

早稲田大学審査学位論文

博士 (人間科学)

図形認知の研究における (6点、 $n$ 線) 図形の持つ意義

Significance of Using (6 point,  $n$  line) Figures to the Research on  
Cognition of Figures

2014年7月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

神戸文朗

KANBE, Fumio

# 図形認知の研究における（6点、 $n$ 線）図形の持つ意義

## 目次

<b>第1章 本論文の目的と背後にある問題意識</b>	<b>1</b>
1. 1. 本論文の目的、1	
1. 2. 心理学的理論と使用された刺激図形の関係、1	
<b>第2章 図形認知に関する幾つかの重要な心理学的研究の概括</b>	<b>3</b>
2. 1. 不変的特性ないし特徴を利用した図形の認知、3	
2. 1. 1. 情報量と識別容易性、3	
2. 1. 2. 示差的特徴と図形間類似性、4	
2. 1. 3. 特徴集合と図形集合、5	
2. 1. 4. 図形のよさや類似性と図形集合、5	
2. 1. 5. 変換構造説、6	
2. 1. 6. トポロジカルな知覚、8	
2. 1. 7. 背景からの図の分離、10	
2. 1. 8. 特徴の検出と統合、16	
2. 1. 9. 変形に対して不変な形態的特徴、23	
2. 1. 10. 変形に対して可変な形態的情報、24	
2. 2. 図形の持つ全体性とその構成部分、25	
2. 2. 1. 図形の分析：構造情報理論、25	
2. 2. 2. 特徴の階層性、27	
2. 2. 3. 凹部における2次元輪郭線の離断、29	
2. 2. 4. RBC理論、31	
2. 3. 分析的方法によらない図形認知、37	
2. 3. 1. 心的回転とアナログ全体的見解、37	
2. 3. 2. 角度差効果の存在と不在、40	
2. 3. 3. 複雑性効果の存在と不在、41	
2. 3. 4. 心的回転速度に影響を与える条件、44	
2. 3. 5. 表象に関する命題的見解、45	
2. 3. 6. 心的回転の生起条件、46	
2. 3. 7. イメージ論争のその後、48	
2. 3. 8. 対称性の知覚、50	
2. 3. 9. 図形間対称性、50	
2. 3. 10. 図形内対称性、51	

- 2. 3. 10. 1. 対称性と図形のよさ、51
- 2. 3. 10. 2. 垂直軸に関する対称性が持つ優位性：両側対称性、52
- 2. 3. 10. 3. 不完全な軸対称性の知覚と図形の方向性、53

### 第3章 図形認知研究において使用された主たる刺激図形と作図法 55

- 3. 1. 刺激図形に関する分類、55
  - 3. 1. 1. 有意味図形と無意味図形、55
  - 3. 1. 2. ランダム図形と非ランダム図形、56
- 3. 2. 無意味図形を使った研究例とその評価、57
  - 3. 2. 1. アンテナ状線図形、57
  - 3. 2. 2. 文字様図形、58
- 3. 3. ランダム図形を使った研究例と評価、63
  - 3. 3. 1. ランダムヒストグラム、63
  - 3. 3. 2. ランダム多角形、66
  - 3. 3. 3. ランダム行列パターン、67

### 第4章 (6点、 $n$ 線) 図形に関するこれまでの研究の紹介 70

- 4. 1. (6点、 $n$ 線) 図形とは何か、70
  - 4. 1. 1. 図形認知研究に(6点、 $n$ 線) 図形を使用する意義、70
  - 4. 1. 2. (6点、 $n$ 線) 図形の持つ特性と利点、72
  - 4. 1. 3. (6点、 $n$ 線) 図形とグラフ理論、73
  - 4. 1. 4. 種々のグラフ不変数の説明、74
- 4. 2. (6点、 $n$ 線) 図形を使用した問題解決課題の研究法、77
  - 4. 2. 1. 問題解決課題の持つ実験上の特性、78
  - 4. 2. 2. 問題解決課題における基本仮定、78
  - 4. 2. 3. 神戸(1983a)の問題解決課題による原始的特徴の抽出パラダイム、79
    - 4. 2. 3. 1. 問題作成プログラム、80
    - 4. 2. 3. 2. 実験手続、80
    - 4. 2. 3. 3. 反応記録と図形の特徴値への変換、87
    - 4. 2. 3. 4. 各特徴の周辺確率分布の推定、89
    - 4. 2. 3. 5. 分析手続、89
  - 4. 2. 4. 問題解決課題による原始的特徴抽出法に基づく幾つかの学会発表、90
    - 4. 2. 4. 1. 問題解決課題による原始的特徴抽出法に基づく実験結果、90

- 4. 2. 5. 問題解決課題による原始的特徴の抽出パラダイムの修正、94
  - 4. 2. 5. 1. 輪郭線検出のアルゴリズムに関する論文、95
  - 4. 2. 5. 2. 輪郭線情報の検出とその利用可能性についての学会発表、96
  - 4. 2. 5. 3. 修正された特徴集合を紹介した論文、98
  - 4. 2. 5. 4. 追加された特徴による問題解決課題での原始的特徴抽出パラダイムに関する学会発表、106
  - 4. 2. 5. 5. 凹部における輪郭線離断の証拠を示唆する学会発表、108
  - 4. 2. 5. 6. 問題解決課題による原始的特徴抽出法への懐疑、109
- 4. 3. (6点、 $n$ 線) 図形を使用した心的回転の研究、110
  - 4. 3. 1. 図形認識における心的回転の役割について、110
    - 4. 3. 1. 1. 心的回転の普遍性についての学会発表、110
    - 4. 3. 1. 2. 図形の複雑性が心的回転に与える影響についての学会発表、111
    - 4. 3. 1. 3. 問題解決課題を使った非座標依存的記述の可能性についての学会発表、113
  - 4. 3. 2. 心的回転とアナログ・命題論争を巡る研究、116
    - 4. 3. 2. 1. 同一性判断課題による心的回転の役割についての論文、116
    - 4. 3. 2. 2. 同一性判断課題による心的回転適用の普遍性に関する論文、126
    - 4. 3. 2. 3. 鏡映関係と同一関係の弁別のために心的回転が必要か否かについての学会発表、130
    - 4. 3. 2. 4. 問題解決課題による心的回転の役割に関しての論文、132
    - 4. 3. 2. 5. 心的回転の困難性について：複数の特徴の位置情報の保存(学会発表)、139
- 4. 4. (6点、 $n$ 線) 図形を使用した特徴検出の研究、144
  - 4. 4. 1. 端点と閉合性の臨界性、145
    - 4. 4. 1. 1. 同一性判断課題に関する幾つかの学会発表、145
    - 4. 4. 1. 2. 同一性判断課題に関する論文、147
    - 4. 4. 1. 3. 目標探索課題に関する学会発表、157
    - 4. 4. 1. 4. 目標探索課題に関する論文、157
    - 4. 4. 1. 5. 特徴検出課題に関する論文、163
- 4. 5. トポロジカルな特性に基づく図形認知の研究、167
  - 4. 5. 1. トポロジカルな図形認知仮説の一般性を検証する論文、169

5. 1. 図形認識における心的回転の生起条件、176

引用文献

179

# 第1章 本論文の目的と背後にある問題意識

## 1. 1. 本論文の目的

本論文は著者が開発し、長年研究してきた（6点、 $n$ 線）図形に関する実験結果を現在の図形認知理論の中で位置づけるとともに、図形認知に関する知見に対しどのような貢献を成しうるかを考察することを目的とする。そのために、

1. 心理学的理論形成と実験に使用された刺激図形がどのように関連しあっているか
2. 図形認知に関する幾つかの重要な心理学的研究の概括
3. 図形認知研究において使用された主たる刺激図形とその作成法
4. （6点、 $n$ 線）図形を使った実験・分析パラダイムの紹介
5. （6点、 $n$ 線）図形を使用した研究で得られた結果とその意味
6. （6点、 $n$ 線）図形を使った研究の今後の方向性

という順に議論を進めていきたい。

## 1. 2. 心理学的理論と使用された刺激図形の関係

図形認知に関する心理学的理論の一般性は、その主張の基礎となった実験で用いられた刺激図形の性質によって制限を受けることは自明である。それ故多くの研究者は刺激図形の有する性質をなるべく一般化しようとしてきた。

その現われとして様々なランダム図形や無意味図形が考案されてきた。ここでランダム図形という語は図形作成上のパラメータの値をランダムに決定できる手続を含む図形をいい、無意味図形とは実験参加者にとって新奇で意味記憶上での想起をもたらさない（言い換えれば親近性のない）図形を指している。

すべてのランダム図形は無意味であると言えようが、無意味図形のすべてがランダム図形であるとは言えないことに注意すべきである。例えば典型的なランダム図形である Attneave タイプのランダム多角形（Figure 1； 3. 3. 2. により詳しい説明がある）は実験参加者にとって新奇であるとともに何らの意味記憶上の想起ももたらさないことから無意味であるといえる。

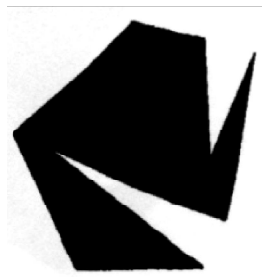


Figure 1. Attneave タイプのランダム図形。図は Attneave (1957)より一部改変した。

一方、親近性の低い Shepard タイプのブロック図形 (Figure 2) は、3次元空間における物体として解釈できるような作図上の制限を受け、屈曲点の位置や辺の長さ等の作図パラメータの値がランダムに決定されていないという点でランダム図形とは言えない。

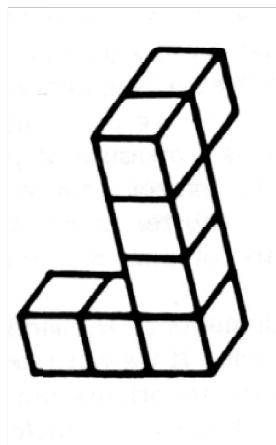


Figure 2. Shepard タイプの図形。図は Shepard (1982)より一部改変した。

図形の認知研究においてランダム図形や無意味図形を使用することは、実験参加者が所与図形に対して持っている学習履歴を利用したり、視覚像そのものの処理によらず意味記憶上での処理（これについては 3. 3. 1. においてより詳細な説明がなされている）によって判断を行ったりすることを抑止する効果はあろう。しかしある刺激図形によって得られた結果が一般性を持つためには、刺激図形そのものに由来しない高次処理を妨害することができるというだけでは不十分であり、刺激図形が十分客観的に記述されている必要がある。

そのような記述には、図形の深層構造に関する情報や表層的信息による記述、特徴による記述、特定の刺激図形と深層構造を共有する図形集合の定義、ある作図技法により作成可能な全図形集合中における特定刺激集合の定義、が含まれる。これら概念は本論文の枠組みをなすものであるので、この後により詳細な説明を加えていきたい。

## 第2章 図形認知に関する幾つかの重要な心理学的研究の概観

Ullman (1996)は物体（図形を含む）の認知に関する諸理論として、物体の持つ不変的特性、ないし特徴分析に基づくもの(invariant properties methods)、物体をその構成部分に分解することにより認識に至るもの (parts decomposition methods)、分析的な方法によらない表象の連続的変換に基づくもの(alignment methods)、という3つの立場を挙げている。本論でも2次元図形に議論を限定しつつ、この3分類を展望の枠組みとして諸理論を概観したい。勿論、各理論の3つの立場への分類は便宜的なものであって、その問題意識が上記分類に拘束されてはいないことは当然である。また時としてある理論が複数の立場の要素を擁していることもある。

ところで、我々が3次元空間上で実際に目にする図形は線の太さや長さ、輪郭上の屈曲点での角度や曲率、図形の持つ鮮明さ、大きさ、配置方向等、様々な条件の下で具体化されている。そして、例えば視点が変化することによりこうした具体化された条件は変化する。しかし、その図形の持つ深層構造が変わらなければ相変わらずそれら図形を同定することは可能な場合が多い。つまり人は深層構造の持つ不変性を利用して図形を認識しているとも考えられる。

ここでとりあえず所与の図形に内在する客観化可能な諸情報、それ故、偶然的変動にも比較的不変な情報、を特徴と総称しよう。なお、ここでは後述する特徴と次元の概念上の区別を行わない。それ故、我々は特徴の差異を利用して個々の図形の識別を可能とすることもできようし、深層構造の共通性を利用して異なった図形に関するカテゴリー化を可能とすることもできる。つまり、特徴は深層構造情報の一部をなしており、深層構造は複数の図形間においてある特徴が同値であることを示しているといえる。

一方、特徴の占める位置や、線や図形の位置、長さ、方向性は深層構造とはいえ、特定の特徴が特定の条件下で具体化されたときに出現する情報である。例えば、線の長さは一つの線分の存在を、屈曲点の位置は輪郭線上の屈曲点の存在を前提としてはじめて意味を持つ情報である。ここでそのような深層構造に対して可変な情報を表層的情報と呼ぼう。つまり、特徴分析的立場に立てば、深層構造が共通する図形間の識別は表層的情報によらなければならないのである。

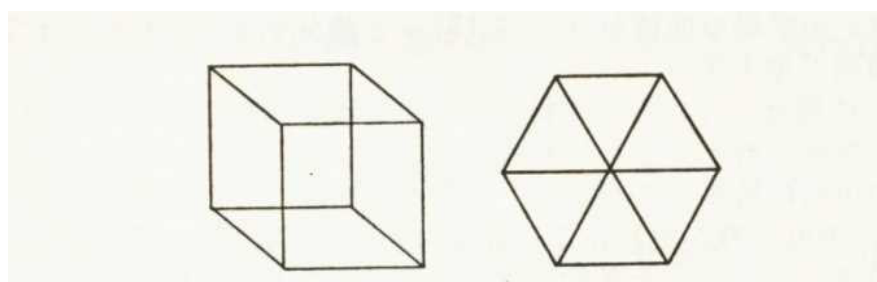
### 2. 1. 不変的特性ないし特徴を利用した図形の認知

#### 2. 1. 1. 情報量と識別容易性

Hochberg and McAlister (1953)は、ある刺激に対して起こりうる諸反応の生起確率は、



それら諸反応を一意的に定義するのに必要な情報量に逆比例すると仮定した。即ち、ある図形を定義するのに必要な情報量が少なければ少ないほど、その図形がその図形として知覚される可能性は高いと考えた。そして、異なった 2-D ないし 3-D 解釈可能性を持った **Kopfermann cube** (Figure 3) に対して 2次元 (2-D) 解釈をとるか 3次元 (3-D) 解釈をとるかを判定させたところ、線分長数、屈曲点数、交点数という各特徴に関して、少ない数で指定できる図形は 2-D 解釈をやすく、各特徴を指定するのに多くの数が必要な図形は 3-D 解釈をする傾向がみられた。つまり、特徴数からみて単純であり、2-D 解釈可能な視覚刺激は、より複雑な 3-D 物体としては解釈しないことが示唆されている。



**Figure 3.** 左の **Kopfermann** の立体と右の正 6 角形は同じ針金で作った立方体の投影図であるが、一方は 3-D 解釈に、他方は 2-D 解釈に基づいて知覚する。Hochberg (1978)より引用。

## 2. 1. 2. 示差的特徴と図形間類似性

明示的に特徴を図形認知の基礎に置いた一人として **Gibson (1969)**がいる。彼女はある音素を他の音素から識別するのに必要な特徴群との意味で使用されていた示差的特徴 (**distinctive features**) という考え方を、図形 (彼女が取り上げたのは大文字のアルファベット) の識別にも利用しようとした。

彼女は、直線成分として水平線、垂直線、右斜線、左斜線； 曲線成分として閉合、上方に開、下方に開； 冗長性として周期性と対称性； 非連続性として垂直方向、水平方向； 及び線交差； を示差的特徴として選んで、所与のアルファベットにそれらが存在するか不在かを各々指定することによって 26 個のアルファベットを分別しようとした。

同様な試みとして、**Geyer and DeWald (1973)**もアルファベットの示差的特徴リストを提案している。

一方、識別性の反対概念である図形間の類似性については、複数の特徴によって張られる数量的空間によって説明しようとする試みがなされた。それらの多くは図形間の類似性評定や弁別潜時を使用して多次元尺度法による分析を行ったものである。その結果、類似性の次元として、放散性、凹凸性、延引性 (**Behrman & Brown, 1968**)や、凝集性、凹凸性、延引性 (**Brown & Andrews, 1968**)、あるいは図形の複雑性、曲率、曲率放散、直線成分の放散(**Stenson, 1968**)、が抽出されたとしている。

但し、これら特徴は互いに極めて複雑な従属性を示していると考えられ、線形性を基本

とした多次元尺度法を適用することが妥当なのか疑問無しとしない。

### 2. 1. 3. 特徴集合と図形集合

Tversky (1977)は類似性に関する数量的、多次元的仮定への疑問を呈し、対象物は特徴の集まりとして表現され、類似性は特徴の照合によって記述されるという集合論的研究法を提唱した。とりわけ、対象物間の類似性は両者間で一致する特徴と異なる特徴の線形結合として表現できるという対比モデルを提唱した。このような特徴集合に基づいて図形の認知がなされるという立場は、複数の図形で特徴集合の値が一致する場合1つの図形集合を形成するという主張へと導く。

### 2. 1. 4. 図形のよさや類似性と図形集合

Garner and Clement (1963)は、パターンの「よさ (goodness)」は心理学的に推定される同値パターン集合の大きさに反比例するという仮説を立てた。

彼らは  $3 \times 3$  行列の細胞上におかれた5個の点パターンと、 $3 \times 3$  行列の細胞上に置かれた X と O からなるパターンという2種の刺激集合を実験において使用した。評定群の実験参加者は刺激のよさを7件法で評定することが求められ、分類群の参加者は刺激集合を要素間の類似性がほぼ等しいパターン群へと分類することが求められた。次に、同値集合の大きさは鏡映反射（水平・垂直軸による）と  $90^\circ$  回転によって作られる異なったパターン数で定義された。

その結果、よさの評定と類似群の大きさは高い相関を持ち、反射と回転に基づく同値パターン集合の大きさはよさ評定の分散の73%を説明した。この結果は上記の仮説を補強するものと考えられた。

Handel and Garner (1966)では、点パターンを刺激集合として、課題1では各パターンのよさの評定が行われ、課題2では各パターンの再生が求められた。得られた再生パターンの分布から全刺激集合に対して分離可能条件と包含条件が存在することが示唆された。ここで、回転と反転によって定義される集合は互いに分離可能であり、これら集合には更に下位集合が存在していると考えられる。集合の大きさが小さいほどよいパターンを示すという意味で、下位集合の大きさはパターンのよさと関係付けられた。

Garner (1974)は、図形の持つ次元性とそれの属する刺激集合の関係について大要以下のような説明をしている。

1. 全体集合の存在によってはじめて特定集合の次元構造が明らかになる。逆に、特定の次元構造を指定することでそれを満たす刺激集合が全体集合中に幾つ存在するかが明らかになる。
2. 全体集合から抽出された部分集合は全体集合に対して冗長である。またこの冗長性によって刺激間の相関構造を定義することが出来る。
3. 全体集合に対して部分集合の大きさが小さいほど、その部分集合の冗長性は高い。

4. 各刺激の持つ特性は全体集合や部分集合の特性に由来する。
5. 特定刺激を提示されたとき人はその属する部分集合についての知覚を引き起こす。言い換えれば、知覚するということは、提示された刺激のみならずその属する部分集合の他刺激の数や性質をも知覚することである。
6. 図形のよさは冗長な図形では高く、非冗長な図形では低い。
7. 集合の階層性は入れ子構造 (**nesting**) と分割性 (**partitioning**) によって定義される。反転や回転によって部分集合へ分割される場合、ある特性は特定刺激に対してよりは所属する部分集合に共通して連想される (対称性を持つ) が、入れ子構造が存在する場合には階層性を通して特性の継承が一方向的に強められ (非対称性を持ち)、結果として非常によい図形として知覚される。

また、Palmer (1978)は類似性選択課題を行ったところ、図形間で連結性と閉合性が保存されている高い構造類似性を持った場合は、図形間で連結性と閉合性が保存されていない低い構造類似性を持った場合よりも類似していると判断された。一方、高速分類課題においては、高い構造類似性を持った図形間では低い構造類似性を持った図形間より識別が困難であることが潜時や誤分類によって推測された。

要約すれば、上記のような主張や実験結果は深層構造を共有する刺激群に対して人はある種共通の知覚判断や類似性判断をする傾向を示しているといえよう。

## 2. 1. 5. 変換構造説

以上は、図形集合の大きさや図形のよさや類似性といった心理的評価を関連付ける研究であったが、Imai (1983, 1986)はより明確に図形 (広義にはパターン) の持つ変換可能性によってその図形のよさや類似性が決定されるとする変換構造説 (**Transformational Structure Theory**)を提唱した。

そこでImai (1983)の議論を概括したい。彼は内部が塗られた小楕円 (黒楕円) と塗られていない小楕円 (白楕円) によって構成される小楕円の列パターンを刺激として採用した。

その際彼は、所与の刺激パターンに対して行う変換として、鏡映 (**M**)、位相 (**P**)、逆 (**R**) の3変換を取り上げた。**M** 変換は楕円列の左から右への順番を右から左へと変えることであり、**P** 変換は順番の位置を  $n$  個分ずらすことであり、**R** 変換は黒楕円を白楕円へ、白楕円を黒楕円へと変更することである (Figure 4)。

これら変換をある刺激に施すとき、2種類の変換構造が考えられる。図形内変換構造とは、図形の配置がある変換後にも不変であるか否かを表す。黒楕円と白楕円そのものによる表記ではなく、黒楕円を1、白楕円0と表記し直してみよう。0110に**M**変換を行っても0110となり両パターンは不変であるが、0011に対して行うと1100となり両パターンは変化してしまう。それ故、前者は図形内構造として対称性を持つが、後者は対称性を持たないといえる。

一方、図形間変換構造とは、2つの図形パターンに関して、一方に変換を施すことによって他方のパターンと同一となるか否かを表す。例えば、(1111, 0000)の対の第1のパターンにR変換を施すと0000となり、第2のパターンと同一性を保つ。しかし、(1100, 0010)の対の第1のパターンにRを施すと0011となってしまう、第2のパターンの0010とは同一性を保たなくなってしまう。それ故、前者の対は図形間構造として逆性を持つが、後者の対は持たない。

(変換操作)	(変換前)	(変換後)
a. <i>mirror image M</i>	0 0 0 0 1 2 3 4	0 0 0 0 4 3 2 1
b. <i>phase P</i> 2 steps to the right	0 0 0 0 1 2 3 4	0 0 0 0 3 4 1 2
1 step to the left	0 0 0 0 1 2 3 4	0 0 0 0 2 3 4 1
c. <i>reversal R</i> (black and white)	0 0 0 0 1 2 3 4	0 0 0 0 1 2 3 4

Figure 4. 認知的変換 M、P、R による刺激パターンの変化。Imai (1983)より一部変更して引用。

更に、図形内と図形間の変換として2つの変換  $T_1$ 、 $T_2$  を考えたとき、図形配置は次のような変換の組合せによって表現できる。

1.  $T_1 \vee T_2$  (図形は  $T_1$  に対しても  $T_2$  に対しても不変である)
2.  $T_1, T_2$  (図形は  $T_1$  か  $T_2$  のいずれかに対して不変である)
3.  $T_1 \wedge T_2$  (図形は  $T_1$  と  $T_2$  を連続して適用した場合に不変である)
4.  $E$  (図形は  $T_1$  と  $T_2$  のいずれの組合せを適用しても不変とならない)。

変換構造説の立場からは、変換によっても安定な図形がよい図形であるといえる。それ故、図形のよさ  $g$  は、 $g(E) < g(T_1 \wedge T_2) < g(T_1), g(T_2) < g(T_1 \vee T_2)$  の順となることが予想される。実際  $3 \times 3$  上の細胞に5個の黒丸が配置されたパターンや楕円の一次元配列に関してはそれらのパターンのよさの評定は、 $E < M \wedge P < M < M \vee P$  となった(今井・伊藤・伊藤, 1976a, b; 松田, 1978)。

図形の類似性  $s$  に関しても、 $s(E) < s(T_1 \wedge T_2) < s(T_1), s(T_2) < s(T_1 \vee T_2)$  となることが

予想されるが、実際、楕円の一次元配列において類似性評定は、 $E < P \wedge R < R < P < P \vee R$ の順になった (Imai, 1972, 1977; 伊藤, 1975)。これらの結果は上記予想を支持していると考えられる。

即ち、変換構造説の立場に立てば、与えられた図形に対する認知判断はその図形配置そのものに基づくのではなく、その配置の持つ変換構造に拘束され、同一の配置が異なったパターンとして認知されたり、異なった配置が同一のパターンとして認知されたりすることが考えられる。

### 2. 1. 6. トポロジカルな知覚

図形の持つ同値な特徴集合によって多数の刺激図形が少数の図形群に分類できるという考え方は人がトポロジカルな知覚が可能だという議論をも包含する。ここで、与えられた図形や物体などを連続的に変形しても不変な性質をトポロジカル (位相的) な性質という (中村, 1966 を参照)。

Chen (1982)は、我々の視覚システムは図形の持つ大局的特性に基づき背景から大きなまとまりへと分離しようとしているとする。そうした大局的特性を代表するものとして連結性を挙げている。彼の実験1では、共に内部が塗られた四角と円、共に内部が塗られた三角と円、中空が塗られていない円 (即ち、輪) と塗られた円、のいずれかの刺激対を 5ms 提示した後、提示された対が同一か否かの判断が求められた (Figure 5)。

ここで、塗られた四角、円、三角は互いにトポロジカルな特性を持つが、輪とこれら3種の図形との間はそのようではない。

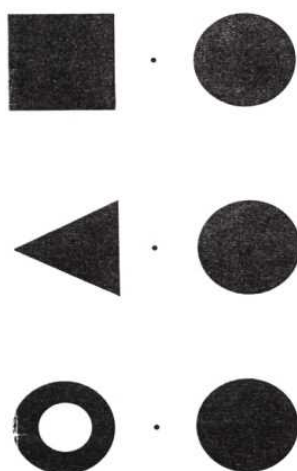


Figure 5. Chen(1982)の使用した刺激対。

実験の結果、穴のある図形 (輪) と穴のない図形の対の判断は、穴のない図形同士の対

の場合の判断に比べて正しく非同一判断を下す確率が有意に高かった。

瞬間提示 (50 ms) された目標となる垂直線分が視野左方に見えるか右方に見えるかを判断する課題 (実験 2) において、線分が単独提示された場合よりも線分が閉合性を示す図形の一部をなしている場合に、正答率は有意に高かった。

彼の実験 3 は、位置と傾きが異なった 2 種の線分を瞬間的な継時提示をしたときどの線分が先行し、どの線分が後続したかを判断する課題であった。結果として提示の際に線分のみが描かれていた条件に比べて、一方の線分が付加的に描かれた円の内部に、他方が円の外部に描かれていた条件の正答率が有意に高かった。

Chen によれば、これらの結果は従来からの特徴検出理論や空間周波数フィルター理論で説明することは難しく、大局的でトポロジカルな特性が初期に検出されるという仮説が最もよく適合するとした。

これに関し、Gibson, Gibson, Pick and Osser (1962) は 4 歳から 7 歳の児童の人工的な絵文字の識別能力を調べた。そのような標準文字に対して、(a) 辺を直線から曲線へ、(b) 方向の回転、(c) 垂直線に関する軸対称性、(d) 水平線に関する軸対称性、(e) 180° 回転、(f) 左右の圧縮比、(g) 開口部の閉合、(h) 閉合部の開口、という変換によって作られた様々な変異型の文字を用意した。実験参加者には提示された標準型と一致する文字を 12 x 13 行列の標準型と変異型の入り混じった文字配列の中から選び出すことが求められた。結果として、児童は開口部の閉合や閉合部の開口といったトポロジカルな変換を伴う文字を選択する際の誤りが一番少なかったとしている。

しかし、Rubin and Kanwisher (1985) は Chen (1982) の結果は、トポロジカルな特性への感受性によってではなく刺激図形の持つ光量 (黒く塗られた部分の面積に反映される) の差異によって説明できると批判している。更に彼等は視覚システムを計算論的に考えた場合、局所的な幾何学的特徴が原始的データとなるべきであって、トポロジカルな特性が原始的データになることは考えにくいとしている。

これに対して Chen (1990) は光量を制御した付加的な一連の実験を行い、トポロジカル特性の検出仮説を擁護している。

また、Chen, Zhang, and Srinivasan (2003) の実験 1 では砂糖水を報酬として Y 字迷路端に提示された刺激図形をミツバチに弁別させようとした。刺激対は練習試行では、(a) 輪 (1 つの穴を持つ円盤図形) と文字様図形 S を使用し、テスト試行では、(b) 中空な菱形図形と X 図形、(c) 輪と 4 つの穴を持つ円盤図形、(d) 輪と穴のない円盤、(e) 輪と中空な菱形、を使用した。その結果、ミツバチは非トポロジカルな図形対である (a)、(b)、(c)、(d) は容易に識別できたが、トポロジカルな図形対である (e) の弁別はより困難であった。

異なった図形対を使用した同論文の他の実験でも同様な結果を得ている。Pomerantz (2003) は論評論文において、ミツバチがトポロジカルな情報を検出可能であるということは一見驚くべきことのようにも思えるが、大局的特性が局所的特性より知覚されやすいというヒトにおける結果と軌を一にしていると評価している。

## 2. 1. 7. 背景からの図の分離

視覚刺激について少し視点を変えてみると、物体（あるいは図形）は背景の中に存在する。2次元平面上でその両者を弁別するためには、物体表面を覆う肌理（きめ）と背景を覆う肌理の違いを検出することが重要と考えられる。Julesz (1981b)は、注意の転換に基づくサッケード運動が生じるためには 160ms 以上かかることから、物体の容易な検出は 160ms 以内に生じるとした。そこで彼は、異なった肌理を持つ 2 つの領域が容易に分離するかを調べようとした。Julesz を中心としたグループは肌理の違いの検出に関わる多くの重要な発見をしているので、その主張の変遷を概観してみたい。

Julesz (1975)は肌理の構造を記述するに必要な変数の数を  $n$  次の統計量と呼んだ。厳密な定義ではないが、ここで  $n$  次統計量とは肌理の構造を記述するのに必要な変数の数（あるいは自由度）を示している。

新しい変数を導入することにより肌理の構造をより詳細に記述できるようになるが、それとともに確定すべき媒介変数(parameters)の数は指数的に増大する。そこで、彼は 1 次の統計量を持つ肌理と 2 次の統計量を持つ肌理は容易に弁別可能であるが、3 次以上の統計量を計算することは知覚システムの容量を一挙に越えてしまい、それらの肌理の分離は一般に困難であると予想した。

Julesz (1981b)の説明に従えば、1 次の統計量によって作られる肌理の例として領域中に微小の点を撒き散らしたときに出来る模様を、2 次の統計量による肌理の例として様々な長さの針を撒き散らしたときに針の両端に塗られた点によって出来る模様を、3 次の統計量による肌理の例として様々な形の三角形を撒き散らしたとき三角形の頂点によって出来る模様を挙げている。

Figure 6 (A)の左半界は Poisson 過程によって作られた肌理であり、右半界はすべての点間距離がある値  $\epsilon$  より大であるという制約下で同じ Poisson 過程により作られた肌理である。つまり、両半界は 1 次統計量では一致しているが、2 次統計量は異なっており、予想どおり 2 つの肌理は容易に弁別可能である。

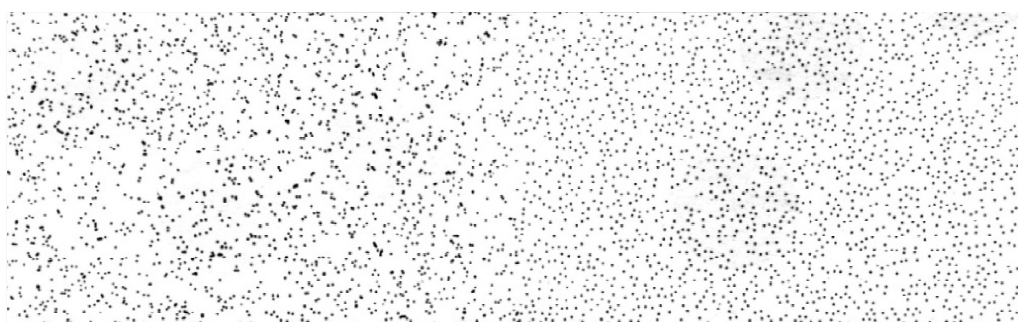
また(B)、(C)において 2 次統計量は同じであっても肌理の分離ができないことは明らかである。こうしたことから、同一の 2 次統計量を持った肌理は容易には分離できないという推測が導きだされた。

しかし Caelli and Julesz (1978)は、同一の 2 次統計量を持った 4 点パターン要素図形からなる肌理を使って調べてみたところ、同一の 2 次統計量であるにも拘わらず 4 点が擬直線状に並んだ(quasi-collinearity of certain disk elements)要素図形からなる肌理は、そうでない要素図形からなる肌理からの分離が容易に生じた(Figure 7)。

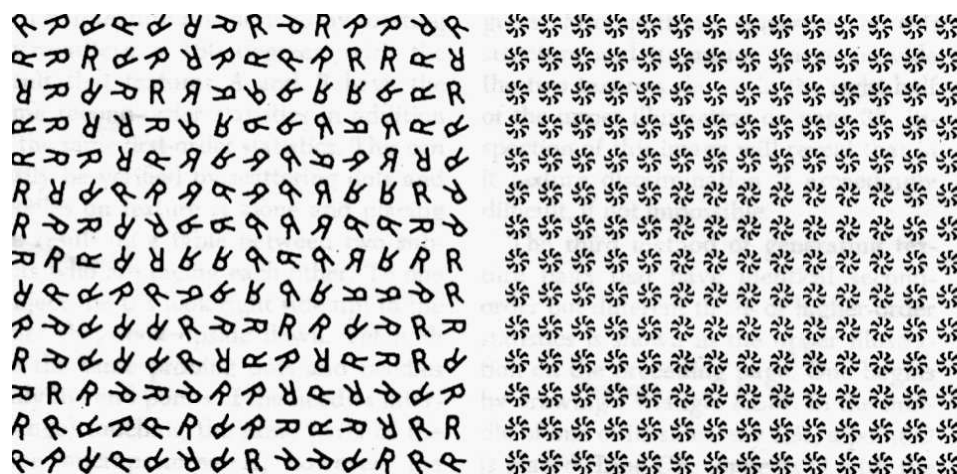
厳密には前記推測は打ち破られたのであるが、彼等は 2 次統計量上の違いを検出する A 級検出器と、2 次統計量が同一の場合に擬直線を検出する(quasi-collinear detector: QCD)等の働きをする B 級検出器の 2 種の検出器の存在を提唱した。

更により複雑な要素図形によって形成された同一の2次統計量を持つ肌理について調べたところ、6点パターンを使用した場合に角検出器 (corner detector) を、8~11個の点を使用した場合に閉合性検出器 (closure detector) という新たなB級検出器を発見した (Figure 8)。これらを除けば、2次統計量が同一のときはいかなる検出器も肌理の分離を引き起こすことはできなかった。

反対に言えば、擬直線性、角、および閉合性は前注意的な形態知覚の先駆的特性 (precursors of form perception) であると考えられた。ここで、前注意的とは視覚刺激への (a) 自動的で、(b) 容量限界がなく、(c) 広域的な、情報処理を指して使用される (Folk & Egeth, 1989)。



(A)



(B)

(C)

Figure 6. (A) において1次統計量は同じだが異なった2次統計量を持った左右の肌理は容易に識別可能であるが、(B)と(C)において同一の2次統計量を持った肌理は容易には分離できない。

(B)では様々な方向を向いた要素図形 R の領域中に鏡映反転形の R からなる小領域が埋め込まれている。(C)では羽根の方向が時計回りの要素図形からなる領域中に羽根の方向が反時計まわりの要素図形からなる小領域が埋め込まれている。Julesz(1975)より引用した。



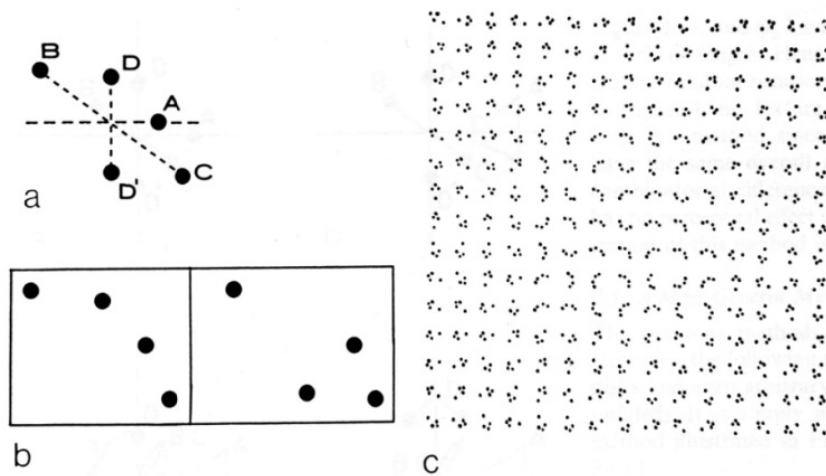


Figure 7. (a) は同一な2次統計量を持った4点パターンの作成法。4点中1点の位置を中心からDの距離に置くと擬直線状の配置となり(bの左)、-Dの距離に置くと穂先状の配置となる(bの右)。様々な方向に向いた穂先状の配置領域から様々な方向に向いた擬直線状の領域は容易に分離される(c)。Caeli, Julesz, & Gilbert (1978)より引用した。

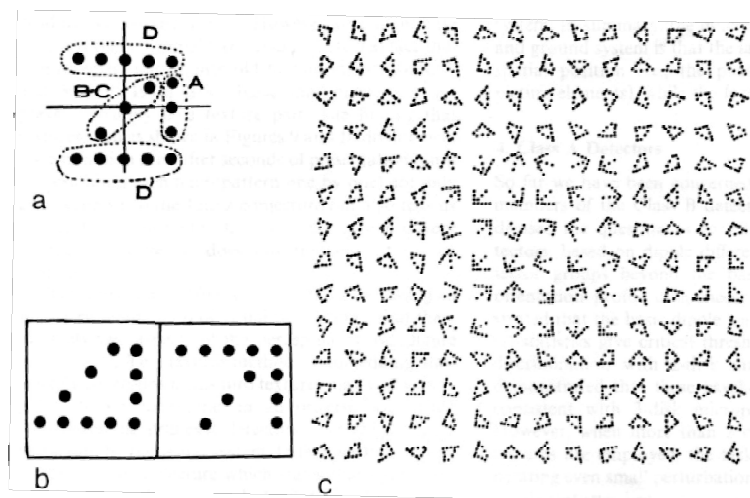


Figure 8. 11点パターン(a)を使用することにより閉合配置(b左)や角配置(b右)を作成できる。角領域中の閉合の領域は容易に分離できる(c)。Caeli, Julesz & Gilbert (1978)より引用した。

その後、彼は *texton* と呼ぶ局所的特徴が肌理の分離を引き起こすと提唱するようになった。

Julesz (1981a)によれば多くの、一見すると顕著な特徴は同一の2次統計量を持つ肌理を分離できない。しかし肌理を分離できるような特徴があったとすればそれは前注意的知覚における基本的要素であると考えられる。そこでそれら仮想的な要素を *texton* と呼ぶこと

にした。

しかし、Caeli, Julesz and Gilbert (1978)とは反対に、閉合性、角、連結性といった顕著な局所の特徴は *texton* とは言えないとしている。まず、Figure 9 を見て見ると、要素図形間では閉合性において明白な違いがあるが肌理の分離は生じていない。

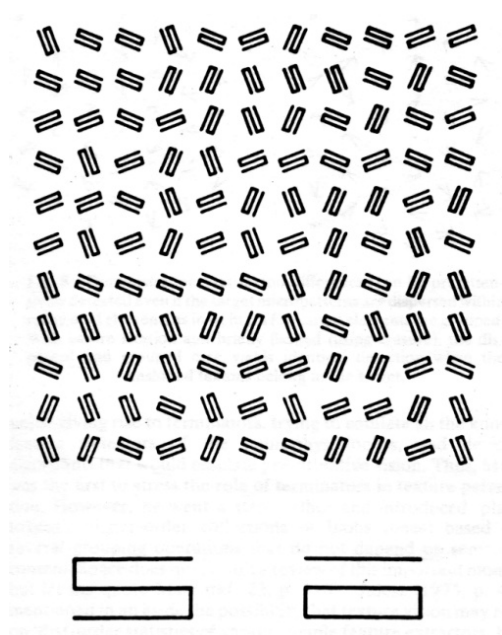


Figure 9. 上図の中央の領域は閉合を含む要素図形（下図右）からなるが、開いた要素図形（下図左）からなる周辺の領域から分離が生じていない。Julesz (1981a)より引用。

これは要素図形間で線分の長さ（2次統計量）や端点の数（1次統計量）が変わらないことによると考えられ、端点の位置も前注意的には知覚できないと考えられる。

彼は、次の Figure 10 における同一な2次統計量を持った肌理の分離の原因は、a（左図）の場合は閉合性の存在／不在というよりは端点の存在／不在に帰すべきであり、b（右図）の場合は連結性というよりは端点の数の違いに帰すべきだと考えた。

それ故彼は、色覚を除けば、特定の方向性と、幅と縦横比を持った引き伸ばされた染み状の領域(*elongated blob*)とその端点こそが *texton* になるというべきであると結論づけた。

また、前注意的な肌理の分離は *texton* の違いによるか、*texton* に関する1次統計量によると考えられる。つまり、2次統計量を持つ肌理は分離できないという当初の Julesz の推測は反証されてしまったが、前注意的な肌理分析システムは2次統計量を越える媒介変数を計算できないという修正された推測は維持されているとしている。

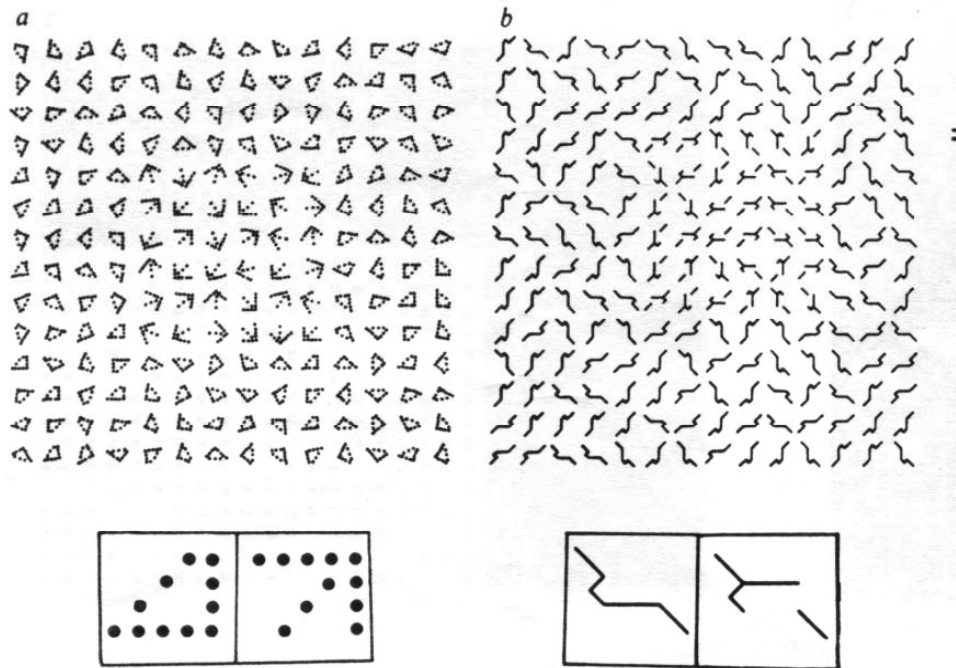


Figure 10. Juleszによれば領域間で分離が生じるのは閉合性の検出ではなく端点数の違いに由来すると考えた。a の場合には下図左の要素図形は端点数 0、右は端点数 3 であり、b の場合には下図左の要素図形は端点数 2、右は端点数 5 を持つ。Julesz(1981a)より引用。

Bergen and Julesz (1983)は、端点に加えて線分の交差が *texton* として働くことを示唆する実験を行った。彼等は、2 個から 36 個の様々な方向を向いた要素図形十、 $\perp$ 、 $\lrcorner$ によって構成される刺激布置中で、要素図形がすべて同一か一つだけ異なっているかを実験参加者に判断させた (*odd man out* 課題)。

ここで、1つだけ異なった図形があった場合、それを目標図形と呼び、他のすべての図形を非目標図形と呼ぼう。画面提示の統御は、刺激画面の提示(40ms)と消去、可変な空白時間、マスク画面の提示(40ms)、の順で行った。また SOA (Stimulus Onset Asynchrony) とは刺激提示からマスク提示までの時間である。空白時間は 160ms 以内なので眼球運動を伴わない残像を利用することが可能である。

結果として、十の背景の中で目標 $\lrcorner$ を検出することは SOA が短くても高い正答率があったが、 $\perp$ 中の $\lrcorner$ の正答率は SOA が長くなっても上昇しなかった。同様に、 $\lrcorner$ 中の十は非目標( $\lrcorner$ )の数が増大しても正答率は減少しないが、 $\lrcorner$ 中の $\perp$ は非目標の数の増大に従い正答率が大幅に減少した。これは、 $\lrcorner$ と十との *texton* の差異が目標図形的位置を際立たせて、並列的な探索においてそれを検出することができたのだと考えることができる。

更に、Julesz and Bergen (1983)ではより体系的に新しい知覚理論の 3 公準 (あるいは発見、*heuristics* と称した) を提起した。それらは以下のとおりである。

公準 1. 人の視覚は、並列的、瞬間的、検査を要せず、大きな視野領域を受け持つ前注

意的視覚（例として、肌理の分離）、と 50ms を単位とした注意の集中を必要とする系列的探索を行うが、その注意の中は狭い注意的視覚（例として、形態の認知）、の 2 種に分けられる。

公準 2. **textons** となりうるのは、(a) 引き伸ばされた染み状の領域（例えば特定の、色、配置方向、幅や長さを持った長方形や楕円や線分）、(b) 各線分の端点、(c) 線分の交差、に限られる。

公準 3. 前注意的視覚は **texton** 間の位置関係には感受性を持たず、**texton** が異なっている場所や、**texton** の密度（数）が異なっている場所へと注意的視覚を誘導する役割を持っている。

なお、狭い注意の中についての議論は **Julesz (1984)**にも詳しく説明されている。

しかし、**Sagi and Julesz (1985)**においては更に前注意的視覚の役割に修正が加えられる。即ち、斜線中の少数の水平線及び垂直線は急速に数え上げ可能であり、その位置の検出も前注意的になされる。しかし水平線と垂直線の弁別（即ち、単一の顕著な特徴の弁別）は注意を必要とする系列的処理となる。つまり、単一の特徴であってもその内容を知ろうとすると注意を要する系列的処理が必要とされ、特徴の存在する場所を決定しようとするときのみ並列処理となるとの主張がなされた。

この理論は後述する初期の特徴統合理論に見られる、単一の特徴の検出は前注意的になされるが、複数特徴間の結合に対して注意が必要とされる、という議論とは主張が異なっている。

更に、**Sagi and Julesz (1987)**は、特徴以外の要因も肌理の分離に影響を与えていると考えている。彼等は、背景の複数線分(2~90 本)の中から特定方向の線分（目標）が存在するか否かを判断させる探索課題を実施した。

その結果、背景の線分数（即ち密度）を増大させても目標の検出可能性は単調には変化しなかった。背景線分を少数増やすと検出可能性は減少したが、隣り合う線分が短距離内に置かれた場合、背景線分数の追加的増大は検出可能性の上昇につながった。この結果の結果の解釈にあたり、特徴の差異の検出は短距離内で働く作用であるとし、肌理の分離は全体としての要素図形間距離と比べてそれとは異なった要素図形間の距離があまり大きくないときだけ生じるとしている。

同様に **Bergen and Adelson (1988)**は中心領域の要素図形が X からなり、背景領域の要素図形が L からなる刺激布置に関して、X と L の大きさを変化させて肌理の分離の容易性を確かめた。要素図形 L に関して図形の光量は一定にしたままその 2 つの線分長を 25%増大させると肌理の分離は容易になったが、光量は一定にしたまま L の線分長を 25%縮小させると分離は困難になった。こうした結果は、低位の機制である大きさに敏感な検出器を想定することで説明できるとしている。

## 2. 1. 8. 特徴の検出と統合

Julesz らによる肌理の分離課題に基づく初期の視覚情報処理の研究と相互に関連しあいながら発展してきた知覚理論に Treisman らによる特徴統合理論がある。特徴統合理論の前提となる理論としてまず Garner の研究をあげておきたい。

Garner (1969)によると、急速分類課題での分類速度は図形間の弁別容易性が增大するか冗長な属性数が増大することによって上昇する。彼は、冗長な属性数が増えることによる分類速度の向上は、系列処理の対象となる属性への選別性の増大（このためには属性の分離性 *separability* を必要とする）と、属性が組み合わせられることによる弁別容易性の増大（このためには属性の統合性 *integrality* を必要とする）の双方によってもたらされると主張した。

更に Garner (1974, 1976)は、複数の属性（即ち、特徴）をその中に含んだ次元という考えを導入した。即ち、特徴とはある物理次元上での特定の値を表している。更に次元の持つ心理的作用に関して、次元の統合性 (*dimensional integrality*) と次元の分離可能性 (*dimensional separability*) という2つの性質を挙げた。ここでいう次元統合性とは対象の持つ2つ以上の物理次元上の値を変動させた場合、人はその対象に統合した一つの心理次元上の変動が生じたと認識されることをいい、次元分離性とは2つの物理次元における変動が心理的にも2つの次元上の違いとして認識できることをいう。前者の例として、我々は通常彩度と明度は分離しては知覚されず、色覚として統合的に知覚されることを挙げておく。

このような理論的背景の下で、特徴統合理論 (*Feature Integration Theory: FIT*) が Treisman and Gelade (1980)によって発表された。この仮説理論は、目標物体を指定するために2つ以上の分離可能な特徴が結合する必要がある場合に、我々は視野中の各刺激に対して注意を系列的に集中させて走査するというものである。

彼女等は探索課題、肌理の分離課題、急速分類課題、等種々の課題を採用し、形と色という分離可能次元上の幾つかの特徴に関して、および、直線、曲線、アルファベット等の多くの図形的特徴に関して、上記仮説を検証した。

結果をまとめると、

1. 人は視野中の分離可能な各特徴を並列的に検出できること。
2. この初期における並列的な特徴の検出は肌理の分離と図と地の群化に共に関連していること。
3. 各特徴の位置の決定には更に付加的な認知操作が必要なこと。
4. 注意が拡散していたり、処理容量が超過していたりする場合は錯誤的結合 (*illusory conjunction*) が発生する可能性があること。ここで錯誤的結合とは、2つの分離可能な特徴の結合が実際には発生していないのに発生しているかのように知覚することをいう。
5. 特徴の結合に関しては系列的な注意の集中が必要であり、それが生じている位置を

特定しない限り特徴の結合を検出することもできないことが推定された。

更に、Treisman and Souther (1985)ではFIT上で特徴がどのように結合されるかについての図式化を行っている (Figure 11)。

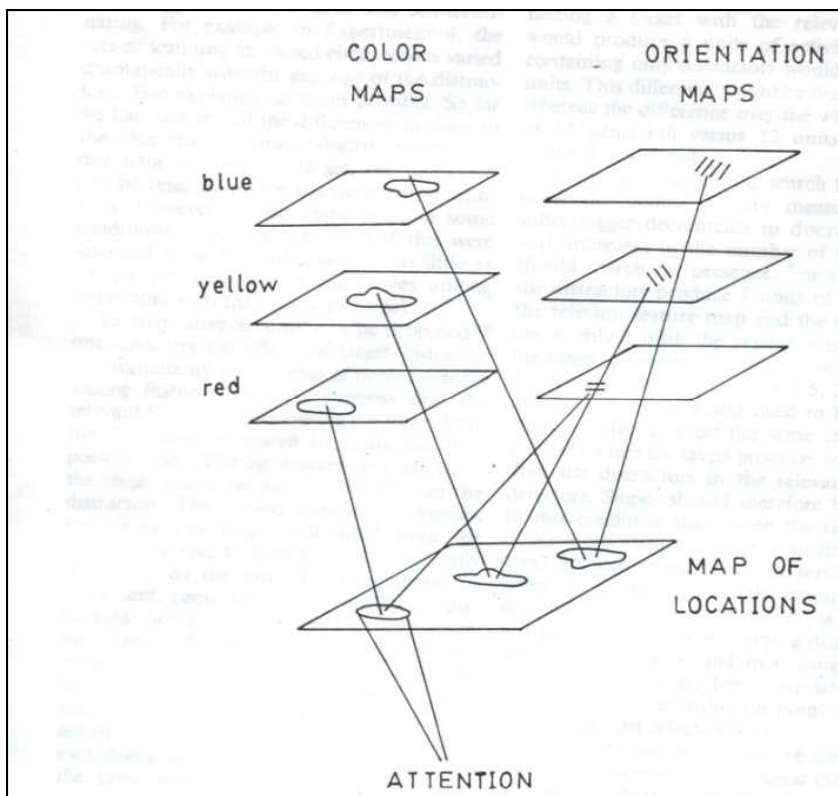


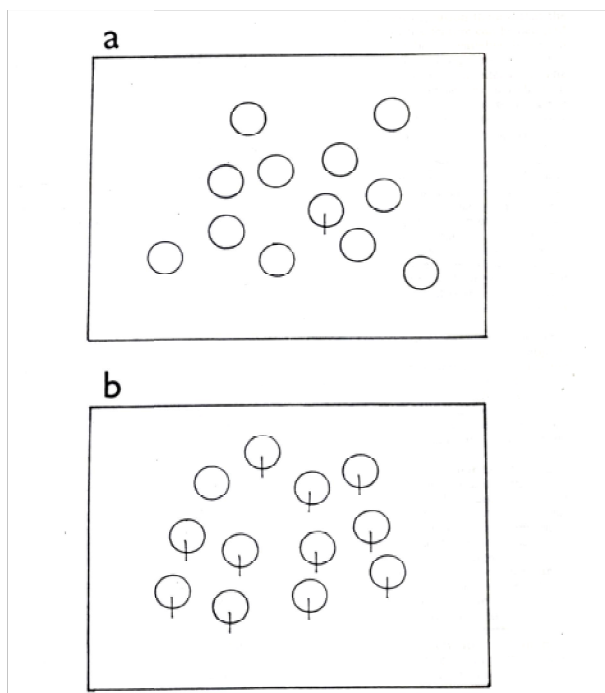
Figure 11. Treisman and Souther(1985)による対象認識の図式。並列的に検出されるが位置が不定である特徴値 (例、特定の色、特定の方向) を示している複数の地図は、位置に関する主地図を通して1つの対象に属することが推定される。

Treisman等は特に目標探索(target search)を主たる課題として採用し、種々の図形特性の検出可能性を調べてきた。その基本的手続は、前もって指定された目標図形が非目標図形の配列中に存在するか否かを判断するというものである。もし目標図形を発見する時間が迅速で、非目標配列の大きさに依存しないならば、ポップアウト (pop-out) が生じたという。

Treisman and Souther (1985)は、もしある目標図形がポップアウトしたとするならば、その図形に含まれる特性は基本的(basic)、ないし原始的(primitive)な特徴であると主張している。

彼等は、真円と円に交差線を付加した図形をブロックごとに互いに目標と非目標を入れ替えて目標探索させたり (Figure 12)、真円と完全には閉じていない円を互いに目標・非目標として探索させたりした。その結果、交差線を持つ円や完全には閉じていない円を目標

とした場合にポップアウトが生じたと報告している。こうした結果は、交差線の両端や、不完全円の両端にある端点が原始的な特徴をなしていることを示唆していると考えられた。



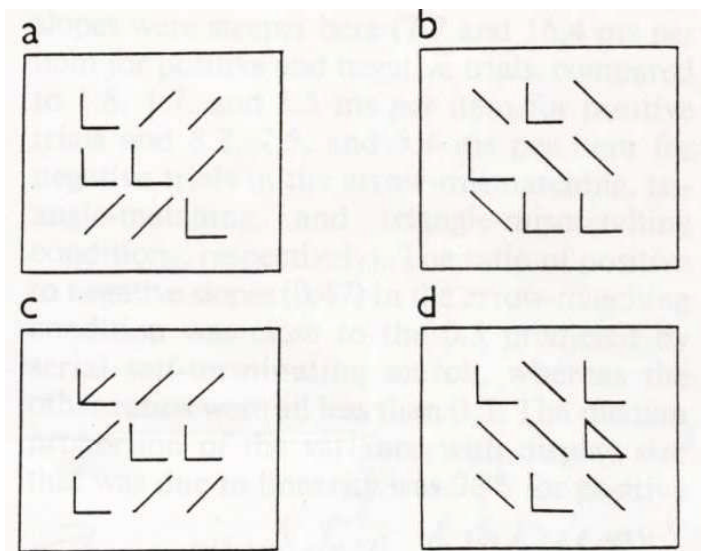
**Figure 12.** aの画面は目標図形が垂直線を持つ円、非目標図形が垂直線を持たぬ円の場合を示しており、bの画面は目標図形が円、非目標図形は垂直線を持った円の場合を示している。Treisman & Souther (1985)より引用した。

しかし同論文の他の実験で、直角（ $\perp$ ）と斜線（ $\diagdown$ ）を非目標とし三角（ $\triangle$ ）を目標とした場合は、三角を非目標とし直角を目標とした場合よりも探索時間が短かったとしており、端点に対する三角に示される閉合の優位性をも示している。

ここで、特定次元上のある特徴が目標となり他の特徴が非目標となったときに当該目標の検出が並列的になされる（即ち、ポップアウトが生じる）が、他の特徴が目標になりある特徴が非目標になったとき目標の検出が系列的になるとき、探索の非対称性(search asymmetry)があるという。

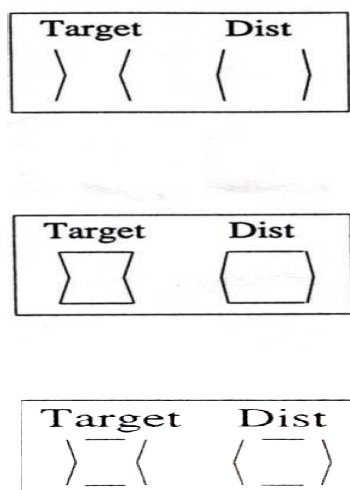
探索の非対称性に関して、Treisman and Paterson (1984)は直角と斜線を非目標として三角形を目標とした探索の場合（Figure 13 d の場合）にはポップアウトが生じるが、同じ非目標であっても目標が矢羽根（ $\lrcorner$ ）の場合にはポップアウトは生じない（Figure 13 c の場合）と報告している。また、直角と斜線から存在しない矢羽根を知覚する錯誤的結合は生じるが（Figure 13 a の場合）、直角と斜線から存在しない三角形を知覚する錯誤的統合は生じにくいとしている（Figure 13 b の場合）。反対に言えば、錯誤的統合によって知覚するに至った特性は原始的特徴とは言い難いと考えられる。つまりこれらの結果は、閉合性

は原始的特徴であるが、端点はそうではないことを示唆している。



**Figure 13.** a の画面は目標が矢羽根、非目標は直角と斜線であり、目標が存在しない場合を； b の画面は目標が三角、非目標は直角と斜線であり、目標が存在しない場合を； c の画面は目標が矢羽根、非目標は直角と斜線であり、目標が存在する場合を； d の画面は目標が三角、非目標は直角と斜線であり、目標が存在する場合を、示している。Treisman and Paterson (1984)より引用した。

更に、Elder and Zucker (1993)は、数種類の閉合図形に間隙部を作りその大きさを変化させたところ、完全に、ないしほとんど完全に閉じた図形の探索は開いた図形の探索より明白に速かったと報告している。彼らの結果は閉合性が原始的な特徴をなしているとの主張を補強するものと考えられる(Figure 14)。



**Figure 14.** Elder and Zucker (1993)において使用された各種の要素図形。ここで Target は目標図形、Dist は非目標図形を示している。



しかし 1980 年代末になってくると FIT に対する反証も現れ始めた。その中でもとりわけ重要なものとして特徴の結合が並列的に探索される可能性が報告されたことがある。

Nakayama and Silverman (1986) は実験参加者に立体視差と色という特徴の結合や、立体視差と対象の運動という特徴の結合を探索させた場合、その速度は並列的になったと報告した。

Pashler (1987) は色と形の特徴の結合を探索させたところ、提示刺激数が多くなると探索は系列・打ち切り処理になったが、提示刺激数が少ない場合には並列的になったと主張している。

Moraglia (1989) によれば、不可視な同心円上に配置された水平線分を目標とする探索課題において、非目標線分の方向がランダムであれば探索速度は系列的であるが、非目標線分が同心円上の接線方向に向けられたとき探索速度は並列的となったとしている。

更に、Wolfe, Cave and Franzel (1989) は、色と形、色と方向性、色と大きさの結合によって定義された目標の探索課題を実験参加者に行ったが、多くの未経験な参加者にとって、探索速度は系列・打ち切り処理から想定されるより十分に速かった。更に、3 つの特徴の結合（色 x 大きさ x 形）に対する探索は 2 つの特徴の結合の探索よりはるかに速く、提示図形数とは独立であった。

この結果を説明するために Wolfe らは探索の誘導モデル(guided search model: GS)を提唱した。同モデルでは、並列的処理は単純な特徴に関する情報を利用して実行されるが、特徴の結合の探索のためにはどこに注意を配分すべきかを誘導しなければならない、というものである。3 次元の結合が 2 次元の結合に基づく探索より有効なのは、3 個の並列処理の方が 2 個の並列処理より注意の誘導に際して有効に働くためである。

特徴の結合の探索が迅速になされるという報告は他にも多くなされている（例、Driver, McLeod & Dienes, 1992; Driver & McLeod, 1992; Donnelly, Humphreys, & Riddoch, 1991）。

Navon (1990) によれば注意は特徴の結合を生じさせるように働くのではなく、各刺激が結合目標と一致するかを確かめるように働くのではないかと考えている。

Johnston and Pashler (1990) は、実験参加者に色か形態によって定義された目標を非斉一な(heterogeneous)な非目標の中から探索し、その内容と位置を共に報告することを求めたが、結果は内容と場所の強い結合を示していた。それに基づき、活性化された特徴は場所を特定する注意喚起のための割り込み信号の役割を持っており、その後注意によってその場所での情報内容を取得するという仮説を提唱している。

一方、Duncan and Humphreys (1989) は目標・非目標間の類似性が増大するか、非目標間の類似性が減少すると探索の困難性は高まるとして、探索有効性 (search efficiency) は連続体をなしていると主張した。また彼等は Wolfe らと同様に、視覚情報の群化と符号化という並列的段階に引き続き群化された入力情報間で競合的相互作用が生じ、これによって意識と行動の選択が誘導されるという 2 段階処理説を主張している。

こうした多くの反証に対して Treisman の側も FIT の修正を試みている。Treisman and Gormican (1988)は探索課題を使用した初期視覚分析研究の広範な展望を行い、量的次元での大きな値を持つ特徴、曲線性、他刺激からずれた方向、標準的色や形から逸脱した色や形は容易に検出可能であるが、量的次元で小さな値を持つ特徴、直線性、他刺激と一致した方向、標準的・典型的色や形は、default 値であるとしてあえて符号化されず、それらを検出するには系列探索が必要だとしている。線図形上の特徴や接合性や包含性のような topological な特徴も自動的、前注意的に検出可能とは言えなかったとしている。

また、当初の FIT を修正した図式化を示している (Figure 15)。

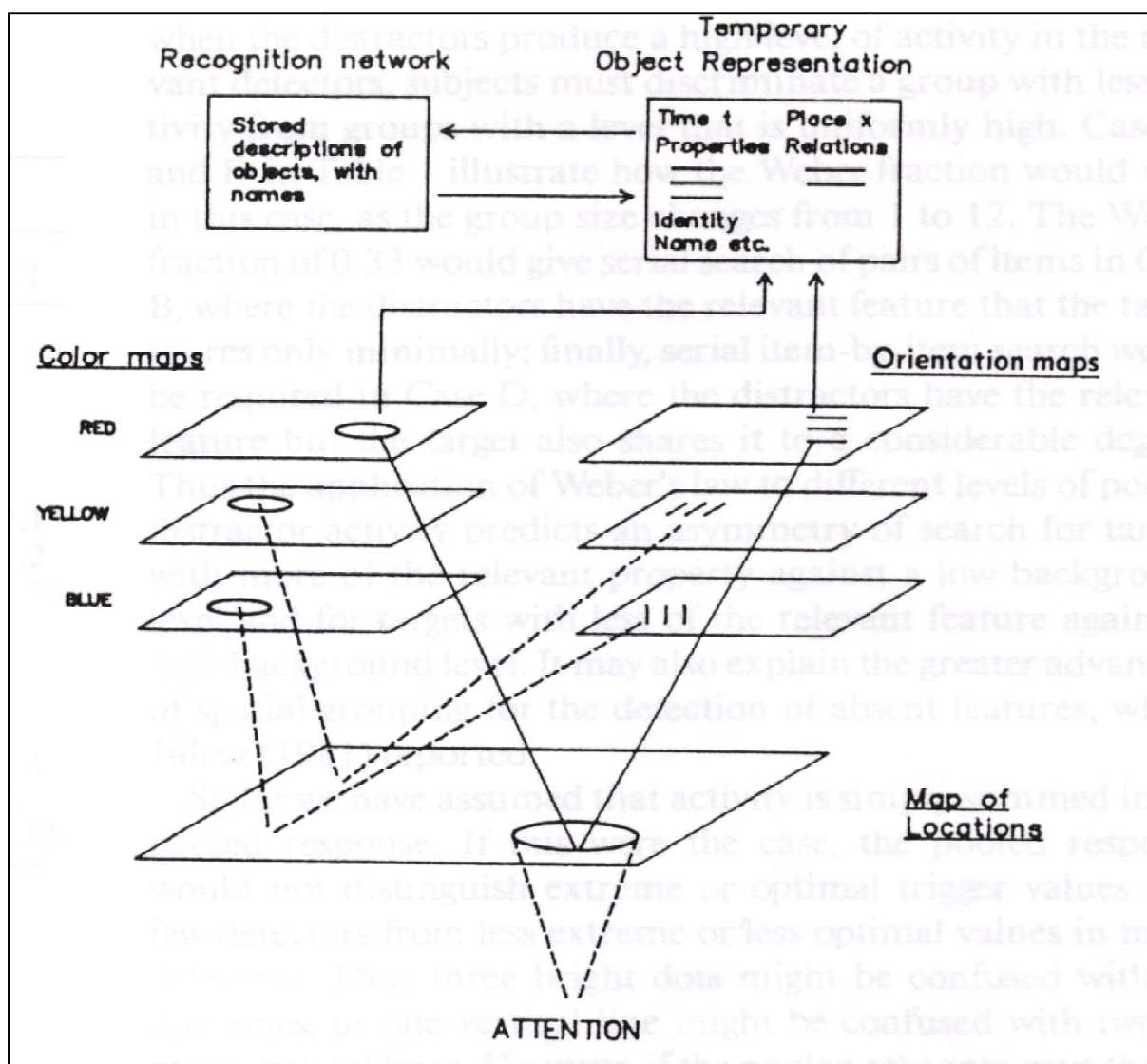


Figure 15. Treisman and Gormican (1988)による修正された FIT の図式。以前の図式では特徴は前注意段階では位置が決定されずに検出されるとしたが、この図式では特徴の位置は位置の主地図と連携することによってのみ利用可能となったり意識されたりする。

Treisman and Sato (1990)は、結合目標に関する探索速度が急速な場合があることと図と地の分離は強く相関していると考えた。そこで、非目標をなす複数の特徴への探索が抑制されると、非目標領域の活性が減少し目標はポップアウトするが、非目標をなす特徴への探索の抑制が不十分だと系列探索となるという仮説を立てた。

また Duncan and Humphreys (1989)への反論として、Treisman (1991)は類似性を制御しても特徴の結合には探索の困難性が伴うと主張した。また Treisman and Gormican (1988)とは異なり、標準的な特徴値を持った目標（赤や青）は非標準的な特徴値（紫）よりも容易に探索されたとも報告している。

そこで彼女は、「同一次元上の特徴の結合（ここでは、色次元上の赤と青の結合）を符号化することによって生じる非標準的な特徴値（ここでは、紫）は探索がより困難である」という特徴値に関する粗い符号化仮説を提案した。そのような場合、標準的な結合課題の場合と同じように、注意の集中が必要とされる。

またここで Treisman は FIT の再理論化も行っている。即ち、

1. 単一の特徴によって定義された目標は単一の目標の特徴を登録している特徴地図における活動の存在を調べるだけで検出可能である。
2. 非目標も目標も同じ特徴地図を活性化するような場合、瞬間ごとには非常に少数の項目に注意が狭められてしまう。
3. 注意は位置に関する主地図内のほんの僅かな項目のみに向けられる。また、この主地図はすべての特徴地図に連結している。
4. 注意の中はすべての活性中の特徴の活性量に対する、目標特徴の活性量の SN 比を適切なレベルに維持するように調整される。
5. 結合された特徴の探索も特徴の弁別が容易であれば並列的になされるという結果については、（図と地の分離を引き起こすような）系列探索を加速させる特殊な前注意的戦略が、主地図上の異なった場所の活性量に影響を与えているのかもしれない。というものである。

FIT を引き継ぎ、前注意的視覚処理と特徴の原始性について広範な理論的枠組みを提供しているものとして Wolfe による GS がある (Wolfe, Cave and Franzel, 1989)。

Wolfe (1994)は GS モデルの改訂版である GS2.0 を発表した。そこでは視野中の広い領域全般における原始的特徴を処理する前注意的な並列的段階と、それに続く限られた領域上で複雑な演算を行うための能力限界の段階が区別された。能力限界的処理が空間のどこへ向けられるかについては注意の制御が必要である、としている。つまりこのモデルは前段階の並列処理の結果に基づいて限界的資源の下で注意を何処に誘導するかを決定することを想定しているのである。

