

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月12日現在

機関番号：25403

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700142

研究課題名（和文）非言語的な図形の瞬間的な認知に影響を及ぼす情報提示条件に関する研究

研究課題名（英文）Presentation factors for instantaneous cognition of non-verbal smooth closed figures

研究代表者

高橋 雄三（TAKAHASHI YUZO）

広島市立大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：30326425

研究成果の概要（和文）：非言語的な図形の瞬間的な認知に影響を及ぼす情報提示条件として考慮すべき変数は、図形記憶時の注視範囲近傍に存在する特徴の数、記憶図形と再認図形のズレ率（リフレッシュ・レートに相当）である可能性が示唆された。また、ISI（情報の保持時間に相当）は2,000ms以下であればエラー率は低減する可能性も示唆された。コントラスト感度視力の観点から、図形の表現方法については、モノクロ表示の場合は、特段の条件設定は必要ない可能性も示唆された。

研究成果の概要（英文）：Variables of considering presentation factors for instantaneous cognition of non-verbal smooth closed figures is influenced by the differences between the areas of projections and/or indentations (the refresh rate) and the inter-stimulus intervals. In addition, the accuracy of the "same-different" judgment may be influenced by the number of features in the perimeter of the area being gazed. We suggest the temporal resolution should be approximately 2,000 ms (the memory holding time). Our results suggest that the error rate in the accuracy of same-different judgments under the above conditions is expected to be approximately 5 % or less. From the viewpoint of the contrast sensitivity, it is expected that the special conditions do not need to express to the non-verbal smooth closed figures.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ユーザインタフェース、認知科学、人間工学、ディスプレイ、瞬間認知

## 1. 研究開始当初の背景

我々は時々刻々と変化する状況を概略的に理解するため、言語化のプロセスを介さずに情報を認知し、判断する。そのため、インタフェースが人間に提示する情報（サイン、

シンボル、物理量の時系列変化を現す計器類など）は記憶容易性（“パツ”と見てわかる）と把持容易性（忘れにくい）の両方を兼ね備える必要がある。

言語的に記憶することが困難な図形（以下、

非言語的な図形)の認知について、その認知精度を向上させることは、様々な労働場面で有益である。例えば、原子力発電所における炉内の温度表示や気象レーダー、航空管制の画面などでは一枚のインタフェースに3種(3次元)以上の情報を同時に提示し、動的に変化する全体像を瞬時に判断することが求められる。この時、作業者が逐次的に情報を言語化していたら監視作業は成立しない。本研究では時々刻々と変化する非言語的な図形(情報)を正確に認知するために必要な条件(リフレッシュ・レートや対象の色、大きさ、形、記憶対象となる図形の誘導方法など)を検討し、非言語的な図形の瞬間的な認知に影響を及ぼす諸特性について明らかにする必要がある。

## 2. 研究の目的

コンピュータ化が進み、またシステムが複雑になったことにより、人間は複数の情報を瞬間的に理解する場面が増えてきた。したがって、視覚認知に関する人間への負荷を最適化することにより、監視作業の負担を最適化する必要がある。汎用 OS で図形を生成し、フラットパネルディスプレイ上に動的に変化する情報を提示する場面を想定した際の最適な図形認知の提示条件を提起するためには、次の諸点を明らかにする必要がある。

- (1)ユーザーの生理心理学的な諸特性が非言語的な図形の瞬間的な認知に及ぼす影響
  - (2)非言語的な情報が動的に変化した場合の環境・背景要因と認知特性との間の関係
- 上記2点を明らかにすることにより、非言語的な図形を素早く、正確に認知するための情報提示のための諸条件を提案することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では3年を通じて、上記目的を達成する研究を実施した。

### (1)平成21年度

平成21年度の研究では、研究の第1段階として、様々な非言語的な図形を提示し、反応時間や正答率などの被験者のパフォーマンスを測定するための提示・測定プログラムの開発と装置の構築をおこなった。続いて、図形の瞬間的な認知に影響を及ぼす個人特性を計測するシステムの構築(a.空間認知特性検査システム, b.空間識別能力検査システム, c.平衡機能)した。

続いて、非言語的な図形の瞬間認知に影響を及ぼす図形側の要因を分析した。分析に用いた被験者は、視力に特に異常を持たない20-22歳までの男子大学生10名(平均21.6±0.7歳)とした。視力矯正者はメガネ使用者3名、コンタクトレンズ使用者3名であった。

