

# 視覚短期記憶の時空間特性

酒井 浩二

2000年 1月

## 内容梗概

本論文では、輪郭図形の視覚短期記憶特性を再認実験により定量化し、本実験データを予測する再認モデルを構築した。再認実験の手続きは、第1刺激が瞬間提示され、数秒の保持時間の後に第2刺激が持続提示されたときの、第1・第2刺激の異同判断である。視覚短期記憶の空間特性として図形の複雑さとターゲット(T)とディストラクタ(D)の類似度、時間特性として第1刺激の提示時間と第1・第2刺激間の保持時間を検討した。

1章では、視覚短期記憶に関して、記憶容量、記憶ノイズによる忘却、分節表現について言及し、本論文の着眼点を述べた。凹部分節による図形の知覚特性が調べられ、長期記憶において図形の凸状の部分に基づく認識モデルが提案されていることから、次の2つの主な仮説がおかれた。(1)図形は凹部で分節され、凸部が部分として視覚短期記憶に保持される。(2)各凸部の刺激値は正規ランダム変数として独立に視覚短期記憶で保持され、保持時間の増大に対して記憶ノイズが増大するため忘却が生じる。そして各章の位置づけとして、2,3章で図形の知覚特性、4,5章で視覚短期記憶の空間特性、6,7章で視覚短期記憶の時間特性、8章で視覚短期記憶モデルについて本論文の流れを示した。

図形の知覚特性として、2章では、図形の角の数と周囲長の相関は極めて高いことから、図形の心理的複雑さに及ぼす両変数の影響を分離して検討した。周囲長が一定でも凹凸数の増大により図形の心理的複雑さは増大した結果より、図形の心理的複雑さの主要因は凹凸数であり、周囲長は凹凸数の増大により間接的に心理的複雑さに影響することが示された。図形の符号化は凹凸構造に基づき、各凸部が部分として知覚されることが示唆された。

3章では、2図形の重ね合わせによるずれた面積の割合をずれ率と定義し、2図形間でずれ率のみ異なる単次元の類似度判断を検討した。2図形間の心理的類似度は、2図形のずれ率の線形関数として低下した。また、対となる2図形の複雑さの増大により心理的類似度は高まった。2図形間で(各凸部のずれ率/各凸部の深さ)の平均が一定の場合、どの複雑さの図形の対でも心理的類似度はほぼ一定となった。図形は凹部で分節され、2図形間で照合された各凸部の差異が平均化されて類似度判断されることが示唆された。

視覚短期記憶の空間特性として、4章では、再認判断過程の混同について検討した。TとDのずれ率の増大により再認成績は線形的に上昇した結果より、図形の再認記憶はTとDのずれ率を信号とする信号検出理論に従うことが示唆された。また、TとDのずれ率が一定でも、対となる凹凸数の増大により再認の混同は増大することが示された。2図形間の心理的類似度と再認の混同は共変することが示された。

5章では、図形の再認困難性に大きく影響する図形の物理変数を検討した。周囲長が一定でも、凹凸数により再認成績は異なる傾向を示した。図形の凹凸数と各凸部の長さの両変数が、図形の再認が困難になる大きな要因となり、両変数の増大により周囲長は間接的に図形の再認困難性に影響することが示唆された。そして、各凸部の長さに依存せず、各凸部ごとに一定の記憶ノイズが生じることが推測された。周囲長でなく凹凸数が負荷となる点で、図形の知覚と記憶は一致することが示された。

視覚短期記憶の時間特性として、6章では、忘却率に及ぼす図形の複雑さの効果を検討した。図形の複雑さに関わらず忘却は8secのあいだ続き、忘却率は複雑な図形ほどやや高かった。各凸部ごとに記憶ノイズが生じ続けるため、複雑な図形ほど忘却率は高くなると推測された。しかし、忘却に及ぼす複雑さの効果は、判断過程の混同に及ぼす複雑さの効果に比べてかなり低いことが示された。記憶保持過程での視覚的リハーサルは、図形の正確な記憶保持に大きく作用すると推測された。

7章では、忘却率に及ぼす刺激提示時間の効果を検討した。図形の複雑さに関わらず、提示時間の増大により忘却率は低下した。図形の獲得は300ms程度の提示時間で十分であるが、視覚短期記憶に8sec程度のあいだ正確に保持され続けるには、1sec程度の提示時間を要することが示された。また、1sec前後の比較的長い提示時間でも16secのあいだ忘却は続いた。提示時間の増大により忘却率は大きく低下するが、忘却は回避されないことが示唆された。