また、Wolfe (1998)は注意誘導の方法として bottom-up 処理と top-down 処理を挙げてい

る。

ポップアウトは **bottom-up** 処理の例と考えられる。もし目標が非目標と十分に異なっているならば、その目標についての知識がなくても有効な速度で探索が可能である。彼によればこうしたポップアウトは局所の変異演算子(**local difference operator**)に基づいており、対象がある特徴(例、色)によって群化している場合は、注意は特徴が変化している境界へと向けられる。また **top-down** 処理の証拠としては、雑多な非目標(例えば様々な色)の中で単一の特徴によって定義された目標(例、特定の色)は有効な速度で探索可能であることがあげられる。但し、**top-down** 処理で指定できる条件は限られている。例えば、方向性では「緩い」、「急な」、「右方」、「左方」、「傾いている」程度、大きさに関しては「小さい」、「大きい」、程度の違いしか指定できない。**Top-down** による指定は一般的には1特徴に1項目に限られると思われる。

GS モデルでは、**top-down** および **bottom-up** 処理による刺激の分析は注意の優先度を得るためのものである。視覚的探索においては、一番優先度の高い項目に注意は向けられ、もしその項目が拒否されると注意は優先度が次の項目へと向けられるとしている。なお、その後も **Wolfe** らによって GS モデルの改訂が続けられている(例, **Wolfe, 2007**)。

## 2. 1. 9. 変形に対して不変な形態的特徴

**Garner (1969)**の主張によれば、知覚判断に影響を与える特定概念を次元とするとき、その次元に属する属性であればすべて特徴と呼ぶ。 **Treisman and Gormican (1988)**は視覚に関する次元として、(a) 線分長、(b) 明度、(c) 線分の対、(d) 曲率、(e) 線分方向、(f) 楕円の扁平度、(g) 色相、(h) 線分の交点、(i) 線分の接合、(j) 線分の平行度、(k) 線分の閉合性、(l) 包含性(点が閉じた図形の内部に包含されるか、外部に存在するか)を取り上げて、それらに含まれる特徴が急速に検出されるかを目標検出課題によって検討した。

これらの中で、(b)と(g)以外は図形の形態に関する次元と考えられるが、さらにその中で(a)、(c)、(d)、(e)、(f)、(j)は形態の表層的情報を反映しており、(h)、(i)、(k)、(l)は形態の深層情報を表していると考えられる。ここで表層的情報とは図形に対して連続的な変形(例、押しつぶしや引っ張り)を加えることによって内容が変化する情報をいい、深層構造情報は変形に対しても変化しない特性をいっている。後者は広い意味でトポロジカルな次元といってもよい。但し(h)線分の交点は、当該図形を別に定められた点集合とその間を結ぶ線集合として定義されたときは表層的情報となる。

興味深いことに、ここで挙げた形態的次元のうち深層構造に関する特徴はどれも検出速度からして並列処理を受けたとはみなせなかったが、曲率、方向性、縦横比、平行度などでは探索の非対称性が見られたと報告されている。こうした報告は、トポロジカルな特徴が急速に検出されるという仮説への疑問を生じさせよう。

形態的特徴の中で最も研究されてきた閉合性や端点は、深層構造に関する特徴と考えられるが、それらが急速に検出されるか否かについては多くの議論が存在する。既述したよ

うに Julesz (1981a, 1984, 1986)は肌理の分離課題の結果を基にして、端点の存在は分離を引き起こす局所的特徴(texton)であると主張した。Bergen and Julesz (1983)も odd man out 課題を使って、端点の存在は並列的に検出されるとしている。一方、Treisman and Paterson (1984)は三角形(△)と矢羽根(∟)との探索速度の違いと錯誤的統合の有無から閉合性が原始的特徴であるとしている。また、Treisman and Souther (1985)は、不完全円と真円との探索非対称性からは端点の検出優位性を、三角と直角の探索非対称性から閉合性の検出優位性をも報告している。このような相矛盾する結果について、彼等は端点も閉合性も原始的特徴と考えられるが閉合性の方がより検出が容易であると結論づけた。また、Elder and Zucker (1993)や Mori (1997)も目標探索課題において閉合性が優位性を持つと指摘している。

ところで、3次元物体の奥行き方向の辺が2次元平面に投射したとき角度や大きさが変化して映じられるような変換をアフィン変換という。このアフィン変換を行っても図形の深層構造は保存されている。Wageman (1993)は、奥行的に歪んだ対称性(skewed symmetry)が図形の知覚に有用な属性であるかをアフィン変換対も同一対とした図形の異同判断実験によって調べた。その結果、一部の条件下で傾斜した対称性は両側対称性として知覚されたとしている。これは、人は深層構造への感受性を少なくとも一部保有していることを示している。

## 2. 1. 10. 変形に対して可変な形態的情報

Treisman and Gormican (1988)は目標探索課題において 曲率、線分方向、楕円の扁平度、線分の平行度に関して探索非対称性があったとしている。これらはすべて形態の表層的情報であることは注目し得る。推論すれば、我々の初期の視覚情報処理が、深層構造の分析に向けられているというよりは表層的特性、あるいはその特性が特定状態にあるか否か、に向けられているとも考えられるからである。

このような立場は、変換構造説やトポロジカルな知覚仮説、後述する構造情報理論や大局優先理論、命題表象説、等と不整合が生じる可能性がある。反対にこの立場は、Rubin and Kanwisher (1985)のトポロジカル仮説への反論、Julesz(1975, 1981b)の図形要素の統計的性質に基づく肌理の分離理論、多くの探索実験結果(例、Pashler, 1987; Moragolia, 1989; Johnston and Pashler, 1990)などと整合的といえよう。

更には、異なった方向に置かれた同一図形対に対しても心的回転が生じるという現象自体が、深層構造が一致しているだけでは急速に同一性判断を行えないという事実を反映しているとも考えられる。

観点を変えると、表層的特性は深層構造なくしては意味を持たないことにも留意すべきである。即ち、Treisman and Gormican (1988)の例を挙げれば、曲率には曲線が、線分方向には直線が、扁平度には楕円が、平行度には複数の直線が存在しなければそれら表層情報を計算(あるいは指定)できないのである。

多くの研究において方向性や位置を単独の特徴と考えて実験を行っているが、厳密に言えば（仮に特徴と呼ぶとしても）それらは単独で意味を持つというよりは、深層構造に依存して意味を持つ情報なのである。それ故、表層的特性が原始性を持つと主張するときは、表層的特性そのものが前注意的に検出されるのか、その時の深層構造の特定の現れ方が表層的特性を際立たせたのかを慎重に検討する必要がある。

深層構造分析によらない表層的情報の典型として、図形の持つ重心や図形の持つ方向性が挙げられる。

Vos, Bocheva, Yakimoff and Helsper (1993)は実験参加者に方向、大きさの異なる点パターンや輪郭や塗られた多角形の中心の位置決めを求めたところ、物体の位置決めにおいて重心位置情報が利用されたとしている。

Davi, Yakimoff, Bocheva, and Kefaloff (1993)では多角形の中心の推定を、完全な輪郭を持ったもの、屈曲（角）部を除き辺のみが示されたもの、角部のみが示されたもの、という3変異型を用いて行った。その結果、中心点は重心領域の近くに知覚された。また、角部のみが示された場合に一番分散が大きく、提示される辺の数が増大するにつれて分散は減少した。しかし、分散は完全輪郭図形と辺図形の間では差はなかったとしている。

こうした結果は、所与図形の部分的輪郭ないし完全輪郭が擬深層構造の役割を果たしているとも、表層的情報それ自体が直接的に検出されるとも、解釈することができよう。なお、図形の方向性に関する感受性については、後述する心的回転の研究が該当するのでここでは触れない。

## 2. 2. 図形の持つ全体性とその構成部分

Ullman(1996)による第2の立場である物体の部分への分解に関しては、符号に基づく図形の構造記述、特徴の階層性、構成的パターン認知の議論が含まれる。

### 2. 2. 1. 図形の分析：構造情報理論

構造情報理論（Structural Information Theory: SIT）はLeeuwenberg (1969)によって提唱された物体や物理的な出来事を形式言語によって記述する知覚処理理論である。ここでその主要な論点をBuffart and Leeuwenberg (1983)に従って紹介する。

SITによれば、物体に対して符号付け(coding)がなされなければならない。ここで符号とは、ある物体に関する言語式を指す。一つの物体に関する符号づけは様々に可能であるが、ある符号は、関数や演算子や引用をその符号に対して適用することによって分析することができる。その結果、より冗長性を持った、即ち、より一般性を持った、符号へと写像可能である。そしてそのような写像を繰り返すことによって得られた最も冗長な符号を原始符号と呼ぶ。

原始符号や後述する原始要素に対しての演算命令を意味演算子と呼ぶ。原始要素に対する演算は線の可視化や不可視化、長さ、接合線分の持つ角度の正負化、といった具体的な性質の付与を意味する。この意味写像によって、原始符号は一意的に物理的な物体へと写像される。

ここで、原始符号の例として辺の長さ  $l$  の正方形で見てみよう。  $(l90. l90. l90. l)$  という要素の列は、長さ  $l$  の線を引き、90度回転する、 $\dots$  という表現によって与えられた正方形の再構築を表現している。ここでの長さや角度といった原始符号の特定要素を原始要素という。同じ正方形に対しての異なった原始符号化の例は、  $(90. l90. l90. l90. l)$  である。前者の場合は出発点が頂点であり、進行方向がその頂点に接した辺に沿った場合であり、後者の場合は出発点の頂点からみた進行方向が頂点に接した辺に対し  $-90^\circ$  の場合である。出発点がある頂点から距離  $i$  の位置にあり、次の頂点まで距離  $j$  がある（即ち、 $i+j=l$  である）場合は、  $(i90. l90. l90. l90. j)$  となる(Figure 16)。

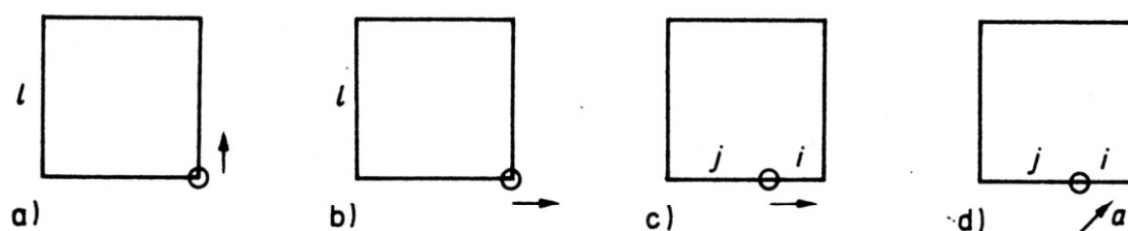


Figure 16 SITによる正方形の原始符号化。符号化の出発点（Oによって示されている）によって異なった符号化が生じる（本文を参照のこと）。Buffart and Leeuwenberg (1983)より引用した。

原始符号以外の符号は他の符号の関数である。そのような関数は5つの基本演算子から成り立つ。基本演算子は具体的な物体とは独立であるので、構文演算子(syntactic operators)と呼ばれる。独立変数として一つの言語式を持つ構文演算子は一般演算子とよばれ、一般演算子には逆(reversal)演算子と分凝(dechunking)演算子がある。他の構文演算子は分散(distributive)演算子と呼ばれ、独立変数として2つの言語式を持つ。分散演算子には、連結(concatenation)、分割(partition)、統合(integration)の3種類がある。

同一の構造を持った2つの物体は独立変数の値だけが異なる同一の符号で記述できる。また、2つの物体はもし同じ演算子の組合せを持っているなら類似した構造を持つといえる。複数物体中に類似した構造を探そうとするならそれらの符号を比較しなければならないが、これは各原始要素を特定の変数に変換することにより可能である。そのような符号を抽象符号という。

一方、原始符号に対する一連の演算によって得られた一番冗長性のない符号を終結符号(end-code)という。物体は幾つかの終結符号を持ち、終結符号は物体の解釈に対応する。複数の終結符号が存在するならばそれらが持つ冗長度に応じて終結符号を順序付けることが

できる。この順序は物体のある解釈に対して人がどの程度選好するかを反映している。

このような理論は図形の持つ規則性が視知覚に対して重要であるとの仮定に基づいている。しかし Hulleman and Boselie (1999)による規則性に関する一対比較によれば、SITでは等辺長な多角形の規則性は軸対称多角形と同じ程度に規則的であるにもかかわらず、等辺多角形はランダム多角形と同じ程度の規則性しか持っていないと判断された。一方、軸対称多角形は常に規則的と判断された。このような結果は SIT の仮定と矛盾すると考えられた。

### 2. 2. 2. 特徴の階層性

図形の認知にあたって全体を部分に分解することが必要であるという立場からすると、人はまず全体を粗く認知した上で適切な部分へと分解が進行するのか、認知の初期段階において、少なくとも全体の粗い認知がなされる段階で同時に、部分的情報も利用可能か、という問題に直面する。

Navon (1977)は、実験参加者に小さな文字から出来た大きな文字（階層的文字刺激；例として Figure 17）を見ながら聴覚的に提示された文字名が大きな文字の表すものなのか、小さな文字が表すものなのかを反応するように求めた。

その結果、聴覚弁別反応は大局水準（小さな文字から構成された大きな文字、大局文字）によって干渉されたが局所水準（構成要素である小さな文字、局所文字）からは干渉されなかった。同じように階層的文字刺激を提示し、大局文字だけか局所文字だけを識別することを実験参加者に求めたところ、局所文字が何であるかは大局文字の認知に影響を与えなかったが、大局文字と矛盾する局所文字の認知時間は増大した。

H	H	S	S
H	H	S	S
H H H H H H		S S S S S S	
H	H	S	S
H	H	S	S
H	H	S	S
H H H H H H		S S S S S S	
H		S	
H		S	
H H H H		S S S S	
	H		S
H	H	S	S
H H H H		S S S S	

Figure 17. Navon の考案した階層的文字刺激の例。この場合、上段は大局水準の文字が H、下段は S であり、左側は局所水準が H、右側は S である。



また実験参加者に、大局水準、局所水準が異なった可能性を持つ幾何学的図形対を短時間提示し、両図形が大局・局所のいずれの水準でも同一であるか否かを判断させたところ、大局水準の違いを持った図形対は局所水準の違いを持った図形対より正確かつ迅速に非同一定と判断された。この様な結果から、視覚処理は大局分析から局所分析へと進行するという大局優先理論(global precedence theory)を彼は提出した。

一方、Lamb and Robertson (1989)は Navon(1977)の大局優先理論を検討するため、実験参加者に注意分散下において、ランダムに大局水準か局所水準で生じる目標文字が何であるかを二者択一で同定させた。その際、刺激図形の張る視角を変化させた。その結果、大きな視角では局所水準で生じる目標は大局水準で生じる目標より早く同定されたが、小さな視角では両者に差はなかった。一方、干渉効果は視角の大きさには依存せず、大局水準が非目標文字からなる場合は局所水準で生じている目標への反応に干渉が生じたが、局所水準も大局水準も目標文字である場合は、局所水準における目標文字の存在は大局水準における目標文字への反応に影響を与えなかったとしている。彼等は、これらの結果が反応潜時と干渉効果が処理の優先順位を単純に反映しているとする仮定とは矛盾すると主張した。

Navon (1991)はこうした批判に対応して、大局的特徴の優先性は視覚処理全般にわたっているのか、局所的優先性が優越することがあるのかを調べた。実験参加者には、階層的な文字刺激を見ながら聴覚的に提示された文字名に対応したキーを押すという課題が与えられた。その際、階層的な文字刺激の持つ大局・局所2水準の特徴の一致度を変化させた。

視覚刺激と聴覚刺激の刺激提示開始の時間差(SOA)が聴覚刺激への反応に影響を与えるならば処理全般にわたった優先性はないと考えられたが、そのような効果は見出されなかった。この結果は、大局優先性が処理全般にわたるものだという主張を支持しているとされた。

また、Paquet (1992)では、セッションに先立ち実験参加者は階層的な文字刺激対のうち大局文字か局所文字かいずれかに反応するように教示された。実験にあたっては同時提示された階層的な文字刺激対はそれぞれ枠に囲まれていたが、そのうち枠に隙間のある階層的な文字刺激のうち指定された水準の文字の同定が求められた (Figure 18)。ここで枠自体は文字刺激における大局水準に、その中の小さな隙間は文字刺激における局所水準に相当する情報を有すると考えられる。それ故、もし隙間という局所的情報を使用することで局所文字における処理を促進するとしたならば、局所優先の結果が得られよう。しかし実際には局所優先は生じなかった。さらに他の実験において、実験参加者が刺激の局所的特徴を同定するための練習を集中的に行った際に局所的優先が生じるかを確かめたところ、局所的練習は大局的特徴の処理には影響を与えなかった。こうした結果は Paquet によれば知覚における大局的情報の優先性が例示されていると考えた。

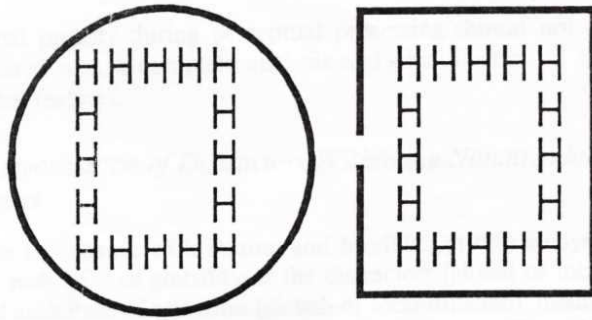


Figure 18. Paquet(1992)の使用した刺激図形対の例。同時提示された階層文字刺激は枠で囲まれているが、枠に隙間のある方の、教示によって指定された局所文字ないし大局文字を報告することが求められた。

より新しい動きとして、Han, Humphreys, and Chen (1999) はこうした先行研究に見られる混乱した結果に整合的な解釈を与えようとした。彼らによれば、刺激要素間の距離を増大させるなどの群化作用を弱める刺激配置を行ったり、刺激を視野中央へ長時間提示したりすると局所的要素が選択されやすくなり、結果として大局優先性を減じさせるが、刺激を視野周辺不確定位置への短時間提示するなどの手続を取ると局所的要素への選択が困難になり、大局的優先性が出現するとしている。

### 2. 2. 3. 凹部における 2 次元輪郭線の離断

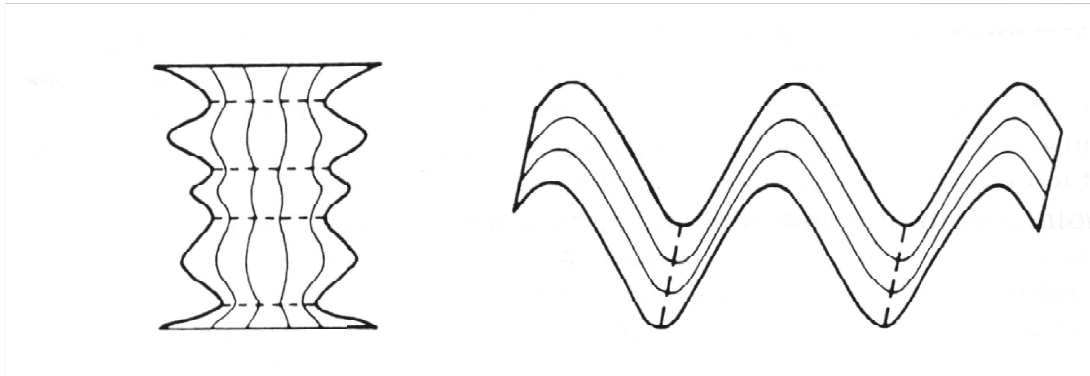
2 次元平面上に投射された物体を輪郭線に囲まれた均一な肌理を持った領域と考えたとき、物体全体から部分への分割が輪郭線上のどのような場所で生じるかということは物体の認識に関して重要な問題となる。

Hoffman and Richards (1984)は、微分位相幾何学的な立場からこれへの答えを見出そうとした。ここで彼らの主張を以下に要約しよう。

横断規則性(transversality regularity)によれば、2つの任意の3次元物体の表面が接した場所ではその輪郭(シルエット)は非連続的に変化し、物体側に凹の尖端(cusp)を作り出す。そしてこのような凹の不連続性は物体表面上で2つの部分が接した場所では何処でも生じる。

曲面上のいかなる点でも曲率が最小になる第1の方向が存在し、第1方向とは直角に曲率が最大になる第2方向が存在する。これら2つの方向を主方向といい、それぞれの曲率を主曲率(principal curvature)という。

ある点から出発して常に最大の主曲率の方向へ移動すると、最大曲率線(line of curvature)を描くことが出来、常に最小の主曲率の方向へ移動すると、最小曲率線を描くことが出来る。凹な不連続性は局所的に曲面が最大の負の曲率を持つ輪郭とみなすことが出来るので、一連の曲率線に沿ってそれらの主曲率が負の極小値を持つ場所で曲面を部分へと分割するという極小規則(minima rule)が成り立つ(Figure 19)。



**Figure 19.** これら物体表面上において物体部分への境界が破線によって示されている。数本の実線は最大曲率線を表しており、その極小点をつなげることにより破線が作られている。Hoffman and Richards (1984)より引用した。

また、視覚認知自体も部分への分割とその記述に対して拘束条件を与える。例えば、視覚像が得られるたびに分割部分が異なってしまうと認知作業に非常に有害なので、分割はいつでも、どの視野方向にも不変であることが求められる（信頼性の条件）。極小規則は特定の座標系とは独立した曲面上の性質のみを利用している点で信頼性の条件を満たしている。

物体の分割に関しては、境界の特性に基づく方法と、原始的要素に基づく方法という2つの主要な考え方が存在する。境界的方法では部分は輪郭の交点で定義され、原始的要素法は、部分をそれが持つ形によって定義する。

物体の形に関する原始要素として、球、円筒、多面体といった例が取り上げられている。しかし、原始要素的アプローチは非常に限定された有効性(versatility)しか持たない。例えば、胴体や四肢を様々な太さや長さの円筒（一般化円筒）によって代表することは多くの動物を表す上で都合がよいが、一般化円筒によって顔、車、靴、等を表すことはうまくいかない。同じ批判は他の形体原始要素に対しても適応可能である。

一方、境界的方法は、その表層情報が制約性の緩い微分幾何学的分析法に合致するならどのような物体でも適用可能である。この優位性は、部分がどのような形をしているかを知らなくても物体の部分を特定できると言い直してもよい。

視覚システムは自然界における規則性を利用している。横断性に基づき物体の部分を心的カテゴリー上で定義される際に利用される規則性だけでなく、貧弱な視覚データから世界を記述する際にも利用可能な規則性が存在する。

2次元シルエット上で凹な非連続性がある場合、3次元空間における平滑ではあるが非連続性を持った部分境界が存在すると推測することは大方うまくいくが、凹な非連続性が別の可能性を示していることもある。例えば、斜め上方から見た円環体 (torus、ドーナツ

ツ) はシルエット上に 2 つの凹非連続性 (内側の輪郭が  $\eta$  状に交わる 2 点で非連続が生じている) を持ちうるが、そこには極小規則で定義される部分境界は存在しない。

世界から網膜への写像は多対 1 であるから、網膜像と矛盾しない可能な世界の状態は多である。それ故、世界についての知識は推測であり、推測こそ知覚の中核をなすものである。知覚的推測において感覚データは前提の役割を持ち、世界の状態に対する判断は結論である。しかし世界の状態は感覚データによって論理的に限定されるわけではないので、知覚的推測は演繹的というより帰納的とならざるを得ない。

それでは感覚データの解釈が非恣意的かつ、強く世界の状態を結論付けるのは何故なのか? これに対する解答は、自然の法則、規則性、斉一性に基いているから世界に関する解釈が帰納的に強いということにある。

極小規則を使った物体輪郭上での分割に関して、Singh, Seyranian, and Hoffman (1999) は最短規則(short-cut rule) を提唱した。この規則は、他の条件が同じなら、人の視覚系はシルエットの分解に最短の経路を使おうとする、というものである。

また、Vandekerckhove and Wagemans (2007) は、針金状の形態と多角形では得られなかったが、複雑で平滑な画像については輪郭上の凹部の変化が凸部の変化より検出しやすいという凹部効果が得られたとしている。

しかしこれを否定する結果を Bertamini (2008) は報告している。それによれば、単純な多角形の凹部や凸部を組織的に操作したところ、凸な輪郭に沿って凹部が存在するとか、凹な輪郭に沿って凸部が存在するといった、曲率の正負の入れ替わりに対する鋭敏性が見られたが、凸部に対する凹部の優位性や、凸部の屈曲角の変化に対する凹部の屈曲角変化の優位性や、凸部領域の変化に対する凹部領域の変化への鋭敏性に対する優位性は見られなかった。この結果から Bertamini は先行研究の主張に反して、「負の曲率あるいは曲率の極小部は注意を誘導する」という役割は与えられていないとしている。

#### 2. 2. 4. RBC 理論

Hoffman の理論では、物体輪郭上の各点の曲率という数学的特性によって物体の部分への分割が表象上で自動的に誘導されるとしたが、より一般性の高い議論として Biederman による RBC (recognition-by-components) 理論がある。これは視覚システムによって推定された物体は、その表面上の幾何学的特性によって限られた種類の要素部分に分割され、更にそれらの要素を知覚的体制化の原則に基づき再構成することで物体認知に至るという理論である。

ここでは、Biederman (1987) に従い、RBC 理論について解説を試みたい。

まず、理論の前提として物体認識に関して以下の現象が重視される。

1. 未知の物体を既知の表象と関連づけるためには大量の情報が必ずしも必要ではない。

2. 物体認識の基本となる情報は方向性やある程度の不鮮明化に対しても不変でなければならない。
3. 部分的照合が計算可能でなければならない。即ち、物体の解釈に関する理論はあるカテゴリーが遮蔽されたり、部分的であったり、新奇であっても照合を計算可能とする一連の手段を保有していなければならない。  
という性質が挙げられる。

また、RBC 理論では、所与の画像から物体の同定までの流れとして、

1. 境界抽出。
2. 非偶然的特性の検出あるいは凹部における解体。
3. 要素部分の決定。
4. 得られた要素部分と表象との照合。
5. 物体全体の同定。

という処理水準の移行を想定している。

原始的情報からより高次の情報を再構成していく知覚的体制化の過程の中でも、2次元上で生じる境界線の性質は3次元上の境界でも同様に生じているはずだとする知覚システムによる推論こそが RBC 上で最も重要な仮定である。例えば、視覚像の中に1本の直線が存在するとき、知覚システムは3次元上でもその線を作り出している境界はやはり直線であると推論して、視覚像中の直線性は眼球と湾曲した境界が特定の位置関係にあったために偶然生じたという可能性は無視するのである。同様に視覚像中の緩やかな湾曲は3次元上でも滑らかな湾曲性から生じていると推論するのである。

こうした2次元上での境界の特性は視線と物体との位置関係から偶然に生じることは稀であることから、非偶然的特性と呼ばれる。

このような前提の下で各水準とそこで行われる処理の説明を試みたい。

1. 物体の持つ、明るさ、肌理、色といった表面特性の変化に反応して視覚システムは視覚像上に物体の線描を行う。
2. この線表示された視覚像上の境界において非偶然的特性が検出される。

視覚像が対称性を持っていれば対応する物体も対称性を持っているという解釈、視覚像における輪郭が反転や 90° 回転を行っても対称性を保っているならばそれを作り出している物体もやはり反転や回転に対して対称であるという解釈、等が知覚システムによって推論される。但し、歪んだ対称性は通常は傾いた対称的物体とみなされるが、時として歪んだ対称性は検出されないことがある。

要約すると、(a) 直線性、(b) 弧状の曲線性、(c) 対称性、(d) 平行曲線ないし平行直線、(e) L 状、Y 状、矢羽根状 ( $\sphericalangle$ ) といった1点に接合する複数の線の形状 (Figure 20)、にという5つの特性は3次元構造への推論を与える非偶然的特性である。方形と円筒を区別する非偶然的特性上の違いが Figure 21 に描かれている。

それと同時にこの描写中の深い凹部において異なった領域へと離断（解体）が生じる。RBC では、尖点（*cusp*）において離断が生じ、尖点間の輪郭線から *geons* (*geometrical ions*) と呼ばれる原始要素集合の要素が形成されるとする。

この離断規則は、よい形は尖点間で生じるとする古典的 *Gestalt* 法則と合致する。この離断の基準は、対称性や軸長を最大にし、外側面（切断面：*cross section*）の大きさと曲率を最大限一定にさせるような塊を作り出すことにある。

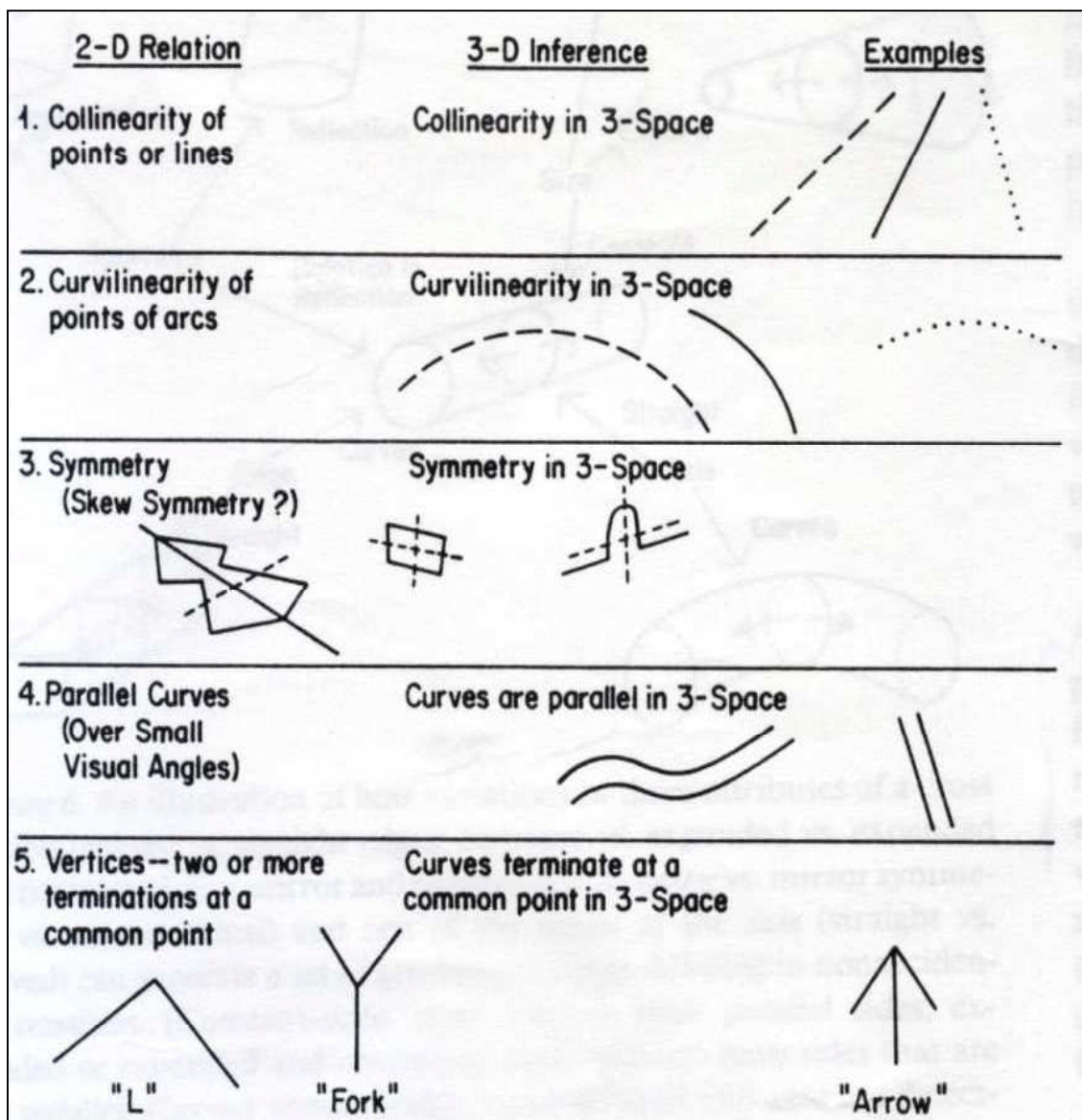


Figure 20. RBC における 5 種類の非偶然的特性。本文中の説明を参照のこと。Biederman (1987)より引用した。

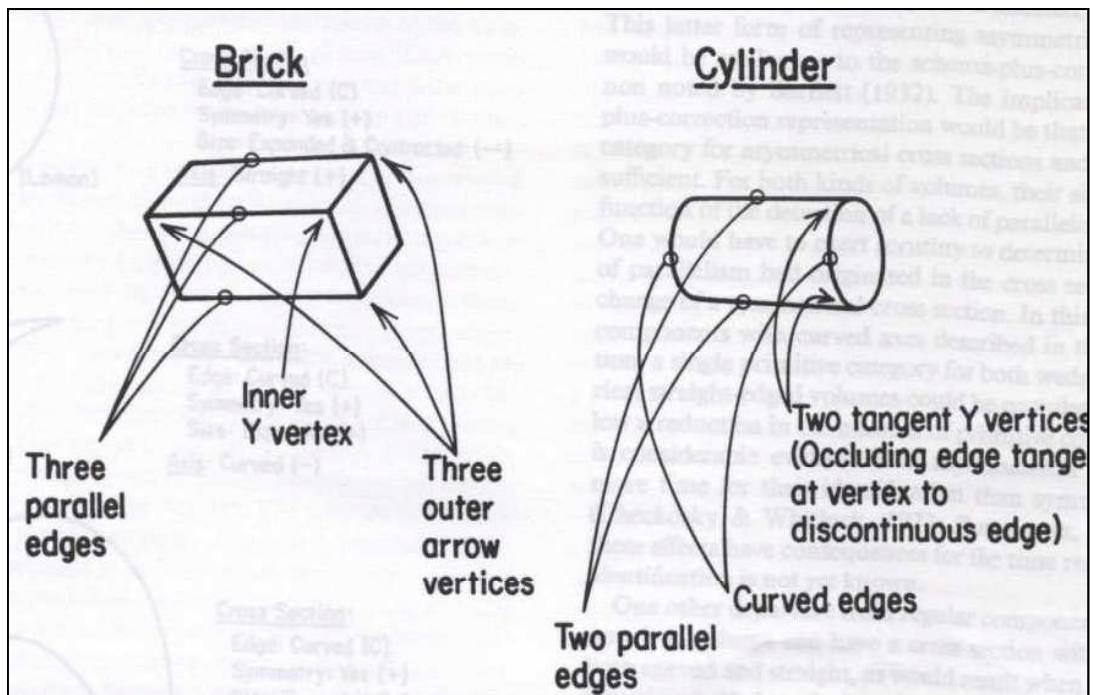


Figure 21. RBCにおいて方形と円筒を区別する非偶然的特性。Biederman (1987)より引用した。

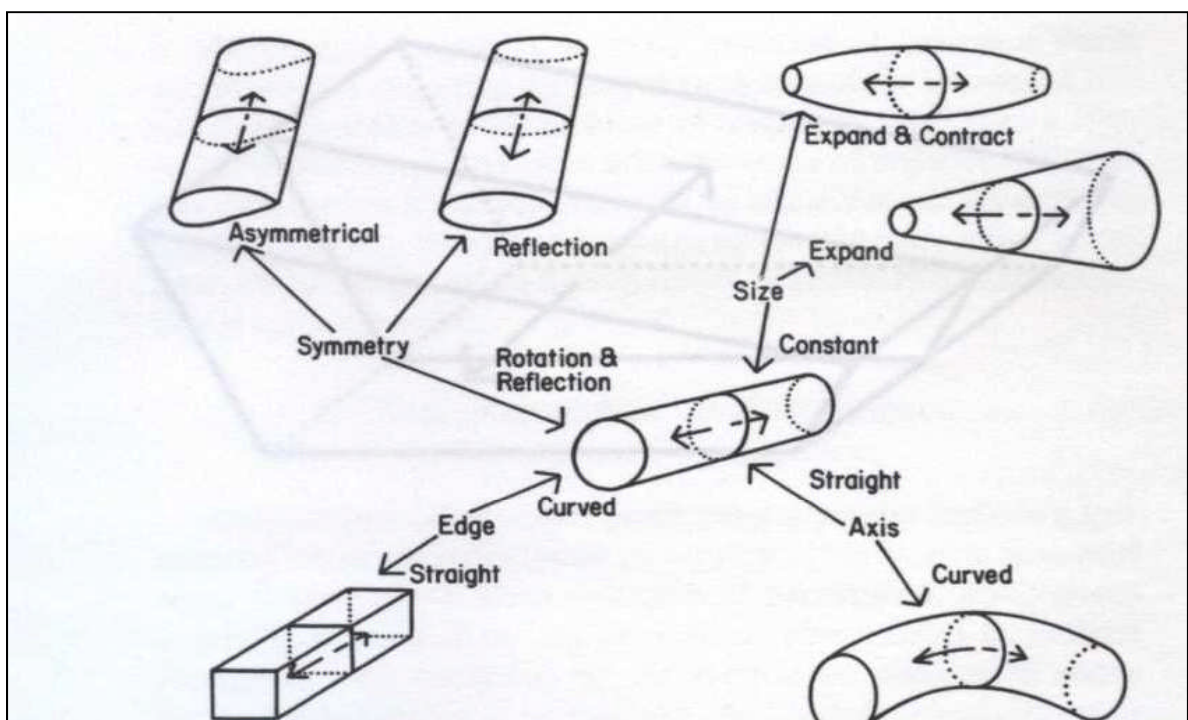


Figure 22. 中央の円筒に対して、(a) 断面の対称性 (軸対称・点对称・非対称)、(b) 断面の大きさ (縮小・膨大)、(c) 断面の形状 (直線性・曲線性)、(d) 軸の形状 (直線性・曲線性)、に関する変異を与えることによって非偶然的特性の異なった一連の一般化円筒を作ることができる。Biederman (1987)より引用した。

3. 各解体された領域へは **geons** の 1 つを適用しようとする。

部分照合のための基本的構成要素である一般化円筒は、対称性、大きさ、辺／境界、軸という 4 つの属性に関して 2 ないし 3 水準の変異が与えられ、その結果 36 の **geon** が生成可能である (Figure 22)。そのうち、方形、円筒、楔(くさび)、弧、漏斗(ろうと)、板、という 6 個の **geon** が属性と共に Figure 23 に示されている。そのうちの 3 つの属性は形、対称性、軸に沿って引き伸ばした際の大きさの同一性、という円筒外側面に関するものであり、他の 1 つの属性は軸の形である。

つまり、原始的要素とは単純で、典型的には対称的な塊であり、深い凹部を持つことのない、直方体や円筒や球や楔のような物体と考えられる。RBC の基本的な仮定は、各要素は 2 次元像の知覚的特性によって分別可能であり、視点や解像度からは比較的独立しているということである。

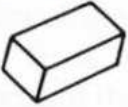
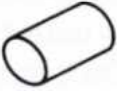




CROSS SECTION				
Geon	Edge	Symmetry	Size	Axis
	Straight S Curved C	Rot & Ref ++ Ref + Asymm -	Constant ++ Expanded - Exp & Cont --	Straight + Curved -
	S	++	++	+
	C	++	++	+
	S	+	-	+
	S	++	+	-
	C	++	-	+
	S	+	+	+

Figure 23. 異なった種類の非偶然的特性から作られた **geon** の例。Biederman (1987)より引用。

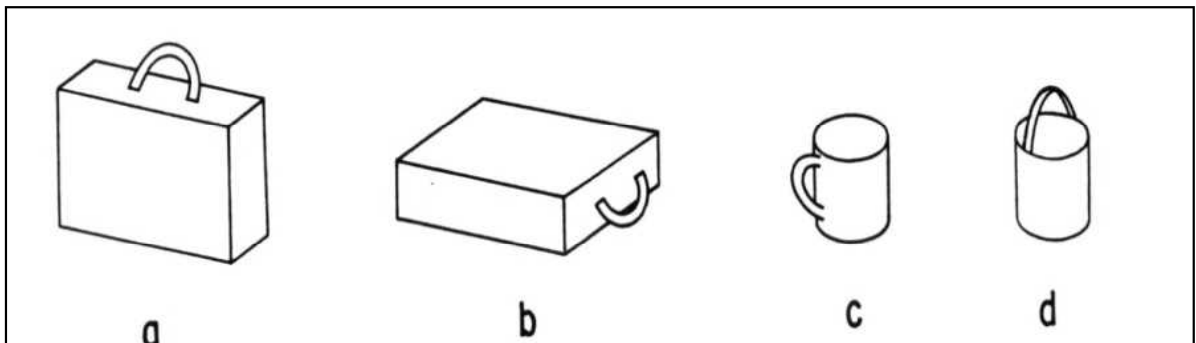


4. 得られた要素と表象の照合に関して、解体された領域中の非偶然的特性は原始要素の決定に重要な拘束を与える。要素が未定である状態から表象上の特定カテゴリとの同定へと至る諸段階は **bottom-up** 的に進行する。
5. 組み合わされた原始要素は記憶上の表象と照合される。不完全な照合も許容される。表象の単位がどのような性質を持つかに関しては、原始的要素の組合せが物体を表現する上で必要となる。例えば、円筒の側面に弧を付ければカップになる (Figure 24 c) が、円筒の上面に弧をつければバケツになる (Figure 24 d)。

それ故、物体の表現というのは要素間の関係を表した構造的記述といえるのである。特に、RBCではパターン認知における **Gestalt** 法則の役割を重視している。

椅子のような一つの物体は非常に複雑で非対称的であるが、その構成要素は雑音や攪乱に対して安定的な単純な塊といえる。それ故、構成要素が把握できれば物体は認識できる可能性がある。

更には未知の物体の同定にあたり、もし表象上で下位カテゴリが基本カテゴリレベルから十分に識別可能であるか、下位カテゴリが基本カテゴリに関して非典型的であるならば、その物体は下位レベルにおいてカテゴリ判断がなされるであろう。例えば、所与の物体は鳥や自動車や犬であると判断されるよりペンギン、スポーツカー、ダックスフントであるとより迅速に判断されるであろう。



**Figure 24.** 同じ geon の異なった組み合わせ方で異なった物体を作ることができる。a 鞆、b 抽斗、c カップ、d バケツ。Biederman (1987)より引用した。

なお上記 2. の非偶然的性質の検出に関して Wagemans (1992)は 4 つの実験を展望した結果、特に歪みを持った対称性に関しては検出可能であるが、閉じた多角形や高次の対称性を持った点パターンにおいては奥行きの中での両側対称性としてしか知覚されなかったと報告している。

## 2. 3. 分析的方法によらない図形認知

Ullman による第 3 の図形認知の手段として、現実の 3 次元空間上での物体に対して適切な位置になるまで連続的に運動を与えるのと同じように、調べるべき物体（あるいは図形）の表象を適切な位置まで表象空間上で連続的に変換したうえで、基準となる他の表象と照合を行うという方法が考えられる。このような図形認知の方法としては、所与の図形の持つ特性の分析や特徴の抽出を必要としないという点で非分析的方法と言える。

### 2. 3. 1. 心的回転とアナログ全体的見解

Shepard and Metzler (1971) は画期的な心的回転(mental rotation)の実験を発表してその後の認知心理学的研究の方向性に大きな影響を与えた。彼等は実験参加者に同時提示された 3 次元の手掛かりを持ち、実験参加者正面の平面に提示された 2 次元ブロック図形対 (Figure 25) が形態として同一であるか、鏡映関係(enantiomorphic)にあるかを弁別判断させた。

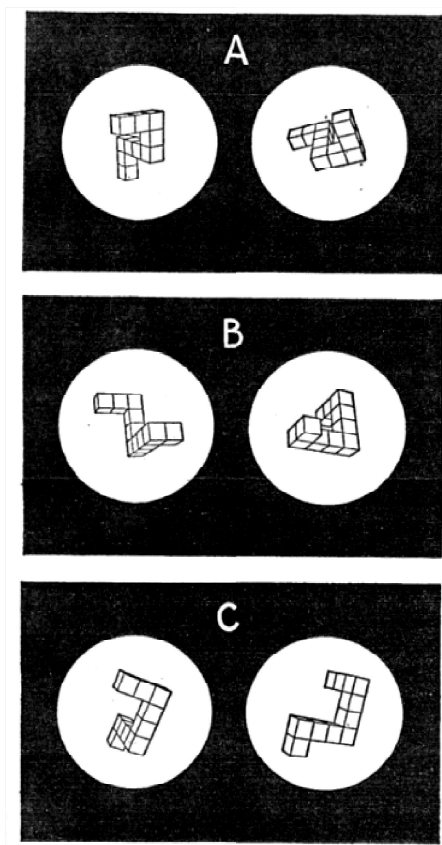


Figure 25. Shepard タイプのブロック図形対。A は前額平行面  $80^\circ$  回転の同一対、B は矢状断面  $80^\circ$  回転の同一対、C は非同一鏡映図形対。Metzler and Shepard(1982)より引用。

そして、3次元空間上で想定される2図形間の角度差が増大するにつれて判断時間も直線的に増大するという結果が得られた。更に、この傾向は回転が、前額平行面（顔面と平行する平面：picture plane）上でなされた想定される場合も、矢状断面（顔面と直交する奥行き方向の平面：mid-sagittal plane）上でなされたとする場合も、同様であった。このような角度差に対する判断時間の直線性は、この判断過程が角度差に関して連続的であること、更に言えば、ある物体の表象も、物理的回転と同様に、連続的に回転した後に別の物体の表象と照合し、両者が同一であるかを決定しようとする現れである、との主張へと結びついた。このような主張は表象の性質がアナログ的であることを前提としている。

Johnson-Laird (1983)によれば、このようなアナログ的見解は共通して以下の4条件を満たすという。即ち、

1. 心像 (image) を経験する際の心的過程は、物体や描画の知覚経験での心的過程と類似 (similar to) している。
2. 心像は特定の視点からの状況や物体についての不可分で統合された表象 (a coherent and integrated representation) であり、その表象下で心像の感知可能な各要素は一回限りではあるが、全要素を同時的に生起させることができ、知覚と類似して走査も可能である。
3. 心像は回転や引き延ばしのような連続的な心的変換の対象となり、心的な過程に経過する途中段階は現実の物体が物理的変換中に経過する途中段階に対応している。それ故、心像の小さな変化は物体の小さな変化と対応している。
4. 心像は物体を表象する。心像はその構成部分間の構造的関係が物体の構成要素間の関係と対応しているという意味で相似的 (analogical) である。(p147)

更に言えば、こうしたアナログ全体的見解 (analog holistic view) は、「表象は内包する個々の情報によって記述されている (described)」というよりは、「心的に絵画のように描かれている (depicted)」という、我々が通常言うところのイメージの含意とも合致しているといえよう。

一方、2次元平面 (picture plane) 上での心的回転の実験例として、Cooper (1975) による、ランダム多角形を使用した標準図形とその軸対称形である反転図形に関する実験を挙げておこう。実験参加者は練習セッションにおいて特定方向に提示されたランダム多角形の標準図形と反転図形の識別を多数回行うことにより各図形を学習した。

その後行われた実験1（弁別課題）においては、実験参加者はテスト試行において練習時とは異なった方向に単独提示された刺激図形が標準図形であるか反転図形であるかの判断が求められた。

実験2（事前回転課題）の各試行においては、標準図形が一定時間提示されたのち消去された。次にその図形を心的に回転すべき方向性が矢印で示された。実験参加者は指定された方向まで標準図形を心的に回転させ、それが終了した時点でボタン押し反応（事前回転時間：RT1）を行った。するとただちに刺激図形が提示されて、実験参加者はそれが標準図形であるかその反転形であるかの判断（判断時間：RT2）を行うことが求められた。

なお、ランダム多角形では屈曲点数を変えることで複雑性の水準を統制した。Figure 26 は事前回転課題手続きを示している。

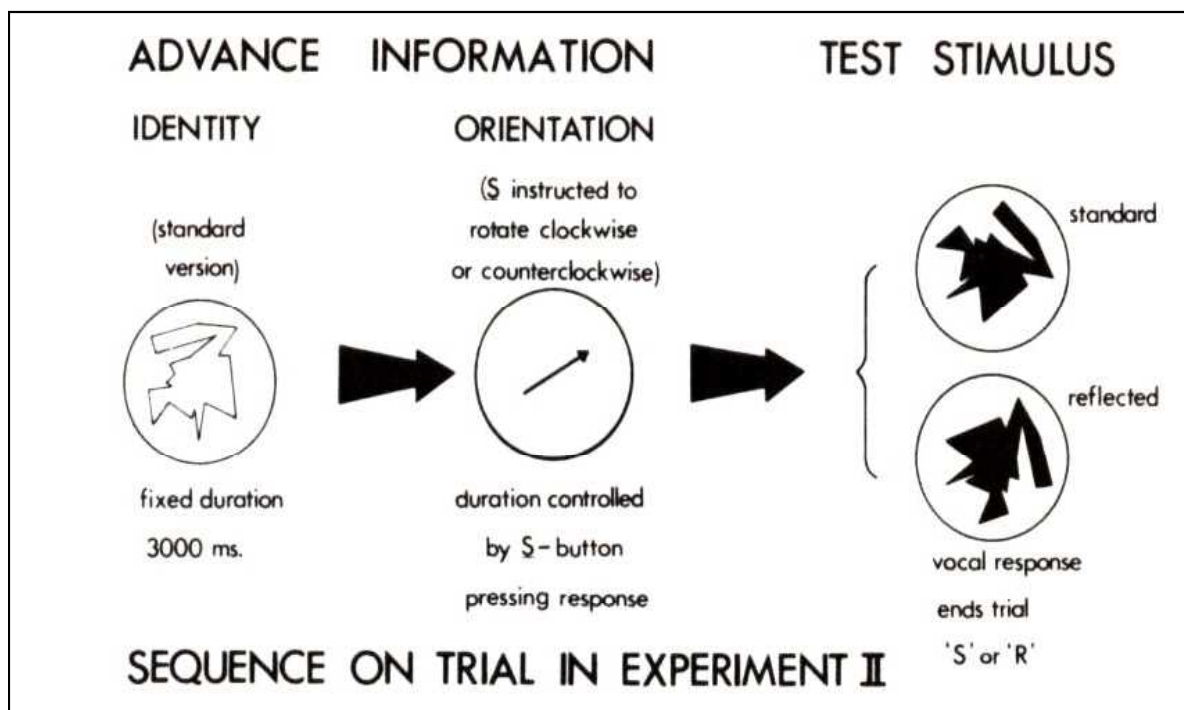


Figure 26. Cooper (1975) の考案した心的回転に関する事前回転課題の手続き。手続きの説明は本文を参照のこと。

結果として、弁別課題においては学習した角度と刺激図形の提示角度の差と回転時間の関係（角度差効果）には明白な直線的増大が見られた。また標準図形毎に得られた回帰直線の傾きと切片は複雑性のレベルによっては影響を受けなかった。

事前回転課題に関して言えば、学習した角度と指定された回転方向との角度差は RT1 の間では線形性が存在したが、RT2 との間では明白な線形性は認められなかった。

こうしたことから、

1. テスト図形の内的表象は提示された方向から学習した方向へと表象空間上で心的に回転され、その後長期記憶上にある標準刺激の表象と照合されること。
2. 実験参加者は練習時の方向性において各図形の心的鋳型を獲得したこと。
3. 練習することによって心的回転の速度を表す角度差効果の強さに影響を与えること。
4. 全てのテスト試行において心的回転が行われたと考えられること。
5. ランダム図形の複雑性は心的回転の速度に影響を与えないこと（複雑性効果の不在）が主張された。

図形の持つ複雑性が潜時に影響を与える効果については Cooper and Podgorny (1976) も

ランダム多角形を使った標準図形と変異図形の同一性判断（異同判断）課題において同効果の不在を報告している。これら複雑性効果の不在を示す結果はアナログ全体的見解を補強するものとみなされた。

次に、図形の認知過程におけるアナログ全体的立場を支持する研究として、Robertson and Palmer (1983)を挙げておこう。彼等は局所構造としては正置された R や F あるいは反転した R や F を、大局構造としては局所構造で使用された文字を正置した R や F、反転した R や F の形に配置することによって作られた階層的文字刺激(例として、本論文の Figure 17) を様々な方向で提示した。

実験 1 の課題は、提示された複合刺激のいずれの水準かにかかわらず正置文字が存在するか否かを判断することであり、結果は局所水準のみ正置の場合より大局水準のみ正置の場合の判断がより急速であった。

実験 2 では大局水準での主軸方向と局所水準の主軸方向が一致する階層刺激と不一致な階層刺激を使用して実験 1 と同様な課題を行った。結果として、両水準が正置である場合の方が一水準のみ正置である場合より判断は早かったし、主軸方向が一致する場合の方が一致しない場合より判断は早かった。

これらの結果から彼等は階層刺激の心的回転は両水準で並列的、あるいは系列的になされたりするのではなく全体的になされること、大局的水準の情報が優先的に処理されることを主張した。

更に、Jolicoeur and Landau (1984)は刺激提示されたアルファベットや算用数字 (alphanumeric characters) を同定する際に、刺激の方向が正置方向から大きく傾くにつれて誤答率が上昇したと報告している。このような誤答の角度差効果もアナログ全体的見解を支持していると考えられた。

### 2. 3. 2. 角度差効果の存在と不在

刺激図形対間の角度の差が増大するにつれて同定判断の潜時が増大するという角度差効果の存在は様々な条件において確認されている。

幾つかの例を挙げると、Cooper and Shepard (1973)は傾いて提示された alphanumeric characters が正置形であるか反転形であるかの判断を実験参加者に求めた課題において、また Steiger and Yuille (1983)は同時提示されたブロック図形対、および記憶されたブロック図形対が同一であるか鏡映像であるかを判断する課題において角度差効果を見出している。

Corballis and McLaren (1984)は傾きを持って提示された文字が b であるか d であるか、p であるか q であるかを判断させる左右識別条件においても、b であるか p であるか、d であるか q であるかを判断させる上下識別条件において角度差効果を見出している。

また、Just and Carpenter (1985)は平面上に描かれた立方体の各面に 1 文字の alphanumeric characters を記した図形対を刺激として使用した。実験参加者は図形対が同

一であり得るか否かの判断が求められた。結果として、実験参加者の空間知覚能力による差はみられたもののやはり角度差効果が存在したことが報告されている。

更には、Jolicoeur (1985)や Maki(1986)は傾いた自然な物体の描画に対してその名称を呼称するように実験参加者に求めたが、それらの潜時においても角度差効果を見出している。

一方、角度差効果が存在しない例も報告されている。

Corballis and Nagourney (1978)は傾いて提示された **alphanumeric characters** がアルファベットであるか数字であるかの判断をさせたところ、正置方向からのずれを示した角度差は判断時間に影響を及ぼさなかった。

Corballis, Zbrodoff, Shetzer and Butler (1978)は様々な方向で単独に提示された正置した、あるいは反転した **alphanumeric characters** が何であるかを実験参加者に呼称することを求めたところ、角度差効果は見出されなかった。

更に Corballis and Cullen (1986)はアルファベットの上、下、左、右のいずれかにアスタリスク(\*)を併置させた上でそれを傾けて提示した。実験参加者にアスタリスクの位置がアルファベットの上、下、左、右のいずれであるか判断させたところ、文字の上部や下部に併置した場合に角度差は存在しなかった。

角度差効果が存在するかしないかという議論に対して Larsen(1985)の研究は興味深い。彼は同時提示されたランダム多角形対が大きさや方向に係わらず形態が同一か否かを実験参加者に判断させた。その結果、新奇な多角形が提示された場合、大きさや角度差の増大に対して強い潜時の線形的増大を示した。しかし少数の同一多角形を多数回提示することによってそのような線形的増大は消失した。この現象は、学習によって刺激図形の心的な鋳型が確立するに従い図形対間の同一性判断の手段としての心的回転が不要になることを示しているのかもしれない。過剰学習が既に成立していると考えられる **alphanumeric characters** の同定判断課題において角度差効果が見られないという報告 (Corballis & Nagourney, 1978; Corballis, Zbrodoff, Shetzer, & Butler, 1978)はこのような推測と整合的といえよう。

### 2. 3. 3. 複雑性効果の存在と不在

次に、図形の持つ複雑性が図形の同一性判断の潜時に影響を与える複雑性効果については Cooper (1975)にみられるように、当初は同効果が存在しないことが強く主張されたが、研究が進むにつれて多くの場合に複雑性効果が存在することが明らかになってきた。

Yuille and Steiger (1982)は、Shepard & Metzler (1971)と同様な実験を、刺激図形のブロック数を17に増大させて行ったところ (Figure 27)、ブロック数10の標準的な Shepard タイプ図形 (Figure 25)の場合に比べて心的回転速度は明白に遅くなった。ブロック数の増大は刺激の複雑性を増大させていると考えられるので、この場合複雑性効果の存在は明らかと考えられる。

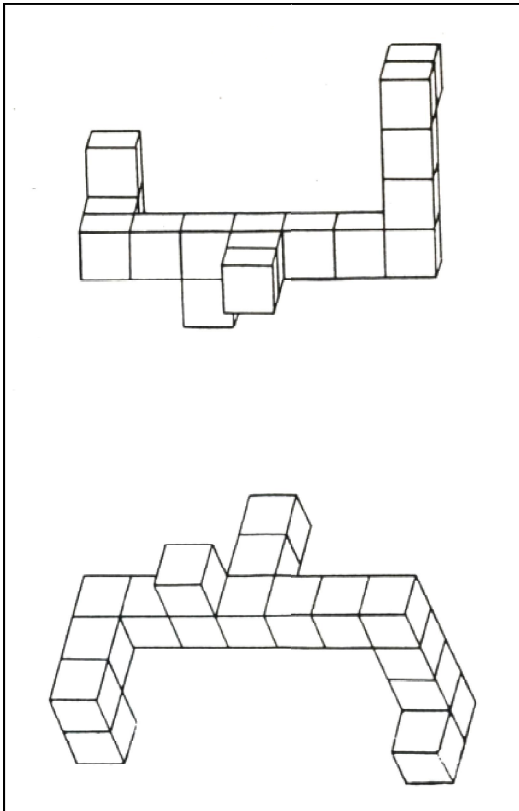


Figure 27. Yuille and Steiger (1982)が使用した拡大 Shepard タイプ図形。

Folk and Luce (1987)は刺激図形としてランダム多角形を使用した。彼等は実験参加者に前もって指定された角度まで標準図形を回転させた上で、その後その角度で継時提示された比較図形が、標準図形と同じであるか変異形(mutant)であるかを判断させる事前回転課題を実施した。Figure 28 には使用された標準図形と変異図形が示されている。

結果として、屈曲点の数を複雑性の特徴としたとき複雑図形では単純図形に比べて回転速度は遅くなったとしている。

また Bethell-Fox and Shepard (1988)は刺激として  $3 \times 3$  の細胞を持つ行列内の細胞をランダムに塗ったランダム行列図形 (Figure 29) を使い、市松模様の凝集度合によって図形の複雑性を定義した。事前回転課題により心的回転速度を調べたところ、複雑図形の回転速度は遅く、単純図形の測度は速かったが、練習試行によって図形への親近性を増大させると速度は顕著に速くなったとの結果を得た。

Pellegrino, Doane, Fischer, and Alderton (1991) は、屈曲点数を変化させることによって異なったレベルの複雑性を持ったランダム多角形を使用して、同時提示図形対の同一性判断を実験参加者に要求したところ、潜時に対する複雑性効果が存在したとしている。

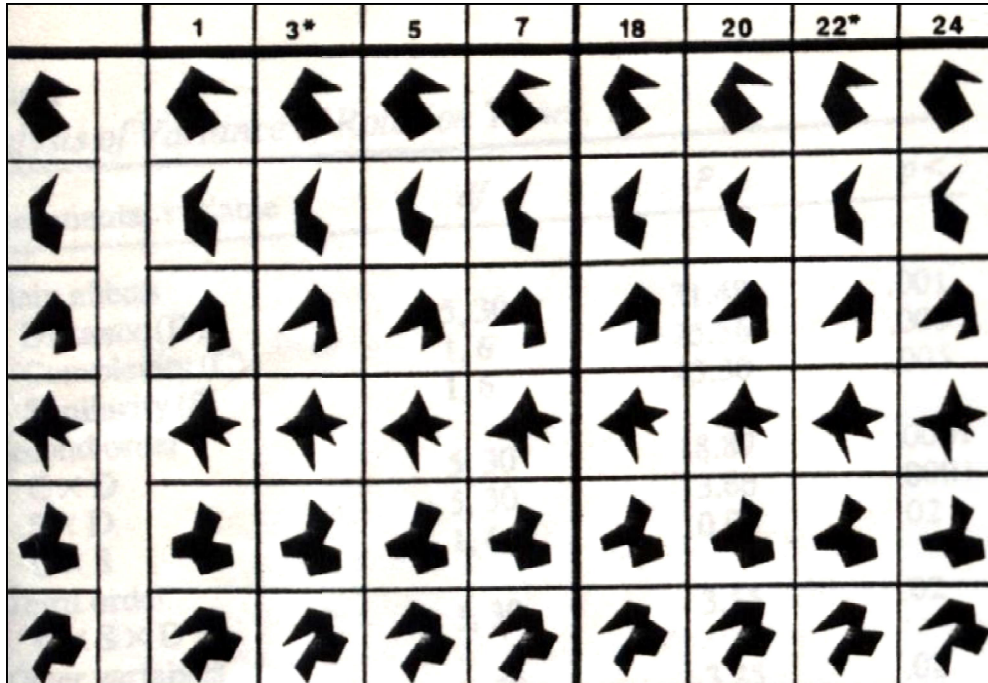


Figure 28. Folk and Luce (1987)において使用されたランダム多角形。各行左端の図形は標準形であり、その右側にある8個の図形はその変異形である。図最上部に示された数は実験参加者による標準形からの変異形についての変異度の評定である。彼らは変異度1から7までを非常に似ている変異形、変異度18から24までを非常に異なっている変異形としている。

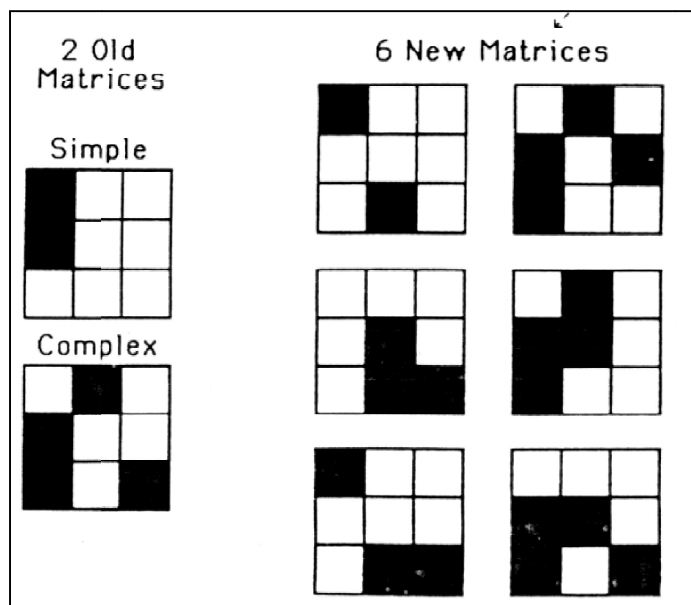


Figure 29. Bethell-Fox and Shepard (1988)の使用したランダム行列図形。



## 2. 3. 4. 心的回転速度に影響を与える条件

心的回転研究の手続きでは刺激図形対が同時提示される場合もあれば、継時提示される場合もあり、更には過剰学習を受けた刺激に対しては正置方向からずれた刺激が 1 個のみ提示される手続きも存在する。しかしいずれの手続きにせよ明示的ないし暗示的に指定された標準刺激の置かれた方向と明示的に指定された比較刺激の置かれた方向で角度差が定義可能である。なお、同時提示手続きにおける刺激図形対に関しては、いずれの図形を標準刺激ないし比較刺激と呼んでもよい。そのため多くの研究では、2 つの刺激図形の置かれた方向の角度差とその 2 つの図形が同一であるか否かを判断する際の反応測度を関連付けている。このような測度として誤答率を用いたものもあるが、ほとんどの心的回転研究において反応時間を使用している。

そこで Kanbe (1997b)ではどのような条件が心的回転速度に影響を与えるかを、多くの研究を展望することによって検討しようとした。

取り上げた条件としては、

1. 刺激図形の次元性：2 次元図形として解釈可能か、3 次元物体として解釈可能か
2. 練習による効果
3. 複雑性効果
4. 刺激提示方法：図形対の提示か、単独提示か
5. その他条件：冗長性を持った図形、実験参加者の空間知覚能力、実験参加者の注意能力、迅速な反応への圧力、等

である。

回転速度は(a)  $> 10 \text{ ms} / ^\circ$ 、(b)  $10 \sim 1 \text{ ms} / ^\circ$ 、(c)  $< 10 \text{ ms} / ^\circ$ 、の 3 カテゴリーに分類された。なお、Cohen and Kubovy (1993)は心的回転速度の基準値を  $1 \text{ ms} / ^\circ$  と定め、それより低い値（即ち、速い回転）においては心的回転の介在は否定されると主張している。

各条件を評価した結果、以下の結論が導かれた。

1. 刺激の次元性は刺激図形の種類と密接に関連していた。展望された 3 次元図形のほとんどは Shepard タイプ図形であったのに対し、2 次元図形では大きく無意味図形と有意味図形（熟知した図形）に分かれた。3 次元図形の多くはカテゴリー(a)、そして一部はカテゴリー(b)に属し、カテゴリー(c)は 0 であった。一方、2 次元図形では、カテゴリー(a)に属するものは極めて少数であるが、それらはすべて無意味図形だったのに対し、カテゴリー(c)では圧倒的に有意味図形が多かった。カテゴリー(b)では有意味、無意味図形が混在していた。この結果から、心的回転の速度は 3 次元図形や無意味図形では遅くなり、有意味図形では促進されたと考えられた。
2. 練習度の増加も回転速度を上昇させた。とりわけ特定刺激の記憶定着化、および長期記憶上の心像とその名称との強固な連合は回転速度の上昇に貢献していると思われる。

た。

3. Cooper (1975)等の当初の主張とは異なり、複雑性効果は多くの研究において存在した。しかし複雑性効果の存在しない研究では実験手続上、標準刺激の過剰学習が共通して見られた。それ故、練習効果と同様な機序が働いていると予想される。
4. 刺激提示に関しては、単独提示された刺激図形の回転速度が対提示された場合より、明らかに速かった。ここでも、単独提示される刺激図形は、基本的には過剰学習の結果として長期記憶上に心像を定着させていることが考えられる。
5. その他の条件では、特定研究者の様々な主張が取り上げられたが、対応する研究の数が少なく評価は困難であった。

総合的に評価すると、標準刺激図形の記憶化が心的回転では極めて重要な役割を示していることが明らかになった。心的回転実験において記憶化の条件を統制しなければ表象の性質や初期の認知処理についての主張は空しいものになってしまう危険があると考察された。

### 2. 3. 5. 表象に関する命題的見解

前述した表象に関するアナログ全体的見解に対して、物体の表象は命題として記述されているとする命題的見解 (propositional view) も存在する。

この立場による見解は、Johnson-Laird (1983)によれば以下のような共通性を持っているとしている。

1. 心像に対応した心的過程は記号列によって記述可能であるが、それらは物体を知覚する際の過程と類似している。
2. ある物体の各部分はその物体に関する記述を作り上げている多くの異なった命題によって参照可能である。そのような記述は、推論のための一般手続きを導くための一連の論理計算式 (a set of expressions in a logical calculus)として表現可能かもしれないし、意味ネットワークとして表現可能かもしれない。
3. 命題的表象は離散的、計数的性質を有しているが、その中の何らかの変数を漸増させることによって連続的過程も表象可能である。……。それ故、表象上の微細な変化は物体の見えの小変化に対応させることができる。
4. 命題は物体に関する真偽を示しているが、それらは抽象的性質であるので語や状況に直接的に対応しているわけではなく、また命題の構造は物体の構造とは類似性を持たない。

(Pp.147-148)

特にこの立場を代表する Pylyshyn (1973)は、表象をイメージ、とりわけ絵画的性質、によって記述するよりは意識的な統制によらない命題的性質によって記述すべきだと主張した。

注意すべきは、多くのアナログ派の人々は表象における命題操作を否定しているわけで

はなく、それ以外にアナログ全体的な過程も存在すると仮定することにある。一方、(少なくとも当初) 命題派の人々は表象に関する単一の説明原理を仮定するだけで十分であるという立場であった (Shepard & Cooper, 1982, p.185)。

一方、心的回転現象の存在は命題的見解とは本質的に相容れないために、命題派の研究者は心的回転が実際には生じないこと、あるいは心的回転がアナログ全体的現象というよりは非アナログ的現象として説明可能であることを示そうとした。

Pylyshyn (1979)は画面左方に提示された標準図形を回転させ、画面右方に提示された手掛かり図形が標準図形の一部を構成するかを判断させた。その結果、標準図形の回転速度は練習回数や図形の特性によって影響を受けた。とりわけ手掛かり図形がよい形(goodness)をしているとき、回転速度は速くなった。彼はこうした結果がアナログ全体的処理過程ではなく、より領域限定的な断片的・積み重ね処理過程から生じたと考えた。

更に Pylyshyn (1981, 1984)は認知的侵入可能性 (cognitive penetrability)なる基準を導入し、これによってアナログ的過程と非アナログ的過程が分別可能であるとした。この基準によれば、顕在的過程が本質的には生物学的機制的統制下にあるときのみ、その過程はアナログ的過程といえるというものである。逆に言えば、顕在的過程が非生物学的機制(とりわけ、認知的活動)の影響下にあるならば、それは非アナログ的過程であるというものである。

心的回転現象において複雑性効果が存在するという結果を Pylyshyn は認知的侵入可能性を示す例と考えた。そして心的回転実験において角度差効果が生じるのは、現実の物体を回転させるには物体の位置を徐々に連続的に変化させなくてはならないという意識化されない(暗黙の)知識に基づいて、それを模倣した反応を実験参加者は生じようとしたことによる、という議論をも展開した。

認知的侵入可能性を示す他の例として、Robertson and Palmer (1983)と同じ階層的文字刺激を利用した Paquet (1991)は、特定水準の構造への注意集中条件と注意拡散条件で心的回転速度を計算した。結果として、注意集中条件の方が拡散条件より判断が早かったとしている。この結果は、心的回転が課題の性質によらず進行するとする自動的・生物学的過程としてのアナログ仮説と矛盾すると考えた。

また、Förster, Gebhardt, Lindlar, Siemann and Delius (1996)は中央に提示された標準図形に関してその左右に提示された図形対のいずれが同一であるかを選択させる課題を実験参加者に要求した。彼等によれば複雑図形対においても回転効果が見られたが、その原因として複雑図形の要素部分に関する回転を繰り返すことによって生じたと主張している。この主張は図形の同一性判断がアナログ全体的に進行するという観点とは矛盾している。

