

# 視覚探索における色の誘目性が認知負荷に与える影響について

岡城純孝<sup>†</sup> 岡田英彦<sup>††</sup> 福住伸一<sup>†</sup>

GUIを操作するユーザの認知負荷を推定するために、画面上の視覚刺激の変化に応じてユーザの認知負荷がどのように変化するかを検証した。視覚刺激の目立ちやすさである誘目性の大きさを表す特徴量として誘目度に着目し、目標刺激2因子と妨害刺激1因子の計3要因3水準を設定して実験を行い、効率と認知負荷の観点から分析した。その結果、(1)目標刺激自身の誘目度が大きいほど効率が高く、かつ認知負荷は低い、(2)目標刺激自身の誘目度を大きくすることで効率に改善が見られても認知負荷が高いままの場合がある、ことがわかった。これらの知見をGUIの設計・評価に応用することで、効率を向上させ、ヒューマンエラーを抑制するGUIを開発可能である。

## The Effects of Visual Attractiveness of Color in Visual Search on Cognitive Load

SUMITAKA OKAJO<sup>†</sup> HIDEHIKO OKADA<sup>††</sup>  
SHIN'ICHI FUKUZUMI<sup>†</sup>

The present study investigated the effects of visual stimuli in visual search on cognitive load of GUI operators. We focused on visual attractiveness of color. We carried out an experiment including 2 factors of target and 1 factor of distractor with 3 levels, and analyzed from the viewpoint of operation efficiency and cognitive load. As a result, it was suggested that (1)As feature attention value of target is larger, operation will become more efficient and cognitive load will be lower, (2)Although operation efficiency is better, cognitive load is NOT better. These results imply as a possibility of developing a operation efficient and low human error rate GUI.

### 1. はじめに

現在、多くのシステムでGUIが用いられ、そこに表示される情報も増加している。これらのシステムを使用するユーザは、あるタスクを遂行するために、GUIに表示される多数の項目の中から正しい項目を選択する行動を繰り返すことになる。しかし、GUI画面上には別のタスクでは必要であるが、現在遂行すべきタスクには必要のない項目が様々な色や形で表示されていることが多い。これらの項目は、ユーザのタスク遂行を認知的側面から阻害するものであり、このとき、ユーザには認知的な負荷がかかっていると考えられる。そして、この負荷がヒューマンエラーの発生要因として大きな問題となっている。そこで、GUIの画面構成や操作がユーザの認知負荷にどのような影響を及ぼすかを明らかにすれば、ヒューマンエラーの観点からGUIを評価したり、ヒューマンエラーを低減したGUIを設計・開発したりすることが可能となる。しかし、これまでGUIの画面構成や操作とユーザの認知負荷の関係について直接検討した研究事例は少なく、一般にGUIの評価は効率やエラー率の観点からのみ行われてきた[1][2]。なお、本稿では、認知処理の中でも視覚や聴覚などの感覚・知覚による比較的低次の処理における負荷を認知負荷と呼ぶ。

このような背景から、筆者らは、まず、GUIの特性を考

えると最も重要である“視覚”に注目し、視覚探索における妨害刺激がユーザの認知負荷に与える影響の概略を把握するための実験を行った[3]。実験の結果、刺激の強弱が効率およびエラー率に及ぼす影響と、認知負荷に及ぼす影響には違いがあり、“認知負荷は相対的に小さな妨害でも敏感に増加しやすい”、“効率やエラー率が大きく悪化していないからと言って認知負荷も大きく増加していないとは言えない”ことなどが明らかとなった。これらの結果から、筆者らは、効率やエラー率の観点からの評価や改善だけではGUI操作におけるヒューマンエラー低減には十分ではないと考え、認知負荷定量化方式を提案している[4]。

GUIを操作するユーザの認知負荷を推定するためには、画面構成や操作内容に基づく何らかの特徴量の変化に応じてユーザの認知負荷がどのように変化するかを明らかにする必要がある。そこで、視覚探索において、目標刺激と妨害刺激それぞれの目立ちやすさ(誘目性)によってユーザの認知負荷が変化すると考え、誘目性の大きさを表す特徴量である誘目度に着目した。ユーザのGUI操作は、“誘目性を持つ多数の項目である妨害刺激が存在する状況での、正しい項目である目標刺激の視覚探索”とみなすことができ、このときの困難さが視覚に関わる認知負荷(視覚負荷)と考えられる。

本研究では、色の誘目性について、“目標刺激が目立ち妨害刺激が目立たない場合には視覚的な負荷は小さく、逆に目標刺激が目立たず妨害刺激が目立つ場合には視覚的な負荷が大きい”という仮説を立て、実験的に検証した。

<sup>†</sup> NEC 情報・ナレッジ研究所  
Knowledge Discovery Research Laboratories, NEC Corporation  
<sup>††</sup> 京都産業大学  
Kyoto Sangyo University

## 2. 誘目性と視覚負荷

誘目性とは、オブジェクトの“人目の惹きやすさ”，“注意の集めやすさ”を意味する[5]。これまでに、情報視覚化の手法が重要度をどの程度反映しているかについて誘目性を用いて評価する手法[6]や、誘目性と注視行動との関係分析[7]など、応用心理学を起源とした誘目性に関する研究が行われてきた。田中らは、画像中の図領域の物理的特徴(色、空間周波数、面積、形)から誘目性を定量的に表現する誘目度評価モデルを提案している[8]。田中らのモデルでは、誘目度を以下の2種類に大別している。

