

# 仮想影の投影によるさりげない視線誘導法の検討

松崎 広夢<sup>1</sup> 吉高 淳夫<sup>1</sup>

**概要：**特定の視覚情報に対して注目させる手法の一つに視線誘導がある。例えば、任意の領域を点滅させることで視線を誘導することが可能である。しかし、視覚的に強い刺激は本来の見た目を損なうことやユーザの作業への集中を妨げることが懸念される。こうした背景から、本研究ではさりげない視線誘導の実現を目的とした。実物体に仮想影を重畳投影することで誘導先の領域が浮かび上がるように見える錯覚を用いた手法を提案し、顕著性の向上を図った。提案手法による視線誘導の効果を被験者実験により検証した結果、ユーザに気づかれずに仮想影の投影領域内の注視回数が増加し、合計注視時間が長くなる可能性が示唆された。

## 1. はじめに

一般に多数の情報から所望の情報を探し出すとき、高い認知的負荷がユーザにかかる。ここで、特定の情報をユーザに対して効果的かつ効率的に提示する手法の一つに視線誘導がある。例えば、任意の領域を点滅させたり [1] 振動させたりすることで視線を誘導することができる。しかしながら、これらの手法は視覚的な刺激が強く、ユーザがコンテンツ制作者の意図に気づく恐れがある。一方的にユーザが情報を受け取る場面において、ユーザは誘導を作為的に感じ、誘導先への好感度が下がることや不快感を持つことが知られている [2]。さらに、視覚的に強い刺激は本来の見た目を損なうことやユーザの作業への集中を妨げることも懸念される。こうした理由から、さりげない視線の誘導が求められている。

## 2. 関連研究

### 2.1 ディスプレイ上の視線誘導

ディスプレイ上で視線を誘導する研究はこれまでも数多く行われている。例えば Hata らの研究 [3] では視線誘導先の領域はぼかさないうま、それ以外の領域をガウシアンフィルタを用いて徐々にぼかすという手法を提案している。この手法によりユーザに気づかれぬ視線誘導の可能性を示した。Hata らは写真等のエッジ情報が比較的少ないコンテンツを対象としたのに対し、Azuma らは文字などのエッジ情報を多く含むコンテンツを対象としたぼかし制御手法を提案している [4]。具体的には黒色の文字に版ずれが生じたかのようにシアン・マゼンタ・イエローのフィ

ルタをずらすものである。

Hagiwara らは画像中において誘導先の領域が最も顕著性が高くなるよう画像全体の色相を変化させる手法を提案している [5]。同様に、Veas らは色相と輝度の変化により静止画に限らず動画でも視線誘導が可能であることを示している [6]。

### 2.2 実物体での視線誘導

現実の物体を対象とした視線誘導の研究も複数存在する。Butz らはユーザが求める物体に対し光をスポットライトのように当てることで、物体を探し出す場面に有用な手法を提案している [7]。また Booth らは点滅する光を誘導先の物体に照射し、ユーザの視線が誘導先に移り次第照射を止めるという手法を提案している [8]。これらはユーザが情報探索や推薦を求めるうえで、分かりやすい投影を行うものである。

一方で、本研究と同様にユーザに気づかれない視線誘導を目的とする研究も存在する。Miyamoto らの研究 [9] では実物のカップ麺や文庫本を対象とし、ずらしフィルタを用いた手法を提案している。これは、誘導させたい領域以外の全体に対して左右にずらした画像をプロジェクタで実物体に投影するものである。Miyamoto らはこの手法により視線誘導の効果を一部の被験者から確認している。しかしながら視線誘導の効果及びユーザが視線の誘導に気づいたか否か等の定量的な評価は行っていない。

## 3. 研究の目的

本研究の目的は、物体に仮想の影を投影することでユーザに気づかれない視線誘導を実現することである。物理的

<sup>1</sup> 北陸先端科学技術大学院大学  
Japan Advanced Institute of Science and Technology

な印刷物に仮想影を投影することで奥行き方向の錯覚を与えられることが先行研究 [10][11] により示されており、これを利用する。ここで仮想影とは、カメラで現実の物体を撮影した画像から任意の影画像を生成し、プロジェクタで現実の物体にこれを投影したものである。