### 2. 3. 6. 心的回転の生起条件

心的回転が図形識別の一般的な手段であるかについては疑問がある。Ullman(1996)は、心的回転判断に含まれる過程は緩慢であり、その対象は比較的単純な形態に限定されてお

り、現時点でこの過程が通常の物体認識の不可欠な要素なのか、限定された目的のみに使用される特殊な過程なのかは判然としないとしている(pp.46-47)。

もし心的回転が図形認識に一般的に適用されるとする立場をとるならば、それは認識過程全般にわたって自動的・強制的に適用されるということではなく、初期段階での、2つの視覚像間、ないしは1つの視覚像と1つの記憶像の間に粗い同一性が存在するか否かを決定するために実行されるものであろう。その結果、図形対が同一である可能性は小さいと判定されて処理を終了してしまうか、より正確で緩慢な心的回転を含めた詳細な処理を行う必要があるかが決定されるという、2段階の処理仮説が必要と考えられる。

一方、特徴による図形の記述は命題表象の一形態であるとみなせるが、もし特徴分析が心的回転に対して優先されるなら、特徴によって識別が可能な図形では心的回転は不要となると考えられる。

Hochberg and Gellman(1977)は、垂直長線とそこから派生する異なった数の水平長線及び水平短線による無意味図形を考案した (Figure 34)。様々な方向に置かれた基準図形5種とその鏡映像を弁別する課題において、図形の方角性を示す目印特徴 (landmark features) が顕著に存在する図形対と目印特徴が判別できない対で潜時を比較したところ、角度差効果は後者においては明白に出現しなかった。こうした結果は、特徴の存在が心的回転過程に影響を与えていることを示していると考えられた。

Corballis (1988)はアナログ的過程としての心的回転が存在しえないとは主張していないが、親近性のある図形に関しては、

1. 傾きとは独立した図形の特徴を抽出し図形の同定を行う
  2. 長期記憶上で同定された図形の主軸方向を復元させる
  3. もし課題が鏡映反転形との識別にあるのなら提示図形を正置方向まで心的回転させる
- との図形同定過程の3段階処理説を提案した。

Eley (1982)は、親近性のある図形に限らず新規のシンボル図形に関する呼称課題においても、訓練試行中にそれら刺激図形を記憶させることによって角度差効果を消失することが可能であると報告している。彼も心的回転の介在は認めるが、特徴抽出処理がシンボル図形の同定にはより重要であることを示唆している。

更に、Takano (1989)は情報タイプ理論を唱え心的回転が生じる条件を明らかにしようとし、図形の識別における関連情報を方向情報と結合情報の2次元に分類した。

方向次元では、特定方向に置かれたとき図形要素の記述が可能となる場合 (方向拘束状態: orientation-bound) と方向によらず図形要素の記述が可能なる場合 (方向自由状態: orientation-free) の2値を持っている。

結合次元では図形要素単体が記述可能な場合 (原素状態: elementary) と図形要素の結合によって記述可能な場合 (要素結合状態: conjunctive) の2値を持っている。

そしてこれら2次元の状態を掛け合わせることで、同一 (原素状態 x 方向自由状態)、絶対方向 (原素状態 x 方向拘束状態)、組合せ (要素結合状態 x 方向自由状態)、相対方向 (要

素結合状態 x 方向拘束状態) という 4 種の図形情報を定義可能であるとしている。そして彼は、心的回転は方向拘束状態では必要であるが方向自由状態では不要であると考えた。

実際 Corballis 等、角度差効果の見られなかった一連の課題では、相対方向の情報の記述が必要な鏡映像間の弁別課題は含まれていなかったし、Eley (1982)の刺激集合にも同一／鏡映弁別の要素は含まれていなかった。

しかし図形要素の配置条件のみによって心的回転の実行が決定されるかについても問題が解決されたとはいえない。文字の傾きはその同定時間に影響を与えないとされてきたが、Koriat, Norman and Kimichi (1991) は同一文字を反復して提示した場合、直前に提示された文字の傾きと現在提示されている文字の傾きとの角度差が大きくなるにつれて反応時間は増大したという。また、同時提示された刺激の同一性 (異同) 判断でもこの結果は再現された。こうしたことから彼等は図形認知とは時間的、空間的に隣接した事象間の不変性の抽出を元に処理されていると考えている。

### 2. 3. 7. イメージ論争のその後

上記の研究を総括してみると、図形の認知に命題的処理が利用される場合があったとしても、ある特定条件下ではアナログ全体的処理としての心的回転が実行されていることは確かなように思われる。

1980 年台後半になると、表象がアナログ全体的性質を持つか命題的に記述されているのかを巡って戦わされたいわゆるイメージ論争(imagery debate)は多くの研究者の関心から離れていったように見える。しかし、この論争のその後の展開については簡単に触れておきたい。

アナログ派の旗頭 Kosslyn は、時を同じくして発展してきた脳機能可視化技術を利用して、どのような脳内過程によってイメージが生成されるかを理解することによってイメージ論争を終結することが出来ると考えた。

Kosslyn (1994)はイメージの生成過程と高次視覚過程とでは機能的に共通な処理要素が必要であると考えた。同書において彼は、Kosslyn, Alpert, Thompson, Chabris, Rauch, and Anderson (1993)による PET (Positron Emission Tomography)を使用した実験を引用しつつ脳内の高次視覚過程を推定しているので、ここではその主張の幾つかを紹介してみよう。

PET は脳内の血流量を、酸素の同位元素が崩壊する際に放出される光子を観測することで可視化する方法であり、認知作業に必要とされる脳内部位を特定することができると考えられている(Kosslyn, 1994)。

Kosslyn, et.al. (1993)は、基準(baseline)試行として実験参加者に無意味描画を提示し、その後音声的にある単語名が与えられると参加者は直ちにフットペダルを踏むことが求められた。この課題で必要とされる血流量は比較的低位の知覚判断過程を反映しているとみなされる。一方、標準(canonical)試行では物体の描画を標準的な視点で提示し、非標準(noncanonical)試行では描画を非標準的な視点で提示した。いずれの場合

合も描画と共に単語が与えられた。単語は半数の場合は提示された描画を示していたが、半数の場合は提示描画とは無関係だった。実験参加者には与えられた単語が提示描画を指しているか否かの判断が求められた。Figure 30 において目印された場所は、非標準試行中の血流量から標準試行中の血流量を引いた結果、非標準的描画を見ている際に活発に活動している領域を示している。

それによれば以下の部位において活性化が見られたとしている。

1. 連想記憶領域（特に左前頭前野背外側部では新奇カテゴリーに関する検索システムが想定される）
2. カテゴリー的空間表象から空間的座標表象への変換に関与するとされる前頭葉右背外側部
3. 描画全体から特定部分へと注意が変移することに関与する左上部頭頂葉
4. 新たな部分が入力されてきたときに視覚的バッファーとして働く 17 野、18 野
5. 新たな入力情報によって活性化が予想される腹側路系（非標準課試行で活動が上昇した両側の下側頭葉と中側頭回と右半球の紡錘状回）
6. 腹側路系と背側路系の共通した連想記憶領域である両側性の 19 野と右の角回

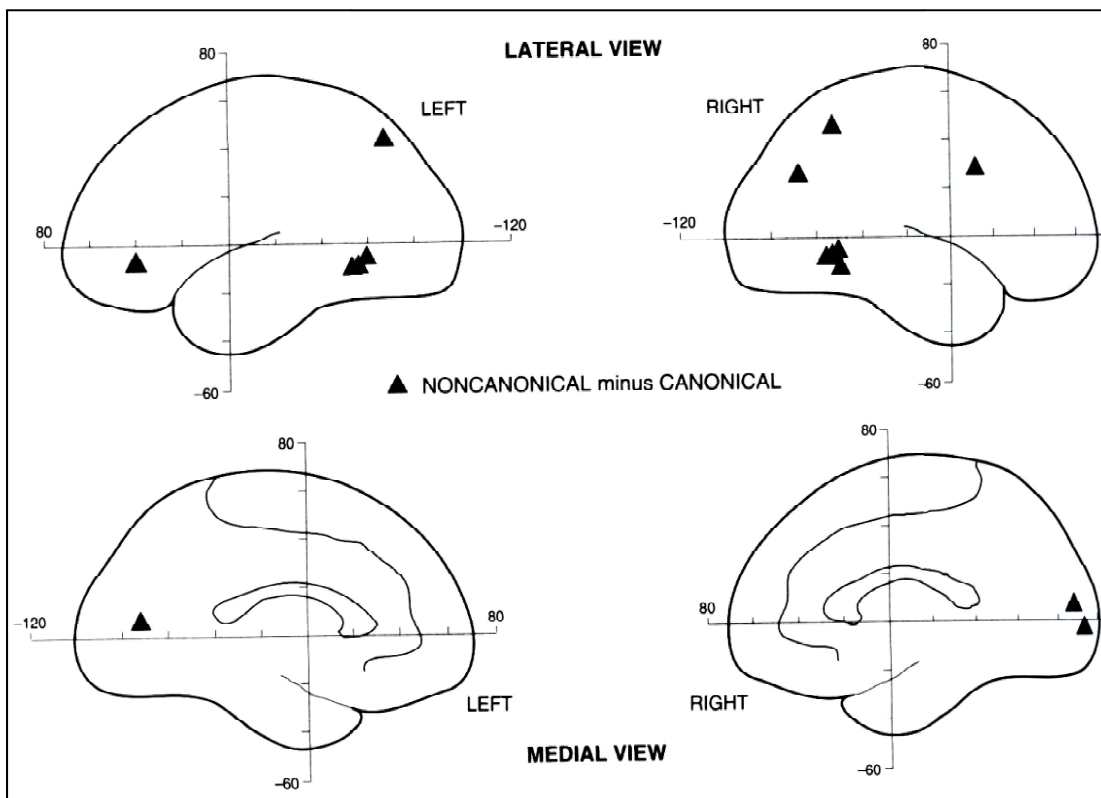


Figure 30. 非標準的描画の注視中に活発に活動する領域（▲で示されている）。ここで、Lateral view とは大脳外側面から見た図、Medial view とは矢状断面から見た図を示している。また Left は見えている部分が左半球、Right は右半球であることを示している。Kosslyn (1994)より引用した。

彼等は次に、標準試行における血流量から基準試行における血流量の差を示す測度を使えば、最初にボトムアップ知覚処理において活性化する領域、その後トップダウンによる仮説検証的処理によって活性化する領域が明らかになると考えた。

ボトムアップ処理に関与すると考えられた領域には明瞭な活性化の兆候は見られなかったが、トップダウン処理に関与すると考えられる領域の活性化はほぼ予想通りに生じていたとしている。即ち、連想記憶からの情報取得に関与する右半球の前頭前野背外側野、および特定の場所に注意を誘導する際に必要とされる両側の 8 野と前帯状束、に活性化が見られた。更に、視覚的バッファーと考えられる左半球 17 野にも活性化が見られた。この事実に関しては標準的描画であっても視覚的には複雑でバッファーへの多くの情報入力が必要とすることを意味していると推測された。

こうした PET 研究の結果から Kosslyn(1994)は、(a) 高次の視覚過程が幾つもの視覚処理下位システムに分解可能であること、(b) 視覚中でのトップダウン的な仮説検証処理の際に稼動するのと同じ機制がイメージ中においても稼動していること、が明らかになったとしている。彼はこうした機制が正確にどのようなものなのか完全に解明されているわけではないが、イメージ論争はこれによって終結したと宣言している。

しかしこうした脳機能可視化技術や神経心理学からの証拠とされるものに対しても、Pylyshyn (2003) は表象がどのような形式で表現されているかという点に答えていないため正当化できないと主張している。

更にこれに対して Kosslyn, Thompson and Ganis (2006)は、実証的研究としての心的走査の存在、視覚的イメージ課題中の視覚野の活性化、視覚的イメージに関する情報処理システムが脳内でどのように実現化されているかについての包括的議論等、総合的に見ていまやアナログ全体的観点の優位性の下で、アナログ・命題論争を終結すべきだと訴えた。

### 2. 3. 8. 対称性の知覚

そもそも我々は互いに対称な 2 つの図形を異なった図形として認識可能なのであろうか？ Shepard & Metzler (1971)は異なった方向に置かれた鏡映関係にある図形間では、心的回転とそれに引き続く鋳型照合によってはじめてそれらの識別が可能になると主張した。文字を覚え始めた幼児は仮名のながれや撥ねを左右逆の位置につける傾向があること、ある人の顔に黒子があることは分かっているとしてもそれが顔の右か左かは定かではない、といった正置方向（通常は垂直線）に関する軸対称関係に対する感受性の低さを想定させる例が少なからずある。一方、ある図形が対称性を持っているか否かに関する感受性を人が有しているかという点も興味深い。前者を図形間対称性に関する問題意識、後者を図形内対称性に関する問題意識と呼ぶことも可能であろう。

### 2. 3. 9. 図形間対称性

多くの心的回転実験において、図形対の異同判断を同一図形対と鏡映図形対に限定する

理由として、問題の難易度を一定に保つ上で非同形対を鏡映図形対以外に設定することが難しいと考えられていたことが挙げられよう。図形間対称性の性質について議論されることは少ないが、互いに対称な図形対はグラフ理論上で同型であるという点をまず指摘しておきたい。

Garner (1974)は図形のよさは同値集合の大きさに反比例すると考えた。この場合の同値集合の大きさは鏡映反射（水平・垂直軸による）と  $90^\circ$  回転によって作られる異なったパターン数で定義された。しかしこれは図形のよさを説明するための ad hoc な定義と考えられ、数学的に定義づけられた同型性を図形集合の基準にすることが好ましいと考えられる。

グラフ理論上、与えられた点の間を結ぶ線分によって作られた図形をグラフといい、2つのグラフにおいて全ての点の間の隣接性（ある点と別の点が線分によって結ばれていること）が保存されていれば、その2つのグラフは同型という（より厳密な定義は、Harary, 1969 に掲載されている）。同型性の定義では、線分の長さや方向性や湾曲性（ないし直線性）は問われないので、先に述べたように対称性は同型性の特殊例といえる。

Corballis 等による一連の研究や Takano (1989)にみられるように、鏡映図形間ないしは軸対称図形間での非同形判断は、非鏡映図形間の非同形判断より困難であると考えられる。それでは、軸対称図形対の上位集合である同型な図形対では同一性判断は困難になるといえるであろうか？

この問いは Chen によるトポロジカルな知覚理論の一般性とも関係している。言い換えれば、非同形判断の困難性が軸対称図形に限定されるのか、同型図形一般に成り立つのかは重要な問題提起であるといえよう。

### 2. 3. 10. 図形内対称性

多くの自然的・人工的物体はある特定の方向（通常は垂直方向）に関して軸対称性を持っている。例えば、人を含む動物、木の樹形、単独峰の稜線、自動車・家電製品・筆記用具などの工業製品においてその輪郭や要素位置が特定方向に関してほぼ軸対称性を持つことが多い。反対に、ほぼ軸対称性を持つ方向を物体の正置方向として推定し、それに基づく記憶像をその物体の主たる表象としている可能性も考えられる。

**2. 3. 10. 1. 対称性と図形のよさ** Garner(1974)によれば冗長な図形では図形のよさは高く、非冗長な図形では低いとしている。その際、ある種の図形全体集合中で当該図形の属する部分集合の大きさが小さいほどその図形は冗長であるとしている。彼は  $3 \times 3$  の細胞中に占める5点からなる図形を例に、反転(reflection)と回転(rotation)によって作成される異なった図形数は元の図形の対称性を示す尺度となる、言い方を換えれば、所与の図形の対称度は対称となる軸の数としても解釈出来る、としている。それを基に水平線、垂直線、右方斜線、左方斜線に関して対称となる2つの図形 (Figure 31) からなる部分集合が最小の大きさを持ち、最大のよさを持つとした。



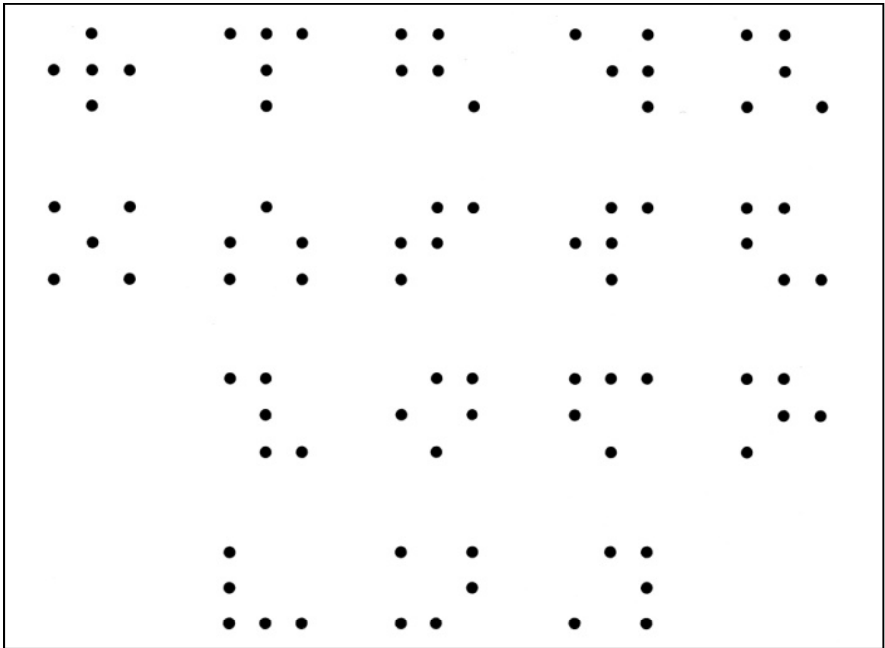


Figure 31. 各種の5点パターンの中で左端の2つが最大のよさを持つ。説明は本文参照のこと。  
Garner(1974)より引用した。

同様に Imai らは変換構造説の立場からも、位相変換と逆変換の条件を無視した場合、多軸において鏡映変換を行っても図形配置が不変な点対称図形が最もよさ(goodness)が大きく、1軸において鏡映変換を行ったとき不変な軸対称図形は次によさ大きく、非対称図形のよさは最も小さいと考えた。それ故、点対称図形が最も容易に異同判断が可能と考えられる。

Palmer and Hemenway (1978)は様々な方向に置かれた1軸、2軸、4軸対称性、点対称性、擬似対称性を持つ多角形に対する軸対称性を検出する時間を測定した。その結果、4軸対称図形は2軸対称図形より検出が早く、1軸より2軸対称図形の方が検出は早かった。擬似対称図形に対する不在判断の方向性効果は1軸対称図形に対する存在判断のそれと同様であった。点対称図形では方向性効果は存在せず、擬似対称図形より反応に時間がかかった。図形のよさの程度と対称性の検出の容易さは直接には関連しないとしても、彼らによる多軸対称性の検出が有効な速度でなされるという結果は、今井(1986)と整合性を持つが、点対称性の検出は有効な速度ではなされないという結果は非整合といえよう。

2. 3. 10. 2. 垂直軸に関する対称性が持つ優位性：両側対称性 Rock (1983)は対称性を目印特徴として考えており、図形内対称性を持った図形と、その図形と構造的には同じでも対称性を持たない図形とでは非常に異なって見えるとしている。この主張は Chen のトポロジカルな知覚に関する主張とはうまく整合しない。Rock は更に知覚的に重

要性を持つのは垂直軸に関する対称性（両側対称性）に限定されるとしている。それを示す例として Figure 32 を挙げている。ここで a の図形は垂直軸・水平軸に関して対称、b は垂直軸のみに関して対称、c は水平軸のみに関して対称であるが、圧倒的多数の人は c に比べて b が a により類似していると評定した。そこでこれら 3 つの図形をそれぞれ 90° 回転してみると、今度は b に比べて c が a により類似していると評定した。こうした結果から Rock は垂直軸に関する対称性が図形の知覚判断に大きな影響を与えると考えた。

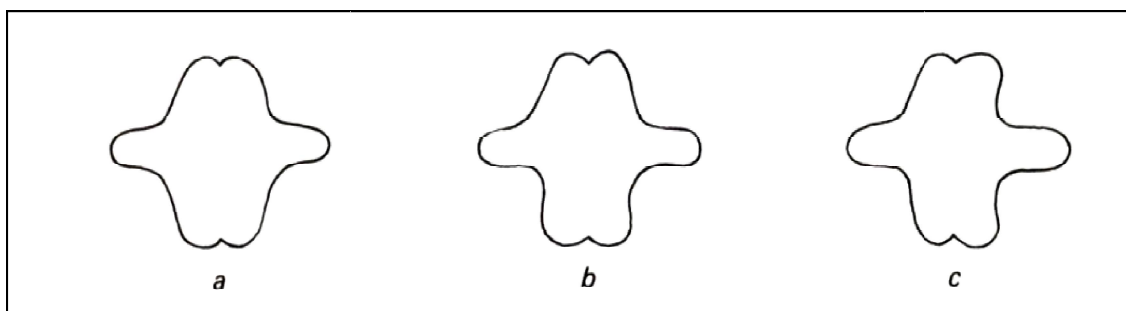


Figure 32. 垂直軸対称性の重要性を示す例。説明は本文を参照のこと。Rock (1983)より引用した。

これに関連する知見として、Palmer and Hemenway (1978)の実験では、垂直軸に関する対称性についての検出時間が一番早く、次に水平軸に関する対称性、そして右方斜め軸や左方斜め軸に関する対称性への検出が一番遅かった、と報告されている。この結果はやはり垂直軸対称性の優位を示している。

Rock のいうように対称性が目印的な特徴として検出されるかについて、Olivers and van der Helm (1998)は視覚的探索課題を使って調べた。結果は、点のパターン、針金の多角形、ブロック図形、及び括弧という刺激パターンに係わらず、対称性の検出は非目標図形の数に強く依存した。つまり、対称性の検出に先立つ群化・分化の働きは前注意的に生じるとしても、対称性の検出自体は選択的注意が必要ことを示唆している。

**2.3.10.3. 不完全な軸対称性の知覚と図形の方向性** 先にも述べたが Wageman (1993)は、アフィン変換対をも同一対として図形の異同判断実験を行った。その結果、高次な対称性を持った点パターンのとき、点パターンが結線され閉じた多角形になったとき、点パターンの周囲に枠がはめられ点の平面配置性が強調されたとき、には傾斜した対称性は奥行きを持った両側対称性として知覚された。しかしそれ以外の場合は、アフィン変換に対して不変な近接性や湾曲性に基づいて局所的群化に依存した判断を行った、と報告している。

Mcbeath, Schiano and Tversky (1997)は実験参加者に、対称性および非対称性を持ち内部を塗られたランダム多角形を見せて、その図形が何に見えるか、どの方向を向いている

か、を判断するように求めた。その結果、実験参加者はほとんどの場合提示図形を両側対称的な3次元物体のシルエットであると解釈した。この対称性に関する3次元解釈は、対称的形態は正置した見えとして、非対称的形態は側面ないし斜めの見えとして捉えようとする傾向を示している。こうした傾向は対称性を物体の中心軸の推定に使用していることから来ると考えられる。

中心軸の決定に基づく図形の知覚については **Boutsen and Marendaz (2001)**の研究が挙げられる。彼らは多角形の大局的方向性と局所的輪郭の方向性に関する探索課題を実施した。実験1では対称性ないし延引を示す主軸を有する多角形に関しては、大局的方向性への探索非対称性が見られた。即ち、垂直方向に主軸が向いた非目標図形中の斜め方向を向いた目標図形は、斜めを向いた非目標中の垂直を向いた目標より急速に検出できた。

実験2では、対称軸を有する図形においては大局方向に関する探索非対称性は存在したが、延引方向を有する図形においては大局方向への探索非対称性は明白ではなかった。全体としては局所的方向性の探索は全体的方向の探索より有効であった。これら結果から、図形の全体的方向の知覚は対称軸のような顕著な軸に基づいた記述が介在していることが推測された。

一方、対称性や延引性といった形態的特性によって運動の方向性の知覚がどのように影響されるかについて調べるために **Morikawa (1999)**は、斜め方向へ移動するランダム多角形の見えの運動方向性を測定した。その結果、対称軸からずれた方向へと移動する対称図形では実際以上にその軸からのずれが過小視されたが、運動の方向性の知覚は対称軸に影響されなかった。また、運動方向が対称軸に沿ったものであるときのみ対称図形の運動方向は非対称図形より早く判断された。更に、延引性も対称性と同様な運動の方向性に関する傾向性を示した。これらの結果は、運動時においても物体（図形）の中心軸（対称軸）の知覚が優先されることを示している。

## 第3章 図形認知研究において使用された主たる刺激図形と作図法

図形認知過程の研究とその際に刺激として採用される図形とは不可分の関係がある。ある実験結果によって導出された図形認知過程に対する特定の解釈の適用範囲は、基本的にはその実験で使用された刺激図形に限定される。しかし刺激図形の持つ特定の性質が多様な図形と共通する程度が大きければ大きいほど、あるいは、刺激図形の持つ特定の性質がその図形に特異的である程度が少なければ少ないほど、得られた解釈が使用された刺激図形を越えた一般性を持つ可能性が高くなる。それ故、どのような図形を刺激として採用するかということは図形認知研究において決定的な重要性を持つ。

### 3. 1. 刺激図形に関する分類

#### 3. 1. 1. 有意味図形と無意味図形

本論文冒頭で説明したことではあるが、図形の内容から、刺激図形は大きく有意味図形と無意味図形に分けることができる。必ずしも明快な定義が存在するわけではないが、所与の形態が既知の図形や物体の表象であると同定できる、言い換えれば、図形や物体に関する長期記憶上において特定可能なカテゴリーを持つ図形を有意味図形とし、長期記憶上でカテゴリーが特定できないあるいは了解不能な図形を無意味図形としよう。

勿論実験参加者集合によっては同じ形態が有意味図形になったり、無意味図形になったりすることはありうる。例えば、漢字文字は多くの中国人や日本人にとっては有意味図形となるが、多くの米国人にとっては無意味図形となる。

ここで図形認知研究に無意味図形が使用される意義を考えてみよう。意味を持った図形に対して実験参加者は、既に何がしかの親近性を有していると考えられる。そのため得られた結果から、親近性の背後にあるカテゴリー効果、練習効果、文脈効果、更には文字を刺激とした場合に典型的に生じるような文化的効果を適切に分離することは困難である。こうした実験参加者の個別的経験に由来する効果が存在することは、図形自体の認知過程を知ろうとする際に妨害要因となる可能性がある。

また極めて親近性の高い刺激（例えば数字や文字）は既に過剰学習を受けていると考えられ、比較的親近性の低い状態のままであれば複数の情報についての分析的処理を受けるような刺激であったとしても、過剰学習を通して単一の表象が形成され、その表象に対して特定の符号化がなされているかもしれない。

そうした可能性を示す例として、同時提示された図形対の同一性判断において正反応（同一判断）は負反応（非同一判断）より急速になされるといういわゆる「同一性判断の迅速

化現象(fast-same phenomenon)」を考えてみよう。この同一性判断の迅速化現象は、容易に弁別可能であり呼称可能な（名前を持った）、言い換えれば符号化された刺激において顕著であるといわれている（Nickerson, 1965; Corballis, Lieberman, & Bindra, 1968; Bindra, Donderi, & Nishisato, 1968; Entus & Bindra, 1970）。一方、無意味図形における同一性判断は複数の特徴を系列的に比較することによってもたらされる（Kanbe, 2009）。そしてその場合は非同一反応が同一反応より早く出現する。そのため、同一性判断の迅速化現象が呼称可能な図形間で生じる理由は、図形間の同一性判断が複数の特徴値間の比較によって下されるのではなく、過剰学習によって生じた両図形の表象を 1 回照合すれば足りることにあると考えられる。

しかし無意味図形とはその図形への親近性が低いことを示しているだけであり、図形が恣意的に作成された可能性を否定するものではない。例えば、Takano (1989)は心的回転の生起条件を調べるために漢字様の刺激を用いた（Figure 33）。この両図形は実験参加者である米国人にとっては無意味ではあるが、日本人にとって既知である扁の知識を利用して、この部分の方向だけを左右反転させたものである。このような手続は Takano の情報タイプ理論を検証するという目的の下に採用されたものであり、意図的ないし恣意的な作図法といえる。

恣意的に作成された図形は基本的に、研究者の目的とする作図パラメータのみがコントロールされ、それ以外のパラメータはコントロールされていない。それ故、得られた結果は目的パラメータの効果であり、目的外パラメータの効果が結果に影響を及ぼしていないと断言することは困難である。換言すれば、得られた結果から導出される結論の一般性は限定的と考えられる。

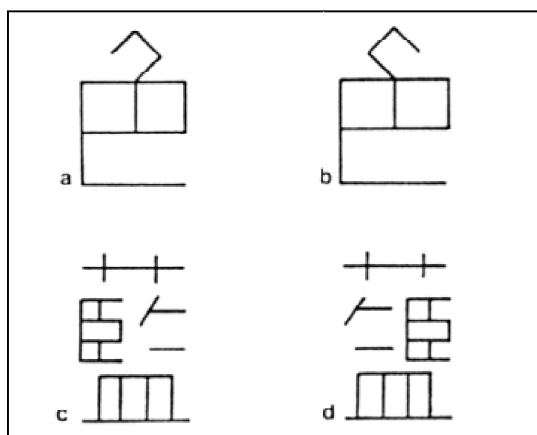


Figure 33. Takano (1989)が使用した漢字様刺激。

### 3. 1. 2. ランダム図形と非ランダム図形

図形作成法からすると、ランダム図形と非ランダム図形に分類することが可能である。ランダム図形は何らかのランダム発生手続を利用して図形作成を行ったものであり、非ランダム図形はランダム手続を利用せずに作られた図形である。通常ランダム図形は無意味図形であるが、非ランダム図形には無意味図形も意味図形もありうる。

ランダム図形は通常作図の手続が明示されており、その一部に何らかの作図パラメータをランダムに決定する手続が含まれている。それ故、少なくとも当該の作図パラメータに関しては客観的な図形測度を定義できる。

更に作図可能図形の全体集合が定義可能な場合は、作図パラメータ以外の測度によってもその部分集合となる図形を指定できる可能性がある。既述したように、Garner and Clement (1963)は1つの図形から左右反転と90°回転によって作り出された異なった図形を同値とみなし、同値集合の大きさが小さいほどそこに含まれる図形のよさは大きいという仮説を定立した。この仮説の含意するところは、個々の刺激図形の持つ特性よりは、全体集合の大きさに対する部分集合の大きさの比や、各刺激の属する部分集合を規定する性質自体が認知判断に影響を及ぼす可能性を示唆している。

特に後者の効果を測定するためには、個々の刺激の持つ特性をむしろコントロールする必要性が生じる。そしてそのためには、当該部分集合から十分多数の刺激図形を選択しなければならない。これらの点を考慮すると、図形認知の研究にランダム図形を使用することは、作図手続を明示的に記述できること、客観的な図形測度を持ちうること、実験者の恣意性を排除できること、刺激図形の全体集合や部分集合を客観的測度で規定できる可能性があること、個々の刺激を特定の部分集合から適切・有効に選択できる可能性があること、などの諸点で非ランダム図形に較べて優位性を持っているといえよう。

### 3. 2. 無意味図形を使った研究例とその評価

ここでランダム手続によって、あるいはよらないで作成された無意味図形を使用した諸研究と、得られた結果およびそれらの解釈について紹介したい。さらに実験結果の解釈を図形一般に適用しようとする際に生じる制約についても考察してみたい。

#### 3. 2. 1. アンテナ状線図形

既述したように Hochberg and Gellman (1977) は垂直長線とそこから派生する異なった数の水平長線及び水平短線によって形成されるアンテナ状の線図形を刺激として採用して角度差効果を調べようとした(Figure 34)。実験参加者は、異なった方向で提示された5種の標準図形とその鏡映像を同一か鏡映像であるかを弁別することが求められた。これら図形の中で標準図形と反転図形の対(E)は図形の方向性に関する手掛かりが一つだけであり、しかも目立ちやすいという点で目印特徴が顕著であるが、CやDの対は冗長・無関係な特

徴が付加され目印特徴を弱められており、A や B はより多数の分岐線によって周辺視によっては目印特徴が判別できなくなっている。

実験の結果として、比較的顕著な目印特徴を持った図形対 (C,D,E) の角度差に対する潜時の傾きは目印特徴が判別不能になった図形対 (A,B) の傾きに比べて緩かった。この結果は Cooper (1975)による心的回転において複雑性効果は存在しないという主張を必ずしも否定するものではないが、目印特徴を利用できない場合に刺激図形間で多数回の比較が必要となると解釈することも可能である。

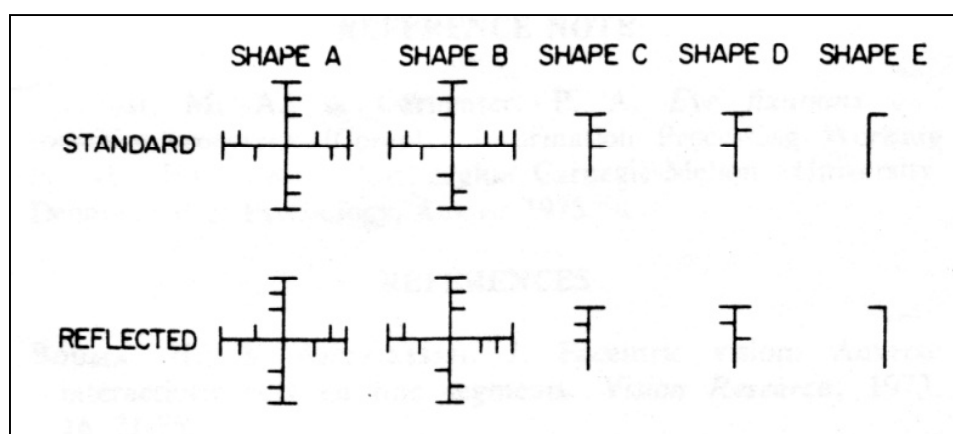


Figure 34. Hochberg and Gellman (1977)のを使用したアンテナ状線図形。

結果解釈上の制約条件としては、これら図形は親近性が乏しい点では無意味図形であるが、垂直な長線を基準として水平な長線や水平な短線を単に付加していくという方法から判断して非ランダム手続による恣意的作図法と言えよう。また目印特徴は図形の深層構造を反映しているとはいえず、むしろ方向性という表層的情報を示すために便宜的に表示されたと考えられる。当然各刺激図形は全体集合中の特定要素であると指定することもできない。前述の Takano (1989)の考案した漢字様図形を用いた研究においてと同様に結果解釈の一般化に対して制約を受けると考えられる。

### 3. 2. 2. 文字様図形

Eley (1982)は、直線分と様々な形状の曲線分を構成単位として、様々な個数それらを組み合わせることにより 20 個の文字様刺激図形を構成した。これら 20 図形は、Figure 35 の第 1 段、第 2 段、第 3+4 段、第 5 段、第 6+7 段の各図形群からランダムに 1 図形ずつを抽出するという方式によって各図形数 5 からなる 4 個の下位図形集合に分配した。この手続により各下位集合中の図形の複雑性が統制された。

実験 1 において実験参加者は学習達成基準と刺激選択基準に基づき 4 群に分けられた。練習試行時に参加者は各図形とそれに対して付けられた名称を対連合学習させられたが、1

群では 2 回連続の全問正答を学習達成基準とし、他群では 5 回連続正答を学習達成基準とした。本試行時には全群の参加者は傾いて提示された各刺激図形に対してその名称を呼称することが求められた（同定課題：identification）。その際、1 群において刺激は常に 20 個の図形からなる全体集合から選択されたが、他群ではブロック毎に 5 個の図形からなる下位集合から刺激が選択された。その結果、学習達成基準が反応潜時に与える効果は見られなかったが、刺激が全体集合から選択される場合は、部分集合から選択される場合に比べて潜時が大きかった。しかし角度差効果は明白には出現しなかった。

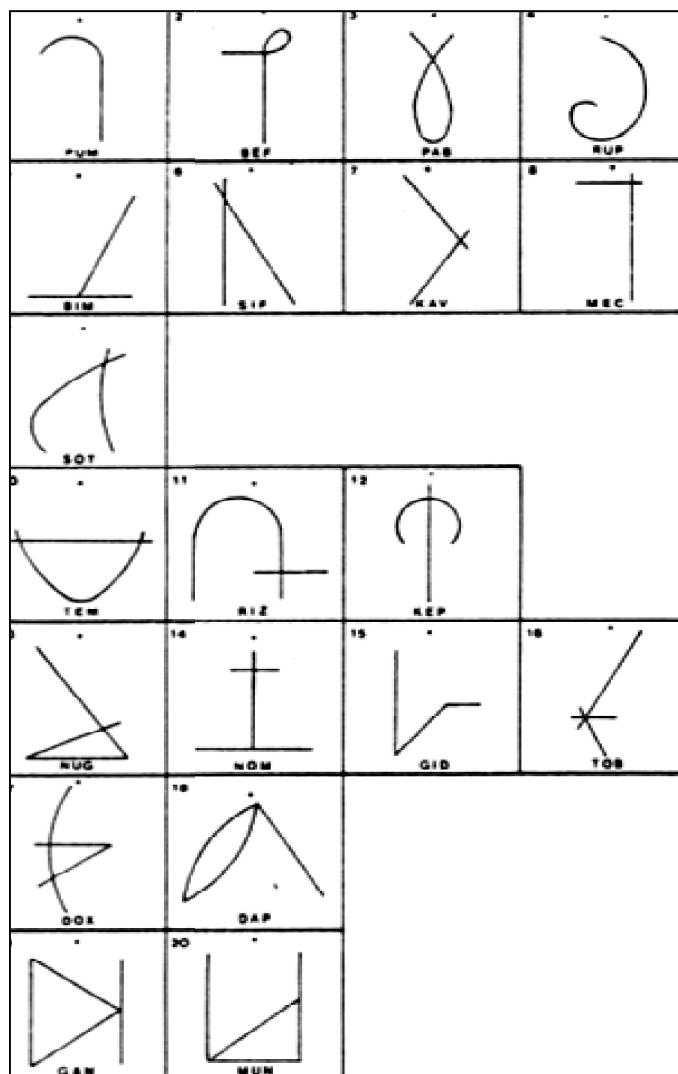


Figure 35. 上段より、1 段目は線数 1 の曲線分、2 段目は線数 2 の直線分、3 段目は線数 2 の曲線分、4 段目は線数 2 の直線分と曲線分、5 段目は線数 3 の直線分、6 段目は線数 3 の直線分と曲線分、7 段目は線数 4 の直線分、から構成された図形である。また各図形には 3 文字からなる名前がつけられた。Eley (1982)より引用した。



実験 2 では傾いて提示された文字様刺激が学習した図形であるか、それらの反転像であるかの確認判断 (**verification**) が求められた。その結果、反応潜時は角度差効果を示した。

結論として、傾いて提示された刺激の確認判断には心的回転が必要であったとしても、同定時間は、練習回数によって定義された刺激への親近性に関しても、刺激の潜在出現確率に関しても角度差効果をもたらさなかった。そのため彼は、文字様図形の同定は心的回転によるものではなく、特徴の抽出によるものであるとした。

Eley の使用した刺激は構成単位によって定義されている点で深層構造による記述がなされており、それらの結合の方法によって異なった図形が形成されている点で表層的記述もなされている。しかし曲線形状の選択法や結合法に恣意性が見られるため深層構造を共有する刺激集合や全体集合を定義することはできない。また同じ理由により、これらの図形は無意味であってもランダムとはいえない。

Palmer (1977) は表象が非言語的な命題の階層的ネットワークによって表現されていることを確かめるために、文字様図形を刺激とした実験を考案した。これら図形は、正方形の各頂点、正方形外周の各中間点、及び正方形の中心の全 9 点を原点として、それらの点を結ぶ 6 本の線分 (そのうちの 3 本の線分は中心点と接合しなければならない) によって作られた (Figure 36)。

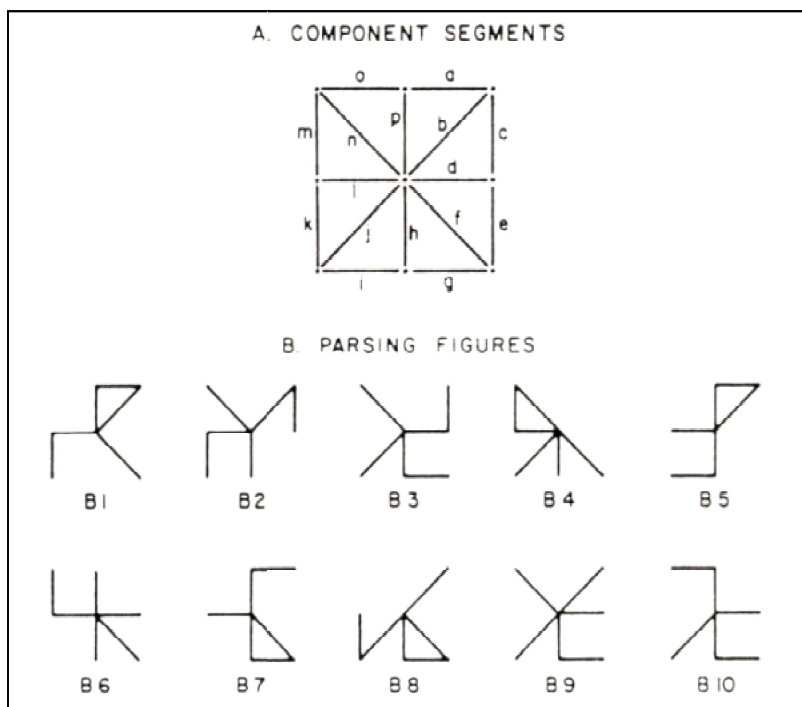
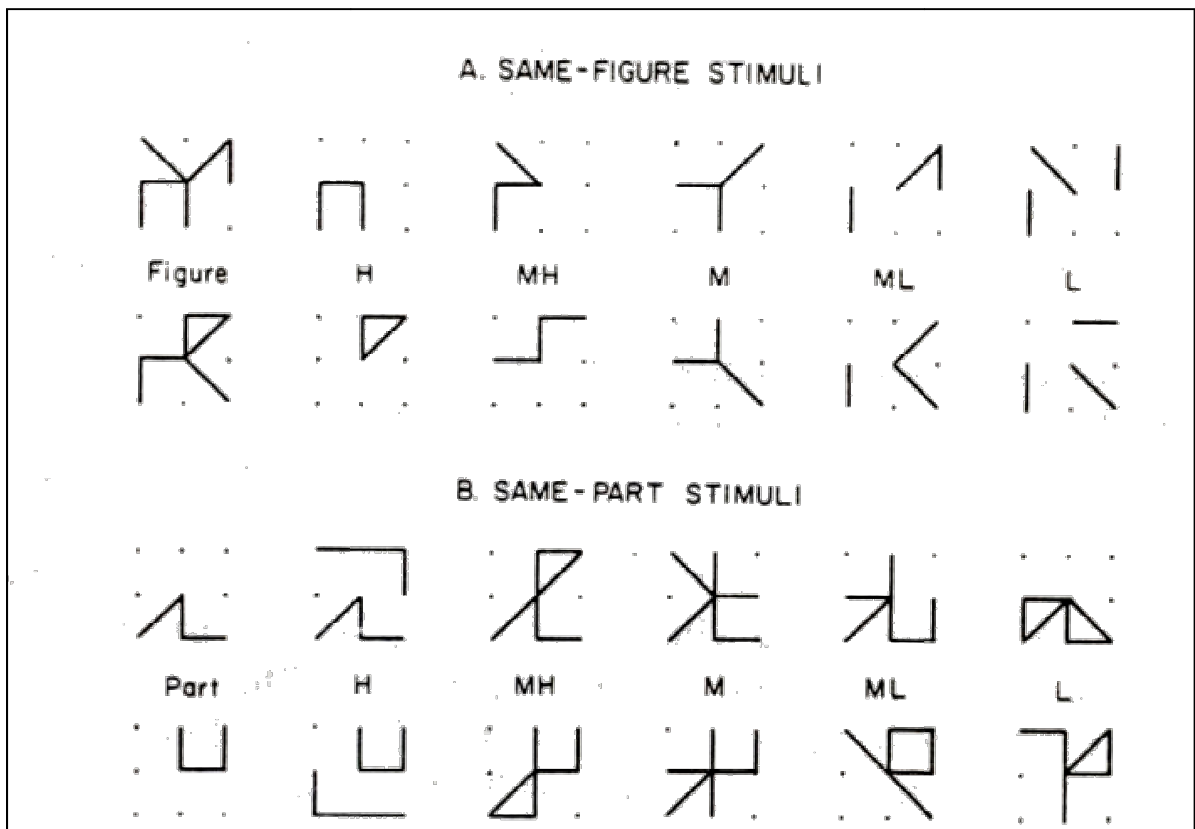


Figure 36. A の線分要素に基づき、B に示される 10 個の刺激が実験 1 で使用された。Palmer (1977) より引用した。

実験 1 では与えられた 6 線図形を実験者が、「最もよい」、「最も自然な」、「最も顕著な」と感じる 2 つの 3 線部分図形に分割する分割課題が実施された。

実験 2 では与えられた 6 線図形の一部を成す 5 個の 3 線部分図形群（同一図形刺激）と、与えられた 3 線図形を含む 5 個の 6 線図形群（同一部分刺激）の 2 つの条件下で部分図形を「よさ」、「自然さ」、「顕著さ」によって評定する部分図形評定課題が実施された (Figure 37)。



**Figure 37.** 実験 2 では右の各部分図形とそれを含む左端の全体図形とを対提示して、各部分図形のよさ評定をさせた。A では、全体図形は同一であるが部分図形が異なる刺激対の 2 例を、B には、全体図形は異なるが部分図形が同一な刺激対の 2 例を示している。Palmer (1977)より引用した。

実験 3 では、実験 2 と同様に同一図形刺激と同一部分刺激の 2 条件を設定した。そして対提示された全体図形と部分図形に関して、与えられた部分図形が全体図形に実際に含まれていたか含まれていなかったかを判断することが求められた（部分図形検証課題）。実験 4 では左右に提示された部分図形を心的に合成して全体図形をイメージさせる心的合成課題 (Figure 38) を参加者に課した。

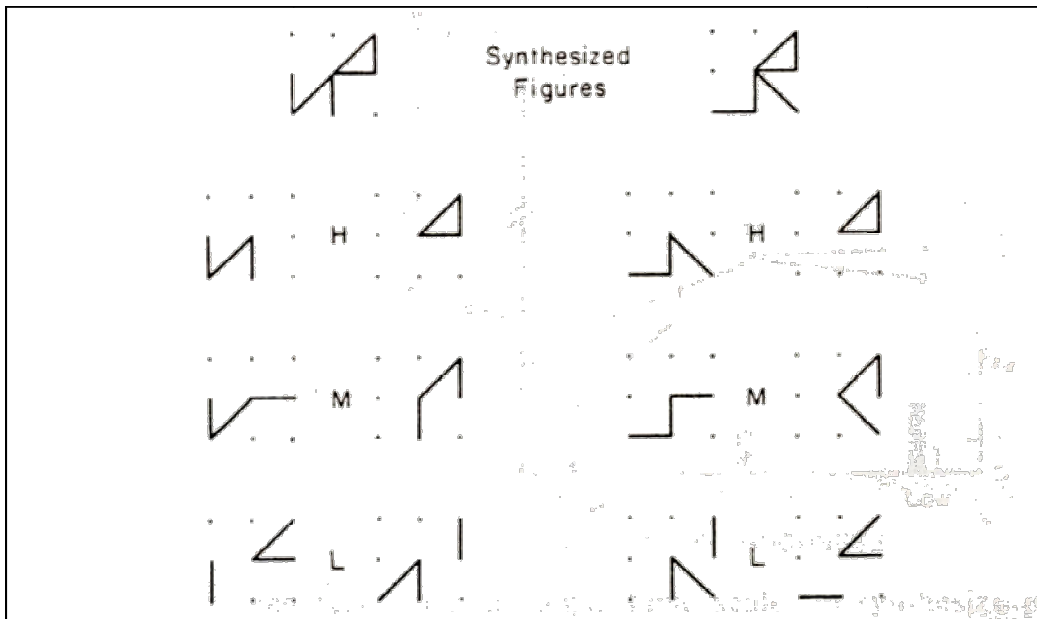


Figure 38. 心的合成課題では同時提示された2つの部分図形から全体図形を心的に合成することが求められた。上の2つの合成図形に関しては、部分図形が全体図形のよい部分である場合 (H)、中程度のよい部分である場合 (M)、低いよさである場合 (L)、を示している。Palmer (1977)より引用した。

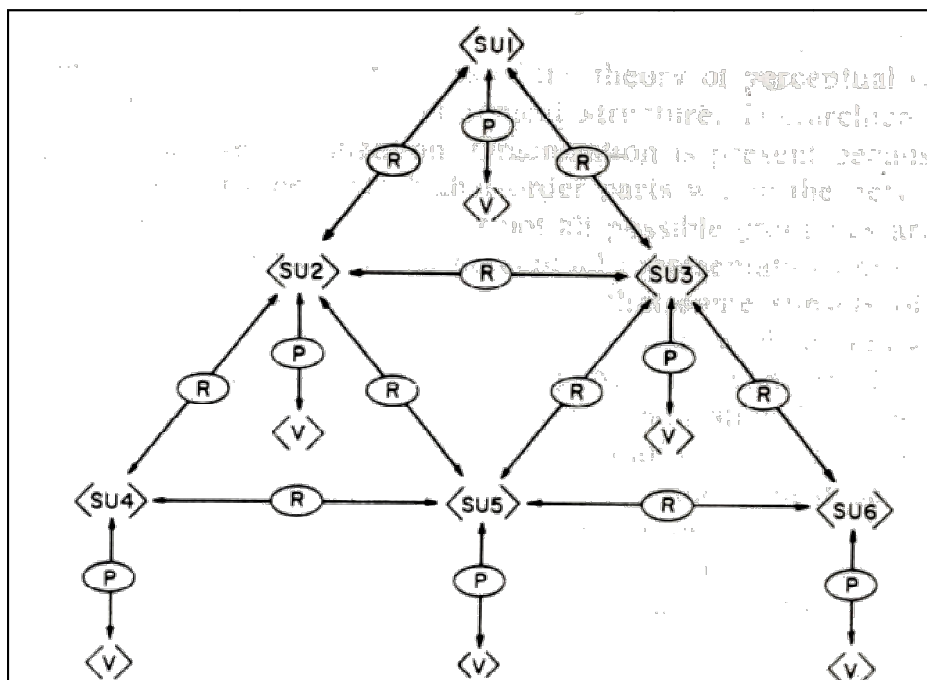


Figure 39. 知覚の階層モデル。各水準での構造単位 (SU) は、大局的特性 (P) に対してその持つ値 (V) と他の SU との構造的関係性 (R) によって決定される。Palmer (1977)より引用した。

これら図形の持つ性質としては、手続き欄ではランダム手続によって作図されたとの説明はなされておらず、むしろ三角形や逆さにした空箱などといった下位概念に対応する部分図形を結合して上位概念である所与の図形を形成していったと考えられる。

それ故、作図上は恣意的ではあるが、作成された図形は階層モデルに基づき深層構造による記述がなされており(Figure 39)、閉合性や端点の存在という深層構造に関連した特徴も含まれている。また各課題では与えられた部分図形と全体図形間の、あるいは部分図形間(線分)の位置や方向に関する記述もなされており、表層的情報も利用されている。概念上の階層モデルが採用されており、幾何学的に図形の全体集合(8008個)も定義可能ではあるが、実際の作図上では要素線分の全ての組合せを尽しているわけではないので、図形の全体集合と部分集合についての関係は不明瞭である。

### 3. 3. ランダム図形を使った研究例と評価

#### 3. 3. 1. ランダムヒストグラム

ランダム手続によって図形を作成した初期の試みとして、Fits, Weisnstein, Rappaport, Anderson, and Leonard (1956)の研究が挙げられる。彼等は、視覚刺激に対する実験参加者の反応は(a) 刺激自身の持つ特性、および(b) その刺激が属する図形集合の出現確率、の2面から考慮しなければならないこと、刺激作成にあたっては統計的に定義可能な方法を採用しなければならないこと、を主張した。

そのような考えの下、彼らは刺激図形として、 $(n \times n)$ の正方行列の列 $i$ の値として1~ $n$ までの正値 $k$ をランダムに決定し、その列 $i$ の高さを $k$ (即ち、空白であった $n$ 個の細胞領域中の $k$ 個の領域を塗る)とするランダムな鋸(のこぎり)状の形態を考案した(Figure 40)。こうした図形をランダムヒストグラム(random histogram)と呼ぶ。ヒストグラム作成法としては、(a) 列 $i$ の高さをランダムに決定するランダム手続と、(b) 既に決定された $i-1$ 個の列の高さと同じにならないような拘束条件下で、列 $i$ の高さをランダムに決定する擬ランダム手続、の2種の手続を採用した。

実験参加者は類似パターン群中から指定された特定のパターンを選択するという再認課題が求められた。実験手続としては、分類板(Figure 41)上部に提示されたテスト図形と同一な図形を、1行あたり8個からなる比較刺激図形群の中から選ぶという作業を、全6行にわたって繰り返して1試行とした。分類板上部に2秒間テスト図形提示した後に、分類板上に全比較図形が提示されたが、その比較刺激提示から6個のテスト刺激発見までの時間を計測した。

実験1では、(a) 柱の方向(高さ)が上方のみ、あるいは右方のみに伸びた1輪郭・非対称図形、(b) 上方に伸びたヒストグラムと同じヒストグラムを基準水平線から上で更に繰り返

したり、右方に伸びたヒストグラムと同じヒストグラムを更に右方に繰り返す2輪郭・非対称図形、(c) 基準水平線から上方に伸びたヒストグラムと対称なヒストグラムを基準水平線下方にも伸ばしたり、右方に伸びたヒストグラムと対称なヒストグラムを基準垂直線から左方にも伸ばした鏡映・2輪郭・対称図形の3種の図形を用意した。

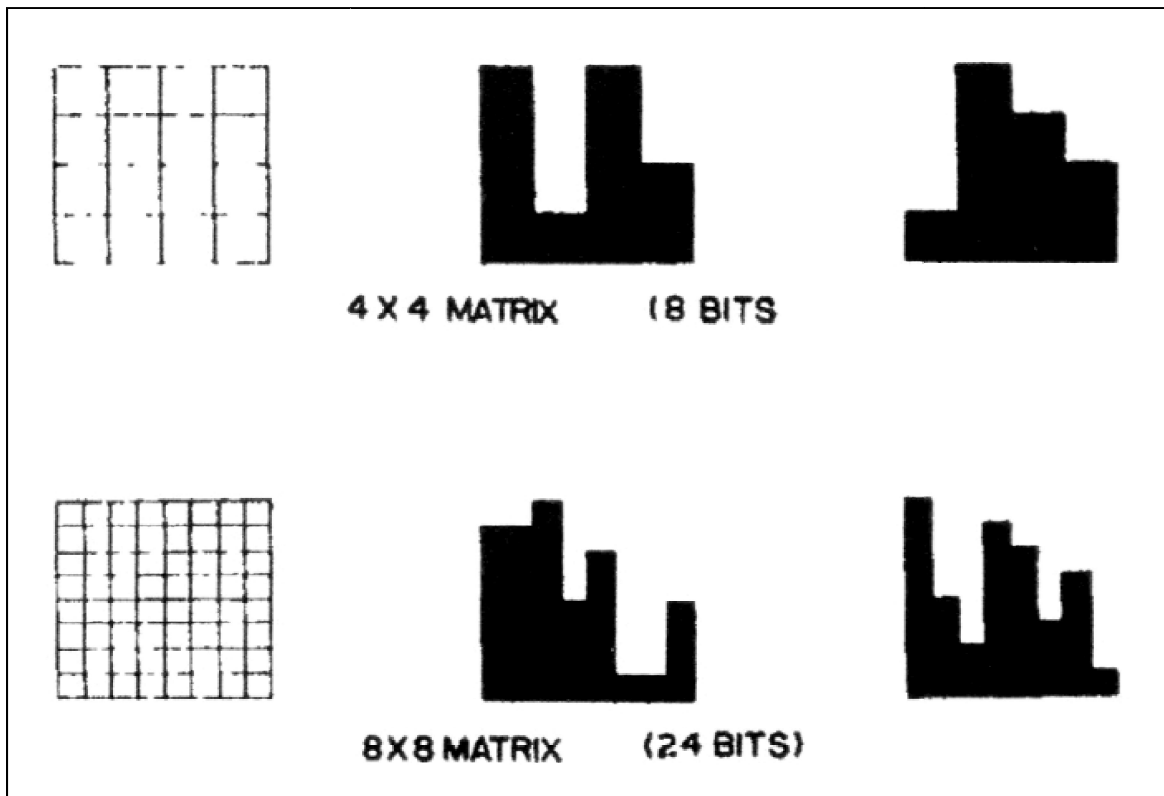


Figure 40. Fits, Weisnstein, Rappaport, Anderson, and Leonard (1956)の提唱したランダムヒストグラムの作成法。

結果について触れておくと、再認時間に関して一番時間差があったのはランダム作成図形と擬ランダム作成図形の間であった。この効果をもたらしているのは1輪郭図形の方向性にあると考えられた。即ち、ランダム作成図形は上方に伸びた図形として提示された場合に再認は促進された。一方、擬ランダム作成図形は図形を右方へ伸びた図形として提示された際に最も急速に再認された。

また、実験2においては、刺激図形として実験1と同じ3種のランダム作成図形を使用した。図形の伸展を右方、上方、左方、下方の4方向で提示した。その結果、鏡映図形において再認時間が最も短く、2輪郭・非軸対称図形において再認が最も遅かった。伸展方向の持つ効果は、垂直方向のほうが水平方向より早かった。

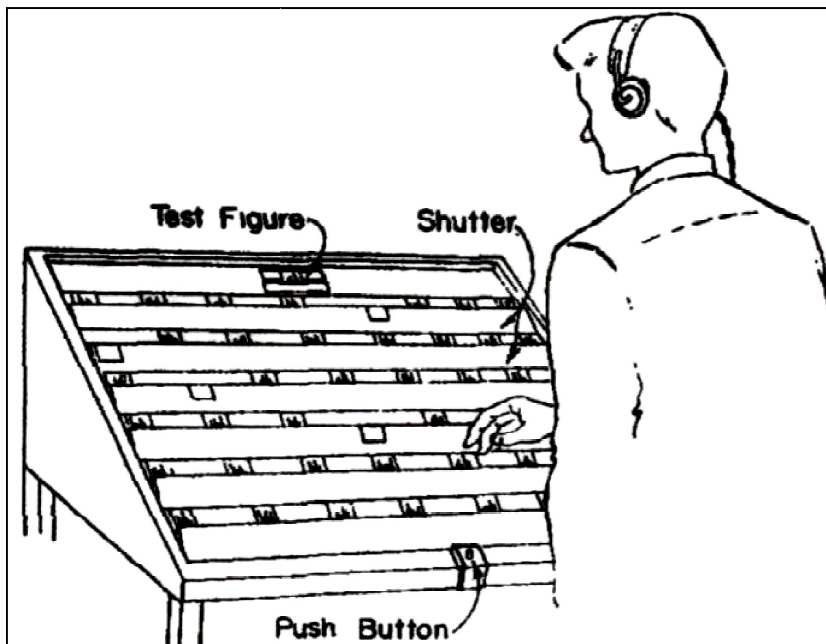


Figure 41. Fitts, et.al. (1956)のを使用した分類板。まずテスト図形が上部に提示された。その後実験参加者は各行の中でテスト図形を探し出して、それを裏返しにすることを全6行にわたって繰り返し、その作業が終了すると下部のボタンを押すことが求められた。

ランダムヒストグラムを利用した研究は多くはないが、Thurmond, Menzer and Rebbin (1974)は、ランダムヒストグラムとランダム多角形を使い、異なった複雑性の下(4, 6, 8個の列ないし屈曲点)で、提示刺激の大きさの関数としての弁別能力を検討した。視角8'以上であればヒストグラムと多角形を処理する速度に差異が発生した。この結果は、図形の大きさが増大したとき同一性判断能力は創発特徴(emergent features)に依拠することを示している。ここで創発特徴とは、異なった要素的特徴が統合して単一の存在として知覚されるような特徴をいう。

ランダムヒストグラムの性質としては以下の諸点が挙げられるであろう。

1. 作図手続が輪郭線を決定することを目的とするため、作図上でコントロール可能なパラメータは輪郭線に関連するもの、とりわけ対称性や、図形の複雑性を示すと考えられる輪郭線上の凹凸度、に限定されると考えられる。
2. 作図法により  $(n \times n)$  の変異形を持つので、この図形の全体集合は特定することができる。
3. 図形間の差異は輪郭線をなす列間の凹凸の差のみに帰結するので、図形の持つ性質として深層情報と表層情報とを原則的には区分することができない。対称性への知覚は深層情報処理の一部をなすとも考えられるが、それも同手続きでは凹凸の量的な差へ

の感受性の上で成り立っており、対称図形と非対称図形の差異は極めて相対的であるといえる。

### 3. 3. 2. ランダム多角形

最も頻繁に使用され、現在もしばしば採用されているランダム図形は Attneave and Arnoult (1956)において提唱された。彼らの問題意識とは、(a) 提示刺激の母集団となる刺激集合が特定可能でなくてはならず、また統計的測度によって定義可能でなくてはならない、(b) 形態知覚研究の目的が未遭遇の自然形態の知覚にあるとするならば、自然形態を記述する際に重要な心理的統計測度によって刺激図形も記述されなければならない、という点にある。彼らは9種のランダム図形作成法を提唱しているが、そのいずれもが結節点を指定する上での一連の規則が明示されており、そのため母刺激図形集合を特定できるとしている。

特に有名なのが閉じた多角形の作成法である。通常それら図形はランダム多角形 (random polygons) と呼ばれている。この作図法は、 $n$ までの自然数の非同質な対 $(n_1, n_2)$ をランダムに $k$ 個選び出し、それらを単位長1の2次元座標上（これを大きさ $n$ の図面と称す）に表現された結節点として表す。結果として2次元平面上に $k$ 個の点のランダムな散らばりが得られる。次に、それらの点の中からほぼ全凸になるような点对を線分で結び外周を決定する。但し、僅かに凹な屈曲を持つ結節点は外周に含めることとする。もし、その外周の内部に点が存在する場合（即ち、未だ他結節点と結ばれていない未連結点）は、その点とランダムに選ばれた既連結線分の両端の2つの結節点とを2線分で結ぶ。この既連結線分の選定に際しては、既に存在している線分を横断しないという条件を課す。作成例として Figure 42 を参照のこと。

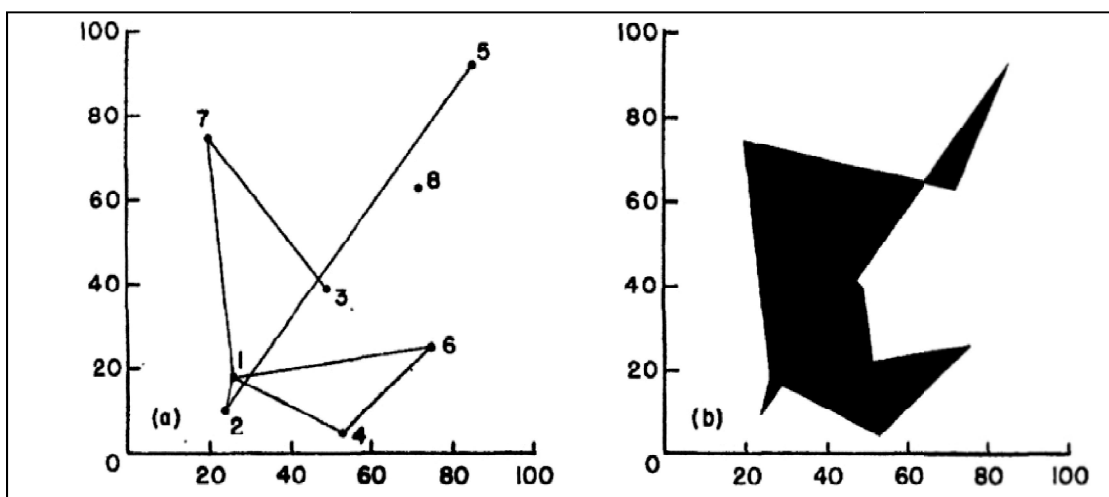


Figure 42. Attneave and Arnoult (1956) によるランダム多角形の作成法。

類似する図形作成法として、彼らは上記作成法によって得られた多角形の一部または全

部の線分を内接した円弧によって代替する多曲線図形も提唱した。

ランダム多角形を使った研究としては、Attneave (1957)による図形の持つ複雑性の決定が嚆矢といえよう。複雑図形の識別は単純な図形に比べて困難であることはよく知られているが、図形の複雑性に関する明確な定義がなかった。そこで彼は多数の実験参加者にランダム多角形の複雑性の評定を行わせ、それと図形の持つ物理的特性との関連付けを行った。

Attneave (1957)は、Attneave and Arnoult (1956)で提案された大きさ 8、16、32、64 の図面上に描かれたランダム多角図形、ランダム多曲線図形、多角形・多曲線混合図形を刺激とした。これら刺激は、非対称図形と対称図形に分類された。これら刺激は更に結節点（以後屈曲点と呼ぶ）数 4、6、8、12 の4種の図形に分類可能であった。即ち全刺激は、(a) 図面の大きさ、(b) 屈曲点の曲度、(c) 軸対称性、(d) 屈曲点数、の4条件によって作成されていた。

実験では、提示された図形に対し実験参加者は「極めて単純」から「極めて複雑」までの7件法で複雑性の評定を行った。結果として評定の分散の90%は、(a) 輪郭線上の独立した屈曲点の数、(b) 独立した屈曲点の数を一定にしたとき対称図形は非対称図形より複雑と評定されるが、全屈曲点数を一定にしたときはより単純と評定される、という図形の対称性、(c) 隣接する屈曲点での角度変化の算術平均、によって説明できるとされた。多角図形と多曲線図形に違いや、刺激の持つ情報量を表している図面の大きさは効果を持たなかった。こうした結果はランダム図形の複雑性への客観的特徴を与えたものとして有名である。

提唱されたのは1950年代であるが、ランダム多角形は現在に至るまで様々な図形認知の研究に採用されている。

ランダム多角形の持つ特性としては以下の点が挙げられよう。

1. 図形作成手続が輪郭線を決定することにあるため、ランダムヒストグラム同様にコントロール可能なパラメータは輪郭線に限定されていることが挙げられる。
2. 作図法上 ( $n \times n$ ) の変異形を持つが、ほぼ全凸な外周条件や既連結線分への非交差条件などがあるので完全には図形の全体集合は決定できない。
3. 図形の深層構造情報としては屈曲点数が、表層情報としては屈曲点の方向や曲率あるいは線分長が該当しよう。
4. しかし深層構造情報に対応すると考えられる図形の対称性に関する定義は恣意的であり、対称図形と非対称図形との間の差異も相対的である。

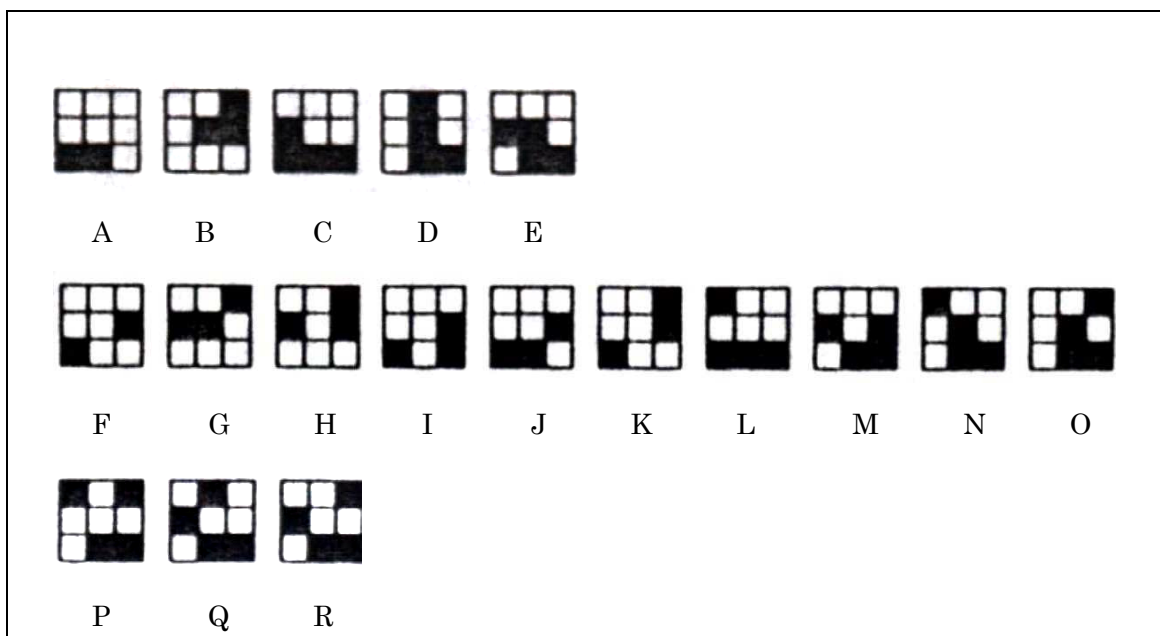
### 3. 3. 3. ランダム行列パターン

Bethell-Fox and Shepard (1988)は心的回転の速度が刺激図形の複雑性によって影響を受けない(Cooper, 1975; Cooper & Podgorny, 1976)という主張を検証するために、ランダム行列を使用した実験を考案した。

このパターンは3x3行列中の各細胞が空白であるか塗られているかによって成り立って



いる。それ以上に塗られた細胞を増やすと白黒を反転した際に既に得られたパターンと相補的になってしまうために、塗られた細胞数は常に2から4までに定められた。1つの塗られた細胞が3つ以上の塗られた細胞と隣接しないという条件の下、塗られた細胞が隣接している場合を連結した細胞とよび、最大の連結した細胞を成分(**pieces**)と称する。ここで、細胞の隣接とは2つの細胞が辺で接しあうことをいう。左右90°回転、水平、水平、斜交軸での反転によって変換パターンが原パターンと一致しないという前提において、1成分では塗られた細胞数2から4までの互いに異なる5パターン、2成分では塗られた細胞数2から4までの10パターン、3成分では塗られた細胞数4からなる3パターン、全18パターンが標準図形として得られた (**Figure 43**)。これら18パターンの標準図形は、成分数、凝集性 (**compactness**)、塗られた細胞数、によって複雑性が測られた。複雑性に関してはとりわけ成分数が重要な特徴とされた。



