

画面の配色バランスの作業効率・エラー率への影響の検証

横溝あずさ[†] 池上輝哉[†] 福住伸一[†]

高効率かつエラーの少ないユーザ操作を支援する画面設計のために、色がどの程度視覚的注意を引くかを数値化した誘目度の利用可能性を検証した。画面全体の配色バランスから画面上の各情報の誘目度を算出し、画面上のターゲットを探索する際の効率とエラー率への影響を実験により確認した。結果、誘目度の高い色は誘目度の低い色に比べて効率よく探索できるが、エラー率に差はないことが分かった。また、誘目度の高い色を探す場合であっても、他の色との誘目度の差がほとんど無い場合、効率が低下することが分かった。

A Study on Effect of Coloration Balance on Operation Efficiency and Accuracy

AZUSA YOKOMIZO[†] TERUYA IKEGAMI[†] SHIN'ICHI FUKUZUMI[†]

This research aims to study screen design, especially coloration which helps users operate both efficiently and accurately. We focused on visual attractiveness of color. Visual attractiveness is a metric of human's visual attention. We carried out a visual search experiment to verify the effect of visual attractiveness on operation efficiency and accuracy. The result showed that items which are colored with high visual attractiveness color could be found efficiently, but the effect of visual attractiveness was not significant on operation accuracy. The result also showed that if the visual attractiveness of items on the screen are uniformly high, users cannot find the target item efficiently.

1. はじめに

ユーザビリティ（使いやすさ）を評価する観点として、効率性、低エラー、学習容易性、記憶容易性、主観的満足度が挙げられるが[1]、業務システムでは効率性の低下やエラーの発生が時として甚大な損害を招く恐れがある[2]。特に運用管理や航空管制、医療など、状況に応じて迅速な判断を下す必要があり、かつ一つのエラーが大きな損害につながる可能性のある業務においては、高効率と低エラーを両立するような設計が求められる。そこで、高効率と低エラーの両立を実現するシステム設計に向け、今回は画面設計の主要な要素である配色による効率・低エラーへの影響を調べた。

システムのユーザビリティやアクセシビリティを向上させるために有用な配色に関する知見は多数存在し、活用されている。例えば、文字色と背景色とのコントラスト[3]を一定値以上とすることで、テキストの視認性を確保することができる。また、赤は「警告」、黄は「注意」、緑は「安全」といった色の持つイメージ[4]に合った配色にすることで、画面上の情報の意味を直感的に把握可能とすることができる。このように、これらの配色に関する知見を用いることで、テキストやアイコン、ボタンなど、画面上の情報それぞれの配色が妥当か否かを評価し、より良い配色とすることができる。しかし、個々の情報の配色に問題がない場合でも、画面全体での配色バランスを見た場合に業務要件に適さない配色となる恐れがある。例えば、個々の情報

は十分な視認性を有しているが、画面全体を見た場合に重要な情報が目立たないような配色になっていて、結果的にユーザが目的の情報を探し出すのに時間がかかってしまう、あるいはシステムからの重要な通知を見落としてしまうなど、効率低下やエラー発生につながる場合があるといえる。重要度の高い情報が比較的目立つように配色を決定すること自体は一般的だが、全体のバランスを考慮した配色とすることや、適切な配色バランスになっているか評価することは、専門知識を持ったデザイナーでなければ難しい。特に、前述の運用管理や航空管制、医療といった、一つの画面でユーザが参照すべき情報や行う操作の種類が多い場合にはより困難になる。そのため、個々の情報の配色を評価するだけでなく、画面全体で重要度の高い情報が目立つような配色バランスになっているか、評価できるようにすることが必要であると考えた。

そこで筆者らは、画面全体の配色バランスを踏まえて評価する方法として、対象物がどの程度視覚的注意を引くかを表す誘目性[5]のうち、色に起因する誘目性の高さを数値化した「誘目度」に着目した。田中ら[6]は、誘目度を色単体としての目立ちやすさと、画面上の他の色と比較した場合の目立ちやすさを考え合わせた値として算出する方法を提案している。この算出方法を用いることで、画面上の各色の視覚的注意の引きやすさを誘目度の大きさとして求めることができる。しかし、誘目度の大きさがユーザの作業にどのように影響するのかについては明確になっていない。もしユーザが誘目度の高い色を他の色と比べて効率よく、間違えずに探すことができるようであれば、重要度の高い情報に誘目度の高い色を施すことで、作業を効率よく、間

[†] NEC 情報・ナレッジ研究所
Knowledge Discovery Research Laboratories, NEC Corporation

違えずに実施できると考えられる。この仮説を確かめるために、画面上にある情報のうち探索のターゲットとする情報やターゲット以外の情報の誘目度の大きさの、探索作業の効率・エラー率への影響を検証する実験を実施した。

2. 誘目度の算出方法

誘目度とは対象物がどの程度視覚的注意を引くかを数値化した指標であり、中でも色に起因する誘目度を、特徴誘目度と異質性誘目度の合計値として算出する方法が提案されている[6]。

特徴誘目度(FA: Feature-Attractiveness)とは色単体としての視覚的注意の引きやすさであり、主に対象色の色相・明度・彩度を用いて計算される。なお、色相とは赤系統、青系統といった色味を図1に示す色相環上の角度で表した値である。明度とは色の明るさである。彩度とは色の鮮やかさである。

