

平面図形に生じる空間力の定量的評価
に関する研究

Quantitative evaluation of spatial force
resulting from a plane figure

平成 27 年 3 月

山口大学大学院理工学研究科

情報・デザイン工学系専攻

福田 弓 恵

目 次

第1章	序論	1
1.1	本研究の背景	1
1.2	本研究の着眼点と目的	6
1.3	本論文の構成	7
第2章	空間力の概要	9
2.1	視覚調整と空間力の関連性	9
2.2	従来の考察	10
2.3	図形外部の空間力の仮説	12
2.4	空間力以外の視覚的影響	15
2.4.1	視覚の誘導場の概要	15
2.4.2	サイコ・ベクトルの概要	18
2.4.3	視覚の誘導場の生理学的根拠	19
2.5	図形内部の空間力と見えの大きさ	19
2.6	空間力の仮説	20
第3章	図形外部の空間力の強さと場の形成	23
3.1	図形外部の空間力の強さ	23
3.1.1	実験方法	24
3.1.2	結果と考察	27
3.1.3	まとめ	32
3.2	図形の周囲に生じる空間力の場の形成	33
3.2.1	正三角形と正方形を刺激とした心理実験	33
3.2.2	結果と考察	36
3.2.3	正五角形と正六角形及び正円を刺激とした心理実験	42
3.2.4	結果と考察	43
3.4	形態の差による空間力の場	50
3.5	まとめ	51

第4章	図形の見えの大きさ	52
4.1	図形の形態と配置角度の差	52
4.1.1	方法	52
4.1.2	結果と考察	54
4.1.3	空間力以外の要因	56
4.1.4	まとめ	57
4.2	図形の配置角度の差	58
4.2.1	一対比較法による検討	58
4.2.2	マグニチュード推定法による検討	65
4.2.3	見えの大きさと空間力の考察	70
4.2.4	まとめ	70
4.3	図形のプロポーションの差	71
4.3.1	方法	71
4.3.2	結果と考察	72
4.3.3	まとめ	83
4.4	実験4 明度の差	84
4.4.1	方法	84
4.4.2	結果と考察	86
4.4.3	まとめ	91
第5章	結論	92
5.1	総括	92
5.2	本論文で得られた成果	92
5.3	今後の課題	93
	謝辞	95
	参考文献	97

学位論文内容の要旨

我々の身の回りにおける視覚メディア（ポスター、雑誌、Web サイト等）のコンテンツの構成要素には、文字や画像等がある。構成要素を紙面上や画面上にレイアウトする場合、可読性や視認性の向上を目的としてデザイナー等の専門家により視覚調整が行われている。文字に対しては文字間の広さを視覚的に揃えるスペーシングが行われ、シンボルマークやロゴマークでは、周囲の一定の範囲に他の構成要素が入ること等を制限するアイソレーションの範囲が設定されている。これらの視覚調整は、構成要素の見えや感じ方に影響を与える視覚心理的影響であるシュパヌクと関連付けられる。シュパヌクとは美術・デザインの分野では構成要素の相互関係によって生じる緊張感を意味する。これまでのシュパヌクについての先行研究で検討されている、field of spatial forces や空間勢力に関連付けて本研究では空間力と記述する。この空間力は心理物理的な力であり、上述した視覚調整は空間力による視覚心理的影響の調整と捉えられる。しかし、空間力はデザイナー等の専門家の経験則により感覚的に捉えられており、実験的な検討はほとんど行われていない。

そこで本論文では、構成要素のレイアウト作業の視覚調整に応用することを目指して、まず平面図形に生じる空間力の影響とその作用の特徴や傾向の仮説を立てる。そして、これらの仮説を心理実験で定量的評価を行うことにより検証を行う。具体的な目的としては、

- (1) 従来の空間力に関する報告や先行研究に基づいて、空間力を図形内部と外部に分けて捉え、それぞれの視覚心理的影響について仮説を立てる。
- (2) 図形外部の空間力の仮説に対して、強さと場の形成状態についての検証を行う。
- (3) 図形内部の空間力の仮説に対して、図形の見えの大きさについての検証を行う。

第1章では、本論文の背景と目的及び論文の構成を述べた。

第2章では、従来の空間力に対する報告と先行研究に基づいて考察することにより、空間力が図形の外部と内部に分かれて生じており、また、外部の空間力は図形外部の空間の緊張感や圧迫感という印象に影響し、内部は図形の見えの大きさに影響を及ぼすと仮説を立てた。これらの詳細を次に示す。(a) 図形外部の空間力は、図形の形態的特徴や配置位置及び図形からの距離により強さは異なり、図形の周囲に空間力の場を形成する。(b) 図形内部の空間力は、図形の配置角度や形態的特徴及び明度の差により空間力の強さは異なる。

第3章では(a)の仮説に基づいて、図形外部の空間力の強さ及び場の形成を明らかにするための心理実験を行なった。形態的特徴や配置位置の差による空間力の強さを検討するため、2つの

幾何学的図形を並置して刺激とし、実験参加者に図形間に感じる視覚的圧力の強さを答えさせた。次に、場の形成状態を調べるため、1つの図形の周囲に実験参加者が同じ空間力の強さを感じた位置に空間力を表す点を移動させた。その結果、図形の輪郭からの距離は短いほど、図形の内角は鋭角ほど空間力が強いことが示された。また、空間力の形成状態は、図形の輪郭の形に類似している。しかし、頂点の周辺では空間力が影響する範囲が広く辺の中央付近では狭い傾向が示された。さらに、頂点の内角二等分線の延長線上では空間力が強い傾向が示され、その向きが垂直方向に近いほど空間力が強くなる可能性が示唆された。

第4章では(b)の仮説に基づいて、図形の見えの大きさについて心理実験を行った。図形の配置角度や形態的特徴の差による影響を調べるため、図形の配置角度を変えて刺激図形とし、見えの大きさの比較を行った。さらに、正三角形や正方形のプロポーションを変えた図形や明度を5段階に変えた図形を刺激図形として、同様の検討を行った。その結果、図形の配置角度については、内角2等分線の方が垂直もしくは水平に近い条件の場合に見えの大きさが大きい傾向となった。正方形のプロポーションの差については、アスペクト比が小さく、正方形に近いほど配置角度を変えた時の見えの大きさの差が生じやすい傾向が示された。明度に関しては、一貫性のある傾向は示されなかった。しかし、正三角形や滴形では高明度の図形と低明度の図形の見えの大きさが大きい傾向が示された。

第5章では、第2章から第4章までで得られた結果を総括し、今後の課題を述べた。また、空間力の定量的評価や可視化による科学的解明によって、視覚メディアのコンテンツをデザインする場合の支援やデザイン教育での課題評価への応用について述べた。

Abstract

Many compositional elements such as letters and pictures appear in visual communication media (for example, television, World Wide Web, newspaper). In visual contents, factors such as “Spacing” (interspace between letters) and “Isolation” (limits of other components in the surrounding space) are determined by a specialist such as an artist or designer. However, these skills are acquired through their experience in their work. These sight adjustments are connected with “Spannung”, which is visual psychological influence that affects sight and how a person feels about components. Spannung means a feeling of strain that occurs because of the mutual relations of the components in the field of art and design. The field of spatial forces and space power has been reported in previous studies on Spannung. In this study I describe the visual psychological influence of spatial force as related to sight adjustment. However, spatial force is perceived intuitively through the experience of experts such as designers, and experimental investigations have not been conducted. Therefore, in this study, a hypothesis of spatial force is proposed. The hypothesis was tested by performing a quantitative evaluation in a psychology experiment.

In Chapter 1, I describe the background to this study and the aims of the study.

In Chapter 2, I set up a hypothesis of spatial force based on a precedent study. I hypothesize as follows.

- (a) The strength of spatial force around emanating from around a figure is different from the distance, morphological characteristics of the figure, and its placement position.
- (b) As for spatial force inside a figure, the strength of the spatial force is different from the placement angle, morphological characteristics and the luminosity.

In Chapter 3, I describe a psychology experiment to inspect whether hypothesis (a) was supported. It was found that when the distance from the outline of the figure was short, and when the interior angle of the figure was small, then the spatial force was strong. In addition, the spatial force closely follows the form of the outline of the figure.

In Chapter 4, I describe a psychological experiment about apparent size of the figure based on hypothesis (b). It was found that for the layout angle of the figure, when the

direction of the interior angle was vertical or horizontal, apparent size became large.

Concerning luminosity, no consistent tendency was found.

On Chapter 5, summarizes the results and describes future research.

第1章

序論

1.1 本研究の背景

我々の日常生活に見られる視覚メディア（ポスター、雑誌、Web サイト等）のコンテンツには、その構成要素として主に文字や画像がある（図 1-1、1-2）。視覚メディアのコンテンツを制作する過程では、可読性や視認性を向上させることを目的として、デザイナー等の専門家により視覚調整が行われている。例えば、構成要素をレイアウトするときに「スペーシング[3]」を行うことや、「アイソレーション[4]」の範囲の設定及び構成要素の大きさの調整等がある。

スペーシングとは、構成要素の周囲の空間を調整することであり、記事の見出しやロゴマーク等に対して行われている。例えば、文字は、文字自体より一回り大きい枠（仮想ボディ）に収められており、日本語の場合はボディを隙間なく並べるベタ組が一般的である[5]。しかし、文字どうしの間空間は隣り合った文字の形によって異なるため、文字どうしの間空間の視覚的な広さを揃えるためにスペーシングが行われている（図 1-3）。この他にも、文字と画像の間空間のように、異なる構成要素どうしの間空間に対してもスペーシングが行われている[7]。例えば、図 1-4(a)では、2つの図の間にあるキャプションが、どちらの画像を指しているのか分かりにくい。しかし、図 1-4(b)のように図との距離を変えると、上の画像とキャプションとの見えのまとまりが強くなり、両方の関係性が明確になる。

一方、アイソレーションの範囲はシンボル・ロゴマークのように、一定のイメージを保つ必要のある構成要素に対して設定されている。図 1-5 に示すロゴマークの場合、ロゴマークの横幅の長さを W とすると左右に $0.1W$ 以上、縦幅を H とすると上下に $1H$ 以上の空間をアイソレーションの範囲として設定している。このような範囲はシンボル・ロゴマークをデザインする際に決められており、紙面上や画面上にレイアウトする場合にマークの印象が変わることを防ぐためにアイソレーションの範囲に背景色等の他の構成要素が入ることを制限している。

その他にも文字の並びのまとまりや流れを強調するために、文字の大きさの調整が行われている。日本語の場合、同じ書体の同じサイズの文字であっても、漢字とひらがな及び欧文



図 1-1 ポスター上の構成要素のレイアウトの例[1]



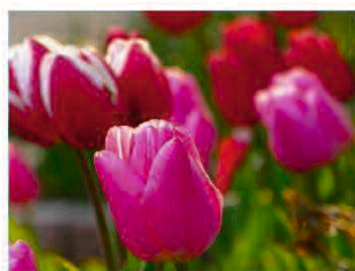
図 1-2 Web サイトのトップページのレイアウト例[2]

などの文字の種類により大きさが異なる。一般的には、漢字が最も大きく次いでひらがなやカタカタであり、小さいのは欧文や数字は小さいことが多い。そのため、異なる文字の種類が並ぶ場合に一つのまとまりとして強調するために視覚的な大きさを揃えている。図1-6の例では、漢字とアルファベットを横組みにしている。漢字とアルファベットを並べると、同じフォントサイズであっても文字の見えの大きさが異なり、漢字がアルファベットより大きく見える。文字列の高さに注目し、最も高い部分と低い部分に水平に線を引くと、漢字は縦幅が長くアルファベットは短いことが分かる。この図の例では、文字の縦幅を基準として大きさの調整を行っている[9]。

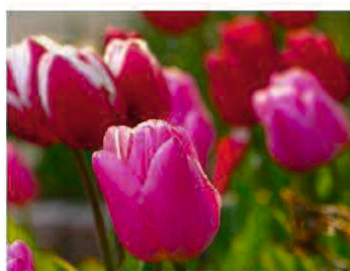
上述したこれらの視覚調整を行うのは、見る側が視覚から文字の意味や画像の内容といった情報を得る場合、大きさや相互の位置関係等と併せて判断を行っているためだと考えられる。見る側の視覚特性に関連する報告として、今井[10]は長さや位置等の客観的な関係が物理的な関係と異なって見えると述べている。例えば、長さや幅や面積などの図形大きさは、図形を配置したときの条件によって過大視や過小視が起こると述べている。さらに、Maurice [11]は図形を観察する際に、見る側は自分自身を図形に投影すると報告している。図1-7のように、図形と周囲の余白の関係が変化し、余白が減少する場合、身体的な空間での経験のように、画像においても圧力を感じると述べている。つまり、図形が余白の少ない平面に配置されていると緊張感や圧迫感を感じ、余白が多い平面では間延びして感じると考えられる。このような視覚心理的影響は、構成要素やその周辺に生じる心理物理的な力が要因であり、視覚調整にも関連すると考えられる。しかし、視覚調整はデザイナーらの専門家の経験則に基づいて感覚的に行われており、実験的な検討は行われていない。



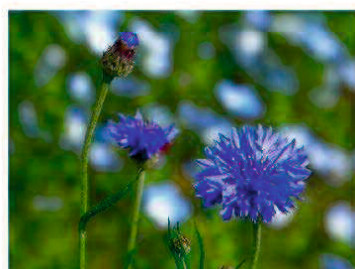
図1-3 文字どうしのスペーシングの例[6]



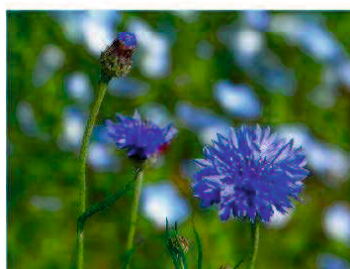
図のキャプション



図のキャプション



(a)



(b)

図1-4 図とキャプションの位置による見えのまとまりの差の例



図1-5 アイソレーションの設定例（企業ロゴマーク）[8]

探検BOOK
探検BOOK
↓
探検BOOK

図 1-6 文字の大きさ調節の例[9]

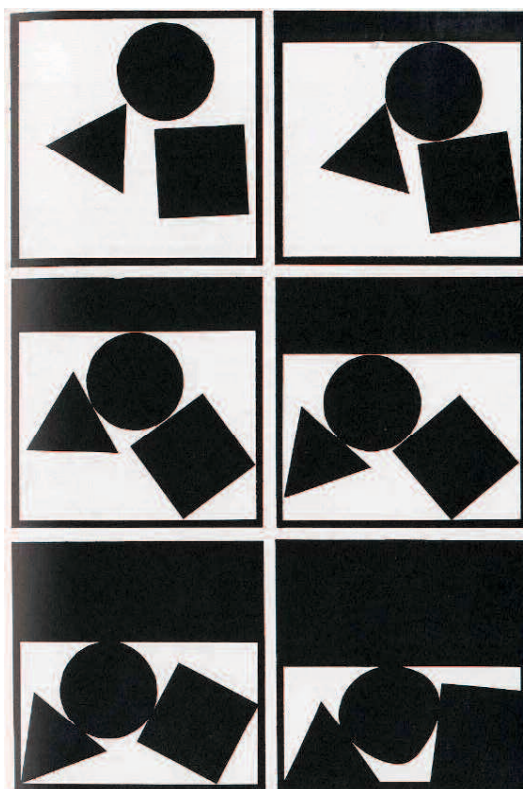


図 1-7 図形の周囲の余白とレイアウトの違いによる見えの印象の差[11]

1.2 本研究の着眼点と目的

心理物理的な力については、これまでに画家やデザイナー及びデザインの教育者により様々な考察が行われており、「field of spatial forces[12]」や「空間力[13]」と記述されている。spatial forces は日本語では空間力と訳すことができることから、本論文もこれらの報告に準じて空間力と記述する。空間力は、従来デザイナーらの専門家の経験則により把握されており、その影響と作用の特徴や傾向は明らかになっていない。そこで見る側へ与える空間力による影響の仮説を立て、定量的評価を行うことで空間力の仮説の検証を行う。また図形に生じる空間力の定量的評価を行うことは、スペーシングやアイソレーションの設定等の視覚調整を行う場合の感性基礎データとして使用することが可能となる。これにより、視覚メディアのコンテンツの制作において、品質や広告効果の向上に繋がると考えられる。さらに、幾何学的図形の形態的特徴や配置位置といった物理的特徴による視覚心理的影響を明らかにすることは、感性工学やデザイン学の発展に寄与する成果となる。加えて、空間力を定量的に評価することにより、教育方法の改善や教材の開発に繋がり、デザイナーとしての基本的な知覚能力を効率よく養成することが可能となると考えられる。

空間力を定量的に評価する上では、実際の構成要素のである文字や図形は直線や曲線及び角のように複数の要因が含まれる複雑な形であり、普遍的な結果を得ることが難しいと考えられる。よって本研究では、構成要素を幾何学的な面図形として捉える。

そこで本研究では、構成要素のレイアウト作業の視覚調整に応用するための感性基礎データを得るために、平面図形に生じる空間力の影響とその作用の特徴や傾向の仮説を立て、心理実験で定量的評価を行うことにより検証を行う。具体的には、以下を目的とする。

- (1) 従来空間力に関する報告や先行研究に基づき、空間力を図形内部と外部に分けて捉え、それぞれの視覚心理的影響について仮説を立てる。
- (2) 図形外部の空間力の仮説を検証する。
- (3) 図形内部の空間力の仮説を検証する。



図 1-8 幾何学的な形として捉えた文字の例

1.3 本論文の構成

本論文は、全5章により構成される。図1-9にその全体構成図を示す。

第1章では、本研究の背景及び目的を述べた。

第2章では、空間力の基になったと考えられる空間力に対する従来の報告をまとめ、空間力についての仮説を立てた。

第3章では、図形外部の空間力の仮説を検証するため、空間力の定量的評価を行い仮説の検証を行った。心理実験では、2つの幾何学的図形を並置し図形間に感じる空間力の強さと図形の外部の空間力の場の形成について検討した。

第4章では、図形内部の空間力による影響であると仮定した図形の見えの大きさについて、幾何学的図形の形態的特徴と配置角度の差やプロポーション及び明度による差について定量的評価を行い、仮説の検証を行なった。

第5章では、第2章から第4章で得られた結果の総括と今後の課題について述べた。

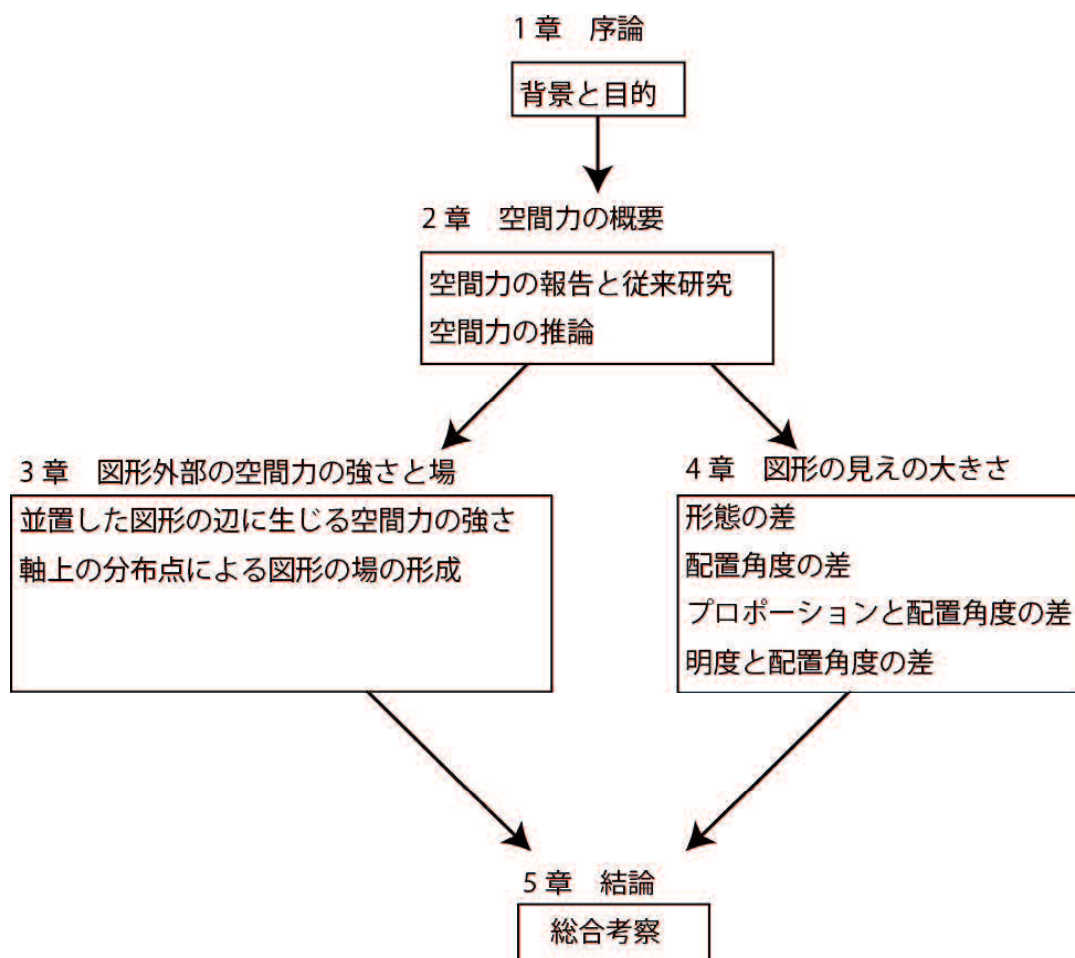


図 1-9 本論文の全体構成図

第2章

空間力の概要

2.1 視覚調整と空間力の関連性

第1章で述べた視覚調整は、視認性や可読性の向上のために行われている。例えば、文字のスペーシングは文字どうしの間空間の広さを調整している。スペーシングには文字の外部に生じる空間力が影響していると考えられ、文字どうしの間空間が狭いと圧迫感が生じ、空間が広いと圧迫感が弱まる。よって、文字どうしの間空間が狭い場合、それぞれの文字から生じる空間力が加算され、より空間力が強い状態（以下、相乗効果と記述する）になると考えられる。そのため、文字どうしの間空間が広い場合には、以下のような状態であると推測できる。

- 1) 文字に生じる空間力は、文字の輪郭から生じて文字から離れるほど弱まる。そのため、文字どうしの間空間が広いと隣り合う文字どうしの間空間力の相乗効果は起こりにくいため、文字間に生じる空間力が弱い。
- 2) 見る側にとっては文字どうしの結びつきが弱いためまとまりがなく、間延びした印象である。

一方、文字どうしの間空間が狭い場合には、以下のような状態であると推測できる。

- 3) 文字どうしの間が狭いため、文字間に生じる空間力の相乗効果により、空間力は強くなる。
- 4) 見る側にとっては緊張感があり、窮屈な印象である。

よって字間調整は、1つの文字のかたまりの中のそれぞれの文字間に生じる空間力の強さが不均一な状態から、同程度の強さになるよう調節していると捉えることができる。

シンボル・ロゴマークを対象としたアイソレーションの設定は、その範囲内に別の構成要素や背景色の設定を変えることを制限する。それに加えて、断ち落とし[14]によりアイソレーションの設定範囲内に紙面や画面の限界が含まれ、マークの周辺空間が変化することも禁じている。つまり、マークの周囲の空間力が別の構成要素から生じる空間力との相乗効果が生じない範囲を設定していると捉えることができる。よって、アイソレーションの設定は、マークとその周囲に生じる空間力の強さを一定に保つ役割があると推測できる。

2.2 従来の考察

構成要素に生じる視覚心理的な影響である空間力については、これまでに様々な検討が行われている。その中で空間力を含む広い概念として、美術・デザインの分野では構成要素の相互関係によって生じる緊張感を指す「シュパヌク (Spannung) [15]」が挙げられる。その他のシュパヌクの概念としては、「形と空間における目に見えない力線、導線[16]」と記述している例がある。その他にも「一つの点が、カンバスの中央にあるか、左か右か上か下にあることによって、空間経験が生まれる。そして、それぞれ独自の相互関係が独自の空間感覚をもたらす、一つ以上の点を描けば、それらは互いに緊張関係を結び、それだけ空間の感受性を増すものである。(中略) 絵画を初め造形美術一般に関して、その空間世界は、そのものが持っている空間の力に影響される [17]」と述べている例もある。シュパヌクに関する従来研究として、ケペッシュは「空間的な力の場 (Field of spatial forces)」を「画面上の図形の周囲に空間的な力が作用して動きが与えられる[12]」と説明している。ケペッシュの著書「視覚言語」において「エレメントは、凝縮されたエネルギーである。色彩、明るさ、質感、点、線、面はいろいろな強さのエネルギーを発散している。(中略) 力の場は、互いに妨害し合い、衝突し合っている。ある場は他の場を妨害し、引き付けあるいは反発している。また、他の場を補強したり、あるいはさえぎったりする。この場と場の間の相互作用は、緊張と刺激を生ずる[12]」と述べている。図 2-1 に示されている矢印や線分は空間的な力の場を示していると考えられる。矢印は右上にある矩形の向きと同じ向きに配置されていることから、右上の矩形から生じる空間的な力の場を表していると推測できる。一方、線分はもう一方の矩形によって生じる空間的な力の場であると考えられる。

武井は、シュパヌクを形と形の間にある関係と考え、「空間勢力[18]」と定義している。川喜田と武井の著書「構成教育大系」において、図 2-2 の三角形や正円及び矢印を用いて空間勢力について「雨だれか、潮干狩りのはまぐりの網のように下に向かってどっしりと重さがかかっているのである。面白いのは、この角が鋭ければ鋭いほど、欠けた円のシュパヌクが強くなることである[19]」と述べている。図 2-2 では、三角形と滴形の2つの図があり、それぞれの三角形の内部には、頂点に向かう矢印が描かれている。滴形では、図形の内部から外部に向かう矢印がある。これらの矢印は、三角形や滴形の中央から外側に向かっている。よって、図形の内部や内部から外部に向かう空間勢力は、図形の中心から外側の向きに生じると考えられる。

片山は、図形による視覚心理的な影響を「空間力[13]」と呼んでいる。片山の著書「色と形」において「空間力は形態により、性質が異なっており、正三角形であれば図形の内部に

角に向かって伸びる空間力となる。(中略) 正円は平面に定着して離れない性質を持つため、内面に閉じこもうとする求心的な力が働く。(中略) 平面内にある線分であれば線の長さや太さ、方向性、線の位置などによって空間力は強められたり弱められたりする[13]」と述べている(図2-3)。図2-3の正三角形では、図形の中心から頂点の内角二等分線の方に矢印が描かれており、頂点では空間力が強いことを示唆している。さらに、正円では中心に向かって矢印が描かれているが、垂直水平方向にある4本の矢印は、45°傾いて配置されている4本の矢印よりもわずかに大きく描かれている。よって、空間力には異方性があることが推測できる。

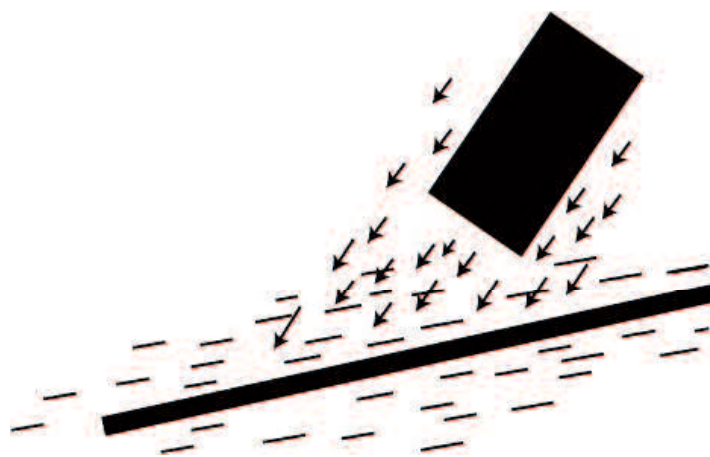


図2-1 ケベッシュによる空間的な力の場の概念図の例[12]

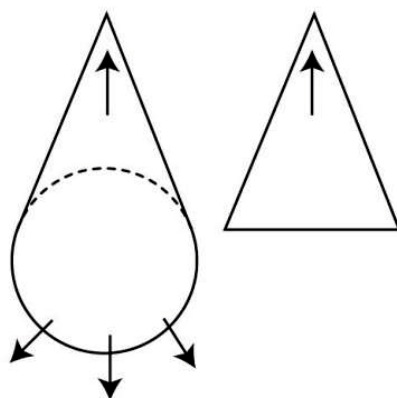


図2-2 武井による空間勢力の概念図の例[19]

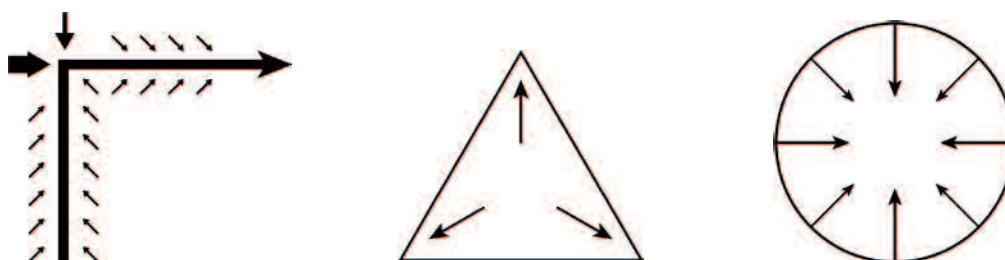


図 2-3 片山による空間力の概念図の例[13]