**Figure 43.** Bethell-Fox and Shepard (1988)が実験1において使用したランダム行列パターン。上段AからEまでは1成分パターン、中段FからOまでは2成分パターン、下段PからRまでは3成分パターンである。ここでは **piece** を成分と訳したが、類似した概念であるグラフ理論でいう成分 (**component**)とは定義が同じではない。本図は Bethell-Fox and Shepard (1988)の **Figure 1** の各パターンを90°反時計回転して表示した。

非対称行列パターンである各標準図形に対して左右90°および左右180°回転と、水平、垂直、斜交軸に関する鏡映反転を行うことにより8個の異なった比較図形を作成した。

実験手続としては事前回転課題が採用された。まず標準刺激を記録に十分な時間提示した後、標準刺激に替わって90°ないし180°の回転方向を示した矢印が提示された。実験

参加者はその方向まで標準刺激を心的回転し、回転終了の合図を行うと、替わって比較刺激が提示され、標準刺激と比較刺激の異同判断が求められた。

結果として、回転の潜時はパターンが複雑性を増す（例えば、成分の数が増す）と増大した。しかし練習によりほとんどの実験参加者では複雑性効果は消失した。つまり、実験参加者は刺激図形が親近性のないものであれば部分毎に回転を行い、結果として回転速度が減少するが、熟知したものであれば全体的な回転を行い回転速度に影響を与えないと考えられた。

ここでランダム行列パターンの特性は以下のようにまとめることができよう。

1. 作図は明示された手続きに従いランダムに作成されたといえる。
2. 刺激形態が要素成分（ここでは塗られた細胞）の集まりと見做されやすく、図形としての統一性を欠いている。勿論このような刺激形態の非統一性は多くの点パターン刺激にも該当する。
3. 複雑性の測度として成分数だけでなく、凝集性（**compactness**: 面積を外周で割り、その平方根で示す）や、塗られた細胞数によっても示した。これらの測度は我々が通常考える複雑性と関連することは直感的に了解できる。しかしそれら測度がわれわれが感じる図形の複雑性とどのように関係しているかは自明とはいえない。
4. 彼らが回転や鏡映反転に関して同一性を保存しないという基準に従い刺激を選択したこと、成分数を複雑性の測度としていること、からこの研究は刺激パターンの深部構造に関する情報と、心的変換において必要とされる成分の位置や軸の方向の変位といった表層的情報を区分し、それらに配慮している点は評価できる。

## 第4章 (6点、 $n$ 線) 図形に関するこれまでの研究の紹介

### 4. 1. (6点、 $n$ 線) 図形とは何か

#### 4. 1. 1. 図形認知研究に (6点、 $n$ 線) 図形を使用する意義

これより著者が30年来携わってきたランダム図形である(6点、 $n$ 線)図形についての紹介を行うとともに、どのような問題意識の下で同図形を使用した研究を企画・実行してきたかについての説明も行いたい。

しかしそれらの前に、図形の認知研究において(6点、 $n$ 線)図形を使う意義について考えてみたい。ここで本論文において頻出する(6点、 $n$ 線)図形の基本的な形状をFigure 44に示す。ここでは線数 $n=5$ の例をあげておく。

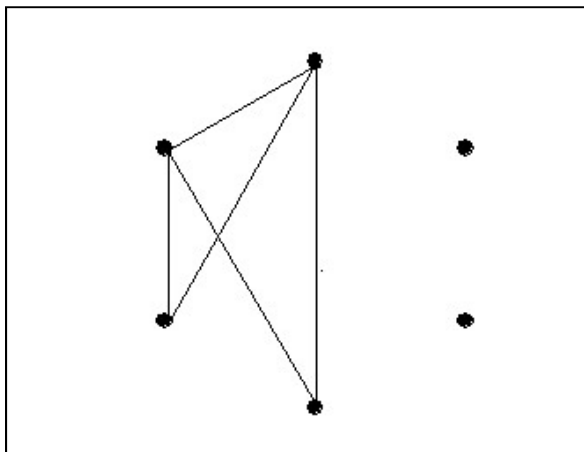


Figure 44. (6点、5線) 図形の例。

図形の認知研究においては、今まで述べてきたように研究者は理論やモデルを前もって所持しており、それらを検証するために都合のよい図形を *ad hoc* に実験に採用してきたといえよう。そのため採用された図形がどの程度図形一般を代表しているのか、換言すれば採用された標本図形の背後に存在する母図形集合がどのように定義されているか、についての考慮が一般的には少なかったといえよう。

勿論、Fits, Weisstein, Rappaport, Anderson, and Leonard (1956)は、視覚研究にあたっては刺激自身の持つ特性のみならず当該刺激の属する図形集合の出現確率も考慮せねばならないと述べているし、Attneave and Arnoult (1956)も提示刺激の母集団となる刺激集合が特定可能でなくてはならない、と主張している。これらの主張は、刺激図形に関してのみ実験結果の含意を論じるのは不十分で、刺激図形の属する母集合に関して論じなけれ

ば議論の一般性は得られない、ということの意味しており、図形の認知研究の一般的欠陥から一步脱している。

しかし前者の場合、刺激図形に関する母図形集合は特定できるものの、刺激図形を同値図形集合へ分類されることはなく、深層構造と表層構造の区分は極めて相対的であること、後者の場合も、同値集合への分類がなされることはなく、深層構造と表層構造との差異が恣意的、相対的であること、更には、母図形集合の定義が不確定であること、など幾つかの不十分な点を抱えている。

この点についての議論をより明示的に展開したのは **Garner (1974)** であり、全体集合から抽出された部分集合は全体集合に対して冗長であり、全体集合に対して部分集合の大きさが小さいほど部分集合の冗長性は高く、それ故、刺激の持つ特性は全体集合や部分集合の特性に由来する、とした。

さらに冗長性と図形のおよさを関連付け、冗長度が大きいほどよい図形であるとした。ここで図形の冗長性とは、2つの図形からある特性（彼の定義によると次元）を除去しても、2つが他の特性によって相変わらず分別可能なことを示している。

彼の主張は体系的かつ自己整合的ではあるが、本質的には恣意的かつ極めて人工的に作図された数種の図形に関する思考実験を基にしていることに注意しなければならない。それ故、特徴、次元、冗長性、反転や回転による部分集合への分類、といった彼の主張する図形の性質は、図形一般（全体図形集合）に自然的に備わっているものなのか、彼の思考実験において使用された特定の図形の性質を反映したものなのか、判然としないところがある。

とりわけ、特徴と次元を区別する **Garner** の説（本論文 2. 1. 8.）に関しては疑問なしとしない。即ち、基準系である物理次元が定義された後に、個別の事象をその次元上に位置づけようとするのが本来の思考法であるが、**Garner (1974)** では、まず個別事象を想定し、それらを整合的に位置づけられるような次元を導出しようとする、という逆の思考法を取っている。確かにこれは因子分析等において見られる思考法ではあるが、因子分析では次元（軸）は認知系を反映しているのに対して、**Garner** によれば次元は物理系を反映しているとする。導出された概念が物理系を反映しているというこの一見したところの錯綜は、**Garner** の説が恣意的に選択された少数の事例に対する思考実験に基づいて次元と特徴を関係づけたことを示しており、公理系として次元を設定するという論理的簡明性がその結果失われたと考えられよう。実際、**Garner** 以降において、特徴ではなく次元という概念を基にして図形の認知を研究した例は寡聞である。

さて、**Garner (1974)** は図形のおよさは同値集合の大きさに反比例すると考えた。その場合の同値集合の大きさは鏡映反射（水平・垂直軸による）と  $90^\circ$  回転によって作られる異なったパターン数で定義された。しかし水平・垂直軸に関する対称性と  $90^\circ$  回転をもって同値集合としたことの十分な理由づけを行っておらず、そのような同値集合は *ad hoc* な定義に基づくと考えられる。

同様に、Imai (1983)も認知的変換として鏡映、位相、反転を考え、2つの変換  $T_1$ 、 $T_2$  を考えたとき、 $T_1$ に対しても  $T_2$ に対しても図形が不変であるとき図形のおよさや図形間の類似性が高まるという議論を展開した。しかしここでも上記の3変換が認知的変換を代表するという理由は定かではない。

また、Chen (1982)は図形対の異同判断において、穴のある図形(輪)と穴のない図形の対の判断は、穴のない図形同士の場合の判断に比べて、正しく非同一と判断する確率が高かったと報告し、我々の視覚システムは初期段階においてトポロジカルな特性を検出しようとしていると主張している。しかし彼によって使用された穴のある図形(輪)や穴のない図形は輪の太さや図形中の面積等非トポロジカルな条件によっても分別可能と考えられる(Rubin and Kanwisher, 1985)。

こうした従来の研究の不十分性を補完ないし解決するために、本(6点、 $n$ 線)図形の採用は本質的意義を有していると考えられる。

#### 4. 1. 2. (6点、 $n$ 線)図形の持つ特性と利点

そこで、(6点、 $n$ 線)図形の詳細な紹介に先立ち、(6点、 $n$ 線)図形の持つ特性および(6点、 $n$ 線)図形を知覚実験に使用することの利点を、以下に挙げておきたい。

1. 本図形は線の選定をランダムに行うことによって作図されたランダム図形といえる。
2. それ故、本図形は無意味図形と考えることができる。
3. (6点、1線)図形から(6点、6線)図形に至るまで9948個の図形が存在し、これが本研究における母図形集合を形成する。

付言すると、(6点、 $n$ 線)に関して  $n=1$  の全図形数は15、 $n=2$  の全図形数は105、 $n=3$  は455、 $n=4$  は1365、 $n=5$  は3003、 $n=6$  は5005であることが分かっている。そのうち  $n=1$  ではすべての図形は互いに同型であるが、 $n=2$  の場合は図形数60の同型集合と図形数45の同型集合からなる。 $n=3$  の場合は集合の大きさ(図形数)が15から180までの5つの同型集合があり、 $n=4$  では集合の大きさが30から360までの9個の同型集合が、 $n=5$  では大きさ6から360までの15個の同型集合が、 $n=6$  では大きさ10から720までの21個の同型集合が存在する。

図形のおよさや類似性に関する研究において、Garner (1974)やImai (1983)の主張する操作的に定義された同値集合に基づいて論じるよりは、グラフ理論的に定義された同型性に基づく集合により論ずる方が理論的妥当性は高い。

このように数学的性質が分かった図形を使用した研究によって得られた理論は、恣意的に採用された図形を使用して得られた理論より妥当性が高いことは当然というべきであろう。

4. これら図形は各々76個の特徴によって記述されている。またこれら76個の特徴によってすべての図形は互いに分別可能である。
5. 76個の特徴には、同型性や深層構造を示す情報も、位置や方向など表層的信息も含ん

でいる。

6. それ故、図形の認知において深層構造を示す情報と表層的情報のいずれがより原始性を持っているかを検討することができる。
7. これら 76 個の特徴は幾何学的（物理的）基準系をなしている。一方、実験参加者の認知的反応はこの幾何学的基準系に基づいて評価可能である。そしてこの間には上述した Garner (1974)におけるような論理の錯綜はない。
8. これら特徴の 1 つ以上について特定値を指定することによって、指定条件を満たす図形を母図形集合から選び出すことができる。実験に使用しようとする使用図形数より、指定条件を満たした図形数が多かった場合は、指定条件を満たした図形から実験に使用する図形をランダムに選び出すことができる。このようなランダム選定が可能であることは、実験用に作成される部分図形集合が母図形集合から不偏であることを手続き的に担保しているといえよう。
9. それ故、所属図形に基づく母図形集合の定義と、特定の特徴値条件を満たす部分図形集合の定義は明確に可能である。
10. 実験の目的に従って刺激図形を作成するのではなく、目的にあった特徴値を持つ刺激図形を選択すればよいので、刺激図形作成における恣意性を排除できる。
11. 特徴値を組み合わせることによって極めて多様な実験目的に応じた刺激図形選択が可能である。
12. 指定された特徴値条件で選ばれた個々の図形は、実際は当該特徴値以外にも様々な特徴値によって特徴づけられている。しかし、当該特徴値条件を満たす部分図形集合の大きさが大きいときは、部分図形集合からランダムに多数回図形を選択して刺激提示することで、得られた結果中での当該特徴値以外の特徴値の効果は相対的に低下させることができる。
13. 特徴値を利用した作図ではないが、(6点、 $n$ 線)の作図法に基づき様々な方向の軸に関する軸対称図形を作成することができる。また同様に様々な対称軸に関する軸対称図形対を作成することができる。
14. (6点、 $n$ 線)図形における線数と(6点、 $n$ 線)図形の複雑性は同義ではないが、線数はその図形の複雑性と強い関連性を持っているとはいえよう。そのため、刺激提示にあたり特定の線数を指定することによって図形の持つ複雑性効果をかなり統制できる。

#### 4. 1. 3. (6点、 $n$ 線) 図形とグラフ理論

著者が(6点、 $n$ 線)図形を図形認知の研究に使用を思い立ったのはグラフ理論に関する著書(Harary, 1969)に出会ったことに始まる。グラフという語の定義は困難とされる(Harary, 1969)。あえて単純に言えば、1つ以上の点と、それらの点と点を結ぶ線によって作られる図形を指している。そして、グラフ理論とはこのようなグラフに関する幾何学的

性質を論ずる数学の一部門といえる。

ここで、(6点、 $n$ 線) 図形とは6個の点とそれらの点を結ぶ $n$ 個の線分によって作られる図形をいう。グラフ理論上6個の点の位置は任意なので $n$ 個の線分の長さや方向は点対の位置に依存する。言い換えれば、(6点、 $n$ 線) 図形のグラフ理論上の特性は当該図形に対しての連続的変形(例えば、特定方向からの圧縮や特定方向への引っ張り)に対して不変的であるといえる。

あるグラフで線分によって結ばれているすべての点対が、他のグラフで線分によって結ばれているすべての点対と完全に対応しているとき、2つのグラフは同型という。あるグラフの特性を示す数値がそのグラフと同型なすべてのグラフにおいて同じ値を持つとき、その数値を不変数という(これら概念のより正確な定義はHarary, 1969を参照されたい)。

#### 4. 1. 4. 種々のグラフ不変数の説明

グラフにおける不変数としては、点数、線数、サイクル数、内周、外周、点被覆数、線被覆数、臨界点数、成分数、半径、中心点数、切断点数、最大次数、孤立点数、端点数、などが考えられる。

点数と線数についての意味は明らかであるが、その他の不変数の性質について以下に説明をしたい。ここでの説明はHarary(1969)に基づくが、直感的に理解しやすいように努めた。そのためより正確な定義は同書を参照されたい。

サイクル数： サイクルとは点から始まり点に終わる、点と線の交互の系列が閉じていて(即ち、始発点と終点が同一の点であって)、3個以上必要な系列中の点のうちすべてが相異なるとき、サイクルと呼ぶ。

内周： 所与のグラフに含まれる最短なサイクルがもし存在すればそれを内周という。

外周： 所与のグラフに含まれる最長なサイクルがもし存在すればそれを外周という。

点被覆数： 点と線が接合しているとき点と線は互いに被覆するという。ある点の集合がグラフ中の全線を被覆しているとき、その点集合を点被覆と呼ぶ。グラフ中の点被覆の持つ点の最小の個数を点被覆数という(Figure 45)。このグラフ $G$ においては、中央の点は6本の線を被覆し、残った上下2つの三角形はそれぞれ2個の点で被覆しているので点被覆数は5である。

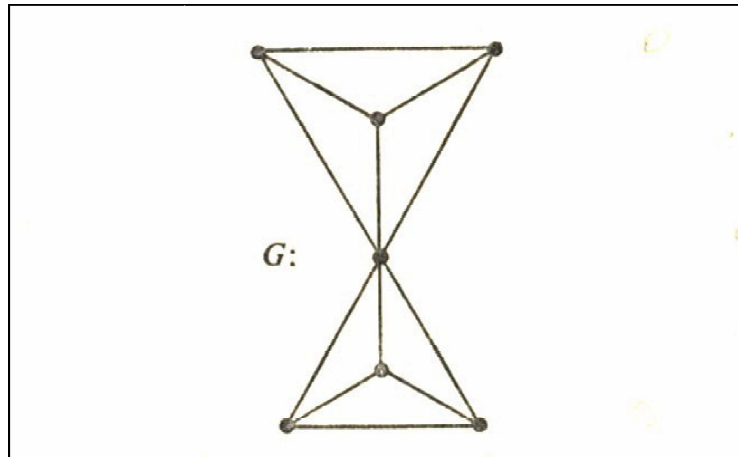


Figure 45. グラフ  $G$  は点被覆数 5 を持つ。説明は本文参照のこと。Harary(1969)より引用した。

線被覆数： ある線の集合がグラフ中の全点を被覆するとき、その線集合を線被覆という。グラフ中の線被覆の持つ線の最小の個数を線被覆数という。

臨界点： グラフ中のある点をグラフから除去すると点被覆数が減少するような点を臨界点という。グラフ中で臨界点となる点の総数は不変数である。

前記の Figure 45 においては、どの点を除去しても点被覆数は 4 となるので全点が臨界点となる。

成分数： その中に含まれるどの 2 点も異なった線を辿って結ばれているグラフを連結グラフという。任意のグラフにおいてその極大な連結部分グラフを成分と呼ぶ。グラフの持つ成分数は不変数である (Figure 46)。この図には 10 個の成分が含まれる。

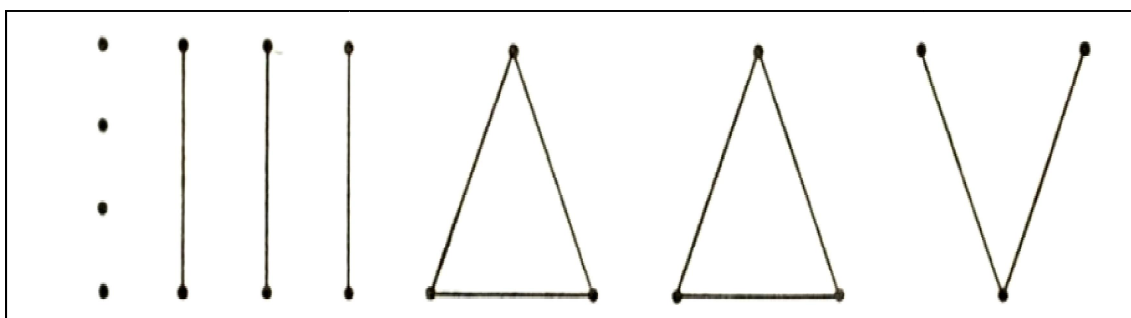


Figure 46. 10 個の成分を持つグラフ。Harary(1969)より引用した。

半径： 連結グラフ中のある点の離心数とは、グラフ中でその点から到達できる最大の距離 (経過する相異なった線分の数によって数えられる) によって定義される。



グラフ中における最小の離心数を半径と呼ぶ。

中心点数： グラフ中で半径を持つ点を中心点と呼ぶ。グラフ中の中心点の総数は不変数である (Figure 47)。このグラフにおいて各点に付された数はその点の離心数、その半径は点  $u, v$  のそれぞれ持つ4、そして中心点は  $u, v$  である。

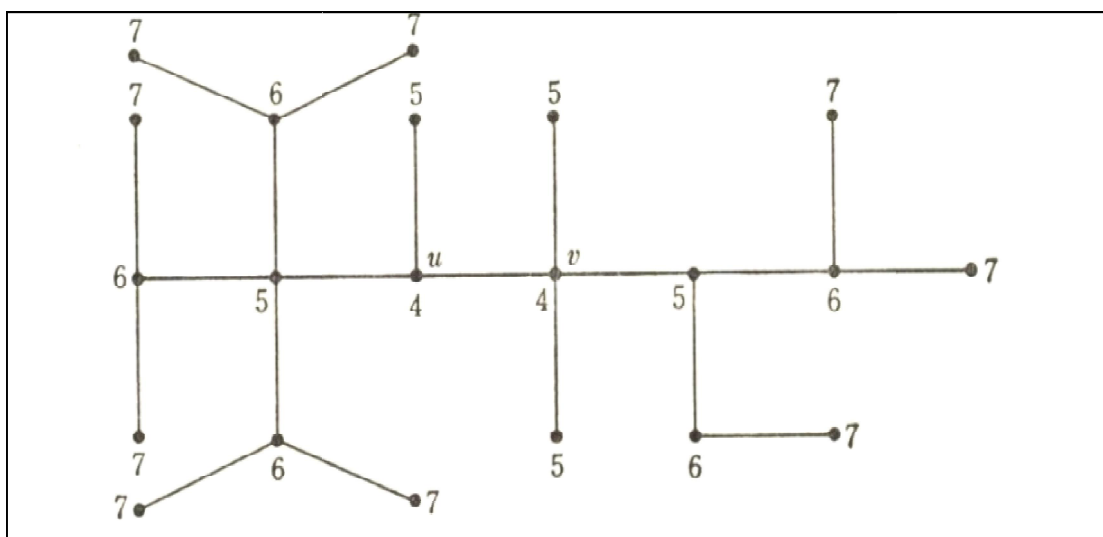


Figure 47. グラフの各点の持つ離心数がそこに付された数字によって示されている。説明は本文参照のこと。Harary(1969)より引用した。

切断点数： 切断点とはグラフ中のその点を除去すればグラフの連結成分数が増えるような点をいう。グラフ中にある切断点の総数は不変数である (Figure 48)。

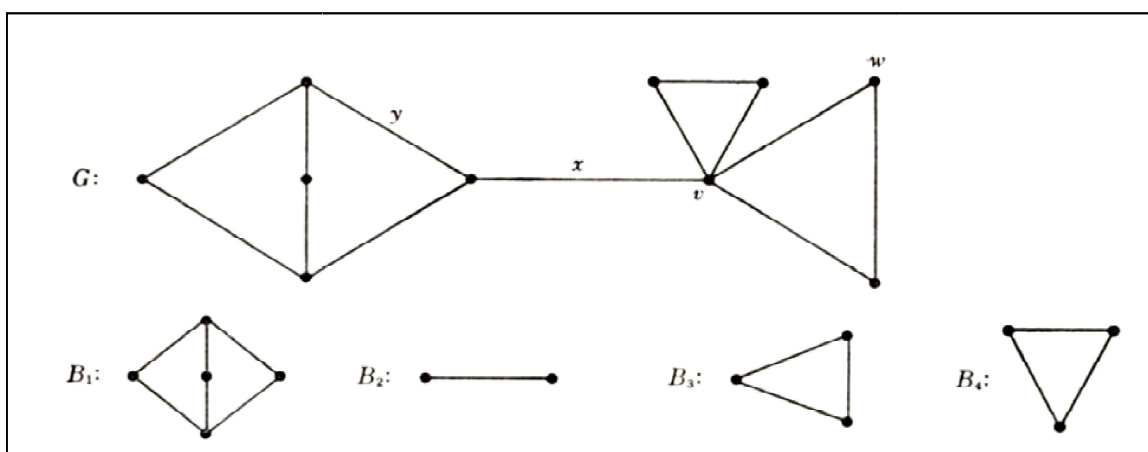


Figure 48. 上段に示されたグラフ  $G$  は、下段に示された内部に切断点を持たない極大部分グラフ  $B_1, B_2, B_3, B_4$  に分離可能である。ここで  $v$  は切断点であるが、 $w$  はそうではない。Harary(1969)より引用した。

最大次数： グラフのある点の次数とは、その点と接している線の個数をいう。グラフ中の最大の次数は不変数である。

最小次数： 同様にグラフ中の最小の次数は不変数である。

孤立点数： 最小次数として次数が0の点を孤立点という。グラフ中の孤立点の数は不変数である。

端点数： 次数が1の点を端点という。グラフ中の端点の数は不変数である。

これら不変数としての特性は様々なグラフから互いに同型なグラフ集合と非同型なグラフ集合を区別することを可能にする。それ故、グラフとしての要件を満たしている図形に関しては、不変数は個々の図形の表面的特性の違いの背後にある当該図形集合に共通した深層構造を反映しているといえよう。他方、不変数によっては個々の図形間の差異のすべてを説明をすることは出来ない。即ち、同型な図形間では対応する不変数は互いに同じ値となるので、同型な図形間の区別は表面的な特性の違いに基づかざるを得ない。ここでの表面的特性とは、不変数とはいえないが当該図形の持つ構造的な特性やある不変数をなしているグラフ中の点集合の平面幾何学的重心の位置やその主軸の方向性などを言う。ここであえて平面幾何学的という語を使用したのは、グラフ理論上の不変数や同型性といった語が位相幾何学的概念に属することと混同を避けるためである。

#### 4. 2. (6点、 $n$ 線)図形を使用した問題解決課題の研究法

著者の図形認識研究の基本的パラダイムは神戸(1983a)に由来する。ここで神戸は、最初に与えられた図形(始発図形)から目標として提示された図形(目標図形)へと実験参加者図形が図形を徐々に変形させていく問題解決課題を考案した(Figure 49)。

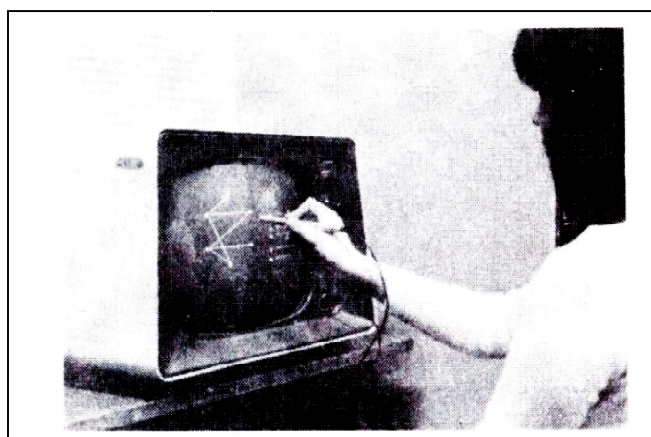


Figure 49. 1983年当時の問題解決課題実施中の様子。

#### 4. 2. 1. 問題解決課題の持つ実験上の特性

ここで図形の変形とは、実験参加者は眼前の図形に対して許された操作のうちの 1 つを適用することによって別の図形へと形態や方向を変更させることをいう。始発図形と目標図形のそれぞれはランダム線図形である（6点、 $n$ 線）図形を使用した。問題解決課題は実験参加者に対して自由度の高い反応を許すので、限られた反応を要求する課題に比べて人間の図形に対する認知特性を知るための第 1 近似としては優れていると考えられよう。

なお、図形の認知研究において、問題解決課題によるものや（6点、 $n$ 線）図形を使用したものは、知る限り今日に至るまで著者以外が発表したことはない。

グラフ理論上は（6点、 $n$ 線）における 6 点の位置は任意であり、それ故、点間を結んで作られる図形も特定の形態を持たないが、本実験では 6 点の位置を仮想的な正 6 角形の頂点に定めるという拘束条件を与えた。この条件の下で作成された各線分は 2 つの頂点によって定義されるが、図形内で複数線分が交差する場合、線分を頂点と交差点とを結んで作られたと見える場合もある。しかし、こうした交差点は線の両端が正 6 角形の頂点に置かれるという条件によって偶然出現したものであって、グラフ理論上の不変数ではない。そこで所与の線図形において正 6 角形の頂点を原始点、線の交差によって生じる点を交点と呼び今後区別することとする。

様々な（6点、 $n$ 線）図形は、原始点の数（=6）、線分の数、交点の数、の他にも多くの特徴値によって記述することが可能である。もし作成可能なすべての図形をこれら特徴値集合によって分別可能であれば、参加者の認知的活動は必ず特徴値の特定の分布パターンに反映しているはずである。なお、当初は以下に示す特徴集合によって（6点、6線）はすべて分別可能であると想定されたが、実際には不十分であることが判明した。そこで実験上得られた特徴値の分布から大きく認知活動を把握しようという戦略上、特徴集合は後に拡大された。

#### 4. 2. 2. 問題解決課題における基本仮定

さて初期（便宜的に 1983 年より 1987 年の間とする）の問題解決課題において実験手続きにおいて許された操作とは、

1. 問題解決中に確認のために目標図形を短時間参照することが許される「目標図形参照」
2. 現在の図形を  $60^\circ$  反時計回りに回転させる「回転」
3. 現在の図形中に存在する特定の線分を除去する「線の除去」
4. 特定の点对間を結んでいる線分を別の点对間へと移動させる「線の入替え」
5. ある点に接合するすべての線分をある他の点へと接合を移し変える「点の入替え」
6. 最初から問題解決をやり直す「再出発」

の 6 種であった。その中で図形の変形に実質的に効果を持つのは 2、3、4、5 である。

それらの操作が図形の深層構造に与える効果についていえば、2 の「回転」では現図形と

操作後の図形では方向性という表層情報は異なるが、与えられた 6 点の位置は不変なので形態の同一性を保存している。

4 の「点の入替え」操作では 2 図形間で形態的同一性は保存しない。それ故表層情報も異なるが、点对間の結合性は保存されるので同型性を保っている。

3 の「線の除去」では、不変数である線数が異なってしまうので深層構造を破壊してしまい、当然同型性も保存しない。

5 の「線の入替え」操作はどのような入れ替えを行うかによって点对間の結合関係を保存したり、しなかったりするので 2 図形間の性質について予測することはできない。

さて、題解決課題において実験参加者は始発図形から操作を重ねて図形を次々と更新して目標図形へと到達することが求められる。そしてその途中で更新された各図形に対しては、グラフ不変数、当該図形上でそれぞれの不変数が成立している位置、ある不変数が複数位置で存在するならばそれらの位置に基づいて計算される不変数の方向性、その他の非グラフ的な特徴、によって記述することが可能である。

言い方を変えれば、全刺激図形がこうした特徴値の集合によって互いに分別可能となれば、実験参加者の内的な認知的処理は必ずこれら特徴値集合中に反映されていることになる。一方、参加者は図形の更新にあたって何がしか意図的に特定の操作を選択したと考えられることから、認知処理過程は特徴値集合上の標本確率分布においてある種の規則性（非ランダム性）として発現するはずである。即ち、特徴値集合上で得られた標本確率分布が同集合上のランダムな確率分布から有意に異なっていればそれは認知的活動の痕跡を示していると考えられよう。

そのような仮定に基づいて分析段階において以下のような処理が実行された。

1. 偶然に指定されたある図形から許される操作をランダムに選択し、その結果変更された図形に対して更にランダムに操作を選択するという手続を多数回繰り返した（シミュレーション手続）。
2. シミュレーションの結果得られた全標本図形について、各特徴の周辺分布を計算した。そしてこれら周辺分布をランダム性の基準とした。
3. 次に実験参加者が実際に選択した操作の結果作成された図形に関して、各特徴の周辺分布を計算した。
4. ある特徴に関する両周辺分布を比較した結果実際の周辺分布がシミュレーションに基づいて得られた周辺分布と有意に異なっていたとすれば、その特徴は参加者の認知的処理の対象となっていたと推定された。

#### 4. 2. 3. 神戸（1983a）の問題解決課題による原始的特徴の抽出パラダイム

神戸（1983a）において提唱された実験・分析パラダイムをより詳細に紹介したい。パラダイムは、問題作成プログラム、実験実施、特徴表示形式へのデータ変換、シミュレーションを含む結果の分析、の 4 段階に分類可能である。

**4. 2. 3. 1. 問題作成プログラム** 実験参加者に提示される始発図形と目標図形の対を問題と称する。各図形はコンピュータプログラム上で以下の手順で指定された。

1. (6点、 $n$ 線) 図形における不可視な正6角形の頂点に位置する6個すべての原始点に対して、右斜め上の点から反時計方向に順番に1から6まで符号を与えられた。
2. 始発図形と目標図形の線数 $n$ がそれぞれ実験者によって指定された。
3. 始発図形と目標図形のそれぞれに対して、各図形に指定された線数 $n$ に至るまで、相異なった1から6の符号で表示された $n$ 個の点对が順次ランダムに選ばれた。その際、先に選ばれた点对と同じ点对が再度選ばれることのないようにプログラムされていた。このように図形を点对によって指定する方式を線定義方式と呼ぶ。

**4. 2. 3. 2. 実験手続** 実験における各問題の実施は、問題作成プログラムにおいて作成された目標図形と始発図形の対をCRT画面上に継時的に提示することから開始され、参加者は始発図形から操作を選択しながら図形を更新して目標図形に到達することが求められた。

各問題解決過程は画面内容の変化によって進行する。ライトペンによる操作の指定に反応可能なCRT画面を活性化画面、単に図形やメッセージを表示するだけの画面を非活性化画面と呼ぶ。許される操作は先に述べた「目標図形参照」、「回転」、「線の除去」、「線の入替え」、「点の入替え」、「再出発」であるが、それらの操作はライトペンを決められた順序で指定部位に当てることにより実行された。

活性化画面は図形領域、メニュー領域、メッセージ領域に分割されていた。

図形領域における提示図形は1辺4.66cmの不可視な原始点の位置から外方に0.36cm変位した位置に中心を持つ6個の正方形によって点が表され、相異なった原始点を開始および終了部位とする線分によって線が表示された。

メニュー領域では選択可能な一連の操作が提示されており、提示された各操作の頭部に示されたマークをライトペンでタッチすることにより操作の選択が決定された。

一方、メッセージ領域では実験参加者が「線の入替え」や「点の入替え」操作を選択しようとする際は、図形領域における詳細な指定がどの程度まで進行したかが図示された。また、ライトペンタッチの位置が不正確であったり、詳細指定の順序が誤っていたりした場合にも、メッセージによってそれを実験参加者に警告した。

各試行にあたり、まず目標図形を含めた画面が2.4s提示され、その直後にマスク画面が0.3s提示された。なお、このマスク画面は他にも「目標図形参照」操作を行った場合や、「再出発」を選択した場合など、目標図形が提示された後は必ず随伴された。これら目標図形画面やマスク画面は非活性化画面である。次に試行開始のメッセージが提示された後、始発図形が提示された。始発図形は活性化画面である。操作のうち、「目標図形参照」、「回転」、「再出発」はメニュー領域の当該マークをライトペンでタッチすることで直ちに操作上で定義された図形へと画面が変更された。

「目標図形参照」を選択した場合、目標画面が 1.2 s 提示された。その後マスク画面が提示され、その後現行の活性化画面が再定時された。

「回転」を選択すると、現図形から 60° 反時計方向に回転した図形が描かれた活性化画面へと更新された。

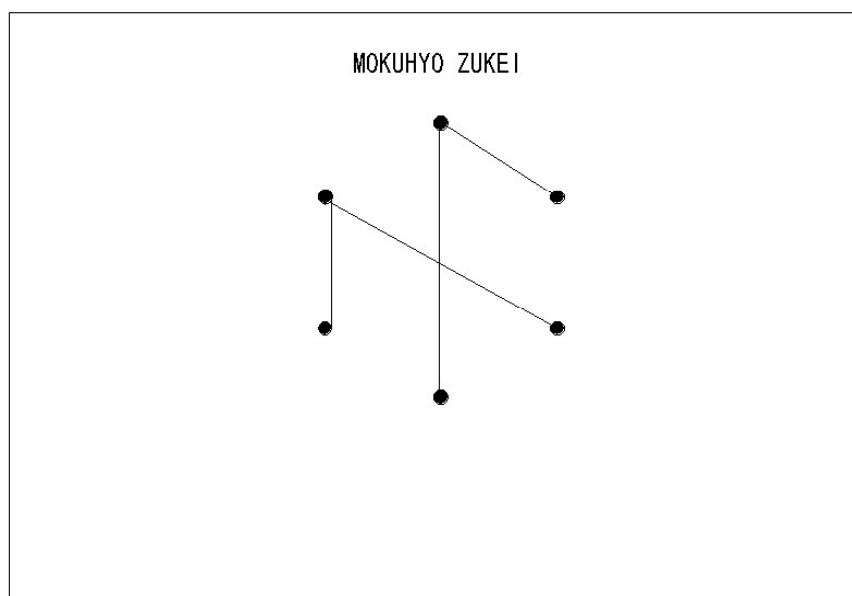
「再出発」を選択すると、当初の目標画面が 2.4 s、マスク画面が 0.3 s 提示された後に当初の始発画面が再度活性化されて提示された。

「線の除去」操作は目標図形より始発図形の線数が多いときのみ有効であり、その手順はまず現行活性化画面中のメニュー領域の「線の除去」マークをタッチし、次に図形領域の除去したい線分を定義している線分の端点にある 2 点をタッチすることにより完了した。

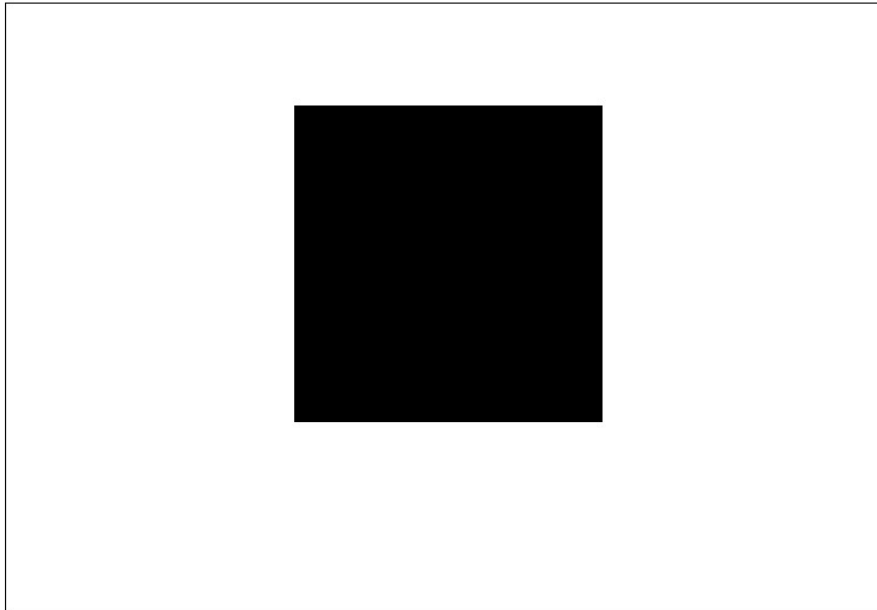
「線の入替え」はメニュー領域の当該マークをタッチした後、図形領域の入れ替えたい線の両端の原始点をタッチし、次にその線の入替え先となる 2 つの原始点を順次タッチすることで操作が完了した。

「点の入替え」は接合関係を交換したい 2 点を順次タッチすることによって操作が完了する。

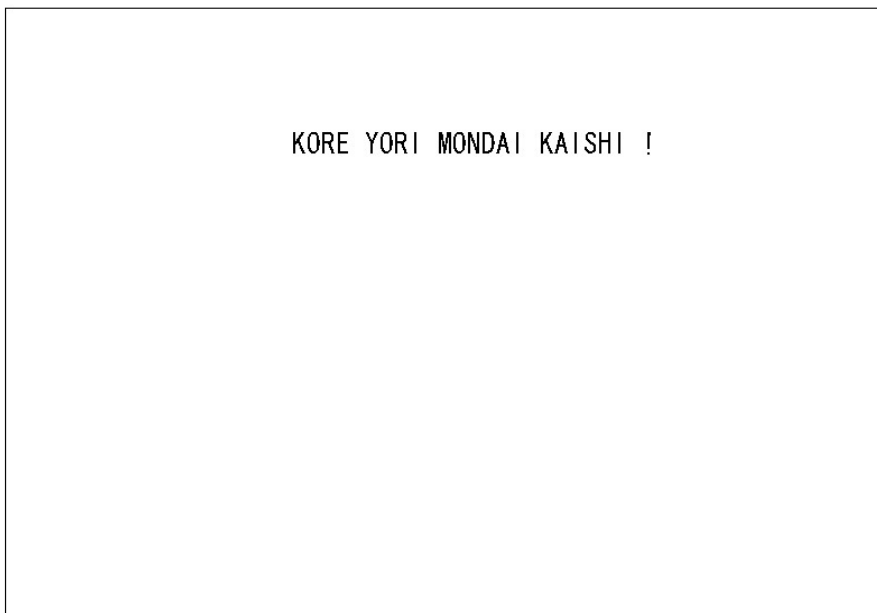
各操作がどのように現図形に影響を与えるかは以下の Figure 50 に示されている。



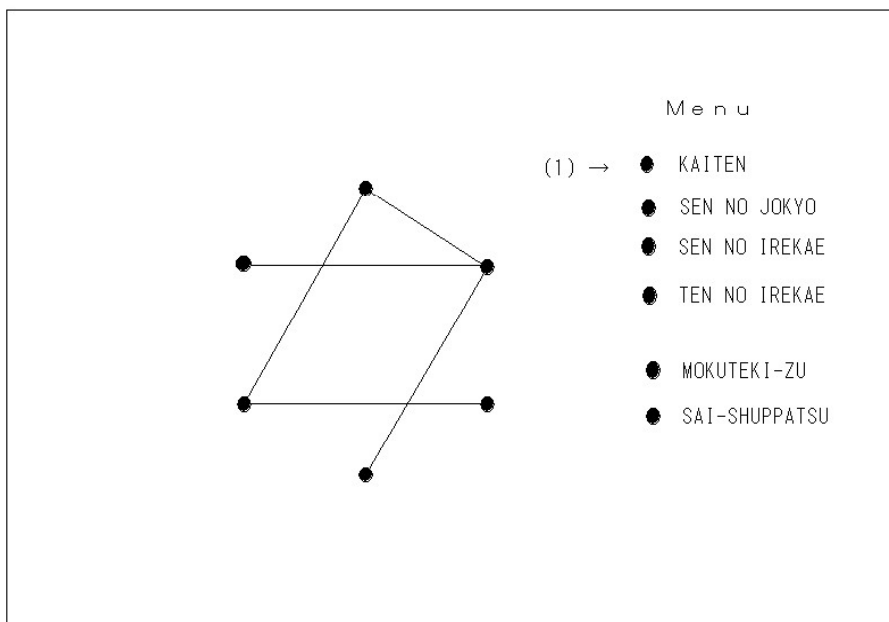
(1) 非活性化画面。試行開始にあたり目標図形が 2.4 s 提示される。



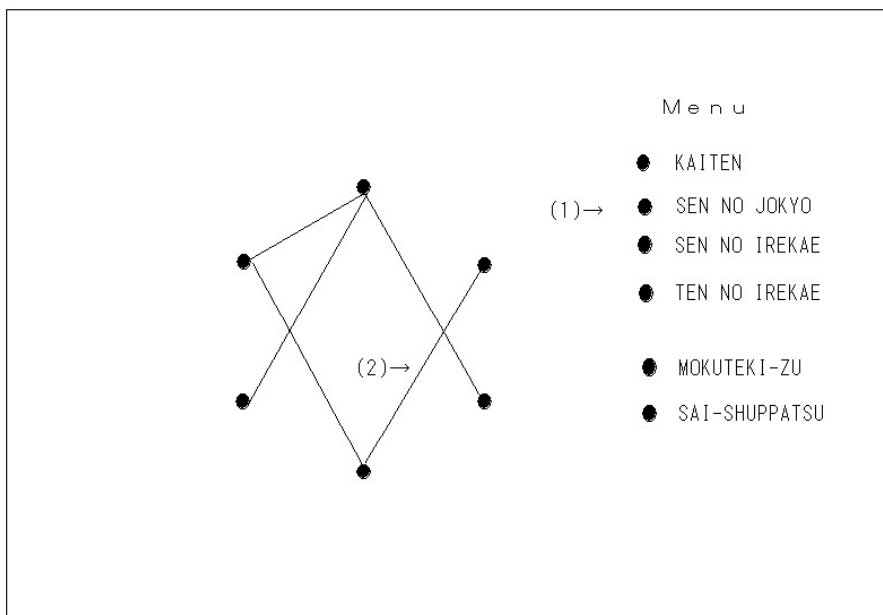
(2) 非活性化画面。目標図形をマスクするマスク画面 (0.3 s)。



(4) 非活性化画面。始発図形の提示に先立ち問題開始のメッセージが表示される。

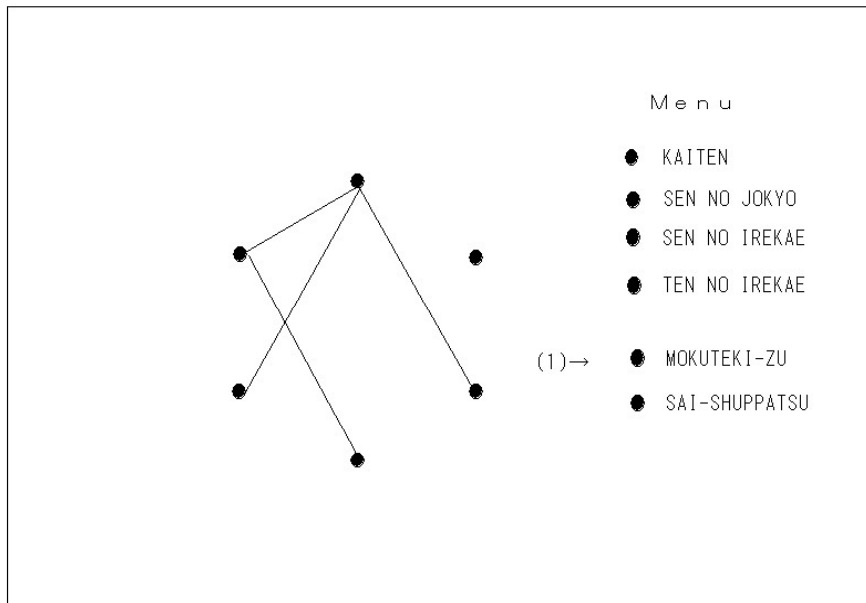


(5) 活性化画面。ここでは「回転」が選択されている。回転操作はメニュー領域の当該マークをタッチするだけで完了する。

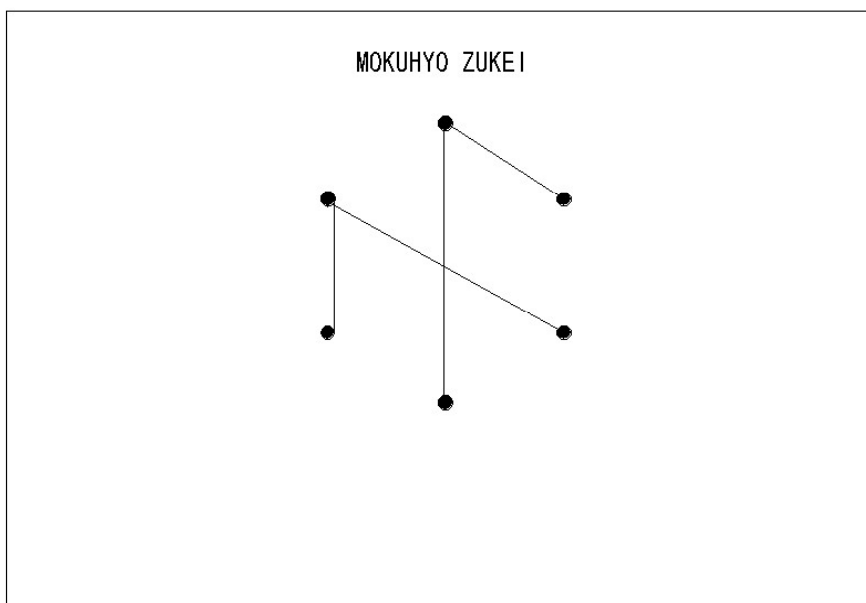


(5) 活性化画面。ここでは「線の除去」が選択されている。線の除去操作はメニュー領域の当該マークをタッチし、図形領域中の除去しようとする線をタッチすることで完了する。

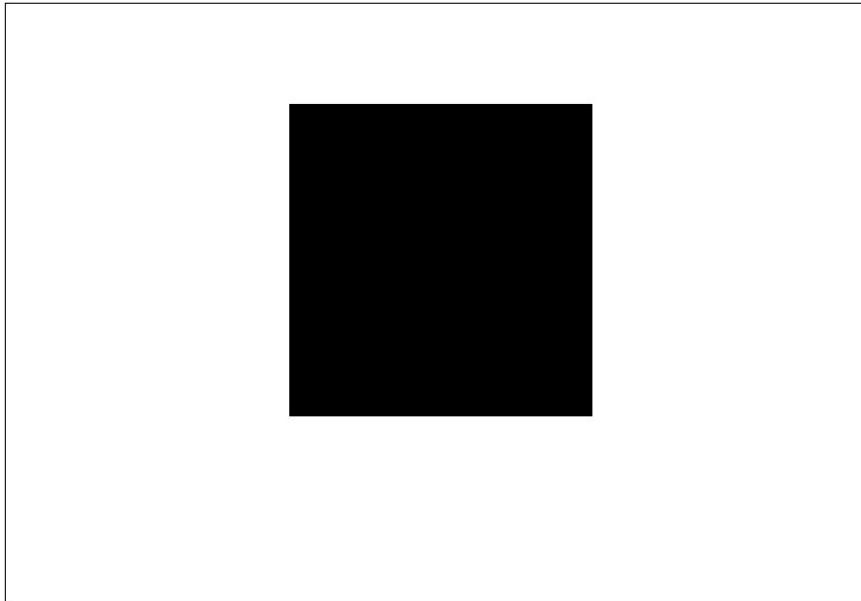




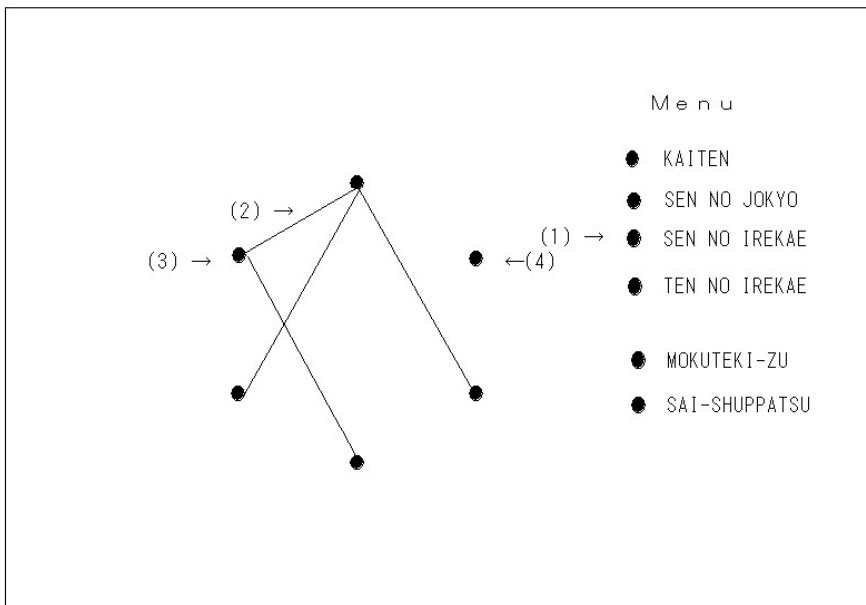
(6) 活性化画面。ここでは「目標図形参照」が選択されている。目標図形参照操作はメニュー領域の当該マークをタッチすることで完了する。



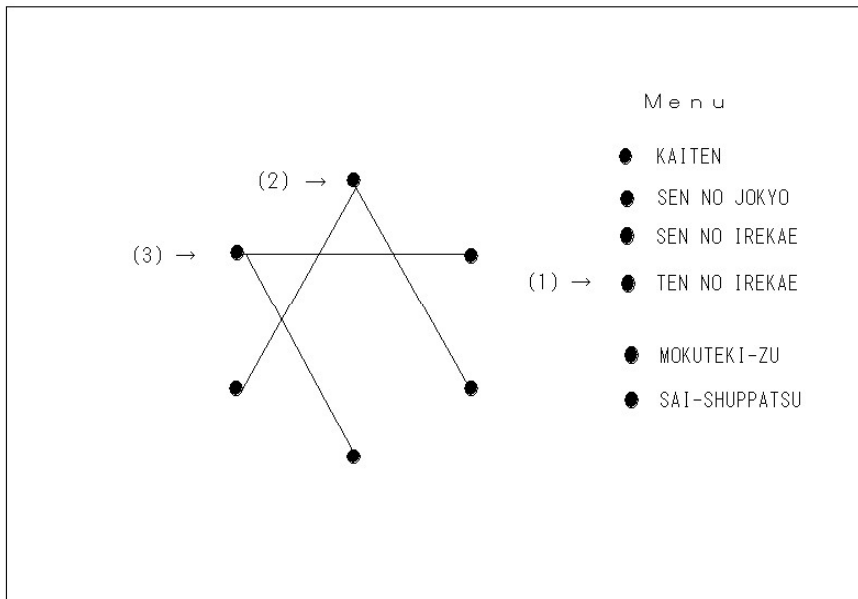
(7) 非活性化画面。目標参照操作の結果、目標図形が 1.2 s 提示される。



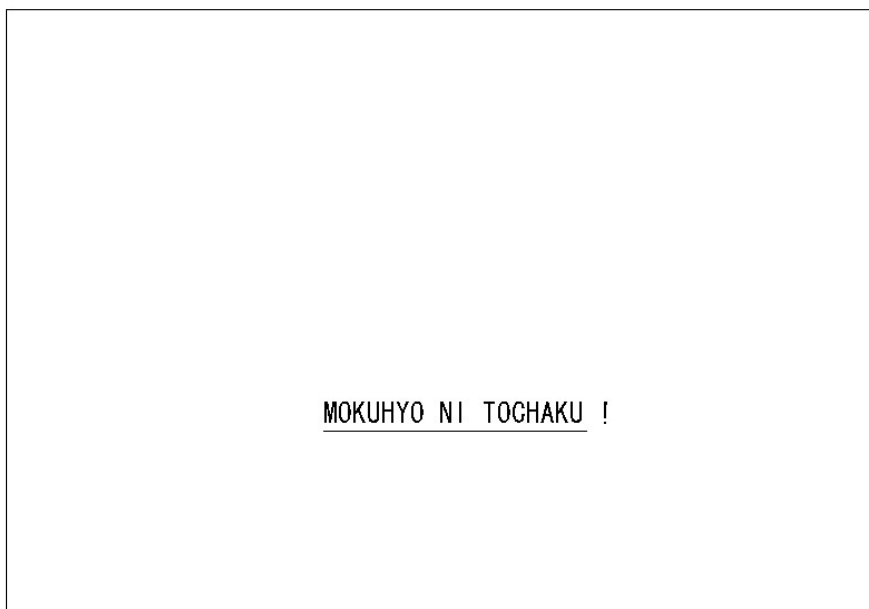
(8) 非活性化画面。マスク画面が 0.3 s 提示される。



(9) 目標参照操作が生じる以前の活性化画面への復帰。この画面では「線の入れ替え」操作が選択されている。線の入れ替え操作はメニュー領域の当該マークをタッチし、そのあと図形領域中の入れ替えようとする線をタッチし、次にその線の入れ替え先である 2 点を順次タッチすることで操作が完了する。



(10) 活性化画面。この画面では「点の入れ替え」操作が選択されている。点の入れ替え操作はメニュー領域の当該マークをタッチし、そのあと図形領域中の隣接性を保存したまま入れ替えようとする2点を順次にタッチすることで操作が完了する。



(11) 非活性化画面。目標に到着し、当該問題が解決したことを知らせるメッセージ。

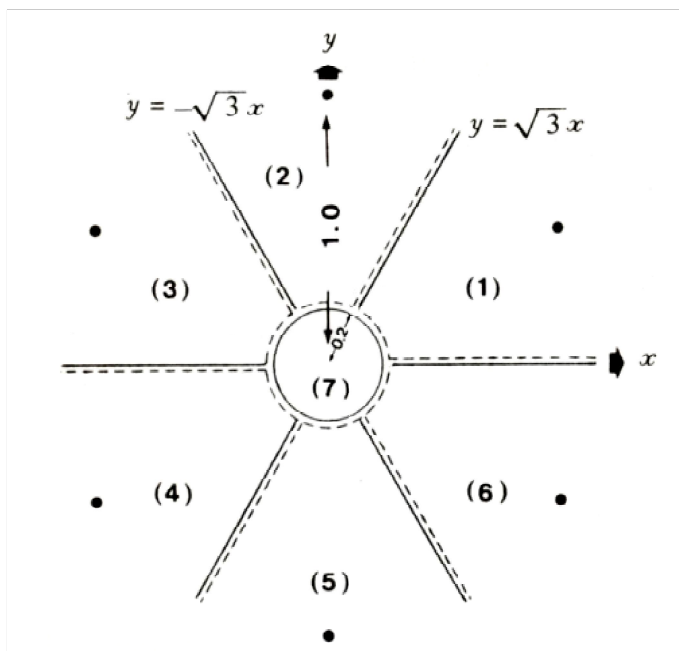
**Figure 50.** 画面枠下部の括弧内の数字は仮想的問題解決過程の進行を示している。枠内の矢印に付された番号は各操作における詳細指定の順を示す。

**4. 2. 3. 3. 反応記録と図形の特徴値への変換** 実験参加者が活性化画面に対して行った操作や消費時間といった反応や、線定義方式で表示された始発図形や更新された図形はデータとして保存される。その後、線定義によって保存された各図形は不変数や位置や方向を示す特徴値へと変換される。

ここで各更新された画面に対して変換し保存される反応測度や特徴値を以下に挙げる。

1. 試行番号： 始発画面から目標画面にいたるまでの各活性化画面を順番に番号付けを行う。
2. 操作タイプ： 参加者が選択した操作をいう。「回転」は(1)、「線の除去」は(2)、「線の入替え」は(3)、「点の入替え」は(4)、「再出発」は(5)、「目標図形参照」は(6)の符号付けが行われた。
3. 消費時間： 活性化画面が提示されて以降、操作が完了するまでの時間をいう。
4. 線数： 活性化画面中の図形に含まれる線分の数をいう。
5. サイクル数： 活性化画面中の図形に含まれるすべてのサイクルの数を示す。
6. 外周： 外周の定義については**4. 1. 3. 種々のグラフ不変数の説明**に記述されている。
7. 点被覆数： 点被覆数の定義については**4. 1. 3.**に記述されている。
8. 臨界点の数： 臨界点の定義については**4. 1. 3.**に記述されている。
9. 臨界点の位置： 臨界点の数が1の場合は当該臨界点の位置が、臨界点数が複数の場合は全臨界点の平面幾何学的重心が、**Figure 51**で指示されたどの領域に含まれるかを領域番号によって表示された。まず中心から原始点までの距離を $r$ とするとき、中心から半径 $r/5$ の円の内部領域を(7)と符号づけた。領域(7)の外側の領域は右方水平方向を開始境界線として $60^\circ$ ごとに6個の領域を設け、それらに(1)から(6)までの符号付けを行った。
10. 半径： 半径の定義については**4. 1. 3.**に記述されている。
11. 中心点の数： 中心点の定義については**4. 1. 3.**に記述されている。
12. 中心点の位置： 中心点の位置の定義は中心点の数が1の場合は当該中心点の位置が、中心点数が複数の場合は全中心点の平面幾何学的重心が、**Figure 51**で指示されたどの領域に含まれるかを領域番号によって表示された。
13. 成分の数： 成分の定義については**4. 1. 3.**に記述されている。ここでは孤立点も1つの成分とみなす。
14. 切断点の数： 切断点の定義については**4. 1. 3.**に記述されている。
15. 切断点の位置： 切断点の数が1の場合は当該切断点の位置が、切断点数が複数の場合は全切断点の平面幾何学的重心が、**Figure 51**で指示されたどの領域に含まれるかを領域番号によって表示された。
16. 最大次数： 次数の定義については**4. 1. 3.**に記述されている。原始点中で次数が

最も大きい値はグラフ不変数である。



**Figure 51.** 点の位置は上図のいずれかの領域番号（かっこ内の数字で表わされている）で表示された。ここで実線は領域に含まれ、破線は含まれないことを示している。もし点数が0の場合は番号99が与えられた。

17. 最大次数を持つ原始点の数： 最大の次数を持つ原始点の数は不変数である。
18. 最大次数を持つ原始点の位置： 最大次数点の数が1の場合は当該最大次数点の位置が、最大次数点数が複数の場合は全最大次数点の平面幾何学的重心が、**Figure 51**で指示されたどの領域に含まれるかを領域番号によって表示された。
19. 孤立点の数： 孤立点の定義については**4. 1. 3.**に記述されている。
20. 孤立点の位置： 孤立点の数が1の場合は当該孤立点の位置が、孤立点数が複数の場合は全孤立点の平面幾何学的重心が、**Figure 51**で指示されたどの領域に含まれるかを領域番号によって表示された。
21. 端点の数： 端点の定義については**4. 1. 3.**に記述されている。
22. 端点の位置： 端点の数が1の場合は当該端点の位置が、端点数が複数の場合は全端点の平面幾何学的重心が、**Figure 51**で指示されたどの領域に含まれるかを領域番号によって表示された。
23. 線分の平面幾何学的重心： 線分すべてに関する幾何学的中心を求め、その中心が

Figure 51 で指示されたどの領域に含まれるかを領域番号によって表示された。

24. 線分の平面幾何学的交点の数： 各線分は原始点对によって定義されているという条件の下で、複数線分の交差によって作られる交点の数が計算された。
25. 線分の平面幾何学的交点の位置： 交点の数が 1 の場合は当該交点の位置が、交点数が複数の場合は全交点の平面幾何学的重心が、Figure 51 で指示されたどの領域に含まれるかを領域番号によって表示された。
26. 複数成分間の方向性： 成分ごとにそれを構成する線分の平面幾何学的重心が求められ、それらの点による回帰係数が Table 1 に従って  $45^\circ$  を単位とした方向表示がなされた。なお、Table 1.における回帰係数 0.421 は、右水平方向からの角度  $22.5^\circ$  (あるいは  $202.5^\circ$ )、2.375 は  $67.5^\circ$  (あるいは  $247.5^\circ$ )、 $-2.375$  は  $112.5^\circ$  (あるいは  $292.5^\circ$ )、 $-0.421$  は  $157.5^\circ$  (あるいは  $337.5^\circ$ ) を表している。

Table 1. 方向に関する表示

傾き	$b <  0.421 $	$0.421 \leq b \leq 2.375$	$2.375 < b \text{ or } b < -2.375$	$-2.375 \leq b \leq -0.421$
表示番号	0	1	2	3

(注) ここで  $b$  は線形回帰係数を表している。もし 2 つの成分の重心が同一点となった場合は表示 4 が与えられる。もし成分数が 1 の場合は表示番号 99 が与えられる。

**4. 2. 3. 4. 各特徴の周辺確率分布の推定** 実験参加者が始発図形から操作をランダムに選択した場合を想定し、そのようなランダム操作の結果得られる各特徴値の周辺分布を、当該特徴値のランダム性の基準としようとするのが仮定された。

このような仮定の下、2種類のランダムシミュレーションが計画された。

第1は、始発図形と目標図形が共に線数6の場合であった。このとき操作の選択や、どの点やどの線を変形させるかについての明細指定は一律ランダムになされた。そして各図形から別の図形への変換(更新)、が生じるごとに**4. 2. 3. 3**で指定された全特徴値が計算された。ランダムに選択された操作の総数、即ち総更新図形数、は**5000**とした。

第2のシミュレーションは、始発図形の線数が6であり、目標図形の線数が5である場合である。このシミュレーションにあたって、「線の除去」以外の操作選択や点や線の明細指定はランダムになされた。しかし正規乱数によって指定された試行数のうち、「線の除去」が既に選択されて現図形と目標図形の線数が一致した状態になった(線数5になった)場合は、1問題解決過程におけるそれ以降の更新において「線の除去」の選択は阻止された。

両シミュレーションにおいて1問題解決にかかる操作の数(更新図形数)は6、標準偏差は2に設定された。

**4. 2. 3. 5. 分析手続** ある特徴の周辺分布に関して、実験参加者が実際の操作

によって出現させた図形群において得られた場合と、ランダムに操作が選択された場合に出現させた図形群において得られた場合とが、有意に異なっていたときにその特徴は非ランダム性が存在すると前提した。

そのような非ランダム性は実験参加者が認知課題を行うことによって生じた何がしかの人為的処理を反映しているとみなしてもよいだろう。そこで、各特徴に関して実際に得られた値の周辺確率分布と4.2.3.4.に指定されたシミュレーション手続きの結果得られた値の周辺分布に関して $\chi^2$ による適合性検定を行った。検定の結果5%水準で適合性が棄却された場合、その特徴を暫定的に参加者による認知処理の対象となった特徴であると判断した。ここで認知処理の対象になったと判断された特徴を抽出された特徴と称する。

その他、問題解決過程に関する付加的な測度として、(a) 問題あたりの解決にいたるまでの更新図形数の平均とその標準偏差、(b) 1操作あたりの平均消費時間とその標準偏差、(c) 各操作の選択確率、が計算された。

#### 4.2.4. 問題解決課題による原始的特徴抽出法に基づく幾つかの学会発表

神戸(1983a)とその英文発表であるKanbe(1990)のパラダイムに基づき、実際に学生を実験参加者として問題解決課題を実施した結果が、神戸(1983b)、神戸(1985)、及びKanbe(1989b)で発表されている。

4.2.4.1. 問題解決課題による原始的特徴抽出法に基づく実験結果 神戸(1983b)では得られた結果の全体的な解釈を、神戸(1985)は全体的な結果とその解釈を、紀要掲載論文であるKanbe(1989b)では詳細な実験・分析方法の紹介および、結果と解釈のより包括的な根拠が与えられたが、それらは全体として1つの実験なので以下に包括して報告する。

##### 方法

6名の男女大学院学生が実験に参加した。PDP11/34コンピュータに接続されたVT11ディスプレイ画面上に提示された(6点、6線)図形を始発図形とし、(6点、6線)図形を目標図形とする6-6問題と、(6点、6線)図形を始発図形とし(6点、5線)図形を目標図形とする6-5問題、計50問がランダム順に各実験参加者に与えられた(Figure 52)。実験参加者は反時計方向60°回転、線の除去、線の入れ替え、点の入れ替え、再出発、のいずれかの操作をライトペンにより選択し、始発図形から逐次図形を変形して(図形の更新を試行と称する)目標図形に至ることを要求された。本方法の詳細な説明と例示は4.2.3.を参照されたい。

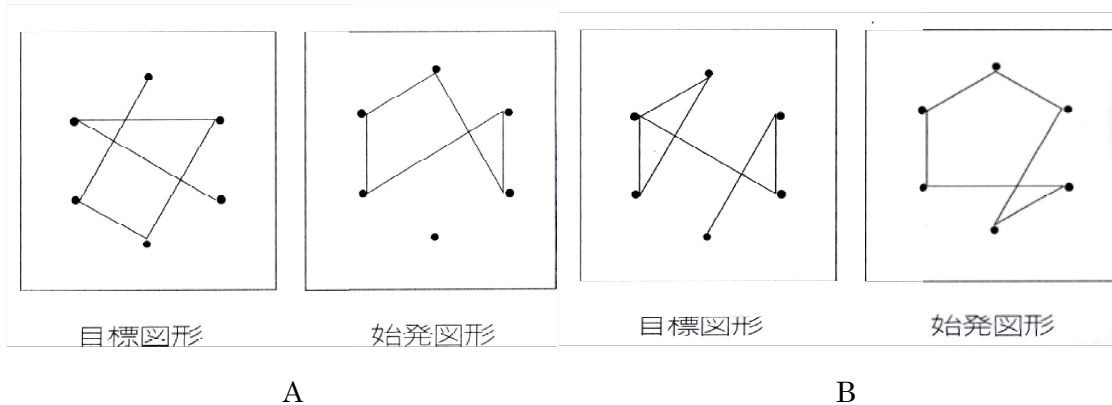


Figure 52. 神戸 (1983b) における 6-5 問題の例 (A) と 6-6 問題の例 (B)。

### 結果

4. 2. 3. 5. に規定された方法によって各特徴が抽出されたか否かが検討された。特に本実験の結果において神戸 (1983a) では明示的には考慮されなかったより詳細な分析手続きが考案されたので以下に記す。

ある特徴に関して実際の操作選択によって得られた周辺確率分布が、ランダムシミュレーションに基づく操作選択によって得られた周辺分布と 5%水準で有意に異なっていた場合は、実験参加者が分布上で特定の特徵値をとりわけ選好する傾向が存在するか否かを以下の暫定基準により分類した。

当該特徴の特定値に関する実際の確率とシミュレーションの結果得られた確率との差を分子とし、当該特徴の階級数 (即ち、当該特徴が線数  $n$  である全図形中で取りうる特徴値の範囲をいう) を分母としたときの値  $f$  が、

階級数 1 の場合、 $f \geq 1.0$  であれば F+ に分類し、 $f \leq -1.0$  であれば F- に分類する。

階級数 2 の場合、 $f \geq 0.625$  であれば F+ に分類し、 $f \leq -0.625$  であれば F- に分類する。

階級数 3 の場合、 $f \geq 0.5$  であれば F+ に分類し、 $f \leq -0.5$  であれば F- に分類する。

階級数 4 の場合、 $f \geq 0.437$  であれば F+ に分類し、 $f \leq -0.437$  であれば F- に分類する。

階級数 5 の場合、 $f \geq 0.4$  であれば F+ に分類し、 $f \leq -0.4$  であれば F- に分類する。

階級数 6 の場合、 $f \geq 0.375$  であれば F+ に分類し、 $f \leq -0.375$  であれば F- に分類する。

各階級数において、いずれの特徴値も  $f$  が F+ でも F- でもない場合、その特徴は V に分類する。

ここで、ある特徴値が F+ に分類された場合は、実験参加者がその値を保ちながら図形を変換しようとした、あるいは図形変換過程でその特徴値を選好したことを示している、と想定された。同様に、ある特徴値が F- に分類された場合は、実験参加者がその値を避けながら図形を変換しようとしたことを示している、と想定した。一方、V に分類された特徴は実験参加者が図形変換過程において意図的にその値を変動させることができる、と想定された。



Table 2 は 6-6 問題、6-5 問題ごとに操作の選択確率を示している。

Table 2 6-6 問題および 6-5 問題における操作の選択確率

	操作					目標参照 <sup>a</sup>
	回転	線の除去	線の入替え	点の入替え	再出発	
6-6 問題	11.5	0.0	86.4	1.8	0.3	38
6-5 問題	9.3	21.9	67.6	0.9	0.3	33