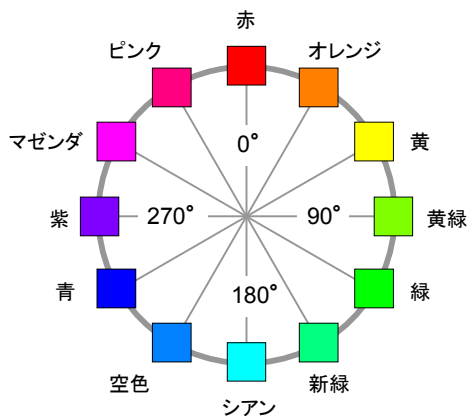


図1 色相環
 Figure 1 Hue circle

異質性誘目度(HA: Heterogeneity-Attractiveness)とは同画面上で使用されている他の色と比較したときの視覚的注意の引きやすさであり、対象色や背景色を含めた画面上の全ての情報の、色と面積から計算される。

本稿ではこの考え方にならない、色に起因する誘目度の算出を行った。なお、算出式は概ね既存研究[6]にて使用されているものを用いたが、2点変更を加えた。

まず、特徴誘目度のうち明度に起因する誘目度については、Semmelrothの式における指標輝度[7]の代わりに、背景色と対象色とのコントラストを考慮し、W3Cが提案している背景との明度差[3]を用いた。ただし、明度差の最大値と最小値がSemmelrothの式における指標輝度の取りうる値(-0.65以上1.65以下)と同じになるよう、線形変換を施した。対象色のRGB値を(R, G, B)、背景色のRGB値を(R_B, G_B, B_B)とした場合の明度に起因する誘目度の算出式を式(1)に示す。

$$\begin{aligned}
 & \text{明度に起因する誘目度: } |L' - L_B'| \cdot (2.3 / 255) - 0.65 \quad (1) \\
 & |L' - L_B'|: \text{対象色と背景色の明度差}(0 \leq |L' - L_B'| \leq 255) \\
 & L': (R \cdot 299 + G \cdot 587 + B \cdot 114) / 1000 \\
 & L_B': (R_B \cdot 299 + G_B \cdot 587 + B_B \cdot 114) / 1000
 \end{aligned}$$

式(1)で計算される明度に起因する誘目度に、色相・彩度に起因する誘目度をそれぞれ加えることで、特徴誘目度を算出した。特徴誘目度の算出式を式(2)に示す。

$$\begin{aligned}
 & \text{特徴誘目度 (FA): 色相・明度・彩度から算出} \\
 & FA = |1 - H/\pi| + \{|L' - L_B'| \cdot (2.3 / 255) - 0.65\} + S \quad (2) \\
 & H: \text{HLS 表色系での色相}(0 \leq H \leq 2\pi) \\
 & S: \text{HLS 表色系での彩度}(0 \leq S \leq 1)
 \end{aligned}$$

次に異質性誘目度の算出について、物体色の表現に適しているとされるCIE L*a*b*表色系の代わりに、ディスプレイに表示する色の表現に適しているとされるCIE L*u*v*表色系[8]を用いた。異質性誘目度の算出式を式(3)に示す。

$$\begin{aligned}
 & \text{異質性誘目度 (HA): 全ての情報の色と面積から算出} \\
 & HA = |(d - d_m) / \text{std}| \quad (3) \\
 & d: \text{CIE L}^*u^*v^*\text{表色系での情報 } i \text{ の色と平均色の色差} \\
 & d = (\Delta L_i^2 + \Delta U_i^2 + \Delta V_i^2)^{0.5} \\
 & \Delta L_i = L_i - L_m, \Delta U_i = U_i - U_m, \Delta V_i = V_i - V_m \\
 & (L_i, U_i, V_i): \text{CIE L}^*u^*v^*\text{表色系での情報 } i \text{ の色} \\
 & (L_m, u_m, v_m): \text{CIE L}^*u^*v^*\text{表色系での平均色の色} \\
 & L_m = \Sigma(L_i n_i) / \Sigma n_i, U_m = \Sigma(U_i n_i) / \Sigma n_i, V_m = \Sigma(V_i n_i) / \Sigma n_i \\
 & n_i: \text{情報 } i \text{ の面積} \\
 & d_m: d \text{ の平均値} \\
 & \text{std}: d \text{ の標準偏差}
 \end{aligned}$$

色に起因する誘目度は、特徴誘目度と異質性誘目度を足し合わせることで算出した。色に起因する誘目度の算出式を式(4)に示す。以後、色に起因する誘目度を単に誘目度(A: Attractiveness)と呼ぶ。

$$\text{誘目度 (A): } A = FA + HA \quad (4)$$

3. 仮説と実験設計

3.1 配色バランスの効率・低エラーへの影響に関する仮説

画面の配色バランスと効率・低エラーとの関係について、2つの仮説を立てた。

- 仮説1:
 誘目度の高い色は、誘目度の低い色に比べて速く見つけることができ、見落としも生じにくい
- 仮説2:
 最も誘目度の高い色と2番目以降に誘目度の高い色の間に大きな誘目度の差がある場合、両者の間にほとんど誘目度の差がない場合に比べ、最も誘目度の高い色を速く見つけることができ、見落としも生じにくい

3.2 実験設計

3.1 節で示した仮説を検証することを目的として、視覚探索実験を設計、実施した。

(1) 共通的な実験設計

実験では、異なる色が施された3種の矩形を並べた画面が被験者に提示される。これらの矩形のアイテムは、GUI画面上に表示されるボタンやアイコンなどの部品を模している。被験者はその中からターゲット色がつけられたアイテムの数を数えて回答する。実験者は、各タスクを開始してから完了するまでにかかる時間と、ターゲット色が施されたアイテム数についての被験者の回答内容を記録する。なお、正答は25~29個の間に設定した。