ユーザに気づかれないような視線誘導の実現にあたり、適当な仮想影の付与率 (詳細は後述) を明らかにする必要がある。仮想影の付与率は視線の誘導に必要な最低限の量を持ちつつも、ユーザが仮想影の投影を知覚する絶対閾よりも少ないことが望ましい。そのため本研究では、まず仮想影の投影による視線誘導の効果検証を行う。次にユーザが仮想影が投影されたことを知覚しない影付与率の閾値について調査を行う。

#### 4. システム構成

ハードウェアは 3LCD 方式のプロジェクタと USB カメラ、PC の 3 つで構成される。ソフトウェア実装は「カメラ画素とプロジェクタ画素の対応関係の取得」と「仮想影の生成」の 2 つに大きく分けられる。

##### 4.1 カメラ画素とプロジェクタ画素の対応関係の取得

カメラで撮影した画像を基に投影画像を作るため、カメラ画素とプロジェクタ画素の対応関係を知る必要がある。そこで、カメラのある 1 画素がプロジェクタのどの画素に写り込んでいるかを示すテーブル (Camera to Projector map: C2P map) を作成した。C2P map の作成にあたってはグレイコードパターンを用いた Structured-light 方式 [12][13] を用いた。

##### 4.2 仮想影の生成

先行研究 [10] を参考に仮想影を生成した (図 1)。始めに仮想影を投影する対象をカメラで撮影し、2 値化処理を行う。次にガウシアンフィルタによりぼかし処理を施す。ガウシアンフィルタのパラメタについては、カーネルのサイズを  $5 \times 5$ ,  $\sigma = 3$  とした。ぼかし処理を終えた後、画像を右下  $45^\circ$  方向に平行移動させる。「2 値化処理した画像」を基準画像として「平行移動が完了した画像」をマスク処理することにより、仮想影の画像を生成する。

###### 4.2.1 影付与率

本節では仮想影の大小関係について述べる。仮想影を作成する手順から考えると、対象を何 pixel 移動させたかという「移動量」で仮想影の大小関係を定める手法が妥当である。しかしながら、仮想影の移動量が同じ 1pixel であったとしても対象の形が異なれば見え方は大きく異なる。図 2 に黒色で投影対象を、灰色で右と下へ 1pixel ずつ移動させた仮想影を示す。図中左側のように投影対象が入り組んだものであった場合、仮想影の付与量は増加する。このように、対象を何 pixel 移動させたかという移動量は仮想影

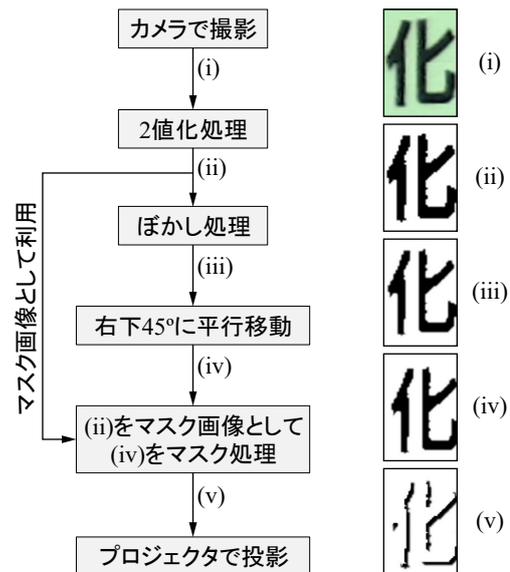


図 1 仮想影を生成する流れ

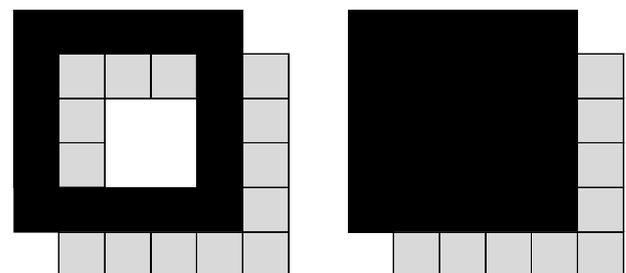


図 2 右と下に 1pixel ずつ移動させた仮想影

の大小関係の定義づけにおいて不適切である。そこで本研究では、投影対象の面積に対する仮想影の面積の割合を示す影付与率を式 (1) により定義し、仮想影の大小関係を定める尺度とする。

$$\text{影付与率} [\%] = \frac{\text{仮想影の付与面積}}{\text{投影対象の全面積}} \times 100 \quad (1)$$