注 単位は%による。<sup>a</sup>全試行を分母とした。但し目標参照操作は試行数に含めなかった。

Table 3 では 6-6 問題において抽出された特徴、焦点化された特徴値、及び分類を示した。

Table 3 6-6 問題において抽出された特徴とその分類

特徴	df	$\chi^2$	分類	最頻値	値域
サイクル数	3	29.1**	F-	1	1,2,3,7
			F+	3	
外周	3	21.0**	F-	3	3,4,5,6
点被覆数	1	8.6**	V		2,3,4
中心点数	5	35.0**	F+	5	1,2,3,4,5,6
成分数	2	26.3**	F-	1	1,2,3
切断点数	3	17.7**	F+	0	0,1,2,3
切断点位置	7	25.9**	V		1,2,3,4,5,6,7,99
最大次数	3	25.6**	F+	3	2,3,4,5
			F-	4	
最大次数点数	4	18.4**	F-	1	1,2,3,4,5
孤立点数	2	26.0**	F-	0	0,1,2
孤立点位置	6	36.5**	F-	99	1,2,3,4,5,6,7,99
端点数	3	24.9**	V		0,1,2,3
端点位置	7	17.5*	F+	99	1,2,3,4,5,6,7,99
交点位置	7	18.9**	V		1,2,3,4,5,6,7,99
成分間方向	4	128.3**	V		0,1,2,3,4,99

注 \* は  $p < .05$ 、\*\*は  $p < .01$  を示す。

Table 4 は 6-5 問題において抽出された特徴、焦点化された特徴値、及び分類を示す。

Table 4 6-5 問題において抽出された特徴とその分類

特徴	df	$\chi^2$	分類	最頻値	値域
線数	1	47.7**	V-		5,6
サイクル数	3	19.0**	F- F+	0 3	0,1,2,3,7
外周	4	30.2**	V		0,3,4,5,6
点被覆数	1	10.1**	V		1,2,3,4
臨界点数	4	18.4**	F+	6	1,2,3,4,5,6
中心点数	5	14.4*	V		1,2,3,4,5,6
中心点位置	6	13.8*	V		1,2,3,4,5,6,7,99
最大次数点数	4	25.0**	F-	1	1,2,3,4,5,6
最大次数点位置	6	18.1**	V		1,2,3,4,5,6,7,99
成分間方向	5	2x10 <sup>5</sup> **	F-	0	0,1,2,3,4,99

注 \* は  $p < .05$ 、\*\*は  $p < .01$  を示す。

#### 考察

上記の結果から以下の結論ないし解釈が導き出された。

1. 始発図形の線数 6、目標図形の線数 5 である 6-5 問題も、始発図形の線数 6、目標図形の線数 6 である 6-6 問題も、選好される操作の選択確率に大差はなかった。その際、シミュレーション上において、6-5 問題における「線の除去」の選択確率は操作の対象から除外して他操作の確率へと配分した。
2. 操作の中では圧倒的に「線の入替え」が選好され、「点の入替え」はほとんど選好されなかった。6-6 問題では前者は 86%、後者は 1%であった。「点の入替え」の選好は「回転」の選好よりはるかに低かった。
3. 「回転」操作は同型性と同一性を保存し、「点の入替え」は同型性を保存するが、「線の入替え」は同型性も同一性も必ずしも保存しないことを考慮すると、参加者は図形認知において「回転」にみられるような holistic なイメージは利用するかもしれないが、そのイメージは厳密には同型性を保存するものではないと考えられた。
4. 実際の周辺分布がシミュレーション上の分布と有意に異なった特徴のうち、F+や F-と分類されたものはほとんどグラフ不変数であった。一方、V に分類される特徴は表層的情報、特に位置情報に関するものが多かった。それ故、図形を変形させる際、深層構造に関する特徴（特に、グラフ不変数）は固定させ、幾つかの表層的情報（特に線の交差位置と成分間の方向性）を変動させる傾向があると考えられた。
5. 6-6 問題において抽出された F- に関して最も忌避された状態は特徴値の下限であることが多かった。一般的に全体集合中で不変数の下限を示す図形集合は単純な形態を持つといえるので、人はあえて単純で識別容易な図形へと変形することを避ける傾向

があるのではないかと推測された。

6. 6-6 問題において抽出された F+の特徴中で最も選好された値は、サイクル数 3 の場合（多重なサイクルを持つ閉じた図形）と、中心点数 5 の場合（多重な対称性を持つ図形）、切断点数 0 の場合（各点が線によって緊密に連結した図形）、であった。これらを一般化するならば、概してよい Gestalt を持った図形であるといえよう。

後に述べるように、シミュレーションにより実験参加者の認知的活動を推測する方法は特徴間の非線形的相関性が存在するなど方法論的妥当性が十分に評価されているとは言えない。しかしながら、上に述べた結論は幾つかの図形認知理論との関連性を有していると考えられる。そこでそれら結論の持つ含意を以下に更に検討してみた。

2. および 3. に見られる、認知処理において holistic なイメージは利用するが同型性は保存しないという解釈は後述する（4. 3. 2.）アナログ・命題論争におけるアナログの主張と整合性を持っている。一方、同型性を利用しないという点で同型性の知覚を主張する Chen (1982)らのトポロジカルな知覚理論とは不整合とも考えられる。

F+や F-に分類された特徴が不変数であり、V に分類された特徴が表層的情報であったという 4. の結果は、不変数に代表される深層情報は注意の対象というよりはむしろディフォルト状態であること、注意は位置や方向といった表層的情報に向けられていること、と解釈することが可能である。こうした解釈は、Treisman and Gormican (1988)による特徴探索課題において様々な表層的情報が急速に検出された、との報告と軌を一にしている。

更にこの 4. の解釈は、この時点で認識してはいなかったが「ディフォルトな特徴状態からの攪乱は急速に検出される」という後の著者の主張（神戸, 2003; 神戸, 2006; Kanbe, 2008b; Kanbe, 2010）との理論的親近性が見られる。また表層的情報を代表する交差位置や成分間方向性の重要性を示唆する結果は、平面幾何学的重心の図形認知上の重要性を主張する Vos, Bocheva, Yakimoff and Helsen (1993)、および Davi, Yakimoff, Bocheva, and Kefaloff (1993)の研究とも関連している。

6. では、ヒトは認知処理上でよい Gestalt を持つ図形を指向することを示唆している。よい形の条件に関しては、Garner and Clement (1963)、Garner (1974)、Imai (1986)、等が議論しているが、彼らは ad hoc な実験方法を採用していた。それに対して、一般性を持ち反応自由度の大きい本課題に基づき、しかも同型性が定義可能な刺激図形を使うことによって同じような解釈が導出されたことは意義があると考えられる。

#### 4. 2. 5. 問題解決課題による原始的特徴の抽出パラダイムの修正

神戸 (1983a)において提唱された特徴番号 4 から 26 までの 23 の特徴集合によっては 5005 個ある（6 点、6 線）図形のすべてを互いに分別することはできないことがその後明らかになった。

そのため（6 点、6 線）図形のすべてを特徴集合により分別するためには、より多くの特

徴を導入することが必要と考えられた。そうした特徴の一つとして、非グラフ不変数である平面幾何学的輪郭情報を新たに採用することとした(Kanbe, 1988a)。ここで平面幾何学的輪郭情報という語を使用したのはグラフ理論上でのサイクル、内周、外周といった概念との混同を避けるためである。

視野中に存在する3次元物体としての含意を2次元図形に求めようとするとき、2次元平面上で背景と図形との境界として輪郭線を抽出することの重要性は言を俟たない。例えば、Leeuwenberg (1969)による構造情報理論 (SIT) では物体に関する符号付けの対象として輪郭線が想定されている。Hoffman and Richards (1984)は複雑図形の解体が輪郭線上の凹部でなされるという主張である。一方、Marr (1982)の視覚の計算理論や Biederman (1987)はよる RBC 理論等では、物体は一般化円筒や geon といった輪郭線を持った原始図形を組み合わせることによって表象されているとしている。

**4.2.5.1. 輪郭線検出のアルゴリズムに関する論文** 輪郭に関連する神戸(1983a)の特徴リスト中にはサイクル数や外周があったが、それらはともに原始点間を結ぶ線分によって定義されていた。一方、原始点だけでなく交点をも線分を指定する点として定義することも出来る。そこでこれら原始点や交点と線分の交互の系列が閉じているとき、その最長の系列を平面幾何学的輪郭と定義した。Figure 53 の図は本来サイクル数0であるが交点7と8を点として再定義すると、点系列4-5-6-8-7-4の輪郭が形成される。

また Figure 54 に見られるように1点において複数の小輪郭(あるいはサイクル)が接合されている場合、小輪郭を包絡する大きな輪郭を平面幾何学的輪郭と定義した。一方、外周は最大のサイクルとして定義されるので、複数サイクルの包絡は外周ではないことに注意すべきである。

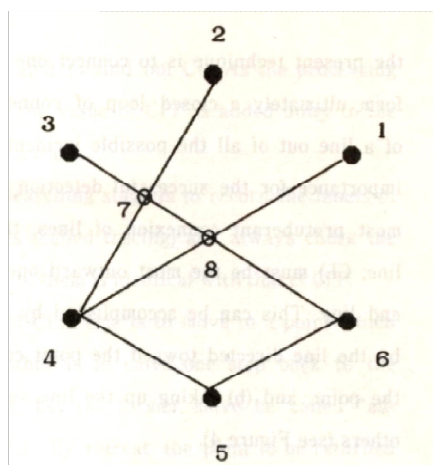


Figure 53. グラフを構成する点を原始点1から6に限定した場合にこの図形はサイクルを持っていないが、線の交差によって生じた点7と8をグラフ上の点とみなすと複数のサイクル(または輪郭)を持った図形とみなせる。本文の説明も参照のこと。Kanbe (1988a)から引用した。

そのような平面幾何学的輪郭の定義の下に、(6点、 $n$ 線) 図形 (ここで、 $n \leq 6$ ) 中に含まれる輪郭を発見するアルゴリズムを Kanbe (1988a)において提案し、それに基づく計算プログラムが作成された。



Figure 54. 輪郭 B と輪郭 C が点 a において接合しているとき  $B \cup C$  を 1 つの輪郭とみなした。Kanbe (1988a)から引用した。

4.2.5.2. 輪郭線情報の検出とその利用可能性についての学会発表 神戸 (1988b) では (6点、5線) および (6点、6線) において 4.2.5.1. の定義による平面幾何学的輪郭情報が検出され利用されているか否かを問題解決手続によって検討した。ここで取り上げられた指標は、輪郭数、輪郭の重心、輪郭の方向、輪郭長、輪郭上の凹部数、全曲率、である。

実験では始発図形、目標図形の線数が共に 6 である 6-6 問題、始発図形の線数 6、目標図形の線数 5 の 6-5 問題が参加者に課せられた。但し、6 線図形と 5 線図形ではグラフ理論上の性質が大きく異なるので 6-6 問題では操作・選択された全図形を、6-5 問題では操作・選択された図形中の 5 線図形だけを分析の対象とした。

ところで、神戸(1983b)では、特定線数下で操作や操作の明細指定を完全ランダムに選択することにより図形を多数作成し、これら図形を多数蓄積することにより各特徴の標本基準分布を得ようとした。同一の線数下であればどのような図形も他のどのような図形からも与えられた操作によって到達可能であるということからすれば、このような基準分布の作成法には一応の妥当性が存在する。

しかしながら、仮想的な母基準分布への標本基準分布の収束速度を考えれば、一定の拘束条件の下でシミュレーションを行ったほうが有効であると考えられよう。そこで、神戸(1988b)においては、始発図形ならびに参加者が目標図形に至る前に問題解決過程において実際に選択した各図形を所与の状態とし、その図形状態から 1 回の操作選択で到達可能な全図形を作成した。そしてそれらを蓄積して各特徴に関する標本基準周辺分布を得た。次に、実験参加者が実際に選択した図形に対して得られた各特徴の周辺分布を計算し、対応する特徴の標本基準周辺分布との間で  $\chi^2$  による適合性検定を行った。両分布が 5%水準で有意差を持ったとき、その特徴は認知的処理の対象となっていると考えられた。

#### 方法

7 名の女子短期大学生が実験に参加した。NEC9801F コンピュータに接続された KD551

ディスプレイ画面上に提示された（6点、6線）図形を始発図形とし、（6点、6線）図形を目標図形とする6-6問題と、（6点、6線）図形を始発図形とし（6点、5線）図形を目標図形とする6-5問題、計50問がランダム順に各実験参加者に与えられた（Figure 55）。実験参加者は反時計方向60°回転、線の除去、線の入れ替え、点の入れ替え、のいずれかの操作をライトペンにより選択し、始発図形から逐次図形を変形して目標図形に至ることを要求された。本方法の詳細な説明と例示は4. 2. 3. を参照されたい。

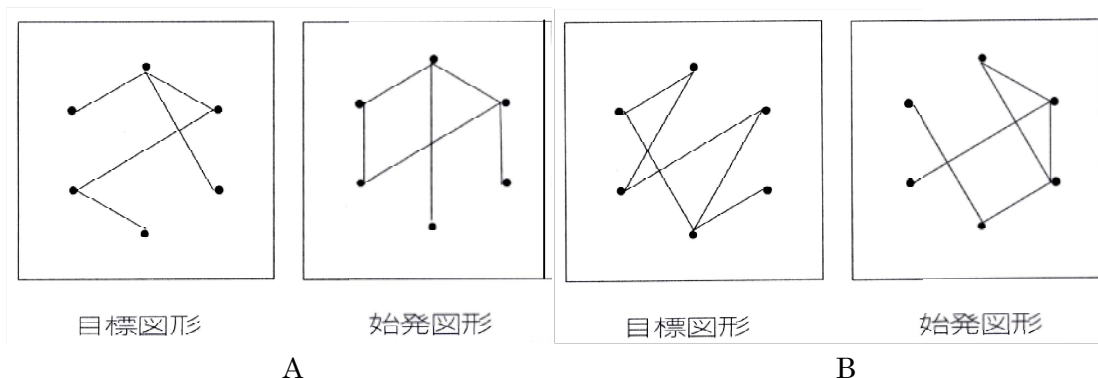


Figure 55 神戸（1988b）における6-5問題の例（A）と6-6問題の例（B）。

### 結果

Table 5 に上記輪郭線指標に関して行った実際に得られた周辺分布と標準周辺分布の適合度を示す。

Table 5 輪郭線指標に関する実際周辺分布と標準周辺分布の適合度

	輪郭数	輪郭重心	輪郭方向	輪郭長	凹部数	全曲率
6-5 問題						
$\chi^2(df)$ :	5.2 (2)	11.3 (12)	11.3 (6)	27.6**(7)	15.1**(4)	24.9**(8)
6-6 問題						
$\chi^2(df)$ :	--	12.2(12)	4.1 (7)	14.7* (7)	14.5** (4)	14.6 (8)

注 実際得られた（6点、6線）図形はすべて輪郭数1を持っていたので適合度検定は行わなかった。 $df$ は自由度、\*は $p < .05$ 、\*\*は $p < .01$ を示す。

そのうち、6-5問題で認知的処理の対象となった（抽出された）特徴は、輪郭長、輪郭上の凹部数、全曲率であった。また、6-6問題で抽出された特徴は、輪郭長と輪郭上の凹部数だけであった。

### 考察

6-6問題でも6-5問題でも有意差が出た特徴はほぼ一貫していた。

1. 6線図形も5線図形もほとんどすべて輪郭を含んでいるので平面幾何学的輪郭の存在自体の効果は当分析からは判断できない。
2. 平面幾何学的輪郭を検出した後に計算可能になると思われる輪郭の重心や方向性に関する情報は利用されている形跡がない。
3. 平面幾何学的輪郭線の持つ複雑性や凹凸性についての情報は利用されているように思われる。
4. 6線図形では抽出された全曲率が5線図形では抽出されなかったところから、輪郭を単純に保とうとする傾向があるのではないかと推測された。

これら結果は、図形認識における凹凸性(Behrman & Brown, 1968; Brown, & Andrews, 1968)、複雑性(Stenson, 1968)、よさ(Garner and Clement, 1963)の重要性を主張する研究と親近性を持っていよう。

**4. 2. 5. 3. 修正された特徴集合を紹介した論文** 前述したように神戸 (1983b) および Kanbe (1989b)による特徴集合はすべての(6点、6線)図形を分別することはできないことが明らかになったので、実験・分析パラダイムおよびコンピュータプログラムの修正を行い、その実験を報告したものが Kanbe (1991b)である。

実験パラダイムに関しては操作の種類を縮小を行った。図形の持つ表層的情報は深層構造に依存すると考えられるが、神戸 (1983b) によって採用された「線の除去」操作は図形の持つ深層構造を完全に破壊し、特徴値は非連続に変化する。それ故、どのタイミングで「線の除去」操作を選択したかで実際に選択された図形と選択可能であったシミュレーション図形の周辺分布の変動が大きく変わってしまう可能性が高い。そこでむしろ同一線数を持つ図形において両分布の比較を行うほうが合理的であることが考えられた。

そのために「線の除去」を操作から除外するとともに、「再出発」や「目標図形参照」操作も廃止した。目標図形の参照に関しては、現図形への操作が完了するたびに目標図形画面とマスク画面が提示されるようにした。結果として新しい実験パラダイムにおいて選択可能な操作は、(a)「時計方向回転」、(b)「反時計方向回転」、(c)「線の入れ替え」、(d)「点の入れ替え」、へと縮小した。これら操作の現図形に及ぼす効果は (a)は時計方向へ $60^\circ$ 、(b)は反時計方向へ $60^\circ$ 、という詳細定義を除けば以前の操作の定義と同じである。

分析パラダイムに関しては、特徴集合の拡大が目指された。以前のリストに加えて、複数の点によって示される方向性、平面幾何学的輪郭、相補図形(グラフ理論上の補グラフに相当する)、上下・左右の半界、端線によって示される図形の渦巻き方向、に関する特徴が新たに付け加えられた。ここで補グラフとは、与えられた点集合によって作られるグラフ  $G$  があるとき、 $G$  においては隣接している(即ち、連結している)2点を隣接させず、 $G$  においては隣接していない2点を隣接させるように作成されたグラフ  $\hat{G}$  を  $G$  の補グラフという。

新たに取り上げられた特徴の多くは図形の表層的情報を与えるものであった。ヒトが大局的、非分析的に図形を認識しようとしているのなら、こうした表象的情報に関する測度が必要になろうとの立場からこれら特徴が導入された。

また、神戸（1983a）において説明された位置の表示法では、各領域の巾が広すぎると考えられた。そこで位置をより詳細な領域によって記述するために、新しい位置表示は13個の領域番号によって（Figure 56）によって指定された。つまり、非可視な正6角形の中心点より正6角形の各頂点までの距離を $r$ とすると、中心点から半径 $r/10$ の内部領域を領域13と符号付けた。領域13の外側から各頂点に至るまでのドーナツ状の領域は中心点から右方に伸びる水平線に対して $\pm 15^\circ$ の領域を1と符号付け、領域1から反時計方向へ $30^\circ$ ごとに領域分けそれらを順次2から12までの符号化した。

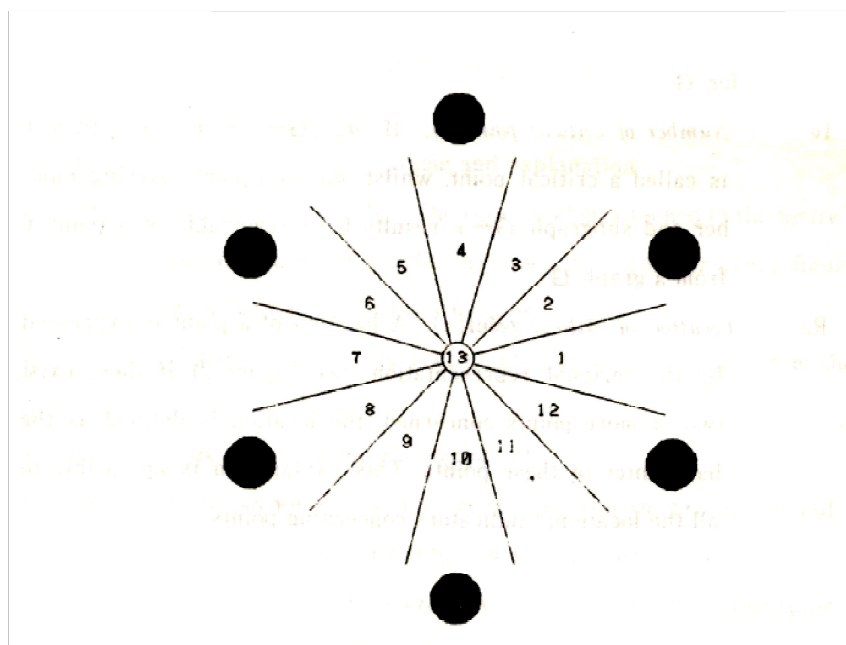
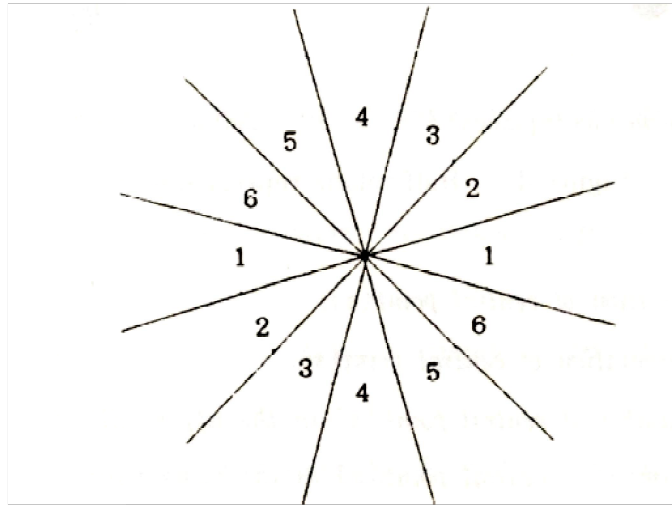


Figure 56. 神戸（1983a）では各扇状領域の角度が $60^\circ$ であったのに対し Kanbe(1991b)以後はその角度が $30^\circ$ となった。また中心領域の半径を中心から各原始点までの半径に対して従来の $1/5$ から $1/10$ へと変更した。

一方、神戸（1983a）において説明された方向特徴に関しては再定義がなされた。それに従い、神戸（1983a）における複数線分方向性（旧特徴26）は棄却された。また今回はより多数の特徴に対して方向性を与えることが提案された。

複数点の方向性に関しては対象となる点の位置に関して主成分分析を行い、線分方向性に関しては、線分上を等間隔にサンプリングされた点（線分はその長さにより20個から40個のサンプリング点を持つ）の位置に関して主成分分析を行い、主成分の傾きを6方向へ分類して番号付けられた（Figure 57）。





**Figure 57.** 修正された方向に関する表示。神戸 (1983a) では4方向に分類されたが、ここでは6方向に細分化された。

更に、各特徴の非ランダム性を判定するための基準周辺分布作成法に関しても変更が加えられた。即ち神戸 (1988b)と同様に、始発図形ならびに参加者が目標図形に至る前に問題解決過程において実際に選択した各図形を所与の状態とし、その図形状態から1回の操作選択で到達可能な全図形を選択し、それら全図形の特徴ごとの周辺確率分布を蓄積することにより基準分布を作成した。

新たに加えられた特徴の定義は以下のとおりである。なお、新特徴に付けられた番号は便宜上神戸 (1983a) で付けられた番号に引き続いて示されている。

- 26. 図形番号： 線数ごとに各図形にはコード番号が付与された。
- 27. 同型番号： 線数ごとに各図形の属する同型集合の番号が付された。
- 28. 臨界点の方向： 臨界点が複数存在するときはそれらの位置に関する主成分分析を行い、それによる主成分の傾きを **Figure 57** に従って方向表示する。
- 29. 上半界における臨界点数： ここで上半界とは原始点1と6の中間点と原始点3と4の中間点を結ぶ中央水平線より上方の領域（中央水平線は含まない）に存在する臨界点の数をいう (**Figure 58A**)。
- 30. 下半界における臨界点数： ここで下半界とは中央水平線より下方（中央水平線は含まない）に存在する臨界点の数をいう (**Figure 58A**)。

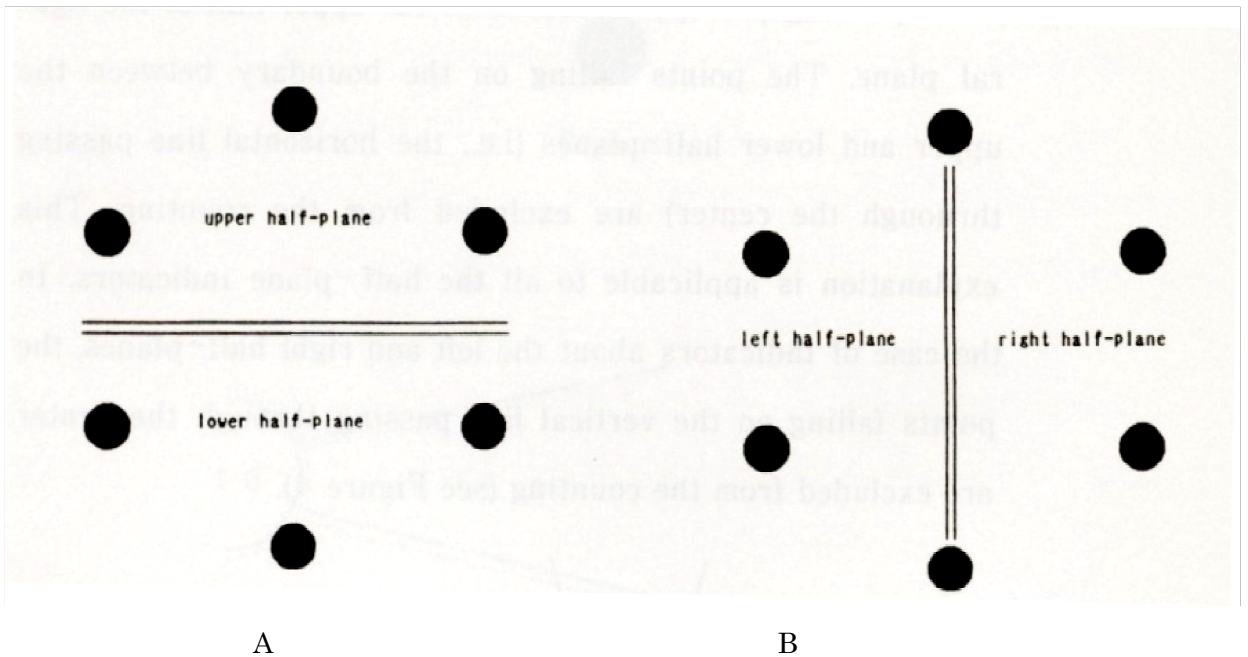


Figure 58. 半界表示。Aは上半界と下半界の領域、Bは左半界と右半界の領域を示している。

- 3 1. 左半界における臨界点数： ここで左半界とは原始点 2 と 5 を結ぶ中央垂直線より左方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する臨界点の数をいう（Figure 58B）。
- 3 2. 右半界における臨界点数： ここで右半界とは原始点 2 と 5 を結ぶ中央垂直線より右方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する臨界点の数をいう（Figure 58B）。
- 3 3. 中心点の方向： 中心点が複数存在するときはそれらの位置に関しての主成分分析を行い、それによる主成分の傾きを Figure 57 に従って方向表示する。
- 3 4. 上半界における中心点数： ここで上半界とは原始点 1 と 6 の中間点と原始点 3 と 4 の中間点を結ぶ中央水平線より上方の領域（中央水平線は含まない）に存在する中心点の数をいう。
- 3 5. 下半界における中心点数： ここで下半界とは中央水平線より下方（中央水平線は含まない）に存在する中心点の数をいう。
- 3 6. 左半界における中心点数： ここで左半界とは原始点 2 と 5 を結ぶ中央垂直線より左方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する中心点の数をいう。
- 3 7. 右半界における中心点数： ここで右半界とは原始点 2 と 5 を結ぶ中央垂直線より右方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する中心点の数をいう。
- 3 8. 切断点の方向： 切断点が複数存在するときはそれらの位置に関しての主成分分析を行い、それによる主成分の傾きを Figure 57 に従って方向表示する。

39. 上半界における切断点数： ここで上半界とは原始点1と6の中間点と原始点3と4の中間点を結ぶ中央水平線より上方の領域（中央水平線は含まない）に存在する切断点の数をいう。
40. 下半界における切断点数： ここで下半界とは中央水平線より下方（中央水平線は含まない）に存在する切断点の数をいう。
41. 左半界における切断点数： ここで左半界とは原始点2と5を結ぶ中央垂直線より左方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する切断点の数をいう。
42. 右半界における切断点数： ここで右半界とは原始点2と5を結ぶ中央垂直線より右方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する切断点の数をいう。
  
43. 最大次数を持つ点の方向： 最大次数点が複数存在するときはそれらの位置に関する主成分分析を行い、それによる主成分の傾きを **Figure 57** に従って方向表示する。
44. 上半界における最大次数を持つ点の数： ここで上半界とは原始点1と6の中間点と原始点3と4の中間点を結ぶ中央水平線より上方の領域（中央水平線は含まない）に存在する最大次数点の数をいう。
45. 下半界における最大次数を持つ点の数： ここで下半界とは中央水平線より下方（中央水平線は含まない）に存在する最大次数点の数をいう。
46. 左半界における最大次数を持つ点の数： ここで左半界とは原始点2と5を結ぶ中央垂直線より左方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する最大次数点の数をいう。
47. 右半界における最大次数を持つ点の数： ここで右半界とは原始点2と5を結ぶ中央垂直線より右方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する最大次数点の数をいう。
  
48. 孤立点の方向： 孤立点が複数存在するときはそれらの位置に関する主成分分析を行い、それによる主成分の傾きを **Figure 57** に従って方向表示する。
49. 上半界における孤立点数： ここで上半界とは原始点1と6の中間点と原始点3と4の中間点を結ぶ中央水平線より上方の領域（中央水平線は含まない）に存在する孤立点の数をいう。
50. 下半界における孤立点数： ここで下半界とは中央水平線より下方（中央水平線は含まない）に存在する孤立点の数をいう。
51. 左半界における孤立点数： ここで左半界とは原始点2と5を結ぶ中央垂直線より左方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する孤立点の数をいう。
52. 右半界における孤立点数： ここで右半界とは原始点2と5を結ぶ中央垂直線より右方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する孤立点の数をいう。

- 5 3. 端点の方向： 端点が複数存在するときはそれらの位置に関しての主成分分析を行い、それによる主成分の傾きを **Figure 57** に従って方向表示する。
- 5 4. 上半界における端点数： ここで上半界とは原始点 1 と 6 の中間点と原始点 3 と 4 の中間点を結ぶ中央水平線より上方の領域（中央水平線は含まない）に存在する端点の数をいう。
- 5 5. 下半界における端点数： ここで下半界とは中央水平線より下方（中央水平線は含まない）に存在する端点の数をいう。
- 5 6. 左半界における端点数： ここで左半界とは原始点 2 と 5 を結ぶ中央垂直線より左方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する端点の数をいう。
- 5 7. 右半界における端点数： ここで右半界とは原始点 2 と 5 を結ぶ中央垂直線より右方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する端点の数をいう。
  
- 5 8. 所与の図形を構成する線分の方角： 各線分を等間隔にサンプリングし、それら位置に関しての主成分分析を行う。そしてその主成分の傾きを **Figure 57** に従って方向表示する。
  
- 5 9. 交点の方角： 交点が複数存在するときはそれらの位置に関しての主成分分析を行い、それによる主成分の傾きを **Figure 57** に従って方向表示する。
- 6 0. 上半界における交点数： ここで上半界とは原始点 1 と 6 の中間点と原始点 3 と 4 の中間点を結ぶ中央水平線より上方の領域（中央水平線は含まない）に存在する交点の数をいう。
- 6 1. 下半界における交点数： ここで下半界とは中央水平線より下方（中央水平線は含まない）に存在する交点の数をいう。
- 6 2. 左半界における交点数： ここで左半界とは原始点 2 と 5 を結ぶ中央垂直線より左方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する交点の数をいう。
- 6 3. 右半界における交点数： ここで右半界とは原始点 2 と 5 を結ぶ中央垂直線より右方の領域（中央垂直線は含まない）に存在する交点の数をいう。
  
- 6 4. 相補図形的位置： ここで所与の図形におけるすべての原始点の対に関して、もしその対が線によって連結していなければ、その対を連結させるようにして出来た図形を相補図形と呼ぶ。相補図形をなすすべての線分の重心を計算してその位置を利領域表示する。
- 6 5. 相補図形の方角： 相補図形の各線分を等間隔にサンプリングし、それら位置に関しての主成分分析を行う。そして主成分の傾きを **Figure 57** に従って方向表示する。

- 6 6. 輪郭数： 既述した平面幾何学的輪郭の定義に基づき、(6 点、6 線) に至るまでの全図形に関して、その中に幾つの輪郭が含まれるかを計算する (Figure 59)。

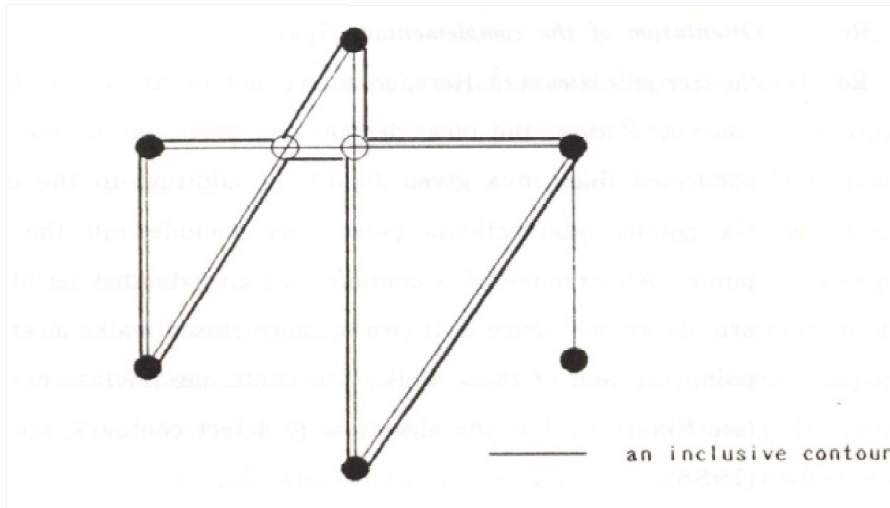


Figure 59. 輪郭数の計算。この図形は3個の小輪郭からなっているがそれらは2点で接合しているので1つの大きな輪郭とみなせる。

- 6 7. 全輪郭の位置： 輪郭を形成するすべての線分の重心を計算してその位置とした。  
 6 8. 全輪郭の方向： 輪郭を形成するすべての線分のサンプリング点の位置について方向性が計算され表示された。なお、線分の長さは原始点間のみならず線交差によって生じた点によっても定義されるのである種の線分のサンプリング数は20より少なかった。  
 6 9. 輪郭1の長さ： 図形中に複数の輪郭が存在するときは任意に指定された輪郭1を形成する線分の数を計算してこれを長さとした。  
 7 0. 輪郭1の全曲率： 輪郭線は閉じているのでその全曲率は0となる。しかし輪郭線の複雑性を示すためには非0の特徴を導入しなければならない。そこで修正された曲率関数  $\theta$  を以下に定義し(Figure 60)、それを輪郭1に適用した。

輪郭  $C$  の凸な屈曲点  $j$  における外角を  $a(j)$  とするとき、

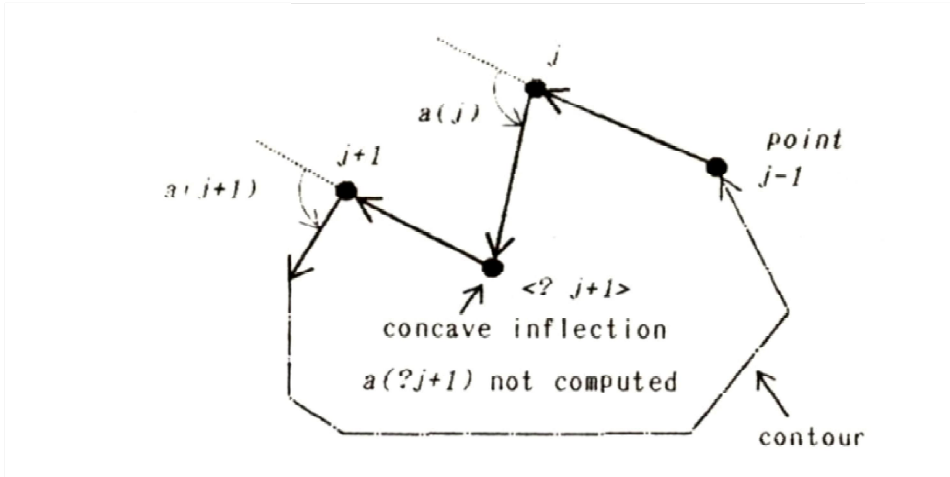
$$\theta(1) = |a(1)|,$$

$$\theta(j) = \theta(j-1) + |a(j)|.$$

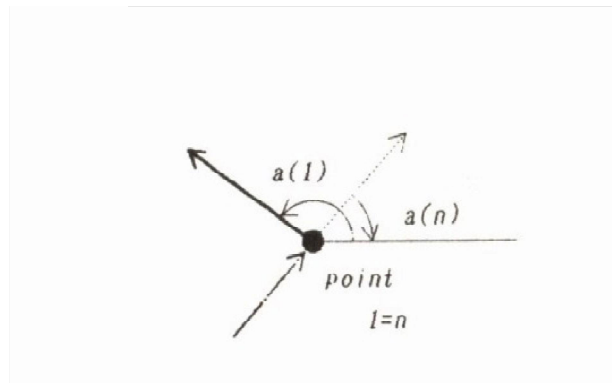
ここで、 $-\pi \leq a(j) < \pi$  ;  $j = 2, 3, \dots, n$  ; 点  $1 =$  点  $n$ 。

なお、凹な屈曲点  $k$  においては  $a(k)$  を計算しない。

A



B



**Figure 60.** Aは屈曲点  $j$  に沿って輪郭を辿る際、最初ないし最後に辿った屈曲点ではない ( $1 < j < n$ ) 場合、Bは最初ないし最後に数えあげた屈曲点だった ( $j=1$ か $j=n$ ) 場合の曲率の決定法を示す。Aにおける点  $j+1$  の場合のように屈曲点が凹であったときは曲率を計算しない (即ち0とみなす)。

- 7 1. 輪郭1の回数： この特徴は輪郭1の凹な屈曲点の数を数え上げたものである。
- 7 2. 輪郭2の長さ： この特徴は複数の輪郭が図形中に存在したときに輪郭1で指定された以外の輪郭を2と呼び、その長さを計算する。
- 7 3. 輪郭2の全曲率： 70. において定義された曲率関数  $\theta$  を輪郭2に適用した。
- 7 4. 輪郭2の回数： この特徴は輪郭2の凹な屈曲点の数を数え上げたものである。

7 5. 全凹数： この特徴は輪郭 1 の凹数と輪郭 2 の凹数を加算したものである。

7 6. 渦方向： この特徴は所与の図形が、端線の向きに基づいて時計方向ないし反時計方向の渦を形成しているか否かを評価するものである。評価の対象となる端線は一方の点において次数が 2 かそれ以上ある接合点であり、両点とも次数 1 の端線（即ち他成分と接合しない線分）や孤立点は除外する。算出の手続は以下のとおり。

(a) 対象となる端線  $i$  は接合点から次数 1 の点へと方向性を持っているとする。(b) 正 6 角形の中心点から接合点へと向かう方向を  $y$  軸とし、接合点でその軸と直交する軸を  $x$  軸とする。(c) 端点  $i$  の  $x$  軸成分( $x_i$ )と  $y$  軸成分( $y_i$ )を算出する。(d) すべての端線について  $x$  軸成分と  $y$  軸成分ごとの総和 ( $X=\sum x_i$  と  $Y=\sum y_i$ ) およびその比の絶対値 ( $Z=|Y/X|$ ) を計算する。(e) 以下の場合に従って  $v$  を決定する。ここで  $v=0$  は反時計方向、 $v=1$  は無方向、 $v=2$  は時計方向の渦があることを示している。もし  $|X| < 0.0001$  であれば、 $v=1$ ；もし  $X \leq -0.0001$  かつ  $Z < \tan(15^\circ)$  であれば、 $v=0$ ；もし  $X \geq 0.0001$  かつ  $Z < \tan(15^\circ)$  であれば、 $v=2$ ；その他の場合は  $v=1$ 、とする (Figure 61)。

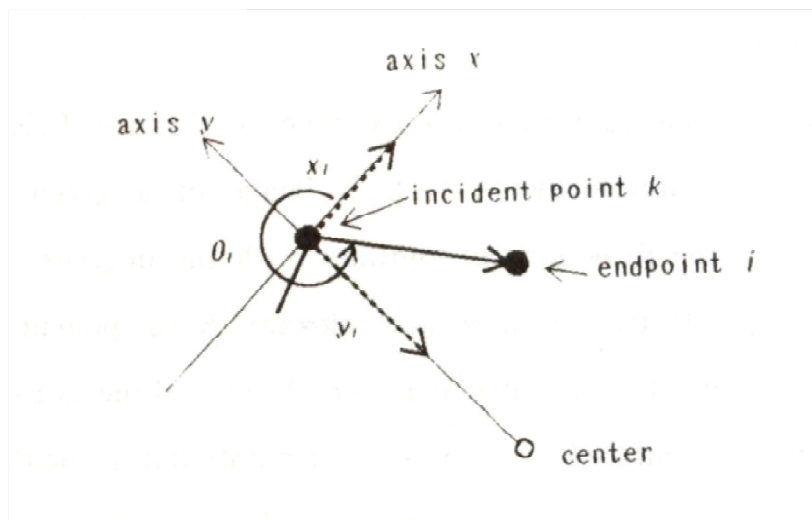


Figure 61. 渦方向の決定。内容は本文を参照のこと。ここで  $o$  は正 6 角形の中心点、 $k$  は次数 2 以上の接合点、 $i$  は端点を示している。

4. 2. 5. 4. 追加された特徴による問題解決課題での原始的特徴抽出パラダイムに関する学会発表 この修正された実験・分析パラダイムに基づき実施された実験結果を示したのが神戸 (1996)である。問題解決課題において 30 名の実験参加者にそれぞれ 60 問の問題が提示された。各問題における線数は 1 から 6 まで等確率でランダムに与えられた。問題の種類は、始発図形と目標図形が、置かれた方向のみが異なり形態は同じである「同

一問題」と、それ以外の「非同一問題」がランダムに作成され、それら問題の出現比率は 1 : 3 に設定された (Figure 62)。

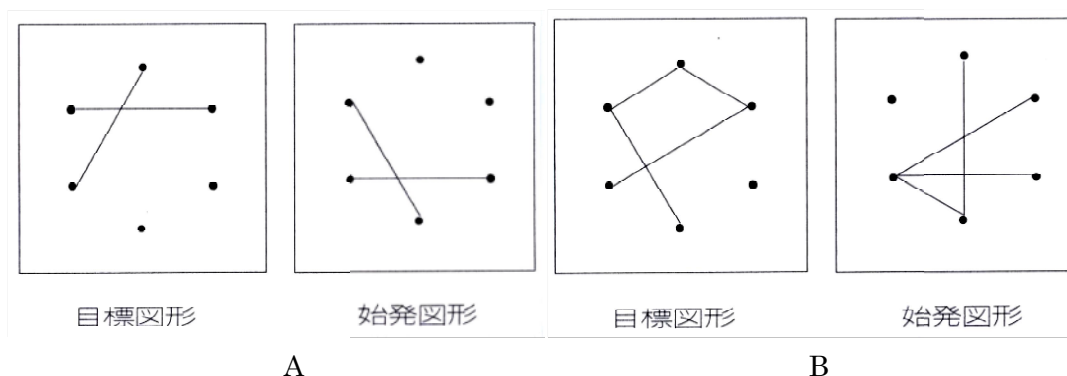


Figure 62. 神戸 (1996) における同一問題の例 (A) と非同一問題の例 (B)。

その結果の大要は以下のとおりであった。

線数 1 から 6 までの全問題の全選択図形に関して各特徴の実際の周辺分布と基準周辺分布の適合度検定を行ったところ、ほとんどの特徴で有意差が生じた。このことは、線数が異なると図形の性質が大きく変化し、認知的活動の効果以上に線数効果が大きいことを示していると考えられる。そこで比較的単純な図形と考えられる線数 2 の場合と、適度な複雑性を持った図形と考えられる線数 4 の場合に焦点を当てて分析を行った。結果を Table 6 に示す。

Table 6 線数 2 および 4 における同一問題と非同一問題ごとに抽出された特徴

線数	問題	抽出された特徴				
2	同一	点被覆数	臨界点数	臨界点方向	中心点数	中心点方向
	非同一	最大次数	最大次数点数	最大次数点方向	孤立点数	孤立点位置
4	同一	端点数	端点位置	端点位置	重心	
	非同一	なし				
	同一	上半界における端点数				
	非同一	サイクル数	外周	中心点数	成分数	最大次数点数
		孤立点数	孤立点位置	孤立点方向	端点数	端点位置
		上半界における端点数	左半界における端点数	右半界における端点数		

注：各特徴に関して実際に選択された図形についての周辺確率分布が、基準周辺確率分布より  $\chi^2$  検定において 5% 水準で有意差を持っているとき、その特徴が抽出されたと定めた。



考察として、抽出された特徴の数は、線数や問題に大きく依存していることが示されており、ある特定の特徴が選ばれ、それに基づいて図形の認識を行っているわけではないことが推測された。

線数 2 の同一問題では多くのグラフ不変数やその位置・方向に関する特徴が抽出された。基準分布はすべての可能な操作の結果を反映しているのでこのような傾向は回転操作が比較的多く選択されたことを示しているかもしれないとされた。

一方、線数 4 の同一問題でほとんど特徴が抽出されなかったことから、回転操作の選好はあまり起こらなかったと推測された。また、線数 4 で非同一問題の場合、全体的特徴というより、外周を除いた局所的な特徴が注目される傾向性が指摘された。こうした解釈は Navon (1977) や Chen (1982) 等の主張する大局優先理論とは不整合であると考えられる。

**4. 2. 5. 5. 凹部における輪郭線離断の証拠を示唆する学会発表** 神戸 (1997a)  
 は神戸(1996)における実験結果を同一図形と非同一図形を込みにして分析したものである。その結果を Table 7 に示す。

Table 7 同一問題と非同一問題を込みにしたときに抽出された特徴

線数	抽出された特徴
3	臨界点方向 平面幾何学的重心 輪郭の位置
4	サイクル数 外周 成分数 孤立点数 孤立点位置 孤立点方向 左半界における孤立点数 上半界における端点数
5	なし
5 (凹部 2 個)	外周 中心点数 中心点方向 切断点数 切断点方向 最大次数 孤立点方向 端点数 上半界における端点数 左半界における端点数

注：各特徴に関して実際に選択された図形についての周辺確率分布が、基準周辺確率分布より  $\chi^2$  検定において 5% 水準で有意差を持っているとき、その特徴が抽出されたと定めた。

このような傾向を検討すると、複雑な図形と考えられる線数 5 の場合は全体としては特定の特徴に着目した認知的活動は優勢にならなかった。

しかし複雑でも凹部を持った図形の場合は、幾つかのグラフ不変数とそれに対応した位置や方向性に関する特徴が抽出され、適度に複雑な図形と考えられる線数 4 の場合と同様

な傾向が見られた。

凹部を持った 5 線図形と 4 線図形は抽出された特徴の内容は若干異なっている。しかし、もし Hoffman and Richards (1984) の主張のように凹部で輪郭線の離断が生じるとすると、線数 5 において抽出された、外周や中心点数およびその位置・方向、切断点数およびその位置・方向、に関する値は変わってくる可能性がある。これらの特徴を除外すると線数 4 で抽出された特徴と凹部を持った線数 5 の場合に抽出された特徴はかなり類似してることが分かる。こうした傾向は、複雑図形において凹部での輪郭線の離断が生じたことを間接的に示しているのではないかとの議論がなされた (Singh, Seyranian, and Hoffman, 1999)。

一方、単純な図形である線数 3 の場合に僅かな位置特徴のみが抽出され、不変数が抽出されなかったことは、深い特徴分析がなされず心的回転がなされたことを示しているとも考えられた。

**4. 2. 5. 6. 問題解決課題による原始的特徴抽出法への懐疑** 神戸(1996、1997a)を通して、本実験・分析パラダイムの不十分性も意識されるようになった。

まず方法論的には、実験参加者達の比較的自由的な図形選択過程の中に彼等の認知的活動の痕跡を包括的に捉えようとする方針は、大きく見れば是認できるとしても、特定の図形からの操作上達成可能な全図形を試行ごとに蓄積して方法は、基準となる周辺分布の作成が選択可能な操作に依存していることを意味している。言い方を換えれば、許される操作が異なれば各特徴の周辺分布も変化する可能性があるといえる。このようにして得られた基準分布は論理的に妥当性を評価することが困難と思われた。

また、実際に選択された図形に関して、ある特徴の周辺分布が非ランダムであればその特徴は認知的に重要であるとする立場は、各特徴が認知処理上の単位的測度であるという前提と一体である。しかるに、特徴間には非線形の極めて複雑な関連性が存在し、ある図形に変形が生じると特定の特徴が変動するだけでなくそれ以外の複数の特徴も複雑なパターンで変動する。例えば、Kanbe (2001) は以下のシミュレーション結果を紹介している。

線数 2 と線数 4 の非同一問題を多数回発生させ、非同一図形対間でサイクル数、成分数、最大次数、端点数という 4 つの特徴のうち一つでもその値が異なる確率を計算した。ここでこれら特徴の 1 つでも図形対間で値が異なっていれば非同一との判断を下すのに十分である。その結果、線数 2 の場合 4 つの特徴中 1 つでも値が異なる確率は 0.47、線数 4 の場合は 0.80 であった (p.146, 脚注 4 に記載されている)。つまり、非同一問題でも線数 2 の場合は 0.53、線数 4 の場合は 0.20 の確率でサイクル数、成分数、最大次数、端点数、という 4 つの特徴では図形対を区別できないことを示している。こうした点をも勘案して、本実験・分析法には未解決な方法論的問題を内在していると考えられるようになった。

また分析結果からすると、神戸 (1996) の解釈に見られるようにその意味するところが明解とは言いがたい。これは因子分析法における因子の意味づけに見られるように、包括的

分析法に由来する本質的傾向とも考えられるが、解釈が主観的に流れ研究の実証価値を低めるといった批判も免れないであろう。この問題点は神戸 (1997a)における凹部における輪郭線の離断の議論にも適用される。

このような観点から、問題解決課題による原始的特徴抽出法に基づく研究は現在中断している。しかし、上にあげた未解決な問題点は原始的特徴抽出法に固有であって、問題解決課題自体の適切性、(6点、n線)図形を記述するために計算された各特徴値の正確性、あるいはそれら特徴値を利用した様々な研究方法の有効性とは関係しないことに留意されたい。

#### 4. 3. (6点、n線)図形を使用した心的回転の研究

##### 4. 3. 1. 図形認識における心的回転の役割について

Shepard and Metzler (1971)以来、同一性(あるいは異同)判断課題を使用した心的回転の実験では2つの図形が異なった方向に置かれてはいるが形態的に同一であるか、方向が異なるだけでなく形態が鏡映関係にあるかを判断させることが多かった(例えば、Yuille & Steiger, 1982; Steiger & Yuille, 1983)。その主たる理由は、問題の難易度を一定に保った非同一对として鏡映図形対以外を想定することが難しかったことにあると思われる。

心的回転の実験において、2つの図形が同時提示される手続きだけではなく、継時提示されたり(Cooper, 1975)、一方の図形(標準図形)は過剰学習されているとして提示されずに他方の図形(比較図形)のみ提示されたりする手続きも考案された(Cooper & Shepard, 1973; Corballis & Nagourney, 1978; Corballis & McLaren, 1984)。

**4. 3. 1. 1. 心的回転の普遍性についての学会発表** 心的回転は通常の物体認識の不可欠な要素なのか、限定された目的のみに使用される特殊な過程なのか、については判然としないという観点が存在する(例として、Ullman, 1996)。図形認知上での心的回転が占める役割を明らかにするために、神戸(1989a)は心的回転がどのような条件で出現するのかを(6点、n線)図形を使って検討しようとした。

従来、心的回転の生起は2図形間の角度差と同一性判断時間との関係から間接的に推定されることが多かった。本実験では心的回転の生起を、問題解決課題における回転操作の選択確率によってより直接的に測定しようとしたところに意義がある。同課題において許された操作は、「時計方向回転」、「反時計方向回転」、「線の入替え」であった。

問題種類としては、始発図形から左右いずれかの回転操作を選択するだけで目標図形まで到達が可能な回転可能問題と、左右の回転操作を選択するだけでは目標図形に到達できない回転不能問題が、提示確率をそれぞれ0.25と0.75となるように設定され、提示された(Figure 63)。回転可能問題は始発図形と目標図形の角度差が左右0°、60°、120°、180°のいずれかであり、各問題中の図形は線数1から6までのいずれかを持ち、それらは

ランダム順に等確率で提示された。

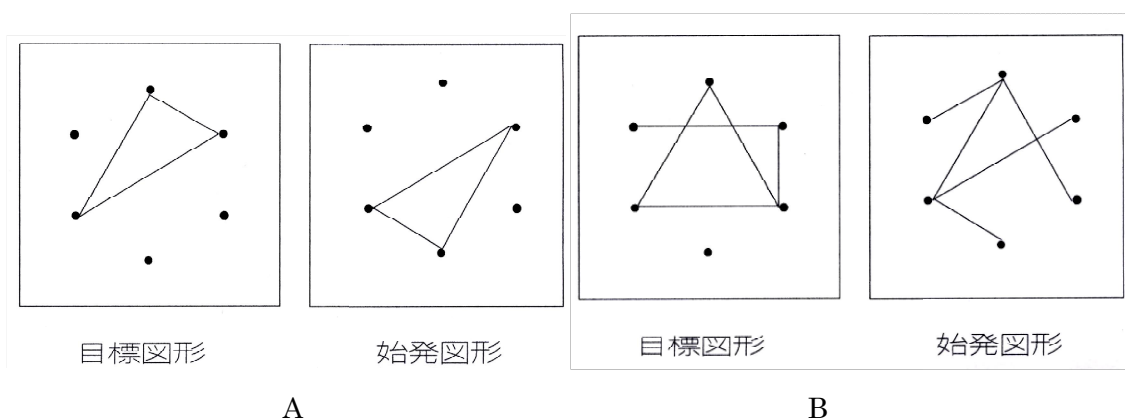


Figure 63. 神戸 (1989a) における回転可能問題の例 (A) と回転不能問題の例 (B)。

結果として、問題種類ごとの、全試行、第 1 試行、線数 1~3 までの全試行、線数 4~6 までの全試行における 3 種の操作の選択確率を Table 8 に示す。

Table 8 問題条件と試行条件による 3 種の操作の選択確率

試行	回転可能問題			回転不能問題		
	線の入替	左回転	右回転	線の入替	左回転	右回転
全試行	.642	.154	.204	.856	.063	.081
第 1 試行	.511	.210	.280	.821	.081	.098
線数 1~3 の試行	.447	.199	.355	.774	.107	.119
線数 4~6 の試行	.759	.127	.114	.888	.048	.066

この結果から、(a) どのような場合においても回転不能問題に比べて回転可能問題において左右の回転操作を選択する確率が高かった。この事実は少なくとも限定条件下では、人は方向に依存しない図形間の同一性に対する鋭敏性を有していることを示唆していると考えられた。(b) 一般に線数の多い図形ほど複雑と考えられるが、複雑図形に比べて単純図形での回転操作の選択確率が高かった。

このことは、単純図形では大まかな図形の全体的知覚が可能であるのに対して複雑図形ではそれが困難になるからではないかとされた。(c) しかし上記 2 点にもかかわらず、どの条件においても左右の回転操作に比して線の入替え操作の選好は明らかであった。

4. 3. 1. 2. 図形の複雑性が心的回転に与える影響についての学会発表 2. 3. 2. および 2. 3. 3. において論じられたように、心的回転において図形の複雑性が回

転速度に影響を与えるか否かという問題意識は、表象の性質に関する論争（2. 3. 1. および2. 3. 5.）にも関連して認知心理学上でも大きな問題となった。

神戸(1991a)では同一性判断課題を用いて図形の複雑性が心的回転の生起に与える影響を検討した。この課題では、水平方向に平行して同時提示された2つの(6点、 $n$ 線)図形を問題と称した。2図形の線数 $n$ は互いに同じであり、 $n$ は1から6までの数がランダムに割り当てられた。

2図形の形態は同じであるが提示される方向が互いに異なる同一問題、特定方向の軸に関して一方の図形と他方の図形が互に対称関係にある軸対称問題、同一問題でも軸対称問題でもない非同一・非軸対称問題、の3種類の問題が作成された (Figure 64)。同一問題の角度差および軸対称問題の対称軸はそれぞれ $\pm 60^\circ$ 、 $\pm 120^\circ$ 、 $180^\circ$ に設定された。実験参加者は提示された2図形が方向に係わらず同一か非同一かをなるべく迅速に判断することが求められた。

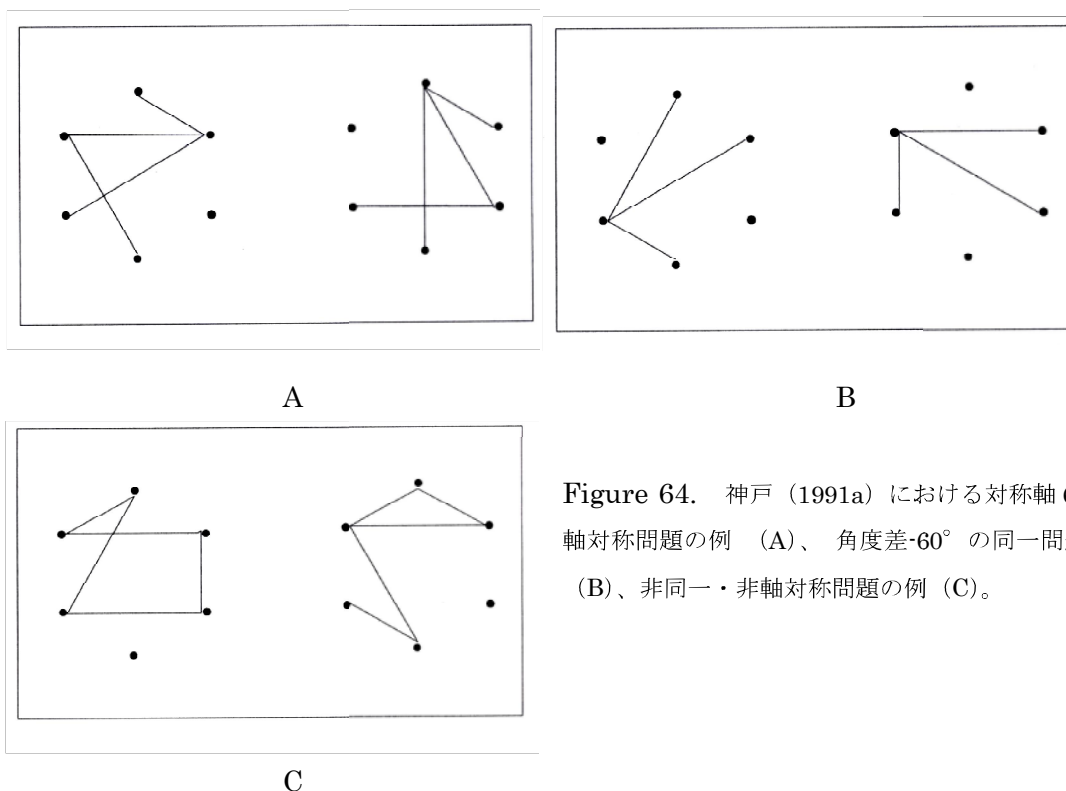


Figure 64. 神戸 (1991a) における対称軸  $60^\circ$  の軸対称問題の例 (A)、角度差  $60^\circ$  の同一問題の例 (B)、非同一・非軸対称問題の例 (C)。

Table 9 は主たる結果を示している。

線数の増大が図形の複雑性を代表しているとするならば、どの問題種類においても複雑性効果が存在することは明らかである。その中で、非同一・非軸対称問題は潜時と誤答率が最も小さく、軸対称問題は両者が最も大きく、同一問題はその中間であることが分かる。特に軸対称問題では中度複雑性を持った図形でも成績は悪く、特に線数 6 においては誤答率が 50% を越えており、当該問題数の少なさを考慮に入れても参加者はほぼ判断をランダ

ムに下したといえよう。

Table 9 問題種類および線数ごとの潜時と誤答率

線数	問題種類								
	同一			軸対称			非同一・非軸対称		
	<i>N</i> <sup>a</sup>	<i>M</i> <sup>b</sup>	<i>E</i> <sup>c</sup>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>E</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>E</i>
1	115	1.7	4.9	0 <sup>d</sup>	-	-	95	1.2	2.6
2	107	2.5	3.6	33	3.5	34	57	1.4	3.3
3	116	3.3	4.9	25	4.8	39	80	1.8	1.2
4	83	3.6	13.0	28	4.4	41	51	1.6	0.0
5	119	4.2	7.0	28	4.8	37	37	2.0	2.6
6	109	4.3	6.8	23	8.3	52	58	2.4	3.3

(注) <sup>a</sup> 該当問題数、<sup>b</sup> 平均潜時 (秒)、<sup>c</sup> 誤答率 (%)。 <sup>d</sup> 1 線図形では非同一・非軸対称問題は存在しない。

この反応崩壊の存在は一見すると、異なった方向の図形間の同一性判断は困難であることを示しているようでもある。しかし、同一問題を見ると線数 6 であっても潜時、誤答率とも極端に悪化はしておらずその同一判断が必ずしも困難とは言えないことを示している。

そこから考えられる仮説は、参加者は同一問題に対しては比較的早期に同一と判断可能であったのに対して、軸対称問題では同一か否かのチェックが遷延し、特に線数 6 においてはチェックが完了せず当てずっぽうに答えた、というものである。

この仮説に従えば、同一問題では厳格なチェックを必要としなかったのに軸対称問題では厳格なチェックを要求するある図形特性に実験参加者は気がついていて、ということが想定される。その図形的特性として最も考えられるのは、2 図形間に共通する複数の特徴が回転によっても同一性を保存できるか否かということではなかろうか？この問題は後に、心的回転の困難さに関する一連の研究において再度検討されることになった。

4. 3. 1. 3. 問題解決課題を使った非座標依存的記述の可能性についての学会発表 Corballis (1988)によれば、所与の図形に対しては座標系に依存しない既述がまず抽出され、それと長期記憶上の既存の図形の非座標依存的な記憶とが参照される。多くはこの段階で図形の同定ができるが、鏡映図形間の識別はこれによつてはできないとしている。Takano (1989)も同様に方向次元に関する情報は、方向拘束状態と方向自由状態の 2 値を持っているとして、心的回転は得られた情報が方向自由状態では不要であるが方向拘束状態では必要であると考えた。

そこで神戸(1993)は、非座標依存的記述、特にグラフ不変数等の特徴による記述、が心的回転に先んじて生じるか否かについて問題解決課題を使って検討しようとした。

始発図形と目標図形の対を問題と称するが、以下の 3 種の問題がランダム作成された。即ち、始発図形と目標図形が形態は同じであるが、異なった方向に置かれた同一問題、同一問題ではないが始発図形と目標図形の持つすべてのグラフ不変数が互いに同一の値を持つ同型問題、同一問題でも同型問題でもない非同一・非同型問題、である (Figure 65)。

同一性は同型性の特殊な場合と考えることができる。ただし実験計画上、同型問題は独立して準備されたものではなく、提示された非同一問題の中から結果分析の際に同型な問題を計算によって選び出し、これを同型問題として分析上で再定義したものである。なお、線数 1 においてはすべての図形は 1 つの同型集合に属するから、すべての非同一問題は同型問題となる。

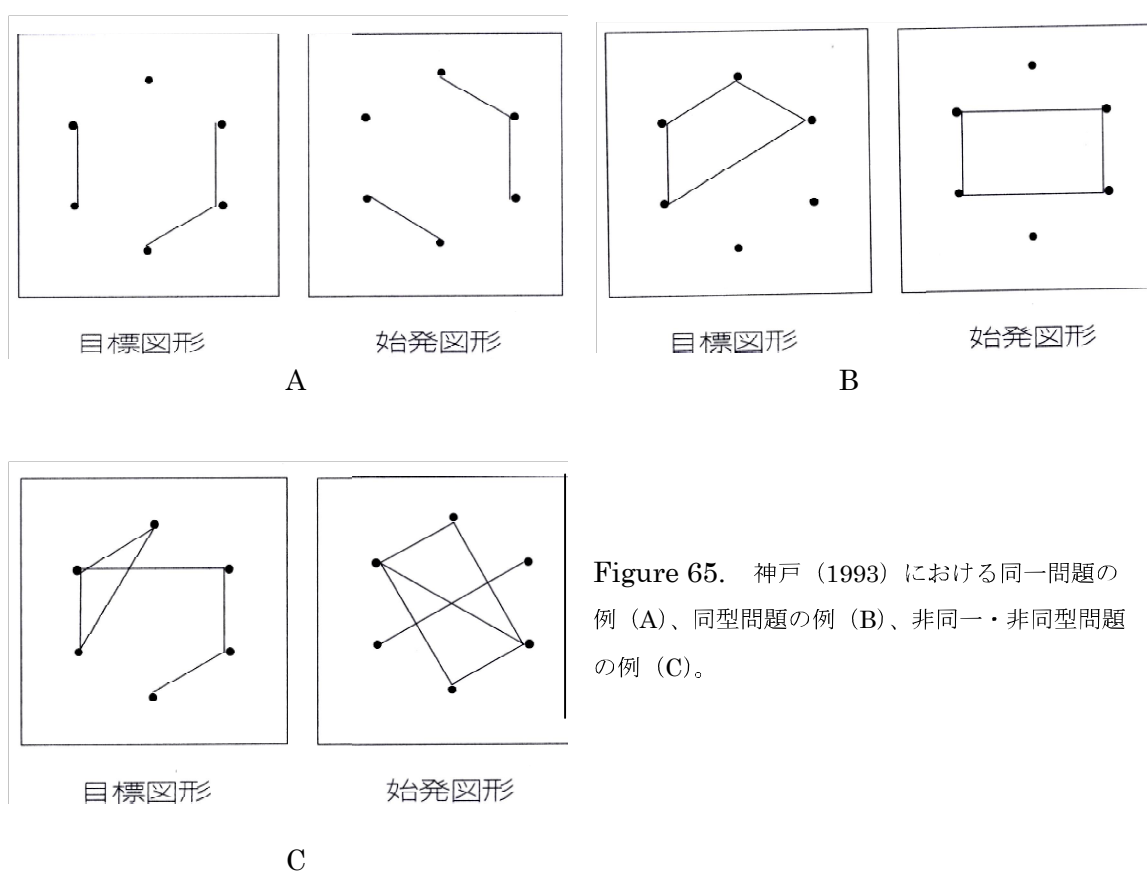


Figure 65. 神戸 (1993) における同一問題の例 (A)、同型問題の例 (B)、非同一・非同型問題の例 (C)。

問題種類に関する同一性や同型性といった情報は実験参加者には教示上で説明されなかった。問題解決のために許された操作は、「時計方向回転」、「反時計方向回転」、「線の入替え」であった。問題の線数は 1 から 6 であった。

もし Corballis (1988) の言うように図形認知の初期段階で非座標依存的な記述 (本実験に限定すれば、グラフ不変数による記述) がなされるならば、初期段階において実験参加者はすべてのグラフ不変数が同値となる同型問題と同一問題の違いは区別できないはずである。一方、不変数の値が異なる同型問題と非同一・非同型問題の違いは区別することがで

きるはずである。

また、「回転」操作は図形の同一性を、それ故同型性をも、保存するが、「線の入替え」操作は同型性を保証しない。同一問題では 3 回以内連続して「回転」操作を選択することによって目標状態に到達することができる。それ故、特に複雑図形では「回転」は有効な操作と考えられる。その結果 Corballis (1988)の主張に従えば、同一問題と同型問題では「回転」操作が選好され、非同一・非同型問題では「線の入替え」が選好されることが予想される。

分析手続き上、同一問題や同型問題の解決過程の第 1 試行において、実験参加者が「線の入替え」操作を選択した場合には、それ以降更新された図形では、始発図形では存在していた目標図形との同一性や同型性がもはや保存されなくなる可能性がある。そこで結果の分析にあたり第 1 試行で選択された操作の確率を主たる測度とし、第 2 試行以後に選択された操作は分析上無視された。時計方向と反時計方向で回転操作の選好は存在しなかったため、線の入替えの選択確率のみを示せば問題種類ごとの操作の選択傾向を表すのに十分であった。

結果は Table 10 に示されている。

Table 10 線数ごと、問題種類ごとの第 1 試行での「線の入替え」の選択確率

線数	同一問題	同型問題	非同一・非同型問題
1	.603	.917	---- a
2	.425	.823	.940
3	.379	.800	.883
4	.628	.800	.784
5	.604	.900	.874
6	.675	.777	.804

(注) a 線数 1 のときすべての非同一問題は同型問題である。

さらに本実験では付加的な測度として反応潜時も記録したが、各線における平均潜時は、心的回転に関する同一性判断実験の潜時と比べて線数 1 のときを除いて早かった。

本実験ではライトペンタッチ、対応する同一性判断課題ではマウスクリックという反応形態の違いを考慮に入れると、本実験で実験参加者は各図形の認知過程の比較的早い段階で操作を選択したと考えられよう。

操作の選択確率に関しては、「線の入替え」の確率が高いことは反対に「回転」操作の選択確率が低いことを示していることに注意されたい。そこで、同型問題と非同一・非同型問題との「線の入替え」確率に関する比の検定を行ったところ、線数 2 から 6 までいずれにおいても有意差はなかった。一方、同一問題と同型問題では、線数 6 の場合と限界的には線数 4 の場合( $p = .05$ )以外は、すべて 1% 近傍あるいはそれ以上の確率で有意差が認めら



れた。

同型問題と非同一・非同型問題の間で操作の選択確率に差がなかったこと、および同一問題と同型問題の間で選択確率に差が全体として存在しているという結果は、図形認知の初期段階の処理に関する Corballis (1988)の主張を否定するものといえる。更にこの解釈は、神戸(1983b)における予備的な実験結果に関する総括とは一致する。

同一問題においても「回転」が選好されなかったことや全体としてほとんどの場合に回転が選好されなかった事実は、人は図形（特に複雑な図形）全体に影響を及ぼす変形を選好せず、図形の部分に対する小変形を積み重ねようとする傾向があることを示しているように見える。その理由として、心的回転には多大な認知処理上の資源が必要とされるため、複雑図形においては心的回転を実行することへの困難が生じたといえるのではないかと推察された。