1つのタスクは図2に示す2種類の画面から構成される。まず色提示画面が表示される。色提示画面では、次に表示されるタスク画面で使用される3種の色と、その中でどれがターゲット色にあたるかが示されている。タスク画面では、81個のアイテムが横9個×縦9個で並べられている。アイテムは色提示画面にて表示された3種の色で塗り分けられている。なおこの3種の色は、各色の誘目度のバランスが図3に示すタイプA~Cのいずれかになるように決定している。理由は、ターゲット色とその他の色の誘目度バランスが、どのように探索作業の効率とエラー率に影響するかを調べるためである。タイプAでは全ての色の誘目度が同程度に高い。タイプBでは2色の誘目度が同程度に高く、残り1色の誘目度は低い。タイプCでは1色のみが突出して誘目度が高く、他の2色の誘目度は低い。

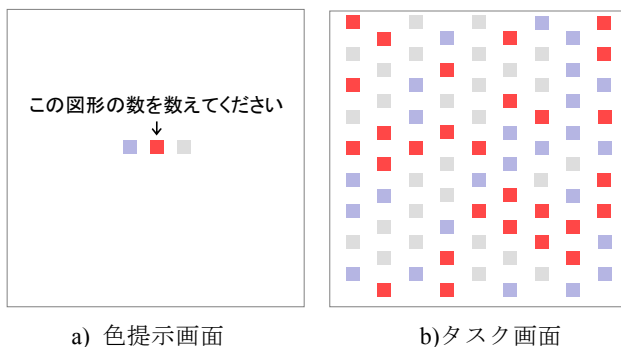


図2 1タスクを構成する画面の例

Figure 2 Examples of screens used in one task

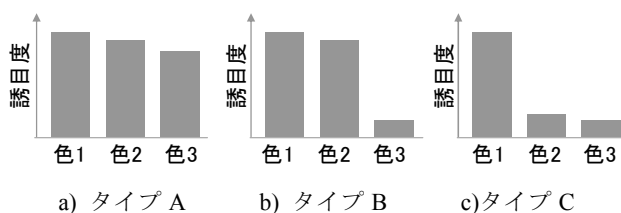


図3 3種の誘目度バランス

Figure 3 Three types of balance of visual attractiveness

被験者には、タスク画面中のターゲット色が施されたアイテム数を、なるべく速くかつ正確に数えて回答するように教示を行った。

実験では、被験者から150cm離して設置した横1104mm×縦621mmのプラズマディスプレイを用いた。本ディスプレイ上にタスク画面を表示した際のアイテムのサイズは、およそ横34mm×縦26mmであった。被験者は6名で、年齢は26~38歳であり、いずれも色覚特性を持っていなかった。

なお、用いる色やタスク難易度を適切に設定するために被験者一人にプレ実験を行い、タスク画面の色の設定アイテム数アイテム配置等の調整を行った。

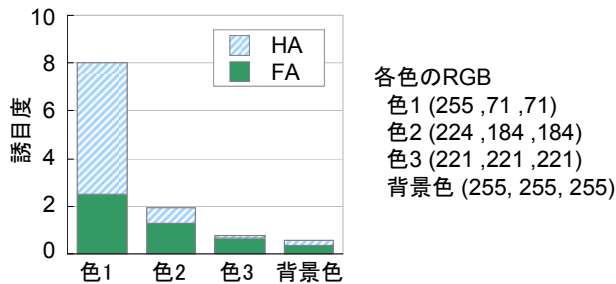
(2) 仮説1を検証するための実験設計

仮説1の検証のために、タスク画面内の誘目度のバランスが図3のタイプCになるように使用色を調整した。そして、色1を色2より効率よくかつ間違えずに探すことができれば、仮説1が支持されると考えた。

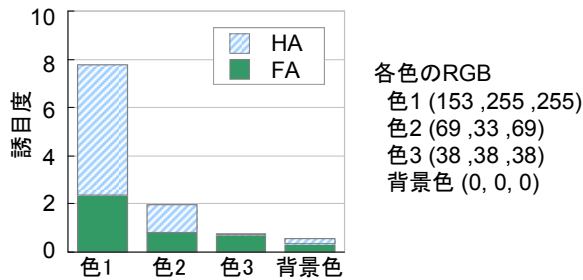
タスク画面の使用色のバリエーションを作るために、まず画面内で最も誘目度の高い色を、赤(色相0度)・青(色相240度)・マゼンダ(色相300度)・シアン(色相180度)の4種類設けた。最も誘目度の高い色が赤か青の場合は背景色を白(RGB: 255, 255, 255)、マゼンダかシアンの場合は背景色を黒(RGB: 0, 0, 0)とした。これに加えて、タスク画面内の色相のばらつきの影響を見るために、2番目に誘目度の高い色を、最も誘目度の高い色と同じ色相の場合と、120度離れた色相の場合とで2種類設けた。なお、2つ目の条件である色相差が120度の色の組み合わせとは、赤と青、シアンとマゼンダである。前者は白背景でよく使用され、後者は黒背景でよく使用されることから、同画面上に表示されることが多いと考え、この色相差とした。画面内で最も誘目度の低い色は灰色とした。