###### 4.2.2 仮想影を付与する方向

本研究では仮想影の付与方向を右下  $45^\circ$  方向へ統一して実験を行う。現実の影の向きと仮想影の向きが不一致であっても被験者は比較的気にならなかったことが報告されているため [10]、実験では仮想影を付与する方向の違いによる効果について検討の対象外とした。

#### 5. 実験環境

実験は部屋の照明をつけた状態で行った。各種機材の配置は図 3 に示す通りである。なお、投影画面の解像度は  $1024 \times 768$  [pixel]、実寸で  $52 \times 39$  [cm] であった。

被験者へ画像を提示する際には 3LCD 方式のプロジェクタ (Canon LV-7365)、PC (Windows 10, Tobii Pro Lab)、アイトラッカー (Tobii Pro スペクトラム) を用いた。

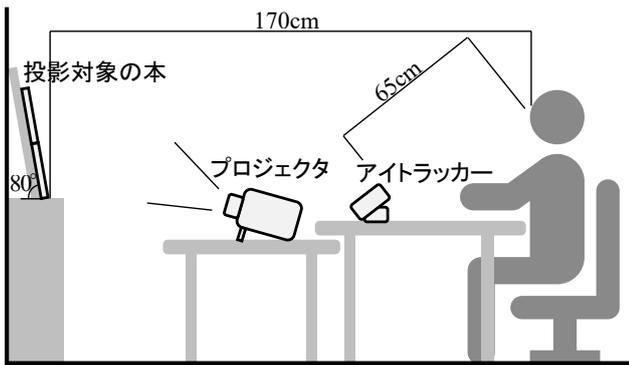


図 3 実験環境

アイトラッカーのサンプリング周波数は 600[Hz] とし、眼球運動の角速度が 30[deg/s] 以下の状態を注視状態 (fixation) として扱った [14][15].

被験者にはアイトラッカーとの距離がアイトラッカーの推奨値である 65[cm] となるよう座ってもらい、必要に応じて眼鏡やソフトコンタクトレンズを着用し視力を矯正してもらった。また、調査目的・データ管理方法・匿名での公表などについて各実験の開始前に説明を行い、十分な理解を得たうえで書面によって同意を得た。その後、説明用紙を用いて実験内容の教示を行った。

本研究では書店で書籍を見ているシーンを想定し、投影対象を 8 冊の書籍とした。書籍はいずれも B6 判の大きさである。厚みについては最も厚いもので 19[mm]、薄いもので 10[mm] と差があったものの、並べる際に厚みが均一となるよう調整した。また、書籍の設置にあたってはプロジェクタの光が被験者側に反射するのを防ぐため、壁側に 10° 傾けた。

書籍はタイトルの位置やフォントが統一されたものを選定し、各書籍固有の視覚的顕著性の低減を図った。実際に視覚的顕著性における差異が各書籍の間にどの程度生じているのかを確認するため、実験 I を行った。

## 6. 実験 I: 投影対象の視覚的顕著性に関する検討

実験 I では投影対象である書籍 8 冊の間に生じている視覚的顕著性の差について調査した。被験者は眼科的異常のない若年健常成人 4 名 (男性, 平均年齢 24.8±4.8 歳) である。