#### 4. 3. 2. 心的回転とアナログ・命題論争を巡る研究

4. 3. 2. 1. 同一性判断課題による心的回転の役割についての論文 Shepard and Cooper (1982)等のアナログ派と Pylyshyn (1979)等の命題派の議論を待つまでもなく、心的回転実験はアナログ・命題論争の主戦場となった。Kanbe (1999b)は神戸 (1991a)で発表されたデータを基にアナログ的説明、命題的説明のいずれがより妥当性を持つかを評価しようとした理論的論文である。

##### 前提

ここで再度 Johnson-Laird (1983)のアナログ的見解 (2. 3. 1.)を引用してみよう。

1. 心像 (image) を経験する際の心的過程は、物体や描画の知覚経験での心的過程と類似 (similar to)している。
2. 心像は特定の視点からの状況や物体についての不可分で統合された表象(a coherent and integrated representation)であり、その表象下で心像の感知可能な各要素は一回限りではあるが、全要素を同時的に生起させることができ、知覚と類似して走査も可能である。
3. 心像は回転や引き延ばしのような連続的な心的変換の対象となり、心的な過程に経過する途中段階は現実の物体が物理的変換中に経過する途中段階に対応している。それ故、心像の小さな変化は物体の小さな変化と対応している。
4. 心像は物体を表象する。心像はその構成部分間の構造的関係が物体の構成要素間の関係と対応しているという意味で相似的(analogical)である。(p147)

これによると、見解 2で「心像は特定の視点からの状況や物体についての不可分で統合された表象」とされるが、そこには物体の表象される範囲についての明確な指定はない。そこで Kanbe (1999b)はアナログ的説明に関しては大局アナログ的立場によるものと局所アナログ的立場によるものとに2分化をし、大局アナログ的立場で表象されるのは当該の状況や物体そのものであるのに対して、局所アナログ的立場では必ずしも物体全体ではな

く物体の限られた領域に対しても表象化可能であるとした。即ち、この局所的説明では、アナログの見解の 2. を、「心像は特定の視点からの状況や物体のある領域についての不可分で統合された表象である」へと修正することが必要となった。しかし、この局所的説明においてもアナログの見解の他の 1.、 3.、 4. の観点はそのまま保たれている。

次に Johnson-Laird (1983) の命題的見解 (2. 3. 5.) を再度引用しよう。

1. 心像に対応した心的過程は記号列によって記述可能であるが、それらは物体を知覚する際の過程と類似している。
2. ある物体の各部分はその物体に関する記述を作り上げている多くの異なった命題によって参照可能である。そのような記述は、推論のための一般手続きを導くための一連の論理計算式 (a set of expressions in a logical calculus) として表現可能かもしれないし、意味ネットワークとして表現可能かもしれない。
3. 命題的表象は離散的、計数的性質を有しているが、その中の何らかの変数を漸増させることによって連続的過程も表象可能である。・・・それ故、表象上の微細な変化は物体の見えの小変化に対応させることができる。
4. 命題は物体に関する真偽を示しているが、それらは抽象的性質であるので語や状況に直接的に対応しているわけではなく、また命題の構造は物体の構造とは類似性を持たない。

(Pp.147-148)

特にその中の見解 2. では、「物体の各部分は・・・多くの異なった命題によって参照可能である」、としている。しかしこの文から明らかなことは、命題という用語は実験結果をを理論的に予測するには具体性に欠け、一般的過ぎることである。そこで、Kanbe (1999) では命題的表象の形式を特徴による記述という形式に特殊化した上で、実験結果を理論的に予測しようとした。

なお、特徴という用語はここでは、「真理値や非負整数値や関係値によって表現される所与の図形の持つ性質」という意味で使っている。より厳密に言えば、特徴が命題であるためには、特徴はただ 1 つの肯定的表現を含んでいなければならない。言い換えると、刺激図形に関して可能な特徴のうち、1 つだけが真で、他の特徴は偽となる。例えば、刺激図形が三角形の場合、「刺激図形は線数が 3 である」のときのみ真であり、線数が 0 である、1 である、2 である、4 である、・・・という特徴はいずれも偽である。

本研究では、主軸方向の異なった (6 点、 $n$  線) 図形対を使った同一性判断課題において、参加者の実験結果を大局アナログ、局所アナログ、特徴比較的立場のどれが理論的に一番よく説明するかを検討しようとした。

大局アナログ的立場は、心像は全体的 (holistic) で、外的物体と構造的類似性を持ち、その処理過程は連続的である、という点を前提としているので、当該の課題において採用される表象上の処理は心的回転となる。

局所アナログ的立場は、物体の心像は不可分性や統合性の基準は完全には満たしていないが、構造的類似性や処理における連続性は満たしている。それ故当該の課題における表象上の処理として、心像の全体ないし部分に対する連続的変換（心的回転を含む）が行われると考えられる。心像の離断が生じたときは、変換後再接合を行う際に部分間の方向整合性の確認が必要になる。

一方特徴比較的立場では、対提示された図形の一方を標準図形、他方を比較図形と呼ぶとき、標準図形を記述する特徴値集合と対応する比較図形を記述する特徴値集合を比較し両集合が同一であるか否か決定することが必要な前提である。

両集合がどのような要素（即ち特徴）を含むべきかについて決定するためには2つの可能性が想定される。1つは、比較に利用される特徴が図形対の提示前に既に決定されている場合である。これを固定集合と呼ぶが、この場合、図形対を互いに分別するためには集合の大きさが十分大きくなくてはならず、複雑性の増大とともにその大きさは爆発的に増大してしまう。そのため固定集合については実行可能性が低いとして本研究では取り上げなかった。

特徴集合に関する他の可能性としては、図形が提示された後で比較に使用される特徴が決定される場合である。このようにして作られた特徴集合を変動集合と呼ぶが、その場合は両集合間で特徴対を比較するのに先立ち、提示図形対に対してある種の粗い分析を行って、候補となる特徴を選択していくことが論理的に必要である。本研究では特徴比較的立場の前提条件として、変動集合を想定した。

それぞれの立場は、潜時と誤答率でみた問題差効果、潜時と誤答率でみた線数効果、潜時でみた角度差効果、の各測度に基づき各実現可能性が評価された。

## 方法

18名の女子短期大学生が実験に参加した。

試行ごとに提示される図形対を問題と称したが、同一問題、軸対称問題、非同一・非軸対称問題、の3種の問題が用意された。

同一問題は標準図形と比較図形の形態は同じであるが、2つの図形の置かれた方向性が異なるものをいう。標準図形と比較図形との前額平行面での角度差は、時計回り  $60^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $180^\circ$ 、反時計回り  $60^\circ$ 、 $120^\circ$  のいずれかであった。角度差  $0^\circ$  の同一図形対は同一問題集合から排除された。軸対称問題はある与えられた軸に対して図形間で対称な2つの図形からなっていた。ここで与えられた軸とは、右方水平方向に対して  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $150^\circ$  のいずれかであった。もし軸対称問題に選ばれた図形対が同時に同一図形対であった場合、当該図形対は軸対称問題集合から排除された。同一でも軸対称でもない図形対は非同一・非軸対称問題として分類された。

初期設定において同一問題、軸対称問題、非同一・非軸対称問題の出現比率は0.5、0.25、0.25としたが、いくつかの問題が同一問題や軸対称問題から排除されたため、実際の出現

比率はここから逸脱している。

各問題の線数は1から6までランダムに割りつけられた。しかし問題内での2図形の持つ線数は同一とした。

実験参加者毎に異なった問題集合が与えられた。各問題集合は、問題条件、同一問題における角度差条件、線数条件が全てランダム化された順番で提示された。

実験参加者には提示された図形対が、一方の図形をその中心（より厳密には非可視的正六角形の中心）に関してある角度回転させたとき2つの図形の形態が一致したとき両図形は同一であり、いかなる角度回転させても形態が一致しないとき、両図形は非同一であると教示した。実験参加者はCRT上に同時提示された図形対が同一であるか、非同一であるかをなるべく迅速かつ正確に判断するように要求された。

#### 各立場に基づく予測

与えられた実験課題に対して、大局アナログ的立場、局所アナログ的立場、特徴比較的立場ではどのような処理が理論的に必要とされるかという条件に基づき、それぞれの処理段階が想定された。

大局アナログ的立場では以下の諸過程が必要と考えられた。

- 段階1. 刺激図形（少なくとも比較刺激）の視覚像(percept)の視覚的短期記憶(VSTM)への登録。
- 段階2. 両図形の主軸の決定。
- 段階3. 比較刺激像の回転。
- 段階4. 回転された比較刺激像と標準刺激の視覚像との比較。

上記の段階を仮定することにより、以下の予測が導出された。

- 予測1. 同一問題と軸対称問題では共に図形対間に対応する主軸が存在するので、正しい判断が生じるのは段階4. の比較刺激像と標準刺激像との鋳型照合を行った後であるが、非同一・非軸対称問題では図形間に対応する主軸が存在しない可能性が高いので、段階2. による主軸の決定が成立せずにそこで処理が中止してしまい、その結果、非同一であるとの判断が生じる可能性が高い。それ故潜時は、非同一・非軸対称問題が一番小さく、同一問題と軸対称問題では差はないであろう。.
- 予測2. 上記の4処理段階では対応する仮定が存在しないので潜時に関する複雑性効果は出現しないであろう。
- 予測3. 強い予測ではないが、同一問題と軸対称問題では判断は鋳型照合によるので両問題間に誤答率の差はないであろう。非同一・非軸対称問題では経過する処理段階が少ないので処理エラーが出現する確率は他の2問題に比べて低いであろう。
- 予測4. 強い予測ではないがいずれのレベルの複雑性を持った問題も段階1. から2. まで、ないし段階1. から4. まで全処理過程を1回限り経過するので、誤答率は複雑性

によって影響を受けないであろう。

予測 5. 同一問題においては心的回転による潜時に関する角度差効果が出現するであろう。

局所アナログ的立場からは以下の処理過程が想定された。

段階 1. 標準図形と比較図形の視覚的短期記憶への登録。

段階 2. 両図形像への粗い分析。

段階 3. 表象平面における初期的指定。比較図形像の部分への解体、解体された部分像の移動先である表象平面の位置の指定、表象平面上で部分像が並ぶべき軸の指定が少なくともこの段階で必要な処理である。

段階 4. 不可分性や統合性保ったままの部分比較図形像の、回転を含む変換。

段階 5. 部分像の適切な結合の確認。

段階 6. 表象平面上での対応する部分標準図形像と部分比較図形像の高解像度の照合。もし両部分像が一致すれば、処理は段階 3. に戻りそこから段階 6. までの処理を繰り返す。すべての部分についての照合が一致すれば「同一」の判断が下り、そうでなければ「非同一」の判断が下る。

このような処理段階説からは以下の諸点が予想された。

予測 1. 照合の不一致は、非同一・非軸対称問題では段階 2. ないし 6. において検出されるであろうし、軸対称問題においては段階 6. において検出されるであろう。一方同一問題ではすべての部分像において照合の一致が尽くされねばならない。それ故、反応潜時は非同一・非軸対称、軸対称、同一問題の順に大きくなるであろう。

予測 2. 刺激図形の複雑性が増大すると 6. において高解像度の照合を行うために、より多くの部分への解体が必要になり、その結果経過すべき処理段階の数も増えて、反応潜時も増大するであろう。

予測 3. 誤答率は副次的な測度ではあるが、それは非同一・非軸対称、軸対称、同一問題の順に大きくなるであろう、また誤答率の複雑性効果も予想されよう。

予測 4. この仮説では角度差効果が生じるとすれば段階 4. のときのみである。それ故、潜時に関する角度差効果は存在するとしてもあまり顕著ではないであろう。

特徴比較的立場からは以下の段階が想定された。

段階 1. 標準図形と比較図形に対する粗い分析。この段階を設定する目的は今後候補選定を今後候補選定すべき特徴集合を活性化することにある。

段階 2. 標準図形に対する候補集合の各値を計算する。

段階 3. 比較図形に対する候補集合の各値を計算する。

段階 4. 標準図形と比較図形の候補集合間で特徴値の比較を行う。

段階 5. 処理の継続か中断かを決定する。標準図形・比較図形間で不変数値が異なるか、位置特徴の不斉合な変位が生じたとき（これらを合わせて非同一の特徴パターン

と称する)、および特徴比較の数が設定された上限に達したときには処理を中断し、それ以外の場合は処理を継続する。

という段階が想定された。

このような処理段階説からは以下の予測がなされた。

- 予測 1. 非同一・非軸対称問題では特徴値間で非同一的特徴パターンが存在することから、正しく非同一と判断することが可能である。一方、軸対称問題では非同一的特徴パターンが存在するのは位置ないし方向特徴のみである。そのため候補集合中において非同一的特徴パターンに遭遇する可能性が遅れ、非同一・非軸対称問題に比べて判断は遅延するであろう。一方、同一問題では非同一的特徴パターンに遭遇することなく特徴比較を終了することから、この問題の潜時が最大になるであろう。
- 予測 2. 軸対称問題と非軸対称・非同一問題では、図形の複雑性が增大すると候補集合中で非同一的特徴パターンに遭遇する可能性が遅くなるであろう。それ故、これらの問題においては潜時に関する複雑性効果が生じるであろう。一方、同一問題において正しい判断が生じるのは、候補集合の全特徴比較を行いそこに非同一的特徴パターンが存在しない場合なので、複雑な図形の場合は特徴比較数の上限に達した後は潜時が頭打ちになるが、比較的単純な図形の範囲では複雑性効果が生じるであろう。
- 予測 3. 副次的な測度ではあるが、誤答率は特徴比較の数が増えるに従い増大すると考えられるから、問題差は潜時と同様な傾向を示すであろう。即ち、誤答率は非軸対称・非同一問題、軸対称問題、同一問題の順に大きくなると予測されよう。
- 予測 4. 位置特徴や方向特徴の計算には方向や角度は影響しないと考えられるので潜時に関する角度差効果は出現しないであろう。

## 結果

実験結果によれば、線数を込にした平均反応潜時は非軸対称・非同一問題は 1.71 s、同一問題は 3.31 s、軸対称問題は 5.04 s の順で大きくなった。また各問題間の差も有意であった：非軸対称・非同一問題と同一問題では  $t(1025) = 11.46, p < .01$ ；非軸対称・非同一問題と軸対称問題では  $t(513) = 16.15, p < .01$ ；同一問題と軸対称問題では  $t(784) = 6.76, p < .01$ 。

線数を込にした問題ごとの誤答率も同じ順で大きくなった。非軸対称・非同一問題では 2.0%、同一問題では 6.6%、軸対称問題では 40.9%、でありそれらの差はすべて有意であった ( $ps < .01$ )。

図形の複雑性を反映していると考えられる線数が増大すると、潜時はそれに伴って増大する、という線数効果はすべての問題種類に明白に存在した (Figure 66)。

すべての角度を込にした線数に対する潜時の 1 次回帰係数を計算すると、非軸対称・非

同一問題では 205 ms/line、同一問題では 536 ms/line、軸対称問題では 924 ms/line であり、それら係数はすべて有意であった ( $ps < .01$ )。

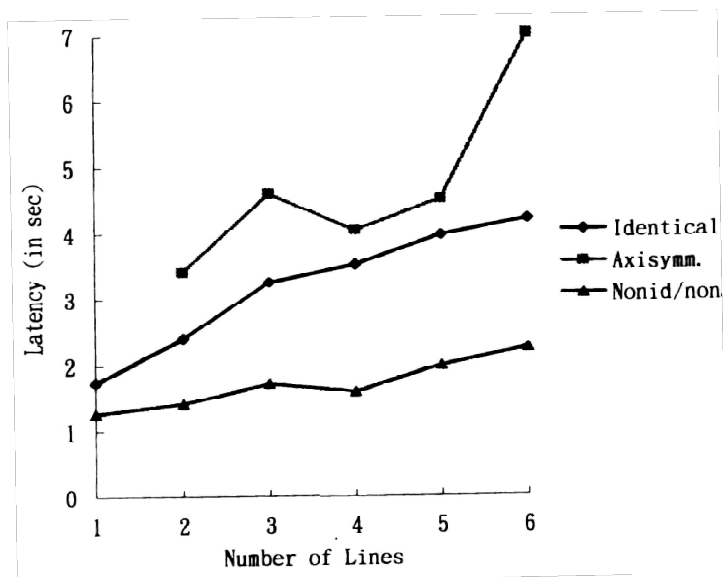


Figure 66. 問題ごとの線数の関数としての潜時。Kanbe (1999)より引用した。

同様に誤答率の線数効果を示しているのが Figure 67 である。比率に関する正規分布検定をしたところ、同一問題では線数 4 は 5%水準で線数 1、2、3 と有意に異なっていたが、それ以外の線数の組み合わせには有意差はなかった。軸対称問題ではどのような線数の組み合わせにおいても誤答率に差はなかった。さらにランダムに判断したときに得られる理論的な誤答率 0.5 と実際に得られた誤答率にはどの線数においても有意差はなかった。一方、非軸対称・非同一問題では線数 4 において誤答率 0 であったので、線数 4 と他の線数と組み合わせた検定は行わなかったが、線数 4 を含まない線数同士の組み合わせでは有意差は生じていなかった。

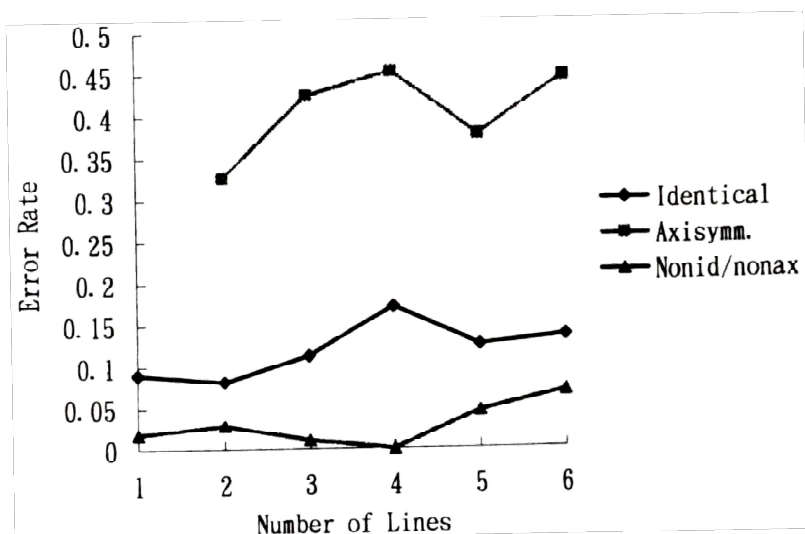


Figure 67. 問題ごとの線数の関数としての誤答率。Kanbe (1999)より引用した。

次に同一問題に関して線数ごとに角度差に対する潜時の一次回帰係数を計算した。その際、時計方向  $60^\circ$  と反時計方向  $60^\circ$ 、時計方向  $120^\circ$  と反時計方向  $60^\circ$  の潜時はそれぞれ合併させた。なお計算には誤答を含めなかった。

その結果得られた係数は、線数 1 では  $1.47 \text{ ms} / ^\circ$ 、線数 2 では  $6.05 \text{ ms} / ^\circ$ 、線数 3 では  $3.55 \text{ ms} / ^\circ$ 、線数 4 では  $0.21 \text{ ms} / ^\circ$ 、線数 5 では  $10.06 \text{ ms} / ^\circ$ 、線数 6 では  $11.32 \text{ ms} / ^\circ$ 、全線数を込にした場合では  $6.18 \text{ ms} / ^\circ$  であった。このうち係数が有意であったのは、線数 2 の  $t(105) = 2.04, p < .05$ 、および全線数込みの  $t(647) = 2.82, p < .01$  だけであった。そこで全数込みの条件で時計方向と反時計方向を合併して同一問題の角度差に対する平均潜時を見たところ、 $\pm 60^\circ$  で  $2.98 \text{ s}$ 、 $\pm 120^\circ$  で  $3.42 \text{ s}$ 、 $180^\circ$  で  $3.70 \text{ s}$  となり、潜時は  $\pm 60^\circ$  と  $\pm 120^\circ$  で  $t(508) = 2.02, p < .05$ 、 $\pm 60^\circ$  と  $180^\circ$  の間で  $t(388) = 2.78, p < .01$ 、の有意差があった。しかし  $\pm 120^\circ$  と  $180^\circ$  の間では有意ではなかった  $t(396) = 1.0, p > .05$ 。

#### 考察

上記の結果から以下のような考察がなされた。

潜時に関する問題差は明白に存在し、潜時は非軸対称・非同一問題、同一問題、軸対称問題の順に増大した。この結果はどの立場からの予測とも完全には一致しなかった。

特に大局アナログ的立場は心的回転と鋳型照合により図形対の同一性が決定されるとするので同一問題と軸対称問題の潜時差や誤答差を説明することは難しかった。

一方、局所アナログ的立場では事後的な仮定を立てることによって同一問題と軸対称問題の間での潜時・誤答差を説明する 2 つの解釈可能性が成り立った。

その 1 つは、人が図形の左右方向の違い(handedness)を識別できない(Corballis & McLaren, 1984; Corballis & Cullen, 1986)としたならば、部分的な変換を繰り返しても全体の形態を保存するための必要な条件である「表象された部分図形間において適切な接合方向を保存していることの確認」が満たされなくなってしまう。その結果、軸対称問題の潜時が延引するという可能性である。実際、軸対称問題で誤答率が全線数において高いという事実は、実験参加者が部分図形の局所方向を適切な方向へ調整することの難しさを示唆している。

局所アナログ的立場からの問題差に関するもう 1 つの解釈は、軸対称問題において粗い分析結果が「非同一」となり、部分図形像間の高解像度の照合結果が「同一」となったとき、比較図形の部分像の適切な結合に関する確認を含めて、標準・比較部分図形像間の高解像度の照合チェックを繰り返してしまう、という可能性である。

特徴比較的立場によれば、同一問題と軸対称問題の複数の特徴位置を確定するためには、前者では特徴位置がすべて一定の角距離分変位するの確認すればよいのに対して、後者では第 1 の図形では対称軸から特徴位置までの角距離を測定し、第 2 の図形において対応す



る対称軸から反対方向に、第 1 図形で測定された角距離分を変位させてみて、その位置に第 1 の図形の特徴点が存在することを確認する必要がある。このような処理を複数の特徴に対して施すことを考えると非常に複雑な処理が要求されていることが分かる。そのため軸対称図形の潜時の延引はこのような複雑な変位パターンを追跡・確認することの困難さを表していると解釈することもできる。

但し、特徴比較的立場からいえば、実験参加者が軸対称問題を「非同一」と判断するためには、そのような複雑な変位パターンを追跡する必要はなく、最初の非斉一な変位に遭遇した時に「非同一」と判断すれば十分である。そのため、特徴比較をこのような系列的で 1 回限りの過程と見なす限り、大きな線数における軸対称問題の困難性をこの立場からは十分には説明することはできない。

潜時に関する線数効果の存在は 3 種の問題すべてに明らかであった。しかし回帰係数は問題種類によって大きく変動していた。このことは問題差をも同時に示している。この結果は局所アナログ的説明と特徴比較的説明とは整合するが、大局アナログ的説明とは整合しない。

誤答率は潜時と相互作用を生じ副次的な測度であるので、それに基づく予測力も強くはない。それを前提に問題差を検討すると、非同一・非軸対称、同一、軸対称問題の順に誤答率が上昇するという結果を予測した立場はなかった。

線数は誤答率に明白な影響を与えているといえない。この結果は大局アナログ的な立場をもっともよく支持している。

同一問題に関する角度差が潜時に与える効果をみると、有意だったのは全線数を含んだ条件と線数 2 の場合のみであった。線数 2 の場合の線形回帰係数は  $6.05 \text{ ms} / ^\circ$  であり、類似した実験条件を持つ Shepard and Metzler (1988) の係数  $5.8 \text{ ms} / ^\circ$  とほぼ同等の値であり心的回転の生起も推測される。一方、線数ごとの回帰係数を比較すると、線数 5 と 6 では  $10 \sim 11 \text{ ms} / ^\circ$  とほぼ一定であったが、線数 1 から 4 の領域では不規則に変動していた。そのため、線数 2 において心的回転が起こったと想定してよいのか、それとも偶然にそのような係数をとったのかについての判断が出来なかった。そのため本研究では心的回転が同一性判断課題において採用されたか否かについての判断を保留した。

#### 総合的考察

ここで、大局アナログ、局所アナログ、特徴比較的立場の各実現可能性を、得られた結果に基づいて評価しようとするものである。Table 11 は各立場からの予測と得られた結果をまとめたものである。

Table 11 Kanbe (1999)に関する認知処理の各立場による予測と結果

効果	予測		結果
	大局アナログ	局所アナログ	
		特徴比較	
問題差 (潜時)	非同<軸対=同一	非同<軸対<同一 <sup>1</sup>	非同<同一<軸対
(誤答)	w 非同<軸対=同一	w 非同<軸対<同一	非同<同一<軸対
線数 (潜時)	非同：-	非同：+	非同：+
	軸対：-	軸対：+	軸対：+
	同一：-	同一：+	同一：+
(誤答)	非同：w -	非同：w +	非同：-
	軸対：w -	軸対：w +	軸対：-
	同一：w -	同一：w +	同一：-
角度差 <sup>2</sup>	+	w +	±

(注) ここで、非同一・非軸対称問題を非同、軸対称問題を軸対、同一問題を同一、と略記した。また、w は予測力が弱いことを、当該効果が一は不在であること、+は存在すること、±は決定不能であること、を意味している。

<sup>1</sup> 事後的な仮定を設けることにより結果の解釈は可能である。

<sup>2</sup> この効果は同一問題のみに関するものである。

留意すべきは展開された各立場からの予測はすべて同等の予測力や診断力を持っているわけではないことである。また、厳密に結果と一致する予測を立てた立場も存在しなかった。

大局アナログ的立場は、潜時に関する問題差と潜時に関する線数効果についての予測を失敗した。誤答率は予測性が弱い。大局アナログ的立場は問題差に関する説明を失敗したが、線数効果については成功した。角度差効果は生起が不確定であったため評価を保留した。

局所アナログ的説明に関しては、当初の潜時および誤答率についての問題差の予想には失敗した。しかし、事後的な仮定を設けることによってこれらの結果を説明することが可能になった。潜時に関する線数効果は正しく予測することに成功したが、副次的測度とはいえ、誤答率に関する線数効果を説明するのには失敗した。角度差効果については評価を保留した。

特徴比較的立場に関しては、潜時と誤答率に関する問題差を説明するのに失敗した。潜時に関する線数効果についての予測は結果と整合性を持つが、誤答率に関する同効果は整合性を持たなかった。角度差に関する評価は差し控えられた。

総括的に評価すると、副次的測度である誤答率に関する線数効果のみが整合的な大局アナログ的立場が一番成り立ち難かった。一方、副次的な誤答率に関する問題差効果と線数効果の説明には局所アナログ的立場も特徴比較的立場も失敗したが、両立場とも潜時に関する線数効果の説明には成功した。むしろ、局所アナログ的立場の特徴比較的立場に対する優位性は、事後的仮定を設けたときに前者は問題差における軸対称図形の困難性を説明可能であるのに、後者では難しいことにある。

猶、本研究では同一問題の潜時に関して角度差間で  $t$  検定による有意差検定を組み合わせ適用した。しかしこの適用は不適切であることを認識したので以後の研究では分散分析後の同時比較を適用するようにした。

**4. 3. 2. 2. 同一性判断課題による心的回転適用の普遍性に関する論文** Kanbe (2001)では、(6点、2線)、(6点、3線)、(6点、4線) 図形対の同一性判断に関して心的回転が普遍的に採用されるのか否かを検討しようとした。

#### 前提

回転した図形の認知に関して、全体的変換(即ち、心的回転)に基づく説明と特徴比較に基づく説明、の2種の説明法が前提された。

ある心像を心的回転するとそれは連続的かつ非分析的に進行する。また図形の心像は対応する現実の図形の持つ凝集性と統合性と類同性を有している。2図形間の同一性判断は、心的回転を受けた一方の図形の心像と他方の図形の視覚像(percept)との鋳型照合の結果下される。もし心的回転が実行されたなら角度差効果が生じる。当初のアナログ全体的説明

によれば心的回転の過程は図形の複雑性によって影響を受けない。

特徴とは所与の図形を局所的ないし大局的に記述するような観点をいい、ある非負整数値によって表現可能である。特徴には図形を回転したとしてもその値が不変であるような図形の深層構造を表わす不変的特徴 (**invariant features**)と、位置情報や方向情報のように図形の回転によってその値が変動する相対的特徴 (**relational features**)がある。もし所与の 2 図形に関して、同一の値を持つ不変的特徴の数が増大すればその 2 図形が同型である可能性が増大する。それに加えて、もし 2 図形間で位置変位量が同一であるような特徴の数が増大すればその 2 図形が同一である可能性が増大する。特徴による同一性判断では心的回転は必要がないために角度差効果も出現しない。一方、所与の 2 図形が複雑な場合、それを記述するために特徴数も増えなければならない。そのために特徴値を計算するための時間が増大し、複雑性効果が生じることが予測される。

Takano (1989)は情報タイプ理論を提唱したが、その中で、方向自由状態と方向拘束状態、原素状態と要素結合状態、という 2 元の組み合わせで図形は指定可能であるとした。そして方向自由情報が異なった 2 図形間の同定には心的回転が不要であると考えた。とりわけ方向状態に関して言えば、不変的特徴は方向自由情報を有しており、相対的特徴は方向拘束的情報を有している。この点で本実験は彼の情報タイプ理論の一般性を問うものでもある。

## 方法

19 名の女子短期大学生が実験に志願した。

刺激として同時提示された (6 点、 $n$  線) 図形の対を問題と称する。問題は線分を指定する原始点对をランダムに割りつけることにより作成された。

2 種類の問題が一樣ランダムに作成された。同一問題とは同時提示された図形対に関して、形態は互いに同じであるが提示方向が反時計方向に  $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $240^\circ$ 、 $300^\circ$  のいずれかの角度差を持った対をいい、非同一問題は同一問題以外のすべての問題を含んでいた。同一問題における各角度差も一樣ランダムに割りつけられた。

図形対間で線数は常に同じであり、同一問題における各角度差条件、および同一問題と非同一問題の出現はすべて等確率で割り当てられた。

2 から 4 の線数を持った問題の出現比率は当初 (6 点、 $n$  線) における全図形数の比に対応した  $1 : 4.3 : 13$  を割り当てたが、図形上の拘束条件により実際の出現比率は  $1 : 3.2 : 9$  となった。問題種類、線数、角度差は実験参加者ごとに上記の方法でランダムに決定された。

参加者にはそれぞれ異なった問題集合が与えられた。全参加者に提示された問題総数は 2 線図形では 511、3 線図形では 1684、4 線図形では 4645 であった。非同一問題中で軸対称問題は 2 線図形では 6、3 線図形では 12、4 線図形では 10 であった。各実験参加者は CRT 上に提示された図形対が同一であるか非同一であるかをなるべく正確かつ迅速に判断して

キーを押すことが求められた。実験は同一反応と非同一反応に割り当てられたキーを交替させるために2セッションに分かれ、各参加者に各セッションで練習問題30、テスト問題180、全部で420問題が提示された。

### 結果

Figure 68 は同一問題の各線数における角度差の平均反応潜時に与える効果を示している。実験参加者と線数を込にした条件で得られた時計方向の傾きと反時計方向の傾きには差がなかった。そのため  $60^\circ$  と  $-60^\circ$ 、 $120^\circ$  と  $-120^\circ$  の潜時は重ね合わせを行って  $0^\circ$  から  $180^\circ$  までの潜時の線形回帰分析を行った。その結果、線数2では角度に対する潜時の傾きは  $.001 \text{ ms}/^\circ$ 、線数3では  $.000 \text{ ms}/^\circ$ 、線数4では  $.001 \text{ ms}/^\circ$ 、でありそれらの傾きはいずれも有意ではなかった。

Figure 69 は同一問題と非同一問題についての各線数における平均潜時を示している。

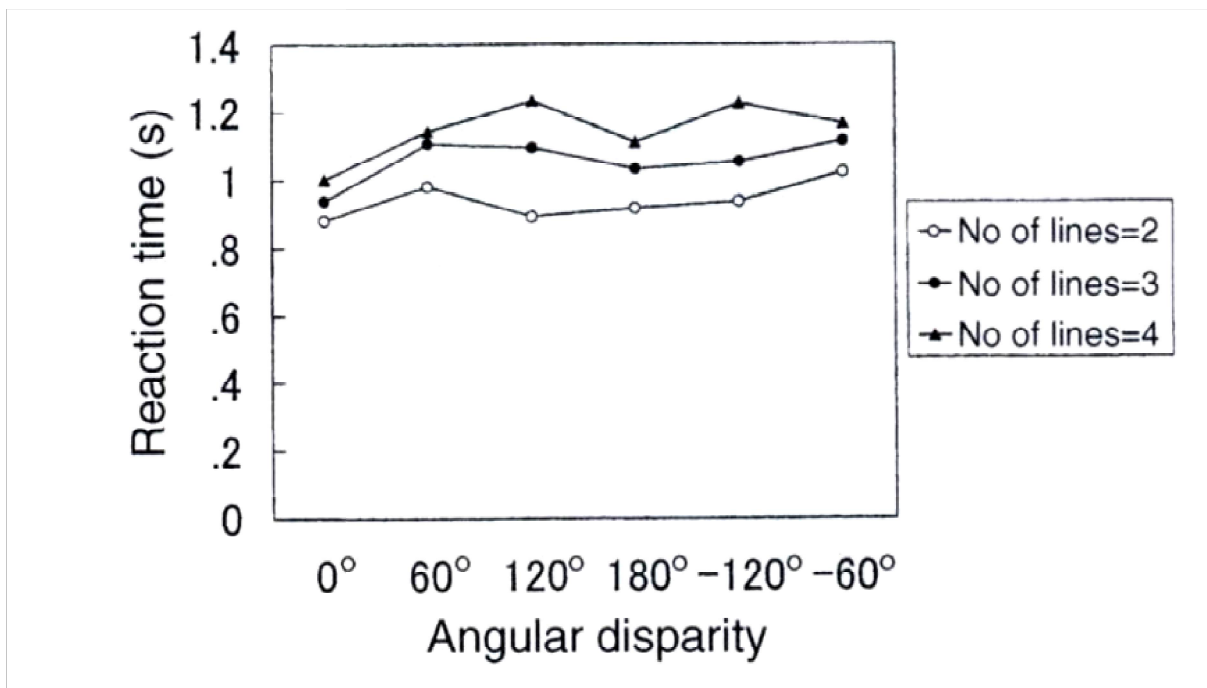


Figure 68. 異なった線数において同一問題での角度差が反応時間に与える効果。正反応のみを集計した。Kanbe (2001)より引用した。

この線数効果に関しては、潜時に関する繰り返しのある線数と実験参加者を要因とした混合モデルによる分散分析 (ANOVA)を行った。同一問題に関しては、主効果である線数  $F(2, 3272) = 58.57, p < .01$ 、および線数と参加者の交互作用  $F(36, 3272) = 1.70, p < .01$ 、は共に有意であった。線数間での潜時の同時比較を行ったところ、平均潜時は各線数間でいずれも1%水準で有意に異なっていた。線数が増大すると潜時が単調増大する傾向は明ら

かなため、同一問題において線数効果は存在したといえる。

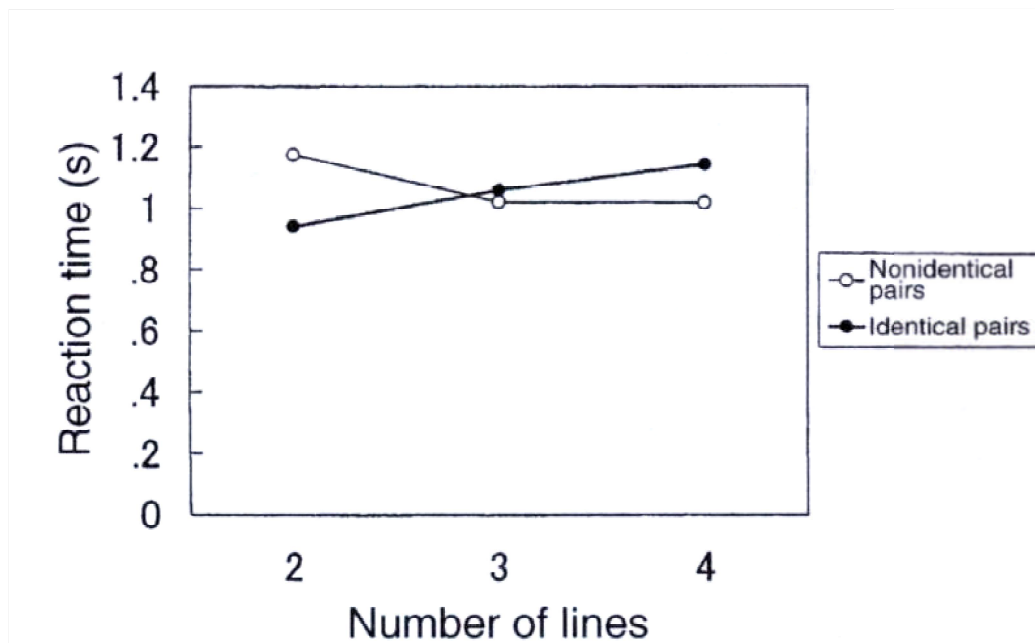


Figure 69. 同一問題と非同問題における線数が反応時間に与える効果。正反応のみを集計した。Kanbe (2001)より引用した。

一方、非同問題に関しては、主効果である線数  $F(2, 2694) = 5.50, p < .01$ 、は有意であったが線数と参加者の交互作用、 $F(36, 2694) = 0.30, ns$ 、は有意ではなかった。線数間の同時比較を行ったところ、線数 2 と線数 3 および線数 2 と線数 4 の間の平均潜時はいずれも 1%水準で有意に異なっていたが、線数 3 と線数 4 の間では有意ではなかった。線数 2 の潜時が他の線数に比して大きなことから、非同問題において線数効果は存在していなかった。

#### 考察

各線数に置いて角度差効果が不在であることは心的回転に基づく説明にとって不利な結果である。Takano (1989)によれば、相対方向的情報（即ち、要素結合的かつ方向拘束的情報）が所与の図形の認知に不可欠なときだけ心的回転が生じるとした。図形対間が鏡映反射的關係にあることは典型的な相対方向的情報といえる。また本実験において鏡映的關係にある非同問題の数はいかなる線数においても極めて少数であった。それ故、本実験において心的回転が生じなかったのは鏡映關係を持つ非同問題の数が少なかったからだとの説明は可能である。

しかしデータを詳細に検討すると角度差効果は個人差が大きく（Cooper, 1976; Just & Carpenter, 1985 を参照のこと）、何名かの参加者の傾きは Cohen and Kubovy (1993)の心

的回転の基準値  $1 \text{ ms} / ^\circ$  を越えた。そのため、多数の参加者は心的回転を採用しなかったが、一部の参加者は図形が複雑なときには戦略的な選択として心的回転も採用するのではないかとの推測も可能である。

一方、心的回転が出現しなかったという結果は、特徴比較を通して図形が認識されるという立場に全体としては適合している。ただし、特徴比較の立場とは一見すると矛盾する2つの結果が得られている。即ち、線数2において、非同一問題の方が同一問題より潜時が遷延していること、 $t(473) = 4.18, p < .01$ ；線数効果は同一問題、非同一問題共に出現されるはずであるのに後者においては出現していないこと、が挙げられる。

こうした結果も特徴比較の枠組みの中で説明することは相変わらず可能である。第1の点に関しては、同型集合中ではどの図形も不変的特徴によっては分別できないことを留意する必要がある。即ち、不変的特徴によって非同一図形対を分別するためには、その所与の図形対は異なった同型集合に属さなければならないのである。しかし線数2においては、2つの同型集合しか存在せず、2図形が同一集合に属する確率はかなり高い ( $p = .509$ ) といえる。そのため線数2において潜時が遷延した理由として、不変的特徴だけでなく相対的特徴も計算せねばならなかった、という説明が可能となる。

第2の点に関しては、不変的特徴の集合の大きさが小さい場合、任意の非同一図形対において、不変的特徴集合中で非同一的特徴パターンに遭遇する確率は、単純図形に比べて複雑図形で高いという事実によって説明可能である。

総合的に解釈すると、角度差効果と線数効果に関する結果から、図形対の同一性判断に関しては心的回転による説明に比べて特徴比較の説明が優越していると考えられた。

**4. 3. 2. 3. 鏡映関係と同一関係の弁別のために心的回転が必要か否かについての学会発表** 2図形間の同一性を決定する際に、鏡映関係にある図形対から同一図形対を区別するために心的回転が出現するという主張が Corballis 等を中心になされている (Corballis & McLaren, 1984; Corballis & Cullen, 1986)。また心的回転に先立ち方向に不変な特徴が検出されるという主張も存在する (Corballis, 1988; Takano, 1989)。

神戸 (2002) はこれら主張を確かめるために、同一問題、非同一・軸対称問題 (軸対称問題と略称する)、非同一・同型問題 (同型問題と略称する) を作成し、参加者に各問題をなしている図形対の同一性を判断させた。ここで同一問題とは方向は異なっても形態が同じ図形対をいい、軸対称問題はある設定された軸に対して図形対間で形態が対称なものをいい、同型問題は図形対間で不変数がすべて同じ値を持つものをいう。なお、同一性や対称性は同型性の特殊な例である (Figure 70)。

実験は同一問題と軸対称問題がランダムに混在した軸対称ブロックと同一問題と同型問題が混在した同型ブロックに分けられた。更に、各ブロック中では線数3と線数5の同一問題と軸対称問題、ないし同一問題と同型問題を1:7の割合で含んでいた。もし心的回転が同一図形対を鏡映図形対から区別するために出現するならば、軸対称ブロック中の同一

問題において心的回転が生じることが予想された。一方、同一性の決定に先立ち方向に不変な特徴が検出されるとするならば、同一問題と同型問題の間で不変的特徴の検出時間に差はない。一方、複数の相対的特徴の変位計算に関して同一問題では全ての場合を尽くさなければならないのに対して、同型問題ではより早く非同一的特徴パターンに遭遇すると考えられる。それ故、同型ブロック中の同型問題への反応潜時は同一問題への潜時に比べて短くなることが予想された。

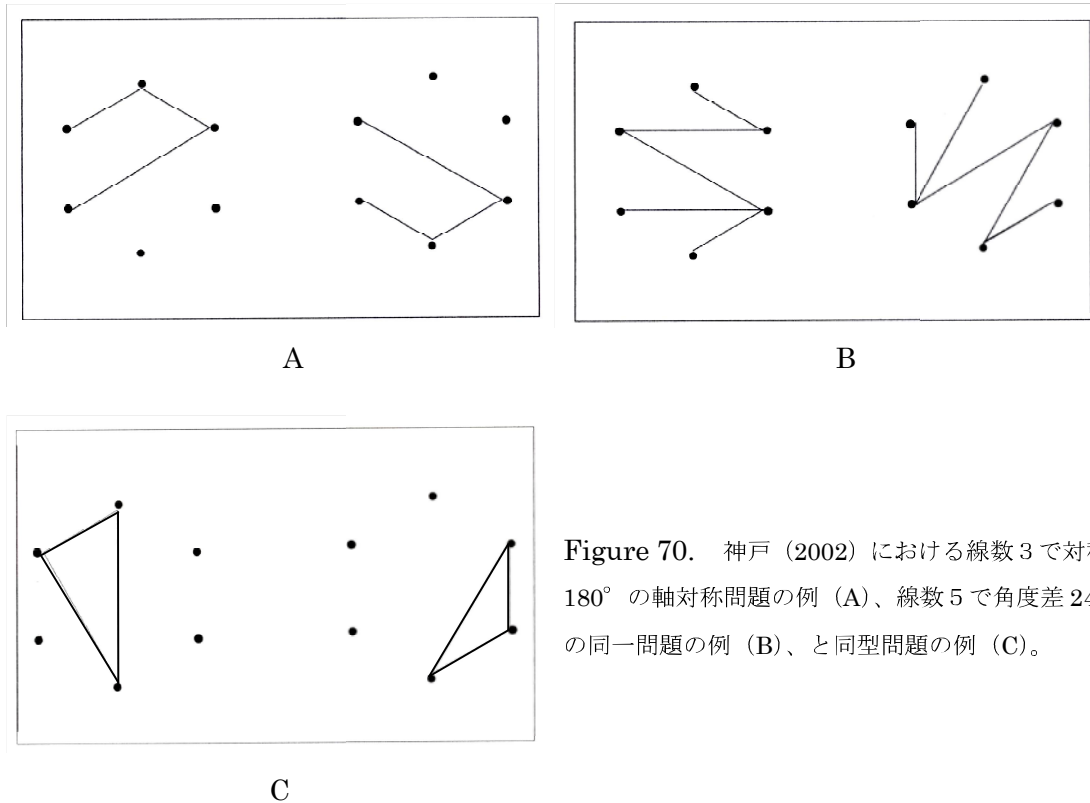


Figure 70. 神戸 (2002) における線数3で対称軸  $180^\circ$  の軸対称問題の例 (A)、線数5で角度差  $240^\circ$  の同一問題の例 (B)、と同型問題の例 (C)。

結果として、軸対称ブロックと同型ブロック中の同一問題の角度差に対する反応潜時に関し1次回帰分析を行った。その結果、3線図形に関して軸対称ブロック中では回帰係数は  $6 \text{ ms} / ^\circ$ 、同型ブロック中では  $4 \text{ ms} / ^\circ$  であり、5線図形では軸対称ブロック中では  $7 \text{ ms} / ^\circ$ 、同型ブロック中では  $6 \text{ ms} / ^\circ$  であったが、それら係数はいずれも有意ではなかった ( $ps > .05$ )。

この結果は、心的回転が同一図形対を鏡映図形対から区別するためには出現するとはいえないことを示唆していると考えられた。

Table 12 は各ブロック中における問題ごとの潜時と誤答率を示したものである。



Table 12 問題種類ごとの平均潜時および誤答率

線数	軸対称ブロック				同型ブロック			
	同一問題		軸対称問題		同一問題		同型問題	
	<i>M</i>	<i>E</i>	<i>M</i>	<i>E</i>	<i>M</i>	<i>E</i>	<i>M</i>	<i>E</i>
3	2.26	4.8	3.33	53.9	2.35	6.1	2.02	14.4
5	2.60	7.9	3.50	56.7	2.48	7.7	2.34	15.2

(注) *M*は平均潜時 (s)、*E*は誤答率(%)を示す。

潜時に関する分散分析を行った結果によれば、問題および線数の主効果は共に有意であったが、問題に関する同時比較を行うと同型ブロック中の同一問題と同型問題の差は有意ではなかった。そのため、心的回転に先立ち方向に依存しない特徴が検出されるという主張は確証されなかった。更には、いずれの線数の軸対称問題においても誤答率は極めて高かったことから、そもそも軸対称図形を同一図形から区別する能力が極めて低いことが見て取れた。

4. 3. 2. 4. 問題解決課題による心的回転の役割についての論文 Kanbe (1999) において同一性判断課題に関して検討された大局アナログ、局所アナログ、特徴比較的説明の有効性が、問題解決課題に関しても成立するかを理論的に評価したのが Kanbe (2005b) である。実験方法および結果は神戸(1993)に基づくが、理論的な評価の対象として、Kanbe (1999)において大局アナログ的説明が否定されたので、ここでは局所アナログ的説明と特徴比較的説明を取り上げた。

#### 前提

局所アナログ的立場は、大局アナログ的立場が想定する心像に関する全体的不可分性は必ずしも満たしていないが、心像全体ないしは部分に対して心的回転を含む連続的変換が実行可能であるという前提を置く。

一方特徴比較的立場は、標準図形を記述する特徴値集合と対応する比較図形を記述する特徴値集合を比較し、両集合が一致すれば同一であるが一致しなければ非同一であるという決定を行うという前提に立つ。

#### 方法

18名の女子短大生が実験に志願した。

実験上の単位をなす継時提示された(6点、*n*線)図形の対を問題と称した。実験上最初に提示される図形を目標図形、その後提示される図形を始発図形と称した。実験参加者は一連のライトペン操作により始発図形から図形を変形させ、目標図形に到達することが求められた。また始発図形から目標図形に至る図形変形過程を問題解決と称した。ライトペン操作による変換操作として、「線の入替」、「時計方向への60°回転」、「反時計方向への

60° 回転」が実験参加者に許された。当初の問題解決課題とその過程例は4. 2. 3. 2. に、修正された問題解決手続きは4. 2. 5. 3. に詳述されている。

始発図形・目標図形間で図形の形態の同一性を保持し定位方向だけが異なった同一問題、および同一問題以外の非同一問題が、ランダムに線定義を行う手続きにより作成された。問題作成時には同型問題を別個に作成したわけではないが、結果の分析時に両図形間で形態の同一性は保持しないが各点間の接合関係を保持した同型問題を非同一問題から分離した。

問題中の始発図形と目標図形の線数は同一に保たれ、線数は1から6まで一様ランダムに割りつけられた。問題作成プログラム上では同一問題と非同一問題の出現確率は3:1に設定されたが、事後分離手続きも含めて実際に得られた確率は同一、同型、非同一・非同型問題の順に0.26:0.25:0.49となった。実験参加者には異なった問題集合が与えられた。各問題集合では線数条件と問題種類条件をランダム化した順番で配置された。各実験参加者は5問題を練習問題として実行した後、60問題がテストとして提供された。実験参加者には問題種類については教示されなかった。

#### 各立場に基づく予測

与えられた実験課題に対して、局所アナログ的立場と特徴比較的立場ではどのような処理が理論的に必要とされるかという条件に基づき、それぞれの処理段階が想定された。

また局所アナログ的説明と特徴比較的説明の有効性を診断するための基準として、問題種類ごとに「回転」操作が選択された確率を表す問題差効果、線数の増大に従って「回転」操作の選択確率にどのような変化があったかを表す線数効果、同一問題における角度差ごとに「回転」操作が選択された確率を表す角度差効果、を取り上げた。なお、「回転」操作の選択確率は時計方向、反時計方向の2種類の選択確率を合わせたものとした。

また全確率1から「線の入替え」操作の確率を引くと「時計・反時計回転」操作の選択確率となるので、以後の表記は「回転」操作の非選好を示す「線の入替」操作によってこの指標を代表した。

局所アナログ的立場からは以下の処理過程が想定された。

段階1. 目標図形の視覚記憶への登録。

段階2. 現図形の粗い分析。これは更に、-1. 現図形の全体的あるいは特定部分の活性化、-2. 活性化された部分の視覚記憶上への登録、-3. 視覚記憶上での図形部分に関する変換、-4. 変換された視覚像と目標図形の対応部分像との適合性の検査、の各小段階を含んでいる。

-1. において活性化された領域が刺激図形全体にわたるものであれば、-3. の変換は心的回転になろうし、刺激図形の一部であるのなら線の入替えに対応した心的移行が実行されよう。また複雑図形に関する粗い分析においては、常に小段階-3. において低い分解能での心的回転がなされるとする全体的分析仮説と、小段階-1. か -2. において非分析的、偶発的に図形の分割が生じ、小段階-3. にお

いて高い分解能のまま心的変換が行われるとする分割分析仮説、が存在しうる。

全体分析仮説によれば小段階-4. において低い分解能で2つの部分像が一致しなければ-1. に戻り、より高い分解能での視覚入力のために活性領域の限定がなされるであろうし、分割分析仮説の下では-4. において局所的鑄型照合による検査が比較的高い分解能で実施されよう。

いずれにせよ現小段階2.-3. において高い分解能での一致が生じれば次の段階3. へと移行するし、生じなければ段階2.-1. へと移行する。

段階3. 操作の選択。段階2.-4. において心的回転が生じ、一致度が高ければ「回転」操作が選択されようし、心的移行が生じ、高い一致度が得られる場所があるならばそこへ線の入替え操作が選択されよう。

このような処理段階説からは以下の諸点が予想された。

予測1. 粗い分析が全体的・鑄型照合的に行われるならば、左右の「回転」操作が選択される可能性は同型問題や非同一・非同型問題に比べて同一問題が高いであろう。粗い分析段階において現図形の分割が生じるならば、全体として「線の入替」操作の選好性は高まるが、単純図形においては同一問題において「回転」操作が選好される確率は高くなるであろう。それ故、全体としては、「回転」操作の選好は同一問題、同型問題、非同一・非同型問題、の順に減少するであろう。

予測2. 線数効果は同一問題における「回転」操作の単調な減少であると定義される。粗い全体的分析がなされるとするならば、線数効果は生じないであろう。一方、粗い分析の段階で、現図形の分割が生じるならば予測1. に示された理由により線数効果は出現するであろう。

予測3. 問題解決課題における角度差効果は、同一問題の始発・目標図形間の角度が大きくなるにつれて「回転」操作への選好が遞減する傾向として定義される。全体的分析がなされるとするならば、角度差が大きくなるほど「回転」変換後の視覚像の鮮明度は低下するだろうから角度差効果は生じるであろう。分割仮説の下でも単純図形に関しては分割が生ぜず「回転」変換が採用されるため、角度差効果は弱いながらも生じるであろう。

一方、特徴比較的立場からは以下のような段階が想定された。

段階1. 少数の関連集合を図形間の分別を可能にする特徴集合から選択しそれに基づき目標図形の粗い分析（即ちそれらの特徴値の計算）を行う。ここでの関連特徴集合の大きさを小さく想定したことは、Kanbe (1999)における軸対称問題の困難さに見られるような処理能力の限界を説明するために必要だからである。

段階2. 段階1と同様に現図形の粗い分析を行う。段階2. から4. までの段階は現図形の提示以後、系列的に活性化される。

段階3. 目標図形と現図形の間で対応する特徴集合の値を比較する。段階1. と段階2. で

関連特徴集合を活性化するタイミングが異なるため、段階 2. ないしこの段階 3. の時点で関連集合を対応させるための調整が生じるであろう。

段階 4. 特徴値の比較に基づき操作を選択する。関連集合中の不変的特徴値が両図形間で同一の場合は「回転」操作が選択されやすいであろうし、不変的特徴値が異なっていれば「線の入替え」が選好されるであろう。

この処理段階から以下が予想された。

- 予想 1. 操作の選択は特徴値の比較に基づき実行されるであろう。それ故、関連特徴集合に選択された特徴が不変数のみであった場合は、同一問題と同型問題が分別できない。その時は、同一問題と同型問題の間で「回転」操作の選択確率は変わらず、それらは非同一・同型問題での「回転」操作の選択確率より大きいであろう。もし選択された特徴が相対的特徴を含むのならば、両問題の弁別はある程度可能である。その場合、「回転」操作の選好は同一問題、同型問題、非同一・非同型問題の順で低下するであろう。
- 予想 2. 「回転」操作は関連集合中の全特徴の同一性比較が終了したときに選択されるであろうが、目標図形・現図形間の分別を可能にする特徴数は図形の複雑性が增大するにつれて増大し、容易に分別可能集合の大きさは関連集合の大きさを超えてしまうであろう。その結果、操作選択の不確定状態が出現すると考えられる。それ故、関連集合が不変的特徴のみの場合、不確定状態が生じるため線数効果は減衰して出現するであろう。関連集合が不変的特徴のみならず相対的特徴をも含む場合は、線数効果はより強く生じるであろう。
- 予想 3. 位置変位量の計算において、特定変位量の計算が他の変位量の計算より困難となることは想定されていないので、角度差効果は出現しないであろう。

## 結果

操作によって図形が別の図形へと更新されることを試行と呼ぼう。本実験において始発図形から目標図形到着に至るまでの線数ごとの平均試行数と標準偏差（かつこ内に示される）は、線数 1 では 1.25 (0.63)、線数 2 では 2.15 (0.95)、線数 3 では 2.88 (1.18)、線数 4 では 3.88 (1.47)、線数 5 では 4.53 (2.22)、線数 6 では 6.01 (4.63)、であった。問題を込にした場合、平均試行数はどの線数の組み合わせにおいてもその差は有意であった (all  $ps < .01$ )。但し、同一問題に限定すると平均試行数は線数 2 と 3、線数 4 と 5、4 と 6、線数 5 と 6 の間に有意差はなかった。言い換えれば、試行数に基づくと線数 1、線数 2 と 3、線数 4、5、6 のグループに分類できるように思われる。

同一問題ですべての線数を込にした場合、「回転」操作を選択した確率は第 1 試行で  $p = .46$  であったが、試行を続けるうちに低下し試行前半（1 問ごとの全試行を 2 分し、その前半部分をいう）では  $p = .35$ 、試行後半では  $p = .29$ 、であった。これらの差は比率に関する正規分布検定の結果すべて有意であった (all  $ps < .01$ )。

この結果は、同一問題で「回転」操作は早い段階で選択される傾向があり、とりわけ第1試行で最も頻繁に選択されたことを示していよう。

実験参加者が各問の第1試行で「線の入替」を選択した場合、変換された図形はもはや始発図形との同一性や同型性が保存されなくなってしまう。それ故、第2試行以降の図形においては、問題種類作成にあたってなされた刺激統制手続きは意味を失ってしまう。そのため以後扱われるすべての結果の分析は第1試行に限定された。

Table 13 は問題種類ごとの「線の入替え」操作の選択確率を示している。該当問題数の記載を別にすれば Table 10 と同じ内容であるが視認性のために再提示をする。

Table 13 問題種類ごとの「線の入替え」操作の選択確率

線数	問題種類					
	同一		同型		非同一・非同型	
	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>
1	58	.603	133	.917	0 <sup>a</sup>	-
2	47	.425	51	.823	67	.940
3	58	.379	40	.80	86	.883
4	35	.628	30	.833	116	.784
5	43	.604	10	.90	127	.874
6	37	.675	9	.777	133	.804

(注) 各問題解決過程における第1回の操作の選択のみを含んでいる。*n*は該当問題数、*p*は「線の入替え」を選択した確率を示す。<sup>a</sup>線数1のすべての図形は1つの同型集合に属している。

問題差効果に関して全線数を込みにした場合に、「回転」操作の選好が同一問題では他の2つの問題種類に比べて明らかに大きかったが ( $z = 9.07, p < .01$ )、線数を2から6まで込みにして比率検定を行ったところ、同型問題と非同一・非同型問題で「回転」操作の選択確率に有意差は見られなかった ( $z = 0.56, p > .05$ )。この結果は厳密にはいずれの立場の予想とも適合しないが、より緩やかな基準に従えば局所アナログ的説明と表層的情報を含んだ特徴比較による説明と矛盾しないと考えられた。

同一問題にける線数効果については、「回転」操作の選好は単調に減少するのではなく、単純な図形 (特に  $n = 1$ ) および中・高度の複雑性を持った図形 ( $n = 4, 5, 6$ ) においては選好されず、比較的単純な図形 ( $n = 2, 3$ ) において選好されるという逆U字形を示した (Table 13)。

「回転」の選択確率に関してすべての線数を組み合わせて有意差を見てみると、線数 1 と 3 の間、線数 2 と 6 の間、線数 3 と 4 の間、および線数 3 と 5 の間 ( $ps < .05$ )と、線数 3 と 6 の間 ( $p < .01$ )において有意であった。換言すると、「回転」の選択確率に基く線数効果を、線数 1、線数 2 と 3、線数 4、5、6 という 3 グループに分類することができよう。この分類は平均試行数に基づく分類と一致しており、実験参加者による図形の複雑性への感受性の程度を表しているとも考えられる。

そこで、図形の複雑性を  $n = 1$  を単純図形、 $n = 2, 3$  を比較的単純図形、 $n = 4, 5, 6$  を複雑図形、と再分類した後に角度差効果を表したのが Table 14 である。

Table 14 同一問題における角度差ごとの「線の入替」操作の選択確率

図形の複雑度	角度差		
	$\pm 60^\circ$	$\pm 120^\circ$	$180^\circ$
単純	.377	.481	.620
比較的単純	.352	.384	.526
複雑	.666	.540	.800

(注) 各問題解決過程における第 1 回の操作の選択のみを含んでいる。

単純図形対における「回転」の選択確率は角度差が増大すると単調減少する傾向が見られるが、有意差は角度差  $\pm 60^\circ$  と  $180^\circ$  の間のみであった ( $z = 2.40, p < .05$ )。比較的単純な図形対における「回転」の確率も角度差とともに単調減少しているように見えるが、どのような組み合わせにおいても有意差はなかった (all  $ps > .05$ )。一方、複雑図形対では最も「回転」が選好されたのは角度差が  $\pm 120^\circ$  のときであったが、 $\pm 60^\circ$  と  $\pm 120^\circ$  の間で選択確率に有意差はなかった ( $z = 1.26, p > .05$ )。角度差  $180^\circ$  における該当問題数が 30 に満たないため検定結果は参考としての意味しか持たないが、角度差  $\pm 120^\circ$  と  $180^\circ$  の間での選択確率の差は有意であった ( $z = 2.28, p < .05$ )。

#### 考察

局所アナログ的説明においても特徴比較的説明においても、同一問題における「回転」選択確率曲線が逆 U 字型の線数効果を示したという結果を整合的に解釈することができなかった。むしろ、この結果は粗い分析段階において随意的判断がなされたことを示しているよう。

例えば、線数 1 の同一問題を考えたとき、「線の入替え」を選択した場合は 1 試行で目標図形に到着可能であるが、「回転」を選択すると目標図形まで平均して 1.8 試行を必要とする。また操作選択において示された個人差の存在も随意的選択を窺わせる。18 名の実験参加者中 2 名は「回転」操作を全く採用せず、すべて「線の入替え」によって目標図形に到着しようとした。線数 1 の同一問題で実際に得られた平均試行数は 1.36 であり、ちょうど「回転」をも使用した漸近的戦略と、もっぱら「線の入替え」に頼り、図形の性質に依存

しない急速到着戦略の中間であった。

問題差効果に関して言えば、線数を込にした場合「回転」操作は同一問題において最頻であったが、同型問題と非同一・非同型問題の間では有意差を持たなかった。この結果は厳密には局所アナログ、特徴比較の説明にも一致しないが、より緩やかな基準に従えば局所アナログの説明の粗い分析に関する 2 つの仮説、および相対的特徴を含む特徴比較の説明が適合的であった。

同一問題における潜時と線数の関係については、はっきりした系統的な傾向は見られなかった。それ故、複雑性効果は操作の選好に現れていると考えられた。

既に述べたように、同一問題における線数に関する「回転」操作の選好は逆 U 字曲線を示した。しかし、線数 1 において「回転」忌避する傾向が随意的な急速到着戦略の結果であるとするならば、線数効果が比較的単純問題と複雑問題の間で生じていることをより重視すべきである。この限定的な意味で線数効果が生じているという事実は、局所アナログな立場の全体分析仮説とは不整合であるが、分割分析仮説とは整合的といえよう。

角度差効果についても、潜時に比べて選択確率がより有効な測度と考えられた。しかし角度差効果も、全線数を込みにした条件、単純問題、および複雑問題ではある程度生じているように思われるが、比較的単純問題ではすべて角度差間で選択確率の有意差はなかった。多少なりとも角度差効果が存在するという結果は、特徴比較の立場とは非適合であった。一方、全数条件、単純問題、複雑問題において同効果が窺えることから、局所アナログ・全体分析的説明にとっては好ましい結果であった。局所アナログ・分割分析的立場は単純問題における同効果の存在を説明するが、その他の条件での角度差効果についての評価はできない。

総合的に考察すると、結果には多くの曖昧さが存在し、いかなる説明が優位性を持つかについて確定的に診断をくだすことはできなかったが暫定的に以下の結論を導き出した。

初期段階で全体分析的処理を行うとする局所アナログの立場は、強い診断基準である線数効果についての予測が失敗した。これはこの仮説の妥当性の低さを示している。

局所アナログの立場における分割仮説は、予想およびそこから導かれる解釈が全体としては結果と一致していた。少なくとも致命的な予想の失敗はなかった。

一方、特徴比較の立場の不変的特徴の活性化仮説はとりわけ問題差効果を説明できない点において妥当性が高くないと考えられた。

粗い分析において不変的特徴のみならず相対的特徴も活性化されるという仮説は、同一問題と同型問題の間の「回転」操作の選択確率についての予想だけが不変的特徴活性化仮説と異なっていた。この問題差に関する評価においては、不変的特徴と相対的特徴が共に活性化されるとする仮説の方が、不変的特徴だけが活性化されるという仮説より優れていた。

これら評価を総括すると、不十分な診断となってしまったが、分割分析仮説に基づく局所アナログの立場が本実験にみられる初期認知処理の説明としては最も適合しているよう

に思われた。しかし特徴比較的立場の不変的特徴および相対的特徴が活性化されるという仮説も棄却できなかった。

#### 4. 3. 2. 5. 心的回転の困難性について：複数の特徴の位置情報の保存（学会発表）

心的回転の図形認識一般における役割についての議論や、アナログ・命題論争への（6点、 $n$ 線）図形の利用可能性についての議論は別として、心的回転の生起が（6点、 $n$ 線）図形において生起することが困難であることはたびたび示されてきた（神戸, 1989a, 1991a, 1993; Kanbe, 1999 b, 2001, 2005 b）。

従来、心的回転の困難性ないし不生起は回転速度の減少として捉えられることが多く、その第一の要因として図形の複雑性があげられてきた（Steiger & Yuille, 1983; Folk & Luce, 1987; Bethell-Fox & Shepard, 1988）。その他、親近性があつたり過剰学習された刺激では心的回転速度が速い、あるいは回転が生じない（Corballis and Nagourney, 1978; Corballis, Zbrodoff, Shetzer & Butler, 1978; Eley, 1982）とされたり、新奇性のある刺激では回転速度が遅くなる（Larsen, 1985）、とされたりしている。

だが必ずしも複雑性と心的回転の生起が関連しているとも言い切れない（Kanbe, 1999, 2001, 2005b）。

実験参加者にとって（6点、 $n$ 線）図形はすべて新奇であるといえるが、上記の一連の研究において心的回転が常に出現しているとはいえないことに留意すべきである。神戸（2002）が示すように、われわれは必ずしも軸対称図形を同一図形から区別するために心的回転を行うとはいえず、そもそも軸対称図形を区別する能力そのものが欠如している可能性すら存在する。

一方、Kanbe（1999, 2005b）において局所アナログ的説明に対し若干の劣後性を持つが、特徴比較的説明も相変わらず有効であると考察された。そのような中で神戸（2003, 2006, 2008a）は特徴比較的立場から心的回転の出現の困難性を明らかにしようとした。これまでの文脈からするならば、局所アナログ的処理と特徴比較処理はアナログ・命題論争を背景にした観点からみて相反的な立場にあるといえよう。しかし視点を変えてみれば、図形の持つ領域限定的な（あるいは局所的な）性質を情報処理過程に取り込む際の形式が視覚像的であるか、より記号化されているのかという区別は実態的というよりは概念的な違いであって、現状の知識段階においては実証可能な差ではないとも考えられる。

神戸（2003）は複雑な図形の心的回転の困難性が、不変数に示されるような複数の特性によって図形が特徴づけられる時、それらの生じている図形中の位置を斉一的に変位させることが困難であることから生じているのではないかと考えた。ここで斉一的変位とは、複数点が互いの位置関係を保持したまま回転や移動等の位置変換を行うことをいう。

この主張はアナログ・命題論争を離れて、複雑性効果が部分図形の非アナログ的な処理の積み重ねによって生じたという Pylyshyn（1979, 1981, 1984）の主張や、同効果が要素図形の部分的回転の積み重ねの結果であるという Förster, Gebhardt, Lindlar, Siemann and



Delius (1996)の主張とも一定の適合性を持つともいえよう。

そこで神戸(2003)では、中心点、切断点、最大次数点、端点、という 4 個の不変数を取りあげ、提示された図形対間でそれら不変数が存在する位置が極座標上でどの程度変化したかを統制するランダム問題作成プログラムを考案した。なお、図形中に不変数の位置が複数個存在するときは、それらの重心を計算して当該不変数の位置として代表した。また同時提示された図形対をここでは問題と呼んでいる。4 種の問題が作成された。形態が図形対間で同一であり、それ故必然的に 4 個の不変数の位置変位が同一である、同一斉一問題；形態は同一ではないが 4 個の不変数の位置の変位がすべて同一な非同斉一問題；4 種の不変数中 3 種で変位量（変位した角度）が一致した中度斉一問題；4 種すべてで変位量が異なる非同斉一問題、である。Figure 71 は中度斉一問題の例を示している。

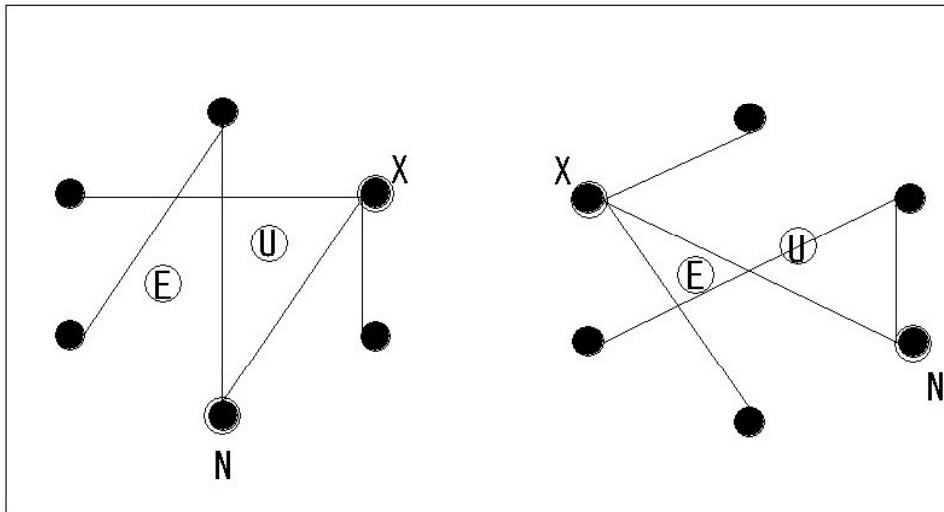


Figure 71. 非同斉一度斉一問題の例とそこに含まれている位置情報。左の図を基準に説明すると、中心点 (N という記号で表示されている) と端点 (E で表示) は本来 2 位置 (黒い結節点上に記号で表示されている) で、切断点 (U で表示) と最大次数点 (X で表示) は本来 4 位置で存在しているが、それらの重心が空円で示されている。左の図から右の図へ重心化された各位置の変位をみると X と U と E は図形の中心へ変位しているので変位量は 0 とされ変位量が同じになり、X の変位量だけが異なる。