ケペッシュの定義した空間的な力の場合では、図形外部に空間的な力を表す矢印があり、武井の空間勢力や片山の空間力では、図形内部と図形外部に矢印が図示されている。このように空間的な力の場合やシュパヌク、空間勢力、空間力と呼ばれている視覚的な影響は、図形外部や図形内部に生じると推測できる。

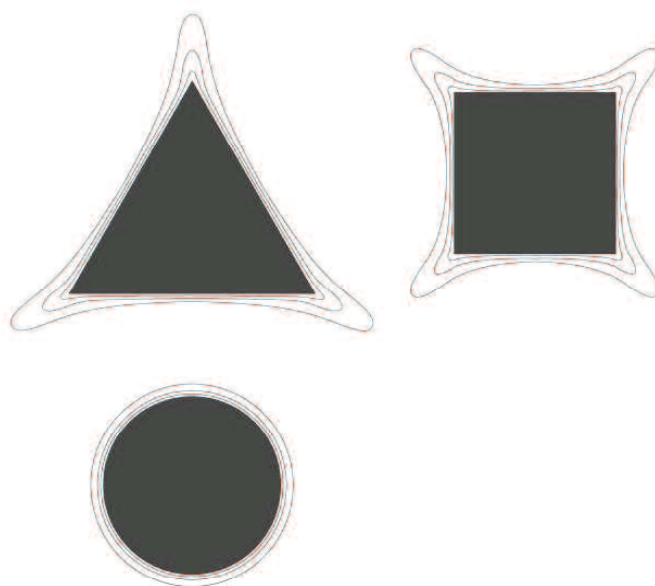
2.3 図形外部の空間力の仮説

木下[20]は、これまでのシュパヌクについての考察が図形内部や図形外部の空間に生じる力を指していることから片山やケペッシュに準じて「空間力」と呼び、図形外部の空間力の仮説を立てた。仮説を説明する概念図（図 2-4(a)～(e)）に記されている線は、地図に描かれる等高線のように、同程度の空間力を感じられる位置を線で繋いでいる。図形の輪郭に一番近い線は、空間力が強いと思われる位置であり、最も輪郭から遠い線は空間力が感じられなくなる位置であり、もう一本はその中間を表している。

- (1) 空間力の影響の範囲は、図形の外側の周囲に類似する形状で分布する。
- (2) 図形の輪郭線に近い程強く、距離に応じて弱まり、知覚できなくなる。
- (3) 頂点の内角 2 等分線の方に近い程強く、遠い程弱くなり、図形の辺の中心で最も弱くなる。
- (4) 頂点の内角が鋭角ほど強くなる。
- (5) 円弧の曲率が高い程強くなる。
- (6) 頂点の内角 2 等分線の方において最も強くなり、頂点からの距離が長くなる程、同じ強さの点が分散する。
- (7) 異方性があり、頂点の内角 2 等分線の方向が垂直、水平に近い程強くなる。
- (8) 図形の明度が低い程強くなる。
- (9) 図形が複数個であるとき、その間に生じる空間力は距離が短い程、相乗効果により

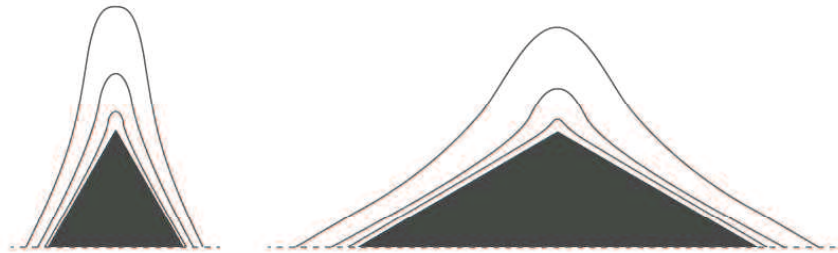
強くなる。

木下[20]による図形外部の空間力の仮説では、空間力の影響する範囲や生じる強さの条件等を詳しく述べている。まず、仮説(1)より空間力の生じる範囲は図形の輪郭に近い形であると考えられる。さらに仮説(3)(4)(5)で示されているように、頂点や辺といった図形の形態的特徴の影響により、その強さが異なると述べている。それに加えて、仮説(6)で示されているように、空間力は異方性をもつと考えられることから、図形の配置条件の影響を受けることが示唆された。また、仮説(8)より、図形の明度による空間力への影響が考えられる。さらに、仮説(9)では図形が複数個ある場合に空間力どうしの相乗効果が起こることを指しており、前述したケペッシュによる空間的な力の場合と一致している。以上より、木下の仮説は従来の報告と一致しており、より詳細に図形外部の空間力を示していると考えられる。



(a) 形態毎の空間力の場合

図 2-4 木下による空間力の仮説の概念図の例[20]

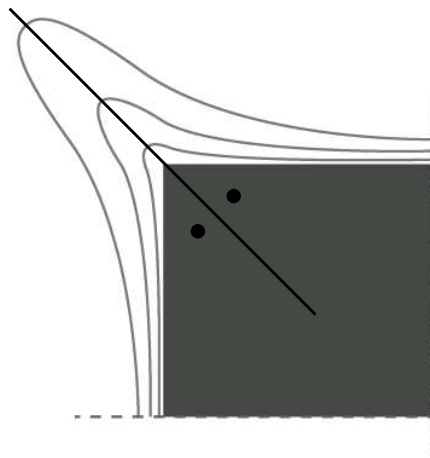


(b) 内角の大きさの差による空間力の場

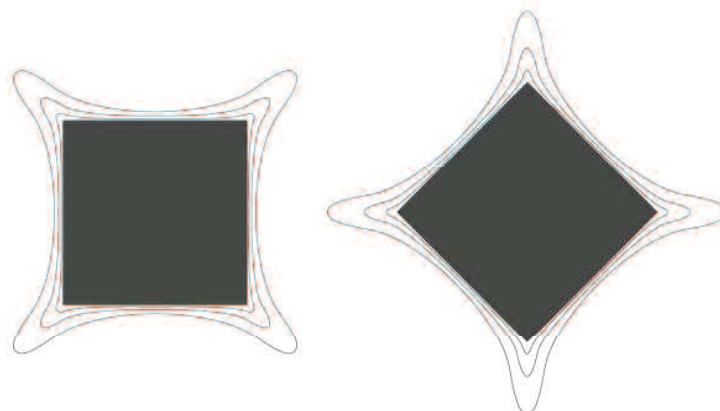


(c) 円の曲率の差による空間力の場

図 2-4 木下による空間力の仮説の概念図の例[20]



(d) 頂点の内角二等分線の周囲に生じる空間力の場



(e) 図形の異方性による空間力の場

図 2-4 木下による空間力の仮説の概念図の例[20]

2.4 空間力以外の視覚的影響

2.4.1 視覚の誘導場の概要

空間力とは異なるが、平面図形の輪郭線の周囲に生じる視覚的影響の概念として、横瀬[21]は「視覚の誘導場」を報告している。横瀬は輪郭線の周辺に何らかの影響が生じていると考え、図形周囲の見えについて検討を行った。その内容は、輪郭線の周辺に小さな円形の光点を呈示し、光の強さを変化させた。そして、光が見える状態から見えなくなる時の光

刺激の閾値と、見えない状態から見えるようになる時の閾値を得た。図 2-5 は、2 種類の線図形の周囲の×印が描かれた位置に小光点を提示し、光の強さを変化させた実験の結果を示している。出現点は小光点を知覚した時の光の強さ、消失点は小光点を知覚できなくなった時の光の強さを示している。その結果、輪郭の影響により、その周辺に何らかの場が生じると報告した。さらに、図形の場の強さをMとすると、輪郭線からの距離が長くなると弱まることから、輪郭線からの距離をDとすれば、MはDの関数で表すことができる。その他にも、図形の明瞭度（図と地の明度差）Hと図形の形態毎の固有の値Eが関連していることから、

$$M = f (D, H, E, \dots) \quad (2-1)$$

と表した。

その関係性は、実験により得られたデータから以下の式で表した。

$$M = f \left(E \frac{H^b}{D^a} \right) \quad (2-2)$$

式 (2-2) の指数部分は図形の形によって異なるため、様々な形の周囲に生じる影響を数値計算によって予想することは困難であった。そこで、図形周囲に静電場のような場を仮定し、パターン認知などの視知覚現象を説明する「視覚の誘導場」を定義し、任意の図形に生じる場を予測するための数値モデルを提案した。この数値モデルにより、文字等の複合的な図形に生じる誘導場の分布を計算することが可能となった。図 2-6(a) の直線と図 2-10(b) の文字 (E) の周辺に描かれている曲線は、ポテンシャル場の強さを表しており、同じポテンシャル場の強さである箇所を線で繋ぐことで得られるポテンシャル場を表している。

深水ら[22]は、精密な実験装置を使用して視覚の誘導場の再実験を行なった。その結果、横瀬の実験結果とおおよそ一致することが示された。その上で、横瀬の視覚の誘導場をコンピュータの数値計算によるシミュレーションを行った[23]。

長石は、誘導場と感性評価の比較を行い、平面上への画像を配置する際の視覚的バランスや手書き文字の読み易さ等を誘導場で評価可能であると報告している[24, 25]。その他には、画像や文字のパターン認知[26]や錯視図形の解析[27]及び類似画像の検索[28]などへの応用が行われている。

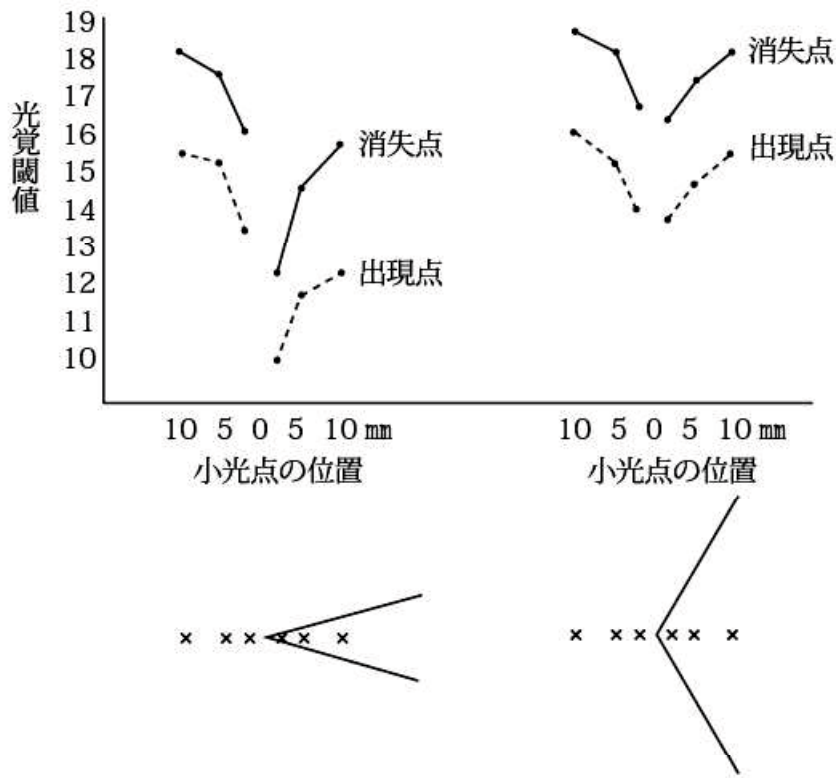
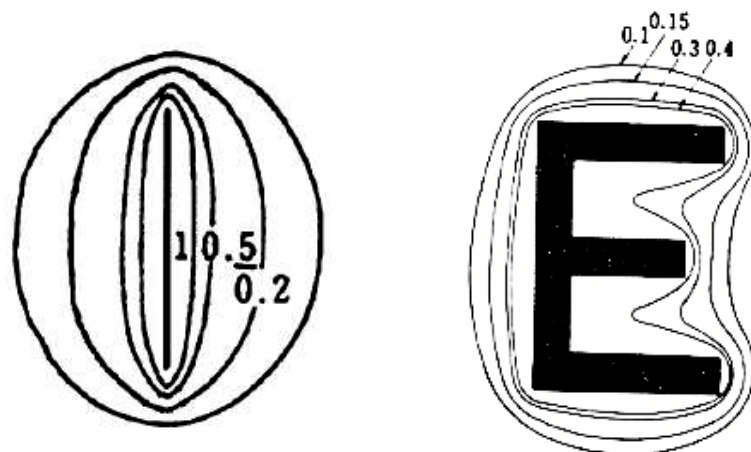


図 2-5 横瀬による心理実験の結果 (一部) [21]



(a) 垂直な線分

(b) 文字

図 2-10 視覚の誘導場の計算値 [21]

2.4.2 サイコ・ベクトルの概要

視覚の誘導場に基づいて、小林[29]は図形により生じる場の強さをサイコ・ベクトルと呼んだ。まず、図形内部は外部よりもサイコ・ベクトルの強さ（ポテンシャル）が強く、さらに図形内部と図形外部の質感により、ポテンシャルは変化すると述べている。また、図 2-7 は一本の直線上に正三角形と逆正三角形を配置した図である（図 2-7 の左側）。三角形と逆正三角形の周囲に描かれている線は、それぞれの図形により生じる場であり、矢印はサイコ・ベクトルの方向を表している。図 2-7 では、それぞれの図形の頂点に向かってサイコ・ベクトルが生じている。さらにサイコ・ベクトルは潜在的に重力の影響を受けて、逆正三角形では3つの頂点のうち、垂直下方向では他の頂点と比較してポテンシャルが強くなると述べている。

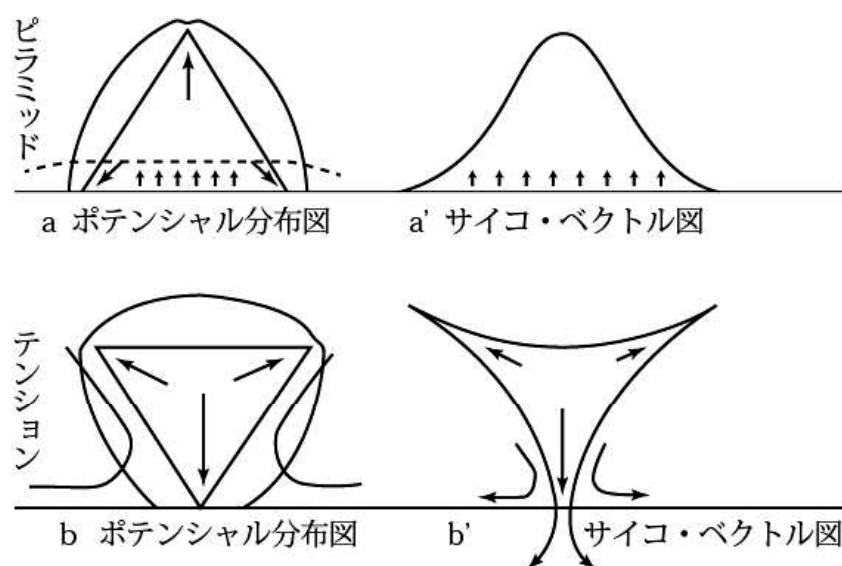


図 2-7 サイコ・ベクトルの概念図の例[29]

2.4.3 視覚の誘導場と空間力

視覚の誘導場の生理学的根拠として、本川[30]が報告した網膜誘導の場がある。網膜が光を受けたときに、その周辺に電位の変化による場が生じており、網膜誘導と呼んだ。また、内山[31]らは網膜誘導の電位の分布と、視覚の誘導場の分布が類似していることを報告している。よって、視覚の誘導場は網膜上で生じる生理的な影響に起因すると考えられ、安定や

緊張等を感じさせる心理的な影響である空間力とは異なると推測できる。よって、誘導場に基づいているサイコ・ベクトルも空間力とは異なると考えられる。

2.5 図形内部の空間力と見えの大きさ

武井や片山による空間力についての報告では、図形内部の空間力は図形の中心から輪郭もしくは輪郭から図形の中心に向かって矢印が描かれており、特に頂点の内角二等分線の方に強い空間力が生じると考えられる。また、垂直水平の方向には強い空間力が生じることが示唆されている。このように図形内部の空間力は、図形の形態的特徴の影響によりその生じ方が異なると推察できる。さらに、図形内部の空間力は図形の中心付近から輪郭に向かう力であることから、図形内部の空間力は図形の見えの大きさに影響すると仮定した。つまり、図形の見えの大きさが大きい場合は、図形内部の空間力が強い状態であると推測した。

配置の差による図形の見えの大きさの報告として、マッハ[32]は正方形の一边を底として提示する場合と 45° 傾けて角を頂点として提示するときでは、図形自体に変化がなく網膜像の形に変化がなくてもその見え方が異なると指摘した。 45° 傾けた正方形（菱形）は正方形より大きく見えると報告している（図 2-8）。



図 2-8 配置の差による見えの大きさ

形態と配置の要因に対して、金ら[33]はいくつかの幾何学的形態の面積を同じにして、見えの大きさについて比較を行った。その結果、大きく見えた順から、正三角形、逆正三角形、菱形、五角形、円、正方形、縦方向の矩形、横方向の矩形となった（図 2-9）。正三角形と逆正三角形が他の図形よりも見えの大きさが大きいことから、図形の内角の大きさや辺の長さなどの形態的特徴により、見えの大きさに差が生じる傾向が示された。また、正方形と菱形は配置角度により見えの大きさに差が生じている。よって、図形の配置角度を変えると大きさが異なって見える可能性があることが示唆された。



図 2-9 形態と配置の差による見えの大きさ順（大→小）

Mates ら[34]は、正方形と矩形の見えの大きさの差を検討するため、図形の大きさを実験参加者が自由に調整できるプログラム[35]を用いて実験を行った。その結果、正方形よりも矩形は大きくみえる傾向が示された。

以上の報告より、図形の配置角度や形態的特徴及びプロポーションの差により物理的な大きさが同じであっても見えの大きさに差が生じる傾向が示された。見えの大きさが大きい場合は図形内部の空間力が強いと仮定すると、マッハによる報告から、内部の空間力は配置角度の影響を受けることが示唆された。さらに、金らと Mates らによる報告より、正多角形や正円等の形態的特徴やプロポーションの差により、図形内部の空間力の強さは異なると考えられる。

2.6 空間力の仮説

従来の空間力に対する報告と先行研究に基づいて考察することにより、空間力はその性質や影響を与える範囲の違いにより、図形外部と図形内部に分けることが可能であると考えられる。よって、図形外部の空間力は図形外部の空間の緊張感や圧迫感という図形の周囲の空間の印象に影響し、図形内部の空間力は図形の見えの大きさに影響を及ぼすと仮定する。

図形外部の空間力は、図形の輪郭からその周囲に生じると考えられる。これまでの先行研究からいくつかの仮説を立てることが可能であるが、本研究では以下の4つの要因を仮説として取り上げ、検証の対象とする。1つ目に、ケペッシュ[12]による概念図(図2-1)では、2種類の矩形の周囲に生じる空間力を表す矢印や線分は、その向きや分布の様子に差がある。また、木下[20]による仮説(1)より、「空間力の影響の範囲は、図形の外側の周囲に類似する形状で分布する」ことから、図形外部の空間力は図形の形により差が生じると考えられる。さらに仮説(4)の「頂点の内角が鋭角ほど強くなる」と仮説(5)の「円弧の曲率が高い程強くなる」から、内角の大きさや曲率が空間力の強さに影響すると推測できる。よって、図形外部の空間力の強さは、図形の形や内角の大きさといった形態的特徴の要因により異なると考えられる。2つ目の要因として、木下[20]による仮説(7)の「異方性があり、頂点の内角2等分線の方向が垂直、水平に近い程強くなる」では、図形の配置角度により空間力の強さが異

なることが示されている。図 2-4(e)では、内角二等分線上の空間力は、正方形よりも菱形の方が影響する範囲が広いことが分かる。よって、図形外部の空間力の強さは、図形の配置角度により異なると考えられる。3つ目の要因として、木下[20]による仮説(2)の「図形の輪郭線に近い程強く、距離に応じて弱まり、知覚できなくなる」より、空間力は輪郭からの距離の要因により差が生じると考えられる。1章で述べたスペーシングやアイソレーションの範囲は、輪郭からの距離により空間力の強さを調整していると捉えられることから、図形外部の空間力の強さは、輪郭からの距離により異なると考えられる。4つ目の要因として、木下[20]による仮説(7)の図 2-4(a)の図形の周囲の線で示されるように、図形の輪郭から生じる空間力は、その図形の周囲に類似した場を形成すると考えられる。場とは、ある物が別の場所にある他の物に影響を与えることや、その影響を与える状態にある空間を指す。また、本研究で対象とする幾何学的図形の輪郭は、辺や角などの形態的特徴が同じ部分が繰り返すことから、閉じた領域を形成すると考えられる。

図形内部の空間力は図形の見えの大きさに影響しており、図形内部の空間力が強いと見えの大きさが大きいと仮定した。よって、見えの大きさについての先行研究やコンテンツに含まれる構成要素の条件から、以下の4つの要因を仮説として取り上げ、検証の対象とする。1つ目に、金ら[33]の報告から形態の要因により見えの大きさが異なると考えられる。見えの大きさを比較した9つの図形の中では、正三角形と逆正三角形が大きく見え、正五角形が最も小さく見える傾向が示された。このうち正方形と菱形は、同じ形態でも配置角度により見えの大きさが異なる。しかし、正三角形と逆正三角形及び横位置の矩形と縦位置の矩形は見えの大きさの順は隣り合っており、見えの大きさの差が少ないと推察できる。よって、図形内部の空間力の強さは形態の差の要因により異なると考えられる。2つ目の要因として、マッハ[32]の報告した、図形の配置角度の要因が挙げられる。前述したように、同じ面積の正方形と配置角度を 45° 変えた正方形は見えの大きさが異なると報告されている。よって、図形内部の空間力の強さは配置角度の要因により異なると考えられる。3つ目にMatesら[34]は同じ面積の正方形と矩形では、矩形が大きくみえると報告していることから図形のプロポーションの要因がある。よって、図形内部の空間力の強さは、図形のプロポーションの要因により異なると考えられる。4つ目に、見えの大きさに影響する図形の要因として色の三属性の中の明度が挙げられる。図 1-1 のポスターでは、右上の文字は明るい灰色が使用されており、「I」や「B」は右上の文字よりも明度が低い色が使用されている。そのため、見えの大きさの調整には、明度の影響を考慮する必要があると考えられる。明度の高い白は膨張性があり、明度の低い黒は収縮性があることが知られている[36]。よって、図形内部の空間力

の強さは明度の要因により異なると考えられる。

以上より図形外部と図形内部の空間力の性質について、仮説を立てた。

- (a) 図形外部の空間力の強さは、図形の形態的特徴や配置角度及び輪郭からの距離により異なり、図形の周囲に空間力の場を形成する。
- (b) 図形内部の空間力の強さは、図形の形態や配置角度やプロポーション及び明度の差により異なる。

第3章

図形外部の空間力の強さと場の形成

第2章で述べたように、図形外部の空間力は圧迫感や緊張感といった図形外部の空間の印象に影響を与えており、スペーシングやアイソレーションの設定といった視覚調整に関連すると考えられる。そこで本章では、仮説(a)の検証を行うため、図形外部に生じる空間力について心理実験による定量的評価を行う。仮説(a)では図形外部の空間力の強さと場の形成について述べた。空間力の強さに影響するのは、図形の形態的特徴と配置角度及び輪郭からの距離3つの要因であり、空間力のある強さの部分を迎ると閉じた領域を形成すると考えられる。それぞれの要因の影響によって空間力の強さや場の形成に差が生じることが明らかになれば、仮説の裏付けが可能となる。また、仮説(a)のうち空間力の強さに影響する3つの要因は、それぞれ独立していると仮定した。具体的には、以下の検討を行う。

- 1) 図形の形態的特徴や配置角度及び輪郭からの距離の要因により空間力の強さに差が生じるか検証するため、並置した図形の中の一点に生じる空間力の強さについて定量的評価を行う。
- 2) 図形の周囲に空間力の場が生じるかを検証するため、図形外部の空間力の場について定量的評価を行う。

第1章の2節で述べたように、本章の心理実験の刺激には幾何学的平面図形を使用する。その中でも基本的な形態であると考えられる正多角形と正円を使用した。また、図形の色は先行研究との比較が可能であることや、紙面上で用いられることの多い条件であることから、図形は白以外の無彩色、背景を白とする。

3.1 図形外部の空間力の強さ

本節では、図形外部の空間力の強さを視覚的に感じる圧力（以下、視覚的圧力と記述する）として捉え、視覚的圧力の強さを検討する。具体的には、2つの刺激図形を平面に並置して、一方の刺激図形から他方の刺激図形の辺の中央に位置する点（図3-1）の視覚的圧力の強さを調べる。図形の形態的特徴や配置角度及び輪郭からの距離の要因により空間力の強さに差が生じるか検証するため、視覚的圧力の強さに影響する要因として、以下の3つを挙げた。

- 1) 刺激図形の形態的特徴
- 2) 刺激図形間の距離
- 3) 刺激図形の上下、左右の配置位置

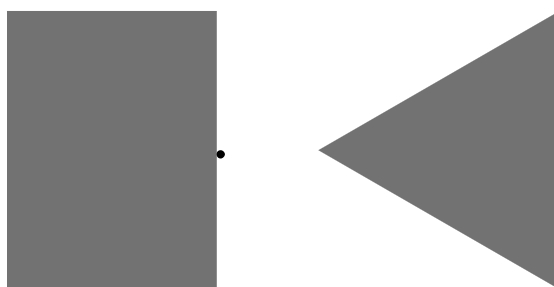


図 3-1 視覚的圧力の強さを評価する位置

3.1.1 実験方法

(1) 刺激

図形と図形間の空間に生じる空間力を検討するため、刺激図形 A と刺激図形 B を並置した。刺激図形 A は基本的な幾何学的図形である 3 つの形態から（正三角形、正方形、正円）を選択した。正円と正方形は形態的な特徴に変化を付けることができないため、正三角形のプロポーションを変更した。二等辺三角形の頂角の大きさは、正三角形の内角 60° を基準として 0.5 倍である 30° 、1.5 倍である 90° 、2.0 倍である 120° の 3 種類に加え、全部で 4 種類とした。刺激図形 A であるこれらの 6 つの図形は、図 3-2 に示すように 4 種類の三角形は A1~A4、正方形を A5、正円を A6 と記述する。刺激図形 A の面積は 900mm^2 に統一した。刺激図形 B は正方形と矩形とした。刺激図形 B は、組み合わせる刺激図形 A 毎に形を選択した。三角形と組み合わせる刺激図形 B は矩形とし、一边は三角形の底辺と平行で長さが等しく、もう一边の長さは 30mm とした。円と組み合わせる矩形の一边の長さは円の直径と等しく、もう一边は 30mm に設定した。正方形では、一边の長さが等しい正方形と組み合わせる一つの刺激とし、刺激図形 A と刺激図形 B の区別をしなかった。刺激図形 A と刺激図形 B 間の距離は 6 段階（1、15、30、45、60、75mm）とした（図 3-3）。2 つの刺激図形の位置関係は、刺激図形 A が上下、左右の全部で 4 通りとし、（図 3-4）刺激は全部で 132 個とした。刺激図形の色は、使用するディスプレイにより誤差が生じるため、測色を行った（東陽テクニカ 二次元輝度計 ICAM-ST）。使用した色は、マンセル表色系のニュートラルグレーとした（測色値は $X=18.2$ 、 $Y=19.05$ 、 $Z=21.67$ ）。

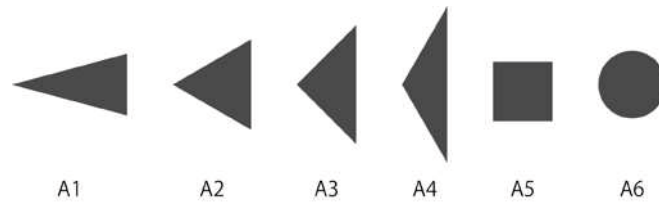


図 3-2 使用した刺激図形

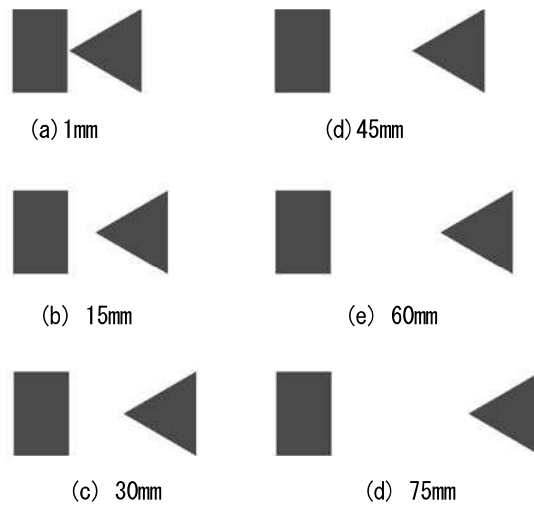


図 3-3 距離が異なる刺激例

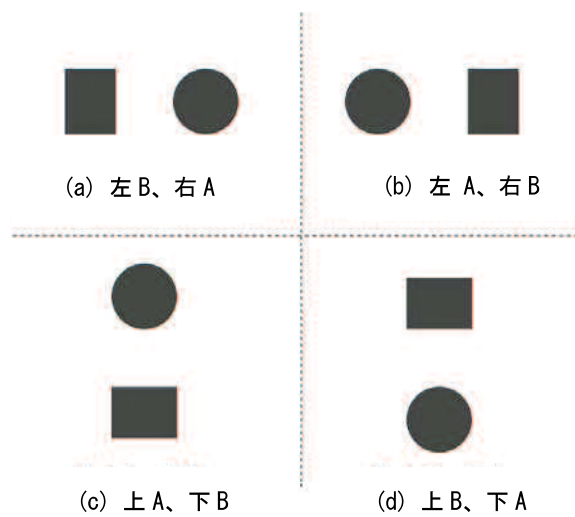


図 3-4 配置位置が異なる刺激例

(2) 手続き

刺激は、液晶ディスプレイ（EIZO Flex Scan S1921）に提示した。実験は天井蛍光灯の点灯した室内で行い、顎台を使用して視距離は約50cmに固定した（図3-5）。