### 6.1 実験手順

被験者にはアイトラッカーによるキャリブレーションを終えたのち、白色画像が投影された書籍 8 冊を 60 秒間自由に見るよう指示した。図 4 に投影の様子を示す。

### 6.2 実験結果

実験 I における被験者 4 人分の合計注視時間の分布を



図 4 白色の光を投影した様子

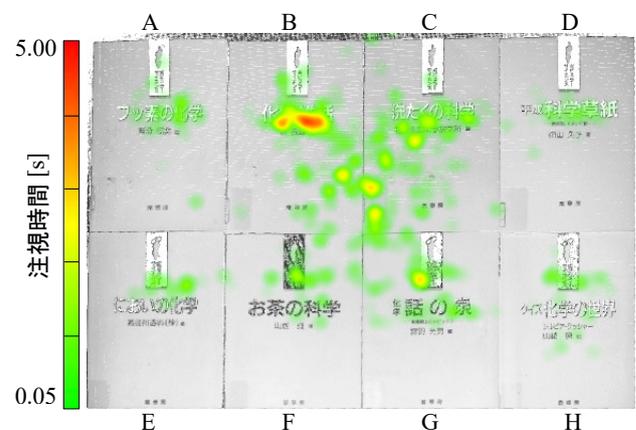


図 5 合計注視時間の分布

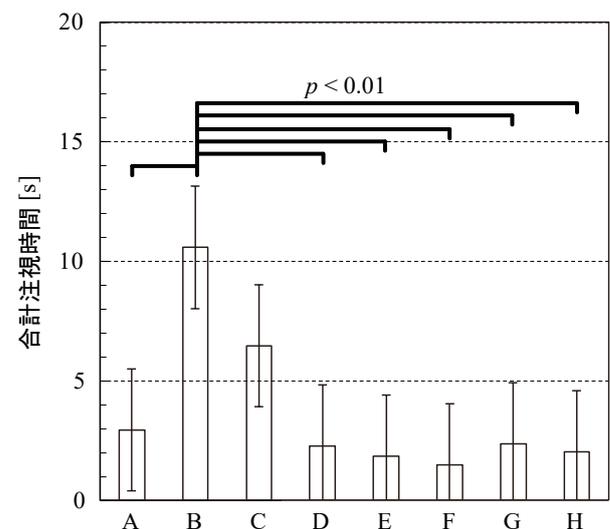
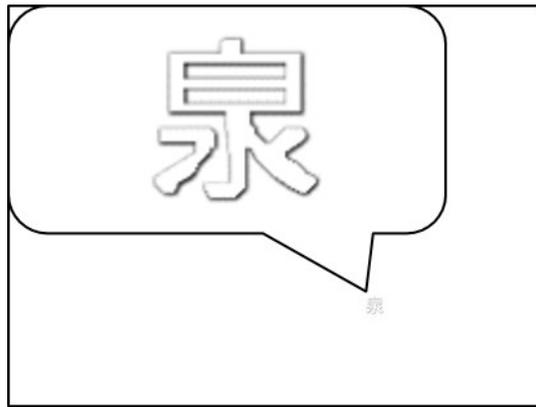


図 6 各書籍の合計注視時間

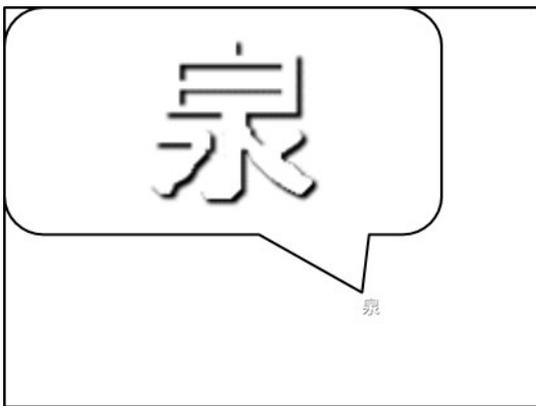
ヒートマップで示す (図 5)。これはサーモグラフィのように注視時間を視覚化したもので、注視時間が長いものは赤色、短いものは緑色で示される。ヒートマップを見ると書籍 B のタイトル付近が赤くなっており、注視時間が特に長



(i) 投影画像, 影付与率 = 15[%]



(ii) 投影の様子, 影付与率 = 15[%]



(iii) 投影画像, 影付与率 = 30[%]



(iv) 投影の様子, 影付与率 = 30[%]

図 7 投影画像と投影の様子 (影付与率 = 15, 30[%])

かったことが分かる。

ここで書籍 B の注視時間が他の書籍に比べてどれほど長かったのかを定量的に見るため、書籍ごとの合計注視時間の平均値を算出し、一元配置分散分析を行った。その結果、有意な差 ( $p < 0.01$ ) が認められた。そこで有意な差がどの書籍の間にあるのかを確認するため、Tukey-Kramer 法による多重比較分析を行った (図 6)。これにより書籍 B 対書籍 A, D~H に有意な差 ( $p < 0.01$ ) が認められたため、後述の実験では仮想影を投影する対象から書籍 B を外すことにした。書籍 B に仮想影を投影して視線誘導の効果を検証すると、それが書籍 B 固有の効果なのか仮想影の投影による影響なのかの判別が難しくなるためである。