実験では(6 点、5 線) 図形対が提示され、実験参加者は図形対が方向にかかわらず形態が同一か否かを正確・迅速に判断することが求められた。

次に、問題ごとの平均潜時と誤答率を Table 15 に示す。

潜時に関して一元の ANOVA を実施したところ、問題効果は有意であった ( $F(3, 4545) = 83.7, p < .01, MSE = 8.19$ )。問題間の同時比較を行った結果、中度斉一、非同斉一、非同斉一、同一斉一の順で大きくなる潜時について、非同斉一問題と非同斉一問題間では有意差が得られなかったが ( $ps > .05$ )、それ以外はすべて 1%水準で有意であった。

Table 15 神戸(2003)における問題ごとの平均反応潜時と誤答率

	問題			
	同一斉一	非同一斉一	中度斉一	非斉一
<i>M</i>	4.20	3.15	2.48	3.16
<i>E</i>	8.7	13.2	10.9	13.9

(注) *M*は平均潜時 (s)、*E*は誤答率(%)を示す。

同一問題の潜時が非同一諸問題のそれより大きかったことは、図形対の同一性判断にとってすべての位置の確認が必要であるという立場と整合する。一方、非同一問題の中で斉一性の減少に従って反応潜時の減少が見られなかったことは予想外であった。この結果は、変位量の斉一性の検査が系列的にはなされていないことを示している。更に言うならば、多くの不変数が同時に非斉一に変位している場合にそれを非同一とは即座に判断できず、比較的斉一な変位を背景にして部分的な変位量の攪乱が生じる場合には非同一性の判断が容易化されるものと考えられた。

この結果が予想外であったことから、神戸 (2006) では刺激として(6点、*n*線)図形対を使用せず、同心円上に配置された4個の小円(点)からなる図形の対を使用して (Figure 72) 神戸 (2003) の結果が再現されるか否かを確かめた。

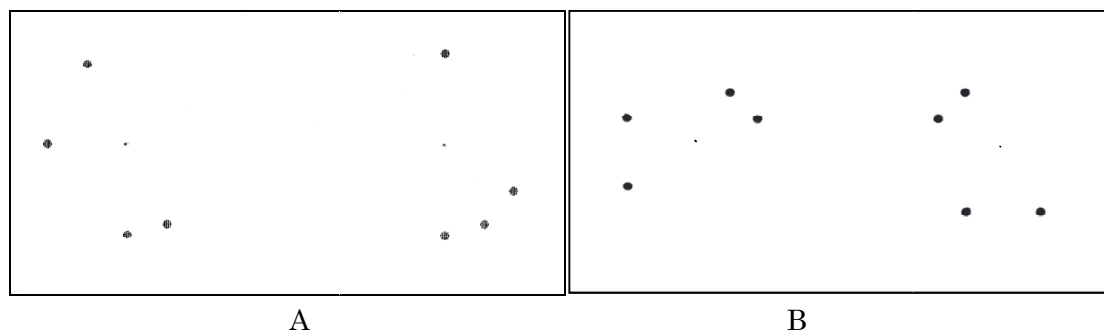


Figure 72. 神戸 (2006) における中度斉一問題の例 (A) と同一問題の例 (B)。参照のため図形対の中心も微小円で表示された。

個々の刺激図形は以下の手続きにより作成された。まず中心から右方に発する水平線の角度を  $0^\circ$  として、 $30^\circ$  ごとに 12 本の非可視的な放射線を描いた。次に、中心から同一半径をなす非可視的同心円を描いた。更に、12 個ある放射線と同心円の交点のうちの以下に述べる方法により 4 つの位置を決定してその位置に小円を描いた。

図形対の一方を標準図形と呼び、ランダムに決定された 4 つの位置に小円を描いた。他方の比較図形では、標準図形の各小円の位置に対してすべて変位量が一定な位置に小円を持つ同一問題；標準図形に対して比較図形では 4 個中 2 個の位置は変位量が同じであるが、他の 2 個の位置は互いに異なった変位量を持つ中度斉一問題；標準図形と比較図形ですべ

ての小円の位置の変位量が異なる非斉一問題； が作成された。ここで、各変位量は  $0^\circ$  から  $30^\circ$  刻みで  $120^\circ$  までの角度のいずれかとした。また各図形の中心を明示するために中心位置に微小円を描いた。

その主たる結果を Table 16 に示す。

Table 16 神戸 (2006) における問題ごとの平均反応潜時と誤答率

	問題		
	同一	中度斉一	非斉一
<i>M</i>	1.89	1.53	1.63
<i>E</i>	5.8	11.4	15.4

(注) *M*は平均潜時 (s)、*E*は誤答率(%)を示す。

潜時に関する同時比較を行ったところ、すべての問題間の差は有意であった。この結果は神戸 (2003) の結果を再確認するものであった。

前述したように多くの不変数の位置が非斉一に変位している状態を非同一と判断することへの困難性は非斉一図形対を同一と誤答した率が高いことから窺える。それに対して、多くの不変数が同一な変位示す背景の中にそれとは異なる変位が存在する攪乱状態を検出することで、比較的容易に非同一との判断を下せるとの仮説は相変わらず有効である。但しその際、誤答率が高くなるという代償を払う必要も生じる。

一方、すべての位置情報が斉一に変位する同一問題では判断時間は要しても誤答が少なかった。つまり位置変位量の斉一性は比較的早期に粗く検出可能であるが、同一性判断のためにはより確認的な作業が必要で時間はかかると考えられる。また、十分な確認的作業をせずに部分的な斉一性を同一であると判断する可能性があるために中度斉一問題では誤答率が比較的高いとも考えられよう。

斉一な変位に対する攪乱の検出という仮説は、特徴点のすべての変位量を正確に保持することは、特に特徴点の数が増えると、困難になるであろうという情報処理能力の限界を前提としていることも留意されたい。

この前提は更には、複数の特徴点の変位を系列的に計算・保持し、その間の変位の斉一性を確認することの困難性をも示しており、既に得られている軸対称図形の識別不能性をも説明している。

この結果を受けて神戸 (2008a) は中度斉一図形対での非同一判断が速いのは、中度斉一条件そのものに由来するのか、複数点への斉一な回転変換が同一性判断に必要となる課題に特有であるのか、を検討しようとした。

実験では刺激図形としては神戸 (2006) と同じ 4 点図形対を使用した。実験参加者には同一性判断の基準に図形の回転によるものを含めなかった。

図形対間において提示された各点が極座標上の同一の位置を占めているか否かで 5 種の

問題が作成された。斉一(0)問題は左右図形間で4点の位置がすべて一致する場合であり；非斉一(1)問題は4点中1点の位置のみが左右図形で異なる場合であり；非斉一(2)問題は4点中2点が図形対間で異なる場合であり；非斉一(3)問題は4点中3点が異なる場合であり；非斉一(4)問題は4点すべてが左右図形上で極座標上の位置が異なる場合をいった (Figure 73)。

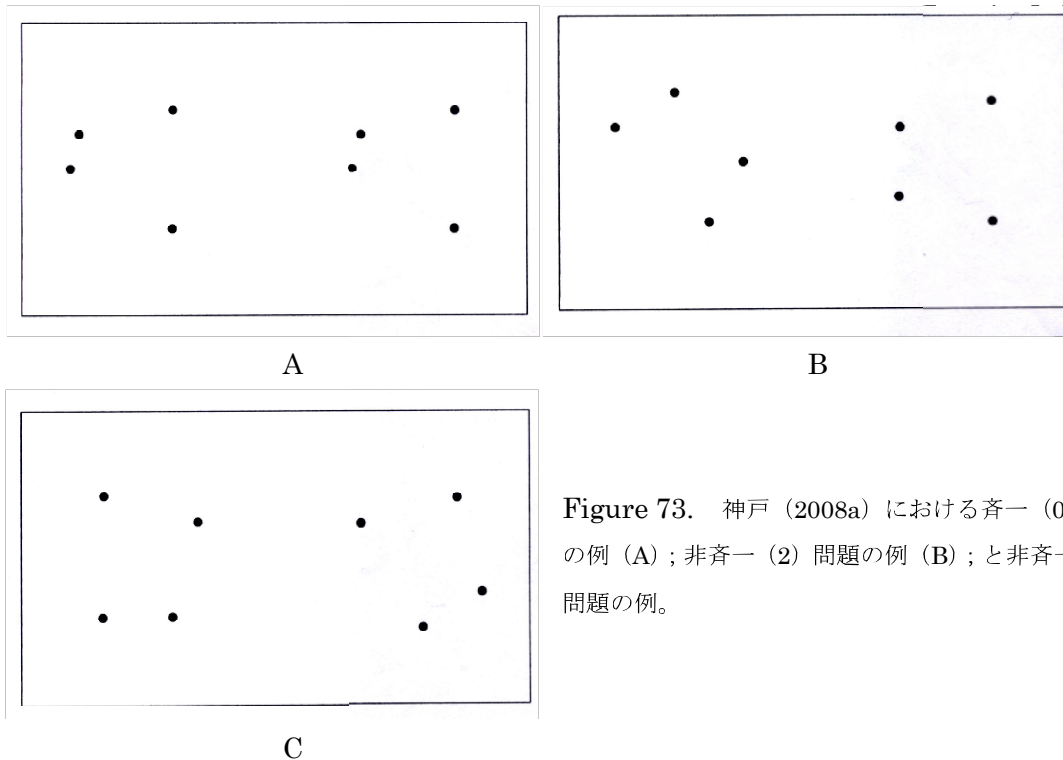


Figure 73. 神戸(2008a)における斉一(0)問題の例(A)；非斉一(2)問題の例(B)；と非斉一(4)問題の例。

その主たる結果を Figure 74. に示す。

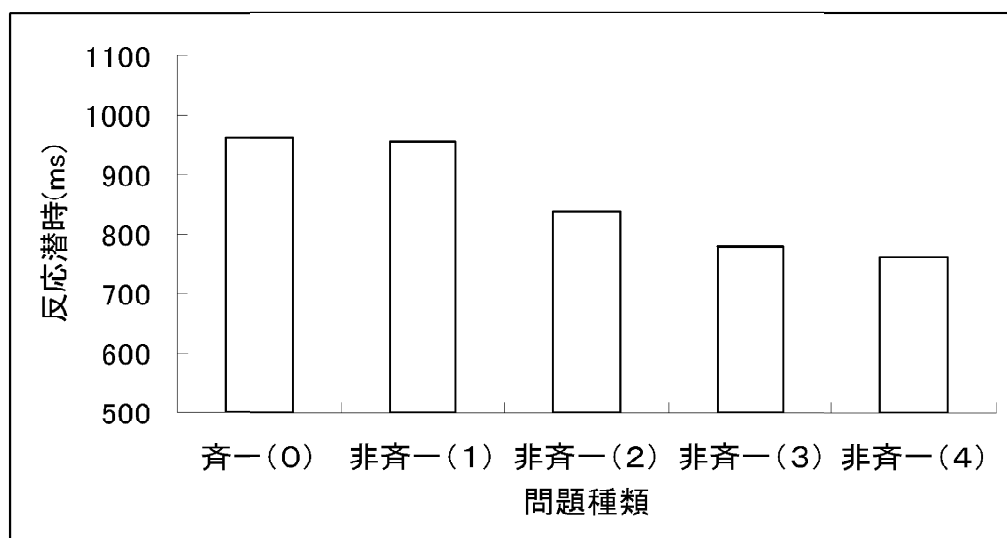


Figure 74. 問題種類ごとの平均反応潜時

得られた問題ごとの潜時の同時比較を行ったところ、斉一(0)問題と非斉一(1)問題、および非斉一(3)問題と非斉一(4)問題の間の潜時差は有意ではなかったが ( $ps > .05$ )、それ以外の問題間の差はすべて有意であった ( $ps > .01$ )。

この結果は単純に位置の変位の数が増えるに従って反応時間が減少することを示しており、位置の検査において系列的な過程が生じていることを示している。さらに言えば、攪乱の検出により非同一判断に至るとの過程は生じてはいない。

この結果から推察できるのは、複数点の位置変位量を保存しなければ同一性判断ができない場合は、作動短期記憶上の負荷量が過大にならないために大まかな変位量の斉一性を検出し、それを基準として斉一性の攪乱が生じているか否かで同一性を判断しようとする過程が介在するように思われる。一方、単に位置の変位を検出すれば同一性を判断できる場合は系列的な処理が行われるといえよう。

こうした結果も、同一性判断において随意的な戦略の選択がなされているとの推測を補強するものである。

#### 4. 4. (6点、n線) 図形を使用した特徴検出の研究

前略のように、著者のデータベース上では線数 1 から 6 までの(6点、n線)図形の 1 つ 1 つが 76 の特徴値によって記述されており、逆に言えばこれら特徴値によって各図形は分別可能となっている。当初はこれら特徴値集合の中から図形の認知活動に臨界的な働きを示す特徴を発掘(抽出)しようとする戦略を志向していたが、必ずしも一義的な結果は得られず、方法論的にも幾つかの問題点が意識されるようになった(この項は 4. 2. 5. 6. と関連する)。そこで当面の研究として、図形認知に重要な役割を果たす可能性の高い特定の特徴に限定して、なるべく厳密な実験統制の下これらの特徴の臨界性を検討しようとする戦略へと転換した。

2. 1. 7 や 2. 1. 8. の項でも一部説明したが、端点と閉合性の関係は図形の初期視覚研究において重要なテーマとなっている。例として Kanbe(2008b)の前文の一部を以下に引用する。

所与の図形のいかなる特性が図形の同定に貢献しているのか、そして同定に際してそれらがいかなる役割を果たしているか、と問うことは図形の認識にとって緊要である。一連のきめの分離研究に基づいて Julesz (1981a, 1984, 1986)は、端点の存在は彼が *texton* と呼ぶところの顕著な局所的特徴をなしていると主張した。目標探索課題も特徴の性質を判断するうえで頻繁に採用される方法である。……。Treisman and Souter (1985)は真円(閉合性を持つ)の中から交差する線分を伴った円(端点を 2 つ持つ)を探索する速度は交差する線分を持った円の中から真円を探索する速度より速いことを

発見した。彼らはまた不完全な円（端点を 2 つ持つ）の探索は真円の探索より速いことを発見した。しかしながら、直角と斜線の中から三角を探索する速度と三角の中から直角を探索する速度を比較すると、三角を目標とする探索の方が速かった。彼らは端点と閉合性は共に基本的な特徴であるが、端点はより見つけにくい、と結論づけた。更には、閉合性が端点よりより容易に検出可能であるとする探索研究も存在する (Elder & Zucker, 1993; Treisman & Paterson, 1984)。(p. 145)

#### 4. 4. 1. 端点と閉合性の臨界性

##### 4. 4. 1. 1. 同一性判断課題に関する幾つかの学会発表

神戸 (1999 a) は(6点、5線) 図形を使用して、同一問題、(0 : 0) 問題、(>0 : >0) 問題の 3 種類の問題に対して回転を伴う同一性判断を参加者に課した (Figure 75)。ここで (0 : 0) 問題とはともに端点数 0 の (即ち閉合な) 非同図形対を、(>0 : >0) 問題はともに 1 個以上の端点を持った図形からなる非同図形対を同時提示することを指している。

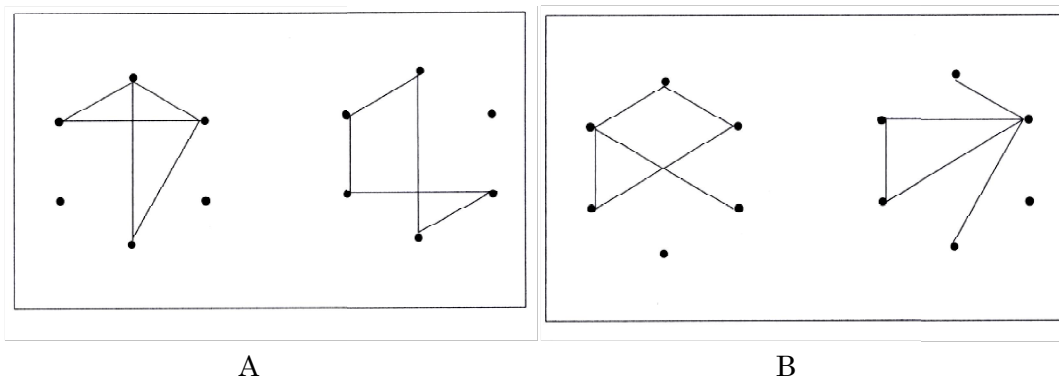


Figure 75. 神戸 (1999a) における (0 : 0) 問題の例 (A) と (>0 : >0) 問題の例 (B)。

Table 17 に主たる結果を記す。

Table 17 問題ごとの平均反応潜時と誤答率

	同一	問題	
		0 : 0	> 0 : > 0
<i>M</i>	1.44	1.18	1.23
<i>E</i>	8.8	13.0	10.9

(注) *M*は平均潜時 (s)、*E*は誤答率(%)を示す。

潜時に関する ANOVA によれば実験参加者、問題種類、実験参加者 x 問題種類、の各要因はいずれも有意であった ( $ps > .01$ )。更に潜時に関する問題間の同時比較を行うと、(0 : 0) 問題と (>0 : >0) 問題の間で有意差を持たなかったが ( $p > .05$ )、他の問題間ではその差は有意であった ( $ps > .01$ )。

(0:0) 問題と (>0:>0) 問題の間に時間差がないという結果は端点と閉合性のいずれが検出上の優位性を持つかについての決定を困難にした。更には、同一問題で回転を伴う同一性判断を課すことは端点と閉合性の検出に直接的な関係を持たない手続きとも考えられる。

そこで神戸 (2000) は同一性判断が系列的、自動打切りのな特徴比較によるとするならば、非同一問題を (0:0) 問題と (>0:>0) 問題に細分するだけでなく、同一問題も (0:0) 問題と (>0:>0) 問題に細分化して、対応した端点状態の同一問題と非同一問題の結果の比較を行わないと、端点状態の優位性は検討できないと考えた。ここでいう端点状態とは、端点数 0 (即ち、閉合性) を含む様々な値をとる変数を指している。

そのため神戸 (2000) では(6点、5線) 図形に関して、同一 (0:0) 問題； 同一 (1:1) 問題； 非同一 (0:0) 問題； 非同一 (1:1) 問題； の4種の問題を用意した。ここで、カッコ内の数は同時提示された図形対の各々に含まれる端点数を示している (Figure 76)。

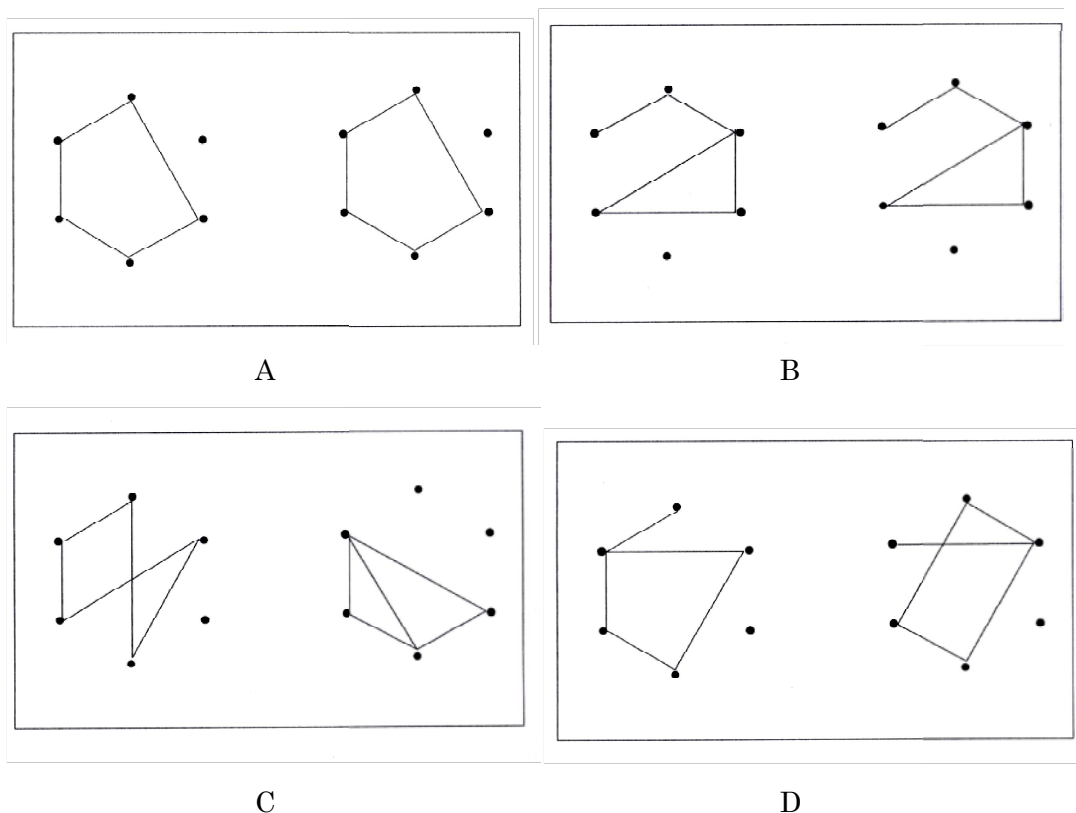


Figure 76. 神戸 (2000) における同一 (0:0) 問題の例 (A)； 同一 (1:1) 問題の例 (B)； 非同一 (0:0) 問題の例 (C)； 非同一 (1:1) 問題の例 (D)。

実験参加者は同時提示された図形対の同一性判断を求められた。その際、回転を含まず、角度差 0° における同一性判断のみを行うことが教示された。

次に Table 18 その主たる結果を示す。さらに同時比較を行った結果、問題ごとの潜時は

同一 (0 : 0) 問題と非同一 (1 : 1) 問題の間、および非同一 (0 : 0) 問題と非同一 (1 : 1) 問題の間において有意差がなかったが ( $ps > .05$ )、その他の問題間では有意差を持っていた( $ps < .01$ )。

特徴が系列的に走査されるという立場に基づき、同一問題の同一性判断は関連するすべての特徴の比較が尽くされた後に下されるとの前提で、同一 (0 : 0) 問題の潜時が同一 (1 : 1) 問題の潜時より短いという結果は閉合性の存在が端点の存在より優先されると解釈された。

Table 18 神戸 (2000) による問題ごとの平均反応潜時と誤答率

	問題			
	同一 (0 : 0)	同一 (1 : 1)	非同一 (0 : 0)	非同一 (1 : 1)
<i>M</i>	0.67	0.70	0.65	0.66
<i>E</i>	6.8	7.9	8.5	8.0

(注) *M*は平均潜時 (s)、*E*は誤答率(%)を示す。

4. 4. 1. 2. 同一性判断課題に関する論文 次に Kanbe (2009)は、3種の同一性判断実験に基づき端点と閉合性の初期認知における臨界性を究明しようとした。

#### 前提

Pomerantz and Pristach (1989)は端点や閉合性が図形認知に果たす役割について疑問を呈してはいるが、多くの研究者はそのいずれか、ないしは両方が図形の初期認知にとって重要であると主張している。

このような主張の基となる実験は主として肌理の分離課題と目標探索課題である。Julesz (1981, 1984, 1986)は肌理の分離課題を使って、Treisman and Souther (1985)は目標探索課題を使って、端点の存在が図形の初期知覚に重要な役割を果たすとしている。一方、Treisman and Patersn (1984)や Elder and Zucker (1993)や Mori (1997)は、目標探索課題を使って閉合性が初期知覚において検出されるとしている。

しかし初期知覚における端点や閉合性の検出は、所与の図形の同一性判断にとって必要条件であったとしても十分条件ではない。更に、肌理の分離課題や目標探索課題においては1画面中に複数の要素図形を提示することが不可欠である。

しかし、肌理の分離課題では、一様連結性 (Palmer & Rock, 1994)、要素図形の大きさ (Gurnsey & Browse, 1987)、要素図形間の距離 (Sagi & Julesz, 1987)、要素図形の形態変化 (Snowden, 1998) ; 目標探索課題では、目標と非目標の類似度 (Duncan & Humphreys,



1989)、非目標の群化 (Bacon & Egeth, 1991)、非目標同士の不一致度 (Donnelly, Humphreys, & Riddoch, 1991; Treisman & Souther, 1985)、等の非特徴的な要因が結果に影響を与えるといわれている。

また、肌理の分離課題や目標探索課題で使用された要素刺激はほとんどの場合、単純で、恣意的に選ばれ、有意味で、要約すれば実験参加者にとって親近性のある図形であった。親近性は肌理の分離課題においても(Gurnsey & Browse, 1987)、目標探索課題においても(Malinowsky & Hübner, 2001; Mruczek & Sheinberg, 2005)特徴の検出を促進するといわれている。

そこで著者は端点と閉合性の臨界性を検討するために同一性判断課題を新たな実験手続きとして導入した。

全体図形集合から指定に従ってランダムに選ばれた図形を使用することにより、端点および閉合性以外の特徴値に由来する混同は最小限に抑えられた。また、ランダム図形の使用により親近性はもとより、特異的ないし典型的な図形を使用することにより生じる効果はすべて統御できたと考えている。また同一性判断課題は、同一画面中に 2 図形しか提示しないため、多数図形を同時提示することにより生じる要素図形間の相互作用も最小限に統御されたと考えられる。

#### 実験 1

実験 1 は図形の同一性判断において端点状態が臨界的な役割を担うか否かを検討しようとしたものである。ここで、端点状態とは端点の存在、あるいは端点の不在（即ち、閉合性の存在）を指している。本実験において同時提示される図形対を問題と称するが、同一 (0:0) 問題、同一 (1:1) 問題、非同一 (0:1) 問題、という 3 種の問題が準備された。ここでカッコ内のコロンの左右に記された数は、各図形中に含まれる端点数を示している。但し、コロンの左右に記されていても刺激提示時における各図形の左右の位置を指定しているのではない。また、同一性の判断に際して実験参加者には回転を伴う判断は求めず、角度差 0° における判断のみを求めた。

実験参加者は年齢 19 から 20 の男女 10 名の大学生であり、刺激としては、1 辺の長さが視角にして 3.3° から 6.6° の (6 点、5 線) 図形対が CRT 上に同時提示された。

問題の作成は以下の手続きに従った。全 3003 個の (6 点、5 線) 図形中に、まったく端点を持たない（言い換えると完全に閉合な）図形数は 160 個、1 個の端点を持つ図形数は 720 個ある。それら図形群をコンピュータプログラム上で別個にプールした後、該当するプールから図形をランダムに選び出し、さらに選び出された図形を組み合わせることによって、同一 (0:0) 問題、同一 (1:1) 問題、非同一 (0:1) 問題が出現比率 1:1:2 になるように作成された。実験参加者ごとに異なった問題集合が与えられ、問題の提示順はすべてランダム化された。

実験手続きとしては、実験参加者は同時提示された図形対が回転を含まずに同一であるか、非同一であるかをキーボード上の F5 キーか F6 キーを押すことで判断が求められた。

判断は迅速かつ正確であるようにと教示された。同一反応と非同一反応を F5 キーか F6 キーのいずれに割り付けるかで、実験は 2 ブロックに分けられた。それ故、実験参加者には 1 ブロックあたり練習試行 16 問題、本試行 192 問題、全試行では 416 問題が個別に用意された。

ここで実験に先立ち、図形対の同一性判断における特徴比較論的立場に共通する仮定を明示的に定立した。

仮定 1. 図形は特徴によって記述されていること。

仮定 2. 提示された図形を同定するためにとりあえず動員される諸特徴をここでは活性化された特徴集合と呼ぶこと。端点の存在と閉合性の存在は互いに排他的な関係にあるために両者が同時に活性化された特徴集合に含まれることはない。

仮定 3. われわれの複雑図形への限定的な認識能力を考えると、活性化された特徴集合の大きさはあまり大きくないこと。

仮定 4. もし与えられた図形中に存在する特徴が活性化された特徴集合中にも存在すればその特徴は急速に検出されるであろうし、活性化された特徴集合中に存在しなければその特徴は、候補となる他の特徴の活性化に先んじて、あるいは劣後して、補充的に活性化される必要があり、そのためにその特徴の検出は遅れるであろうこと。

仮定 5. 活性化された特徴集合中の他の未知な特徴や、補充的に活性化された特徴が各予想に与える影響は中立的であること。

これら仮定に基づき以下のような処理過程に基づく予測が立てられた。

予測 1. もし同一性判断課題において特徴比較的な過程が関与しないのならば、端点状態のみに従って問題が作成され、端点状態に基づく集合は全特徴集合中の部分集合をなすので、問題種類間に潜時差は存在しないであろう。

予測 2. 仮に特徴比較的な過程が並列的に実行され、端点が活性化された特徴集合に含まれるときは、活性化された特徴の検出は同時並行的に進行するが、補充的に活性化された閉合性の検出速度が一番遅くなる。そのため全体の検出速度も閉合性の検出速度を上限に抑えられるであろう。それ故 閉合性が図形対間で存在しない同一(1:1) 問題の潜時がすべての問題の中で最小となろう。非同一(0:1)問題と同一(0:0) 問題はともに閉合性の存在が検出速度を遅らせるために、潜時の差はないであろう。

予測 3. もし特徴比較過程が並列的になされ、閉合性が活性化された特徴集合に含まれるときは予測 2. と同じ理由により潜時は同一(0:0) 問題が最小になり、非同一(0:1) 問題と同一(1:1) 問題の潜時に差はないであろう。

予測 4. もし特徴比較過程が系列的・悉皆的になされるならば活性化された特徴集合中のすべての特徴値が検索されるであろう。そのため端点が活性化された特徴集合に含まれるとき、同一(1:1) 問題は両者の図形において端点が存在するために潜時

は最小になろう。非同一(0:1)問題では端点は一方の図形には存在するが他方には存在しないのに対し、同一(0:0)問題ではいずれの図形にも存在しないため、前者の問題の潜時は後者の潜時より小さくなろう。

予測 5. もし特徴比較過程が系列的・悉皆的になされ、閉合性が活性化された特徴集合に含まれるならば予測 4. と同じ理由により、同一(0:0)問題の潜時が最小になり、非同一(0:1)問題の潜時は同一(1:1)問題の潜時より短くなろう。

予測 6. もし特徴比較過程が系列的・自動打切りの的になされ、端点が活性化された特徴集合に含まれるときは、活性化された特徴集合中の図形対間で対応する各特徴値は順次検索・比較されていくが、一方の図形に端点が含まれ他方に含まれないとき、そこで検索・比較過程が終了し、非同一判断が下されるであろう。しかし同一問題ではどのような特徴集合においても図形対間で特徴値の違いがないため、特徴集合内のすべてが順次検索・比較されるために、同一問題の潜時は非同一問題の潜時に比べて遷延されるであろう。更に、同一(1:1)問題では端点が活性集合中に含まれるのに対して、同一(0:0)問題では含まれないために、前者の潜時は後者の潜時より小さくなろう。

予測 7. もし特徴比較過程が系列的・自動打切りの的になされ、閉合性が活性化された特徴集合に含まれるとき、予測 6. と同じ理由により非同一(0:1)問題の潜時が最小になり、同一(0:0)問題の潜時は同一(1:1)のそれより小さくなろう。

Table 19 に各処理過程に基づく予測と得られた結果を記す。

Table 19. 実験 1 に関する特徴比較の各処理過程に基づく潜時に関する問題間の順位の予測と得られた結果

各処理過程	潜時に関する問題間の順位の予測と結果
特徴比較関与せず	問題差は有意差なし
並列・端点活性化	同一(1:1) < 非同一(0:1) = 同一(0:0)
並列・閉合活性化	同一(0:0) < 非同一(0:1) = 同一(1:1)
系列・悉皆・端点活性化	同一(1:1) < 非同一(0:1) < 同一(0:0)
系列・悉皆・閉合活性化	同一(0:0) < 非同一(0:1) < 同一(1:1)
系列・打切り・端点活性化	非同一(0:1) < 同一(1:1) < 同一(0:0)
系列・打切り・閉合活性化	非同一(0:1) < 同一(0:0) < 同一(1:1)
(結果)	非同一(0:1) < 同一(0:0) < 同一(1:1)

(注) < は左の項の問題より右の項の問題の潜時が大きい、= は左の項の問題と右の項の問題の潜時に差が予測されない、を意味している

以下に結果を示す。また実験 1 における潜時の結果を示したのが Figure 77 である。

問題ごとの誤答率は、同一 (0 : 0) 問題では  $p = .001$ 、同一 (1 : 1) 問題では  $p = .017$ 、非同一 (0 : 1) 問題では  $p = .021$ 、であったが、正規分布検定の結果、同一 (0 : 0) 問題と非同一 (0 : 1) 問題の間で誤答率に有意差がみられたが ( $z = 2.34, p < .05, \text{two-tailed}$ )、それ以外では有意差は見られなかった ( $ps = ns$ )。明白な測度／正確性のトレードオフ関係が見られなかったため、以後の考察は潜時の結果だけに限ることにした。

繰り返しのある 2 元分散分析(ANOVA)を潜時に対して行った結果、問題種類の主効果は ( $F(2, 3742) = 67.5$ )、実験参加者の効果は ( $F(9, 3742) = 190.5$ )、それらの交互作用は ( $F(18, 3742) = 7.09$ )、でありすべて有意であった (all  $ps < .001, MSE = 0.075$ )。

次に各問題の潜時に関する同時比較を行ったところ、潜時差はすべて有意であった。それ故、各問題の潜時は、非同一 (0 : 1) 問題 < 同一(0 : 0)問題 < 同一(1 : 1)問題、の順に大きくなっていることが分かった (all  $ps < .01$ )。

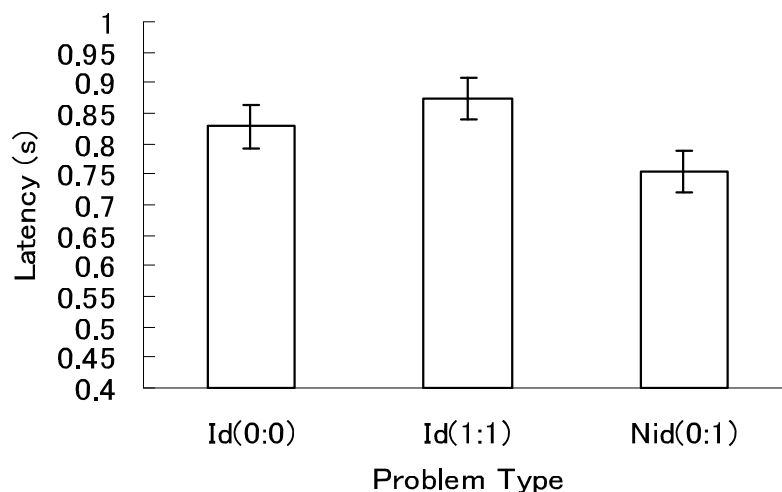


Figure 77. Kanbe(2009) の実験 1 における問題種類ごとの平均潜時。垂直の棒線は標準誤差を示す。Id は同一問題、Nonid は非同一問題を示す。

非同一 (0 : 1) 問題 の潜時が 2 種の 同一問題の潜時より小さいということは、肯定反応 (同一判断) が否定反応 (非同一判断) より急速になされるという「同一性判断の迅速化」現象とは矛盾する結果である。この同一性判断の迅速化現象は簡単に識別が可能であり、名称が付いているような刺激に対して顕著であるとされる (Corballis, Lieberman, & Bindra, 1968; Nickerson, 1965)。このような名称の付けられた図形というのは、当該図形の構造が分析されることなくそのまま表象上に記録される可能性が高いともいえよう。反対にいえば、同一性判断の迅速化 現象が見られないという結果は、本実験で提示された刺激図形は特徴分析された可能性を示しているともいえよう。

Table 19 をみると、得られた結果は、系列的かつ自動切りの特徴比較がなされており、図形中の端点の検出より閉合性の検出が優先される、という処理過程に基づく予想に最も合致していた。

より詳細に分析すれば、非同一 (0 : 1) 問題 と 同一(0 : 0)問題の潜時差は 70 ms、非同一 (0 : 1) 問題 と 同一(1 : 1)問題の潜時差は 120 ms あるが、活性化された特徴集合の大きさを仮に 3 以上としても、並列的走査の基準である 10 ms / 特徴の基準 (Taylor & Badcock, 1988; Treisman & Souther, 1985)をはるかに超えているので、本処理が系列的になされたことの傍証となっている。

しかし本実験方法は特徴検出を検討するための標準的な方法ではないので、より多くの実験参加者を使って端点と閉合性の役割を明らかにすべく実験 2 が実行された。

## 実験 2

実験 2 は神戸(2000)の一部引用でもある。本実験に先立って以下の仮定が定立された。

仮定 1. 活性化されている特徴は、補充的に活性化されねばならない特徴より速く検出されること。

仮定 2. 活性化されている特徴には端点ないし閉合性が含まれていること。

仮定 3. 実験 1 の結果により、特徴の比較は系列的に実行され、端点ないし閉合性は統計的に特徴集合中の中央の位置に存在すること (換言すれば、系列的比較過程のちょうど中間において端点ないし閉合性に関する値が比較されること)。この仮定は、大きさ  $n$  の特徴集合中で任意に指定された 1 つの特徴は、他に制約条件がなければ統計的に  $n/2$  に位置する、との前提に基づく。

仮定 4. 特徴の比較は非同一的特徴パターンに遭遇することにより自動切りされること。

このような仮定の下で以下の予想が立てられた。

予想 1. 端点が活性化された特徴であれば、同一、非同一の別なく(1 : 1)問題の潜時は(0 : 0)問題の潜時より小さくなる。ここでかっこ内のコロンの左右の数字は、実験 1 と同様に各刺激図形中に含まれる端点の数を示している。

予想 2. 閉合性が活性化された特徴であるならば、(0 : 0)問題の潜時は(1 : 1)問題の潜時より小さくなる。

予想 3. 非同一的特徴パターンに遭遇することによる自動切りが生じるために、非同一問題の潜時は同一問題の潜時より小さくなること。

実験手続きは実験 1 と大差ないが、変更点は以下のとおりである。

20 名の女子短期大学生が実験に志願した。

問題の作成法は実験 1 と同じであるが、問題種類を同一(0 : 0)問題、同一(1 : 1)問題、非同一(0 : 0)問題、非同一(1 : 1)問題、の 4 種へと変更した。

1 ブロック内において、練習試行として 20 問、本試行として 160 問、全 2 ブロックでは

380 の問題が実験参加者ごとに準備された。

以下に結果を示す。また Figure 78 は実験 2 における問題種類ごとの潜時を示している。誤答率はいかなる問題間にもその差はなかった(all  $ps = ns$ )。

また 3 元の ANOVA の結果、端点状態の主効果 ( $F(1, 5819) = 19.55$ )、同一／非同一の主効果 ( $F(1, 5819) = 49.28$ )、実験参加者の主効果 ( $F(19, 5819) = 77.44$ ) はすべて有意であった ( $ps < .001$ )。しかし同一／非同一と参加者の間の交互作用では有意であったが ( $F(19, 5819) = 3.78, p < .001$ )、その他の交互作用の有意性はなかった ( $ps = ns$ ;  $MSE = 0.032$ )。

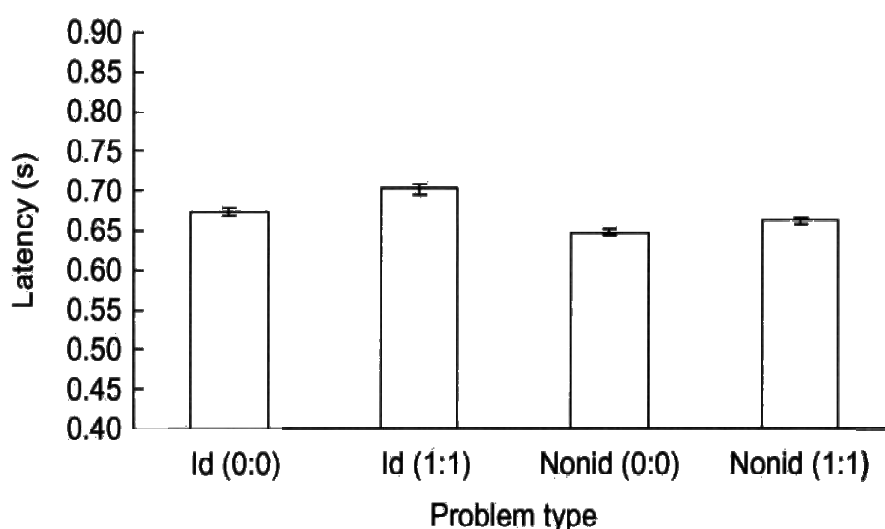


Figure 78. 実験 2 における問題種類ごとの平均潜時。垂直の棒線は標準誤差を示す。Id は同一問題、Nonid は非同一問題を示す。

端点状態の効果が有意であることは特徴比較的過程がなされているということ、および端点状態が臨界的であるということを示していよう。また、同一・非同一の効果が有意であり、非同一判断が同一判断に比べて潜時が短いことは、系列的・自動打ち切りの処理の過程が働いていることを示していよう。問題種類を込みにしたとき(0:0)問題の潜時が(1:1)問題の潜時より小さかったことは、閉合性の検出が端点の検出に優先されることを示していよう。これら結果はすべて実験 1 の解釈を補強するものであった。

### 実験 3

実験 1 と 2 から図形の同一性判断において端点の存在より閉合性の存在がより急速に検出されることは明らかになった。図形中に含まれる特徴の数が増えたり、ある特徴の完備性が高まったりすると、図形の同定に影響を与えるという報告もある (Elder & Zucker, 1993; Taylor & Badcock, 1988; Treisman & Souther, 1985)。

そこで実験 3 では、閉合性の度合いを高めると同一性判断の速度に影響を与えるか否かを確認しようとした。より具体的にいえば、図形内に複数の閉合性を持つ方が、閉合性を 1 つしか含まない図形の場合より効率的に同一性判断が遂行されるか否かを検討することとした。また線の交差が同一性判断に影響を与えることに関して矛盾した報告がある (Bergen & Julesz, 1983; Wolfe & DiMase, 2003) ので、問題作成にあたっては、平面幾何学的交点が存在しない図形のみを使用することとした。

問題の作成にあたって内部に 1 個の閉合性 (より厳格な用語としてはサイクル) と交点数 0 の図形および 3 個のサイクルと交点数 0 を持つ図形を、3003 個ある全(6 点、5 線) 図形の中から別個に選抜しプールした。ここで前者の図形数は 468、後者の図形数は 30 であった。さらに各プールからランダムに図形を選び出した後に、それらを組み合わせ、同一(c3 : c3)問題、非同ー(c3 : c3)問題、同一 (c1 : c1) 問題、非同ー (c1 : c1) 問題、の 4 種の問題を、1 : 1 : 1 : 1 の割合でランダムに作成した。同一問題には角度差 0° の同一図形対のみを含めた。ここでかっこ内の c3 や c1 の記号は問題中の各刺激図形に含まれるサイクル数を示している。なお c3 を持つ図形においては、大きなサイクルの内部に含まれる小さなサイクルも、大きなサイクル自体も、共にサイクル数として数えられた。

実験参加者は同時提示された図形対が回転を含まずに同一であるか、非同ーであるかを判断し、キーボード上の F5 キーか F6 キーを押すことが求められた。判断は迅速かつ正確に行うように教示された。同一反応と非同ー反応を F5 キーかと F6 キーのいずれに割り付けるかに従って実験は 2 ブロックに分けられた。Figure 79 に刺激図形例を示す。

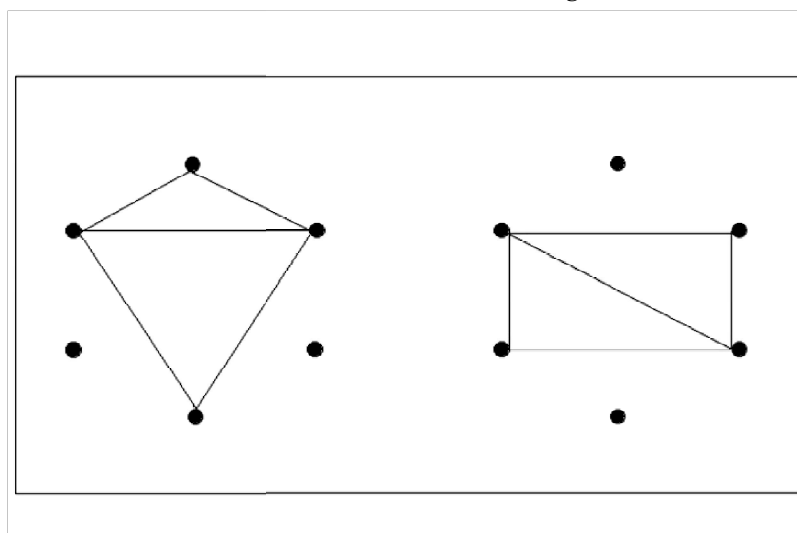


Figure 79. Kanbe (2009) の実験 3 における非同ー (c3 : c3) 問題の例。

実験参加者として男女 12 名の男女大学生が志願した。

刺激および実験手続きとしては、実験参加者には 1 ブロックあたり練習試行 16 問題、本試行 144 問題、全試行では 320 問題が個別に用意されたことを除いては、実験 1 および 2 と同様であった。

以下に結果を示す。また問題種類ごとの潜時に関する結果を Figure 80 に示す。誤答率は問題種類により 4%から 8%程度で、正規分布検定によればどの問題種類間でも差はなかった(all  $ps = ns$ , two-tailed)。

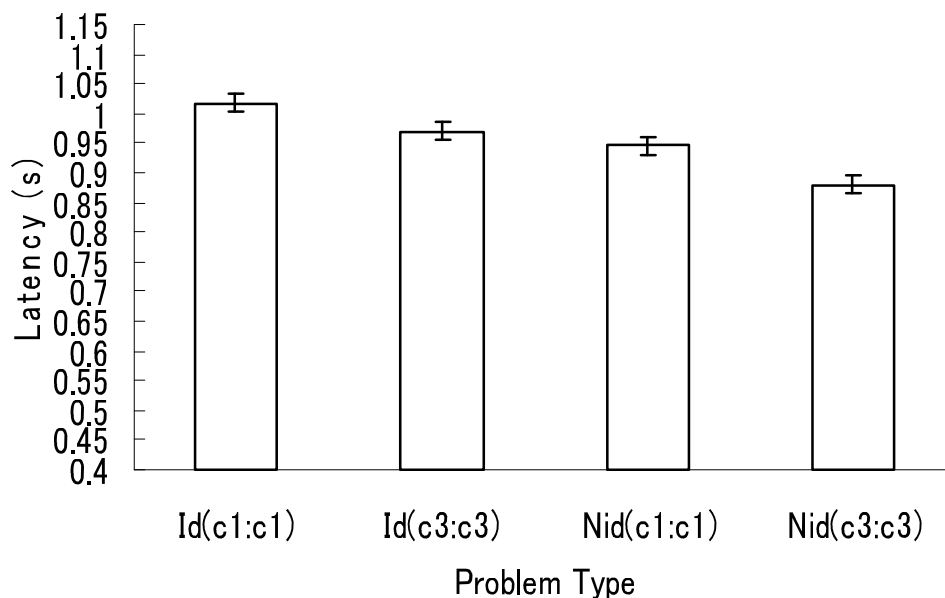


Figure 80. Kanbe (2009) の実験 3 における問題種別ごとの平均潜時と標準誤差。Id は同一問題、Nonid は非同一問題を示す。

繰り返しを含む 3 元の ANOVA の結果、サイクル数 ( $F(1, 3249) = 19.56$ )、同一／非同一の判断 ( $F(1, 3249) = 39.67$ )、実験参加者 ( $F(11, 3249) = 127.61$ )、のすべての主効果は有意であった (all  $ps < .001$ )。しかし交互作用は同一／非同一の判断と実験参加者の間のみで有意であったが ( $F(11, 3249) = 6.39$ ,  $p < .001$ )、それ以外ではすべて有意差はなかった ( $ps = ns$ ,  $MSE = 0.136$ )。

非同一問題の潜時が同一問題の潜時より小さいということは、系列的・自動打切りの特徴比較過程がなされているという立場を支持している。また同一／非同一判断を込みにしてみると、(c3 : c3)問題の潜時が (c1 : c1)問題のそれより小さいという結果は、閉合性の度合いが強まると同一性判断が促進されること、更には閉合性の存在が同一性判断において臨界的であることを示唆している。

参考のために問題種類間の同時比較を行ったところ、非同一(c3 : c3)問題 < 同一(c3 : c3)問題  $\asymp$  非同一(c1 : c1)問題  $\asymp$  同一(c1 : c1)問題 ; および同一(c3 : c3)問題 < 非同一(c1 : c1)問題 ; の順に潜時は増大した。ここで < は左の項より右の項の潜時が 1%水準で有意に大きいこと、 $\asymp$  は左右の項の間で潜時が 5%水準での有意差を持たないことを示している。同一(c3 : c3)問題と非同一(c1 : c1)問題に潜時差がなかったことは、前者において複数の閉



合性による促進効果と同一問題という抑制効果が互いに打ち消しあったと考えることができよう。

以下は総合的な考察である。

全実験において、図形の同一性判断には閉合性が臨界的役割を示していた。すべての実験において同一問題より非同一問題の潜時が遷延していることから、同一性判断の過程は系列的、自動打ち切りになされていることが示された。実験 1 と 2 では、端点の存在に対して閉合性の存在の検出が優先されることが、実験 3 では、1 個のみの閉合性に対して複数の閉合性の存在が優先して検出されることが明らかになった。

端点の存在は局所的に指定可能な特性であるのに対して、閉合性の存在は図形全般にわたる大局的な特性である。それ故、どのようにして閉合性が検出されるかについては、(a) 閉合性自体が検出される、という可能性と、(b) 閉合性の検出は各線分が連結していることを大局的に確認した結果である、という可能性が考えられる。(b) の可能性においては、連結性の破綻が端点の存在を表していることを意味している。しかしながらこの説明は、基本的に端点検出優先理論における図形中に端点が不在な場合に相当する。端点優先理論は本実験においてことごとく否定されてきているので、(a) の閉合性自体が検出可能なこと、および閉合性の存在が端点の存在に比べてより臨界的であること、を結論とすることができる。

参考として行った実験 3 における潜時の大きさに関する問題種類の順に関する分析では、同一(c3 : c3)問題と非同一(c1 : c1)問題、非同一(c1 : c1)問題と同一(c1 : c1)問題の間で潜時差が有意ではなかった。この結果は系列的・自動打ち切りの立場と矛盾するとは言えない。しかし、すべての c3 図形は完全に閉じているのに対して、c1 図形の一部は閉合性（サイクル）と端点が同時に存在していることを述べておかねばならない。そのため(c1 : c1)問題に対する潜時には、閉合性が 1 つ存在することに由来する効果とともに、端点が 1 つ存在することによる効果が、含まれているといえる。即ち、(c1 : c1)問題は(c3 : c3)問題に比べてより雑音の多い図形対となってしまうことも否定できない。この雑音の多さが非同一(c1 : c1)問題に対して正しく非同一判断を行うことを遷延させてしまったのかもしれない。

前述した閉合性が直接的に検出可能であるとの立場は、同時に複数の閉合性も個別に検出されるのではなく全体として検出されるということも含意する。それ故、同一(c3 : c3)問題の潜時が同一(c1 : c1)問題の潜時より短かったことは、前者の図形対においては後者の図形対より閉合性の度合いが顕著であったという、包括的閉合度によって説明できると思われる。

さらに特筆すべきことであるが、本実験で使用されたすべての c3 図形は、グラフ理論上ではみな同じ同型集合に属することが分かっている。同じ同型集合に属するすべての図形についてのグラフ不変数はいずれも同じ値をとる。それ故、当初の活性化特徴集合がすべ

て不変的特徴からなっていた場合には、非同一(c3:c3)問題では図形対間に不変的特徴の値に差がないために、系列的な処理を行おうとするとすべての特徴比較が尽くされねばならず、更に相対的特徴が付加的に活性化しなければならないので、反応は遷延するであろう。しかるに結果をみると、非同一(c3:c3)問題の潜時は最小であった。即ち、互いに同型な図形間の識別が容易であったことは明らかである。

本論文で展開されてきた特徴比較的説明は実験結果によって支持されている。しかし上記結果をも含めて特徴比較論的立場を堅持しようとするならば、活性化された特徴集合には不変的特徴といった深層的情報以外に、閉合性の持つ方向であるとか、複数の閉合を持つ特定の形状といった何らかの相対的な特徴が含まれている必要がある。こうした推測はChen (1982, 1990)らの主張するトポロジカルな形態知覚理論の一般性に懐疑を投げかけるものである。

**4. 4. 1. 3. 目標探索課題に関する学会発表** 神戸 (2005a)においては、これまでのような同一性判断課題ではなく、特徴の原始性を検討する際に標準的に使用される目標探索課題によって端点と閉合性の初期視覚の役割について検討しようとした。しかしその内容はKanbe (2008b)において、より詳細、厳密に紹介されているので、ここでの説明はせず、以下の4. 4. 1. 4. で一括して紹介したい。

**4. 4. 1. 4. 目標探索課題に関する論文** 神戸 (2005a)における目標探索課題による端点と閉合性の役割についての研究をより詳細に検討したのがKanbe (2008b)である。

目標探索課題において非特徴的要因として探索速度に影響を与えるといわれる、(a)目標要素図形と非目標要素図形との類似性 (Duncan & Humphreys, 1989)、(b)非目標要素図形間の群化 (Bacon & Egeth, 1991)、(c)非目標要素図形間の形態の変異 (Treisman & Souther, 1985)、に関しては他実験と同様に本実験においても統御されていない。

しかし目標探索課題に関する他の問題点として考えられる、単純図形や熟知した図形を使用することによって目標図形と非目標図形間で非特徴的な相互作用が生じやすいことや、単純図形や熟知した図形を使用することによる刺激への親近性が探索速度に影響を与えること (Malinowski & Hübner, 2001)は、(6点、n線)図形を採用することによって回避できていると考えられよう。

## 実験 1

実験 1 では(6点、5線)図形を要素図形とした。ブロックごとの試行開始に先立ち、実験者は閉合性ないし端点のいずれかを特徴として指定した。ここで指定された特徴を含む要素図形を目標図形とした。試行時に実験参加者は、指定された特徴を含まない要素図形(即ち、非目標図形)が複数提示された刺激画面中に、目標図形が存在するか否かを判断することが求められた。

年齢 18 歳から 20 歳の男女 18 名の大学生が本実験に志願して参加した。

可変な数の要素図形が CRT 上の刺激画面に提示されることを問題と称した。各要素図形は(6 点、5 線) 図形からなっていた。要素図形の 6 個の原始点を表わす小円が要素図形には付されていた。要素図形の各線分は視角にして  $1.28^\circ$  から  $2.56^\circ$  であった。刺激画面中に提示される要素図形の数 4、8、16、のいずれかであった。刺激画面中の  $24.3\text{cm} \times 15.2\text{cm}$  の表示領域は水平方向、垂直方向に各 4 個、全 16 の非可視的小領域へと分割されており、各要素図形はランダムにそのうちの 1 つの領域を、要素図形と小領域の両中心が一致する位置で占めた。ここに刺激提示画面の例を Figure 81 に示す。

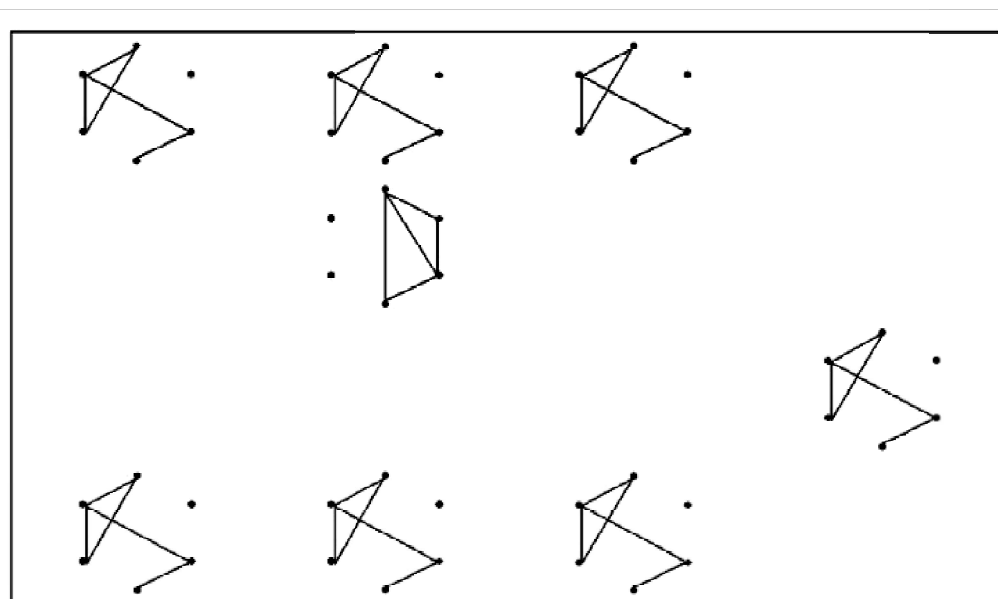


Figure 81. Kanbe (2008b)の実験 1 における要素図形数 8 の閉合／端点問題の例。

問題の作成は 3003 個ある(6 点、5 線) 図形中から、端点数 0 によって指定される完全に閉じた 162 個の図形と端点 1 を持つ 720 個の図形を別個にプールし、それらプールからランダムに図形を選び出し、さらにそれらを組み合わせて、不在／閉合問題、不在／端点問題、端点／閉合問題、閉合／端点問題、の 4 種類の問題がそれぞれ 72 問作成された。ここでスラッシュ ( / ) の前の項は目標図形中に含まれていると指定された特徴、後の項は非目標図形に含まれている特徴、が表わされている。なお目標図形が不在であるとは、提示される要素図形すべてが非目標であることを意味している。

問題集合は実験参加者毎に個別に作られた。4 種類の問題の出現頻度は 1 : 1 : 1 : 1 に設定された。また全ての不在／閉合問題と全ての端点／閉合問題は合わせて端点探索問題集合と名付けられた。同様に、全ての不在／端点問題と全ての閉合／端点問題は合わせて閉合探索問題集合と名付けられた。端点探索問題集合と閉合探索問題集合は更にそれぞれ 2 分された。このように 2 分された端点探索問題集合の 1 つと閉合探索問題集合の 1 つを合

併して1つの問題ブロックを作成し、同様に残った端点探索問題集合の1つと閉合探索問題集合の1つを合併して別の問題ブロックを作成した。その結果、1つの問題ブロックには、不在/閉合問題、端点/閉合問題、不在/端点問題、閉合/端点問題、がすべて同数(36個ずつ)含まれていた。さらに、各ブロック内で問題の提示をランダム順にさせた。

手続きとしては、実験参加者には実験開始に先立ち端点の存在と閉合性の存在についての定義が図による例示とともに説明された。実験参加者は前もって教示された特徴を持つ要素図形が刺激画面中に存在するときは「存在」、存在しないときは「不在」、を表すキーボード上のF5ないしF6のキーを押す反応が求められた。刺激画面は反応が生じるまで提示され続けた。刺激画面中に提示される要素図形数4、8、16、のうち、目標図形数はそれぞれ0ないし1であり、非目標図形数はそれぞれ3ないし4、7ないし8、15ないし16であった。

各実験参加者に対して実験は、「存在」反応をF5に割り付けるか、あるいはF6に割り付けるか(言い換えれば、「不在」反応をF6に割り付けるか、F5に割り付けるか)、によって2セッションに分けられ、セッションごとにキーの割り付けは交替された。各セッションは更に2つのブロックに分けられた。実験者はブロック開始に先立ち実験参加者に、これからのブロックにおいて提示された刺激画面中において端点が存在する(あるいは閉合性が存在する)要素図形を探し出し、それが存在するときは「存在」のキーを、存在しないときは「不在」のキーを押すように求めた。反応にあたっては、迅速かつ正確に行うことが求められた。各ブロックにおいてフィードバックのある12問の練習試行が終了した後、60問の本試行が実施された。両ブロックは問題作成プログラム上での端点検出問題部分集合と閉合検出問題部分集合とに対応している。それ故、各実験において、「存在」キーをF5にするか、F6にするか、端点検出問題部分集合と閉合検出問題部分集合のいずれを第1ブロックにするかは実験者ごとにランダム化されたあと、ブロックごとに两部分問題集合がABBA順に提示された。

次に結果を示す。また問題種類ごとの潜時に関する主たる結果をFigure 82に示す。

各問題種類の平均潜時(およびSD)は、不在/閉合問題で1.50 s (0.57 s)、不在/端点問題で1.85 s (0.83 s)、端点/閉合問題で1.06 s (0.43 s)、閉合/端点問題で1.28 s (0.58 s)であった。次に潜時に関する3元のANOVAによれば、問題、提示図形数、実験参加者の主効果、およびそれらの交互作用はすべて有意であった： $F(3, 102) = 322$ ,  $F(2, 102) = 236$ ,  $F(17, 102) = 48$ ,  $F(6, 102) = 36$ ,  $F(51, 102) = 4.6$ ,  $F(34, 102) = 4.2$ ; all  $ps < .01$ ,  $MSE = 0.01$ 。問題種類の潜時に関してScheffe法による同時比較を行ったところ、すべての問題間の差は有意であった( $ps < .001$ )。

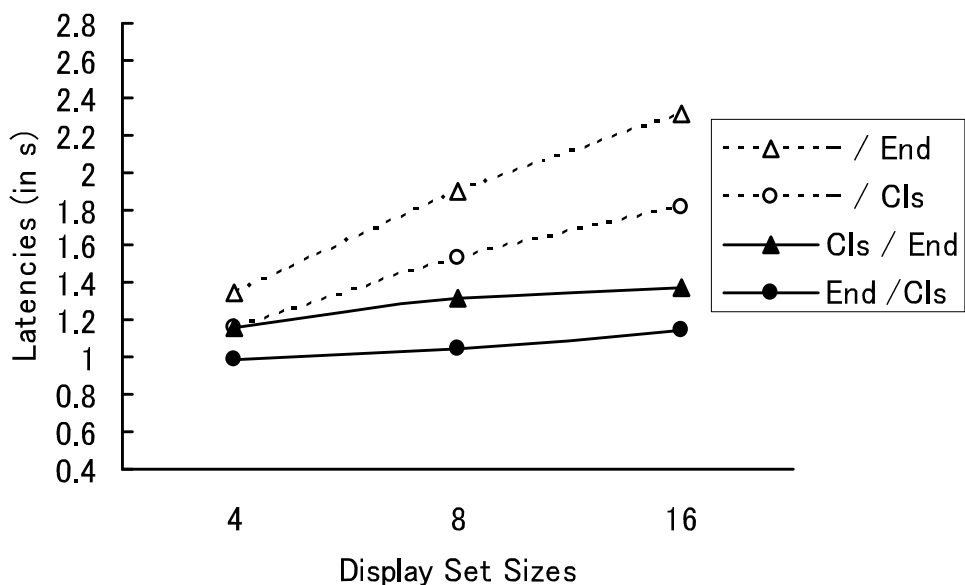


Figure 82. 提示図形数に対する各問題の平均潜時。Kanbe (2008) より引用した。凡例中の記号に関して、一は不在、End は端点、Cl s は閉合、を意味している。

線形回帰分析を各問題の提示図形数に対する潜時に対して施したところ、それらの傾きはそれぞれ、不在/閉合問題で 49 ms / 提示図形数,  $SE=30$  ms; 不在/端点問題で 76 ms / 提示図形数  $SE=63$  ms; 端点/閉合問題で 12 ms / 提示図形数  $SE=12$  ms; 閉合/端点問題で 16 ms / 提示図形数  $SE=15$  ms; であった。Treisman and Souther (1985)によれば急速・有効な探索速度は 5 ないし 6 ms 以下とされるので、本実験での探索は非有効な速度で行われていたと推測された。それ故、端点も閉合性もポップアウトはせず、探索には注意が必要と考えられた。

考察として、端点・閉合にかかわらず特徴が存在する場合の潜時が存在しない場合の潜時より小さいという結果が得られた。これは Treisman and Gormican (1988)、Treisman and Souther (1985)の結果と整合し、端点/閉合問題の潜時が閉合/端点問題の潜時より小さいという結果は Treisman and Souther (1985)や Mori (1977)の報告と整合している。

一方、不在/端点問題に比べて不在/閉合問題の潜時が小さいという結果も Treisman and Souther (1985)の不完全な円を目標としたときの不在判断が完全な円を目標としたときの不在判断より速いという結果と整合している。

提示図形数の潜時に対する回帰係数は全ての問題において系列探索の範囲に属している。また端点/閉合問題の潜時と閉合/端点問題の潜時の比は 1 : 1.2 であり、顕著な差とはいえない。それ故、端点が前注意的に検出される原始的特徴と主張することは困難といえよう。

端点／閉合問題の潜時が閉合／端点問題の潜時より小さいという結果は 2 つの解釈可能性を持っている。第 1 の解釈は、本実験では明白な支持は得られなかったが、端点の存在が顕著であったために実験参加者は有効な速度で端点を探索できたというものである。

第 2 の解釈は、閉合図形の背景下における端点の存在は、端点図形の背景下における閉合性の存在に比べてより大きなコントラスト値を持っており、前者における端点の存在は、均一な背景上の攪乱ととらえることができるというものである。この解釈は、閉合性は群化により背景となりやすいという主張 (Donnelly, Humphreys, & Riddoch, 1991)とも結びついている。

これら 2 つの解釈を目標不在条件において評価すると、不在／端点問題の回帰係数が大きい結果を説明するために第 1 の立場では、複数の端点の顕著さは系列的探索速度を低下させるという新規の仮定を設けなければならないが、不在／閉合の探索速度が不在／端点に比べて速いことを第 2 の立場はよく説明している。

全体として閉合性に関する群化を主張する立場が端点の顕著性を主張する立場よりも説明可能性が高いといえよう。

## 実験 2

実験 2 では、実験 1 で得られた問題種類間の相対的探索速度の違いが単純な要素図形を使った探索課題においても得られるかを検討した。

本実験が実験 1 とは異なっていた点は以下のとおりである。

1. 要素図形には(6点、3線)図形が使用された。
2. 原始点を表す小円は、全(6点、 $n$ 線)図形中のある図形を他の図形と明示的に区別して画面上に提示するうえでの必要条件であるが、実験参加者にとって与えられた課題に関する判断を生じさせる上で無関連あるいは妨害的な情報と考えられなくもない。そこでこれら小円の表示が反応に影響を与えている可能性を考慮して、本実験では原始点を表す小円は要素図形中に表示されなかった。
3. さらに実験 1 の提示図形数に関する 3 条件に加えて提示図形数を 12 とする刺激画面条件を新たに設けた。
4. 線の交差を持った図形を刺激図形から排除した。

以下に方法を簡単に記す。

年齢 18 歳から 21 歳の男女大学生 14 名が実験参加者に志願した。

刺激画面中の各要素図形の大きさや配置法は実験 1 と同じであるが、各要素図形には原始点を表す小円は付されなかった。要素図形としては(6点、3線)図形が使用された。

問題作成と手続きについては以下の点を除けば実験 1 と同じであった。455 個ある(6点、3線)図形のうちからサイクルを持つ図形を閉合図形とし、サイクルも線の交差も持たない図形を端点図形とした。なお(6点、3線)図形においてサイクル数 1 を持つ図形は全て 3 角

形をしており、完全に閉じていることに留意されたい。実験は「存在」反応に F5 キーを割り付けるか、F6 キーを割りつけるかによって 2 セッションに分かれ、各セッションは更に練習試行として 12 問題、本試行として 108 問題からなるブロック 2 個から成り立っていた。それ故、各実験参加者あたりに提示された問題数は 480 問である。問題種類として不在／閉合問題、不在／端点問題、端点／閉合問題、閉合／端点問題の 4 問題と、提示図形数として 4、8、12、16 の要素図形を持つ問題が全て同数用意された。

以下に結果と考察を示す。

問題種類ごとの平均潜時(SD)は、不在／閉合問題で 0.57 s (0.20 s)、不在／端点問題で 0.61 s (0.19 s)、端点／閉合問題で 0.52 s (0.15 s)、閉合／端点問題で 0.56s (0.16 s)であった。潜時に関する 3 元の ANOVA によれば、問題、提示図形数、実験参加者の主効果、およびそれらの交互作用はすべて有意であった： $F(3, 117) = 50.08$   $F(3, 117) = 11.7$   $F(13, 117) = 87.5$ ,  $F(9, 117) = 2.78$ ,  $F(39, 117) = 4.85$ ,  $F(39, 117) = 2.67$ ; all  $ps < .01$ ,  $MSE = 0.001$ 。問題種類の潜時に関して Sheffe 法による同時比較を行ったところ、不在／閉合と閉合／端点問題の間を除き ( $p > .05$ )、すべての問題間の差は有意であった( $ps < .001$ )。

線形回帰分析を各問題の提示図形数に対する潜時に対して施したところ、それらの傾きは不在／端点問題では有意であったが ( $p < .01$ )、それ以外は有意ではなかった ( $ps > .05$ )：不在／閉合問題で 1.3 ms / 提示図形数,  $SE = 3.3$  ms；不在／端点問題で 5.3 ms / 提示図形数  $SE = 3.5$  ms；端点／閉合問題で 0.4 ms / 提示図形数  $SE = 1.3$  ms；閉合／端点問題で 1.8 ms / 提示図形数  $SE = 1.3$  ms。

実験 1 の結果と比べると、潜時自体は大きく減少しているが問題種類ごとの潜時の順は保たれていた。回帰係数をみると全ての問題種類において探索は並列的な速度でなされていたと考えらる。刺激の複雑性の違いにも関わらずほぼ同じ結果が得られたことは、実験 1 で推定された 2 つの解釈は実験 2 でも成り立つことを示している。

2 つの解釈のうちいずれが妥当であるかの確定的診断は困難であるが、状況証拠的には群化理論の方がより適切であると考えられる。

この立場は同一のある種の要素図形は群化することを前提としているが、その群化力は要素図形が刺激画面全体にわたり周密、等で配置されているときに、即ち提示図形数 16 のときに、最大になるであろう。このことを確かめるために以下の分析を行った。

不在／閉合問題の提示図形数 4、8、12、16 の平均潜時はそれぞれ、0.537 s、0.611 s、0.576 s、0.567 s、であった。これらに対して同時比較を行うと、潜時は図形数 4 と 8 の間 ( $p < .01$ )、および図形数 8 と 16 の間 ( $p < .05$ )に有意差があったが、その他の組み合わせにはなかった ( $ps > .05$ )。この結果は群化理論を明白に支持していると言えないが、低い提示図形数の段階では、図形数の増大とともに潜時が上昇するという提示図形数効果が生じ、高い提示図形数の段階では群化の効果が生じ、両効果が互い打ち消しあったと考えることができよう。