実験参加者が図形外部の空間力を捉えやすいように視覚的圧力とし、単位面積に働く力である物理的な圧力として判断するように教示を行った。具体的には、日常的にも頻繁に目にする図形であり、本研究で定義する空間力を生じさせると考えられる矢印（図3-6）を実験参加者に呈示した。この図形を用いて空間力を「矢印の先端から水平に正方形の右側の辺の中心に対して感じる空間的な力」と教示した。そして、刺激図形Aから刺激図形Bの一边の中央に位置する点に対し、視覚的圧力の強さを評価させた。正方形どうしの場合には、向かい合う辺のうち一方の辺の中央に位置する点に対する視覚的圧力とした。刺激は、画像を提示するプログラムを用いて表示した（開発環境：Processing 1.5.1）。圧力の強さは「全くない」から「非常に強い」までの5段階とし、回答用紙に記入させた。評価後、マウスをクリックすると、インターバルを挟んで次の刺激を提示した。インターバルは、直前に提示した刺激の残像が次の刺激に影響を与えないように2秒間挿入した。実験の所要時間は、1人あたり約40分であった。

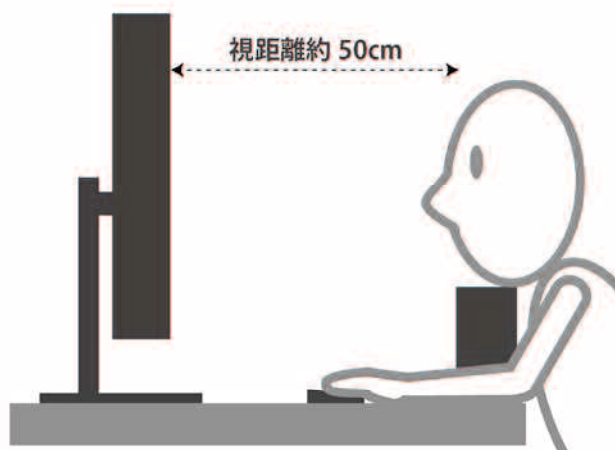


図3-5 実験環境

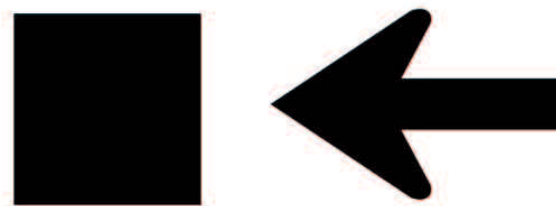


図 3-6 教示に使用した図形

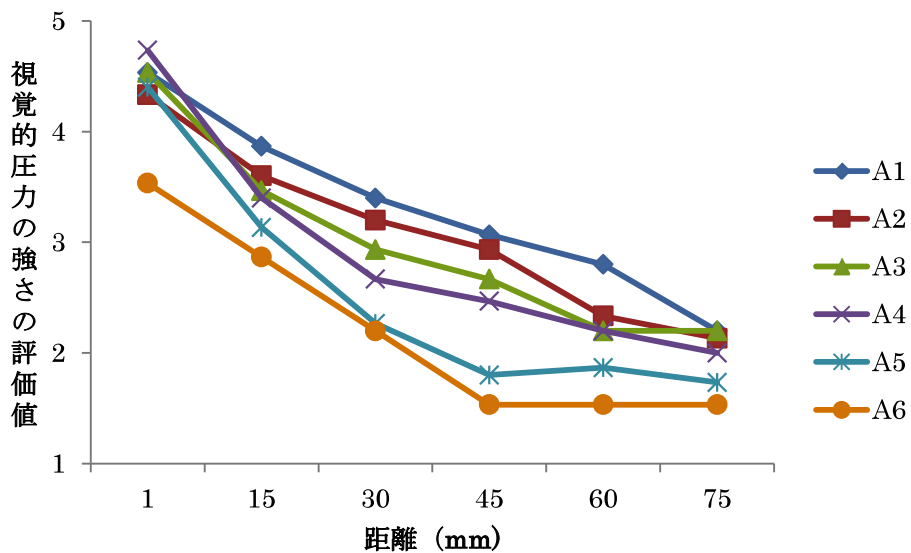
(3) 実験参加者

20 ～ 50 歳 (平均年齢 24.4、標準偏差 = 6.5) の大学生と教員、合計 20 名が参加した (男性 9 名、女性 11 名)。

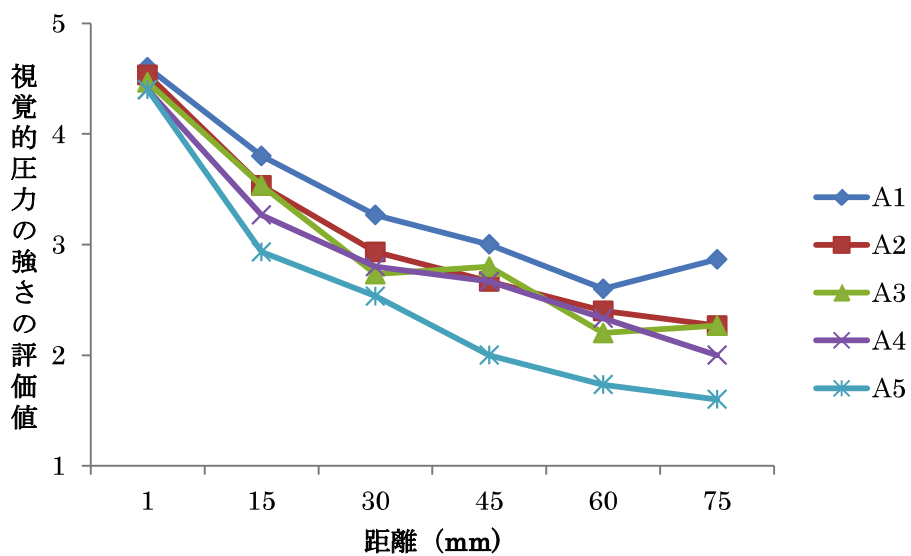
3.1.2 結果と考察

視覚的圧力の強さの評価値を 1～5 の数値に置き換え、配置位置ごとに平均値を求めた (図 3-7(a)～(d))。1 は圧力が全くない、5 は非常に強いことを示している。

また、視覚的圧力の評価値に対して、形態 (6 水準) と刺激図形間の距離 (6 水準) 及び配置位置 (4 水準) を要因とする、3 要因分散分析を行った。その結果、形態と距離の主効果が有意となった ($F(5, 95)=14.24$ 、 $p<.001$; $F(5, 96)=101.63$ 、 $p<.001$)。さらに形態と距離の交互作用が有意であった ($F(25, 475)=2.48$ 、 $p<.001$)。分散分析により、図形の形態的特徴と輪郭からの距離により図形外部の空間力の強さに差が生じることが明らかとなった。よって、仮説(a)で述べた「図形外部の空間力の強さは、図形の形態的特徴と輪郭からの距離により異なる」を支持する結果となった。

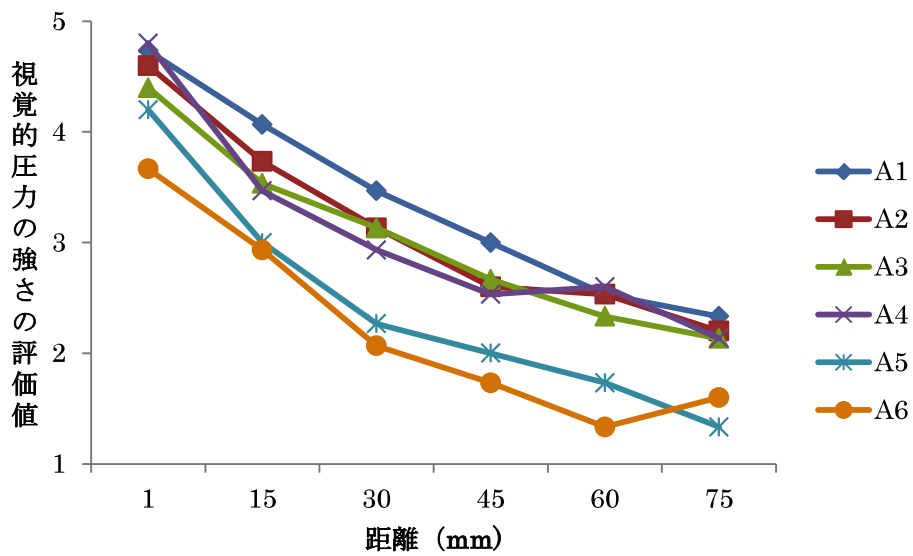


(a) 右

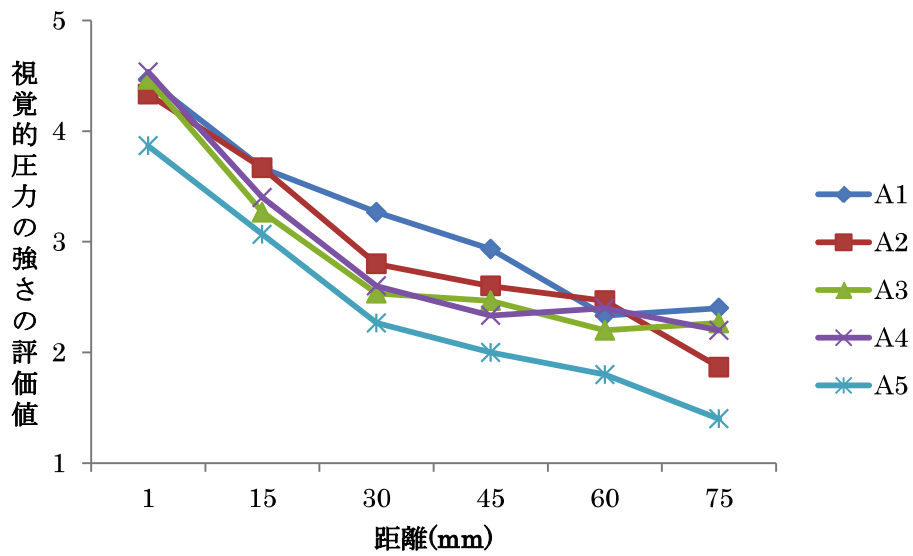


(b) 左

図 3-7 配置位置ごとの視覚的圧力の評価値の平均値



(c) 上



(d) 下

図 3-7 配置位置ごとの視覚的圧力の評価値の平均値

(1) 形態的特徴による視覚的圧力

図形間の距離毎に単純主効果検定を行ったところ、全ての図形間の距離（1、15、30、45、60、75mm）における形態的特徴の主効果が有意であった（ $F_s(5, 570) = 8.28; 5.18; 10.77; 13.32; 10.93; 8.06, p < .001$ ）。

図形間の距離ごとに形態を比較すると、図形間の距離が1mmの場合は、A1がその他の形態よりも有意に評価値が高く、A6は有意に評価値が低い傾向が示された。また、図形間の距離が15mmの場合は、A1はA5とA6よりも有意に評価値が高い傾向となった。A6はA1とA2よりも有意に評価値が低い傾向が認められた。しかし、その他の形態との有意な差は認められなかった。図形間の距離が30mmの場合は、A1がA3～A6よりも有意に評価値が高い傾向みられた。また、A2はA5とA6よりも有意に評価値が高い傾向が示された。図形間の距離が45mmの場合は、A1はA4、A5、A6よりも評価値が高く、A2とA3及びA4は、A5とA6よりも有意に評価値が高い傾向がみられた。図形間の距離が60mmの場合は、A1とA2及びA4がA5とA6よりも評価値が高く、A3はA6との評価値の差が有意となった。図形間の距離が75mmの場合は、A1とA2及びA3がA5とA6よりも評価値が高い傾向が示された。また、A5とA6の間には、有意な差はみられなかった。

以上の結果から、比較的図形間の距離の短い1、15、30、45mmの場合では、最も内角の小さい頂点を持つ三角形が他の三角形よりも評価値が有意に高い傾向が示された。また、三角形は正方形と正円よりも評価値が高いことから、頂点では視覚的圧力が強く、さらに三角形の内角が小さいほど視覚的圧力が強くなると考えられる。一方で、頂点のない正方形の辺や正円の円弧では視覚的圧力が弱いと推測できる。よって、空間力の強さは頂点の大きさや辺及び円弧といった形態的特徴により異なる傾向が示された。

(2) 図形間の距離による視覚的圧力

形態毎に行った距離の単純主効果検定では、全ての形態（A1、A2、A3、A4、A5、A6）において要因の主効果が有意であった（ $F_s(5, 570) = 47.86; 50.02; 58.31; 65.53; 75.05; 56.01, p < .001$ ）。A1～A3は、距離の単純主効果が有意となった（ $p < .001$ ）。Ryan法による多重比較（5%水準）の結果、距離は1mm > 15mm > 30mm > 45mm > 60、75mmの関係が示された。A4とA6は、1mm > 15mm > 30、45mm > 60、70mmとなった。A5は、1mm > 15mm > 30mm > 45、60、75mmとなった。

多重比較（Ryan法）により、最も刺激図形間の距離が短い1mmの場合、15～75mmよりも有意に評価値が高い結果となった。15mmの場合は30～75mm、30mmの場合は45～75mmより

も有意に評価値が高いことが示された。しかし、45mmと60mm、60mmと75mmでの評価値の差は有意ではなかった。1mmと15mm、30mmでは距離の差によって評価値の変化が大きい傾向がみられた。しかし、45～75mmでは、距離に差があっても、評価値の変化が小さい傾向が示された。刺激図形間の距離に関しては、距離が長くなるほど評価値が低くなると考えられる。その理由として、形態毎に空間に及ぼす影響の範囲や強さが異なることが要因として考えられる。刺激図形間の距離が1mmの場合は、どの刺激図形であっても強い視覚的圧力が生じると考えられる。しかし、刺激図形間の距離が長くなると視覚的圧力が減衰するため、正方形や正円では視覚的圧力が弱くなると推測できる。

形態の特徴と距離に関しては、内角の小さい三角形の刺激図形間の距離が短いほど圧力が強い傾向がみられた。これに関連して Maurice[11]は、観察者が図形を観察する場合に、観察者自身を図形に置き換えると述べている。観察者は図形に対して自分を投影し、これまでに経験した物理的な位置関係によって感じる視覚的圧力から、図形に対する視覚的圧力を判断していると推測できる。よって、内角の小さい三角形の持つ鋭い印象や、図形間の距離が短いことによって感じる圧迫感等の印象が、視覚的圧力の強さに影響していると考えられる。

(3) 配置位置による視覚的圧力

分散分析では、配置位置の主効果が有意ではなかった。しかし、実験に参加した20名のうち8名は、内省報告で配置位置により視覚的圧力の感じ方が異なると回答した。特に上下と左右で差を感じた実験参加者が多かった。そこで、形態(4水準)と距離(6水準)ごとに評価値の平均の大きさを比較した。その結果、刺激図形Aの配置位置が上のとき、最も評価値が強い場合が12通りとなり、最も多かった。次いで、刺激図形Aの配置位置が下の場合となり、6通りであった。刺激図形Aが上下の配置位置にある場合には、左や右よりも評価値が高い傾向が示された。

図形が上にある配置位置で最も評価値が高い理由として、重力による垂直方向の視覚的圧力が加算されたと考えられる。形態と距離の評価値を配置位置毎に比較した結果から、配置位置の影響は形態と距離よりも視覚的圧力に及ぼす影響は小さいと推測できる。しかし、垂直方向に対する視覚的圧力は、水平方向よりも強く感じる可能性が示された。

以上より、仮説(a)で述べた「図形外部の空間力の強さは、図形の配置角度により異なる」を支持しない結果となった。しかし、図形外部の空間力の強さは配置角度の影響を受ける可能性が示された。

3.1.3 まとめ

本節では、空間力を視覚的圧力としてとらえて定量的評価を行うことで、仮説(a)の空間力の強さに影響すると述べた3つの要因について検証を行った。以下に、本研究で示された空間力の強さに傾向をまとめる。

- 1) 三角形は正円と正方形よりも強い。また、対向する頂点の内角が小さい三角形ほど強い。
- 2) 図形間の距離が短いほど強い。
- 3) 方向は、強さに影響しない。しかし、力の方向が垂直の場合は水平よりも強くなる可能性が示された。

これらの傾向は、仮説(a)で述べた「図形外部の空間力の強さは、図形の形態的特徴と輪郭からの距離により異なる」を支持する。

3.2 図形の周囲に生じる空間力の場の形成

第3章の1節では、並置した図形の中の一点に生じる空間力の強さの定量的評価を行い、形態的特徴と図形からの距離により空間力の強さが異なる傾向が示された。三角形の頂点と正方形の辺では空間力の強さに差が生じる傾向が示されたことから、1つの図形においても頂点や辺などの形態的特徴の差により空間力の強さが異なる可能性がある。しかし、本研究で対象とする幾何学的図形の輪郭は、辺や角などの形態的特徴が同じ部分が繰り返すことから、閉じた領域を形成すると考えられる。よって、図形外部の空間力は、形態的特徴の影響を受けて場を形成すると考えられる。そこで本節では、図形の周囲に空間力の閉じた領域である場が生じるかを検証するため、図形外部の空間力の場についての心理実験により定量的評価を行う。心理実験では、正三角形、正方形、正五角形、正六角形及びそれぞれの配置角度を変えた図形と正円を刺激とした。実験時間が長くなることによる、実験参加者の疲労を考慮し、刺激図形を2つの実験に振り分けた。

3.2.1 正三角形と正方形を刺激とした心理実験

(1) 刺激

基本的な幾何学的図形である正三角形 A と正三角形を 60° 回転させた図形（正三角形 B）及び正方形（正方形 A）と正方形を 90° 回転させた図形（正方形 B）を刺激とした（図 3-19）。図形の周囲に刺激図形に接しないように一定の距離をとって、空間力の分布を表す点（以下、分布点と記述する。）を 72 個配置した（図 3-9）。この点は、刺激図形の内角二等分線の交点である重心を原点として 5° 間隔に設定した軸上に配置されており、軸上であれば自由に移動可能である（図 3-10）。

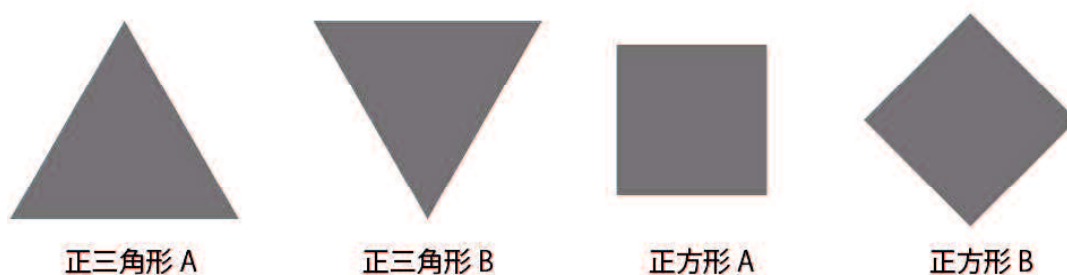


図 3-8 刺激図形

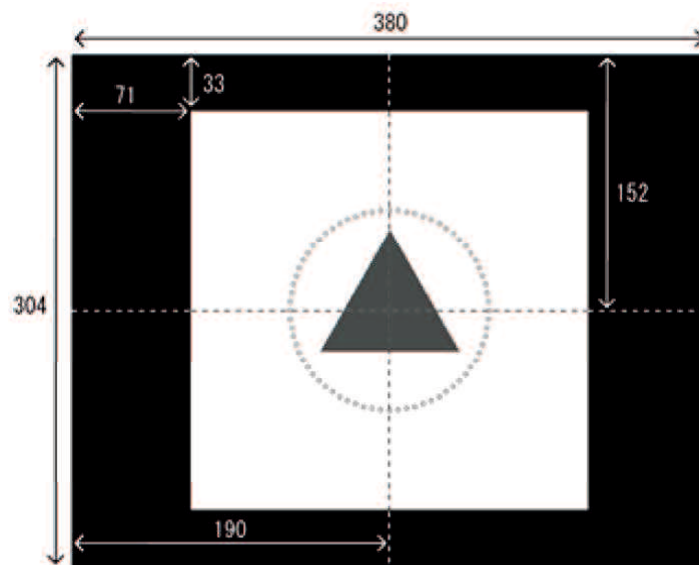


図 3-9 刺激を呈示した画面（単位：mm）

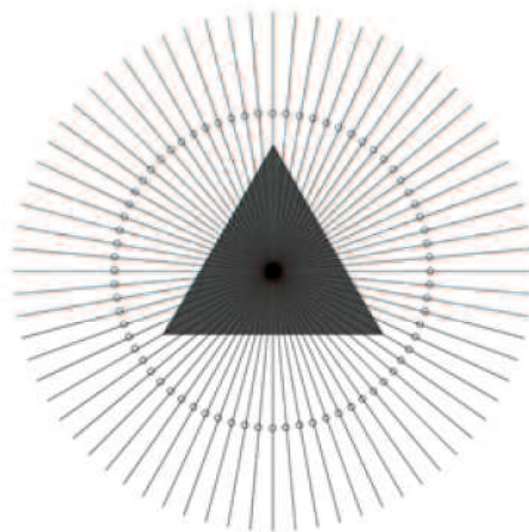


図 3-21 軸と分布点の設定（正三角形の場合）

(2) 実験環境

実験はディスプレイ周辺の照度をおおよそ 200lx に調節した屋内で行った。提示には液晶ディスプレイ (Flex Scan T566、768*1024pixel) を使用した。視距離は約 60cm とし、CRT ディスプレイの中央に目の高さを合わせるようにした。刺激の呈示はプログラム（開発環境：

processing1.2.1) によって制御した。

(3) 手続き

教示では、実験参加者が図形外部の空間力を把握し易いように、日常的にも頻繁に見かける図形である矢印を印刷した紙(図3-11)を呈示し、矢印の先端付近から左側の空間に向かって感じる力を空間力と説明した。その空間力の強さは実験参加者の任意の設定とし、マウスを操作して感じる位置に分布点を移動させた。また、分布点を移動する際には、地図の等高線と同じように分布点を同程度の空間力を感じる位置とするように指示した。実験は実験参加者のペースで行い、刺激を提示する順番はランダムとした。刺激図形毎に、1~3分のインターバルを挿入した。



図3-11 教示に使用した図形

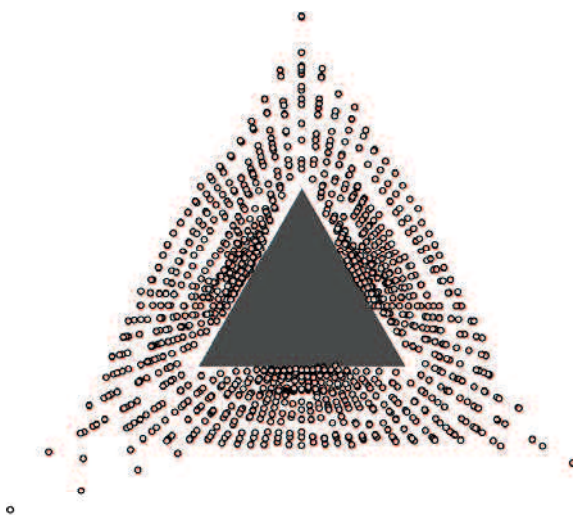
(4) 実験参加者

正三角形Aと正三角形Bでは20歳~25歳(平均21.8歳)の計18名(男性9名、女性9名)、正方形Aと正方形Bでは20歳~25歳(平均21.9歳)の計17名(男性8名、女性9名)が参加した。

3.2.2 結果と考察

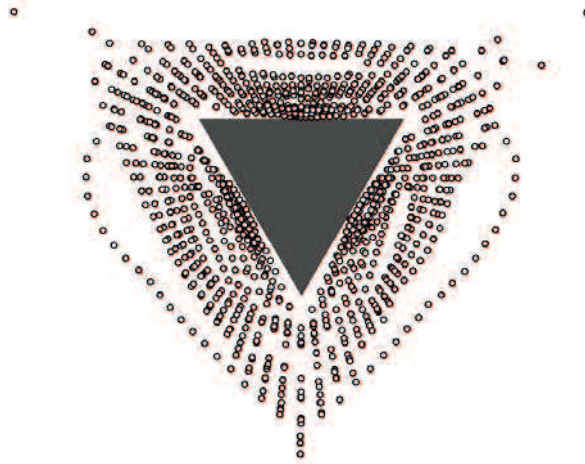
形態毎に得られた分布点を、1つの図にプロットした(図3-12(a)~(d))。また、教示では空間力の強さについては統制していないため、実験参加者ごとに分布点が表す空間力の強さが異なると考えられる。そのため、図形毎に中心から分布点までの距離の平均値が等しくなるように標準化を行った。さらに、それぞれの刺激図形の中心を通る軸のうち、垂直上方向を 0° として、時計回りに輪郭から分布点までの距離の平均値を求めた(図3-13(a)~(d))。さらに、標準化後の平均値の位置に分布点をプロットした(図3-14(a)~(d))。

図3-13(a)~(d)のグラフより、隣り合う軸の空間力の強さは類似する傾向が示された。また、図3-14の(a)~(d)を比較すると、図形の周囲に閉じた空間力の場が形成していると判断できることから、仮説(a)で述べた「図形の周囲に空間力の場を形成する」を支持する結果が得られた。