また、書籍 B の合計注視時間が長くなった理由としては「8 冊のうち中央付近に配置してしまったこと」や「密度の高い文字が多いこと」が挙げられる。漢字 4 文字のタイトルとしては書籍 B 「化学雑話」以外に書籍 D 「科学草紙」があるが「雑」や「話」などの画数の多い字が連続して並んでいることが注視時間を長くした原因と考えられる。実際、実験 I の終了後には被験者から「雑の字に気が集中してしまう」などのコメントを得た。

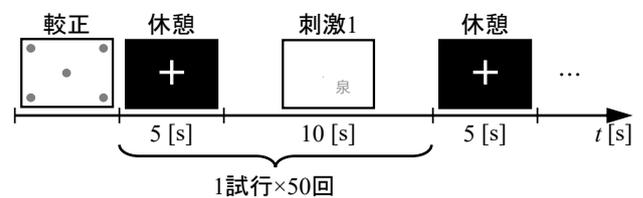


図 8 実験 II の流れ

## 7. 実験 II: 仮想影の投影による視線誘導の効果検証

実験 II では仮想影の投影による視線誘導の効果検証を行った。被験者は眼科的異常のない若年健常成人 8 名 (男性 7 名・女性 1 名, 平均年齢  $25.1 \pm 3.0$  歳) である。

### 7.1 視覚刺激

仮想影を投影する箇所は書籍のタイトル中のいずれか 1 文字とした。実験 I の結果より書籍 B は他の書籍に比べ有意に平均合計注視時間が長かったため、仮想影の投影対象から外した。また、文字による固有性を低減するため投影対象の文字は漢字に限定した。

仮想影の付与率は 0% (無加工の白色画像), 15%, 20%, 25%, 30% の計 5 水準に設定した。1 水準あたり 10 枚の影

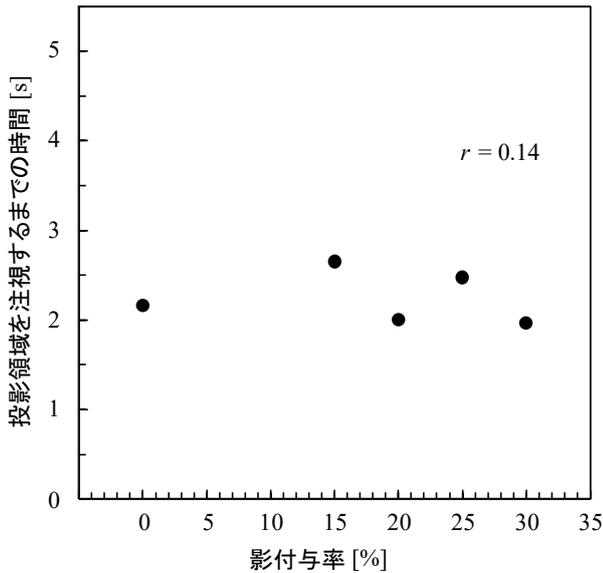


図 9 仮想影の投影領域を注視するまでの時間と影付与率の関係

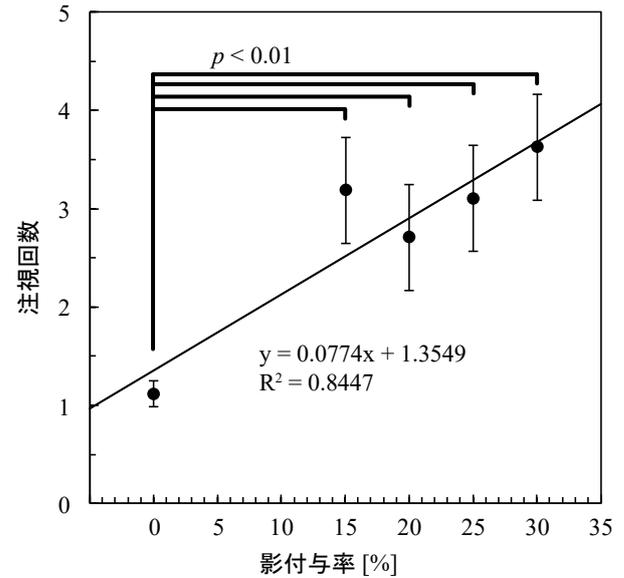


図 10 仮想影の投影領域内の注視回数と影付与率の関係

画像を作成し、被験者 1 人あたり 50 試行 (=5 段階 × 10 枚) 行った。画像の提示順はランダムとした。投影画像と投影の様子を図 7 に示す。

## 7.2 実験手順

中央に十字の入った黒色画像を始めに 5 秒間提示し、その後仮想影画像を 10 秒間提示した (図 8)。黒色画像の提示中は中央の十字を見続けるよう指示した。これは仮想影画像に切り替わった際の視線移動を計測するにあたり、初期の視線位置を揃えておくためである。仮想影画像の提示中は自由に投影対象を見るよう指示した。