このように、最も誘目度の高い色が4種類、2番目に誘目度の高い色が2種類あるため、タスク画面の使用色は8種類のバリエーションを持つ。なお、具体的な使用色は、画面内の誘目度バランスが図3のタイプCになるように、各色の明度と彩度を調整することで決定した。例として、2種類のタスク画面における各色の誘目度を図4に示す。他の6種類の画面もほぼ同程度になるよう調整を行った。

被験者が探索するターゲットの色は、画面内で最も誘目度の高い色か、2番目に誘目度の高い色のいずれかとした。被験者1人あたりが行うタスク数は合計80とし、各条件で均等な回数だけ実験を行った。すなわち、タスク画面の使用色のバリエーション1つあたりタスク数は10とし、そのうちターゲットが最も誘目度の高い色の場合が5、ターゲットが2番目に誘目度の高い色の場合を5とした。



a) 誘目度が最も高い色：赤
 誘目度が最も高い色と2番目に高い色の色相差：0度



b) 誘目度が最も高い色：シアン
 誘目度が最も高い色と2番目に高い色の色相差：120度

図 4 タスク画面中の各色の誘目度の例 (仮説 1)

Figure 4 Examples of visual attractiveness (hypothesis 1)

(3) 仮説 2 を検証するための実験設計

仮説 2 の検証のために、タスク画面内の誘目度のバランスが図 3 のタイプ A~C のいずれかになるように使用色を調整した。どのタスク画面においても被験者の視覚的注意は色 1 に最も強く引かれると考えられるが、タイプ A では色 2 と色 3 が、タイプ B では色 2 が、色 1 と同程度に誘目度が高く、色 1 と同様に被験者の注意を引くと考えられる。そのため、色 1 を最も効率よく、間違えずに探索できるのはタイプ C で、次いでタイプ B であり、最も効率が悪くエラーも多いのはタイプ A ではないかと考えた。

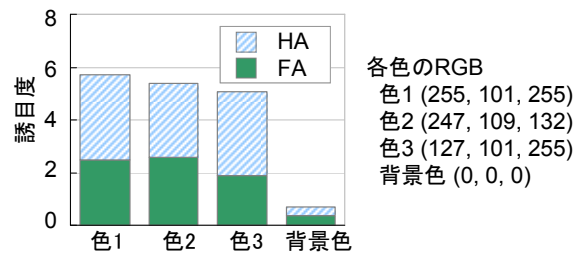
タスク画面の使用色のバリエーションを決定するために、画面内で最も誘目度の高い色 4 種及び背景色との組み合わせを仮説 1 と同様に設定した。次に、タスク画面内の色相のばらつきの影響を見るために、2 番目に誘目度の高い色を、最も誘目度の高い色から 50 度離れた色相の場合と、120 度離れている色相の場合とで、2 種類設けた。1 つめの条件である色相差 50 度は、色の判別の難しさが外乱となることを防ぐために、プレ実験時に判別が難しかったタスクの色を調整し、判別するに十分と考えられる色相差として決定した。2 つめの条件を色相差 120 度とした理由は仮説 1 と同様である。画面内で最も誘目度の低い色は、最も誘目度の高い色から、2 番目に誘目度の高い色とは逆方向に、同じだけ色相が離れた色とした。更に、画面内の使用色の誘目度のバランスをタイプ A~C の 3 種類設けた。

このように、最も誘目度の高い色が 4 種類、2 番目に誘目度の高い色が 2 種類、誘目度のバランスが 3 種類あるた

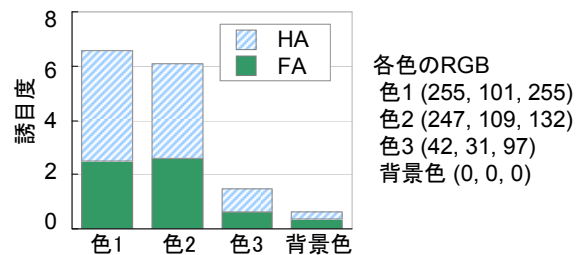
め、タスク画面の使用色は 24 種類のバリエーションを持つ。なお、具体的な使用色は、画面内の誘目度バランスが図 3 のタイプ A~C のいずれかになるように、各色の明度と彩度を調整することで決定した。例として、3 種類のタスク画面における各色の誘目度を図 5 に示す。

被験者が探索するターゲットの色は、全てのタスクにおいて画面内で最も誘目度の高い色とした。

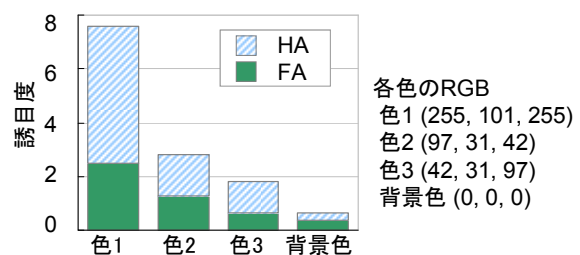
被験者 1 人あたりが行うタスク数は合計 120 とし、各条件で均等な回数だけ実験を行った。すなわち、タスク画面の使用色のバリエーション 1 つあたりのタスク数は 5 とし、その全てにおいてターゲットは最も誘目度の高い色とした。



a) 誘目度が最も高い色：マゼンダ
 誘目度が最も高い色と2番目に高い色の色相差：50度
 誘目度のバランス：タイプA



b) 誘目度が最も高い色：マゼンダ
 誘目度が最も高い色と2番目に高い色の色相差：50度
 誘目度のバランス：タイプB



c) 誘目度が最も高い色：マゼンダ
 誘目度が最も高い色と2番目に高い色の色相差：50度
 誘目度のバランス：タイプC

図 5 タスク画面中の各色の誘目度の例 (仮説 2)