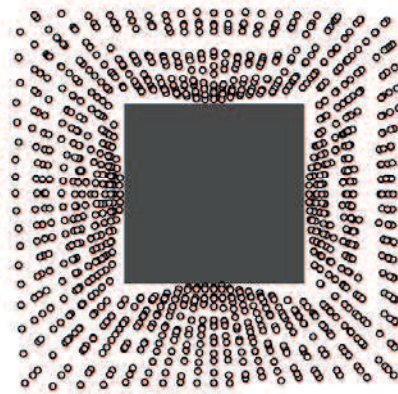


(a) 正三角形

図3-12 全ての実験参加者の分布点を重ねた図

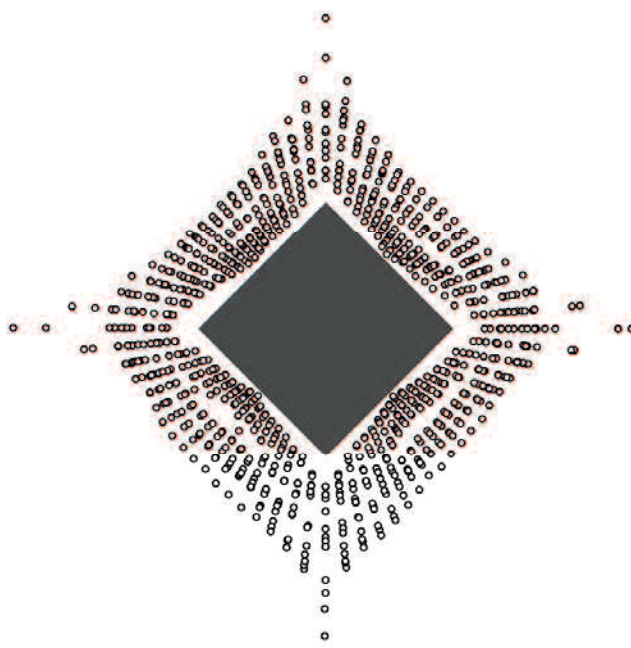


(b) 逆正三角形



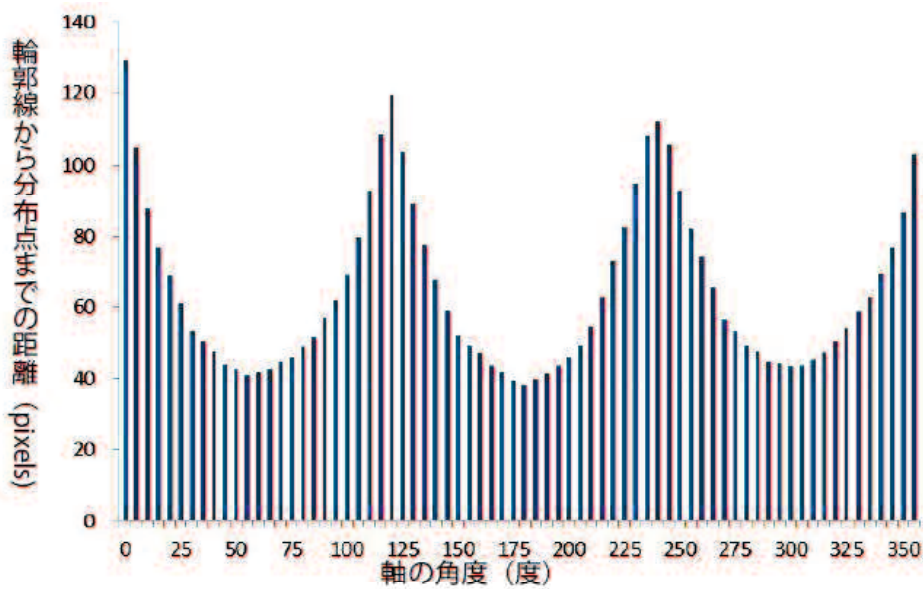
(c) 正方形

図 3-12 全ての実験参加者の分布点を重ねた図



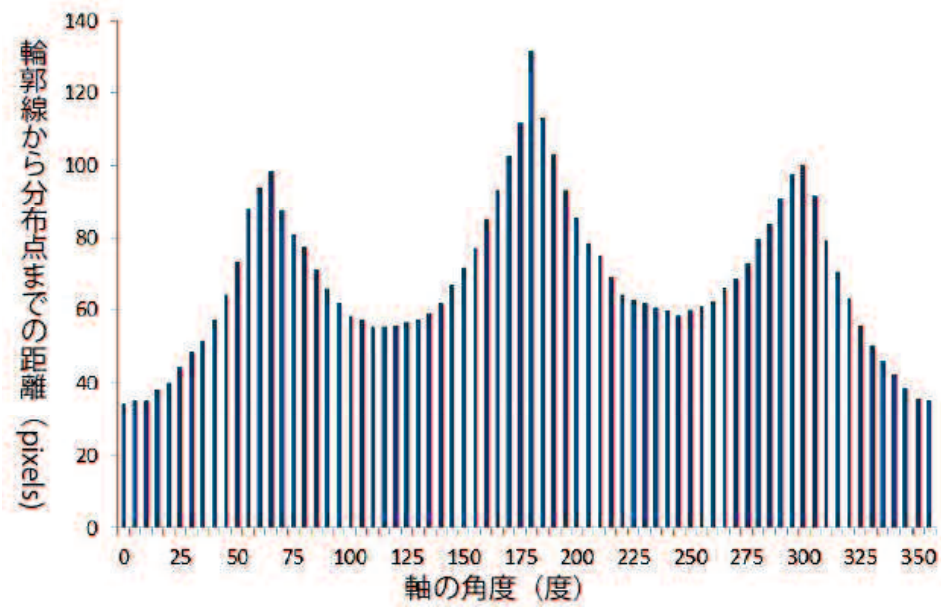
(d) 菱形

図 3-12 全ての実験参加者の分布点を重ねた図

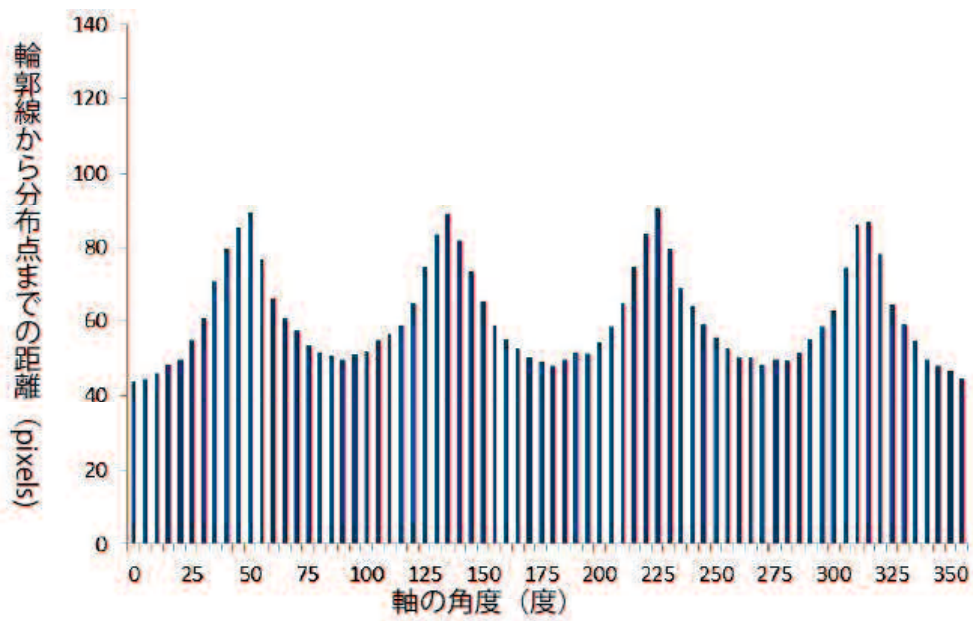


(a) 正三角形

図 3-13 角度毎の輪郭線からの距離の平均値

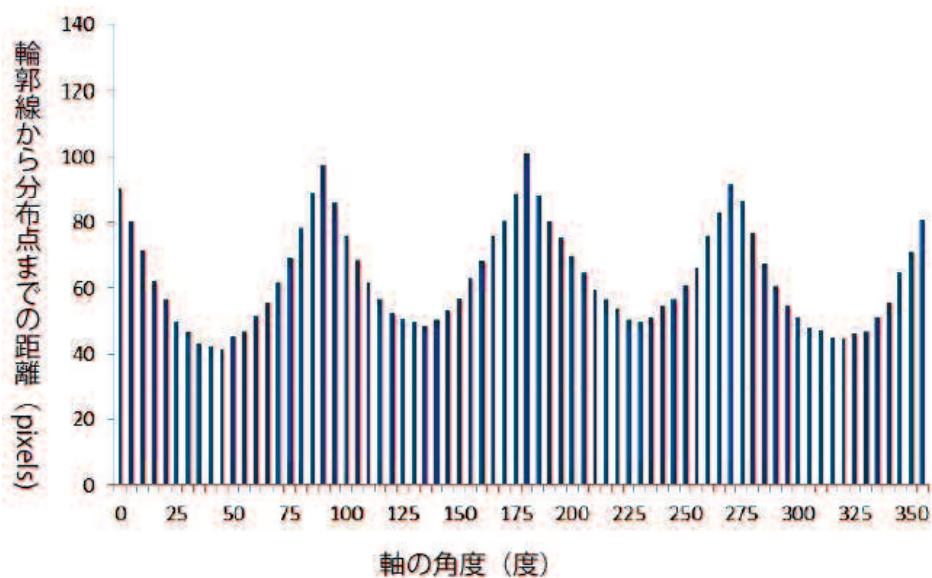


(b) 逆正三角形



(c) 正方形

図 3-13 角度毎の輪郭線からの距離の平均値



(d) 菱形

図 3-13 角度毎の輪郭線からの距離の平均値

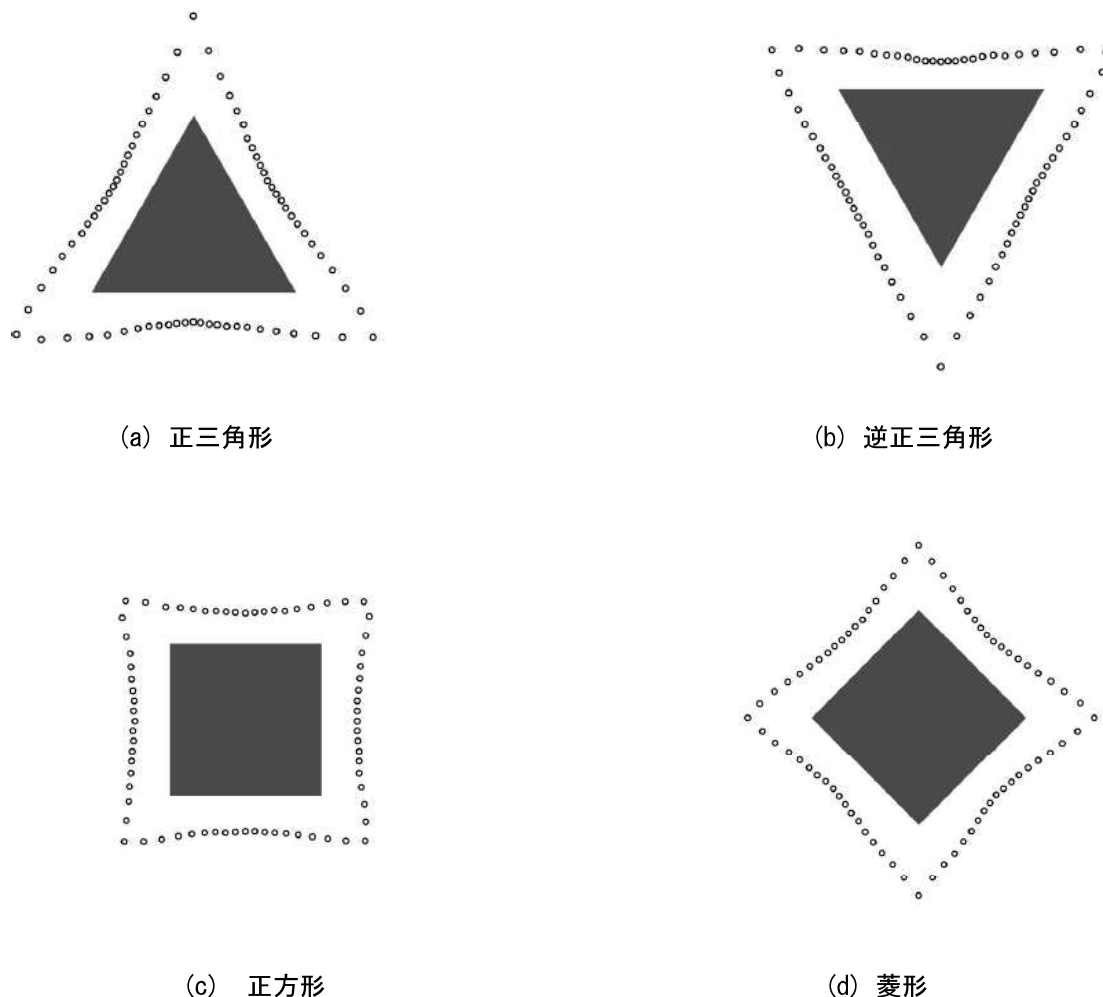


図 3-14 標準化した分布点の位置

軸の配置角度を要因とする一要因分散分析を行った結果、全ての刺激図形で要因の主効果が有意であった ($F_s(5, 570) = 8.28; 5.18; 10.77; 13.32; 10.93; 8.06, p < .001$)。また、多重比較 (Ryan 法) の結果、多くの角度で輪郭からの長さの差が有意となった。

正三角形 A では、 0° 、 5° 、 10° は 40° 、 45° 、 50° よりも有意に大きいことが示された。これらは、正三角形の頂点周辺と辺の中央周辺であり、正三角形 A の他の 2 つの頂点でも同様の傾向が示された。また、その他の図でも正三角形 A と同様に、頂点周辺の輪郭から分布点までの長さは、辺の中央周辺よりも有意に長い傾向が示された。

刺激図形の内角二等分線上にある分布点を比較すると、正三角形 A では輪郭から分布点ま

での距離が最も長いのは 0° 、正三角形 B と正方形 B では 180° であった。正方形は4つの頂点がほぼ同じ結果となった。内角二等分線上にある分布点において差のあった正三角形 A と正三角形 B 及び正方形 B は、頂点の内角二等分線の向きが垂直もしくは水平方向となっている。この条件では他の内角二等分線上にある分布点に比べて、輪郭からの距離が長い傾向が示された。よって、空間力は異方性を持つ可能性が示された。

3.2.3 正五角形と正六角形及び正円を刺激とした心理実験

(1) 刺激

基本的な正多角形である正五角形（正五角形 A）と正五角形 A を 36° 回転させた図形（正五角形 B）及び正六角形（正六角形 A）と正六角形 A を 30° 回転させた図形（正六角形 B）及び正円を刺激図形とした（図 3-15）。分布点は2節と同じ設定として、72個配置しており、 5° 間隔の軸が頂点を通らない場合は、軸の角度を部分的に変更した。

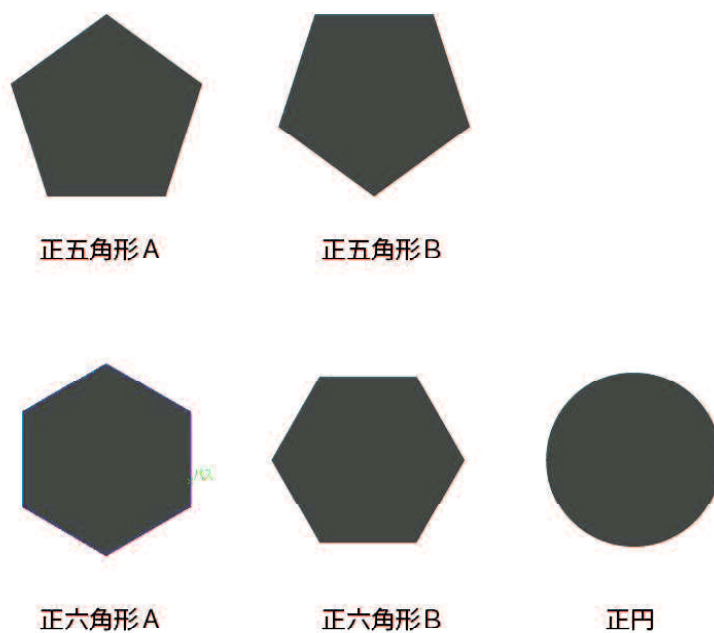


図 3-15 刺激図形

(2) 手続き

実験参加者はマウスを操作して、刺激図形の空間力を感じる位置に分布点を移動させた。本節では、分布点を制御するプログラムを変更し、複数の分布点を選択して同時に動かせる

ようにした。その他の教示内容は2節と同様とした。

(3) 実験参加者

正五角形Aと正五角形B及び正六角形Aと正六角形B、では、20歳～25歳（平均22.2歳）の計19名（男性7名、女性12名）、正円では20歳～25歳（平均22.1歳）の計19名（男性8名、女性11名）が参加した。

3.2.4 結果と考察

形態毎に得られた分布点を、1つの図にプロットした（図3-16(a)～(d)）。刺激図形毎に、中心から分布点までの距離の平均値が等しくなるように標準化を行った。さらに、それぞれの刺激図形の中心を通る軸のうち、垂直上方向を 0° として、時計回りに輪郭から分布点までの距離の平均値を求めた（図3-17(a)～(e)）。さらに、標準化後の平均値の位置に分布点をプロットした（図3-18(a)～(e)）。

図3-17(a)～(e)のグラフより、隣り合う軸の空間力の強さは類似する傾向が示された。また、図3-14の(a)～(e)を比較すると、図形の周囲に閉じた空間力の場が形成していると判断できることから、仮説(a)で述べた「図形の周囲に空間力の場を形成する」を支持する結果が得られた。

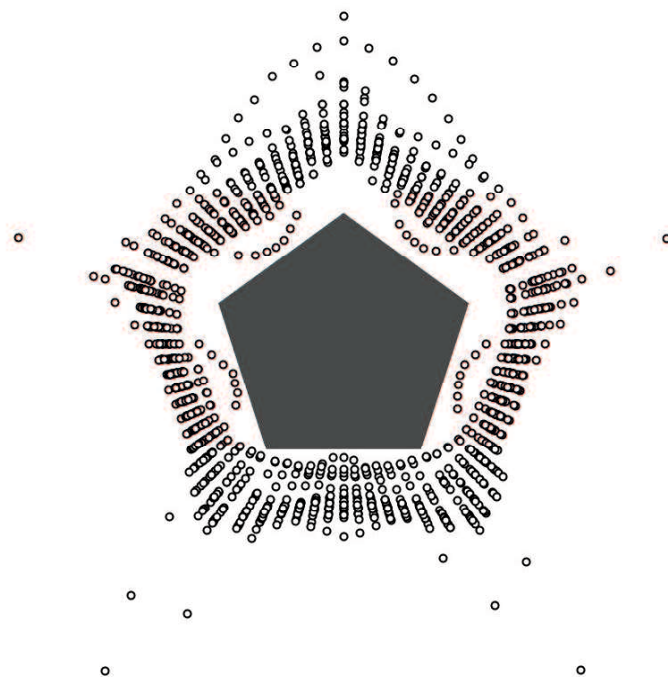
標準化後の平均値に対して、軸を要因とする一要因分散分析を行った結果、4つの刺激図形（正五角形A、正五角形B、正六角形A、正六角形B）で要因の主効果が有意であった（ $F_s(71, 1278) = 5.02; 8.44; 12.08; 10.78, p_s < .001$ ）。多重比較（Ryan法）の結果、正五角形Aでは、 0° 、 5° 、 10° は 40° 、 45° 、 50° よりも有意に大きいことが示された。これらは、正五角形Aの頂点周辺と辺の中央周辺であり、3節と同様に頂点周辺の輪郭から分布点までの距離は辺の中央周辺よりも有意に長い傾向が示された。このように頂点付近では辺の中央付近よりも輪郭から分布点までの距離が有意に長い傾向は、正五角形Bと正六角形A及び正六角形Bでも同様であった。

正五角形Aの5つの頂点を比較すると、輪郭から分布点までの距離が最も長いのは軸の角度 0° であった。その他の図形では、正五角形Bでは 180° 、正六角形Aでは 0° と 180° 、正六角形Bでは 90° と 270° であった。以上より、2節と同様に内角二等分線が垂直もしくは水平方向に向く場合に輪郭から分布点までの距離が長い傾向が示された。一方、頂点を持たない正円では、輪郭から分布点までの距離が特に長い箇所は見られなかった。

正五角形Aの 0° と正五角形Bの 180° 、正六角形Aの 0° と 180° 及び正六角形Bの 90° と 270° では輪郭から分布点までの距離が長い傾向が示された。この理由としては、頂点の

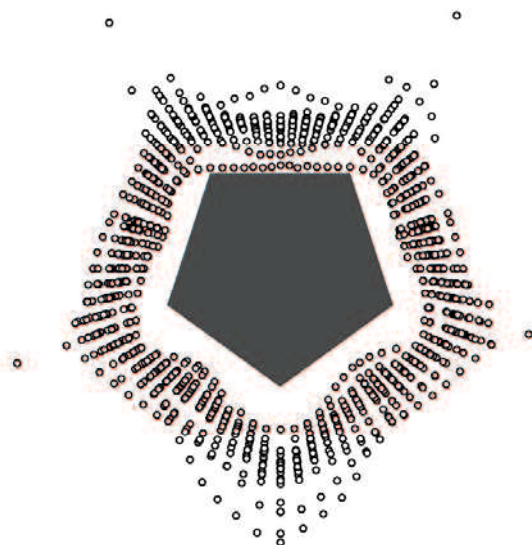
内角二等分線が垂直水平方向に向いている場合、空間力は増幅すると考えられる。

正円については、輪郭から分布点までの距離はほぼ同じであった。この理由として、正円は頂点や辺を持たない形態であるため空間力の強さが一定であるためだと考えられる。

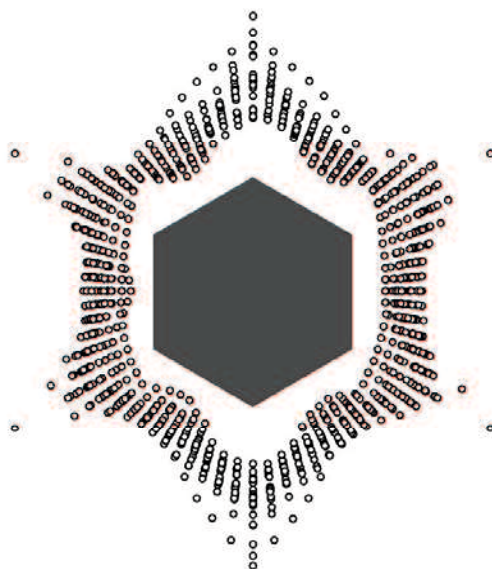


(a) 正五角形 A

図 3-16 全ての実験参加者の分布点を重ねた図

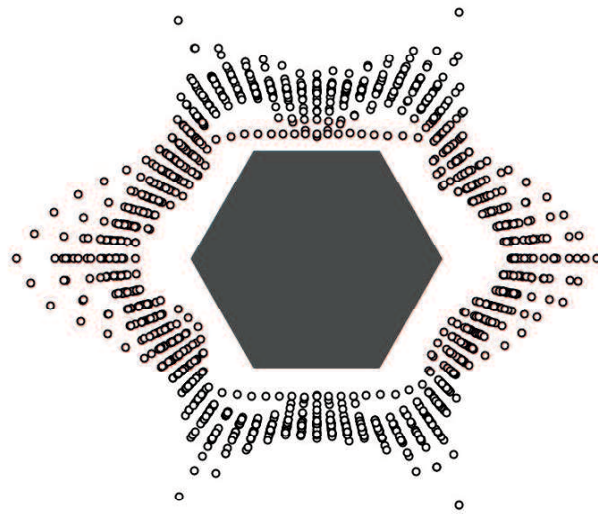


(b) 正五角形B



(c) 正六角形A

図 3-16 全ての実験参加者の分布点を重ねた図

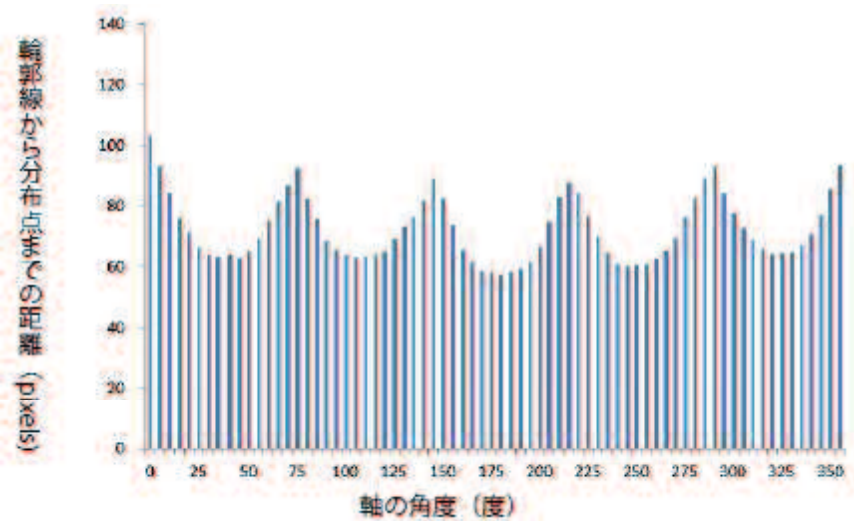


(d) 正六角形B

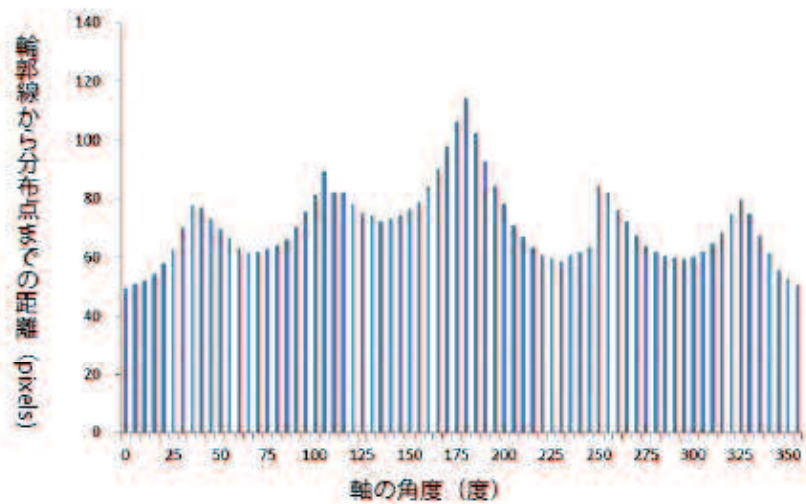


(e) 正円

図3-16 全ての実験参加者の分布点を重ねた図

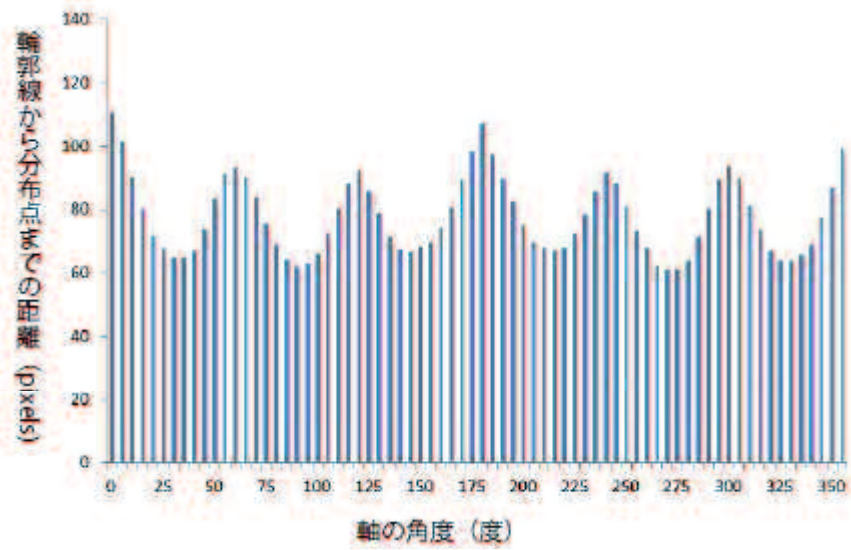


(a) 正五角形 A

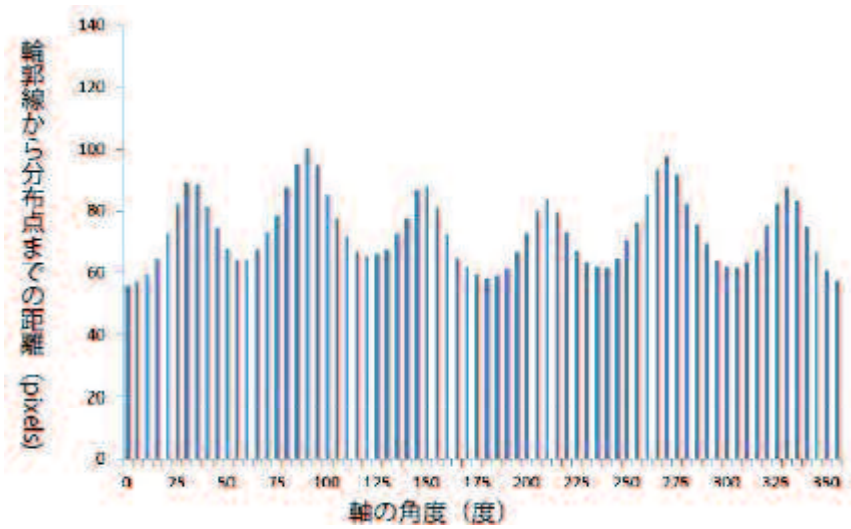


(b) 正五角形 B

図 3-17 角度毎の輪郭から分布点までの平均値

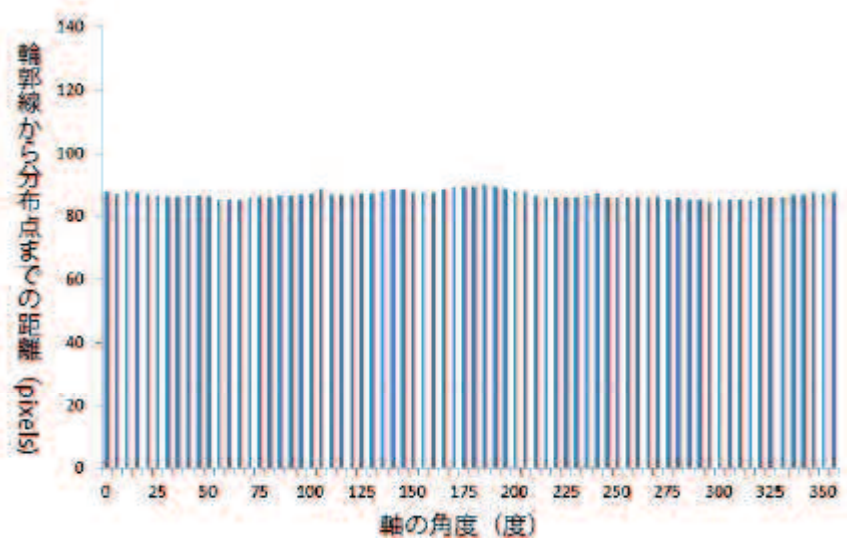


(c) 正六角形 A



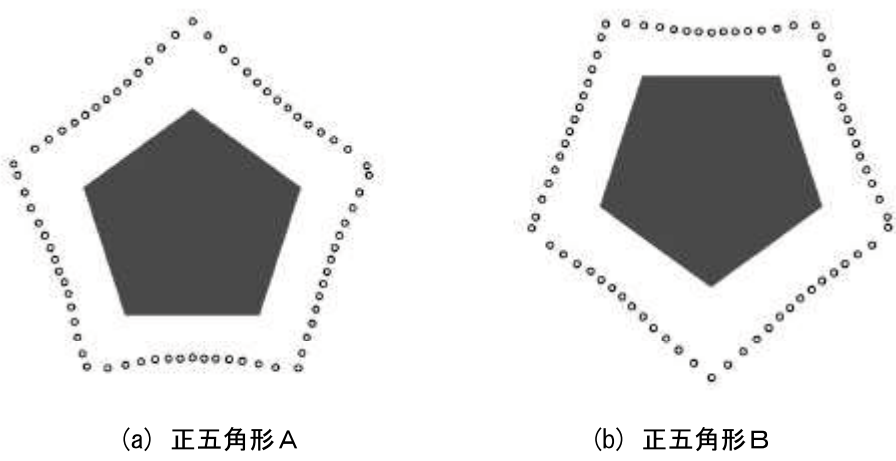
(d) 正六角形 B

図 3-17 角度毎の輪郭から分布点までの平均値



(e) 正円

図 3-17 角度毎の輪郭から分布点までの平均値



(a) 正五角形 A

(b) 正五角形 B

図 3-18 標準化した分布点の位置

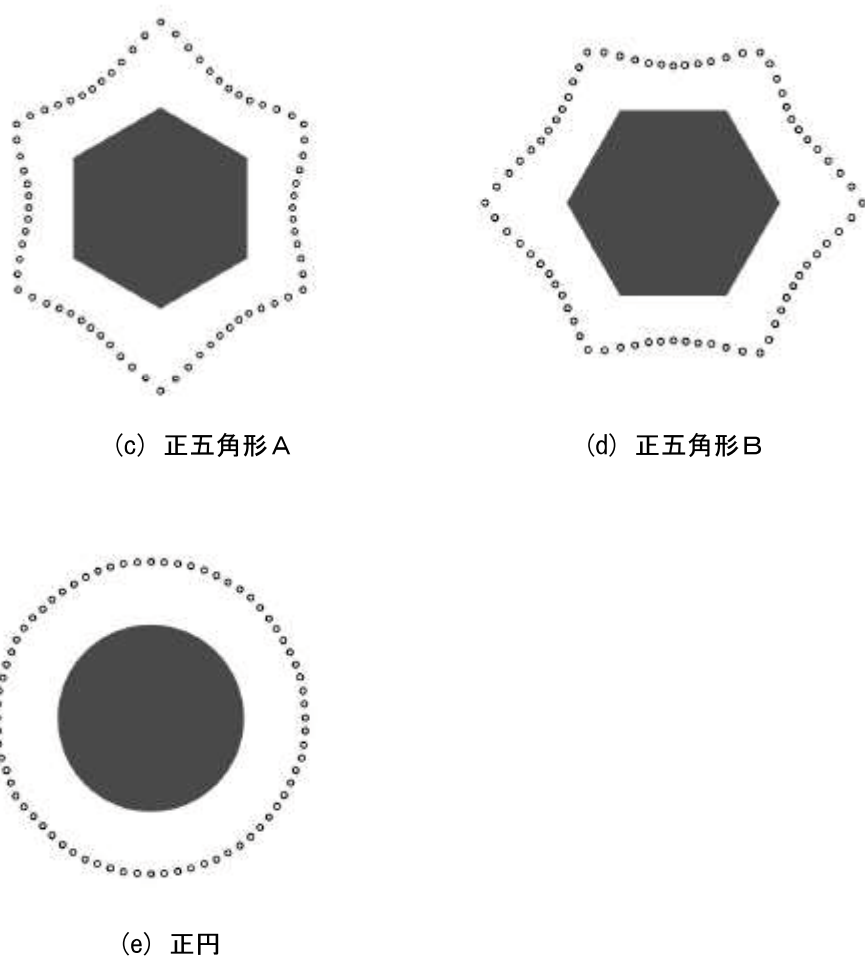


図 3-18 標準化した分布点の位置

3.4 形態の差による空間力場の場

2 節と 3 節で対象とした全ての刺激図形について、頂点の内角二等分線上の輪郭から分布点までの平均値とすべての分布点の平均値を求めた (表 3-1)。その結果、頂点部分の輪郭から分布点までの距離は、内角の最も小さい正三角形 A が長いことが示された。しかし、その他の正多角形では、内角の大きさと輪郭から分布点までの距離の間に一定の傾向は示されなかった。この理由としては、正三角形 A と正三角形 B でも頂点の平均値が約 12 pixels 異なることから、異方性等の他の要因が影響していると考えられる。

