

# 映像を介した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

## Evaluation of Effect of Memory on Information Accessibility in Human-Agent Interaction with images

盆子原直己<sup>1</sup> 白山晋<sup>1</sup>

NAOKI BONKOHARA<sup>1</sup>, SUSUMU SHIRAYAMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, the University of Tokyo

**Abstract:** In order to enable efficient human-agent interaction with images, it is necessary to infer the degree of individual visual information accessibility. This is why many researches to infer visual information accessibility are done. In these researches, the relation between visual information accessibility and eye movement is discussed, and it is revealed that the eye movement is affected by the memory. In this study, we investigated the effect of memory on information accessibility by eye tracking, which is necessary in order to infer the degree of visual information accessibility.

### 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。

ここで、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。そこで、特に人とシステムとのインタラクションにおいて、正確で効率的な情報受容のためには、エージェントがユーザに応じて適切な支援を行うことが有効である。例えば、情報検索において、必要な情報を容易に抽出できるユーザにはより短時間での情報受容を可能にするように、そうでないユーザには迷わず必要な情報を得られるように、情報提示の仕方を変えるという考え方である。このとき、ユーザに応じた効率的な支援を可能にするために、提示された情報に対するユーザの受容状態を推定する必要が生じる。

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状態の推定が重要になっている。一般的に、人が環境から得る情報の8割は視覚情報が占めているとされるからである。また、視覚情報の受容状態の推定は、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[1]。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[2]。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。また、視覚情報の表示手法に注目した、人とエージェントとのインタラクションに関する研究も多く行われている。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手法を提案している[3]。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な支援を行うシステムの実現性を検討している[4]。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[5]。川澄らは、住宅用インターホンにおいて、玄関側にディスプレイを搭載し、インタラクションをエージェントに仲介させる取り組みについて検討している[6]。渡邊らは、データの可視化について、ユーザが欲しい情報を入手できるように、ユーザの関心に沿った視覚的情報を提示する枠組みを構築している[7]。Toker らは、データの効率的な読み取りを促進する表示方法と、ユーザの特性との関係に注目している[8]。

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受容状態を定量的な指標から判別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状態を視線行動から推定する方法の確立を目指している。その中で記憶が視線行動に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。視覚情報の受容状態の推定には、記憶の影響を評価する必要がある。さらに、視線行動からユーザの記憶の有無を推定することで、記憶の有無を考慮した情報提示が可能となる。

また、インタラクションにおいて情報受容を効率的かつ正確に行うために、情報受容に要するユーザの認知的な負荷を低く抑えることが望ましい。そのため、事前知識や経験といった長期的な記憶の影響に加えて、インタラクションにおける情報知覚とい

う短期的な記憶に関連するものがユーザにかかる負荷を評価することも必要である。

そこで、本稿では、インタラクションにおける事前知識等の記憶の影響を評価するための実験方法と、インタラクションにおける情報受容に要する負荷を評価する手法を提案する。

## 2. 提案手法

本稿では、視線行動への記憶の影響の評価実験と、情報受容に要する負荷の評価手法を提案する。2.1 節において実験装置について説明する。2.2 節で記憶の影響の評価実験を、2.3 節で情報受容に要する負荷の評価手法の詳細を示す。

### 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 と、同社の装着型視線計測装置 Tobii Glasses 2 を使用する。

#### 2.1.1 Tobii EyeX

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、眼球にできるプ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。

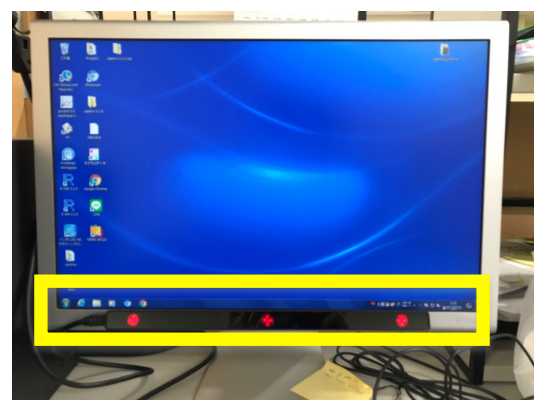


図 1 設置型視線計測装置 (Tobii EyeX)