視覚刺激呈示はパーソナル・コンピュータ

を用いて制御し、液晶プロジェクターを用いてスクリーン(75cm×100cm)に呈示した。被験者の眼球運動はEye Mark Recorderを用い、効眼の視線方向をSampling Rate 60 Hzで測定した。被験者とスクリーンとの間の視距離を160cm、作業面高は75cmに設定した。座面高とあご台の高さは被験者ごとに任意に調整した。スクリーン上での背景輝度は230.0 cd/m<sup>2</sup>、図形の輝度は80.0 cd/m<sup>2</sup>に設定した。また、被験者の眼前照度は540 lx、刺激呈示光束を1,600 lmに設定した。

視覚刺激は、言語的に記述・記憶することが困難な複数の凹凸部を持つ無意味輪郭図形を用いた。記憶図形の凹凸数は5, 7, 9個とした。また、無意味輪郭図形の記憶特性については、図形の局所的特徴の要因と全体的特徴の要因の2つ要因が指摘されている。そこで、本研究では全体的認知の影響が示唆された図形と局所的認知の影響が示唆された図形の両方を用いて検討した。また、記憶図形と再認図形との間の関係は、(1)記憶図形と再認図形が同じ場合、(2)再認図形が記憶図形の低周波成分あるいは高周波成分を3.0%、または6.0%強調した場合、(3)記憶図形と再認図形の凹部凸部の面積のズレ率が3.7, 6.3, 9.0%の場合と定義した。図形は複数の余弦波の加算平均を極座標表現して生成した。

実験試行では、被験者に注視点を2,000 ms注視させた後、記憶図形を250 ms、マスク刺激を250 ms呈示した。続いて、250 ms, 750 ms, 3,750 msの白画面を呈示した後(したがって、ISIは500 ms, 1,000 ms, 4,000 msの3水準)、再認図形を呈示し、記憶図形と再認図形との間の異同判断をおこなわせた。また注視点の呈示から再認図形が消えるまでの被験者の眼球運動を測定した。

再認成績の指標は異同判断の正答率と反応時間とした。図形再認時の眼球運動特性として、課題中の1/60秒毎の視線位置データより、異同判断時の視線の総軌跡長、停留時間、停留点数を算出した。また、図形記憶時の瞬間認知特性の指標として、図形呈示中の眼球運動軌跡から注視面積と注視範囲の周辺部(注視範囲+0.8度の外周範囲)に存在する特徴の数を算出した。

### (2)平成22年度

平成22年度の研究では、平成21年度の研究成果を踏まえ、言語的に記憶することが困難な図形の生成方法と提示時間とを統制した実験で得られた異同判断時の正答率、反応時間、眼球運動軌跡データを基に図形の瞬間認知モデルの構築をおこなった。

無意味輪郭図形の瞬間認知-再認過程を検討するため、分析に用いた被験者から得られた指標間の相関係数を算出した。続いて、

有意の偏相関関係を除去した後、相関図を作成した。評価指標間の関係を抽象化するため、相関図の作成に用いた指標を用いて主成分分析をおこない、4つの主成分（どこにあるか、どこをみるか、どこから探すか、何が記憶されたか）を抽出した。最後に、図形の認知過程には客観的に測定することが不可能な認知機能が含まれていることから、最尤法による因子分析を行い、各指標との間に因果関係を有する3つの潜在変数（図形の特徴、注視開始位置、視覚探索過程）を抽出した。抽出された因子を配置し、認知過程の時間順序と指標、主成分、因子相互の因果関係を考慮した瞬間認知のモデルを構築した。

また、図形の形状変化のリフレッシュ・レートや形状変化に伴って知覚される仮現運動の影響を検証するため、画面上で周期的に運動するターゲットの運動特性が平衡機能に及ぼす影響を分析した。分析に用いた被験者は過度の運動経験のない、19-22歳の健康な男子大学生8名とした。被験者には実験前日は十分な睡眠をとるよう指示した。

被験者の眼前120 cmの位置に視覚刺激提示用の19インチ液晶ディスプレイを配置した。画面のリフレッシュ・レートは75 Hzとした。ディスプレイの高さは被験者ごとに調整した。眼前水平面照度650 lx、画面の鉛直面照度は110 lx、水平面照度は410 lxに設定した。

測定項目は平衡機能の指標として重心動揺を測定した。重心動揺は四点支持式フォースプレートを用いてSampling Rate 100 Hzで各センサーにかかる荷重値を測定した。