また、全ての軸に対する輪郭から分布点までの距離については、頂点の数が多くなるほど長い傾向があり、正円は最も長くなった。この理由としては、頂点の影響により強まった空

間力は頂点から離れるほど弱まり、辺の中央で最も弱くなると考えられる。そのため、辺が長ければいと減衰すると推測できる。よって、頂点の数が多いほど辺が短くなるため、全体の空間力は強いと考えられる。さらに、正円が全分布点の平均値を比較すると最も長いことから、辺よりも凸である円弧の空間力が強いと考えられる。

表 3-1 刺激図形毎の輪郭から分布点までの平均値(pixels)

	正三角形A	正三角形B	正方形A	正方形B	
頂点のみ	120	109	88	95	
全て	65	69	61	63	
	正五角形A	正五角形B	正六角形A	正六角形B	正円
頂点のみ	92	88	98	91	
全て	72	71	78	74	89

3.5 まとめ

2節と3節の実験により、内角の大きさ等の形態的特徴の差による基本的な幾何学的平面図形の図形外部に生じる空間力の場の形成について、次の傾向が示唆された。

- 1) 刺激図形と概ね中心を同じとし、相似形に近い状態で形成する。
- 2) 頂点の内角二等分線の方に近い程強く、遠い程弱くなり、図形の辺の中心で最も弱くなる。
- 3) 異方性があり、頂点の内角二等分線の方向が垂直、水平に近い程強い。

また、隣り合う軸の空間力の強さは類似しており、図形の周囲に閉じた空間力の場が形成していると判断できることから、仮説(a)で述べた「図形の周囲に空間力の場を形成する」を支持する結果が得られた。

第4章

図形の見えの大きさ

第2章で述べたように、図形の見えの大きさは図形内部の空間力の影響であり、図形内部の空間力が強いと見えの大きさが大きいと仮定し、仮説(b)を立てた。そこで本章では、仮説(b)の検証を行うため図形の見えの大きさについて心理実験による定量的評価を行う。仮説(b)は、図形内部の空間力は、図形の形態や配置角度やプロポーション及び明度の4つの要因により強さは異なると考えられる。それぞれの要因の影響によって見えの大きさに差が生じることが明らかになれば、仮説の裏付けが可能となる。また、これら4つの要因は、それぞれ独立していると仮定した。具体的には、以下の要因の差により見えの大きさ差が生じるか検証するため、見えの大きさの定量的評価を行う。

- 1) 図形の形態
- 2) 正多角形の配置角度
- 3) 正多角形のプロポーション
- 4) 図形の明度

第1章の2節と第3章の冒頭で述べたように、本章の心理実験の刺激には幾何学的平面図形を使用する。その中でも基本的な形態であると考えられる正多角形と正円及びこれらの図形の組み合わせによって形成される複合図形を使用した。また、図形の色は先行研究との比較が可能であることや、紙面上で用いられることの多い条件であることから、図形は白以外の無彩色、背景を白とする。

4.1 図形の形態と配置角度の差

本実験では、基本的な正多角形の面図形を対象とし、形態の差と配置角度の異なる図形の見えの大きさ順について検討することで、図形の形態の差により図形内部の空間力に差があるという仮説の検証を行う。

4.1.1 方法

(1) 刺激

図形の面積を統一した、図 4-1 に示す 9 つの正多角形を刺激図形とした（正円）。刺激図形の色は、使用するディスプレイにより誤差が生じるために測色を行い（東陽テクニカ 二次元輝度計 ICAM-ST）、マンセル表色系のニュートラルグレーとした（測色値は $X = 18.2$ 、 $Y = 19.05$ 、 $Z = 21.67$ ）。

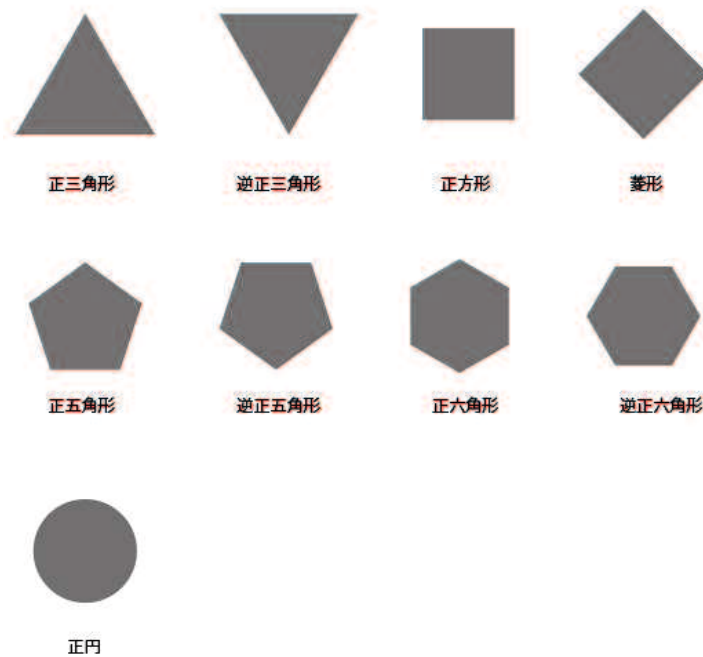


図 4-1 刺激図形

(2) 手続き

実験は天井蛍光灯の点灯した室内で行い、刺激の提示には液晶ディスプレイ（EIZO FlexScan SX2262W）を使用した。解像度は 1920×1200 ピクセルであった。刺激の観察は、視距離を保つために顎台によって目の高さが液晶ディスプレイの中央になるように調節し、視距離は約 60cm とした（図 4-2）。

実験方法は見えの大きさの比較が容易である調整法を用いた。正円を基準刺激、その他の 8 つの図形を比較刺激とし、ディスプレイの中段に基準刺激と比較刺激を並べて提示した。比較刺激は、基準刺激よりも視覚的に明らかに大きくもしくは小さく提示した。実験参加者は基準刺激と同じ大きさに見えるまで比較刺激の大きさを調整した。キーボードの右矢印キーを押すと、比較刺激が縦横 1pixel 大きくなり、左矢印キーを押すと、比較刺激が縦横 1pixel

小さくなる。比較刺激の提示順序と、基準刺激と比較刺激の左右の位置は、ランダムとした。刺激の提示と大きさの調節には、プログラム（開発環境：Processing 1.5.5）を使用した。

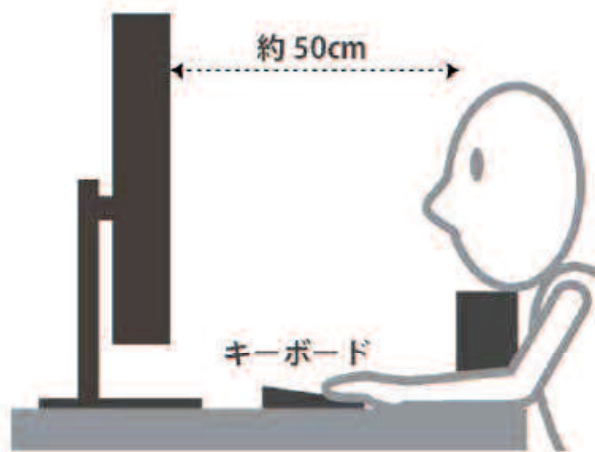


図 4-2 実験環境

(3) 実験参加者

視力が正常な 20 歳～24 歳（平均年齢 21.4 歳）の 16 名（男性 7 名、女性 9 名）が参加した。

4.1.2 結果と考察

刺激は図 4-3 のような正方形の画像に配置されており、矢印キーによって刺激の大きさを変更すると、同じ比率で画像の大きさが変化する。そこで、基準刺激の画像と調整後の比較刺激の画像の大きさを比較し、画像の一边の長さの差を見えの大きさの差とし、平均値を求めた。図 4-4 の見えの大きさの差が正の場合は、基準刺激である正円と比較して、見えの大きさが大きいことを表している。得られた平均値より、見えの大きさの大きい順に、刺激図形を並べたのが図 4-5 である。さらに刺激図形の形態を要因とする一要因分散分析を行った結果、要因の主効果は有意でなかった ($F(7, 15) = 0.776, p = 0.60$)。

8 つの比較刺激のうち 7 つは正の値であることから、正三角形や正六角形などの正多角形は、正円よりも見えの大きさが大きい傾向が示された。図形の見えの大きさの順は、菱形が正三角形と逆正三角形に次いで 3 番目に大きく見えることや正方形が正円よりも小さく見えることは金ら[33]による報告と一致した。

本実験では、形態の差による見えの大きさの差が小さく、分散分析の結果も有意でなかった。しかし、先行研究と本実験での正三角形は、他の正多角形よりも大きく見える結果が得られた。よって、仮説(b)の「形態的特徴の差により空間力の強さが異なる」を支持する結果となった。この理由として、図形の内角の大きさの要因が考えられる。武井[18]は図形の頂点に関して、内角が小さいほどシュパヌンクが強くなると述べている。正三角形の内角は 60° であり、実験に使用した形態の中では最も内角が小さいことから、頂点に生じる空間力が強いこと見えの大きさが大きいと考えられる。

同じ形態の配置角度による差について、菱形が正方形よりも大きく見える傾向は、マッハ[32]の報告と一致した。しかし、正三角形と逆正三角形の順や、正五角形が正円と正方形よりも大きく見える等は金ら[33]の報告とは一致しなかった。

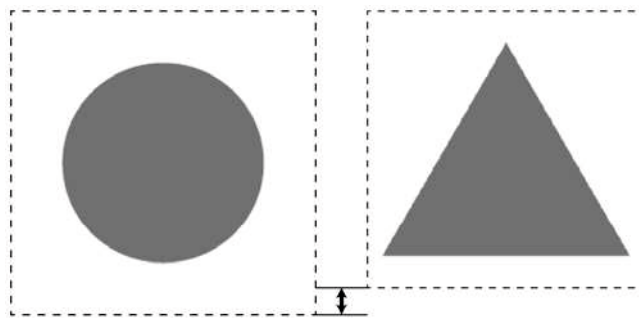


図 4-3 見えの大きさの差の比較方法

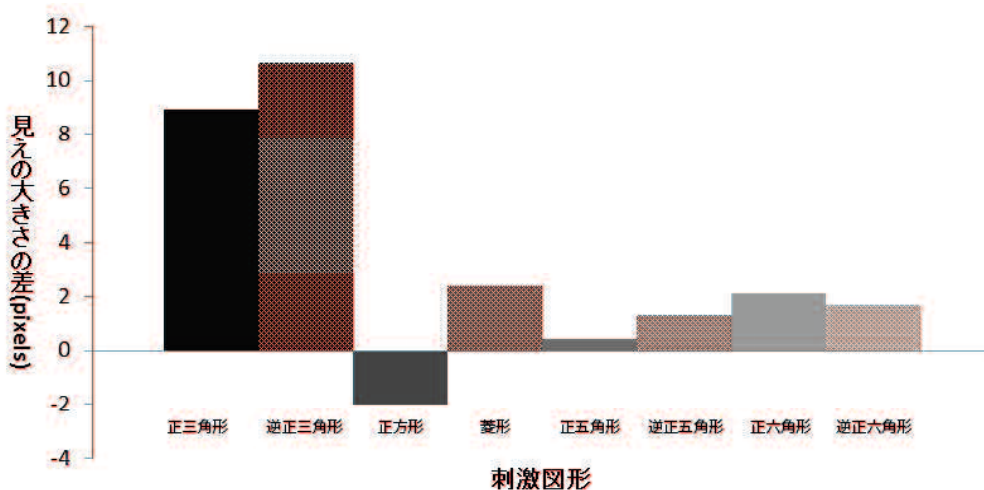


図 4-4 見えの大きさの差の平均値



図 4-5 形態と配置角度の差による見えの大きさの順（大→小）

4.1.3 空間力以外の要因

空間力以外の見えの大きさに影響する要因として、Smith ら[36]は刺激図形の頂点を内接する矩形を想定した場合に、矩形の面積が大きいと見えの大きさが大きい傾向があると報告している。そこで本実験での刺激図形について、内接する矩形（図 4-6）の周囲の長さと同面積を計測した（表 4-1）。表 4-1 より、見えの大きさが最も大きい正三角形と逆正三角形は、この矩形の周囲の長さと同面積が他の刺激図形と比較して最も大きい。よって、図形の縦幅や横幅の長さが見えの大きさに影響していると考えられる。

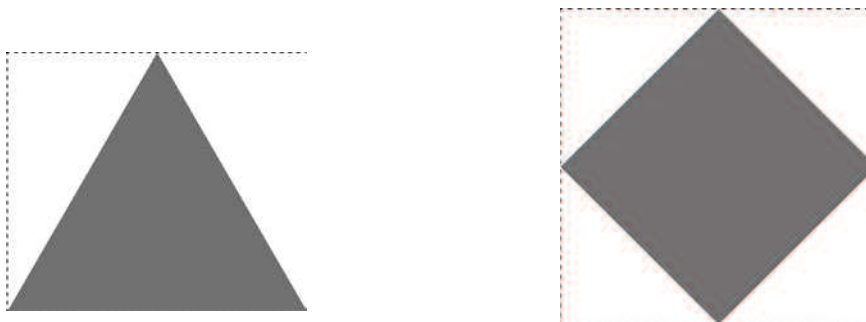


図 4-6 図形周囲に想定した矩形（点線）

表 4-1 刺激図形毎に計測した矩形の周囲の長さと同面積

周囲の長さ (mm)	133	94	132	113	108	106
面積 (mm ²)	4402	2209	4356	3190	2900	2809

また、図形の向きによる影響は、多くの刺激図形では 1~2 pixel であるが、正方形と菱形は見えの大きさが負から正となっており、図形の向きの変化による見えの大きさへの影響が大きいことが示唆された。この理由として、頂点の内角二等分線の方角に向かって生じる

と考えられる空間力が垂直水平では強くなる異方性の影響が考えられる。空間力が強くなると、図形の内部から外部へ向かって伸びる力が強くなり、図形の見えの大きさに影響すると考えられる。菱形はこの条件を満たすため、正方形と比較して大きく見えたと考えられる(図4-7)。

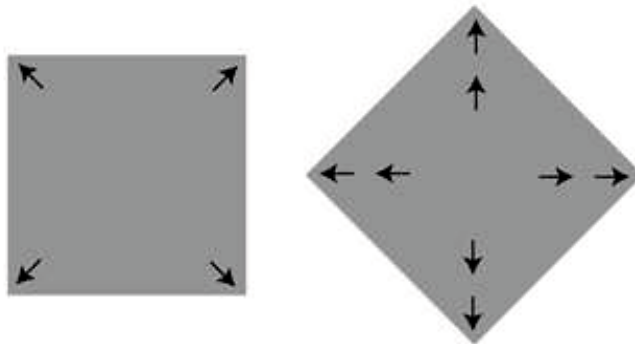


図 4-7 図形内部の「空間力」の概念

4.1.4 まとめ

基本的な正多角形を対象として、形態と配置角度の異なる図形の見えの大きさについて検討を行なった。見えの大きさについて、以下の傾向は金らの先行研究と一致した。

- 1) 正三角形や逆正三角形がその他の図形よりも大きい。
- 2) 正方形は正円よりも小さい。
- 3) 正方形と菱形は配置角度による差が大きい。

しかし、正三角形と逆正三角形の見えの大きさの順位や、正五角形が正円と正方形よりも大きく見える結果は、金ら[33]の先行研究とは一致しなかった。

先行研究と本実験の結果より、正三角形は他の正多角形よりも大きく見える傾向が示され、仮説(b)で述べた「図形内部の空間力は、図形の形態の差により異なる」を支持すると考えられる。

4.2 図形の配置角度の差

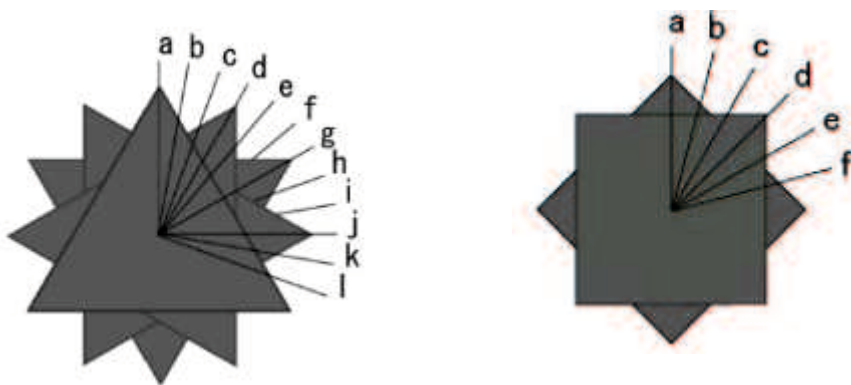
1 節では、図形の形態の差による見えの大きさと、それに影響する図形の形態的特徴について検討を行った。本節では、図形の配置角度の要因による見えの大きさについて、一対比較法とマグニチュード推定法の2つの手法により検討を行う。

4.2.1 一対比較法による検討

(1) 方法

(a) 刺激

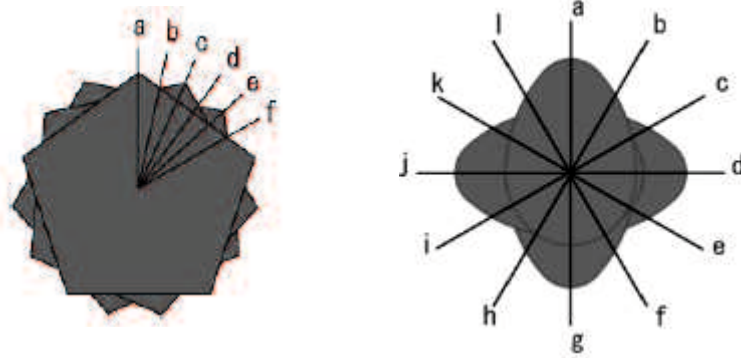
刺激としたのは正三角形、正方形、正五角形、弧成卵形の4種類の図形であった。図形の面積を同じとし、正三角形であれば逆正三角形、正方形であれば菱形が含まれるよう図形ごとに配置角度を変え、正三角形は 10° 、正方形は 15° 、正五角形は 12° 、弧成卵形は 30° ずつ元の図形と重なるまで角度を変えさせた。回転の中心は、 360° 回転すると元の図形に重なるよう、図形の外接円の中心とした。そのため、正三角形と弧成卵形では12通り、正方形と正五角形では6通りの図形を得た。配置角度の差ごとに記号を振り、正方形と正五角形はa~f、正三角形と弧成卵形ではa~lの刺激とした。図4-8では、基本配置と上下逆方向の図形、正方形は菱形を図示した。図形の色は中灰色とし、ディスプレイカラーアナライザ(KONICA MINOLTA CA-310)で測色を行った(x:0.29、y:0.29、Lv:19.02)。



(a) 正三角形 (回転角 10°)

(b) 正方形 (回転角 15°)

図4-8 配置角度毎の図形と記号



(c) 正五角形 (回転角 12°) (d) 弧成卵形 (回転角 30°)

図 4-8 配置角度毎の図形と記号

(b) 手続き

刺激の提示には 17 インチカラー液晶ディスプレイ (ナナオ EIZO FlexScan L557-RBK) を使用した。解像度は 1280×1024 ピクセルであった。刺激の観察は、視距離を維持するために顎台によって目の高さが液晶ディスプレイの中央になるよう調節し、視距離は約 60 cm とした。図形の見えの大きさの比較は順位を得ることができる一対比較法 (サーストン法) を用いた。同じ図形での全ての組み合わせについて大きさを比較し、大きいと感じた刺激の方を選ばせた。2 つの刺激は画面の中央に左右に並べて提示し、画面の左右下の隅に a~l までの記号を表示した (図 4-9)。刺激どうしの間隔は各図形における最長の辺の長さとし、図形の種類により異なった。

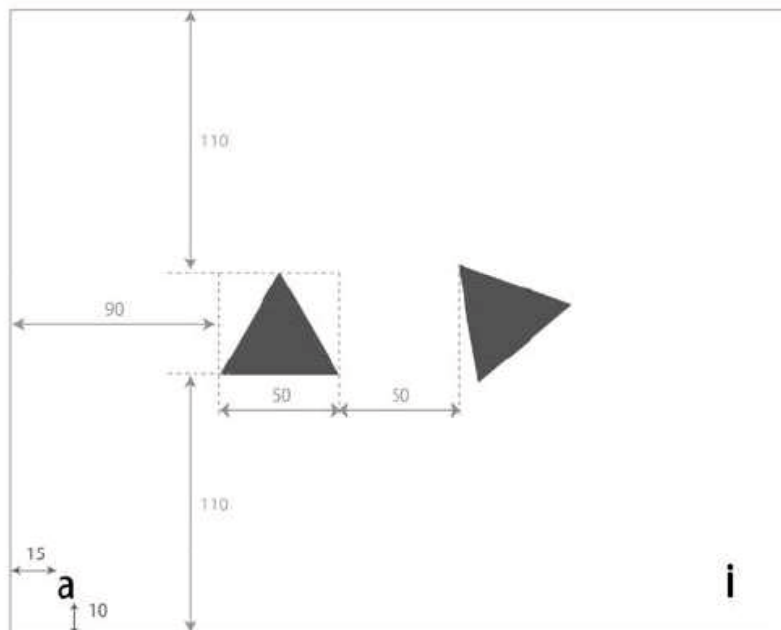


図 4-9 刺激の画面配置 (単位 : mm)

(c) 実験参加者

20～48 歳 (平均年齢 22.1 歳) の大学生と教員、合計 20 名が参加した (男性 9 名、女性 11 名)。

(2) 結果と考察

一対比較法では、刺激ごとの選択率を求め、標準正規分布の逆関数を求める方法で尺度値を得た (図 4-10(a)～(d))。その尺度値より、見えの大きさが大きい刺激が左、小さい刺激が右になるよう並べた (図 4-10(a)～(d))。また、配置角度を要因とする一要因分散分析を行った結果、正三角形、正方形、弧成卵形では要因の主効果が有意であった ($p < .01$)。

分散分析の結果より、図形の配置角度の差は見えの大きさに影響を及ぼす傾向が示され、仮説 (b) で述べた「図形内部の空間力の強さは配置角度により異なる」を支持する結果となった。

正三角形では左方向に傾いた正三角形、逆正三角形、右方向に傾いた正三角形の順に小さく見える傾向が示された。特に $70^\circ \sim 110^\circ$ 配置角度を変えた図形が大きく見える傾向があり、左半分や上半分に三角形の頂点が 2 つある刺激が大きく見えている。上半分に頂点が 2 つあ

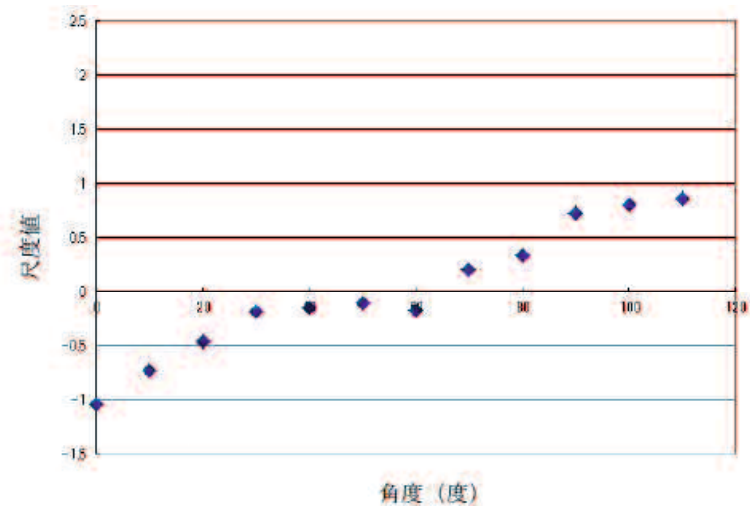
る場合、図形の面積が視空間座標上の上半分に偏っているため、視野の上半の過大視[37]が起きたのではないかと考えられる。正方形と90°傾けた図形では、金ら[33]による先行研究とは一致しなかった。

正方形では45°傾けた場合（菱形）が最も大きく、次に30°、60°傾けた図形となった。正方形では45°配置角度を傾けた図形（菱形）が配置角度0°の図形よりも大きく見える傾向はマッハによる報告と一致した。45°配置角度を傾けた図形は、その他の配置角度の図形と比較しても大きく見えることが確認できた。45°配置角度を変えると、正方形の2つの頂点が垂直に並ぶため、垂直水平錯視の影響で垂直方向への過大視が起これると考えられる。