Figure 5 Examples of visual attractiveness (hypothesis 2)

4. 実験結果

表 1 に分析対象タスクの内訳を示す。仮説 1 の検証を目的としたタスクは合計 480、仮説 2 の検証を目的としたタスクは合計 720 である。被験者が回答したターゲットの個数が正答と異なっていたタスクをエラー発生タスクとする

と、エラー発生タスクは仮説 1 を検証するタスクでは 26、仮説 2 を検証するタスクでは 45 あった。この結果をもとに、効率と低エラーの分析を行った。

表 1 分析対象タスクの内訳

Table 1 Number of tasks used in the following analysis

	エラーが発生したタスク	エラーが発生しなかったタスク	合計
仮説 1 の検証	26 (5.4%)	454 (94.6%)	480
仮説 2 の検証	45 (6.3%)	675 (93.8%)	720

効率の分析には、各タスクの開始から終了までの時間であるタスク完了時間をタスク画面内のターゲットの個数で割った値を、1 アイテムあたりにかかる時間として用いた。低エラーの分析には、エラーが発生したタスク数を同条件下の総タスク数で割った値を、エラー率として用いた。なお、効率の分析は被験者が正しい回答を行ったタスクのみを対象として行った。

4.1 実験結果 (仮説 1)

(1) 効率

1 アイテムあたりにかかる時間の平均と標準偏差を、ターゲットの誘目度の大小別に算出した結果を図 6 に示す。

最も誘目度の高い色が 2 番目に誘目度の高い色により効率よく探せていることが分かる。効率に有意差があるか調べるために Kruskal-Wallis 検定を適用したところ、誘目度の高さの間に 1%水準で有意差があった($\chi^2(1, N = 454) = 28.8, p = 7.97 \times 10^{-8} < 0.01$)。

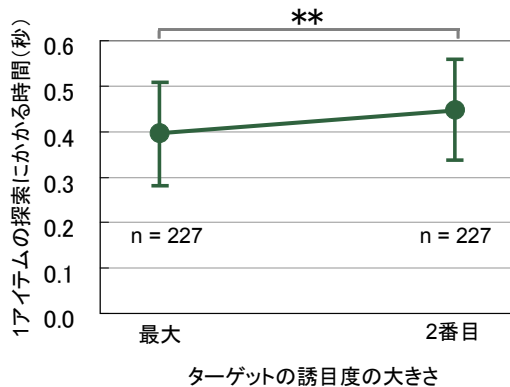


図 6 誘目度の大きさと効率の関係

Figure 6 Relationship between visual attractiveness and operation efficiency

次に、最も誘目度の高い色と 2 番目に誘目度の高い色との色相差によって効率が変わるのを見るために、1 アイテムあたりにかかる時間の平均と標準偏差を、ターゲットの誘目度の大小別に、タスク画面中の色相の組み合わせごとに算出した結果を図 7 に示す。なお、「同じ色相」とは最も誘目度の高い色と 2 番目に誘目度の高い色の色相が同じ

であるタスクを指し、「異なる色相」とは最も誘目度の高い色と 2 番目に誘目度の高い色の色相が 120 度離れているタスクを指す。

結果を見ると、色相の組み合わせ方に関係なく 2 番目に誘目度の高い色より最も誘目度が高い色の方が速く探せていることがわかる。また、その傾向は同じ色相を組み合わせた画面の方がやや強く現れているといえる。効率に有意差があるか調べるために Kruskal-Wallis 検定を適用したところ、いずれもターゲットの誘目度の高さの間に 1%水準で有意差があった。検定結果の詳細を下記に示す。

・ 同じ色相を組み合わせた画面

$$(\chi^2(1, N = 225) = 25.3, p = 4.84 \times 10^{-7} < 0.01)$$

・ 異なる色相を組み合わせた画面

$$(\chi^2(1, N = 229) = 7.26, p = 0.00704 < 0.01)$$

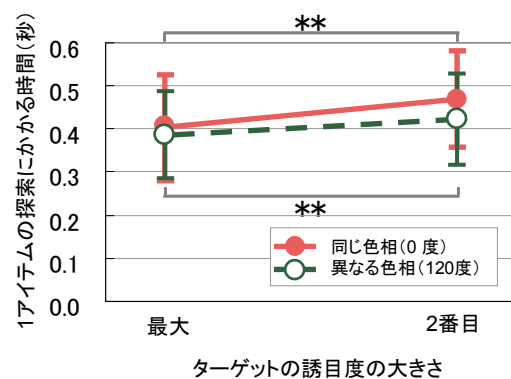


図 7 誘目度の大きさと効率の関係 (色相差別)

Figure 7 Relationship between visual attractiveness and operation efficiency on each hue combination

(2) 低エラー

エラー発生タスクの数は、ターゲットが最も誘目度の高い色だった場合は 240 中 13、ターゲットが 2 番目に誘目度の高い色だった場合は 240 中 13 だった。そのため、エラー率はいずれの場合も 0.054 であり、ターゲットの誘目度の大小によってエラー率が変化することはなかった。

4.2 実験結果 (仮説 2)