この計 15 秒間を 1 試行とし、提示する仮想影の位置と仮想影の付与率を変えて計 50 施行実施した。

## 7.3 実験結果

影の付与率が与える視線への影響を定量的に見ていくため、(a) 投影領域を注視するまでの時間、(b) 投影領域を注視した回数、(c) 投影領域の合計注視時間の 3 指標について各々求めた。

### (a) 投影領域を注視するまでの時間

図 9 に仮想影の投影領域を注視するまでの時間を影付与率と共に示す。2 変数の相関係数は  $r = 0.14$  と低く、この 2 変数の間に相関関係は見られなかった。また、一元配置分散分析を行ったところ有意な差 ( $p < 0.05$ ) は認められなかった。

「投影領域を注視するまでの時間」に与える仮想影の影響が小さかった原因として、仮想影が周辺視野に引っ掛かりにくかったことが挙げられる。

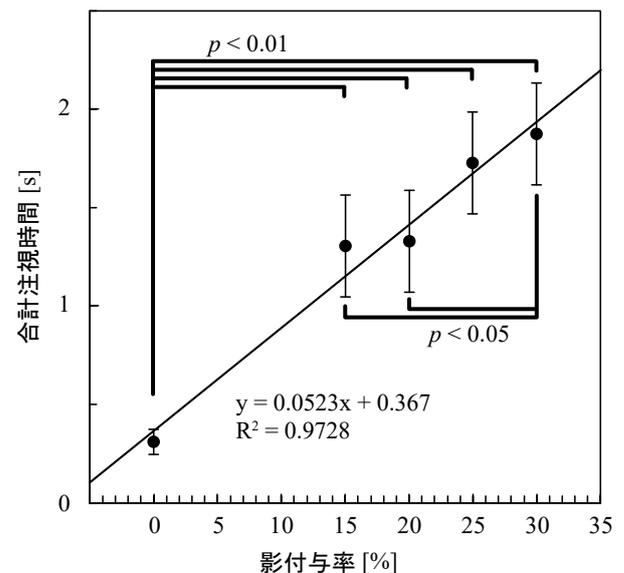


図 11 仮想影の投影領域内の合計注視時間と影付与率の関係

### (b) 投影領域を注視した回数

図 10 に仮想影の投影領域を注視した回数を影付与率と共に示す。影の付与率が高くなるにつれて注視回数が増加傾向にあることが回帰直線から分かる。一元配置分散分析を行ったところ有意な差 ( $p < 0.01$ ) が認められたため、Tukey-Kramer 法による多重比較分析を行った。その結果、影付与率 = 0% に対し影を 15~30% 付与した場合の方がいずれも有意 ( $p < 0.01$ ) に注視回数が多いことが分かった。

### (c) 投影領域の合計注視時間

図 11 に仮想影の投影領域を注視した合計時間を影付与率と共に示す。影の付与率が高くなるにつれ、合計注視時

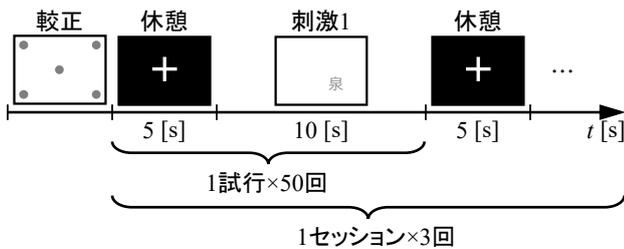


図 12 実験 III の流れ

間も増加傾向にあることが回帰直線から分かる。一元配置分散分析を行ったところ有意な差 ( $p < 0.01$ ) が認められたため、Tukey-Kramer 法による多重比較分析を行った。その結果、影付与率 = 0% に対し影を 15~30%付与した場合の方がいずれも有意 ( $p < 0.01$ ) に合計注視時間が長いことが分かった。また、30%と 15~20%の差も有意 ( $p < 0.05$ ) であった。