### 特徴誘目度

各物理的特徴自身の誘目度に対する潜在的あるいは絶対的な寄与

### 異質性誘目度

複数のオブジェクトが存在するとき、個々のオブジェクトの物理的特徴が他のオブジェクトの特徴と比べて異なる場合、つまり物理的特徴の相対的な誘目度への寄与

これらの2種類の寄与を組み合わせると、3つの物理的特徴(色、空間周波数、面積)について個別に算出した誘目度の重み付き線形和をとった特徴誘目度と、4つの物理的特徴(色、空間周波数、面積、形)について個別に算出した異質性の重み付け線形和をとった異質性誘目度との合計値を誘目度として定義している。特に、色に関して、特徴誘目度は色相、彩度、明度それぞれについて算出した誘目度の和をとったもの、異質性誘目度は  $L^*a^*b^*$  色空間における色差式を用いて、オブジェクト平均色と全領域の平均色との色差のz得点となっている。ただし、異質性誘目度に関して、本研究ではディスプレイに表示される色を対象とすることから、 $L^*a^*b^*$  色空間の代わりに  $L^*u^*v^*$  色空間を用いることとした。

一方、認知負荷は、人がどれだけ活発に働いているかを示す指標である作業負荷の中で、“精神的負荷のうち、人間の認知に関わるもの”と位置づけられる[9]。筆者らは、さらに、認知負荷を表1に示すように細分化している。

表1 認知負荷要素

認知負荷	視覚負荷	色
		密度
		形状
	...	
	聴覚負荷	音高
		発話速度
		...
	操作負荷	操作時間
		選択肢数
		...
	周辺状況負荷	視覚環境(照明)
		聴覚環境(雑音)
		...

このとき、視覚負荷を“多数の妨害刺激の中から、ある目標刺激を探索するときの困難度”と定義した。これは、“多数の妨害刺激の誘目性に逆らって、目標刺激を探索するときの困難度”と言える。そこで、視覚負荷を誘目性の観点から分解すると、目標刺激が目立ちにくく、かつ、妨害刺激が目立ちやすいほど、人は目標刺激を探索することが困難となると考えられることから、

### 視覚負荷

= 目標刺激の目立ちにくさ + 妨害刺激の目立ちやすさ  
 とできる。さらに、

### 目標刺激の目立ちにくさ

= (A) 目標刺激の特徴誘目度

+ (B) 目標刺激の異質性誘目度

### 妨害刺激の目立ちやすさ

= (C) 妨害刺激の特徴誘目度

と言える。色に関しては、“赤色が背景色に依存せず目立つ[10]”，“彩度が高いほうが目立つ[11]”，“明度が高いほうが目立つ[12]”とされており、これはすなわち、刺激の特徴誘目度が小さいほど刺激が目立ちにくく、刺激の特徴誘目度が大きいほど刺激が目立ちやすいことを示している。また、刺激の持つ単一の特徴にだけ注目すれば妨害刺激の数が増えても困難なく目標刺激を発見できるというポップアウト効果が従来から知られており、さらに、色を特徴とした場合に、その色差が小さいと反応時間は長くなり、色差が大きいと反応時間が短くなることが報告されている[13]。これはすなわち、目標刺激の異質性誘目度が小さいほど目標刺激が目立ちにくいことを示している。まとめると、“目標刺激が目立ちにくい”のは、(A)と(B)の値が小さいことであり、“妨害刺激が目立ちやすい”のは、(C)の値が大きいことと言える。本研究では、田中らのモデルを参考に、上記の3つの誘目度について色の誘目度を定義した。

まず、(A)目標刺激の特徴誘目度  $FA_T$  は、HLS 双六角錐カラーモデルの色相、明度、彩度それぞれの誘目度、 $H_{FA}$ 、 $L_{FA}$ 、 $S_{FA}$  の和となり、

$$FA_T = H_{FA} + L_{FA} + S_{FA} \quad (1)$$

と表される。HLS 双六角錐カラーモデルは、色を色相 H、明度 L、彩度 S の3つの概念で表現できるようにしたものである。色相 H は赤色を起点とする角度で表され、明度 L、彩度 S は 0 から 1 の値で表される。このとき、原色の明度 L が 0.5 になるのが特徴である(図1参照)。

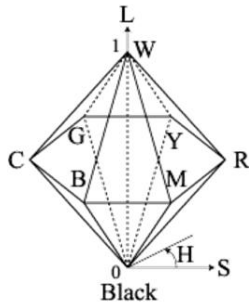


図 1 HLS 双六角錐カラーモデル

$H_{FA}$  は、赤色に近いほど、つまり、色相  $H(0 \leq h \leq 2\pi)$  が 0 に近いほど値が大きくなるように、

$$H_{FA} = \left| 1 - \frac{H}{\pi} \right| \quad (2)$$

とした。  $L_{FA}$  は、背景色と刺激色のコントラストを考慮し、Semmelroth の式[14]における指標輝度の代わりに W3C が提案している明度差  $L_{cbd}$ [15]を用いた。さらに、この明度差  $L_{cbd}$  ( $0 \leq L_{cbd} \leq 255$ )の値を Semmelroth の式における感覚量  $R_S$  のとりうる値 ( $-0.65 \leq R_S \leq 1.65$ )に写像した。また、本実験では背景色を黒に固定した。最終的に  $L_{FA}$  は、