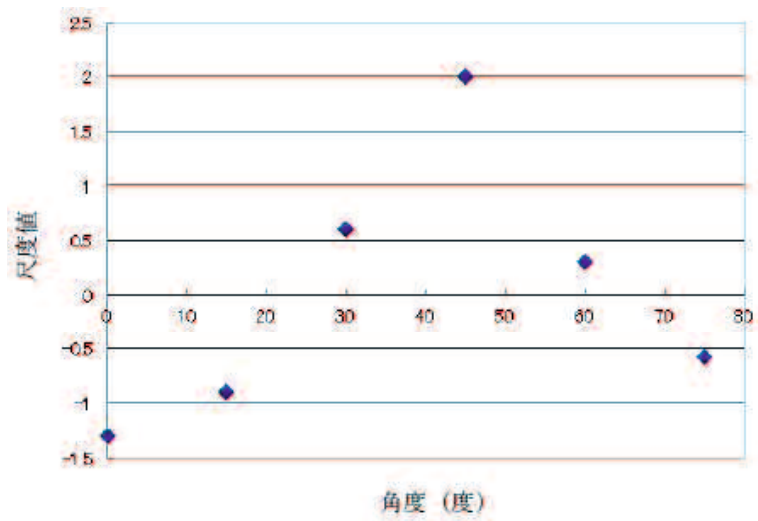
正五角形は分散分析の結果、要因（配置角度）が有意でなかった。これは配置角度による見えの大きさの評価に大きな違いがなく、配置角度によって見えの大きさが異なるとは言いつれないことを意味する。この理由としては、正五角形の内角の角度の影響が考えられる。有意差のあった正三角形は鋭角、正方形は直角であり、図形の配置角度が変わったときの印象が大きく変わる。しかし正五角形は鈍角であり、図形の配置角度による図形の印象の変化は小さい（図4-4(c)）。正五角形では、配置角度の差による刺激の違いがあまり見られず大きさの変化が分かりにくいという内省報告があった。

弧成卵形では、大きく見えた刺激の上位半分の順が図4-4(d)の1~fであり、垂直方向に長い図形が大きく見える傾向が示された。大きく見えた配置角度から順に330°、180°、0°、120°傾けた図形となり、正三角形や正方形と違って配置角度にばらつきがあった。これらの図形は縦幅が長く、垂直水平錯視の効果により大きく見えたと考えられる。

見えの大きさが大きい理由として、垂直水平錯視を挙げた。しかし、この錯視は垂直方向の長さが水平方向よりも長く見えることを指しており、図形の見えの大きさの根拠としては不十分であると考えられる。そこで、図形内部の空間力の仮説に関連付けて考察すると、正方形では内角二等分線上の空間力が最も強く、菱形となる配置角度では2つの内角が垂直方向に揃うことで空間力が増幅すると考えられる（図4-6）。よって、図形内部の空間力が最も強い状態となり、見えの大きさが大きくなったと推測できる。

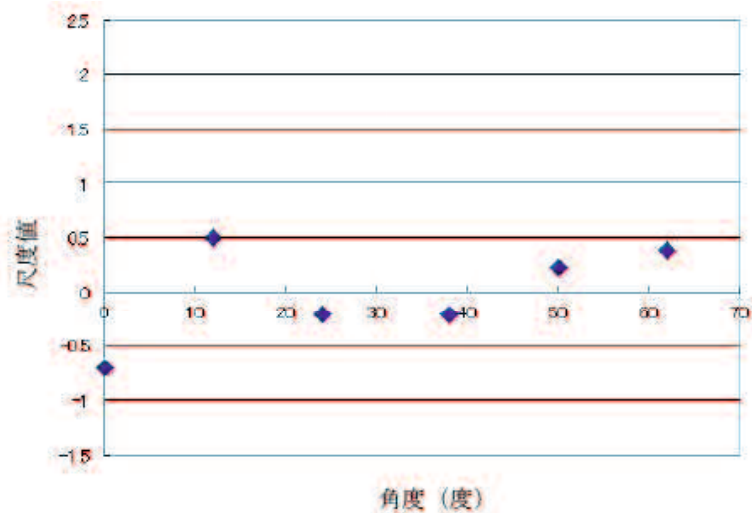


(a) 正三角形

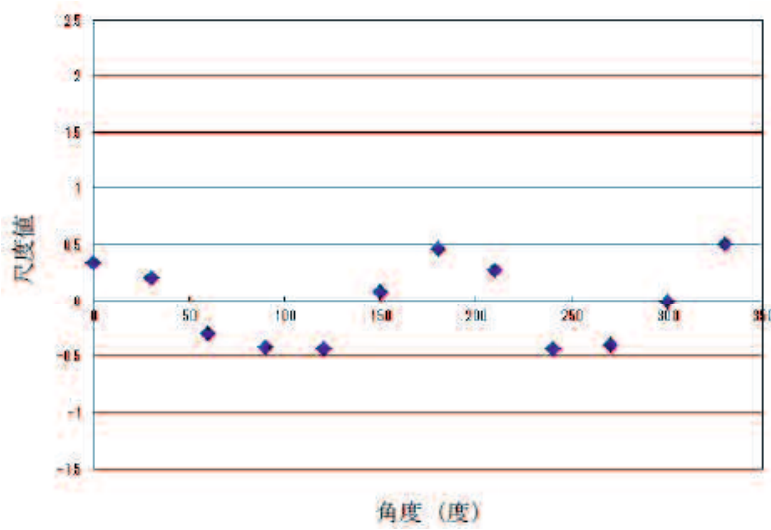


(b) 正方形

図 4-10 一対比較法による見えの大きさの順 (大→小)

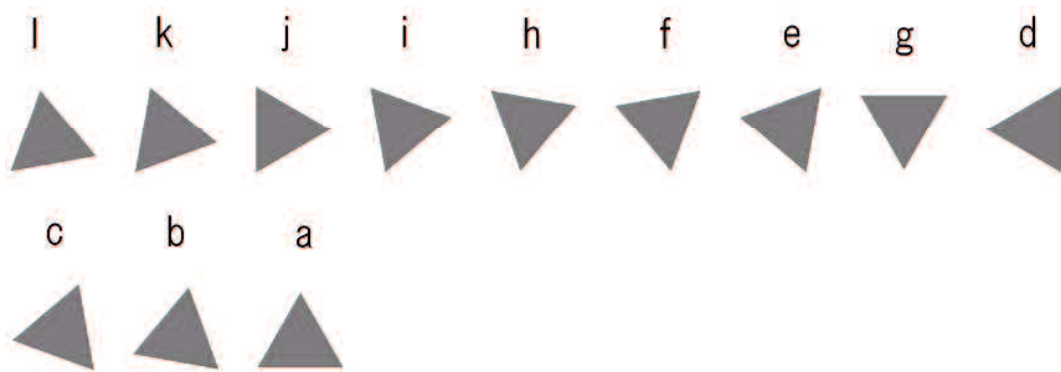


(c) 正五角形

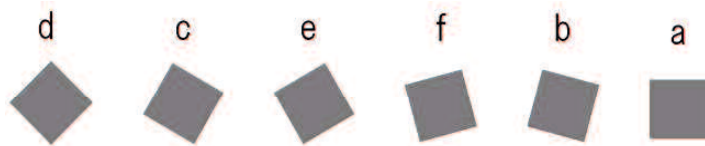


(d) 弧成卵形

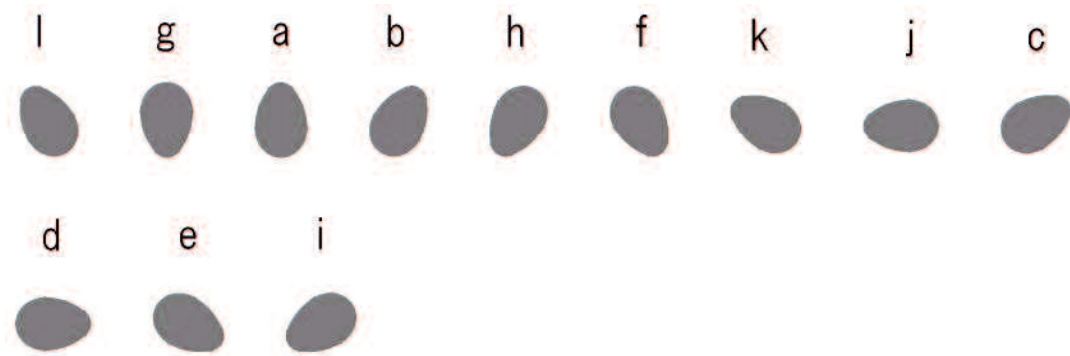
図 4-10 一対比較法による見えの大きさの順 (大→小)



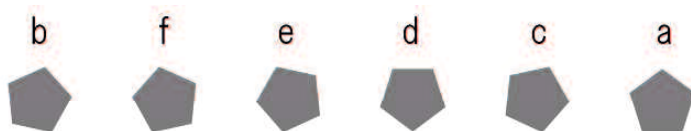
(a) 正三角形



(b) 正方形



(c) 弧成卵形



(d) 正五角形

図 4-11 一対比較法による図形の見えの大きさ (大→小)

4.2.2 マグニチュード推定法による検討

(1) 方法

(a) 刺激

2節1項と同じ刺激図形を用いた。

(b) 手続き

ディスプレイや実験環境は2節1項と同様であった。見えの大きさの比較方法として、大きさの推定値が得られるマグニチュード推定法で行った。各図形の配置角度を変化させていない図形aを基本刺激とし、大きさを100とした。ディスプレイ中央の左側に基本刺激、右側に比較刺激（配置角度を変化させた図形）を並べて提示し、半分の大きさであると感じれば50、2倍であれば200というように見えの大きさに比例した数値を答えるよう教示した。同じ刺激に対して4回評価を行った。

(c) 実験参加者

20～48歳（平均年齢23.3歳）の大学生と教員、合計11名が参加した（男性5名、女性6名）。

(2) 結果と考察

マグニチュード推定法では、観察者ごとの値を平均し、見えの大きさの推定値とした（図4-12(a)～(d)）。大きさの推定値より、見えの大きさが大きい刺激が左、小さい刺激が右になるよう並べた（図4-13(a)～(d)）。大きさの推定値について配置角度を要因とする一要因分散分析を行った結果、正三角形と正方形では要因の主効果が有意であった($p < .01$)。よって、2節1項と同様に仮説(b)で述べた「図形内部の空間力の強さは配置角度により異なる」を支持する結果となった。

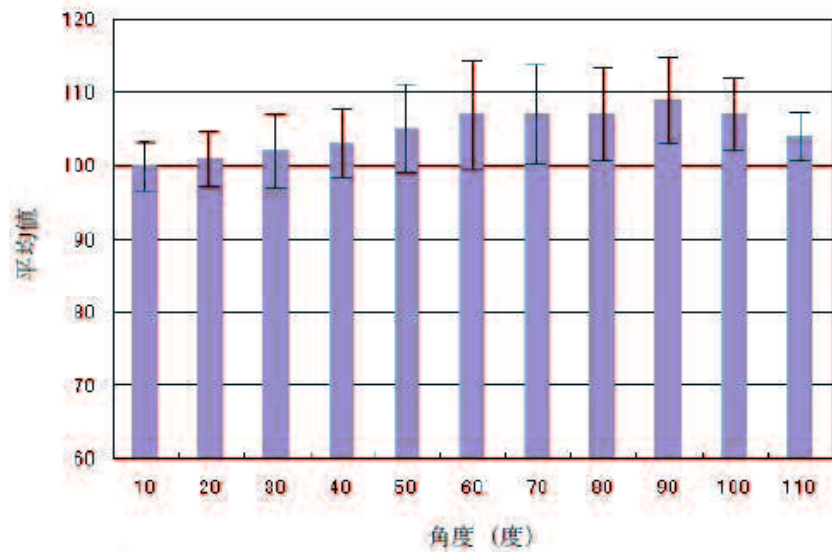
正三角形では配置角度の差が大きくなるほど過大視され、90°傾けた図形の平均値が109となり最大であった。そして90°を過ぎると107、104と小さくなる傾向が示された。下位検定の結果、90°配置角度を傾けた図形と10°～50°と110°傾けた図形との間に有意差があることが示された。また、大きく見えた配置角度から60°、80°、70°、100°傾けた図形と10°～40°の図形との間にも有意差がみられた。つまり10°～40°の図形は小さく見える傾向が示された。正三角形は頂点の位置により10°、20°、100°、110°の図形を正三角形、40°～80°の図形を逆正三角形、30°、90°の図形を中立の正三角形とする。大きく見えている方

から 90° 、 60° 、 70° 、 80° の順番となっており、大まかには中立の正三角形 (90°) の次に逆正三角形、そして正三角形の順となる。また、下位検定の結果より、見えの大きさが大きい図形の共通点としては、正三角形の3つの頂点のうち2つが、図形の上半分か左半分の領域にある傾向が示された。2つの頂点が上半分の領域にあるとき、視空間座標上の上半分に占める図形の面積が大きくなり、視野の上半の過大視による影響を受ける可能性がある。また、 90° は垂直な辺を持ち、 60° は頂点と中心を通る線が垂直であり、垂直水平錯視による垂直方向への過大視が考えられる。これら2つの過大視が同時に起きたため、 90° と 60° 傾けた図形が最も大きく見えたと考えられる。

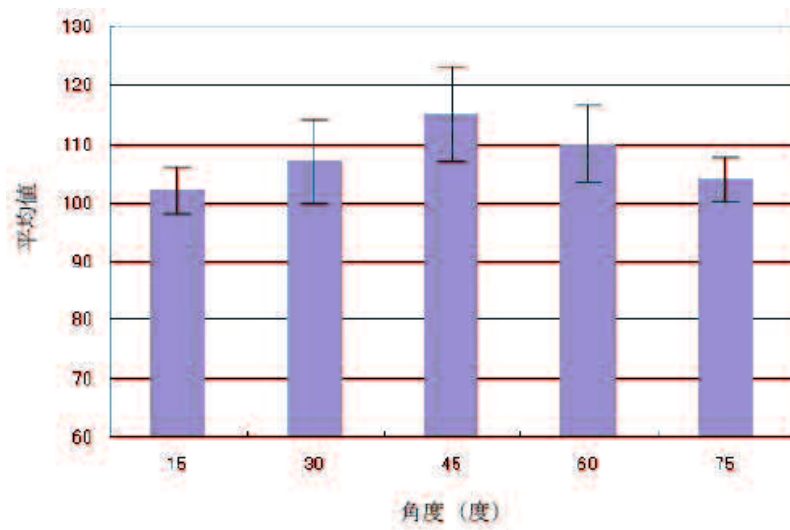
正方形では一対比較法による結果とほぼ同じであった。 60° と 30° の順序が異なっているが、下位検定の結果、これら間に有意差がなかった。他には 45° と 15° 、 30° 、 75° 傾けた図形、 60° と 15° 配置角度を傾けた図形との間に有意差がみられた。よって正方形では 45° 配置角度を傾けた図形 (菱形) が最大となり、 $\pm 15^\circ$ 、 $\pm 30^\circ$ の図形の順に小さく見えている。正方形では 45° 配置角度を傾けた図形 (菱形) が最も大きく見え、この結果はマッハによる報告と一致した。 45° 配置角度を変えると、正方形の2つの頂点が垂直に並ぶため、垂直水平錯視の影響で垂直方向への過大視が起こると考えられる。

弧成卵形では見えの大きさの変化が小さかった。大きさの推定値は最大でも 150° と 180° の102であり、 60° や 120° および 240° では基本刺激よりも小さく見える傾向が示された。弧成卵形は分散分析の結果、要因の主効果が有意ではなかった。しかし、大きく見える図形の配置角度などは、一対比較法と同様の傾向が示された。一対比較法は同じ大きさであつてもどちらかを選ばせるため、図形どうしに間に差が生じやすいが、マグニチュード推定法では実験参加者が大きさをあてはめるため、配置角度による差が生じにくいと考えられる。

正五角形では 48° 傾けた図形が103で最大となり、他に基準刺激より大きく見えたのは 36° 、 48° 、 60° 傾けた図形のみであった。その他の 12° 、 24° 傾けた図形は、基本刺激と同じか小さくなる傾向が示された。正五角形は配置角度が変化しても平均値に大きな変化はなかった。その理由としては、配置角度が変化しても類似した傾きを持つ辺が多いためと考えられる。つまり、配置角度による見えの大きさの差が最も大きいのは正方形であり、変化が小さいのは正五角形である。図形の内角が 90° のとき見えの大きさの差が最大となり、これより狭いあるいは広いときは小さくなる。また、図形の内角が広がると、見えの大きさの変化が起きにくいと考えられる。

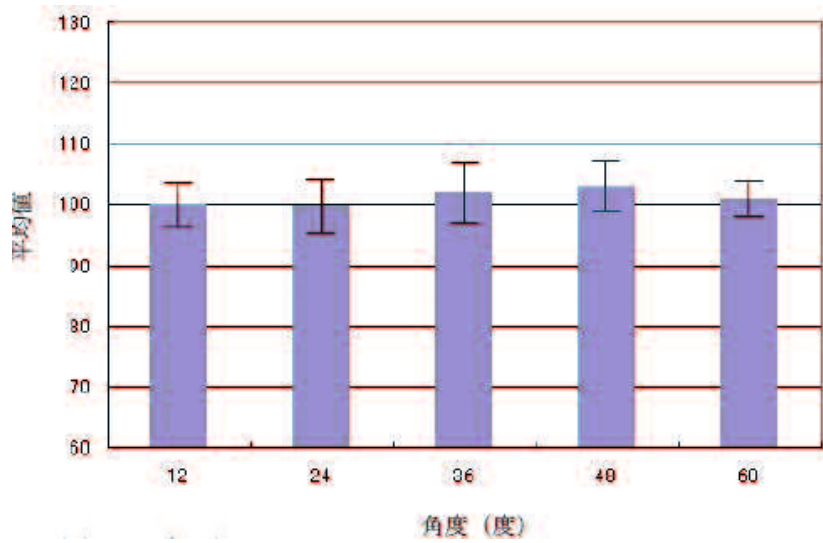


(a) 正三角形

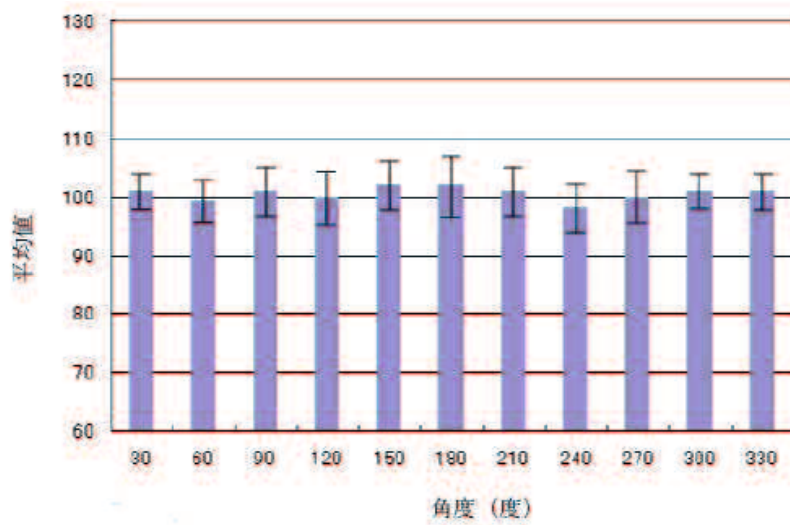


(b) 正方形

図4-12 マグニチュード推定法による大きさの平均値 (バーは標準偏差を示す)

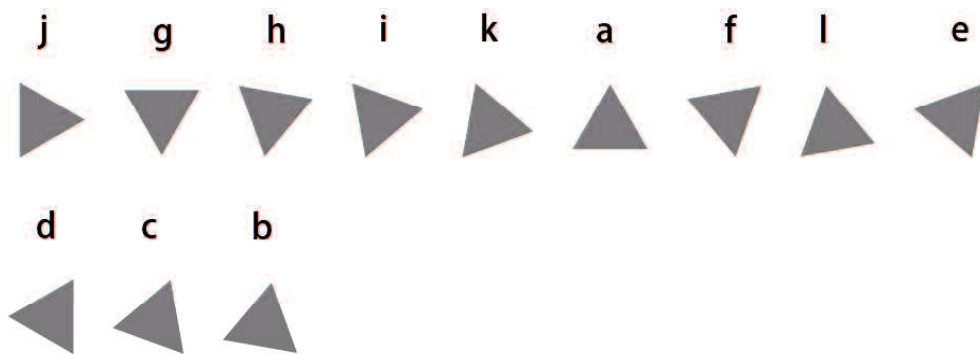


(d) 弧成卵形

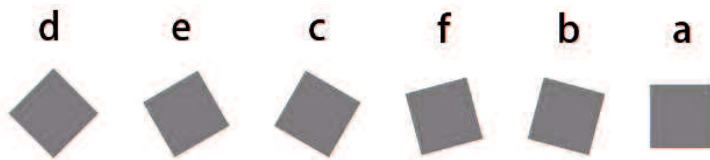


(c) 正五角形

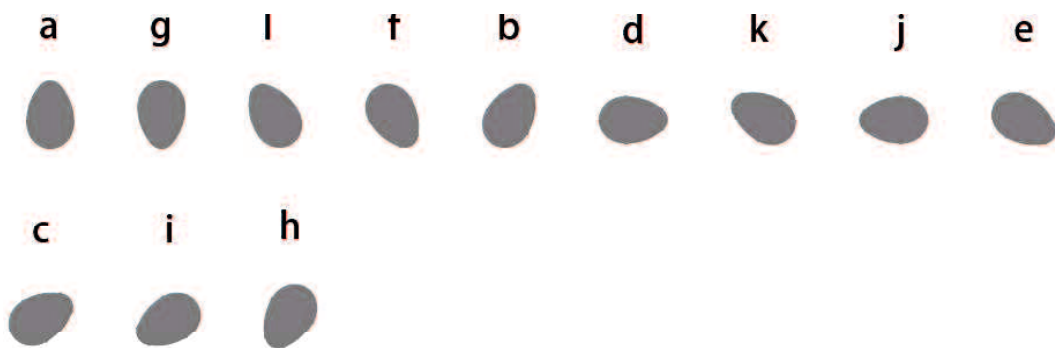
図4-12 マグニチュード推定法による大きさの平均値 (バーは標準偏差を示す)



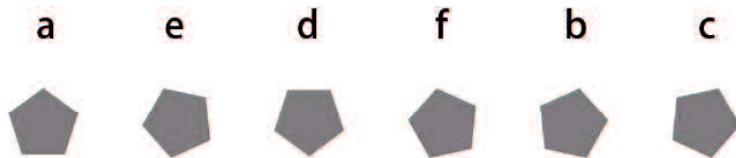
(a) 正三角形



(b) 正方形



(d) 弧成卵形



(c) 正五角形

図4-13 マグニチュード推定法による見えの順（大→小）

4.2.3 見えの大きさと空間力の考察

見えの大きさが大きい理由として、垂直水平錯視[39]を挙げた。しかし、この錯視は垂直方向の長さが水平方向よりも長く見えることを指しており、図形の見えの大きさの根拠としては不十分であると考えられる。そこで、図形内部の空間力の仮説に関連付けて考察すると、正方形では内角二等分線上の空間力が最も強く、菱形となる配置角度では2つの内角が垂直方向に揃うことで空間力が増幅すると考えられる(図4-14)。よって、図形内部の空間力が最も強い状態となり、見えの大きさが大きくなったと推測できる。

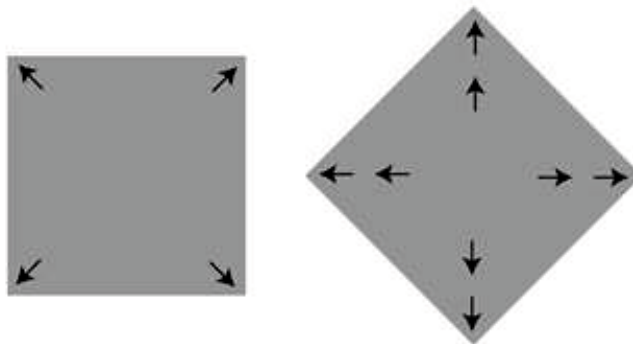


図4-14 配置角度の差による図形内部の空間力の違い

4.2.4 まとめ

本節では、図形内部の空間力の仮説を検証することを目的として、同一形態の配置角度の差が見えの大きさへ与える影響について検討を行った。その結果として、一対比較法による見えの大きさの検討では、図形の配置角度の差による見えの大きさの順を明らかにした。また、マグニチュード推定法による見えの大きさの検討では、基準刺激と比較した図形の配置角度ごとの見えの大きさの感覚量を明らかにした。実験方法により配置角度の主効果が有意である図形と有意でない図形があった。特に正方形は配置角度の差が見えの大きさに与える影響が大きい傾向が示された。よって、仮説(b)で述べた「図形内部の空間力の強さは配置角度により異なる」を支持する結果となった。

4.3 図形のプロポーシヨンの差

本実験では、2節で用いた正三角形と正方形のプロポーシヨンを変えた図形と、これまで見えの大きさの検討の対象としていなかった幾何学的形態である正六角形と滴形を刺激とする。図形のプロポーシヨンの差による見えの大きさの定量的評価を行い、仮説を検証する。

4.3.1 方法

(1) 刺激

使用したのは、黄金三角形、直角三角形、 $\sqrt{2}$ 矩形、黄金矩形、縦横のプロポーシヨンが 1:2 となる矩形（以下、 $\sqrt{4}$ 矩形と記述する）、正六角形、滴形の 7 種類であった。図形の面積を一定とし(1565.5mm²)、基準刺激を設定した(図 4-15)。配置角度が 0° である基準刺激から、段階的に配置角度を変えた図形を比較刺激とした(図 4-16)。図形の回転の中心は、正多角形の場合は図形の重心とした。弧成卵形では、図形が内接する矩形の対角線の交点とした。各図形の配置角度は、2 種類の三角形と滴形では、上下が逆になる配置角度をとるように 30° と 45° 毎に設定した。また、3 種類の矩形では、斜め方向(45°、135°、225°、315°)となる配置角度と上下が逆の配置角度となるように 15° 毎、正六角形では 10° 毎とした。刺激の数は、全 83 刺激とした。回転の中心は、360° 回転すると元の図形に重なるよう、図形の外接円の中心とした。図形の色は中灰色とし、ディスプレイカラーアナライザ(KONICA MINOLTA CA-310)で測色を行った(測色値: $x = 0.29$, $y = 0.29$, $L_v = 19.02$)。

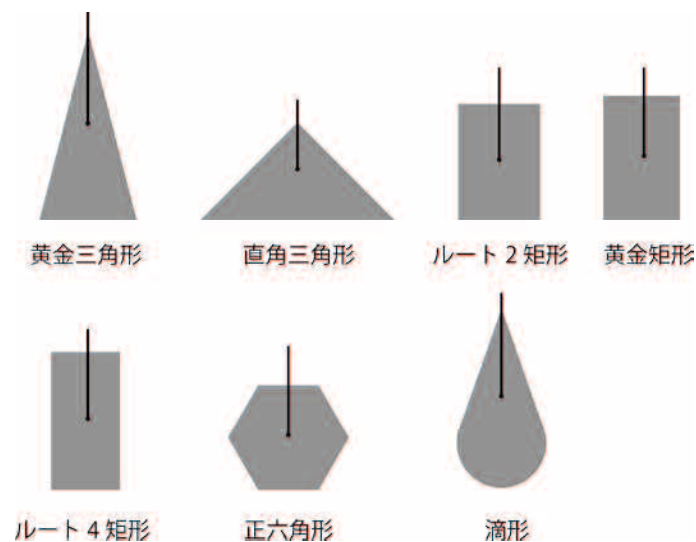
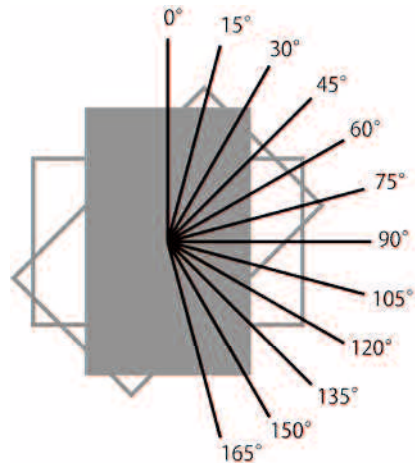


図 4-15 各図形の基準刺激

図 4-16 刺激の配置角度 ($\sqrt{2}$ 矩形)

(2) 手続き

刺激の提示には、17 インチカラー液晶ディスプレイ（ナナオ EIZO FlexScan L557-RBK）を使用した。解像度は 1280×1024 ピクセルであった。刺激の観察は、顎台によって目の高さが液晶ディスプレイの中央になるように調節し、視距離は約 60cm とした。画面の中程に基準刺激と、明らかに面積が大きいまたは小さい比較刺激を提示し、基準刺激と同じ大きさに見えるように比較刺激の大きさの調節を行う、調整法を用いた。キーボードにある右の矢印キーを押すと、提示している比較刺激の縦と横の幅が 1 ピクセル大きくなり、左の矢印キーを押すと 1 ピクセル小さくなるようにした。調節の回数は制限しなかった。刺激は図形の種類毎に提示し、順序効果の影響を避けるため、実験参加者毎に順番を入れ替えた。また、比較刺激の提示順と、画面上での左右の位置はランダムに変更した。全刺激の半分が終わったところで休憩時間を約 10 分取った。また、実験参加者は自らの判断で自由に休憩をとるように指示した。

