操作が記憶として存在するか否か)で、行動の差が生じるものと考えられる。また、情報の受容度は、操作自体に反映されるものと考えられる。

評価実験 II は、はじめに、ある図形を作成するという課題を与え、一定時間経過後に、類似の図形を作成し、見方を変えるという課題を与え、差違を操作履歴(作業ログ)と視線計測データから分析するというものである。

この実験では、画面の状態が連続的に変化するため、その時々画面の情報と視線計測データの同期をとることが技術的な課題となる。本稿では、この課題の解決を試みるため、PC 上で単純な図形を操作する場合について検討する。

現時点の手順を以下に示す。

1. 単純な図形を描画する。
2. 作業中の PC の作業ログとその時刻を記録する。
3. 併せて、作業中の視線位置とその時刻も取得し記録する。
4. 得られた作業ログから視線計測装置のフレームレートに応じて作業内容、作業中の画面の状況を再現する。
5. 作業ログの時刻と視線情報の時刻を同期させる。

2.3.1 実験方法

上記手順に従って、2次元図形、および3次元図形に対する操作を行い、その際の作業ログに基づいて視線計測データと画面情報を同期させる手法を構築する。なお、取得する操作ログは各時刻におけるマウス押下の有無とその座標である。

(1) 2次元図形の操作

- ウィンドウ上にマウスのドラッグによって任意の四角形を描画する。
- マウスを押した点と、マウスを離れた点を対角線とする四角形が描画される。

(2) 3次元図形の操作

- ウィンドウの中心に描かれた立方体を、マウスのドラッグにより回転させる。
- マウスが押下されている位置に従って立方体の向きが変化する。

これらの操作を行う際の視線を計測し、その際に表示されている画面と同期を行う。

2.3.2 分析手法

視線データの表現手法は、2.2.2 項で説明した gaze plot に加え、動画への視線位置の描画、ヒートマップを用いることが有効であると考えられる。ヒートマップは、作業を通しての視線データの分布に注目し、視線の集中度合いを色分けして提示画像上に示すことで、視線データを可視化する手法である。2次元画像操作におけるヒートマップの例を図7に示す。図中の線が操作によって描画された長方形であり、点が視線データである。色が淡いほど、視線が集中していたことを表す。

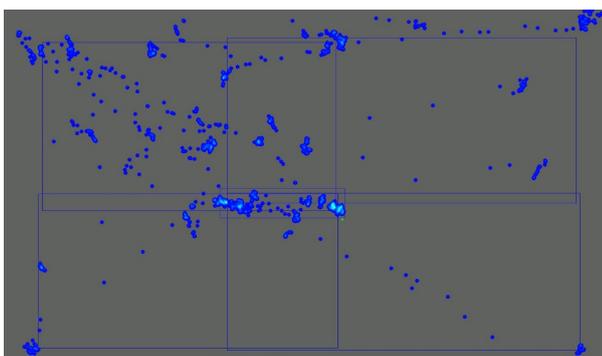


図7 2次元図形操作時のヒートマップの例

3. 結果と考察

3.1 実験結果

現時点では、評価実験 II は、手順を確定させるための試行錯誤の段階にある。本稿では、2.2 節で述べた評価実験 I の結果を示す。

評価実験 I から得られた結果のうち、選択した行動の正しさ、行動選択の反応時間、2.2.2 項で述べた計測した視線座標を表示画面にマッピングした gaze plot を用いて分析を行う。

被験者は、裸眼もしくは視力矯正により正常な視力を有した男女大学院生計 10 人である。各被験者には、実験の方法やデータの取扱について説明し、実験参加の同意を得ている。

被験者 10 人に対して 20 回の試行を行った結果、全部で 200 回分のデータが得られた。そのうち 87% が出発駅から目的駅まで距離を減らす、すなわち目的地に近づく移動のみを行っていることが観測された。6.5% は 1 回以上目的駅までの距離を延ばす、すなわち遠回りをする行動を含み、6.0% は制限時間内に選択ができず同じ駅にとどまっている過程を少なくとも 1 回含んでいた。また、1 回以上距離を延ばし、かつ 1 回以上同じ駅にとどまっているものが 0.5% あった。

移動する方向を選択する画面に切り替わってからキーが押されるまでの反応時間の平均値を表 3 に示す。ここで、行動の選択をし損ねているものは除外した。

表 3 平均反応時間 [ms]

| | 1 回目 | 2 回目以降 | 全て |
|-----|------|--------|------|
| 正解 | 1454 | 837 | 953 |
| 不正解 | 2906 | 1267 | 1395 |
| 全て | 1507 | 848 | 965 |

選択できていないものを除いた全データの反応時間の平均値は、965ms であった。そのうち、目的地への距離を縮めるといった正しい行動をした場合、遠回りもしくはその場に留まるといった誤った行動をした場合の平均値は、それぞれ 953ms、1395ms であった。

また、各試行において、1 回目の行動選択が否かによりデータを分けて反応時間の平均値を算出した。選択した行動の正否を考慮しない場合、1 回目の平均反応時間は 1507ms、2 回目以降は 848ms となった。1 回目の行動選択が否か、さらに行動の正しさによってデータを分けると、1 回目で正しい場合、誤った場合はそれぞれ 1454ms、2906ms、2 回目以降で正しい場合、誤った場合はそれぞれ 837ms、1267ms となった。

gaze plot と路線図移動の行動選択を照らし合わせて分析した結果、以下の行動が観察された。

- 同一の路線上の移動が続く場合、現在駅の位置を確認することなく行動を選択していること
- 路線を変えられる駅の前で一旦現在駅の位置を確認すること。
- 出発駅と到着駅が与えられた直後の黒一色画像表示時に、出発駅と到着駅の付近を見ていると思われること。