$$L_{FA} = \frac{2.3}{255} \times L_{cbd} - 0.65 \quad (3)$$

と表される。ここで、刺激色の RGB 値を用いて、

$$L_{cbd} = \frac{R \times 299 + G \times 587 + B \times 114}{1000} \quad (4)$$

である。また、  $S_{FA}$  は、HLS 双六角錐カラーモデルの彩度 ( $0 \leq S \leq 1$ )そのものを用いた。

次に、(B)目標刺激の異質性誘目度  $HA_T$  は、  $L^*u^*v^*$  知覚均等色空間における色差式、

$$d = \sqrt{\Delta L^*^2 + \Delta u^*^2 + \Delta v^*^2} \quad (5)$$

を用いて、目標刺激の色とすべての刺激（目標刺激と妨害刺激）の平均色との色差  $d$ 、色差平均  $dm$ 、色差の標準偏差  $std$  を求め、

$$HA_T = \left| \frac{d - dm}{std} \right| \quad (6)$$

とした。

さらに、(C)妨害刺激の特徴誘目度  $FA_D$  は、妨害刺激の平均色について特徴誘目度を算出した。

### 3. 実験

#### 3.1 実験の目的

今回の実験の目的は、ユーザの視覚負荷は、

- 目標刺激の特徴誘目度  $FA_T$
- 目標刺激の異質性誘目度  $HA_T$
- 妨害刺激の特徴誘目度  $FA_D$

の3つの要因に依存すると仮定し、これら3要因が視覚負荷に与える影響を実験的に検証することである。前述した

“他の項目に比べて操作対象の項目の誘目度が大きい場合には視覚的な負荷は小さく、逆に操作対象の項目に比べて他の項目の誘目度が大きい場合には視覚的な負荷が大きい”という仮説に従うと、  $FA_T$  および  $HA_T$  が大きく、  $FA_D$  が小さい場合には視覚負荷は小さくなり、  $FA_T$  および  $HA_T$  が小さく、  $FA_D$  が大きい場合には視覚負荷が大きくなる、ことになる。

#### 3.2 実験課題

本実験での被験者への課題は、GUI に表示される多数の項目の中から正しい項目を選択するユーザの行動を模擬した視覚探索課題とした。課題は 50 インチ PDP (NEC PX-50XM6J) 上に表示され、被験者はマウスのクリックにて回答を行った。課題画像の一例を図 2 に示す。

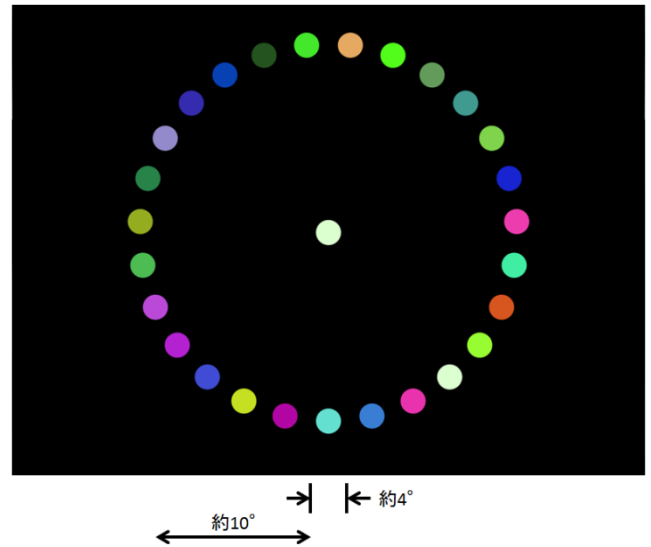


図 2 視覚探索課題の画像例

GUI の項目に相当する各刺激は視野角にして直径約  $4^\circ$  の円で、27色の刺激を視野角にして半径約  $10^\circ$  の円周上に等間隔で配置した。また、中心には探索目標色となる刺激（提示刺激）を表示し、この提示刺激と同色の刺激（目標刺激）が前記 27色の刺激の中にただ一つ含まれるようにした。被験者は、円周上に配置された 27個の刺激の中から、目標刺激を探索する。実験課題は Canvas(HTML5+JavaScript)で作成し、被験者は以下のような手順で回答を行った。

- (1) ディスプレイに固視点が表示される
- (2) 被験者がマウスクリック
- (3) 固視点が消失し 500ms 後に課題画像が表示される
- (4) 被験者が視覚探索
- (5) 被験者は目標刺激を発見したらマウスクリック
- (6) 課題画像から提示刺激が消失
- (7) 被験者は発見した目標刺激上にマウスポインタを移動させ、マウスクリック
- (8) 被験者が再度マウスクリックすると手順(1)に戻る(次の課題へ)

手順(3)で課題画像が表示されてから手順(5)でマウス

リックするまでが被験者のタスク時間(回答時間)となる。回答の正誤(目標刺激と提示刺激は同色か否か)は手順(7)で確認する。また、被験者へ、

- できるだけ速やかに、かつ正確に回答すること
- 探索対象の 27 個の刺激には必ず目標刺激がただ一つ含まれること
- マウスの左クリック以外の操作をしないこと
- マウスの左クリックも必要な場面以外は禁止
- 手順(5)でのクリック操作はタスク時間に影響するため、目標刺激を発見したら即時に行うこと。一方、手順(7)でのクリック操作はタスク時間に影響しないため、確実に行うこと