(3) 実験参加者

20～24 歳（平均年齢 22.3 歳）の大学生、合計 40 名が参加した（男性 20 名、女性 20 名）。

4.3.2 結果と考察

(1) 計測方法

刺激の大きさの計測の仕方は、図 4-17 のように刺激図形を含む正方形の枠を設定し、計

測対象とした。しかし、この枠は画面上に表示されないように設定した。枠を拡大・縮小すると同じ比率で中の図形の大きさも拡大・縮小する。この正方形の一辺の長さをピクセル単位で計測し、得られた値を基に図形の大きさを判断した。

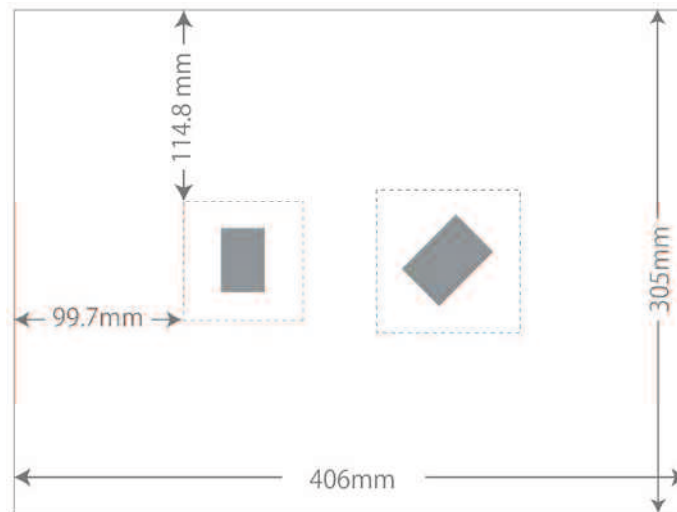


図 4-17 刺激の画面配置

(2) 分散分析

すべての参加者が調整した画像の大きさを角度毎に集計し、基準刺激の画像の大きさとの差の平均を求めた (図 4-18(a)~(g))。また、大きく見えた角度から順に、刺激を左から右へ並べて示した。(図 4-19(a)~(g)、刺激数が多く 1 列に並べられない場合は 2 列としている)。配置角度を要因とした一要因分散分析を行い、各図形の見えの大きさに関して以下の結果が得られた。

黄金三角形では分析の結果、要因の主効果は有意でなかった ($F(14, 546) = 1.027$)。図 4-13 (a) より、 30° 、 45° 、 60° 、 135° 、 150° 、 225° 、 300° 、 315° 、 330° では、配置角度が変わると基準刺激よりも大きく見えた。大きく見えた上位半分の配置角度は 315° 、 330° 、 300° 、 60° 、 45° 、 30° であった。黄金三角形では、鋭角な内角を持つ頂点が左上もしくは右上に向いているときに見えの大きさが大きく、左下や右下及び水平のとき小さく見えていた。それぞれの配置角度の差における見えの大きさの変化は、1 節の実験における正三角形の結果と逆となった。正三角形においては逆正三角形の配置角度に近い程大きく見えるという結果が得られており、視野空間内の上半分に占める図形の面積が見えの大きさの

要因となるのではないかと考察した。しかし、黄金三角形という二等辺三角形では、視野空間内の上半分に占める図形の面積が小さいにも関わらず、大きく見えるという結果となっている。これは、矩形の場合と同じように、黄金三角形の内角で一番角度が狭い頂点から外部への指向性の方向が影響していると考えられる。

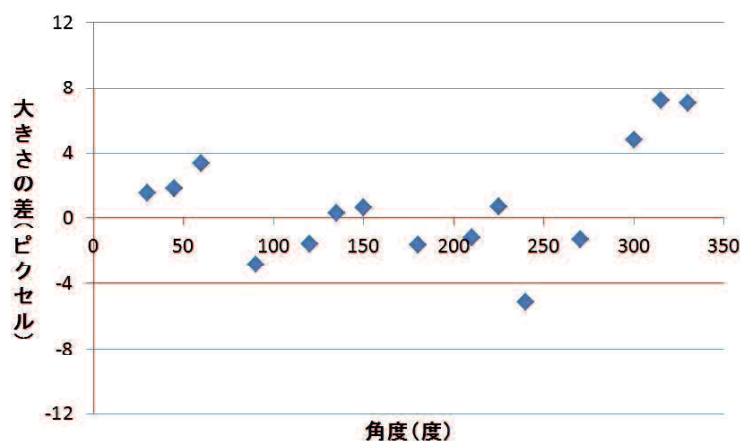
直角三角形では配置角度要因の主効果が有意であった ($F(14, 546) = 3.527 (p < .001)$)。図 4-13 (b) より、 30° 、 210° を除いて、配置角度が変わると、基準刺激よりも大きく見えた。特に 300° 、 270° 、 90° が大きく見えており、それらに近い配置角度ほど大きく見えていた。黄金三角形と直角三角形では 300° や 60° の配置角度が共通して上位であった。直角三角形では、2つの鋭角の頂点からの指向性の方向が垂直方向に近いほど大きく見え、水平な図形ほど小さく見えていた。この結果から、図形の方角性に大きく影響すると思われる一番長い辺の方向や、指向性の方向が垂直に近いことが見えの大きさに影響していると考えられる。また、黄金三角形は配置角度が大きくなっても基準刺激とほぼ同じ大きさに見える刺激が多いが、直角三角形では逆に大きくなった。同じ三角形であっても辺の比率や内角が異なると、配置角度を変えたときの見えの大きさの変化の仕方が異なる可能性が考えられる。

$\sqrt{2}$ 矩形では配置角度要因の主効果が有意であった ($F(10, 390) = 2.875 (p < .005)$)。図 4-13 (c) より、いずれも配置角度が変わると基準刺激よりも大きく見えた。その中で特に大きく見えた角度は 30° 、 45° 、 135° であった。黄金矩形では配置角度要因の主効果が有意であった ($F(10, 390) = 2.315 (p < .05)$)。図 4-19 (d) より、 45° 、 30° 、 60° 、 150° が上位であった。 $\sqrt{4}$ 矩形では配置角度要因の主効果が有意でなかった ($F(10, 390) = 1.470$)。図 4-13 (e) より、 30° 、 150° 、 135° 、 45° の配置角度では大きく見えている。3種類の矩形では、大きく見えた図形の配置角度は図形の長軸が垂直方向近くに配置されたものが多く、小さく見えたのは長軸が水平方向に近いものが多かった。これにより、図形の長軸が垂直方向に近い程、見えの大きさが大きいことが示唆された。この要因として、幾何学的錯視である垂直水平錯視[30]による垂直方向への過大視が影響したと考えられる。

正六角形は角度による見えの大きさの変化が小さく、分散分析の結果、配置角度要因の主効果は有意でなかった ($F(4, 156) = 0.848$)。図 5 (f) より、大きい順に 40° 、 50° 、 20° という順になった。正六角形は、内角が 120° であり、刺激とした図形の中で最も内角が広い。1節の実験より、正三角形、正方形、正五角形を比較したときに正五角形の変化が小さいという傾向があった。これは、頂点の数が多い正多角形は角度の差をつけても形態の印象が変わらなくなることや、内角が大きくなると図形の各頂点からの内角の図形の頂点から外部へ指向する力が弱く、配置角度による見えの大きさの変化が起きにくいと考えられる。

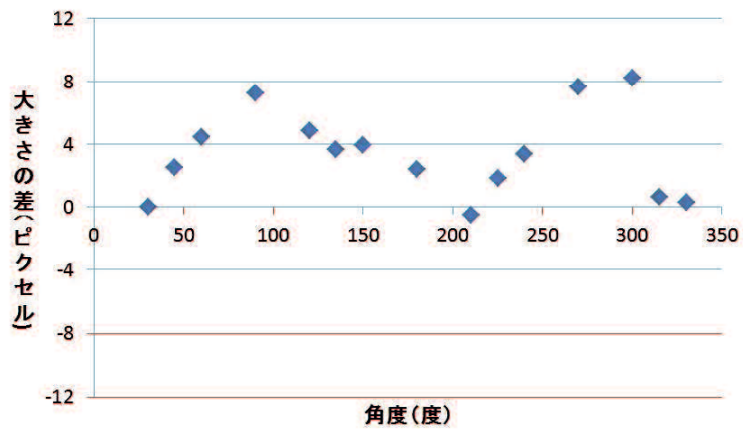
滴形では分散分析を行なった結果、配置角度要因の主効果が有意でなかった ($F(14, 546)=1.224$)。図 4-13 (g)より、配置角度が大きくなると、ほとんどの刺激の見えの大きさが小さくなる傾向がみられた。見えの大きさが基準刺激に近いのは、 30° 、 180° 、 330° などの配置角度であった。しかし有意差はなく、配置角度による影響を受けにくい傾向が見られた。滴形では、他の図形とは傾向が異なり、配置角度が変わると見えの大きさが小さくなった。この要因として、頂点の数の影響が考えられる。これは、図形の内部の空間力が及ぼす影響により、頂点への図形内部から拡大視が起きると、円弧の場合は図形の外形線から内側へ過小視が起ることが推測され、1つの頂点と円弧を持つ滴形は過小視が起き易いと思われる。図 13(g)では基準刺激と同じ大きさに見えた図形と基準刺激に共通する特徴として、頂点と中心を通る線(軸線)が垂直あるいは垂直に近い傾向があり、垂直水平錯視の影響を受けていると考えられる。

対象とした図形の頂点の数では、三角形と矩形が配置角度の影響が大きかった。また、頂点の数が多い正六角形や、頂点の数が少ない滴形では配置角度の統計的に有意な影響が見られなかった。よって、本論文で対象とした図形の範囲では、図形毎に配置角度の影響は異なり、頂点数の影響は、矩形の4個で大きく、次に3個で、5個以上や滴形のように1個の頂点と1個の円弧を持つ図形は影響が少ないと考えられる。

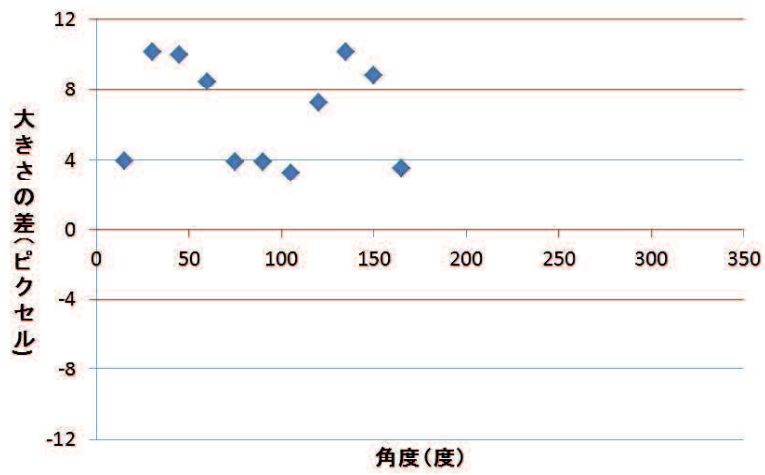


(a) 黄金三角形

図 4-18 基準刺激と比較刺激の一辺の長さの差の平均

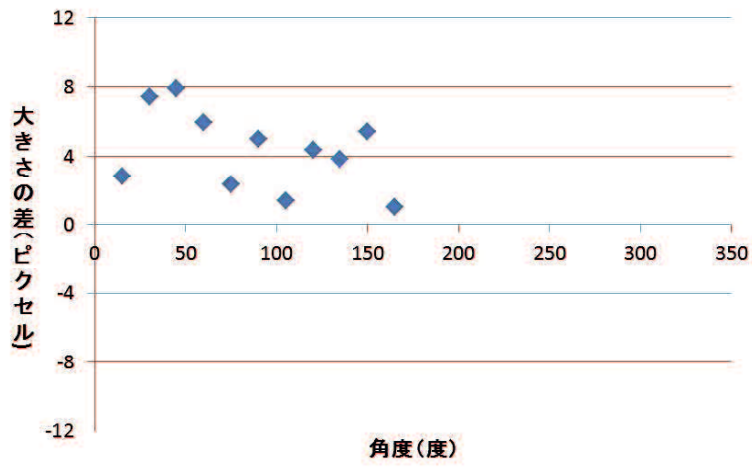


(b) 直角三角形

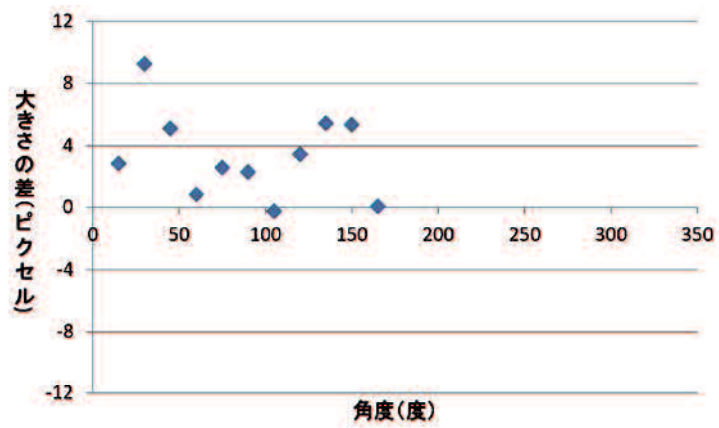


(c) $\sqrt{2}$ 矩形

図 4-18 基準刺激と比較刺激の一辺の長さの差の平均

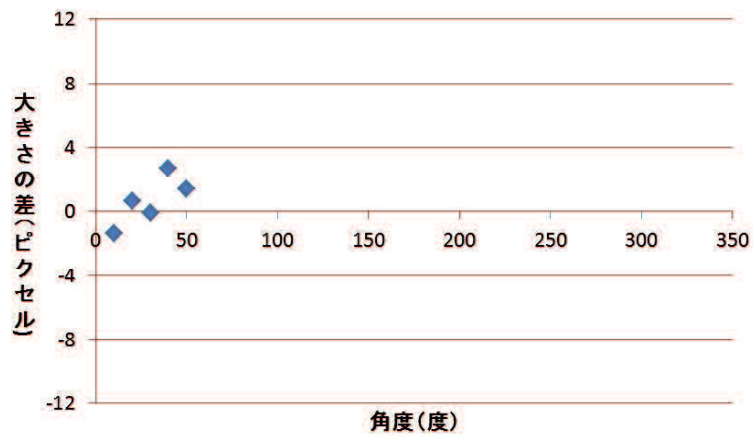


(d) 黄金矩形

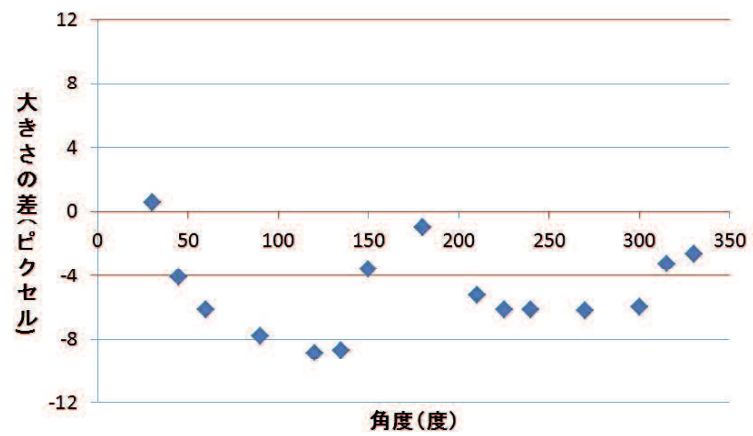


(e) $\sqrt{4}$ 矩形

図4-18 基準刺激と比較刺激の一辺の長さの差の平均

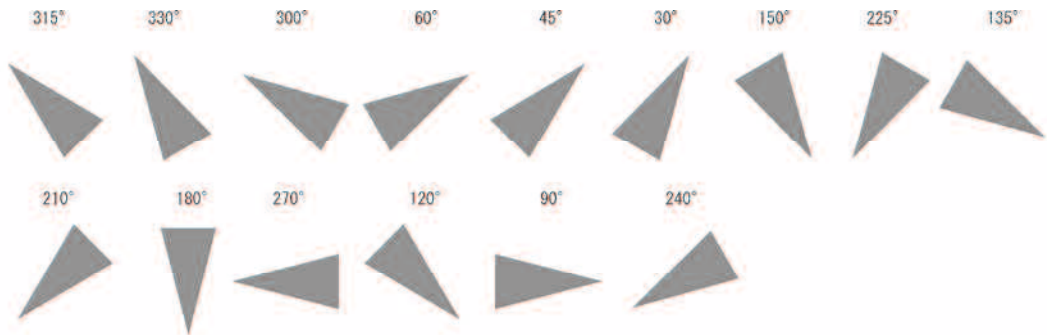


(f) 正六角形

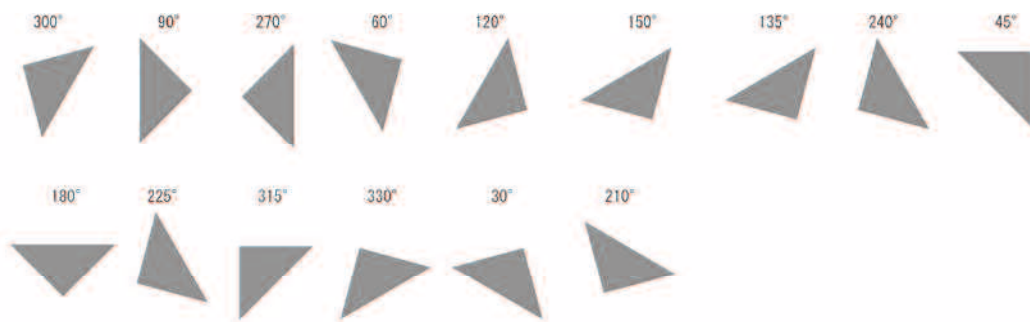


(g) 滴形

図 4-18 基準刺激と比較刺激の一辺の長さの差の平均



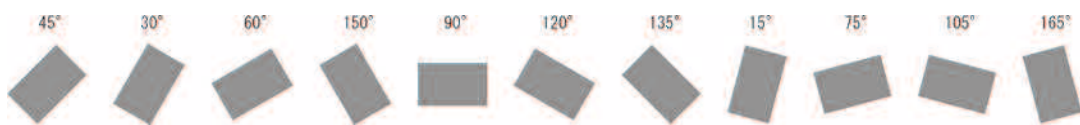
(a) 黄金三角形



(b) 直角三角形



(c) $\sqrt{2}$ 矩形



(d) 黄金矩形

図 4-19 刺激の見えの大きさ順とその配置角度 (大→小)

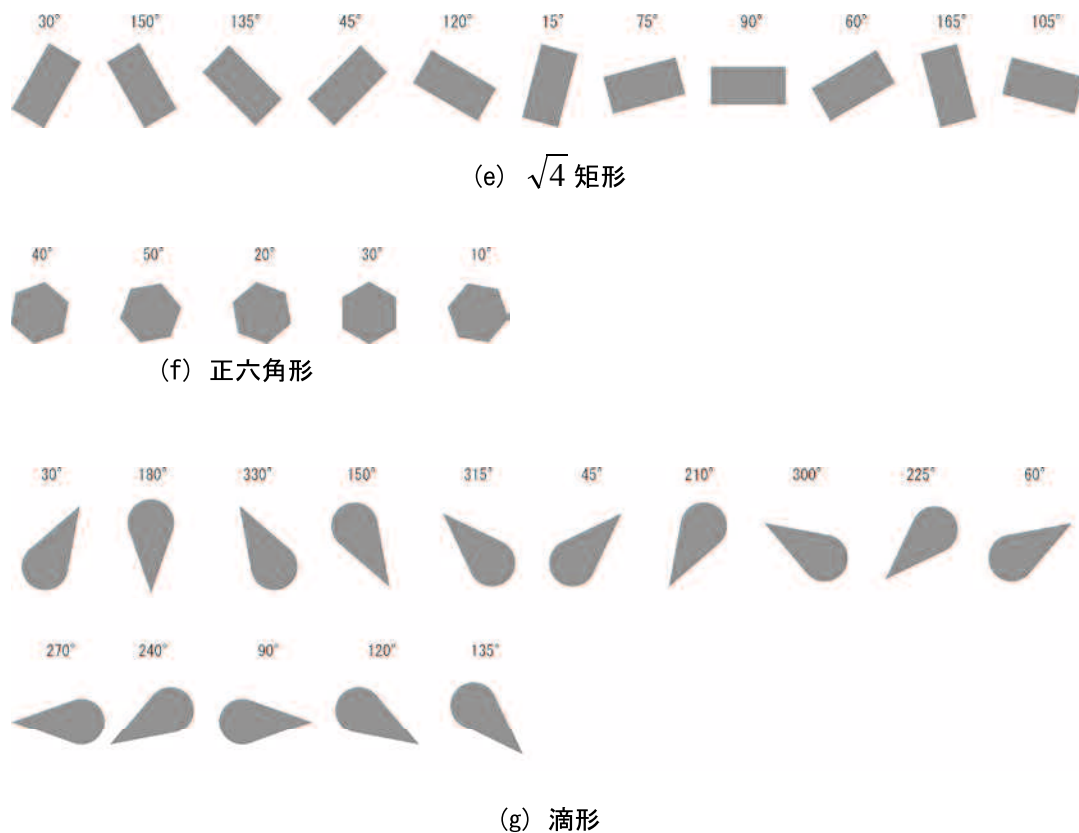


図 4-19 刺激の見えの大きさ順とその配置角度（大→小）

(3) プロポーシヨンの差に関する仮説の検証

3種類の矩形では、見えの大きさが大きい場合に図形の各頂点から外部へ指向する方向（以下、指向性角度と記す）の4つの角度が垂直に近いことが認められる。指向性角度は、図形内部の空間力が強いと考えられる内角二等分線の向きと一致している。3種類の矩形の見えの大きさの変化が大きい順は、 $\sqrt{2}$ 矩形、黄金矩形、 $\sqrt{4}$ 矩形の順となった。アスペクト比はこの順に大きくなっていくことから、アスペクト比が小さい程、すなわち正方形に近い程、見えの大きさの変化の配置角度依存性が大きいと考えられる。この要因について、指向性角度と垂直もしくは水平とのずれを計測し、見えの大きさとの相関係数を求めた（表 4-1～4-3）。その結果、高い負の相関係数が得られた。さらに、相関係数の絶対値を比較すると、最も大きいのは $\sqrt{2}$ 矩形について黄金矩形と $\sqrt{4}$ 矩形の順となり、アスペクト比の大きい順と一致した。よって、仮説(b)の「図形内部の空間力の強さは、プロポーシヨンの差により異なる」を支持する結果となった。

表 4-1 $\sqrt{2}$ 矩形の指向性角度と垂直もしくは水平方向とのずれ及び見えの大きさとの
相関係数

配置角度	頂点 1	頂点 2	頂点 3	頂点 4	合計	大きさの差	相関係数
0	45	45	45	45	180	0	-0.91482
15	30	30	30	30	120	3.95	
30	15	15	15	15	60	10.15	
45	0	0	0	0	0	10	
60	15	15	15	15	60	8.45	
75	30	30	30	30	120	3.9	
90	45	45	45	45	180	3.9	
105	30	30	30	30	120	3.25	
120	15	15	15	15	60	7.25	
135	0	0	0	0	0	10.15	
150	15	15	15	15	60	8.8	
165	30	30	30	30	120	3.5	

表 4-2 黄金矩形の指向性角度と垂直もしくは水平方向とのずれ及び見えの大きさとの
相関係数

配置角度	頂点 1	頂点 2	頂点 3	頂点 4	合計	大きさの差	相関係数
0	45	45	45	45	180	0	-0.64753
15	30	30	30	30	120	2.85	
30	15	15	15	15	60	7.45	
45	0	0	0	0	0	7.95	
60	15	15	15	15	60	5.95	
75	30	30	30	30	120	2.35	
90	45	45	45	45	180	5	
105	30	30	30	30	120	1.4	
120	15	15	15	15	60	4.35	
135	0	0	0	0	0	3.85	
150	15	15	15	15	60	5.45	
165	30	30	30	30	120	1.05	

表 4-3 $\sqrt{4}$ 矩形の指向性角度と垂直もしくは水平方向とのずれ及び見えの大きさとの相関係数

配置角度	頂点 1	頂点 2	頂点 3	頂点 4	合計	大きさの差	相関係数
0	45	45	45	45	180	0	-0.61475
15	30	30	30	30	120	2.85	
30	15	15	15	15	60	9.25	
45	0	0	0	0	0	5.1	
60	15	15	15	15	60	0.85	
75	30	30	30	30	120	2.6	
90	45	45	45	45	180	2.3	
105	30	30	30	30	120	-0.25	
120	15	15	15	15	60	3.45	
135	0	0	0	0	0	5.45	
150	15	15	15	15	60	5.35	
165	30	30	30	30	120	0.05	

4.3.3 まとめ

本節では、図形のプロポーションと形態及び配置角度の差による見えの大きさの定量的評価を行なった。その結果、形態的特徴により、配置角度を変えた場合の見えの大きさの変化が異なる傾向が示された。また、幾何学的図形のプロポーションにより配置角度の差が見えの大きさへ与える影響が異なることが示された。よって仮説 (b) の「図形内部の空間力の強さは、プロポーションの差により異なる」を支持する結果となった。

4.4 明度の差

1 節から 3 節では図形の形態や配置角度及びプロポーシヨンの差による見えの大きさについて検討した。これらの実験では刺激色は中明度であり、その他の明度を対象とした検討は行われていない。そこで本実験では、図形の明度の差による見えの大きさの定量的評価により、仮説を検証する。

4.4.1 方法

(1) 刺激

対象とした図形は、基本的な幾何学的形態（正三角形、正方形、正五角形）と曲線を持つ幾何学的形態（滴形、弧成卵形）とした。図形の面積を一定とし(1565.5mm²)、基準刺激を設定した（図 4-20）。配置角度が 0° である基準刺激から、段階的に配置角度を変えた図形を比較刺激とした。図形の中心を回転の中心は 360° 回転すると元の図形に重なるよう、図形の外接円の中心とした。として各図形の配置角度は、上下が逆になる配置角度をとるよう設定し、元の図形と重なるまで配置角度を変えた。三角形と滴形では、10°、正方形は 15°、正五角形は 12°、弧成卵形では 30°、滴形は 30° と 45° 毎とした。図形の回転の中心は、正多角形の場合は図形の重心とした。弧成卵形と滴形では、図形が内接する矩形の対角線の交点とした。図形の形態的特徴が異なるため、基本的な幾何学図形（120 刺激）と円弧を持つ図形（140 刺激）に分けて行った。明度は先行研究と同じ、マンセル表色系のニュートラルグレーを含めた 5 段階とした。一番暗い明度を v1、次に暗い明度を v2 とし、最も明るい明度を v5 と記述する（図 4-21）。

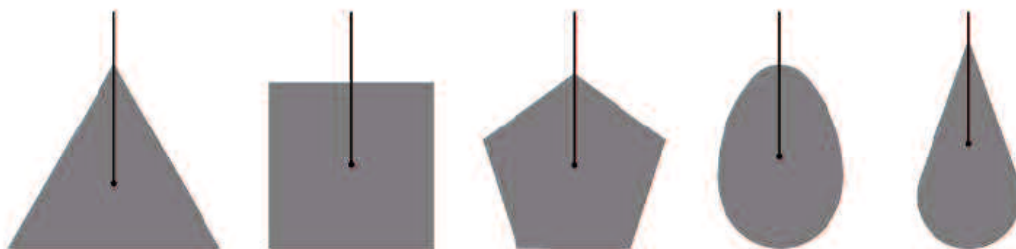


図 4-20 基準刺激

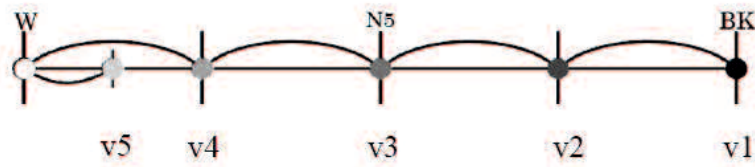


図 4-21 明度の設定

(2) 手続き

刺激の提示には、17 インチカラー液晶ディスプレイ（ナナオ EIZO FlexScan L557-RBK）を使用した。刺激の観察は、顎台によって目の高さが液晶ディスプレイの中央になるように調節し、視距離は約 50cm とした。見えの大きさの比較は、調整法を用いた。画面の中程に基準刺激と、明らかに面積が大きいまたは小さい比較刺激を提示し、基準刺激と同じ大きさに見えるように比較刺激の大きさの調節を行なった（図 4-22）。刺激の提示と大きさの調整は、プログラム（開発環境：Processing 5.0）により制御した。キーボードにある右矢印キーを押すと、提示している比較刺激の縦と横の幅が 1 ピクセル大きくなり、左矢印キーを押すと 1 ピクセル小さくなる。比較刺激の提示順と、画面上での左右の位置はランダムに変更した。