被験者には液晶ディスプレイ上に提示した半径1.0 cmの黒色円を注視させた。黒色円の輝度は0.50 cd/m<sup>2</sup>、白色の背景の輝度は150 cd/m<sup>2</sup>となるよう調整した。黒色円の運動方向は方向1：上下方向、方向2：左右方向、方向3：左上-右下への対角線方向、方向4：右上-左下への対角線方向の4つの運動条件と静止条件の5条件を設定した。さらに被験者の平衡機能を評価するため、閉眼起立姿勢を維持させる閉眼条件も実施した。黒色円の運動周期は0.25 Hzとし、運動は等速円運動を運動軸に射影した正弦波状の運動とした。

被験者は実験室入出後に実験に関する説明を受けた。同意書に署名した後、実験を開始した。運動刺激の負荷時間は10分とした。実験順序は被験者ごと異なる順序とした。各実験条件の間に座位での10分間の休憩を挿入した。休憩中、被験者には疲労や気分に関するアンケートに回答させた。

単位時間当たりの軌跡長並びに安定の指標である短期動揺指数を身体の左右方向と前後方向に射影したデータと床面2次元平面に射影したデータに分けて分析した。

### (3) 平成23年度

平成23年度は無意味輪郭図形の記憶-再認特性について検討した。記憶容易性の変数は図形の凹凸数、図形の空間周波数、眼球運動パラメータとし、把持容易性の変数は記憶図形と再認図形との間のズレ率、再認図形の提示個数、把持時間とした。異同判断精度は正答率、反応時間、エラー率を用いた。

無意味輪郭図形の記憶-再認特性を分析するために用いた被験者は10名の大学生(男女、各5名)とした。眼鏡・コンタクトレンズによる視力矯正者は6名で、いずれの被験者も矯正視力は1.0以上、残り4名の被験者も裸眼視力は1.0以上であった。実験に先行して、被験者には実験内容についての説明を十分に行い、実験参加への同意を得た上で実験を実施した。

視覚刺激の提示制御並びに被験者の反応の計測にタキストスコープを用いた。また、視覚刺激は21インチCRTモニタ上に提示した。計測装置の制御にはパーソナルコンピュータを用いた。測定時、被験者の眼と画面との間の視距離は90 cmに設定した。机上面、ディスプレイ、座面の高さは被験者の眼の高さと画面の中心が成す俯瞰角度が4度程度に設定した。被験者の眼前高での鉛直面照度は640 lx、水平面照度は610 lx、キー・ユニット上の水平面照度は610 lxに設定した。

視覚刺激は言語的に記述・記憶することが困難な複数の凹凸部を持つ無意味輪郭図形を用いた。記憶図形の凹凸数は5, 6, 7, 8個とした。本研究では局所的認知の影響が示唆された記憶図形と再認図形の凹部または凸部の面積のズレ率が0, 3.7, 6.3, 9.0, 12.2%の場合について検討した。図形は複数の余弦波の加算平均を極座標表現して生成した。

## 4. 研究成果

各年度において得られた研究成果の概要は以下の通り。

### (1) 平成21年度

言語的に表現することが困難な図形を認知する際、被験者は中心視によらず周辺視(中心視の周辺部)によって図形の概要を認知している可能性が示唆された。また、被験者の個人特性は非言語的な図形の再認パフォーマンスに強く影響を及ぼす可能性が示唆された。具体的には、個々人が持つ異同判断基準の影響や空間認知特性(動体視力)、空間識別能力(立体視、奥行き知覚など)の影響が強くあらわれる可能性が示唆された。

再認成績については、図形の局所の特徴を統制した条件においても、全体的特徴を統制した条件においても、異同判断時の反応時間と正答率に対し、図形の凹凸数とISIを要因とする二元配置分散分析をおこなった。結果、反応時間についてはISIでは有意の主効果が

認められた。また、正答率については凹凸数と ISI とともに有意の主効果が認められた。

図形再認時の眼球運動特性については、図形の局所的特徴を統制した条件においても、全体的特徴を統制した条件においても、図形再認時の停留時間と停留点数に対し、凹凸数と ISI を要因とする二元配置分散分析をおこなった。結果、停留時間では有意の主効果は認められなかった。一方、停留点数では凹凸数と ISI の要因で有意の主効果が認められた。

図形記憶時の瞬間認知特性については、図形記憶時の注視面積に対し、凹凸数と図形の周波数成分を要因とする二元配置分散分析をおこなった。結果、図形の局所的特徴の要因については凹凸数の要因で有意の主効果が認められたものの、全体的特徴の要因では、有意の主効果は認められなかった。次に、注視範囲の周辺部に存在する特徴の数について二元配置分散分析をおこなった。結果、凹凸数の要因で有意の主効果が認められた。