を教示した。

### 3.3 実験条件

前述の 3 要因, (A)目標刺激の特徴誘目度  $FA_T$ , (B)目標刺激の異質性誘目度  $HA_T$ , (C)妨害刺激の特徴誘目度  $FA_D$  のそれぞれに 3 水準(大(L), 中(M), 小(S))を設定し, 計  $3^3=27$  条件とした。

また、条件に合致する刺激色を以下の手順により作成した。まず、27 個の刺激色の組み合わせ 1 万パターンをプログラムによりランダムに作成し、すべてのパターンで 27 個の刺激色に同じ色が含まれないことを確認した。次に、すべてのパターンで目標刺激色( $R_T, G_T, B_T$ )と 26 個の妨害刺激色( $R_i, G_i, B_i$ )( $i=1, 2, \dots, 26$ )との類似度  $\Delta E$  を、

$$\Delta E = |R_T - R_i| + |G_T - G_i| + |B_T - B_i| \quad (7)$$

により求め、 $\Delta E$  の最小値が、 $80 \leq \Delta E \leq 120$  となるものを 1 万パターンの中から抽出した。なお、この  $\Delta E$  の範囲は、後述の各グループで 27 個の刺激色の組み合わせが 10 パターン以上含まれ、かつ、目標刺激色と妨害刺激色の差が大き過ぎず小さ過ぎないように調整したものである。続いて、抽出したパターンについて(A), (B), (C) を算出し, (A), (B), (C)それぞれの値の大きさに基づいて 2000 個ずつの 5 段階に分類し, Lank1 から Lank5 までの ID を付与した。そして, Lank5 を大(L), Lank3 を中(M), Lank1 を小(S)の水準とし, [(A), (B), (C)] = [L, L, L]から[S, S, S]までの 27 グループの刺激色の組み合わせを得た。さらに、各グループにおける刺激色の組み合わせを目視でチェックし、明らかに目標刺激色と識別が困難な妨害刺激色を含むと判断したパターンを除き、各グループ 10 パターンを抽出した。

### 3.4 評価指標

本実験では、客観的指標と主観的指標の両者を用いた。前者として行動的指標を採用し、被験者の作業成績としてタスク時間(回答時間)を用いた。一方、後者として日本語版 NASA-TLX[16]を用いた。タスク時間は、各課題において“被験者が目標刺激を発見するのに要した時間”である。NASA-TLX は、アメリカ航空宇宙局のエイムズ研究センターで開発され、認知負荷の主観的評価尺度のうち最もよく知られているものの一つである[17]。評価尺度は、精

神的要求(Mental Demand; MD), 身体的要求(Physical Demand; PD), 時間的要求(Temporal Demand; TD), 作業成績(Own Performance; OP), 努力(Effort; EF), フラストレーション(Frustration; FR)の 6 つの下位尺度で構成されている。

今回、総合評価値の算出には AWWL(Adaptive WWL)を用いた。AWWL は、

- (1) 各尺度の評価値に小さい方から 1~6 までの順位付けをし、この順位をそのまま重み付け係数とする
- (2) (1)の重み付け係数を各尺度の評価値に掛ける
- (3) (2)の総和を、重み付け係数の総和 21 で割ることにより求める。AWWL は、本来の総合評価値の算出方法である WWL との相関が高く、被験者間のばらつきが WWL よりも小さいという利点のあることが報告されている[18]。また、WWL に比べて、被験者の負担が少なく、算出に要する時間が短いという利点もある。本実験において NASA-TLX を用いるにあたり、先行研究における 6 尺度の説明の改善[19]を参考に、各評価尺度の説明文を修正した。

図 3 に本実験で使用したアンケート用紙を示す。



図 3 NASA-TLX 用紙

### 3.5 実験手順

被験者一人あたりの実験手順を図 4 に示す。

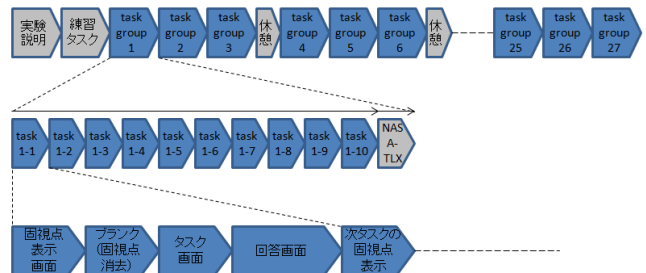


図 4 実験手順



まず、被験者に対して、実験の内容について説明を行い、続いて、回答操作に慣れるための練習課題を行った。次に、ある実験条件に基づいて作成した課題を1グループ10問として被験者に行ってもらい、その後、NASA-TLX用紙に記入してもらった。これを3グループ分行った後、1分間の休憩をとった。さらにこれを9回繰り返し、計27グループ270問の課題を行った。なお、順序効果を相殺するために、被験者ごとに実験条件の順序を入れ替えた。

### 3.6 被験者

被験者は26~42歳の男女6名(男性4名,女性2名)で、日常業務でPCを使用している者であった。また、実験に先立って各自に色覚特性の有無を尋ねたところ、不明1名を除き、色覚特性無しとの回答を得た。さらに、不明の被験者に対しては、色覚検査を実施し、色覚特性無しであることを確認した。