### 2.1.2 Tobii Glasses 2

Tobii Glasses 2 (図 2) は眼鏡型の装着型視線計測装置であり、ユーザの視野映像における視線位置(x, y)と共に、両眼の瞳孔径を 50Hz の時間分解能で記録できる。また、視野映像は 1950x1080 ピクセルで記録できる。計測手法は Tobii EyeX と同様に角膜反射法を用いている。



図 2 Tobii Glasses 2

## 2.2 記憶影響の評価実験

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 [9]。

本節の評価実験では、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 [9] 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 3 に示す。

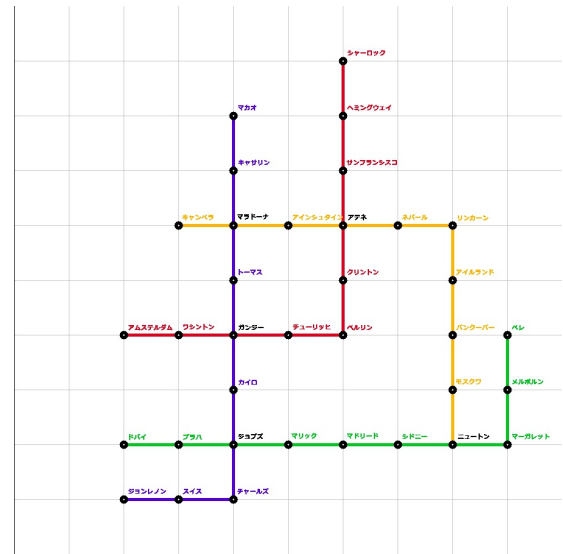
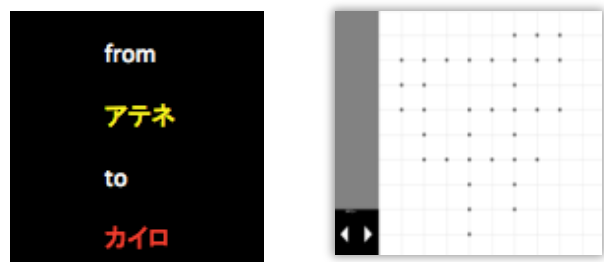


図 3 架空の路線図の例

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。

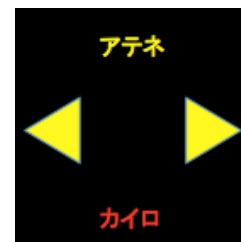
始めに被験者に提示する始点の駅と終点の駅の例を図 4 (A) に示す。次に、図 4 (B) に示す移動する方向を選択する画面が表示される。この画面では、路線図の形状のみを示した灰色の点の集合と、左下にガイド画面 (図 4 (C)) が表示される。

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。



(A)

(B)



(C)

図 4 実験構成画面

実験は二つのセクションからなる。セクション 1 は、路線図を記憶してもらうことが目的である。セクション 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。

セクション 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。さらに、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。

各セクションの詳細を以下に示す。

### (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。
- セクション 1 の手順を図 5 に示す。

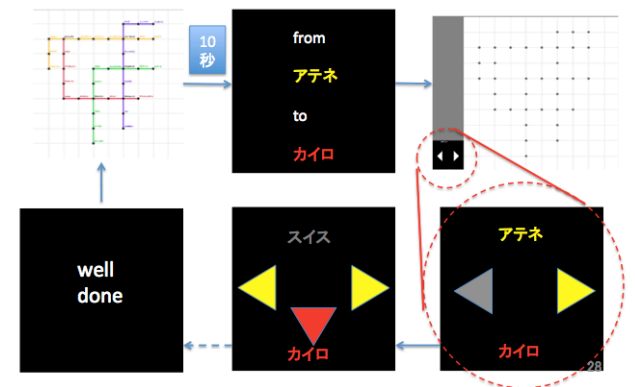


図 5 セクション 1 の手順の例

### (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 6(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 6(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 ディスプ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。



(A) (B)  
図 6 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 7 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
<b>data[<math>n</math>]</b>	<b>203</b>
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
<b>data[<math>m</math>]</b>	<b>778</b>	<b>613</b>	<b>212</b>
<b>data[<math>m+1</math>]</b>	<b>778</b>	<b>612</b>	<b>226</b>
<b>data[<math>m+2</math>]</b>	<b>778</b>	<b>608</b>	<b>242</b>
<b>data[<math>m+3</math>]</b>	<b>777</b>	<b>615</b>	<b>257</b>
<b>data[<math>m+4</math>]</b>	<b>772</b>	<b>616</b>	<b>281</b>
data[ $m+5$ ]	771	608	303
...	...	...	...