(1) 効率

仮説 1 と同様に 1 アイテムあたりにかかる時間を効率の指標とし、その平均と標準偏差をタスク画面中の誘目度のバランスのタイプ別に算出した結果を図 8 に示す。

誘目度のバランスがタイプ A の時に最も時間がかかっており、タイプ C の時が最も効率が良い。効率に有意差があるか調べるために Kruskal-Wallis 検定を適用したところ、誘目度のバランスのタイプ間に 1%水準で有意差があった($\chi^2(2, N = 675) = 42.6, p = 5.70 \times 10^{-10} < 0.01$)。更にどのタイプ間に有意差があるかを調べるために Steel-Dwass の多重検定を適用したところ、いずれのタイプ間においても 1%水準で有意差があった。検定結果の詳細を下記に示す。

- ・タイプ A と B ($t = 3.42, p = 0.00178 < 0.01$)
- ・タイプ A と C ($t = 6.29, p = 9.80 \times 10^{-10} < 0.01$)
- ・タイプ B と C ($t = 3.56, p = 0.00108 < 0.01$)

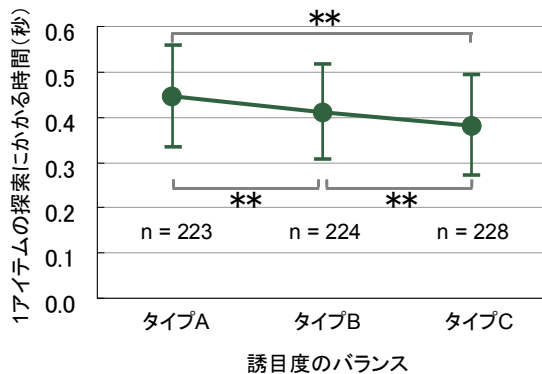


図 8 誘目度のバランスと効率の関係

Figure 8 Relationship between balance of visual attractiveness and operation efficiency

次に、最も誘目度の高い色と 2 番目に誘目度の高い色との色相差によって効率が変わるのを見るために、1 アイテムあたりにかかる時間の平均と標準偏差を、誘目度のバランスのタイプ別に、タスク画面中の色相の組み合わせごとに算出した結果を図 9 に示す。なお、「近い色相」とは最も誘目度の高い色と 2 番目及び 3 番目に誘目度の高い色の色相が 50 度離れているタスク画面を指し、「離れた色相」とは最も誘目度の高い色と 2 番目及び 3 番目に誘目度の高い色の色相が 120 度離れているタスク画面を指す。

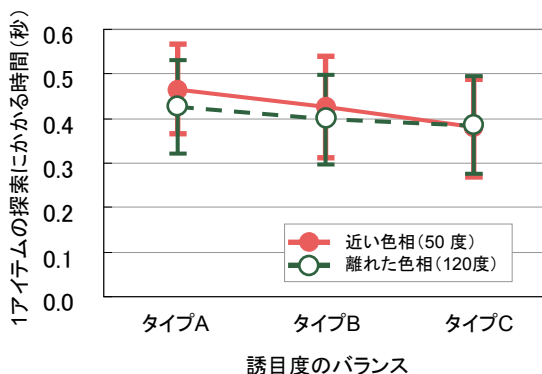


図 9 誘目度のバランスと効率の関係 (色相差別)

Figure 9 Relationship between balance of visual attractiveness and operation efficiency on each hue combination

結果を見ると、いずれの色相の組み合わせにおいても、誘目度のバランスがタイプ A の時に最も時間がかかっており、タイプ C の時が最も効率が良い。また、その傾向は近い色相を組み合わせた画面の方がやや強く現れているといえる。効率に有意差があるか調べるために Kruskal-Wallis 検定を適用したところ、いずれの色相の組み合わせにおいても、誘目度のバランスのタイプ間に 1%水準で有意差が

あった。検定結果の詳細は下記のとおりである。

- ・近い色相を組み合わせた画面
 $(\chi^2(2, N = 340) = 35.5, p = 2.00 \times 10^{-8} < 0.01)$
- ・離れた色相を組み合わせた画面
 $(\chi^2(2, N = 335) = 11.5, p = 0.00319 < 0.01)$

更にどのタイプ間に有意差があるかを調べるために Steel-Dwass の多重検定を適用したところ、近い色相を組み合わせた画面ではいずれのタイプ間においても 1%水準で有意差があったが、離れた色相を組み合わせた画面では 1%水準で有意差があったのはタイプ A と C の間だけだった。検定結果の詳細を下記に示す。

- ・近い色相を組み合わせた画面
 - タイプ A と B ($t = 2.98, p = 0.00803 < 0.01$)
 - タイプ A と C ($t = 5.66, p = 4.55 \times 10^{-8} < 0.01$)
 - タイプ B と C ($t = 3.52, p = 0.00124 < 0.01$)
- ・離れた色相を組み合わせた画面
 - タイプ A と B ($t = 2.13, p = 0.0843 < 0.1$)
 - タイプ A と C ($t = 3.24, p = 0.00340 < 0.01$)
 - タイプ B と C ($t = 1.47, p = 0.305, n.s.$)

(2) 低エラー

エラー発生タスクの割合であるエラー率を誘目度のバランスのタイプ別に算出した結果を図 10 に示す。

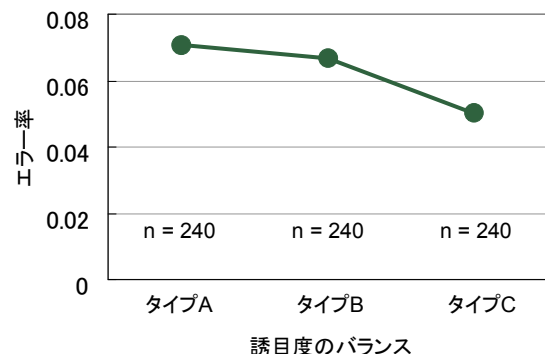


図 10 誘目度のバランスとエラー率の関係

Figure 10 Relationship between balance of visual attractiveness and operation accuracy