### 3.7 実験装置

本実験では、ノートPC(NEC VersaPro PC-VK13MBBCZCRBSBD)とPDP,およびマウスを用いた。実験装置の概略を図5に示す。

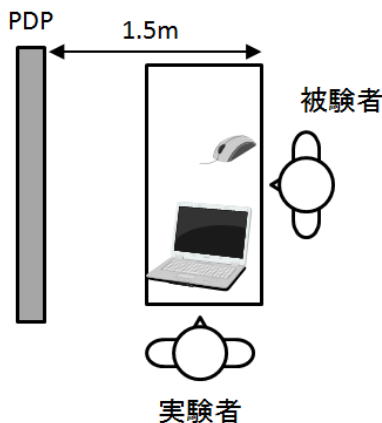


図5 実験装置の概略

PDPはサイズが50インチで、解像度は1280px768pxに設定した。また、ノートPC上で動作し課題画像を表示するブラウザは、Firefox10.0.2を全画面表示で使用した。さらに、被験者が課題回答中の操作内容(マウスクリック時の周辺画像、マウスクリック座標、クリック時刻)を記録するため、ログ保存ソフトウェアを用いた。被験者は、PDPの前方視距離1.5mの位置に着座した。被験者の眼高は、ほぼ固視点の表示位置に設定した。

### 3.8 分析方法

ログデータを解析し、対応する2つのマウスクリックのクリック時刻の差からタスク時間を算出した。そして、 $FA_T$ ,  $HA_T$ ,  $FA_D$ のそれぞれについて、水準S, M, Lの間でタスク時間を比較した。次に、三要因分散分析を行い、主効果および交互作用の有意性を調べた。さらに、有意差が検出

された要因(主効果もしくは交互作用)について、当該要因内の水準の差をTukeyの多重検定によって調べた。

また、NASA-TLX用紙を集計し、被験者ごとに各条件すべてについてAWWLを算出した。その後、タスク時間と同様に分析を行った。

## 4. 実験結果

### 4.1 客観的評価(タスク時間)

本実験では、客観的評価指標としてタスク時間を用いた。ディスプレイに固視点が表示されている状態でマウスをクリックした時刻を $t_s$ とし、その後、課題画面が表示されている状態で視覚探索を行い、目標刺激を発見した時点でマウスをクリックした時刻 $t_e$ とした場合の $t_e - t_s - 500[ms]$ の時間である。課題タスク1グループあたり最大10件の時間データが得られる。また、以下の分析にあたっては、回答の正誤を区別せず、1タスクグループ最大10回のタスク時間の平均値を用いた。回答の正誤を区別しない理由は、今回のタスクでは間違ってもよいなら何も探索せずにただクリックすればいくらかでも早くタスクを終わらせることができたが、被験者の回答を見るかぎり、そのような被験者は見受けられず、誤回答データを含んで分析しても信頼性は問題ないと考えたためである。

まず、 $FA_T$ ,  $HA_T$ ,  $FA_D$ のそれぞれについて、水準S, M, Lの間でタスク時間を比較したところ、 $FA_T$ ,  $HA_T$ では、

**水準Sの時間 > 水準Mの時間 > 水準Lの時間**

を満たしていた。つまり、 $FA_T$ ,  $HA_T$ のいずれも、ほぼ、“指標の値が大きいほど、その色を早く発見できる”と言える。

この結果は、 $FA_T$ ,  $HA_T$ の意味に整合した結果である。一方、 $FA_D$ は、

**水準Sの時間 < 水準Mの時間 < 水準Lの時間**

を満たしておらず、“指標の値が小さいほど、その色を早く発見できる”とは言えない結果であった。これは、 $FA_D$ の意味に整合しない結果である。 $FA_T$ ,  $HA_T$ ,  $FA_D$ について、タスク時間の平均と標準偏差をそれぞれ表2, 表3, 表4に示す。

表2 タスク時間( $FA_T$ ) [ $\times 10msec$ ]

	目標刺激の特徴誘目度 $FA_T$		
	S	M	L
平均	250.4	216.1	187.6
標準偏差	81.4	66.6	61.7

表3 タスク時間( $HA_T$ ) [ $\times 10msec$ ]

	目標刺激の異質性誘目度 $HA_T$		
	S	M	L
平均	228.9	214.8	210.5
標準偏差	80.0	68.0	75.2

表 4 タスク時間(FA<sub>D</sub>) [×10msec]

	妨害刺激の特徴誘目度 FA <sub>D</sub>		
	S	M	L
平均	223.8	213.9	216.3
標準偏差	86.6	70.6	65.8

次に、上記の水準間の差を三要因分散分析によって調べたところ、主効果 FA<sub>T</sub> と交互作用 FA<sub>T</sub> \* FA<sub>D</sub> に有意性が検出された。タスク時間に関する分散分析表を表 5 に示す。

表 5 分散分析表 (タスク時間)

要因	S	φ	V	F <sub>0</sub>
FA <sub>T</sub>	106690	2	10.4415	6.076e-05 ***
HA <sub>T</sub>	10005	2	0.9792	0.37826
FA <sub>D</sub>	2825	2	0.2765	0.75886
FA <sub>T</sub> * HA <sub>T</sub>	6808	4	0.3331	0.85528
FA <sub>T</sub> * FA <sub>D</sub>	51054	4	2.4983	0.04558 *
HA <sub>T</sub> * FA <sub>D</sub>	9061	4	0.4434	0.77704
FA <sub>T</sub> * HA <sub>T</sub> * FA <sub>D</sub>	18277	8	0.4472	0.89060
計	689703	135		

そこで、主効果 FA<sub>T</sub> と交互作用 FA<sub>T</sub> \* FA<sub>D</sub> について多重検定を行った。その結果、主効果 FA<sub>T</sub> については、2 水準間のすべての組み合わせに有意差が検出された(S-M t=2.53, p<.05; M-L t=2.10, p<.1; S-L t=4.63, p<.001) (図 6 参照)。