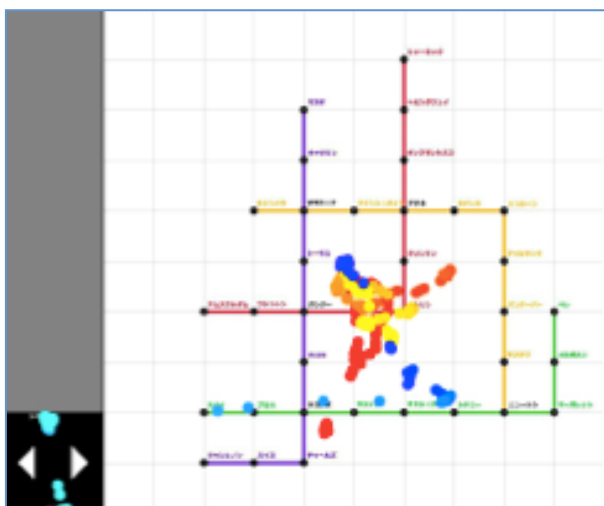


図 7 gaze plot の例

## 2.3 情報受容時の負荷の評価手法

認知的な課題に取り組む際にかかる、人の認知的な負荷を直接計測することは難しいが、評定尺度法による自己申告、副課題の成績、生理指標などから推定できるとされる[10]。特に瞳孔反応は認知的負荷に対して高い感度を持つとされ、認知的な負荷と瞳孔反応に関する様々な研究が行われている。この中で、瞳孔反応は認知的負荷だけでなく輝度による影響も受けることが課題となり、輝度の変化に耐えうる認知的負荷の測定手法が求められている。Peysakhovich らは瞳孔径時系列データのパワースペクトル密度に注目し、輝度が変化する状況での認知的負荷を検出する手法を考案している[11]。インタラクションにおいては、情報の知覚から認識までが情報受容に関連する。また、短期的な記憶がこの情報受容に影響すると考えられる。

本節では、先行研究[11]を参考にして、スクリーンの輝度が変化する環境で、短期的な記憶をする課題に取り組む際の瞳孔径を計測する。また、データ分析により、インタラクションにおける情報受容時の短期的記憶に要する認知的な負荷を評価する。

### 2.3.1 実験方法

実験装置は、装着型視線計測装置 Tobii Glasses 2 と、視覚刺激・聴覚刺激を与えるために用いる PC である。

実験では、輝度が変化する画面を見ながら、5~9 個の数字を短期的に記憶する課題を被験者に課し、その間の瞳孔径を Tobii Glasses 2 により計測する。数字と実験中の指示は PC 内臓のスピーカーによって音声で与えた。実験の手順を図 8 に示す。

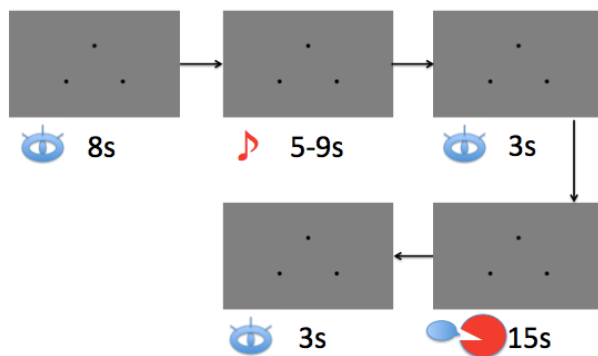


図 8 記憶課題の流れ

はじめに、8 秒間の導入フェーズがあり、ここで音声により試行が始まることを伝える。次に、1 秒毎に一つの数字が音声により与えられ、被験者には記憶に努めてもらう。数字の提示が終わった後、3 秒の時間を挟み 15 秒間の回答フェーズに移る。回答フェーズの始まりは音声により指示される。回答フェーズでは、記憶した数字を口頭で答えてもらう。回答フェーズ終了後、3 秒の時間を挟み次の試行を始める。