エラー率は、誘目度のバランスがタイプ A に比べてタイプ B の時に低く、またタイプ B に比べてタイプ C の時に低くなっている。エラー率に有意差があるか調べるために比率の差の検定を適用したところ、誘目度のバランスのタイプ間に有意差は見られなかった。 $(\chi^2(2, N = 720) = 0.9956, p = 0.608, n.s.)$

次に、最も誘目度の高い色と 2 番目及び 3 番目に誘目度の高い色との色相差によってエラー率が変化するのを見るために、エラー率を誘目度のバランスのタイプ別に、タスク画面中の色相の組み合わせごとに算出した結果を図 11

に示す。

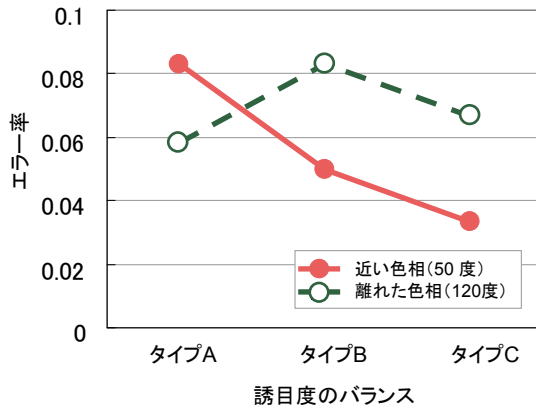


図 11 誘目度のバランスとエラー率の関係 (色相差別)

Figure 11 Relationship between balance of visual attractiveness and operation accuracy on each hue combination

なお、「近い色相」とは最も誘目度の高い色と 2 番目及び 3 番目に誘目度の高い色の色相が 50 度離れているタスク画面を指し、「離れた色相」とは最も誘目度の高い色と 2 番目及び 3 番目に誘目度の高い色の色相が 120 度離れている場合を指す。

結果を見ると、色相差によってエラー率の傾向が大きく異なっている。近い色相を組み合わせた画面においては、全体の傾向と同じように、誘目度のバランスがタイプ A に比べてタイプ B のエラー率が低く、またタイプ B に比べてタイプ C のエラー率が低くなっている。しかし、離れた色相を組み合わせた画面においては、誘目度のバランスとエラー率との明確な関係は見出せなかった。

エラー率に有意差があるか調べるために比率の差の検定を適用したところ、いずれの色相の組み合わせにおいても有意差が見られなかった。検定結果の詳細は下記のとおりである。

- ・近い色相を組み合わせた画面
 $(\chi^2(2, N = 360) = 2.96, p = 0.227, n.s.)$
- ・離れた色相を組み合わせた画面
 $(\chi^2(2, N = 360) = 0.602, p = 0.740, n.s.)$

このように、いずれの色相の組み合わせにおいても誘目度のバランスはエラー率に有意に影響しないが、近い色相を組み合わせた画面においては、ターゲットである最も誘目度の高い色と他の色との誘目度の差が大きい場合の方が、エラー率が低くなる傾向は見られた。

5. 考察と今後の課題

5.1 考察

(1) 誘目度の大きさと効率・エラー率の関係 (仮説 1)

4.1 節で示したように、画面内で最も誘目度の高い色は、2 番目に誘目度の高い色に比べて有意に効率よく探索でき

ることが分かった。しかしエラー率については、ターゲットの誘目度が最も高い場合と 2 番目に高い場合とで差がなかった。よって、仮説 1 は効率に関しては支持されたが、エラー率については支持されなかった。このように、誘目度の高いアイテムは低いアイテムに比べて効率よく探すことができ、かつエラーの増大はない、とすることができる。よって、重要度の高いアイテムの誘目度が高くなるように画面の色を設計することは、エラー率を増大させることなく効率を高める方法として有効であることが分かった。

なお、エラー率に関する仮説が支持されなかった原因の一つとして、エラー発生タスクの絶対数が少なかったことが考えられる。タスクをより難しいものにする、実施するタスク数を増やすなど、エラー発生タスク数を増やす工夫を行うことで、何らかの傾向が見られる可能性はあると考えられる。

(2) 誘目度のバランスと効率・エラー率の関係 (仮説 2)

4.2 節で示したように、最も誘目度の高い色を探す場合、画面内の誘目度のバランスがタイプ C の時に最も効率が高く、タイプ A の時に最も効率が低かった。つまり、最も誘目度の高いアイテムとその他のアイテムとの間に大きな誘目度の差がある場合の方が、差が小さい場合に比べて有意に効率が高いことが示されたため、仮説 2 は効率に関しては支持された。エラー率については、誘目度のバランスがタイプ A の時に最も高く、タイプ C のときに最も低かったため、最も誘目度の高いアイテムとその他のアイテムとの間に大きな誘目度の差がある場合の方が、差が小さい場合に比べてエラー率が低い傾向が見られた。ただし有意な傾向ではなかったため、仮説 2 はエラー率に関しては支持されなかった。このように、最も誘目度の高いアイテムとその他のアイテムとの間に大きな誘目度の差を作ると、最も誘目度の高いアイテムの探索効率が上がり、かつエラーを増大させることもない、とすることができる。ゆえに、重要度の高いアイテムの誘目度を高くするだけでなく、他の色との誘目度の差を大きくし突出して誘目度が高くなるように画面の色を設計することで、エラー率を増大させることなく効率を高めることができると言える。