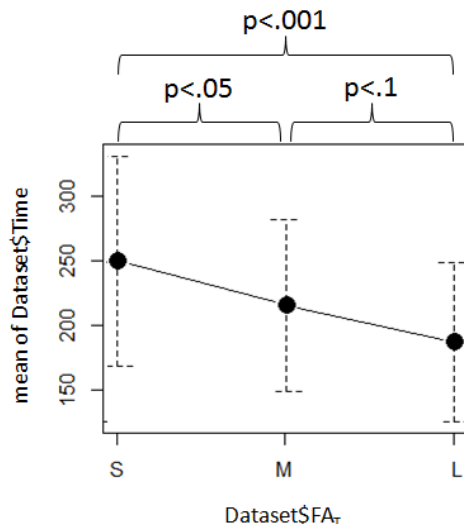


図 6 主効果 FA<sub>T</sub> によるタスク時間の変化

また、交互作用 FA<sub>T</sub>\*FA<sub>D</sub> については、S\*S と他の一部の組み合わせの間に有意差が検出された。有意差が検出された組み合わせのみ、表 6 に示す。

表 6 多重検定(FA<sub>T</sub>\*FA<sub>D</sub>)

	t 値	p 値
S*S - L*L	3.813	0.00615 **
S*S - L*M	4.063	0.00241 **
S*S - L*S	5.342	< 0.001 ***
S*S - M*L	3.163	0.04787 *
S*S - M*M	3.178	0.04566 *
S*S - M*S	3.178	0.04563 *

以上の結果をまとめると、有意な主効果は FA<sub>T</sub> のみであり、FA<sub>D</sub> には有意差が認められなかったことから、本実験の課題においては、目標刺激色の特徴誘目度を高めることがタスク時間の短縮に最も貢献したと言える。さらに、妨害刺激色の特徴誘目度より、目標刺激色の特徴誘目度のほうがタスク時間を強く左右したと言える。また、FA<sub>T</sub> と FA<sub>D</sub> との交互作用において、FA<sub>T</sub>=S かつ FA<sub>D</sub>=S の場合は FA<sub>T</sub> ≠ S の場合の一部の組み合わせよりタスク時間が有意に長いことから、妨害刺激色の特徴誘目度が小さくても、目標刺激色の特徴誘目度が小さければ、発見時間が長くなってしまふ(妨害刺激が小さいことのメリットが相対的に小さい)と言える。

#### 4.2 主観的評価 (NASA-TLX)

本実験では、主観的評価指標として日本語版 NASA-TLX を用い、スコアの算出には AWWL を用いた。

まず、FA<sub>T</sub>、HA<sub>T</sub>、FA<sub>D</sub> のそれぞれについて、水準 S、M、L の間で AWWL を比較したところ、FA<sub>T</sub> では、

水準 S の時間 ≧ 水準 M の時間 > 水準 L の時間

となっており、“指標の値が小さいうちは負荷が大きいまま変化がないが、ある一定の値以上になると顕著に負荷が小さくなる”と言える。一方、HA<sub>T</sub>、FA<sub>D</sub> では、

水準 S の時間 ≧ 水準 M の時間 ≧ 水準 L の時間

となっており、今回の実験からは、HA<sub>T</sub>、FA<sub>D</sub> の変化が認知負荷に与える影響を見出すことができなかつた。FA<sub>T</sub>、HA<sub>T</sub>、FA<sub>D</sub> について、AWWL の平均と標準偏差をそれぞれ表 7、表 8、表 9 に示す。

表 7 AWWL(FA<sub>T</sub>)

	目標刺激の特徴誘目度 FA <sub>T</sub>		
	S	M	L
平均	47.4	49.6	35.7
標準偏差	17.0	17.9	12.6

表 8 AWWL(HA<sub>T</sub>)

	目標刺激の異質性誘目度 HA <sub>T</sub>		
	S	M	L
平均	45.7	42.8	44.2
標準偏差	16.5	16.3	18.3

表 9 AWWL(FA<sub>D</sub>)

	妨害刺激の特徴誘目度 FA <sub>D</sub>		
	S	M	L
平均	44.7	43.7	44.3
標準偏差	17.9	16.3	17.1

次に、上記の水準間の差を三要因分散分析によって調べたところ、主効果 FA<sub>T</sub> に有意性が検出された。AWWL に関する分散分析表を表 10 に示す。

表 10 分散分析表 (AWWL)

要因	S	φ	V	F <sub>0</sub>
FA <sub>T</sub>	6000	2	10.3057	6.835e-05 ***
HA <sub>T</sub>	215	2	0.3688	0.6923
FA <sub>D</sub>	29	2	0.0493	0.9519
FA <sub>T</sub> * HA <sub>T</sub>	199	4	0.1710	0.9529
FA <sub>T</sub> * FA <sub>D</sub>	254	4	0.2182	0.9279
HA <sub>T</sub> * FA <sub>D</sub>	109	4	0.0940	0.9842
FA <sub>T</sub> * HA <sub>T</sub> * FA <sub>D</sub>	577	8	0.2477	0.9807
計	39297	135		

そこで、主効果 FA<sub>T</sub> について多重検定を行った。その結果、M-L および S-L の水準の組み合わせに有意差が検出された(M-L t=4.50, p<.001; S-L t=3.80, p<.001) (図 7 参照)。