## 8. 実験 III: 仮想影の投影を知覚する絶対閾の測定

本実験では、仮想影の投影をユーザが知覚する絶対閾について測定する。絶対閾の測定には恒常法を用いた。被験者は眼科的異常のない若年健常成人 4 名 (男性, 平均年齢  $24.5 \pm 0.9$  歳) である。なお、実験 III の被験者 4 名はいずれも実験 II には参加していない。

### 8.1 視覚刺激

仮想影の付与率を 0%(無加工の白色画像), 15%, 20%, 25%, 30%の計 5 水準に設定し, 1 水準あたり 10 枚の影画像を作成した。被験者 1 人あたり 150 試行 (=5 段階  $\times$  10 枚  $\times$  3 回) 行う。画像の提示順はランダムとした。視覚刺激の内容は実験 II と同様である。

### 8.2 実験手順

実験 II と同様に中央に十字の入った黒色画像を始めに 5 秒間提示し, その後に仮想影画像を 10 秒間提示した (図 12)。黒色画像の提示中は中央の十字を見続けるよう指示した。仮想影画像の提示中は仮想影の投影に気づき次第, キーボードのスペースキーを押すよう指示した。また, 仮想影画像が投影されない場合 (影付与率 = 0%) もあることを伝えた。なお, 指示する中で「仮想の影」について説明する際には, 実際に仮想影を投影して被験者らに見せた。説明に用いた仮想影は実験の刺激には用いていない。

この計 15 秒間を 1 回の試行とし, 提示する仮想影の位置と仮想影の付与率を変えて 150 回施行した。実験では 50 回の試行を 1 セッションとし, 計 3 セッションの実験を行った。各セッションの間には 5 分以上の休憩をおいた。

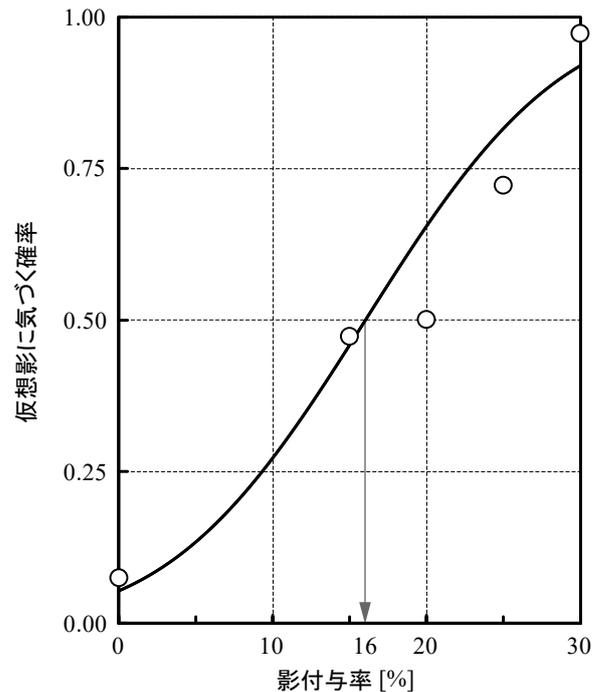


図 13 仮想影に気づく確率と影付与率の関係

### 8.3 実験結果

被験者らが「仮想影に気づいた」と回答した割合を影付与率ごとに求め,  $z$  変換し, 最小二乗法により回帰直線を求めた。これをもとに累積正規曲線を当てはめたグラフを図 13 に示す。絶対閾 (刺激を主観的に認識できる最小の強度) は検出確率が 50%をとる際の刺激強度であり, 影付与率 = 16.0% のときである。

## 9. 考察

実験 II の結果から仮想影の投影により注視回数と合計注視時間を増加させることが確認できた一方, 「仮想影の投影を行った領域を注視するまでの時間」と「影付与率」の間に相関関係は見られなかった ( $r = 0.14$ )。これは, 仮想影が周辺視野に引っ掛かりにくかったことが原因と推察される。このことから中心視野で主に仮想影を知覚していたと考えられる。

また, 本研究では仮想影の投影対象を一部の書体の文字に限定して評価実験を行っている。そのため, この結果が他の書体に対しても成立する普遍的なものであるか, また写真や図形などにも適用可能であるか等の検証を十分に行っていない。そのため, 投影対象を様々なもので実施し視線誘導の効果を確かめる必要がある。