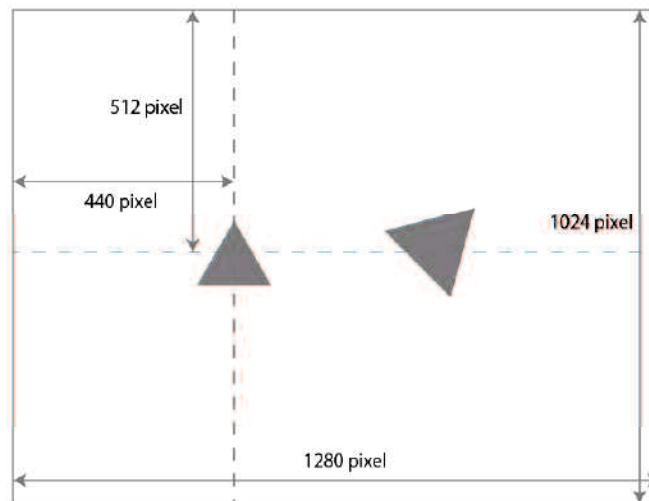


図 4-22 刺激の画面配置

(3) 実験参加者

基本的な幾何学的図形では、20～24歳（平均年齢 22.0 歳）の大学生と大学院生が、合計 24 名（男性 12 名、女性 12 名）が参加した。複合図形では、20～24 歳（平均年齢 21.7 歳）の 24 名（男性 12 名、女性 12 名）が参加した。

4.4.2 結果と考察

(1) 計測方法

刺激の大きさの計測の仕方は、図 4-23 のように刺激図形を含む正方形の枠を設定し、計測対象とした。しかし、この枠は画面上に表示されないように設定した。図形の大きさの拡大や縮小を行うと、枠も同じ比率で拡大と縮小を行う。この枠の一辺の長さをピクセル単位で計測し、得られた値を基に図形の大きさを判断した。



図 4-23 大きさを計測する枠の設定状況

(2) 分析

調節した画像と基準刺激との大きさの差を求め、平均値を求めた（図 4-24(a)～(e)）。得られた基準刺激と比較刺激の大きさの差に対して、配置角度と明度を要因とした分散分析を行った。その結果、正方形では配置角度の要因が有意となり ($F(4, 92) = 50673$ ($p < 0.01$))、配置角度が変わると見えの大きさが大きくなる傾向が示された。よって、仮説(b)の「図形内部の空間力の強さは、明度により異なる」を支持しない結果となった。

(3) 明度と見えの大きさについて

比較刺激と基準刺激の差が有意かどうか調べるために、0 を基準とした t 検定を行った。正方形では、配置角度が 45° のとき明度 2 ($p < 0.01$) と明度 1 ($p < 0.05$) が有意となった。配置角度が 60° のとき明度 2 と 3 で有意 ($p < 0.05$) となり、 75° では明度 2 ($p < 0.05$) が

有意であった。そのほかの条件では、有意傾向 ($p < 0.1$) が示された。

正方形では、配置角度が 45° の明度2が最も見えの大きさが大きいことが示された。配置角度が 45° の場合は菱形となり、マッハと金らが示した傾向と一致した。また、正方形の場合は、明度が低い方が見えの大きさに差が生じやすい可能性がある。この理由として、正方形の形態的特徴の影響が考えられる。1節と2節の検討により、正方形は配置角度による影響を強く受けるため、見えの大きさの差が大きい傾向が示された。よって、輪郭が明瞭となる低い明度の場合に、視覚的に形態をとらえやすくなると推測できる。そのため、配置角度による影響が強くなり、見えの大きさが大きくなると考えられる。

正三角形では、配置角度が変わると、見えの大きさが大きくなる傾向が示された。明度1と2では、大きさの差が生じやすい傾向が示された。t検定により各図形の角度ごとに明度の影響を調べると、配置角度 40° と 50° 及び 70° において明度5に有意差が見られた ($p < 0.01$)。さらに、配置角度 30° と 50° において明度3に有意差があった ($p < 0.01$)。また、配置角度 20° と 30° 及び 40° において明度1に有意差が見られた ($p < 0.01$)。その他の条件では、有意傾向 ($p < 0.1$) が示された。その他の条件では、有意傾向 ($p < 0.1$) が示された。

正三角形では、明度が高い場合は、明度による膨張の影響により、大きく見えたのではないかと考えられる。また、背景の白色と近い色であるため、輪郭が曖昧となっている。そのため、大きさの判断が難しいという内省報告があった。明度が低い場合は、背景の白とのコントラストが非常に強くなるため、図形と背景の境界が明確となり図形の輪郭を強く感じ、図形の持つ形態的特徴が見えの大きさに影響を与えたのではないかと考えられる。

正五角形では、明度5と1では見えの大きさが大きくなる傾向が示された。明度2と3では、見えの大きさが小さい角度が多くなり、明度3では差が生じにくい傾向となった。t検定の結果、配置角度 48° において明度5に有意差が見られた ($p < 0.05$)。その他の条件では、有意傾向 ($p < 0.1$) となった。

正五角形では、角度の差による見えの大きさの違いが小さく、先行研究と同様の傾向となった。形態的特徴として、内角が大きいために配置角度が変わっても見た目の印象の変化が小さいためと推測される。そのため、明度の高い色による膨張が影響していると考えられる。弧成卵形では、明度2が $120^\circ \sim 210^\circ$ の場合と明度4が 210° の場合に見えの大きさが大きい傾向が示された。しかし、ほとんどの条件で、配置角度が変わると見えの大きさが小さくなる傾向が示された。 240° の明度1と3のときに、差が有意 ($p < 0.5$) となった。また、明度1、3、5の場合も有意 ($p < 0.1$) となった。

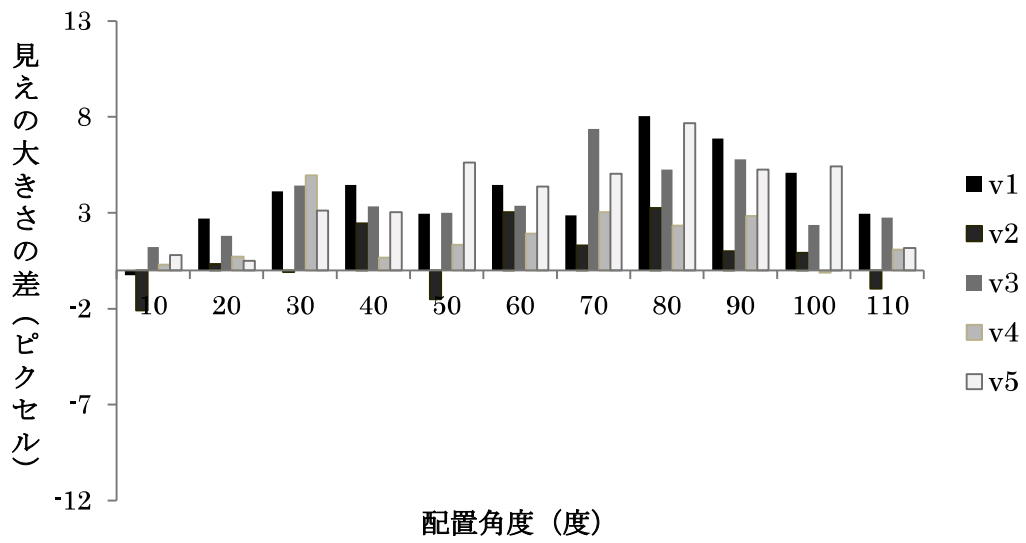
弧成卵形では、明度1と明度3及の場合は、基準との差が有意となり、明度5では有意傾向があった。有意となったのは、配置角度が 240° の場合のみであることから、形態的特徴による影響だと考えられる。

滴形の結果は、多くの条件で、見えの大きさが小さい傾向となった。t検定の結果、 120° の明度2、4、5のとき有意 ($p < 0.05$) となり、明度3のときは有意傾向 ($p < 0.1$) となった。そして、 90° の明度5が有意 ($p < 0.05$) であり、明度2では有意傾向が見られた ($p < 0.1$)。 210° の明度2も有意 ($p < 0.05$) となった。すべての明度と配置角度の条件で有意傾向 ($p < 0.1$) が見られた。

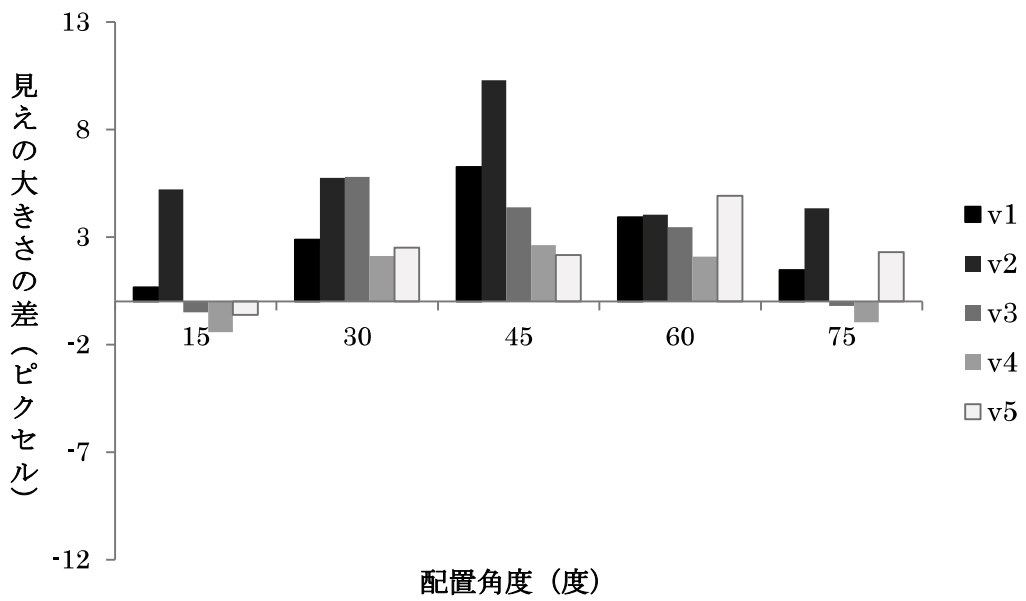
滴形では、明度2の配置角度 120° と 240° の場合、基準刺激よりも有意に小さい傾向がしめされた。この理由として、図と地のコントラストの影響によって見えの大きさに差が生じると考えられる。明度1では図と地の明度コントラストが強く、図形の輪郭部分が明瞭となり、大きさが変わりにくくなると考えられる。

弧成卵形は配置角度 240° 、明度1、3、5の組み合わせのとき相互作用によって見えの大きさに影響を与え差が生じる。また、弧成卵形と滴形は、配置角度が変わると見えの大きさが小さくなっており、本章での見えの大きさの実験と一致している。この要因として、頂点の数や円弧の影響が考えられる。円弧の場合は、図形の輪郭から内側へ向かう空間力が生じるとされる。そのため、円弧を持つ弧成卵形と滴形は、見えの大きさが小さくなる傾向があると考えられる。

弧成卵形では滴形と比較すると、配置角度による見えの大きさの変化が起きにくい傾向となった。その理由としては、滴形には頂点があり弧成卵形よりも軸線の存在が感じられやすく、垂直水平錯視の影響を受けやすいためだと考えられる。

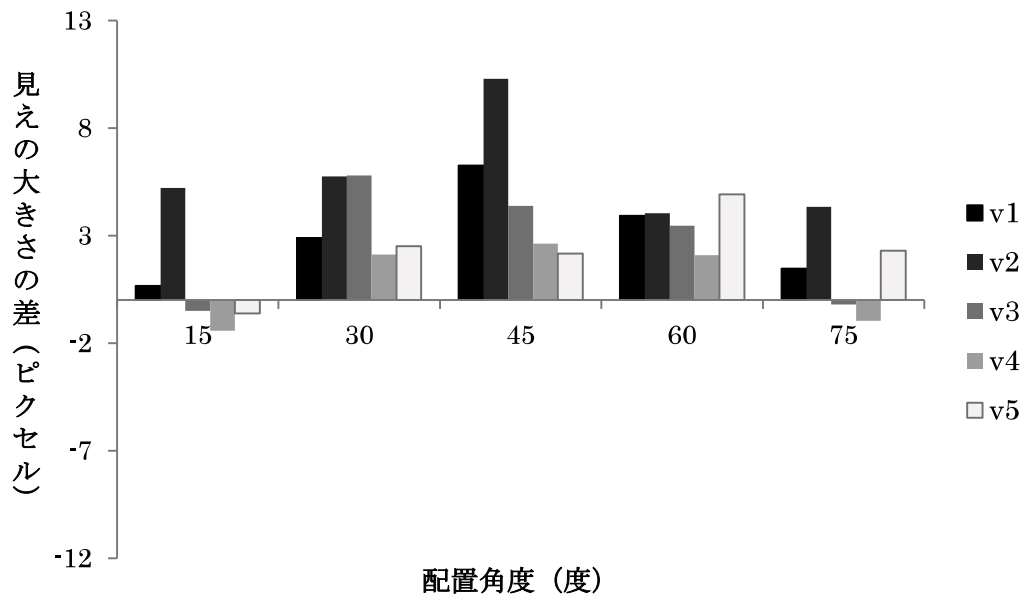


(a) 正三角形

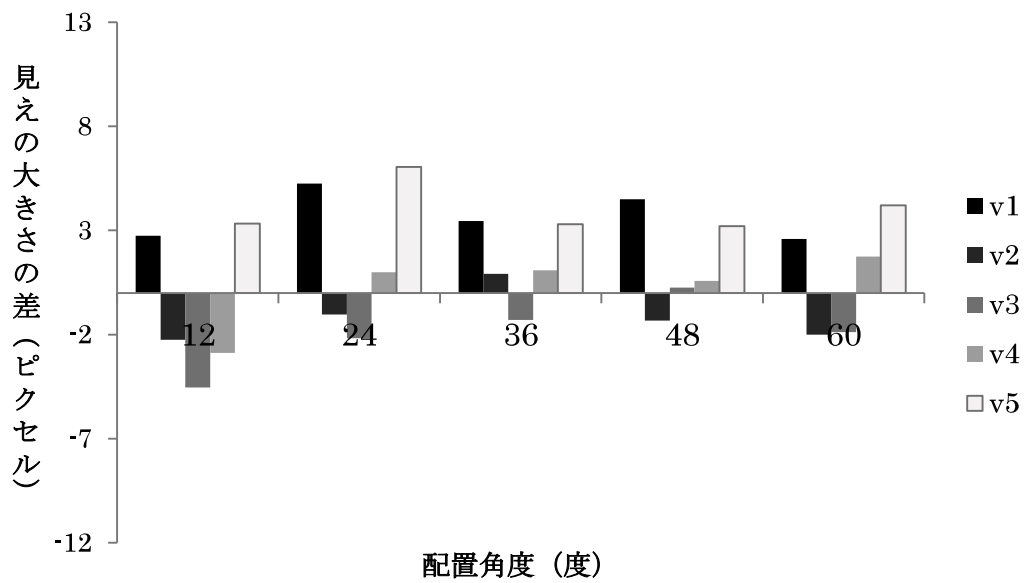


(b) 正方形

図 4-24 明度と配置角度の差による見えの大きさの平均値

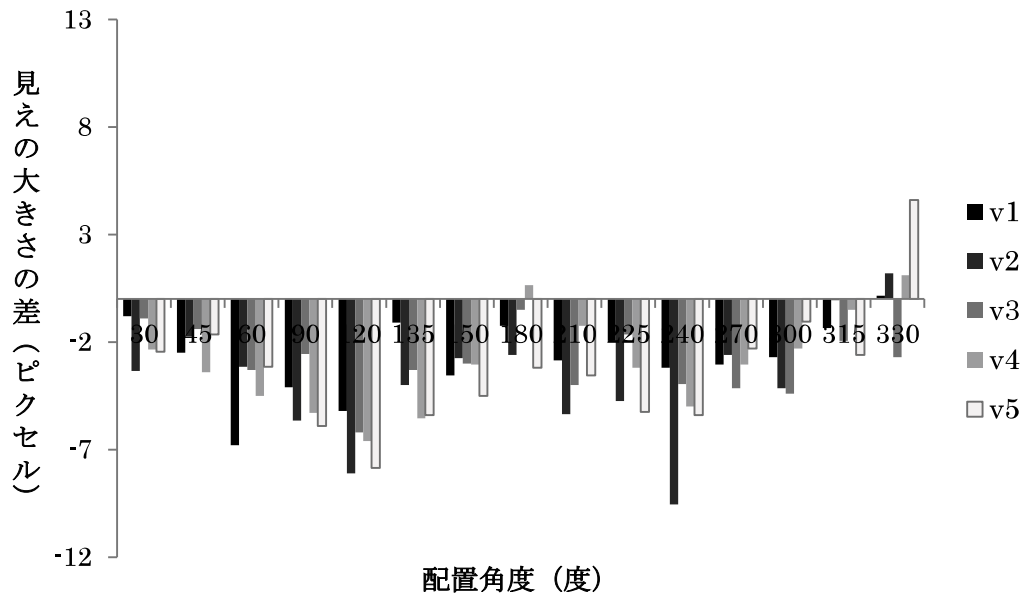


(c) 正五角形



(d) 滴形

図 4-24 明度と配置角度の差による見えの大きさの平均値



(e) 弧成卵形

図4-24 明度と配置角度の差による見えの大きさの平均値

4.4.3 まとめ

本実験では、配置角度の影響に加えて、明度による見えの大きさの定量的評価を行った。形態と配置角度によって明度の影響は異なっており、一貫性のある傾向は示されなかった。よって、仮説(b)の「図形内部の空間力の強さは、明度により異なる」を支持しない結果となった。

第5章

結論

5.1 総括

以下に、各章ごとに得られた結論を総括する。

「第1章 序論」では、本研究の背景と目的を述べ、各章の構成と概要を記した。

「第2章 空間力の概要」では、従来のシュパヌクや空間力に対する報告を整理した。その結果、空間力が生じている空間は図形外部と図形内部に分けることが可能であり、図形外部は緊張感や圧迫感という空間の印象に影響し、内部は見えの大きさに影響すると仮定し、それぞれの仮説を立てた。

「第3章」では、図形外部の空間力の定量的評価により仮説を検証した。まず、2つの幾何学的図形を並置し、図形間に感じる空間力の強さについて検討した。次に、1つの図形の周囲の空間力を感じる位置に空間力を表す点を移動させ、図形の周囲の空間力の場の形成について検討した。これらの検討により、仮説(a)で述べた「図形外部の空間力の強さは、図形の形態的特徴や図形からの距離により強さは異なり、図形の周囲に空間力の場を形成する」を支持する結果となった。

「第4章」では、図形内部の空間力と関連すると仮定した図形の見えの大きさについて、定量的評価により仮説を検証した。まず、幾何学的図形の形態と配置角度の差による影響を調べた。図形の配置角度については、内角2等分線の方が垂直もしくは水平に近い条件の場合に見えの大きさが大きい傾向となった。さらに、正三角形や正方形のプロポーションを変えた図形及び明度を5段階に変えた図形について、同様の検討を行った。矩形のプロポーションの差については、アスペクト比が小さく、正方形に近いほど配置角度を変えた時の見えの大きさの差が生じやすい傾向が示された。明度に関しては、一貫した傾向は示されなかった。これらの検討により、仮説(b)で述べた「図形内部の空間力の強さは、図形の形態と配置角度とプロポーションの差により異なる」を支持する結果となった。

5.2 本論文で得られた成果

以下に、本論文で検討した結果を述べる。

- 1) 空間力の仮説

美術・デザインの分野で視覚心理的な影響を指すシュパヌクや空間力についての従来研究から、以下に示す空間力の仮説を立てた（第2章）。

- (a) 図形外部の空間力の強さは、図形の形態的特徴や配置角度及び輪郭からの距離により異なり、図形の周囲に空間力の場を形成する。
- (b) 図形内部の空間力の強さは、図形の形態や配置角度やプロポーシオン及び明度の差により異なる。

2) 図形外部の空間力の強さと場の形成

仮説(a)を検証した結果、「図形外部の空間力の強さは、図形の形態的特徴や図形からの距離により強さは異なり、図形の周囲に空間力の場を形成する」を支持する結果となった。

図形間に生じる空間力の強さは、三角形の頂点が最も強く辺や円弧は弱いことが明らかとなった。さらに図形間の距離が短い場合や頂点の内角が小さい場合により強くなることが分かった。空間力の場は図形の形態に類似した形成状態となることが示された。また、頂点の内角二等分線の延長線上が最も強く、辺では弱いことが明らかとなった。（第3章）。

3) 図形内部の見えの大きさ

仮説(b)を検証した結果、「図形内部の空間力の強さは、図形の形態と配置角度とプロポーシオンの差により異なる」を支持する結果となった。

図形内部の空間力に関連する見えの大きさについて検討では、正多角形の中では正三角形が最も大きく見える傾向が示された。また、正方形は配置角度の影響による見えの大きさの差が大きいが明らかになった。プロポーシオンの異なる3種類の矩形では、アスペクト比の小さい図形は配置角度の影響を受けやすい傾向が示された（第4章）。

5.3 今後の課題

1)の仮説については、3章や4章の検討により仮説の多くの部分を支持する結果が示された。しかし、明度の影響については一貫した傾向が示されなかったことから、仮説をより深める必要がある。また、視覚調整に利用可能とするために、より多くの要因を対象として仮説を立てることが望まれる。

2)の図形外部の空間力の強さと場の形成では、刺激図形は正多角形と正円及び二等辺三角形であり、今後は複合図形等の複雑な図形でも同様の検討を行う必要がある。その他には、図形外部の空間力に関して刺激図形の色の三属性の差による影響や、形態的特徴の差により受ける印象との関連について検討することが望まれる。

3)の図形見えの大きさでは、図形外部と同様に刺激図形の形態や内角の大きさ等の形態的特徴を変えた図形に対して検討を行う必要がある。

最後に、本研究を通して曖昧な状況であった空間力の整理や心理実験により、空間力の影響が徐々に明らかとなってきた。このような空間力の解明や定量化により、将来的に情報デザインコ

コンテンツの制作支援や、視覚的バランスやスペーシングの課題の評価等のデザイン教育支援への応用が期待される。例えば、現在コンテンツの制作に使用されているソフトウェアに空間力を評価するツールを導入すると、構成要素に生じる空間力を定量的に示すことができる。よって、スペーシング等の空間力の調整や、不具合の原因の発見と修正が容易になる。今後の、空間力に関する科学的研究の深化と、その知見を応用した発展が期待される。

謝辞

山口大学理工学研究科の木下武志准教授には、私が山口大学工学部の3年生に編入してから今日まで、デザイン分野での実技や研究のご教授を賜りました。本論文をまとめるにあたっては、3年半という長い博士後期課程での生活から実験や論文の作成まで、終始熱心なご指導を頂きました。また、論文の学会誌への投稿や学会での研究発表、さらに他の先生方との打ち合わせ等の機会を設けてくださいました。ここに謹んで感謝の意を表します。

同科の多田村克己教授には、論文の作成から審査の進め方などの様々な局面において、多大なるご尽力をいただきました。また、空間力の場合に関する取り組みでは熱心な指導を頂き、空間力の考察を深めることができました。ここに謹んで感謝の意を表します。

同科の田中幹他教授には、論文をまとめるにあたり修正点について具体的にご指摘くださり、厳しい中にも温かく見守っていただきました。心より厚く御礼申し上げます。

同科の藤田正則教授には、客観的な立場から新鮮なご意見を多数いただきました。審査でのご指摘を通じて多くの知識や示唆をいただきました。ここに謹んで感謝の意を表します。

同科の長篤志准教授には、心理実験の刺激の設定や論文作成などの様々な局面において、多大なるご尽力を頂きました。また、私が博士後期課程に進学してから半年ごとに進捗状況を報告する機会を頂き、有益なご助言を多く頂きました。心から深く感謝申し上げます。

同科の松田憲准教授には、心理実験の刺激の設定や論文をまとめるにあたり、適切なるご教示とご協力を頂きました。特にデータの分析方法について多くの助言をいただきました。心より深く感謝申し上げます。

同科の水上嘉樹准教授には、実験刺激のプログラム作成から論文のまとめ方まで、丁寧にご指導いただきました。また、客観的な立場から新鮮なご意見を多数いただきました。心から深く感謝申し上げます。

武蔵野美術大学の小林昭世教授には、武蔵野美術大学の学生さんとのゼミや打ち合わせの機会を頂き、デザイン分野の専門家として有益なご意見を多数いただきました。ここに謹んで感謝の意を表します。

山口大学の Antohny G. Hoysted 准教授には、論文の英文タイトルや英文要旨の執筆に対して熱心な指導を頂きました。心より厚く御礼申し上げます。

実験にご協力頂きました山下由華氏、長谷川瑞来氏、川野里佳氏、菅原阿久里氏、三浦まゆ氏、笹井五月氏、プログラムの作成にご協力頂きました大高洸輝氏に深く感謝の意を表します。

また、木下研究室の学生をはじめ、実験にご協力いただきました全ての方々に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] The 20th International Biology Olympiad Organizing Committee: <http://www.jbo-info.jp/ibo/IBO2009/contact/poster.html>
- [2] Kyowa Hakko Kirin : <http://www.kyowa-kirin.com/>
- [3] (社) 日本グラフィックデザイナー協会教育委員会 : VISUAL DESIGN 2
Typography & Symbol Mark、六曜社、24-25、2000
- [4] 原田進 : C I デザイニング、実務教育出版、216、1989
- [5] 大崎善治 : タイポグラフィの基本ルール[デザインラボ]—プロに学ぶ、一生枯れない永久不滅テクニッカー、ソフトバンククリエイティブ株式会社、12-15、2010
- [6] 前掲[3]、24、2000
- [7] 伊達千代、内藤タカヒコ : デザイン・ルールズ、株式会社エムディエヌコーポレーション、12-14、2006
- [8] Kyowa Hakko Kirin :
<http://www.kyowa-kirin.co.jp/logotype/ci/isolation.html>
- [9] 前掲[5]、14、2010
- [10] 今井省吾 : 錯視図形 見え方の心理学、サイエンス社、4、1984
- [11] Maurice de Sausmarez : BASIC DESIGN : THE DYNAMICS OF VISUAL FORM、Simon & Schuster、38-40、1980
- [12] ギオルギー・ケペッシュ : 視覚言語、グラフィック社編集部訳、グラフィック社、28、1973
- [13] 片山哲夫 : 色と形、マニュアルハウス、58、2007
- [14] 前掲 4、81、2006
- [15] 福井晃一 : デザイン小辞典、ダヴィット社、138、1999
- [16] 三井秀樹 : 新構成学—21 世紀の構成学と造形表現、六曜社、170—171、2006

- [17] 藤武重典：構成・デザインの基礎、造形研究出版会、47-51、1957
- [18] 武井勝雄：構成教育入門、造形芸術研究会、63-64、1959
- [19] 川喜多煉七郎、武井勝雄：構成教育大系、学校美術協会出版部、30、1934
- [20] 木下武志：幾何学的平面図形の図形外部に生じる空間力の仮説とその考察、日本デザイン学会誌 第61回研究発表大会概要集、222-223、2014
- [21] 横瀬善正：形の心理学、名古屋大学出版会、39-62、1986
- [22] 深水義之、吉田登美男、伊藤明、小谷津孝明：横瀬の実験の再実験とその検討、デザイン学研究 Vol. 42、No. 3、25-32、1995
- [23] 深水義之、吉田登美男、伊藤明、小谷津孝明、野田健一、諸角建：横瀬「場の理論」のコンピュータシミュレーションー景観の図形認識の立場からの解明と評価に関する研究(1)、デザイン学研究 No. 92、43-50、1992
- [24] 長石道博：視覚の誘導場による読み易い和文文字列表示、映像情報メディア学会誌 Vol. 52、No. 12、1865-1872、1998
- [25] 長石道博：視覚の誘導場モデルによる手書き文字の文字品質評価と心理実験結果との比較、映像情報メディア学会誌 Vol. 53、No. 8、1176-1182、1999
- [26] 長石道博：視覚の誘導場モデルを用いたパターン認識時の心理実験結果の検証、テレビジョン学会誌 Vol. 50、No. 12、1965-1973、1996
- [27] 田中平八：幾何学的錯視現象と研究の枠組み(4)：視覚の誘導場理論、秋田県立大
学総合科学研究彙報 3、80-97、2002
- [28] 浅尾栄志、西尾考治、小堀研一：視覚の誘導場を用いた2次元画像の類似検索、情報処理学会 第70回全国大会、309-310
- [29] 小林重順：デザイン心理入門、誠信書房 24、1963
- [30] 本川弘一：感覚の生理学的基礎、526-537、1948
- [31] 内山道明：視覚に於ける場の強さを求める実験式について、名古屋大学文学部研究論文集（哲学）、93-112
- [32] エルンスト・マッハ：感覚の分析、法政大学出版局、90-91、1971
- [33] 金頭静、野口薫、日比野治雄：幾何学図形の面積知覚に及ぼす形と視覚の効果、感性工学研究論文 Vol. 1、No. 1、1-6、2006
- [34] Jiri Mates, Vito Di Maio, Petr Lansky: A model of the perception of area, Spatial Vision Vol. 6 No. 2, 101-106, 1992
- [35] Vito Di Maio, Maria Frucci, Petr Lansky: A computer program to study the

- area perception of squares and rectangles, *Computer Methodes and Programs in Biomedicine* 42, 263-270, 1994
- [36] 田中満雄、北畠 耀、細野尚志：デザインの色彩、日本色研事業株式会社、12、2008
- [37] John P Smith : The effects of figural shape on the perception of area, *Perception and Psychophysics* No.5 Vol.1, 49-52, 1969
- [38] 後藤倬男、田中平八：錯視の科学ハンドブック、東京大学出版会、20、2005
- [39] 前掲 38、16、2005