以上の検討より、記憶図形の凹凸数が増えるに従って、作業成績（正答率、反応時間）は低下し、再認図形への停留点数は増加していた。また、記憶図形の凹凸数が増えるに従って、図形記憶時の注視範囲は狭くなっていた。また図形記憶時の注視範囲内にある凹型・凸型の部分を記憶される特徴と考えた場合、図形の凹凸数が増えるに従って、注視範囲内に含まれる特徴の数も増加していた。しかし、被験者は図形の凹凸数が増加するに従って、注視範囲を狭くしていたことから、無意味輪郭図形の記憶時には、記憶できる特徴の数が 3、4 個程度になるよう調整していた可能性が示唆された。また、図形の瞬間認知は図形の全体的特徴や局所的特徴に関係なく、図形の特徴（凹凸数等）や把持時間（ISI）の影響を受けることが示唆され、ISI が短くなるに従って、図形再認時の停留点数は増加する傾向が観察された。

以上より、非言語的な図形の再認成績は図形を瞬間的に認知した時の注視範囲の周辺部に存在する特徴の数の影響を受けることが示唆されたことから、連想性の低い非言語的な図形をインタフェースに用いる場合、図形の特徴部分への誘目性に配慮するだけでなく、瞬間的に呈示する特徴の数が 3 個程度になるようにデザインする必要がある。

## (2) 平成 22 年度

瞬間認知モデルの生成過程での検討より、瞬間的に提示された図形を記憶する際の注視点周辺部に存在する特徴点の「数」が図形の再認成績に影響する可能性が示唆された。図形上に存在する特徴点の「形状」ではなく、「数」の影響が強かったことから、言語的に記憶することが困難な図形の記憶精度は Working Memory の容量との関連が強い可能

性が考察された。特に、構築した瞬間モデルから異同判断精度には、記憶—再認間の注視位置のズレ量や再認時の視覚探索過程（行動）の要因が重要な役割を果たしている可能性が示唆された。また、異同判断精度を左右するもう一つの要因として、図形記憶時に網膜に投射される特徴点の数が重要な役割を果たす可能性が示唆された。

次に、画面上で周期的に運動するターゲットの運動特性について検討した。視覚刺激の運動方向の影響について視覚刺激の運動方向ごとにみた単位時間当たり重心動揺軌跡長の結果より、視覚刺激を一点固視する静止条件での軌跡長が最も短く、視覚刺激を遮断した閉眼条件での軌跡長が最も長かった。同様の傾向が短期動揺指数においても観察された。視覚刺激の運動方向と重心の動揺方向との間の関係については、実験時間ごとに重心動揺の運動方向が優位であった方向を用いて検討した結果、閉眼条件と方向 1・3 では身体前後方向の重心動揺が優位であったのに対し、方向 2・4 では身体左右方向の運動が優位であった。また、いずれの条件においても、起立時間の延長に伴い、前後方向での重心動揺が優位となる傾向が観察された。

以上の結果より、視覚刺激の運動方向が左上から右下への対角線上で運動した場合、重心の動揺量は増大するとともに、短期動揺指数からみた安定度も低下する傾向が示唆された。方向 3 と等価の左右方向の運動成分を有する方向 4 では異なる動揺傾向が観察されたことから、注視対象が左上→右下→左上へと往復運動する注視対象を追従眼球運動することが平衡感覚を混乱させた可能性が考えられる。

以上より、注視画面上「左上→右下→左上」と往復運動する刺激を追従眼球運動した場合、自覚的な平衡感覚は正常であるものの、他覚的な平衡感覚は混乱し、2 次元平面に射影した重心運動の解析から、平衡維持のためにおこる姿勢反射の機構が異なる可能性が示唆された。したがって、非言語的な図形をインタフェース上に呈示する際、図形のリフレッシュ・レートや呈示位置、呈示個数を十分に吟味して呈示しないと、仮現運動が誘発され、平衡機能に起因するパフォーマンスの低下や不定愁訴の増加が誘発される危険性が示唆された。

## (3) 平成 23 年度

無意味輪郭図形の瞬間認知モデルより、記憶容易性に影響を及ぼす要因は、図形記憶時の注視点近傍に存在する特徴の数であり、把持容易性に影響を及ぼす要因は把持時間である可能性が示唆された。そこで、再認図形の提示個数と図形の凹凸数が異同判断精度に及ぼす影響について検討するため、図形の

凹凸数、画面の呈示個数、ISI を要因とする 3 元配置分散分析を行った結果、正解率では、再認図形の呈示個数の要因で有意の主効果が認められた。また、反応時間では、図形の凹凸数と再認図形の呈示個数の要因で有意の主効果が認められた。多重比較の結果、正解率、反応時間ともに、再認図形の提示個数が増加するに従って、正解率は有意に低下し、反応時間は有意に延長した(1 個<4 個<9 個)。