総合的考察として、要素図形の複雑性の違いにかかわらず実験 1 と実験 2 では、端点／閉合問題、閉合／端点問題、不在／閉合問題、不在／端点問題の順に潜時が大きくなった。これに対して、端点が顕著な特徴であることにより端点への有効な探索が生じたとの解釈と、閉合図形が群化を生じ一様な背景を形成したとの解釈が試みられたが、後者の群化に基づく説明の説得性がより高いと判断された。

このような判断は、探索の有効性はある状況下では特徴の顕著さといった特徴要因によって決定されるのではなく、特徴の群化に見られるような背景要因によって決定されることがある、との考えを導きだす。実際、よい形と小さな半径を持った閉合図形の輪郭ははっきりした境界を持った円形のシミ状領域を作りだしやすいし、円形のシミ状領域が表示領域全体に分布している場合は、開いた図形の輪郭によってできる不明確な境界を持つ領域が分布している場合より、互いに群化しやすいであろう。こうした説明は Wolfe (2000) による、閉合性はそれ自体が有効な探索を生じさせる能力を持つというよりは他の探索をより有効にさせる能力を有している、との主張と軌を一にするものである。

**4. 4. 1. 5. 特徴検出課題に関する論文** 同一性判断課題や目標探索課題によってある特徴の臨界性を検討するためには幾つかの前提を置かなければならない。

例えば、同一性判断課題においては、活性化された特徴集合が存在すること、その大きさはあまり大きくないこと、活性化された特徴集合中に存在する特徴は図形中からより急速に検出されること、活性化された特徴集合の他の未知な特徴は当該の特徴の検出に影響を与えないこと、といった仮定である。

また特徴探索課題においては、参加者が検出しようとするのは提示要素図形そのものではなく提示図形中に存在する特徴であること、原始的な（あるいは臨界的な）特徴は前注意的に検出されること、前注意的な検出は線形回帰係数上で例えば 5 ms / 提示要素図形数の数値よりも小さい数値によって表わされること（言い換えれば、5 ms / 提示要素図形数より急速な速度で探索されること）、等の仮定である。

それに対して Kanbe (2010) では特徴検出課題を新たに考案して、特徴の臨界性をより直接に検討しようとした。この課題は実験参加者に対して、単独に提示された（6 点、5 線）図形中に前もって指定された特徴（即ち、端点ないし閉合性）が存在するか否か判断することを求めるというものである。

#### 前提

初期視覚における特徴の役割を検討するために特徴検出課題が採用されることはほとんどなかったといえよう。その理由の 1 つとして、特定の特徵値を共有しつつも様々な変異体を持つような刺激図形が得られなかったということがある。

しかし特徴検出課題は、探索課題や肌理の分離課題に見られるような低位水準での干渉に影響されずに当該特徴の検出可能性を測定できるという利点を有している。ここでの低位水準の干渉としては、要素図形を複数提示することによって生じる、要素間距離 (Sagi &



Julesz, 1987)、非目標要素図形間の群化 (Bacon & Egeth, 1991; Kanbe, 2008b)、非目標要素図形間の変異 (Treisman & Souther, 1985)、といった現象があるが、それらは刺激図形の単独提示によって解消することができる。

また探索課題や肌理の分離課題で使用される図形はほとんどの場合少数の単純図形であった。そのために、親近性効果や呼称可能性といったの高次の処理が結果に干渉を起している可能性がある。例えば、閉合性や端点が急速に検出されたと解釈された結果は、視点を変えれば刺激図形の持つ呼称可能性に基づいて(例：三角形、矢、スラッシュ、四辺形)急速に同定された、と解釈することも可能である。ランダム図形である(6点、 $n$ 線)図形を使用した本実験では刺激への親近性は存在せず、結果の解釈に高次の干渉を受けることはない。また多数の端点状態を持つ(6点、 $n$ 線)図形を使用することによって、特異的・典型的な図形に由来する効果(例えば、呼称可能性)を希薄化することができる。

一方、本実験における限界も明らかである。考察の項で再度触れるが、本実験課題に関しては、注意的処理と前注意的処理を識別するための確立された基準が存在していないことが挙げられる。

#### 方法

年齢 18 歳から 22 歳の 18 名の男女大学生が実験に志願した。

CRT 上に単独提示された(6点、5線)図形が刺激となった。非可視的な正 6 角形の隣り合った頂点間の距離は 3.8cm に設定された。これら 6 個の原始点を表す半径 0.2cm の小円は正 6 角形の頂点の 0.2cm 外方に表示された。刺激図形の辺長は視角にして  $3.3^\circ$  から  $6.6^\circ$  であった。

2 種類の(6点、5線)図形を使用した問題がランダムに作成された。End 図形とは端点を 1 つだけ持つ図形を、Cls 図形とは端点を持たない、言い換えれば完全に閉じた図形をいう。720 個ある End 図形は全て孤立点を 1 つ持つが、162 個ある Cls 図形のうち 72 図形は孤立点を 1 個持ち、90 図形は孤立点を 2 個持つ。各実験参加者にはこれら End 図形 Cls 図形からそれぞれ 160 個、合わせて 320 個をランダムに選び出し、さらにそれらはランダム順に配置された。これら各図形を問題と称した。

すべての Cls 図形は完全閉じていたので、提示された Cls 図形と End 図形は互いに排他的であった。指定された特徴が端点の存在のとき、それが存在する場合を Endp(+)**問題**、存在しない場合を Endp(-)**問題**と称し、指定された特徴が閉合性の存在のとき、それが存在する場合を Clos(+)**問題**、存在しない場合を Clos(-)**問題**と称した。ここで、Figure 83 に End 図形と Cls 図形の例を示す。

実験参加者は CRT の前に座し、問題として単独提示された図形中に前もって指定された特徴が存在するか否かをキー押しによって判断することが求められた。実験は「存在」反応を F5 キー、「不在」反応を F6 キーに割り付けるか、「存在」反応を F6、「不在」反応を F5 に割り付けるか、で 2 セッションに分割された。各セッションは更に 2 ブロックに分割された。各ブロック開始にあたり実験参加者は、閉合か端点かいずれかの特徴が指定され、

提示された図形中に指定された特徴が存在するか、不在であることを迅速かつ正確に判断することが求められた。第 1 ブロックにおいていずれのキーの役割といずれの特徴を指定するかはランダムに決定された。さらに上記 4 ブロックは ABBA 順に提示された。

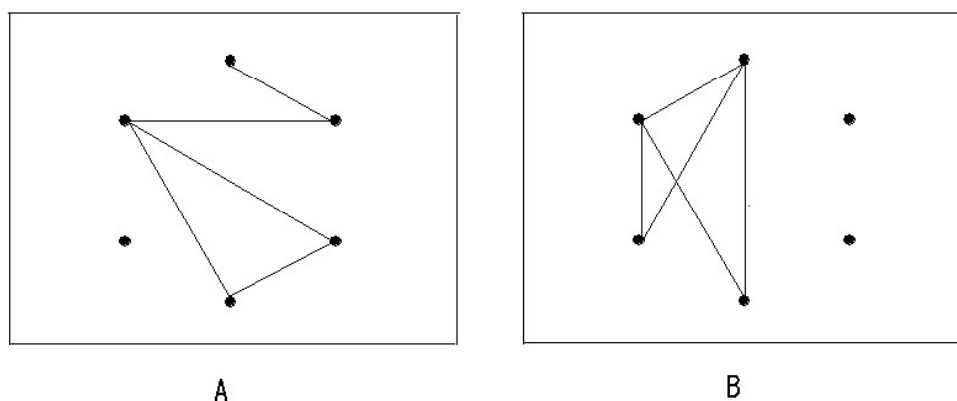


Figure 83. 刺激図形例。Aの図はEnd図形の例を、Bの図はCls図形の例を示している。

各ブロックは 15 問からなる練習試行とそれに引き続く 65 問の本試行から成り立っており、各実験参加者は全部で 60 問の練習試行と 260 問の本試行を実施した。練習試行においては反応に対するフィードバックが与えられたが、本試行では与えられなかった。

各反応に関する主たる測度は、刺激図形提示からキー押し反応までの潜時であった。

実験開始に先立ち、実験参加者には(6 点、5 線)図形における端点と閉合性の定義と、図による例示が文書によって与えられた。

#### 結果および考察

潜時に関する分析は本試行の正答のみを対象とした。問題ごとの平均潜時と誤答率を Figure 84 に示す。

問題間で誤答率の差はなかった (all  $ps = ns$ )。それ故、以後の分析は潜時に限定した。

潜時に関しての 2 元 ANOVA によれば、問題  $F(3, 4508) = 50.3$  と参加者  $F(17, 4508) = 50.3$  の主効果、およびそれらの交互作用  $F(51, 4508) = 3.85$ 、はすべて有意であった (all  $ps < .001$ ;  $MSE = 0.06$ )。更に Scheffe 法による問題間の同時比較を行った結果、潜時は  $Clos(-) \cong Endp(+)$   $\cong Clos(+)$   $< Endp(-)$ 、および  $Clos(-) < Clos(+)$  の順に大きくなった。ここで  $\cong$  は左右の項の間に潜時の有意差がないこと ( $ps > .05$ )、 $<$  は左の項の潜時より右の項の潜時が大きいことを示している ( $ps < .01$ )。

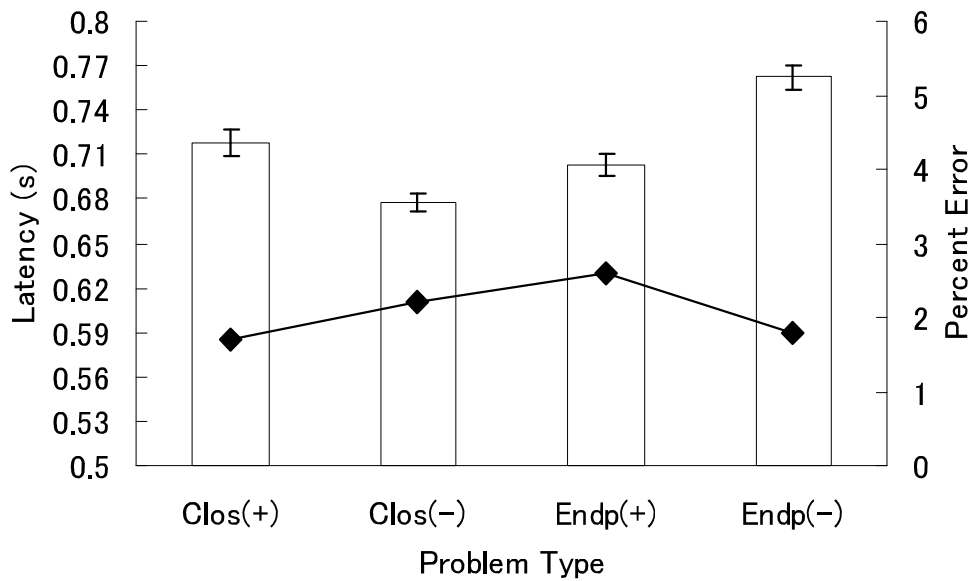


Figure 84. 各問題の潜時と誤答率 (%). 潜時は棒グラフで、塗られた菱形は誤答率を示している。棒グラフに付随した垂直線は標準誤差を示している。

問題種類の効果は課題と刺激図形の特徴を反映している。ここで Clos (+)と Endp (-)は同一の端点状態を示しており、Clos (-)と Endp (+)も同一の端点状態を示していることを銘記しておく必要がある。もし課題効果が存在せず刺激効果のみが存在していたとしたら、上記の同一端点状態を示す問題間では潜時差は存在しないはずである。この条件に加えて閉合性の検出が端点に優先すると仮定したら、潜時は Clos (+) < Endp (+)となり、また Endp(-) < Clos (-)となるであろう。一方、端点の検出が閉合性の検出に優先されるとしたら、潜時は Endp(+)< Clos (+)となり、また Clos (-) < Endp (-)となるであろう。

結果を包括的に評価すると、端点優先仮説が優位であることは明らかであるが、より細に結果を見ると Endp(+ )問題と Clos (+)問題の間に潜時差はなかった。さらに、得られた結果をこのように刺激効果だけで説明するためには幾つかの問題点が存在する。

第1点として、Clos (+) 問題と Endp (-)問題の潜時差が有意であったことが挙げられる。このような現象を特徴検出の非対称性と呼ぼう。検出の非対称性が存在すること自体は、刺激図形の効果だけではなく、課題特性も結果に影響を与えていることを示している。より具体的に述べるならば、特定教示下における参加者の心的構えのような意図的要素が介入していることを示していよう。存在と不在の両条件を込みにすると、閉合性検出の平均潜時は 0.697 s であり、端点検出の潜時は 0.733 s であって、両者間の差は有意であった ( $F(1, 4544) = 21.8, p < .001$ )。この点のみを考慮すると閉合性検出の構えの方が端点検出の構えより有効であったことを示している。

第2点として、多くの探索実験を総覧した Treisman & Gormican (1988)は、それが並

列処理速度の範囲であろうと系列処理の範囲であろうと、正の探索（存在する目標を探索すること）速度は負の探索（不在の目標を探索すること）速度よりもほとんど常に速いという結論を出している。この知見に照らしてみると、Clos (-)問題の潜時が Clos (+)問題の潜時より小さかったという事実は、得られた結果が特徴探索過程のみを反映しているとの前提に疑問を与える。

こうした結果を説明しうる代替的立場とは、閉合性が目標として指定された時は「閉合性が存在する」との状態がデフォルトの判断状態として参加者中に設定され、提示画面中にデフォルトな判断状態に対する攪乱が生じた場合（即ち、端点らしきものが検出された場合）には、攪乱が生じない場合に比べて「閉合性の不在」への決定過程がより急速に発動するというものである。同様に、端点が目標として設定された場合は「端点が不在である」との状態がデフォルトの判断状態として設定され、それに対する攪乱状態の検出が「端点は存在する」との決定を急速に導き出すというものである。ここで閉合性を目標としたときのデフォルト判断状態である「閉合性の存在」と、端点を目標としたときのデフォルト判断状態である「端点の不在」は、実は端点の状態に関しても同様の状態であることに注意すべきといえよう。

この立場は、心的構えとも称されるべき働きがデフォルトの判断状態の設定に向けて意識的に発動されるが、デフォルト状態に対する攪乱の検出はかなり自働的な過程であるとの仮定に基づいている。この立場は、目標が閉合性の存在であるときは Clos (-)問題の潜時が Clos (+)問題の潜時より小さいこと、目標が端点の存在であるときは Endp (+)問題の潜時が Endp (-)問題の潜時より小さいこと、を説明することに成功している。さらに、もし閉合性検出の構えの方が端点検出の構えより有効であるとの前提を付け加えれば、得られた結果はすべて整合的に解釈可能となる。

十分な証拠がないためにこの立場の妥当性を評価するのは困難である。しかしこの立場は以下の現象を矛盾なく説明している：特徴探索的仮定の棄却、特徴検出の非対称性の存在、端点検出の構えに対する閉合性検出の構えの優位性。

本実験の結果と解釈は、特徴の臨界性をより直接的に発見できるのではないかという当初の目論見とは異なったものとなってしまった。しかしながら、図形に関する初期の特徴検出処理がより高次の認知作用といかに複雑に関連し合っているかということ垣間見せたという点で意義があったと考えている。

#### 4. 5. トポロジカルな特性に基づく図形認知研究

既に述べたように Chen 等は我々の視覚システムは情景を大局的特性に基づき大きなまとまりへと分類しており、そうした大局的特性として連結性といったトポロジカルな性質への鋭敏性を持つと主張している (Chen, 1982, 1990)。

Chen, Zhang, and Srinivasan (2003)はミツバチのような昆虫においてもトポロジカルな特性を検出しているという可能性を指摘しており、トポロジカルな知覚が原始的である

可能性を強く示唆している。こうした主張には反論もある(Rubin and Kanwisher, 1985)が、(6点、 $n$ 線)図形を使った研究によって彼らの主張の一般性や正当性を評価することは意味があると考えている。

まずこれまで著者が行ってきた研究の結果からトポロジカルな知覚理論の一般性について評価してみたい。

問題解決課題を用いた研究を展望してみると、同課題に関する分析法上の問題点は残るとしても大要以下のような結果が得られている。

1. 操作の中で同型性も同一性も必ずしも保存しない「線の入替え」が圧倒的に選好され、同型性と同一性を保存する「回転」は選好されなかったこと。特に複雑図形に関しては「線の入替え」がより選好されたこと(神戸, 1989a, 1993)。
2. 同型性を保存する「点の入替え」が忌避されたこと(神戸, 1985)。
3. 「線の入替え」選択確率は同型問題と非同型・非同型問題では差はなかったものの、同型問題と同一問題では差が存在したこと(神戸, 1993)。
4. 深層情報はデフォルト状態として作用しており、選択的な注意が位置や方向といった表層的特性に向けられていると解釈できること(神戸, 1985)。
5. トポロジカルな性質ではない平面幾何学的輪郭線の凹凸性を利用しようとする傾向があること(神戸, 1988b)。
6. 局所アナログ的分割分析仮説の説明力が最も大きいこと(神戸, 2005b)。

こうした結果のいずれもが、トポロジカルな知覚能力仮説に対する懐疑的含意を有していると考えられよう。

次に同一性判断課題における研究では、回転を含んだ同一性判断において以下のような結果を得ている。

1. 軸対称問題の潜時と誤答率が同一問題よりも大きいこと(神戸, 1991a)。
2. 同一問題と軸対称問題との潜時差が存在したこと(神戸, 2002)。
3. 同一問題と同型問題の潜時差は存在しなかったこと(神戸, 2002)。
4. 軸対称問題の場合、誤答率が極めて高かったこと。神戸(1991a)では線数 6 の場合に、神戸(2002)では線数 3 および 5 の場合に、誤答率は 50%を超えてしまい反応崩壊状態に陥ったこと。
5. Kanbe (1999)の結果を総合的に評価すると大局アナログ的立場は最も維持が困難であり、局所アナログ的立場の比較優位がみられること。
6. 回転を含まない同一性判断において、内部に 1 個のサイクルを持つ同一 ( $c1 : c1$ ) 問題および非同型 ( $c1 : c1$ ) 問題に比べて、内部に 3 個のサイクルを持つ非同型 ( $c3 : c3$ ) 問題の潜時が一番小さかった。しかし (6点、5線) 図形にあつてサイクル数 3 を持つ図形はすべて 1 つの同型集合に属しており、同一の同型集合に属する図形間ではトポロジカルな特性を含めた深層構造によっては分別不能であること(Kanbe, 2009)。

これらのうち、1. 2. 5. 6. の結論はトポロジカルな知覚能力仮説と矛盾するか不整合

な結果である。しかし 3. はトポロジカル仮説に対して整合的な結果である。4. に関してはトポロジカル仮説と整合するか不整合であるかの即断は難しい。軸対称図形対が同一図形対と識別困難で高い誤答率をもたらすという点からすればトポロジカル仮説と整合的であるが、同一図形対の成績はさほど悪くないのに軸対称図形対の成績が極めて低いという点からすれば整合的とはいえない。

特徴探索課題と特徴検出課題では端点と閉合性の検出の優位性が検討されたが、いずれも背景となる複数要素図形間の群化傾向や心的構えのような非図形的特性が初期における特徴検出過程に影響を与えていることが明らかになった。こうした結果はトポロジカル仮説と直接に関連するものとは言えまいが、従来原始的とされてきた特徴の初期知覚における役割が非図形的特性によって修飾を受けているという事実は、図形のトポロジカルな特性が原始性を持つという同仮説にとって少なくとも好ましいものとはいえない。

総合的に判断すると、問題解決課題と同一性判断課題の結果は、トポロジカルな知覚能力仮説に対して全体として否定的含意を持っているといえよう。

しかしここで参照された実験はみなトポロジカル仮説を直接的に検証しようとして計画されたものではない。一方(6点、 $n$ 線)図形に関して、著者は同型性に基づくトポロジカルな情報についてのデータベースを既に構築している。それ故、トポロジカルな知覚能力の検討を行おうとする際に、(6点、 $n$ 線)図形を使用することは恣意的に作成された図形を使用することによって、極めて有効かつ有益であると考えられる。

#### 4. 5. 1 トポロジカルな図形認知仮説の一般性を検証する論文

そこで Kanbe (2013)では(6点、3線)図形および(6点、5線)図形を使用した6個の互いに関連しあった実験を行うことによってトポロジカル仮説の一般性を検証しようとした。即ち、同一性判断課題において非同一な図形対(投稿誌の査読者のアドバイスに従って以後「問題」の代わりに「対」という語を使用する)を同型図形対と非同型・非同一図形対の2種に分け、非同型・非同一図形対の反応時間と同型図形対の反応時間を比較した。

##### 全体的方法

全455個からなる(6点、3線)図形は5個の同型集合(Figure 85)を、全3003個からなる(6点、5線)図形では15個の同型集合が存在する(Figure 86)。

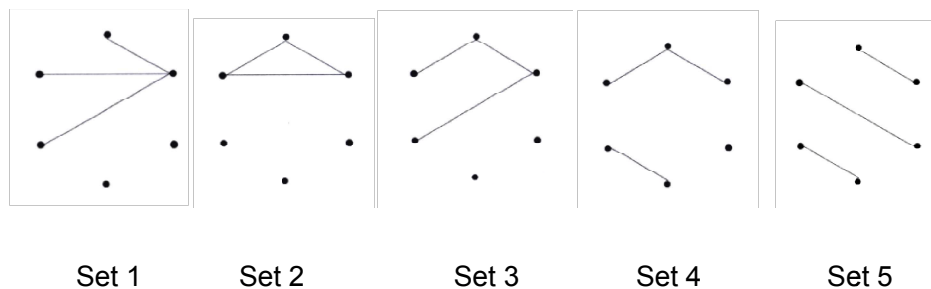


Figure 85. (6点、3線)図形の5個の同型集合を代表する図形例。

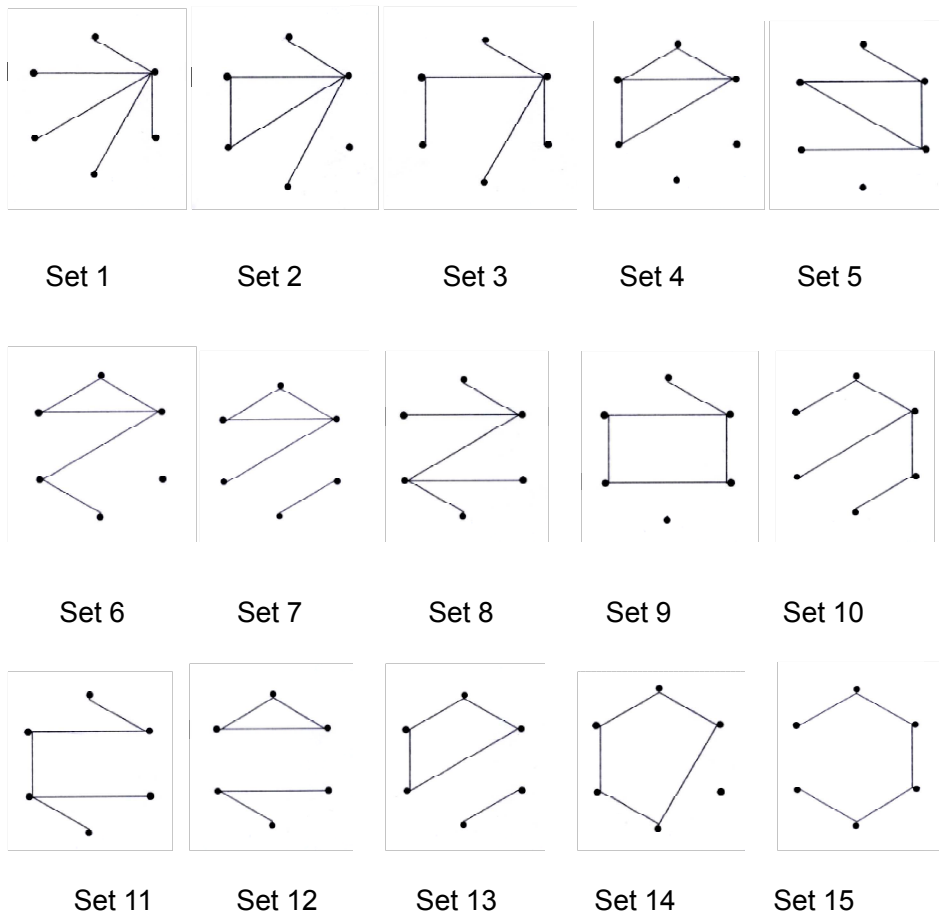


Figure 86. (6点、5線)図形の15個の同型集合を代表する図形例。

#### 刺激作成

実験に先立ち実験参加者ごとに刺激が作成された。LCD上に同時提示された(6点、 $n$ 線)図形対を刺激とした。ある同型集合からランダムに選んだ1つの図形とその複図形を複製して出来る同一図形対、ある同型集合からランダムに選んだ2つの異なった図形からなる非同一・同型図形対(略称、同型図形対)、異なった同型集合からそれぞれランダムに選ばれた2つの図形からなる非同一・非同型図形対(略称、非同型図形対)、という3種の図形対がランダムに作成された。同一図形対と非同一図形対の提示頻度は1:1に設定され、刺激提示順はランダム化された。

#### 実験参加者

各実験への参加者は10名から16名の男女大学生(年齢19-24)であり個別に実験に参加した。全ての参加者は通常の(矯正)視力を持っていた。

#### 手続き

LCD上に提示された刺激が同一であるか、非同一であるかを判断し、キーボックス上に指定された2つの反応ボタンのいずれかを押すことが反応とされた。提示された図形対間

で、図形の形態だけでなく方向も同一であることを同一性の定義とした。参加者には迅速かつ正確に反応することが求められた。反応に使用する人差し指と中指の飯能時間差をカウンターバランスするために実験の前半のブロックと後半のブロックでは同一反応と非同型反応に指定したボタンの指定を交替させた。各ブロックの最初の 10 試行を練習試行として反応の正誤に関するフィードバックを与えたが、それに引き続く本試行においてはフィードバックを与えなかった。

### 実験 1

実験 1 では (6 点、3 線) 図形対を刺激とした。(6 点、 $n$  線) 図形の各線分は六角形の頂点の対によって定義されているので、複数線分の交点有無は頂点の位置に依存し、トポロジカルな特性ではない。Bergen and Julesz (1983) や Wolfe and DiMase (2003) は線の交点が前注意的に検出されると主張するが、本実験では交点がトポロジカルな特性ではないという立場から、刺激作成において交点の有無を統制しなかった。また六角形の頂点を表示することは図形対の方向同一性に関する強い手がかりを与えている。そのため本実験では六角形の頂点が黒塗りの小円により表示された。男女 10 名の大学生が実験に参加した。各参加者は 1 ブロック 10 個の練習試行と 210 個の本試行、全 440 試行を遂行した。ブロック内で同一図形対、同型図形対、非同型図形対の出現確率は 2 : 1 : 1 に設定された。Figure 87 に刺激例を示す。

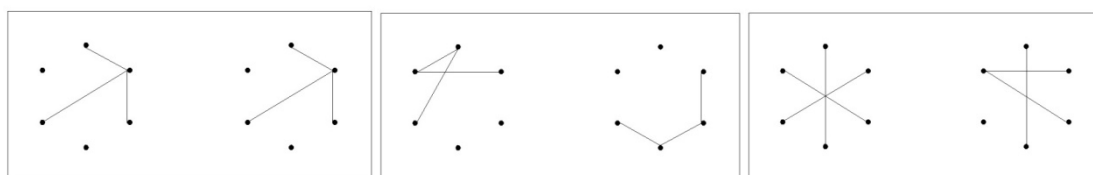


Figure 87. 実験 1 における同一 (左)、同型 (中央)、非同型図形対 (右) の例。

### 結果と考察

同一、同型、非同型図形対の誤答率はそれぞれ 3.5%、4.7%、1.8%であり、その主効果は有意であったが ( $F_{2,27}=5.4, p<.05$ )、同時比較検定によれば同型・非同型図形対間のみ有意差があった。主たる測度である潜時に関しては重要な比較が同型図形対の正答時の平均潜時 (656ms) と非同型図形対のそれ (619ms) である。この 2 者の分散分析を行った結果有意な主効果を得た ( $F_{1,9}=10.59, p<.01$ )。この結果はトポロジカル仮説を支持している。

### 実験 2

実験 2 においても (6 点、3 線) 図形対を刺激とした。但し、先述べたように線の交点が前注意的に検出されるとトポロジカルな特性に基づく同一性判断と混交してしまう可能性がある。そこで本実験では 3 種の図形対の全てに関して交点を含む図形を刺激から排除した。本実験は線数が 3 でありかつ図形中に線の交点を持たないという今研究の 2 つの主特性を備えているので、基幹的な実験と考え実験参加者数も増大させた。男女 16 名の大学生



が実験に参加した。刺激図形中に線の交点を含まないという点を除けば方法は全て実験 1 と同じであった。Figure 88 に刺激例を示す。

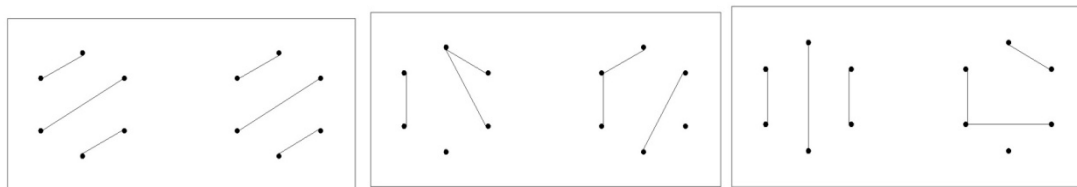


Figure 88. 実験 2 における同一（左）、同型（中央）、非同型図形対（右）の例。

### 結果と考察

同一、同型、非同型図形対の誤答率はそれぞれ 4.1%、5.6%、2.4%であり、分散分析の結果その主効果は有意ではなかった ( $F_{2,45}=1.82, p>.05$ )。主たる測度である潜時に関しては同型図形対の正答時の平均潜時は 701ms、非同型図形対の平均潜時は 654ms であった。この 2 者の分散分析を行った結果有意な主効果を得た ( $F_{1,15}=19.3, p<.001$ )。この結果は交点が存在しなくてもトポロジカル仮説が有効であることを示唆している。

### 実験 3

実験 3 においても (6 点、3 線) 図形対を刺激とした。本実験課題では図形の形態が同じであっても図形の向けられた方向が異なれば非同型図形とされた。これまでの実験では図形の方向性を定める六角形の頂点は黒塗りの小円によって強調して表示されていた。しかし小円の表示の有無はトポロジカル仮説そのものの検証に対する必要条件とはいえない。むしろこうした小円の表示は図形の持つ不変的特性を検出しようとする実験参加者の情報処理を妨害ないし混交するかもしれない。そこで本実験では刺激図形中に小円の表示を行わなかった (Figure 89)。それ以外の方法は実験 2 と同様である。

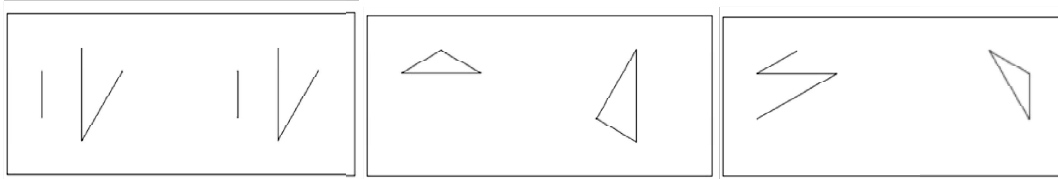


Figure 89. 実験 3 における同一（左）、同型（中央）、非同型図形対（右）の例。

### 結果と考察

同一、同型、非同型図形対の誤答率はそれぞれ 5.1%、7.0%、2.7%であり、分散分析の結果その主効果は有意ではなかった ( $F_{2,27}=1.76, p>.05$ )。同型図形対の正答時の平均潜時は 674ms、非同型図形対の平均潜時は 616ms であった。分散分析の結果、主効果は有意であった ( $F_{1,9}=94, p<.001$ )。この結果は小円による頂点の表示が存在しなくてもトポロジカル仮説が有効であることを示している。

### 実験 4

実験 4 では図形の複雑性が増大してもトポロジカル仮説が成立するかを確かめるために刺激として（6点、5線）図形対を使用した。本実験では六角形の頂点が黒塗りの小円により表示された。（6点、5線）図形の総数は3003個、同型集合数も15となったため、実験参加者数を男女16名に増やすとともに、各参加者は1ブロック10個の練習試行と240個の本試行、全500試行の遂行が求められた。更に同型集合間の組合せが増大したため、同一図形対、同型図形対、非同型図形対の出現確率は5:1:4に設定された。Figure 90 に刺激例を示す。

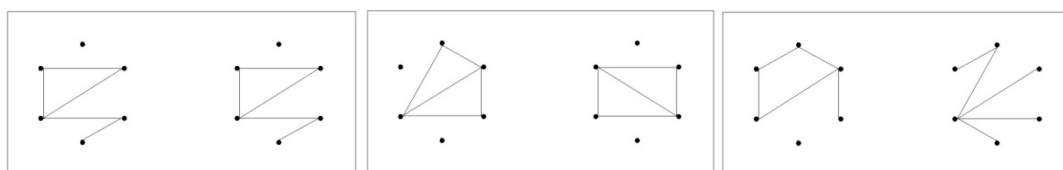


Figure 90. 実験 4 における同一（左）、同型（中央）、非同型図形対（右）の例。

#### 結果と考察

同一、同型、非同型図形対の誤答率はそれぞれ2.9%、7.3%、2.7%であり、分散分析の結果、主効果は有意だった ( $F_{2,45}=5.4, p < .01$ )。同型図形対の正答時の平均潜時は711ms、非同型図形対の平均潜時は662msであった。分散分析の結果、主効果は有意であった ( $F_{1,15}=28, p < .001$ )。この結果は図形の複雑性が増してもトポロジカル仮説の有効性を示している。

#### 実験 5

これまでの実験では各線分を定義する点は正六角形の頂点に位置していた。それ故、各図形は水平軸と垂直軸の比が1:1で表示されていた。しかしトポロジカルな特性は線を定義する点対の位置に対して不変である。より直感的に言えば図形に対する連続的変形に対して不変といえる。それ故、本実験では図形の縦横比を1:2に圧縮変形させたときにトポロジカルな特性が図形の認知に有効であるかを確かめようとした。刺激図形は（6点、3線）図形とし、実験参加者は10名とした。刺激図形の縦横比以外の条件は実験2と同様であった。Figure 91 に刺激例を示す。

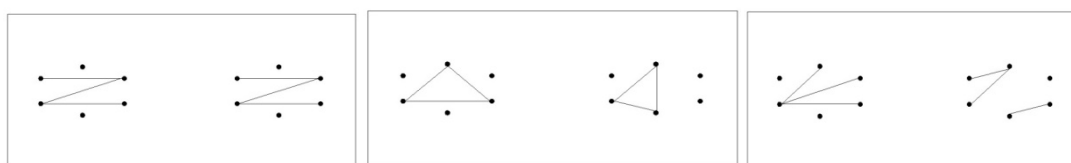


Figure 91. 実験 5 における同一（左）、同型（中央）、非同型図形対（右）の例。

#### 結果と考察

同一、同型、非同型図形対の誤答率はそれぞれ3.0%、5.3%、2.3%であり、分散分析の結果、主効果は有意ではなかった ( $F_{2,27}=2.8, p > .05$ )。同型図形対の正答時の平均潜時は

725ms、非同型図形対の平均潜時は 661ms であった。分散分析の結果、主効果は有意であった ( $F_{1,9}=152, p<.001$ )。この結果は図形が変形を受けてもトポロジカルな特性が図形の認知に有効であることを示しており、トポロジカル仮説を強く支持している。

### 実験 6

これまでの実験結果はトポロジカル仮説の有効性を示すものであった。しかし同一図形対を正しく同一と判断し、同型図形対を正しく非同型と判断する傾向からも明らかなように、我々は方向性や位置 (2 つ以上の点からなる図形の場合は長さ) という表面的特性 (量的な特性) を図形の認知に利用している。それでは表面的特性のみによって我々は図形を認識しているのだろうか? 本実験ではトポロジカルな特性ではなく表面的特性のみによって (6 点、 $n$  線) 図形の認知が可能であることを確かめようとした。

トポロジカルな特性に付随した表面的特性 (例、端点の位置やサイクルの方向性) ではない表面的特性としては総線分長と図形の全体的方向性が代表的と考えられる。今回の一連の実験における刺激作成法に基づき多数の刺激をランダムに作成したところ、刺激対における 2 図形で、全体的方向性の差は有意な効果が見られなかったが、総線分長の差は同型刺激対と非同型刺激対の間で混交が生じていることが分かった。そこで実験 6 では同型図形対と非同型図形対のいずれにおいても対となる図形の総線分長が同一になるように刺激作成をした。刺激は (6 点、3 線) 図形対としたが、Figure xx 中の Set 2 に属する図形と Set 5 に属する図形ではどのような組み合わせにおいても総線分長が同一になることはないので、より所属する図形数の少ない Set 5 (総図形数 5) を刺激作成から排除した。実験参加者は 10 名とし、方法は実験 2 と同様であった (Figure 92)。

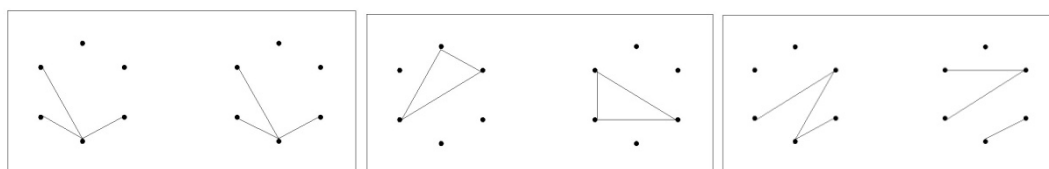


Figure 92. 実験 6 における同一 (左)、同型 (中央)、非同型図形対 (右) の例。

### 結果と考察

同一、同型、非同型図形対の誤答率はそれぞれ 3.7%、11.4%、2.4%であり、分散分析の結果、主効果は有意だった ( $F_{2,27}=14.8, p<.01$ )。同型図形対の正答時の平均潜時は 707ms、非同型図形対の平均潜時は 655ms であった。分散分析の結果、主効果は有意であった ( $F_{1,9}=22.5, p<.01$ )。この結果は表面的特性のみによって非同型図形対の判断が同型図形対の判断より有効に行われるという議論が成り立たないことが明らかになった。

### 総合的考察

一連の実験を通して我々がトポロジカルな特性を図形の認知に利用していることが明らかになった。そこでトポロジカルな特性とは何かが問題となる。Chen (1982)によればトポロジカルな情報は図形の閉合性のような大局的特性によって定義可能であると考えたが、

(6点、 $n$ 線) 図形においては閉合性(より正確にはサイクル)のような単一の大局的特性によっては同型集合への分類は十分にできない。それ故、端点、中心点、最大次数点、といったグラフ理論でいう複数の不変数を2図形間で比較することがトポロジカルな特性への鋭敏性を構成していると考えられる。誤答率は常に同型図形対において一番高かった。言い換えると同型図形対は同一図形対に最も間違えられやすいことを示している。同型図形対も同一図形対も2図形間に不変数の値は同一であり、表面的特性の値だけが異なる。そのために同型図形対での誤答率の高さは不変数値の比較が表面的特性値の比較に優先することを示唆している。

参照のために、同一図形対、同型図形対、非同型図形対の潜時の同時比較をしてみたところ、常に非同型図形対が最小の潜時であり、同一図形対と同型図形対の潜時差は有意ではなかった。この潜時パターンは図形の認知において不変数値に関する系列的かつ自動終了的な比較が行われているという仮定と整合的である。一方、表面的特性値に関しては系列的な特性値の比較は容易に妨害を受けやすく、その結果、特性値比較の自動終了がなされ難いことが推測された。この推測は不変数値の比較に比べて表面的特性値の比較が劣後するという結果と整合している。

## 第5章 (6点、 $n$ 線)図形を使用した今後の研究の展開

本論を纏めるにあたって(6点、 $n$ 線)図形を使用した著者の考える今後の研究の展開を述べておきたい。

### 5. 1. 図形認識における心的回転の生起条件

(6点、 $n$ 線)図形に関して述べるならば、問題解決課題における回転操作の選択に比して線の入替え操作選択の選好が明らかなこと(神戸, 1989a)や粗い分析段階における鋳型照合仮説の説明性が不十分なこと(Kanbe, 2005b)、同一性判断課題における心的回転の出現しなかったこと(Kanbe, 2001)、大局アナログ的立場が局所アナログ的立場や特徴比較的立場に比べて維持が困難なこと(Kanbe, 1999)、を総合的に評価すると、図形認識において心的回転がいかなる条件下でも普遍的に適用されるという考えは是認しがたい。しかしPylyshyn (1981, 1984)による認知的侵入可能性の基準のような実証に基づかない教条的な立場を排するならば、限定された条件下では心的回転が生起することも同様に否定しがたいといえる(例、神戸, 1989a; Kanbe, 1999, 2005b)。

そこでどのような条件下で心的回転が生起するかという議論が重要性を帯びてくる。

従来、人は図形の左右の違い(handedness)を識別できない(Corballis & McLaren, 1984; Corballis & Cullen, 1986)ため、所与の2図形が同一形であるか鏡映反転形であるかを決定するために心的回転が生起する(Corballis, 1988)という見解や、図形の識別はその図形の要素配置が方向自由状態にある場合は心的回転が不要であるが方向拘束状態にある場合には必要である(Takano, 1989)という見解がなされてきた。

Corballis等の主張に対しては、少なくとも複雑図形においては同一図形対と鏡映反転図形対(より一般的には、同一図形対と軸対称図形対)の識別がほとんど困難であること、より一般的には、同一図形対と軸対称図形対の識別が困難であること(神戸, 2002)、からCorballis等の見解の一般性には疑問が付される。

Takano (1989)の見解では、心的回転に先立ち図形の原要素が検出なされ、更にその要素が方向自由的に特定可能であるか方向拘束的に特定可能であるかを決定しなければならない、としている。ここでの原要素が何であるかは必ずしも明確に定義されているわけではないが、本論文での不変数、ないし深層構造的特徴はこれに適応すると考えられよう。

しかしながら深層構造的情報である端点の存在や閉合性の存在に限定してみても、それらは並列的、前注意的に検出されることはないであろうこと(Kanbe, 2008b, 2009)や、課題によってそれら特徴の示す役割は異なり一概にどちらの特徴がより原始的であるかを決定することが困難なこと(Kanbe, 2008, 2009, 2010)、が明らかになった。これらはTakano (1989)の前提の一般性に対する懐疑をもたらすものと考えられる。

また、方向に基づく図形の特定可能性に関しても、前述のように同一図形対と軸対称図

形対の識別が困難であることから、その主張の一般性に疑いが生じている。

さらには、複雑図形の心的回転速度は遅いが、図形への親近性を高めることによって測度は加速されるという結果 (Bethell-Fox and Shepard, 1988) や、注意集中条件下では回転速度が促進されるという結果 (Paquet, 1991)をも考慮すると、心的回転の生起が図形的要因のみによって決定されるという前提は確固としたものとはいえない。心的回転に限らず (6点、 $n$ 線) 図形を使用した研究では心的操作の選択が図形的性質によって戦略的に変更される傾向が顕著である (神戸, 1996)。

更には問題解決課題によれば、実験参加者は回転を含む同一性に対する弱い感受性はあるが、同一問題であっても図形が複雑になるほど、また角度差が大きくなるほど線の入替え操作を好む傾向が見てとれた(神戸, 1993; Kanbe, 2005b)。線の入替え操作は図形間で同型性の保持を保証しない。つまり参加者は受動的に図形間で同型性や特徴を保持するように操作を選択するのではなく、むしろ能動的に図形中に特定の特徴を局所的に構築するような操作の選択を行っているとは推定される。

一方、神戸の一連の研究(2003, 2006, 2008a)では、複数特徴点の極座標上の変位パターンによって図形対の同一性判断が影響されることを示している。即ち、図形対の同一性判断において回転が許される場合は全体として斉一な変位の中で攪乱があると非同一性の判断が容易であるが、図形対間の判断において回転が含まれない場合は変位における非斉一性が高まるほど非同一判断が容易であった。

これらの結果を要約すると以下のような結論が導かれる。

1. 心的回転は図形対間の同一性判断においていかなる条件下でも出現するものではないこと。
2. しかし限定的条件下では心的回転は出現すること。
3. 心的回転の出現条件は図形的要因のみによって決定されるものではないこと。
4. 複雑性や軸対称性といった所与の図形対の持つ性質と、同一性判断に必要な情報処理容量という拘束条件下で心的回転やその他の心的操作が戦略的に選択される可能性があること。
5. 図形対間の特徴点の変位パターンによって心的回転の容易性 (心的回転の出現可能性) が影響される可能性があること。
6. 学習等による図形への親近性の獲得によって情報処理能力の拡大 (あるいは情報処理容量の効率的縮減) が見られること。

こうした結果から、(a) 回転を含まない図形対の同一性判断において、特徴や特徴位置の保持能力をヒトはどの程度有しているのか、(b) 回転を含んだ図形対の同一性判断において、ヒトは特徴や特徴位置変位量の計算・保持能力およびグラフ不変数の利用可能性をどの程度持っているのか、(c) 回転を含んだ図形対の同一性判断において、特徴点が増大するにつれ特徴点の変位量の斉一度が判断の正確度に与える影響はどのように変化するのか、

(d) 回転を含んだ図形対の同一性判断において、同一刺激パターンへの学習効果は判断の正確度にどのような影響を与えるか、といった問題意識が生じてくる。

そこで、著者は今後以下のような研究を行いたいと考えている。

1. 実験参加者が回転を含まない同一刺激パターンを短期的に正確に保持できる複雑性のレベルを（6点、 $n$ 線）図形および $n$ 点図形を使用して検討する。
2. 実験参加者が回転を含んだ同一刺激パターンを同一と判断する際、角度差ごとの困難度の違いを、単純な深層構造を持つ（6点、2線）図形における2種の同型集合内および同型集合間で検討する。
3. 実験参加者が回転を含む同一刺激パターンを短期的に保持する際の正確度を、角度差との関係で（6点、 $n$ 線）図形および $n$ 点図形を使用して検討する。
4. 特徴点の変位の斉一性の程度によって定義された非同一図形対に対して、心的回転が出現する可能性を、 $n$ 点図形を使用して検討する。
5. 実験参加者にとって計画2.における同一判断の角度差ごとの困難性は、限られた数の図形を多数回経験することによって低減するか否かを検討する。

## 引用文献

- Attneave, F. (1957). Physical determinants of the judged complexity of shapes. *Journal of Experimental Psychology*, *53*, 221-227.
- Attneave, F., & Arnoult, M. D. (1956). The quantitative study of shape and pattern perception. *Psychological Bulletin*, *53*, 452-471.
- Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1991). Local processes in preattentive feature detection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *17*, 77-90.
- Behrman, B., & Brown, D. R. (1968). Multidimensional scaling of form: A psychophysical analysis. *Perception & Psychophysics*, *4*, 19-25.
- Bergen, J. R., & Adelson, E. H. (1988, May 26). Early vision and texture perception, *Nature*, *333*, 363-364
- Bergen, J. R., & Julesz, B. (1983, June 23). Parallel versus serial processing in rapid pattern discrimination. *Nature*, *303*, 696-698.
- Bertamini, M. (2008). Detection of convexity and concavity in context. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*, 775-789.
- Bethell-Fox, C. E., & Shepard, R. N. (1988). Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 12-23.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, *94*, 115-147.
- Bindra, D., Donderi, D. C., & Nishisato, S. (1968). Decision latencies of "same" and "different" judgments. *Perception & Psychophysics*, *3*, 121-130.
- Boutsen, L., & Marendaz, C. (2001). Detection of shape orientation depends on salient axes of symmetry and elongation: Evidence from visual search. [Special issue: Symposium on asymmetries in visual search]. *Perception & Psychophysics*, *63*, 404-422.
- Brown, D. R., & Andrews, M. H. (1968). Visual form discrimination: Multidimensional analysis. *Perception & Psychophysics*, *3*, 401-406.
- Buffart, H., & Leeuwenberg, E. (1983). Structural information theory. In H.-G. Geissler, H. F. J. M. Buffart, E. L. J. Leeuwenberg, & V. Sarris (Eds.), *Modern issues in perception* (pp. 48-72). Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science.
- Caeli, T. M., & Julesz, B. (1978). On perceptual analyzers underlying visual texture discrimination: Part I. *Biological Cybernetics*, *28*, 167-175.



- Caeli, T., Julesz, B., & Gilbert, E. (1978). On perceptual analyzers underlying visual texture discrimination: Part II. *Biological Cybernetics*, *29*, 201-214.
- Chen, L. (1982, November 12). Topological structure in visual perception. *Science*, *218*, 699-700.
- Chen, L. (1990). Holes and wholes: A reply to Rubin and Kanwisher. *Perception & Psychophysics*, *47*, 47-53.
- Chen, L., Zhang, S., & Srinivasan, M.V. (2003, May 27). Global perception in small brains: topological pattern recognition in honeybees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *100*, 6884-6889.
- Cohen, D., & Kubovy, M. (1993). Mental rotation, mental representation, and flat slopes. *Cognitive Psychology*, *25*, 351-382.
- Cooper, L. A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, *7*, 20-43.
- Cooper, L. A. (1976). Individual differences in visual comparison processes. *Perception and Psychophysics*, *19*, 433-444.
- Cooper, L. A., & Podgorny, P. (1976). Mental transformations and visual comparison processes: Effects of complexity and similarity. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *2*, 503-514.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. New York: Academic Press.
- Corballis, M. C. (1988). Recognition of disoriented shapes. *Psychological Review*, *95*, 115-123.
- Corballis, M. C., & Cullen, S. (1986). Decisions about the axes of disoriented shapes. *Memory & Cognition*, *14*, 27-38.
- Corballis, M. C., Lieberman, W., & Bindra, D. (1968). Discriminability and central intermittency in same-different judgments. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *20*, 51-61.
- Corballis, M. C., & McLaren, R. (1984). Winding one's Ps and Qs: Mental rotation and mirror-image discrimination. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *10*, 318-327.
- Corballis, M. C., & Nagourney, B. A. (1978). Latency to categorize disoriented alphanumeric characters as letters or digits. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *4*, 186-188.

- Corballis, M. C., Zbrodoff, N. J., Shetzer, L. I., & Butler, P. B. (1978). Decisions about identity and orientation of rotated letters and digits. *Memory & Cognition*, *6*, 98-107.
- Davi, M., Yakimoff, N., Bocheva, N., & Kefaloff, V. (1993). The relative roles of vertices and sides in determining perceptual centres within shapes. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, *53*, 367-375.
- Donnelly, N., Humphreys, G.W., & Riddoch, M.J.,(1991). Parallel computation of primitive shape descriptions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *17*, 561-570.
- Driver, J., & McLeod, P. (1992). Reversing visual search asymmetries with conjunctions of movement and orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 22-33.
- Driver, J., McLeod, P. & Dienes, Z. (1992). Motion coherence and conjunction search: *Perception*, *21*, 51, 79-85.
- Duncan & Humphreys (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*, 433-458.
- Elder, J., & Zucker, S. (1993). The effect of contour closure on the rapid discrimination of two-dimensional shapes. *Vision Research*, *33*, 981-991.
- Eley, M. G. (1982). Identifying rotated letter-like symbols. *Memory & Cognition*, *10*, 25-32.
- Entus, A., & Bindra, D. (1970). Common features of the "repetition" and "same-different" effects in reaction time experiments. *Perception & Psychophysics*, *7*, 143-148.
- Fitts, P. M., Weinstein, M., Rappaport, M., Anderson, N., & Leonard, A. (1956). Stimulus correlates of visual pattern recognition: A probability approach. *Journal of Experimental Psychology*, *51*, 1-11.
- Folk, C. L., & Egeth, H. (1989). Does the identification of simple features require serial processing? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 97-110.
- Folk, M. D., & Luce, R. D. (1987). Effects of stimulus complexity on mental rotation rate of polygons. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *13*, 395-404.
- Förster, B., Gebhardt, R., Lindlar, K., Siemann, M., & Delius, J. D. (1996). Mental rotation effect: A function of elementary stimulus discriminability? *Perception*, *25*, 1301-1316.

- Garner, W. R., & Clement, D. E. (1963). Goodness of pattern and pattern uncertainty. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *2*, 446-452.
- Garner, W. R. (1969). Speed of discrimination with redundant stimulus attributes. *Perception*, *6*, 221-224.
- Garner, W. R. (1974). *The processing of information and structure*. Potomac, MD: Lawrence Erlbaum.
- Garner, W. R. (1976). Interaction of stimulus dimensions in concept and choice processes. *Cognitive Psychology*, *8*, 98-123.
- Geyer, L. H., & DeWald, C. G. (1973). Feature lists and confusion matrices. *Perception & Psychophysics*, *14*, 471-482.
- Gibson, E. J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall.  
(ギブソン、E. J. 小林 芳郎 (訳) (1983). 知覚の発達心理学 田研出版)
- Gibson, E. J., Gibson, J. J., Pick, A. D., & Osser, H. (1962). A developmental study of the discrimination of letter-like forms. *Journal of Experimental Psychology*, *55*, 897-906.
- Gurnsey, R., & Browse, R. A. (1987). Micropattern properties and presentation conditions influencing visual texture discrimination. *Perception & Psychophysics*, *41*, 239-252.
- Han, S., Humphreys, G. W., & Chen, L. (1999). Parallel and competitive processes in hierarchical analysis: Perceptual grouping and encoding of closure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 1411-1432.
- Handel, S., & Garner, W. R. (1966). The structure of visual pattern associates and pattern goodness. *Perception*, *1*, 33-38.
- Harary, F. (1969). *Graph theory*. Reading, MA: Addison-Wesley.  
(ハラライ、F. 池田貞雄 (訳) (1971). グラフ理論 共立出版)
- Hochberg, J. (1978). *Perception*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Hochberg, J., & Gellman, L. (1977). The effect of landmark features on mental rotation times. *Memory & Cognition*, *5*, 23-26.
- Hochberg, J., & McAlister, E. (1953). A quantitative approach to figural "goodness". *Journal of Experimental Psychology*, *46*, 361-364.
- Hoffman, D. D., & Richards, W. A. (1984). Parts of recognition. *Cognition*, *18*, 65-96.
- Hulleman, J., & Boselie, F. (1999). Perceived shape regularity does not depend on regularities along the contour. *Perception*, *28*, 711-724.
- Imai, S. (1972). Effects of inter-pattern transformation structures upon similarity judgments of linear pattern pairs. *Proceedings of the XXth International*

- Congress of Psychology, Tokyo*, 164-165.
- Imai, S. (1977). Pattern similarity and cognitive transformations. *Acta Psychologica*, *41*, 433-447.
- Imai, S. (1983). Pattern cognition and the processing of transformation structures. In H.-G. Geissler, H. F. J. M. Buffart, E. L. J. Leeuwenberg, & V. Sarris (Eds.), *Modern issues in perception* (pp. 73-86). Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science.
- 今井 四郎 (1986). パターン認知の変換構造説 心理学モノグラフ, *17*. 東京大学出版会
- 今井 四郎・伊藤 智啓・伊藤 進 (1976a). 良さ判断に及ぼすパターン内変換構造の効果 心理学研究, *47*, 202-210.
- 今井 四郎・伊藤 進・伊藤 智啓 (1976b). パターンの良さと複雑さの判断におよぼすパターン内変換構造とラン数の効果 心理学評論, *19*, 77-94.
- 伊藤 進 (1975). パターン間の変換構造の認知と類似性の評定 心理学研究 *46*, 10-18.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Toward a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Johnston, J. C., & Pashler, H. (1990). Close binding of identity and location in visual feature perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 843-856.
- Jolicoeur, P. (1985). The time to name disoriented natural objects. *Memory & Cognition*, *13*, 289-303,
- Jolicoeur, P., & Landau, M. J. (1984). Effects of orientation on the identification of simple visual patterns. *Canadian Journal of Psychology*, *38*, 80-93.
- Julesz, B. (1975). Experiments in the visual perception of texture. *Scientific American*, *232*, 34-43.
- Julesz, B. (1981a, March 12). Textons, the elements of texture perception, and their interactions. *Nature*, *290*, 91-97.
- Julesz, B. (1981b) Figure and ground perception in briefly presented isodipole textures. In M. Kubovy & S. Pomerants (Eds.), *Perceptual organization* (pp.27-54). Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Julesz, B. (1984). A brief outline of the texton theory of human vision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10*, 41-45.
- Julesz, B. (1986). Texton gradients: The texton theory revisited. *Journal of Cybernetics*, *54*, 245-252.
- Julesz, B., & Bergen, J. R. (1983). Textons, the fundamental elements in preattentive vision and perception of textures. *Bell System Technical Journal*, *62*, 1619-1645.

- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive coordinate systems: Accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological Review*, *92*, 137-172.
- 神戸 文朗 (1983a). グラフ不変数による図形変形問題の解決過程の分析—実験分析システムの紹介— 早稲田心理学年報記念特別号 11—18.
- 神戸 文朗 (1983b). グラフ不変数による図形認知の分析 (I) 日本心理学会第 47 回大会発表論文集, 127.
- 神戸 文朗 (1985). グラフ不変数による図形認知の分析 (II) 日本心理学会第 49 回大会発表論文集, 61.
- Kanbe, F. (1988a). An algorithm for detecting contours in 6 point-5 (or 6) lined figures. *Hakuoh Women's Junior Colleg* *1*, *12(2)*, 50-66.
- 神戸 文朗 (1988b). 輪郭線指標による 6 点 5 線及び 6 線図形認知の分析 日本心理学会第 52 回大会発表論文集, 500.
- 神戸 文朗 (1989a). 6 点間線図形における心的回転の普遍性について 日本心理学会第 53 回大会発表論文集, 663.
- Kanbe, F. (1989b). An analysis of figural images by invariants of the graph theory. *Hakuoh Women's Junior Colleg* *13(2)*, 85-111.
- Kanbe, F. (1990). An analysis of (6 point,  $n$  line) figures. *The 22<sup>nd</sup> International Congress of Applied Psychology*, P-GNR(1) 26.
- 神戸 文朗 (1991a). 6 点間線図形における心的回転の普遍性について (2) 日本心理学会第 55 回大会発表論文集, 250.
- Kanbe, F. (1991b). Experimental/analytical paradigms of cognition of (6 point,  $n$  lined) figures. *Hakuoh Women's Junior College Journal*, *15(2)*, 53-75.
- 神戸 文朗 (1993). 心的回転に先立ち非座標依存的分析は行われるか 日本心理学会第 57 回大会発表論文集, 401.
- 神戸 文朗 (1996). ランダム線図形の認知を規定する性質は何か? 日本心理学会第 60 回大会発表論文集, 620.
- 神戸 文朗 (1997a). 凹部における複雑図形分割の一証拠 日本心理学会第 61 回大会発表論文集, 628.
- Kanbe, F. (1997b). Factors affecting the rates of mental rotation. *Hakuoh University Women's College Journal*, *21*, 141-168.
- 神戸 文朗 (1999a). 検出されるのは端点の存在か端点の不在 (閉合) か 日本心理学会第 63 回大会発表論文集, 272.
- Kanbe, F. (1999b). Mental rotation of random figures and its implications concerning the analog/propositional controversy. *Hakuoh University Women's College Journal*, *24*, 47-104.

- 神戸 文朗 (2000). ランダム線図形における閉合性の検出 日本心理学会第 64 回大会発表論文集, 498.
- Kanbe, F. (2001). Mental rotation of random lined figures. *Japanese Psychological Research*, 43, 141-147.
- 神戸 文朗 (2002). 心的回転における軸対称性の役割 日本心理学会第 66 回大会発表論文集, 568.
- 神戸 文朗 (2003). 心的回転の困難性について—位置変位情報統合の役割— 日本心理学会第 67 回大会発表論文集, 586.
- 神戸 文朗 (2005a). 目標探索課題におけるランダム図形中の端点と閉合性の検出 日本心理学会第 69 回大会発表論文集, 620.
- Kanbe, F. (2005b). Examination on mental rotation by a problem solving procedure: Implications for the analog vs. feature processing in identifications. *The Hakuoh University Journal*, 19(2), 81-103.
- 神戸 文朗 (2006). 2 つの点図形間での点位置の変位の攪乱が同一性の判断に及ぼす影響 日本心理学会第 70 回大会発表論文集, 672.
- 神戸 文朗 (2008a). 複数点の位置変位パターンに関する感受性について 日本心理学会第 72 回大会発表論文集, 768.
- Kanbe, F. (2008b). Role of endpoints and closures in feature search. *Japanese Psychological Research*, 53, 145-151.
- Kanbe, F. (2009). Which is more critical in identification of random figures, endpoints or closures? *Japanese Psychological Research*, 51, 235-245.
- Kanbe, F. (2010). The roles of endpoints and closures in a detection task. 認知心理学研究 (*The Japanese Journal of Psychology*), 7, 113-117.
- Kanbe, F. (2013). On the generality of the topological theory of visual shape perception. *Perception*, 42, 849-872.
- Koriat, A., Norman, J., & Kimichi, R. (1991). Recognition of rotated letters: Extracting invariance across successive and simultaneous stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 444-457.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., & Ganis, G. (2006). *The case for mental imagery*. New York: Oxford University Press.
- Lamb, M. R., & Robertson, L. C. (1989). Do response time advantage and interference reflect the order of processing of global- and local-level information? *Perception & Psychophysics*, 46, 254-258.
- Larsen, A. (1985). Pattern matching: Effects of size ratio, angular difference in

- orientation, and familiarity. *Perception & Psychophysics*, 38, 63-68.
- Leeuwenberg, E. L. J. (1969). Quantitative specification of information in sequential patterns. *Psychological Review*, 76, 216-220.
- Maki, R. H. (1986). Naming and locating the tops of rotated pictures. *Canadian Journal of Psychology*, 40, 368-387.
- Malinowski, P., & Hübner, R. (2001). The effect of familiarity on visual-search performance: Evidence for learned basic features. *Perception & Psychophysics*, 63, 458-463.
- Marr, D. (1982). *Vision*. New York: Freeman
- 松田 隆夫 (1978). パターンの良さ判断とパターン内変換構造: パターン認知に関する今井の変換構造説の検討 心理学研究, 49, 207-214.
- Mcbeath, M. K., Schiano, D. J., & Tversky, B. (1997). Three-dimensional bilateral symmetry bias in judgments of figural identity and orientation. *Psychological Science*, 8, 217-223.
- Metzler, J., & Shepard, R. N. (1982). Transformational studies of the internal representation of three-dimensional objects. In R. N. Shepard & L. A. Cooper (Eds.), *Mental images and their transformations* (pp.25-71). Cambridge, MA: MIT Press.
- Moraglia, G. (1989). Display organization and the detection of horizontal line segments. *Perception & Psychophysics*, 45, 265-272.
- Mori, S. (1997). Effects of absolute and relative gap sizes in visual search for closure. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 51, 112-124.
- Morikawa, K. (1999). Symmetry and elongation of objects influence perceived direction of translational motion. *P* 1, 134-143.
- Mruczek, R. E. B., & Sheinberg, D. L. (2005). Distractor familiarity leads to more efficient visual search for complex stimuli. *Perception & Psychophysics*, 67, 1016-1031.
- 中村 勝彦 (1966). トポロジー 新しい数学へのアプローチ 6 共立出版
- Nakayama, K. & Silverman, G.H. (1986, March 20). Serial and parallel processing of visual feature conjunctions. *Nature*, 320, 264-265.
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual search. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.
- Navon, D. (1990). Does attention serve to integrate features? *Psycholo* 453-459.
- Navon, D. (1991). Testing a queue hypothesis for the processing of global and local information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 173-189.
- Nickerson, R. S. (1965). Response times for "same"- "different" judgments. *Perceptual*

- and Motor Skills, 20, 15-18.*
- Olivers, C. N., & van der Helm, P. A. (1998). Symmetry and selective attention: A dissociation between effortless perception and serial search. *Perception & Psychophysics, 60*, 1101-1116.
- Palmer, S. E. (1977). Hierarchical structure in perceptual representation. *Cognitive Psychology, 9*, 441-474.
- Palmer, S. E. (1978). Structural aspects of visual similarity. *Memory & Cognition, 6*, 91-97.
- Palmer, S. E., & Hemenway, K. (1978). Orientation and symmetry: Effects of multiple, rotational, and near symmetries. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 4*, 691-702.
- Palmer, S., & Rock, I. (1994). Rethinking perceptual organization: The role of uniform connectedness. *Psychonomic Bulletin and Review, 1*, 29-55.
- Paquet, L. (1991). Mental rotation of compound stimuli: The effects of task demands, practice and figural goodness. *Memory & Cognition, 19*, 558-567.
- Paquet, L. (1992). Global and local processing in nonattended objects: A failure to induce local processing dominance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18*, 512-529.
- Pashler, H. (1987). Detecting conjunctions of color and form: Reassessing the serial search hypothesis. *Perception & Psychophysics, 41*, 191-201.
- Pellegrino, J. W., Doane, S. M., Fischer, S. C., & Alderton, D. (1991). Stimulus complexity effects in visual comparisons: The effects of practice and learning context. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 17*, 781-791.
- Pomerantz, J.R. (2003). Wholes, holes, and basic features in vision. *Trends in Cognitive Sciences, 7*, 471-473.
- Pomerantz, J. R., & Pristach, E. A. (1989). Emergent features, attention, and perceptual glue in visual form perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15*, 635-649.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin, 80*, 1-24.
- Pylyshyn, Z. W. (1979). The rate of "mental rotation" of images: A test of a holistic analogue hypothesis. *Memory & Cognition, 7*, 19-28.
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review, 88*, 16-45.
- Pylyshyn, Z. W. (1984). Computation and cognition: Toward a foundation for cognitive



- science. Cambridge, MA: MIT Press.
- Pylyshyn, Z. W. (2003). Return of the mental image: Are there really pictures in the brain? *Tr* , 7, 113-118.
- Robertson, L. C., & Palmer, S. E. (1983). Holistic processes in the perception and transformation of disoriented figures. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 203-214.
- Rock, I. (1983). *The logic of perception*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rubin, J. M., & Kanwisher, N. (1985). Topological perception: Holes in an experiment. *P* , 37, 422-435.
- Sagi, D., & Julesz, B. (1985). "Where" and "what" in vision. *Science*, 228, 1217-1219.
- Sagi, D., & Julesz, B. (1987). Short-range limitation on detection of feature differences. *Spatial Vision*, 2, 39-49.
- Shepard, R. N. (1982). On turning something over in one's mind: Preliminary proposal for some experiments. In R. N. Shepard & L. A. Cooper (Eds.), *Mental images and their transformations* (pp.19-23). Cambridge, MA: MIT Press.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). Epilogue to part I. Mental rotation. In R. N. Shepard & L. A. Copper (Eds.), *Mental images and their transformations* (pp. 171-186). Cambridge, MA: MIT Press.
- Shepard, S., & Metzler, D. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal o* *l Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 3-11.
- Singh, M., Seyranian, G. D., & Hoffman, D. D. (1999). Parsing silhouettes: The short-cut rule. *P* 1, 636-660.
- Snowden, R. J. (1998). Texture segregation and visual search: A comparison of the effects of random variations along irrelevant dimensions. *Journal o* *logy: Human Perception and Performance*, 24, 1354- 1367.
- Steiger, J. H., & Yuille, J. C. (1983). Long-term memory and mental rotation. *Canadian Journal of Psychology*, 37, 367-389.
- Stenson, H. H. (1968). The psychophysical dimensions of similarity among random shapes. *Perception & Psychophysics*, 3 (3B), 201-214.
- Takano, Y. (1989). Perception of rotated forms: A theory of information types. *Cognitive Psychology*, 21, 1-59.
- Taylor, S., & Badcock, D. (1988). Processing featue density in preattentive perception. *Perception & Psychophysics*, 44, 551-562.

- Thurmond, J. B., Menzer, G. W., & Rebbin, T. J. (1974). Emergent properties of visual patterns at sizes well above threshold. *Perceptual and Motor Skills*, 39, 231-238.
- Treisman, A. (1991). Search, similarity, and integration of features between and within dimensions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 652-676.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15-48.
- Treisman, A., & Paterson, R. (1984). Emergent features, attention, and object perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 12-31.
- Treisman, A., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 459-478.
- Treisman, A., & Souther, J. (1985). Search asymmetry: A diagnostic for preattentive processing of separable features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 285-310.
- Tversky, A. (1977). Features of similarity. *Psychological Review*, 84, 327-352.
- Ullman, S. (1996). *High-level vision: Object recognition and visual cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Vandekerckhove, J., & Wagemans, J. (2007). The concavity effect is a compound of local and global effects. *Perception*, 36, 1253-1260.
- Vos, P. G., Bocheva, N., Yakimoff, N., & Helsen, E. (1993). Perceived location of two-dimensional patterns. *Vision Research*, 33, 2157-2169.
- Wagemans, J. (1992). Perceptual use of nonaccidental properties. *Canadian Journal of Psychology*, 46, 236-279.
- Wagemans, J. (1993). Skewed symmetry: A nonaccidental property used to perceive visual forms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 364-380.
- Wolfe, J.M. (1994). Guided search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1(2), 202-238
- Wolfe, J.M. (1998). Visual search. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp.13-17). Hove, UK: Psychology Press.
- Wolfe, J. M. (2000). Visual attention. In E. C. Carterette, M. P. Friedman (Series Eds.), & K. K. De Valois (Vol. Ed.), *Handbook of perception and cognition: Seeing*, 2<sup>nd</sup> edn. (pp. 335-386). San Diego, CA: Academic Press.

- Wolfe, J.M. (2007). Guided search 4.0: Current progress with a model of visual search. In W. D. Gray (Ed.), *Integrated models of cognitive systems* (pp.99-119). New York: Oxford University Press.
- Wolfe, J.M., Cave, K.R., & Franzel, S.L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *15*, 419-433.
- Wolfe, J. M., & DiMase, J. S. (2003). Do intersections serve as basic features in visual search? *Perception*, *32*, 645-656.
- Yuille, J. C., & Steiger, J. H. (1982). Nonholistic processing in mental rotation: Some suggestive evidence. *Perception*, *31*, 201-209.