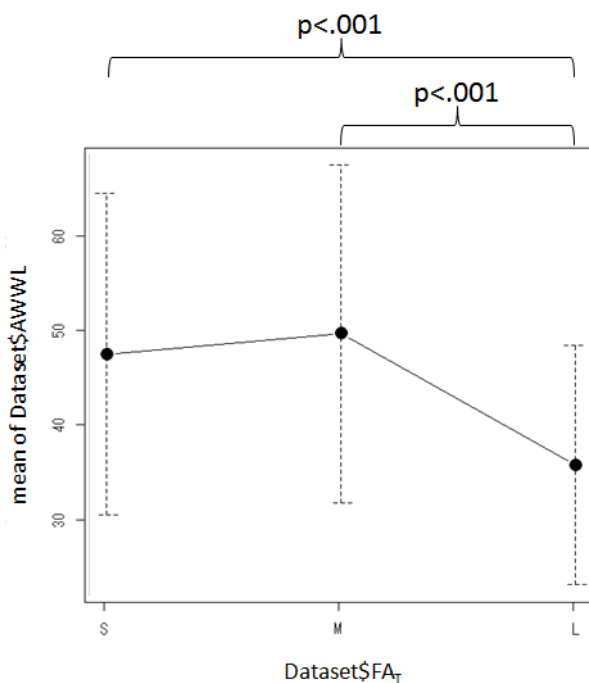


図 7 主効果 FA<sub>T</sub> による AWWL の変化

また、日本語版 NASA-TLX を構成する 6 下位尺度それぞれについても同様に分析したところ、TD を除く 5 つの尺

度 MD, PD, OP, EF, FR について、主効果 FA<sub>T</sub> に有意性が検出された。さらに、これら 5 つの尺度の主効果 FA<sub>T</sub> について多重検定を行うと、PD のみ M-L の水準の組み合わせに有意差が検出され、その他の MD, OP, EF, FR では M-L および S-L の水準の組み合わせに有意差が検出された。

以上の結果をまとめると、有意な主効果は FA<sub>T</sub> のみであり、FA<sub>D</sub> には有意差が認められなかったことから、本実験の課題においては、目標刺激色の特徴誘目度を高めることが視覚負荷の低減に最も貢献したと言える。さらに、妨害刺激色の特徴誘目度より、目標刺激色の特徴誘目度のほうが視覚負荷を強く左右したと言える。

## 5. 考察

4.1 節および 4.2 節に記載の結果を比較すると、客観的にも主観的にも目標刺激の特徴誘目度 FA<sub>T</sub> の影響が大きいことがわかった。つまり、FA<sub>T</sub> を高めることが効率の向上と認知負荷の低減の両面において最も貢献するということを示している。さらに、FA<sub>T</sub> の変化に対する客観的な評価結果と主観的な評価結果の変化に違いが見られた。FA<sub>T</sub> が中(M)の場合、小(S)の場合よりも有意に早くタスクを行っていたにもかかわらず、主観的にはユーザは小(S)の場合と大きな差がない程度に負荷を感じていたことがわかる。つまり、客観的には目標刺激の特徴誘目度の値が大きいほどタスク時間が短い(その色を早く発見できる)が、主観的には目標刺激の特徴誘目度の値が小さいうちは負荷が大きいまま変化がなく、ある一定の値以上になると顕著に負荷が小さくなることが明らかとなった(図 8 参照)。

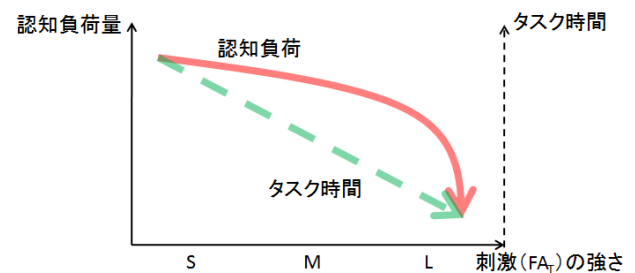


図 8 FA<sub>T</sub> の変化に対するタスク時間と認知負荷(AWWL) の変化の違い

以上の結果から、(1) 目標刺激自身の誘目度が大きいほど効率が高く、かつ認知負荷は低い、(2) 目標刺激の特徴誘目度を大きくすることで効率に改善が見られても認知負荷が高いままの場合がある、ことが明らかとなった。(1)の知見は、仮説の一部(目標刺激の特徴誘目度 FA<sub>T</sub> が大きいほど認知負荷は小さい)を実証している。この知見に基づき、FA<sub>T</sub> を大きくすることで、効率を向上させるとともに、認知負荷を低減させることでヒューマンエラーを抑制する GUI の設計に役立つことが期待される。また、(2)の知見は、筆者らが以前に行った実験結果から得た、“認知負荷は相対

的に小さな妨害でも敏感に増加しやすい”，“効率やエラー率が大きく悪化していないからと言って認知負荷も大きく増加していないとは言えない”という知見を支持していると言える。これらの知見は，認知負荷に起因するヒューマンエラーを低減するためには効率だけでなく認知負荷の観点から GUI を評価する必要があることを示唆している。