## 10. おわりに

本研究では仮想影の投影による, ユーザに気づかれない視線誘導法の実現を目的とした。そこで投影対象の全面積に対する仮想影の付与面積の割合を表す「影付与率」を定

義した上で、ユーザに気づかれずに視線を誘導できる影付与率を調査した。研究の目的を達成するにあたり3つの実験を行った。仮想影の投影により視線誘導が可能かどうかを検証した実験II、ユーザが仮想影の投影を知覚する絶対閾を測定した実験III、そして両実験を実施するにあたり投影対象の視覚的顕著性を調査した実験Iである。

実験Iの結果から投影対象の書籍8冊の内、書籍B(図5参照)が他の書籍6冊に比べ有意( $p < 0.01$ )に注視時間が長いことが明らかになった。以降の実験IIおよび実験IIIにおいて書籍Bを投影対象に含めてしまうと視線誘導の効果が書籍Bの顕著性による効果なのか仮想影の投影による影響なのかの判別が困難になる。そこで、投影対象の書籍から書籍Bを外して実験II及び実験IIIを行った。

実験IIの結果から、仮想影の投影を行った領域での注視回数・合計注視時間の2項目について、仮想影の投影を行った時(影付与率 = 15 ~ 30%)の方が投影を行わなかった時(影付与率 = 0%)に比べ有意( $p < 0.01$ )にユーザを注視させる効果をもつことが分かった。

また実験IIIの結果から、ユーザが仮想影の投影に気づく絶対閾(主観的に認識できる最小の強度)について計測を行ったところ、影付与率 = 16.0%であった。

以上の結果から、影付与率 = 15%であればユーザに気づかれずに仮想影の投影領域内の注視回数が増加し、合計注視時間が長くなる可能性が示唆された。

## 参考文献

- [1] Reynold Bailey, Ann McNamara, Nisha Sudarsanam, and Cindy Grimm. Subtle gaze direction. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 28, No. 4, pp. 1–14, 2009.
- [2] Lori McCay-Peet, Mounia Lalmas, and Vidhya Navalpakkam. On saliency, affect and focused attention. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 541–550, 2012.
- [3] Hajime Hata, Hideki Koike, and Yoichi Sato. Visual guidance with unnoticed blur effect. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pp. 28–35, 2016.
- [4] Kayo Azuma and Hideki Koike. A study on gaze guidance using artificial color shifts. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces*, pp. 1–5, 2018.
- [5] Aiko Hagiwara, Akihiro Sugimoto, and Kazuhiko Kawamoto. Saliency-based image editing for guiding visual attention. In *Proceedings of the 1st international workshop on pervasive eye tracking & mobile eye-based interaction*, pp. 43–48, 2011.
- [6] Eduardo E Veas, Erick Mendez, Steven K Feiner, and Dieter Schmalstieg. Directing attention and influencing memory with visual saliency modulation. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 1471–1480, 2011.
- [7] Andreas Butz, Michael Schneider, and Mira Spassova. Searchlight—a lightweight search function for pervasive environments. In *International Conference on Pervasive Computing*, pp. 351–356. Springer, 2004.
- [8] Thomas Booth, Srinivas Sridharan, Ann McNamara, Cindy Grimm, and Reynold Bailey. Guiding attention in controlled real-world environments. In *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*, pp. 75–82, 2013.
- [9] Junpei Miyamoto, Hideki Koike, and Toshiyuki Amano. Gaze navigation in the real world by changing visual appearance of objects using projector-camera system. In *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 1–5, 2018.
- [10] Takahiro Kawabe. Shadow-based illusion of depth and transparency in printed images. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, Vol. 16, No. 2, pp. 1–12, 2019.
- [11] Ukuzo—a projection mapping technique to give illusory depth impressions to two-dimensional real objects. *NTT Technical Review*, Vol. 16, No. 11, pp. 30–34, 2018.
- [12] Jeffrey L Posdamer and MD Altschuler. Surface measurement by space-encoded projected beam systems. *Computer graphics and image processing*, Vol. 18, No. 1, pp. 1–17, 1982.
- [13] Joaquim Salvi, Jordi Pages, and Joan Batlle. Pattern codification strategies in structured light systems. *Pattern recognition*, Vol. 37, No. 4, pp. 827–849, 2004.
- [14] Accuracy and precision test method for remote eye trackers. *Tobii Technology*, pp. 1–28, 2011.
- [15] Determining the tobii i-vt fixation filter’s default values. *Tobii Technology*, pp. 1–15, 2012.