次に、再認図形の呈示個数と図形のズレ率がエラー率に及ぼす影響について検討するため、図形のズレ率ごとにみた再認図形の提示個数とエラー率に対して、図形の凹凸数、画面の呈示個数、ISI を要因とする 3 元配置分散分析をおこなった結果、全ての図形のズレ率で再認図形の呈示個数の要因で有意の主効果が認められた。多重比較の結果、再認図形の呈示個数が増加するに従って、エラー率は有意に増加した。

最後に、再認図形の提示個数と図形のズレ率が誤判断時の反応時間に及ぼす影響を検討するため、図形の凹凸数、画面の呈示個数、ISI を要因とする 3 元配置分散分析を行った結果、全ての図形のズレ率で、誤判断時の反応時間は再認画面での図形の呈示個数と ISI の要因で有意の主効果が認められた。多重比較の結果、再認図形の呈示個数が増加するに従って、反応時間は有意に延長した(1 個<4 個<9 個)。また、ISI が 500 ms の時に比較して 1,000 ms の時の反応時間は有意に延長した。さらに、図形のズレ率が 6.3%と 12.2%では、図形の凹凸数の要因で有意の主効果が認められた。多重比較の結果、ズレ率が 6.3 %の図形では 5 個<8 個、ズレ率が 12.2%の図形では 5 個<6 個・7 個で反応時間は有意に延長した。

以上の検討より、言語的に記述・理解することが困難な無意味輪郭図形を再認する時の図形の提示個数が異同判断精度に及ぼす影響については、心理的複雑さよりも心理的類似度の影響が強く、再認図形の提示個数が増えると、異同判断精度は低下した。加えて、瞬間的に認知された図形の記憶精度を再認図形の提示個数を変化させた上で検討した結果、再認図形が 4 個までは 90 %以上の高い確率で異同判断を行うことができた。

また、被験者の個人特性(視力、調節力、動体視力、コントラスト感度視力、夜間視力:尚、被験者全員が矯正視力が 1.0 以上で、視機能において日常生活を送る上で支障のない被験者)が無意味輪郭図形の瞬間認知に及ぼす影響は本研究で用いた若年者では軽微であった。特に、微妙な変化を捉えるコントラスト感度視力や夜間視力と、無意味輪郭図形の異同判断に関する実験結果との間の関係について検討した結果、呈示される図形の全体的特徴や局所的な特徴の影響に比較

して、コントラスト感度や夜間視力の影響は非常に軽微であった。

以上の検討より、非言語的な図形の瞬間的な認知に影響を及ぼす情報提示条件として考慮すべき変数は、記憶時の注視点近傍に存在する特徴の数、記憶図形と再認図形のズレ率(リフレッシュ・レートに相当)であることが示唆された。ISI(情報の保持時間)は 2,000 ms 以下であればエラー率は低減する可能性も示唆された。一方、図形の表現方法については、コントラスト感度視力の観点から、モノクロ表示の場合は、特段の条件は必要ない可能性も示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

- ①高橋雄三, 三澤哲夫: 無意味輪郭図形の提示個数が図形の異同判断精度に及ぼす影響, 査読有, Vol.13, No.1, 掲載決定(2012), 査読有.
- ②Yuzo Takahashi and Shoko Koshi : Eye-movement-based instantaneous cognition model for non-verbal smooth closed figures, Human-Computer Interaction: Interaction Techniques and Environments (Lecture Notes in Computer Science), Vol.6762, pp.314-322 (2011), 査読有.  
DOI : 10.1007/978-3-642-21605-3\_35

[学会発表](計 3 件)

- ①高橋雄三, 古志祥子: 非言語的な図形の瞬間認知特性が再認成績に及ぼす影響, 日本経営工学会 平成 21 年度 秋季研究大会, 平成 21 年 11 月 7 日(愛知県)
- ②古志祥子, 高橋雄三: 眼球運動から見た無意味輪郭図形の瞬間認知モデル, 日本人間工学会第 51 回大会, 平成 22 年 6 月 20 日(北海道)
- ③高橋雄三, 古志祥子: 平衡機能を減弱させる視覚刺激の運動特性, 日本人間工学会東海支部 2010 年研究大会, 平成 22 年 10 月 30 日(愛知県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋雄三 (TAKAHASHI YUZO)

広島市立大学・情報科学研究科・助教

研究者番号: 30326425