一方，目標刺激の異質性誘目度  $HA_T$  および妨害刺激の特徴誘目度  $FA_D$  については，客観的にも主観的にも有意な主効果は認められなかった。今回の実験では， $FA_D$  の算出にあたって，26 個の妨害刺激の平均色を用いた。 $FA_D$  に有意な主効果が認められなかった原因として，この平均色を用いた  $FA_D$  の値が，26 個の妨害刺激によって生じる被験者の認知負荷を適切に反映していなかった可能性がある。また， $HA_T$  の算出の際にも妨害刺激色が利用されるため，この妨害刺激色の決定方法は  $HA_T$  の値にも影響を与えている。従って，認知負荷を適切に反映する妨害刺激色の決定が今後の課題である。

## 6. まとめ

本稿では，GUI を操作するユーザを想定した視覚探索課題を被験者に行わせ，色の誘目性が視覚に関わる認知負荷に与える影響について検証する実験を行った結果について報告した。その結果，客観的評価の観点からも主観的評価の観点からも，目標刺激の特徴誘目度  $FA_T$  に有意な差が認められ，目標刺激色の特徴誘目度を高めることがタスク時間の短縮に最も貢献することがわかった。さらに，客観的評価と主観的評価の結果を比較すると，客観的には目標刺激の特徴誘目度の値が大きいほどタスク時間が短い（その色を早く発見できる）が，主観的には目標刺激の特徴誘目度の値が小さいうちは負荷が大きいままで変化がないが，ある一定の値以上になると顕著に負荷が小さくなることがわかった。このことから，(1) 目標刺激自身の誘目度が大きいほど効率が高く，かつ認知負荷は低い，(2) 目標刺激の特徴誘目度を大きくすることで効率に改善が見られても認知負荷が高いままの場合がある，ことが明らかとなった。以上の知見を GUI の設計・評価に応用することで，効率を向上させるとともに，認知負荷を低減させることでヒューマンエラーを抑制する GUI を開発可能である。

今後の課題としては，ユーザの認知負荷を適切に反映する妨害刺激色の決定方法が挙げられる。また，今回設定した 27 条件をさらに細分化（特に，M-L 間）し，認知負荷の変化を精緻に表せるように実験を進める予定である。さらに，刺激の大きさ（面積）や配置など，色以外の負荷要因やそれらの組み合わせによる認知負荷の変化についても検証していく予定である。

## 参考文献

- [1] 宮川道夫, 小山望, 前田義信: インタフェース・コンソールの使い易さとボタン数の関係について, 電気学会論文誌 C, Vol.129, No.10, pp.1853-1858(2009).
- [2] 西本卓也, 高山元希, 櫻井晴章, 荒木雅弘: 音声インタフェースのための対話負荷測定法, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.87-D2, No.2, pp.513-520(2004).
- [3] 岡城純孝, 横溝あずさ, 池上輝哉, 岡田英彦, 福住伸一: 視覚探索における妨害刺激が認知負荷に与える影響について, 第 71 回ヒューマンインタフェース学会研究会, Vol.13, No.1, pp.33-40(2011).
- [4] 岡城純孝, 横溝あずさ, 池上輝哉, 福住伸一: ユーザビリティ指標化の研究(1) 一認知負荷定量化の提案一, FIT2011 第 10 回情報科学技術フォーラム, 講演論文集第 3 分冊, pp.527-528(2011).
- [5] Itti, L., Koch, C. and Niebur, E.: A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis, Patten Analysis and Machine Intelligence, Trans. IEEE, Vol.20, Issue.11, pp.1254-1259(1998).
- [6] 菊田裕次, 井上創造, 岩井原瑞穂: 重要度と誘目性を考慮した大量情報の提示手法及び表示達成度を用いた評価について, 電子情報通信学会技術研究報告 DE データ工学, Vol.100, No.31, pp.41-48(2000).
- [7] 安伸樹, 堀口由貴男, 中西弘明, 榎木哲夫: GUI 構成要素の誘目度評価と視覚的注意の相関関係, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010, pp.151-156(2010).
- [8] 田中昭二, 井口征士, 岩館祐一, 中津良平: 画像領域の物理的特徴に基づく誘目度評価モデル, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-A, No.5, pp.576-588(2000).
- [9] ISO 10075:1991 Ergonomic principles related to mental work-load - Part 1:General terms and definitions.
- [10] 竹内義則, 大西昇, 杉江昇: 情報理論に基づいたアクティブビジョンシステム, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D-II, No.2, pp.323-330(1998).
- [11] 日本色彩学会, 色彩科学ハンドブック, 東京大学出版会(1994).
- [12] 田中昭二, 井上正之, 井上誠喜, 中津良平: 誘目性に寄与する物理的特徴を基にした画像注目領域の抽出, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.6, pp.881-890(1998).
- [13] ロービジョンケアの現状と今後, 第 104 回日本眼科学会シンポジウム(2000).
- [14] 大山正, 今井省吾, 和気典二: 新編 感覚・知覚 心理学ハンドブック, 誠信書房(1996).
- [15] W3C: Web Content Accessibility Guidelines 1.0(1999).
- [16] 芳賀繁: NASA タスクロードインデックス日本語版の作成と試行, 鉄道総研報告, Vol.8, No.1, pp.15-20(1994).
- [17] 芳賀繁: メンタルワークロードの理論と測定, 日本出版サービス(2001).
- [18] 三宅晋司: メンタルワークロードの主観的評価法 - NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案 -, 人間工学会誌, Vol.29, No.6, pp.399-408(1993).
- [19] 下條晃裕, 萩原亭, 高木秀貴, Tokunaga R.: ドライビングシミュレーションによる携帯電話設置位置の違いによる運転者挙動への影響に関する研究, 第 17 回交通工学研究発表会論文報告, pp.121-124(1997).