試行は、与える数字の数を 5,7,9 個として難易度を 3 種類、画面の輝度を白色 (図 9(A1,A2)) と灰色 (図 9(B1,B2)) で 2 種類とした。また、対照条件として数字を記憶せず聞き流す試行を加え、全部で 12 種類の試行が存在する。12 種類の試行を 4 回ずつ行い、全部で 48 回の試行を実施した。数字記憶の必要の有無は、画面に表示される 3 つの円の配置により指示する。図 9(A1,B1)が記憶課題に取り組む試行で、図 9(A2,B2)が聞き流す試行である。

全 48 回の試行の順番は、難易度、輝度、記憶の必要の有無の 3 条件について、それぞれ 3 回以上同一条件の試行は続かないという制約のもとランダムで決定した。

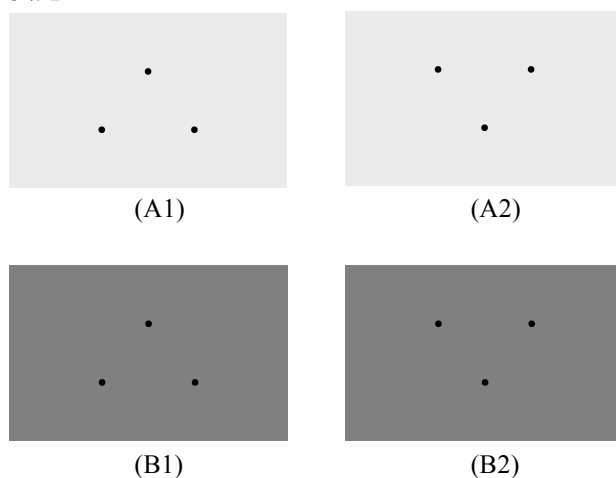


図 9 実験中の画面

### 2.3.2 分析手法

瞳孔径時系列データのパワースペクトル解析を以下の手順で行った。

1. 3データの移動平均をとることで瞳孔径データを平準化する。この平準化はローパスフィルタとして機能し、カットオフ周波数は7.21Hzである。
2. 瞬目時のデータとその前後100msのデータを除去し、線形補間する。
3. パワースペクトル解析に用いるデータは回答入力フェーズ直前の8秒間のデータである。サンプリング周波数が50Hzであることから、400個のデータを試行毎に抽出する。
4. 手順3で抽出した400個のデータの線形トレンドを除去する。線形トレンドの推定には最小二乗法を適用する。
5. パワースペクトル密度の推定精度を高めるため、ゼロパディングによりデータ数を512個とする。
6. パワースペクトル密度をWelch法により推定し、デシベル単位に変換する。推定において、セグメント長は256、オーバーラップは50%とする。

## 3. 結果と考察

### 3.1 記憶影響の評価

#### 3.1.1 実験結果

評価実験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。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う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回目の行動選択か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回目の行動選択か否か、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考えられること。

#### 3.1.2 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。

正解時は不正解時と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 を用いた実験により明らかにしている [9]。

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されたと考えている。

### 3.2 情報受容時の負荷

実験の被験者は、正常な視力を有した男子大学院生 6 名である。うち 1 名は、データが正しく取得できなかったため分析には用いなかった。

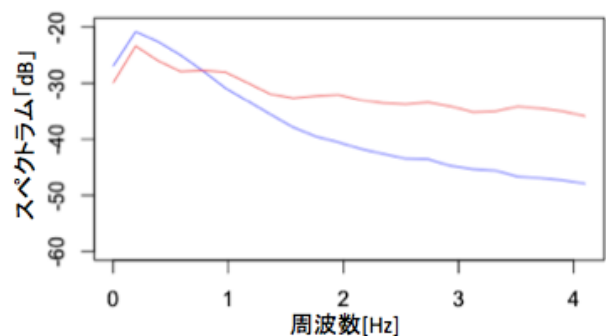
先行研究[11]に従い、試行毎に算出した 4Hz 以下の周波数帯のパワースペクトルを、記憶の必要の有無で分けそれぞれ平均を取った。例として被験者 2 人の結果を図 10 に示す。