なお、エラー率に関する仮説が支持されなかった原因の一つとして、仮説 1 と同様にエラー発生タスクの絶対数が少なかったことが考えられる。エラーをより多く観測できるように実験設計を工夫することで、今回見られた傾向がより有意なものとして表れる可能性はあると考えられる。

(3) 画面内の色相の組み合わせが効率に与える影響

画面を構成する色の色相が同じか近い場合と、色相が離れている場合とで比較すると、色相が同じか近い色の場合の方が、色相が離れている場合に比べ、誘目度の効率への影響が顕著に出る傾向があった。また、エラー率について

は、仮説2を検証するタスクにおいて、色相が近い色を組み合わせた画面の場合のみ仮説どおりの傾向が見られた。このように、ターゲットの色とそれ以外の色との色相の近さが、探索作業の効率やエラー率に影響を与えていることが分かった。同じ色相、または近い色相を組み合わせた画面では、2番目に誘目度の高い色が最も誘目度の高い色の探索を阻害しており、その度合いが離れた色相の組み合わせの場合より大きいことから、このような傾向が表れたと推測できる。すなわち、色の探索課題では人は色相を大きな手がかりとして探索を行っている可能性があると考えられる。

実際の画面上には最重要ではない情報も表示され、必要に応じてユーザはそれらを探索し使用することとなる。そのため、重要度としては2番手以降に位置する情報であっても、探索の効率が落ちることが望ましくない状況もありうる。そのような場合には、色相を最も重要な情報から離して設定することで探索効率が落ちすぎないように調整するなど、色相の組み合わせの影響も踏まえた色設計が有効と考えられる。

また、今回用いた誘目度の算出式では、色相に起因する目立ちやすさは誘目度算出のための一要素としてすでに使われているが、効率やエラー率を評価する指標としての誘目度の精度を上げるためには、異質性誘目度の算出式における色相に起因する誘目度の重みを増すなど、誘目度算出式の変更を考慮に入れる必要があると考えられる。

5.2 今後の課題

(1) 誘目度算出式の修正

画面の配色バランスを用いた効率・低エラーの評価に活用するために、誘目度の算出式自体も必要に応じて見直すべきであると考えられる。考察で述べたように、異質性誘目度について、色相に起因する誘目度の重みが小さすぎる可能性がある。このように、誘目度算出式の修正にあたっては色相の重みの変更が重要になってくるのではないかとされる。ただし、最適な算出式を明らかにするには今回の実験結果だけでは不十分で、色相の影響に焦点を絞った追実験が必要である。

(2) エラーの観測

考察で述べたように、今回エラー率について有意な傾向を見ることができなかった要因の一つとして、エラー発生タスクの絶対数が少ないことが挙げられる。エラーを多く観測するための実験設計を考えていくことも今後の課題であるといえる。エラーはそもそも稀な事象であり、限られた時間内で行う実験で妥当な分析を行えるだけのエラー数を観測するためには、場合によっては実環境より厳しい条件を課すなど、何らかの方策を施す必要があると考えられる。タスクの難易度設定や被験者への教示方法など、実験

設計時の留意点としたい。

(3) 異なる画面環境での検証

今回の検証実験は、実システム画面と比較すると非常に限定的な状況で行われた。例えば、画面上に使用されている色の数は3種類である。また、背景色のバリエーションは白か黒の2種類であった。実システム画面ではより多くの色が1つの画面上で表示され、背景色も様々である。そのため、実システムの配色を評価可能とするためには、今回の実験で検証した状況とは異なる状況の画面での検証も必要になってくると考えられる。例えば、多くの色が一面画内に使われている場合や、背景色が異なる場合などでの検証を今後の課題としたい。

6. まとめ

本稿では、色の誘目度と視覚探索の効率・エラー率との関係性について検証実験を行った。結果、誘目度の高いアイテムは低いアイテムに比べて効率よく探すことができ、かつ見落としなどのエラーの増大はないことが分かった。また、画面内で最も誘目度の高いアイテムを探す場合、最も誘目度の高いアイテムとそれ以外のアイテムとの誘目度の差が大きいほど、探索の効率は上がるがエラー率に影響はないことが分かった。よって、重要度の高いアイテムやそれ以外のアイテムの誘目度のバランスを考慮した配色は、エラー率を増大させることなく効率を高める画面を設計するうえで有効であることが分かった。

今後は、今回得られた知見を元にした誘目度算出式の修正や、画面上の色の種類を増やした場合の検証、今回実験できなかった色の組み合わせでの実験などを行っていきたい。

参考文献

- 1) Nielsen: Usability Engineering, Academic Press (1993).
- 2) 飯尾, 清水: 業務システムのユーザビリティに対する評価改善手法, 三菱総合研究所所報, No.50, pp.30-53 (2008).
- 3) W3C: Web Content Accessibility Guidelines 1.0 (1999).
- 4) Sibagraphics: The Meaning of Colour in Web Design, <http://www.sibagraphics.com/colour.php> (2012.4 アクセス).
- 5) Itti, Koch and Niebur: A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20 (11), pp.1254-1259 (1998).
- 6) 田中, 井口, 岩館, 中津: 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. A, 基礎・境界, J83-A(5), pp.576-588 (2000).
- 7) 大山, 今井, 和気: 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房, pp.357-358(1994).
- 8) 財団法人日本色彩研究所: 色彩ワンポイント2 色彩管理の基礎, 日本規格協会, pp.70 (1993).