3.2 考察

前節で示した結果に対して考察を行う。

全試行のうち 87%が正しい行動を行っていたことから、路線図という視覚情報は記憶しやすいものであると考えられる。一方、正しい行動を選択した場合とそうでない場合は、路線図についての記憶が明確であるかどうか依存すると考えられる。

正解時は不正解時に比べて反応時間が短くなる傾向が見られたことから、記憶によってインタラクションにおける人の行動は影響を受けることが示唆される。記憶が定着している場合には、記憶による情報の先読みが行われるため不正解時よりも素早く情報を受容できる可能性がある。また、1 回目の行動選択時の反応時間が、2 回目以降の行動選択時の反応時間よりも短いことに関して、2 回目以降の行動選択は 1 回目の行動選択時に確認した出発駅や到着駅の記憶から情報の先読みを行っていることが考えられる。

視線分析結果に対しての考察は以下の通りである。

はじめに、同一の路線図上の移動が続く場合において現在駅の確認を行わないことについて考察する。この場合、記憶が定着しており情報の先読みに確信があるため、視覚情報を丁寧に得ることなく正しい行動を行えていると考えられる。

次に、路線を変えられる駅の前で一旦現在駅の位置を確認していることについて考察する。被験者は路線図を色ごとに階層化して把握しており、階層の切り替わりとなるような重要な情報だけは的確に把握している可能性がある。このような階層的な把握は、Balaguer らが fMRI を用いた実験による明らかにしている [7]。

また、1 回目の行動選択画面が表示されるよりも前に、与えられた出発駅、もしくは到着駅付近を見ている場合について考察する。この場合、被験者が黒一色画面上に記憶による路線図の認知地図を思い浮かべ、認知地図から情報の先読みを行っていることが考えられる。

以上をまとめると、インタラクションにおいて、人が記憶を基にして、次に提示される情報を先読みしていること、さらに先読みによってインタラクションにおける反応時間を短縮していることが示唆できたと考えている。

4. 結論

人間の行動の多くには、他者、機器やシステムとの情報のやり取りに基づいたインタラクションが存在する。イン

タラクションにおいて、行動の正確性、効率性、安全性などは、人間が他者、機器、システム等からどの程度情報を受容しているか、もしくは情報を受容できるかに依存するとされており、インタラクションにおける人間の情報の受容度を推定する必要があると考えられる。特に、視覚情報の受容性が重要となるが、インタラクションにおける視覚情報の受容度を推定する方法は確立されていない。

本稿では、インタラクションにおける視覚情報の受容度を推定する上で必要となる、記憶がインタラクションに与える影響を調べるための 2 つの評価実験法（評価実験 I と評価実験 II）を提案した。

評価実験 I は、被験者に視覚刺激を示し、記憶してもらった後に、その視覚刺激中の情報に基づく課題に取り組む際の視線を計測する。また、視線計測データの分析から記憶の影響を推定するというものである。

評価実験 II は、ある図形を作成するという課題を与え、一定時間経過後に、類似の図形を作成し、見方を変えろという課題を与え、差違を操作履歴（作業ログ）と視線計測データから分析するというものである。

評価実験 I によって、移動可能な方向への矢印や駅の配置を情報として提示し、記憶のみを基に路線の移動を行うことで、インタラクションにおける記憶の影響を評価した。その結果、記憶がインタラクションと、インタラクションにおける視線行動に影響すること、インタラクションにおいて人間による情報の先読みが存在することを確認した。この実験に関しては、事前知識の無い状態で路線図を見ながら移動してもらう実験を行い、比較を行うことで、記憶によるインタラクションへの影響をさらに明確に評価できる可能性がある。

評価実験 II に関しては、2 次元と 3 次元図形を操作する際の作業ログを用いて視線情報と画面情報の同期を図る手法も構築した。しかしながら、手順を確定させるための試行錯誤を行っており、分析の段階にはない。

いずれの実験でも、視覚情報の受容度の推定はできていない。インタラクションにおいて、視線計測、および視線分析手法を用いて視覚情報の受容度の推定法を構築することが今後の課題である。また、視覚情報の受容度に基づくインタラクションデザインにつなげることも課題である。

参考文献

- [1] 中小路久美代, 山本恭裕: 創造的情報創出のためのナレッジインタラクションデザイン, 人口知能学会論文誌, Vol.19, No. 2, pp154-165, 2004
- [2] 藤本武司, 砂山渡, 山口智浩, 谷内田正彦: 視線情報の可視化・共有による感性インタラクション支援, 情報処理学会研究報告, Vol.2003, No.88, pp.119-126, 2003

- [3] 阪井誠, 中道上, 島和之, 中村匡秀, 松本健一 :
WebTracer: 視線を利用した Web ユーザビリティ評価
環境 ,情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2575-2586,
2003
- [4] 梅本和俊, 山本岳洋, 中村聡史, 田中克己: 視線情報を利用したユーザの意図推定とそれに基づく情報探索支援 , 日本データベース学会論文誌, Vol.10, No.1, pp.61-66, 2011
- [5] 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 , 情報処理学会論文誌 , Vol.41 , No.5 , pp.1317-1327 , 2000
- [6] 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・興味を探り情報探索・提示する情報コンシェルジュ , 情報処理 , Vol.49 , No.8 , pp.912-918 , 2008
- [7] J. Balguer , H. Spiers , D. Hassabis , and C. Summerfield :
Neural Mechanisms of Hierarchical Planning in a Virtual
Subway Network , Neuron, Vol.90 , pp.893-903 , 2016