図 10 の赤色と青色はそれぞれ、記憶の必要がある試行と必要がない試行のパワースペクトルの平均値を表している。先行研究[11]によると、0-1.6[Hz]を LF、1.6-4[Hz]を HF として、各試行において LF、HF それぞれのパワースペクトルの平均値の比(LF/HF)を算出すると、記憶の必要がある場合は、無い場合に対して LF/HF の値が有意に低くなる。しかし、図 10(a)の被験者では、記憶の必要がある場合の方が LF/HF の値が有意に高くなった(t検定,  $\alpha=0.05$ )。また、図 10(b)の被験者では、有意差は見られなかった(t検定,  $\alpha=0.05$ )。

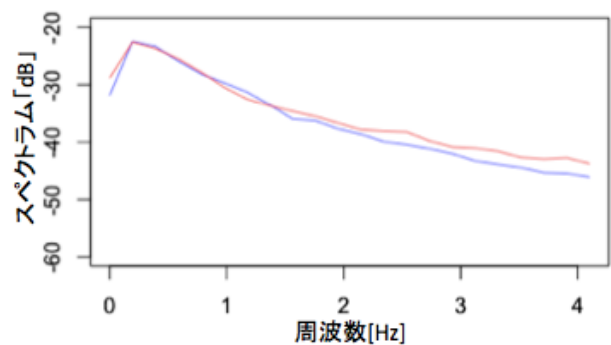
上述の結果に対して考察を行う。先行研究[11]の結果と違いが生じた原因として、被験者数の影響が

考えられる。先行研究[11]は被験者 22 名のデータを用いた分析であるのに対し、本節のものは被験者ごとに分析した結果である。そこで、被験者数を増やし平均を取ることで先行研究[11]と同様の結果を得られる可能性がある。しかし、インタラクションにおいてユーザを適切に支援するためには、個々のユーザの認知的な負荷を推定する必要がある。従って、多数の被験者データの平均から有意差を導出するだけでなく、個人差を考慮しなければならない。

本実験では、瞳孔径のパワースペクトル解析により認知的負荷が推定できることは確認できなかったが、認知的負荷が瞳孔径のパワースペクトルに与える影響の個人差の存在を明確にできたと考えている。



(a) 解析結果の例 1



(b) 解析結果の例 2

図 10 試行毎に算出した 4Hz 以下の周波数帯のパワースペクトル

## 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、正確で効率的な情報受容のためには、エージェントがユーザーに応じて適切な支援を行うことが有効である。そこで、インタラクションにおける人間の情報受容の状態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状態を定量的な指標から判別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受容の状態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評価実験法と、インタラクションにおける情報受容に要する認知的な負荷を評価する手法を提案した。

記憶の影響の評価実験では、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。

この評価実験によって、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。

情報受容時の負荷の評価に関しては、数字の記憶にかかる負荷を、瞳孔径のパワースペクトル解析から推定することを試みた。先行研究[11]と異なる結果になったが、現時点では個人差の存在を示すことに留まっている。

いずれの実験でも、視覚情報の受容状態を判別するための定量的な指標の導出はできていない。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状態の定量指標に基づく推定法を構築することが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 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)
- [2] 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)
- [3] 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)
- [4] 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)
- [5] 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・提示する情報コンサルジュ, 情報処理, Vol.49, No.8, pp.912-918, (2008)
- [6] 川澄未来子, 高幡幸太郎, 阿部智仁, 安達勝一, 花井雅敏: インターホン玄関子機の視覚情報表示を活用したインタラクションの試み, 日本感性工学会論文誌, Vol.16, pp.83-90, (2016)
- [7] 渡邊玲, 三末和男: 閲覧者の関心に対応できる視覚的情報の提示手法に関する研究, Vol.2016-HCI-170, no.1, pp.1-7, (2016)
- [8] D.Toker, C.Conati: Eye Tracking to Understand User Differences in Visualization Processing with Highlighting Interventions, UMAP 2014, LNCS 8538, pp.219-230, (2014)
- [9] 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)
- [10] F. Paas, J.E. Tuovinen, H. Tabbers, P.W.M. Van Gerven: Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory, Educational Psychologist, Vol.38, No.1, pp.63-71, (2003)
- [11] V. Peysakhovich, M. Causse, S. Scannella, F. Dehais: Frequency analysis of a task-evoked pupillary response: Luminance-independent measure of mental effort, International Journal of Psychophysiology, Vol.97, pp.30-37, (2015)