視覚短期記憶モデルとして、8章では、信号検出理論に基づく再認モデルが構築された。モデルでは、本実験の再認成績が獲得、記憶保持、判断の3過程の作用により説明された。5つのパラメータ設定により4つの実験変数の効果がうまく説明された結果より、本論文の仮説が輪郭図形の再認記憶を説明する十分条件として成立することが示された。モデルでは、図形の獲得は0.5sec程度の提示時間により飽和し、記憶ノイズは保持時間の線形関数として増大した。また、保持時間が増大してもほとんど忘却が生じない図形の複雑さを視覚短期記憶の容量とみなすと、容量は凹凸数4であることが示された。図形の複雑さの増大により上記の3過程に処理制限が生じるが、判断過程における混同が、複雑な図形の再認が困難になる大きな要因であることが示された。

総括として9章では、心理実験とモデルにより得られた知見をまとめた。輪郭図形の再認記憶はTとDのずれ率を信号とする信号検出理論により説明され、1章の仮説は十分性をもつことを指摘した。また、視覚的リハーサルの観点から記憶容量について考察し、視覚短期記憶の忘却と長期記憶の固定化を対比的に検討した。1章の仮説の必要性を検証するため、今後の展望として曲率の短期記憶特性の検討について言及し、最後に結論を述べた。

## 目次

1章	はじめに	1
1.1	視覚短期記憶の諸特性	1
1.1.1	記憶容量	1
1.1.2	記憶ノイズによる忘却	2
1.1.3	分節表現	3
1.2	本研究の仮説	4
1.3	本研究の着眼点	5
1.4	各章の流れ	6
2章	図形の心理的複雑さに及ぼす物理変数の検討	8
2.1	実験1	8
2.2	実験2	11
2.3	実験3	15
2.4	まとめ	17
3章	特徴照合による類似度判断過程の検討	18
3.1	実験	18
4章	差異に基づく再認判断過程の検討	25
4.1	実験1	26
4.2	実験2	29
4.3	総合考察	33
5章	再認記憶に及ぼす物理変数の検討	35
5.1	実験1	35
5.2	実験2	39
5.3	総合考察	41
6章	忘却率に及ぼす図形の複雑さの効果	43
6.1	実験1	43
6.2	実験2	46
6.3	総合考察	50

7章 忘却率に及ぼす刺激提示時間の効果	----- 52
7.1 実験1	----- 52
7.2 実験2	----- 55
7.3 実験3	----- 58
7.4 総合考察	----- 59
8章 視覚短期記憶の特徴分節モデル	----- 62
8.1 モデル	----- 62
8.1.1 課題成績の予測	----- 62
8.1.2 獲得過程	----- 63
8.1.3 記憶保持過程	----- 63
8.1.4 判断過程	----- 65
8.2 モデルの評価	----- 67
8.2.1 データフィット	----- 67
8.2.2 記憶ノイズの線形性	----- 70
8.3 総合考察	----- 71
9章 総括	----- 74
9.1 分節表現	----- 74
9.2 記憶ノイズとリハーサル	----- 75
9.3 記憶容量	----- 75
9.4 忘却の漸近	----- 76
9.5 差異に基づく再認判断	----- 77
9.6 今後の展望	----- 78
9.6.1 曲率の短期記憶特性	----- 78
9.6.2 忘却時の動的過程	----- 79
9.7 結論	----- 80
謝辞	----- 81
引用文献	----- 82
付録	
各章の要旨	

## 1章 はじめに

我々は3次元物体を見て瞬時に認識できる。形、色、陰影、テクスチャなど、物体のもつ複数の物理属性が別個のモジュールにより脳内で処理・保持される。物体認識において、これらの中で形が主要なモジュールとなる。我々は、他の手がかりがなくても、立体的に描かれた2次元図形や遮蔽輪郭のみにより認識できる。3次元物体に関する何らかの2次元的な形状情報が、脳内で長期的に記憶保持されているといえる。

長期記憶は入力から数ヶ月、数年経過後の記憶表現を示すのに対し、短期記憶は入力から数秒、数十秒後の記憶表現を示す。視覚情報を入力とする短期記憶の場合、視覚短期記憶とよばれる。視覚短期記憶に関する諸研究では、ドットパターン、線分の長さ、格子を白と黒で塗りつぶしたマトリックスにより構成されるブロックパターン(Block Pattern; BP)など、記憶保持に言語を媒介しない無意味図形が刺激に用いられる。そして、数秒から数十秒のあいだ、図形の形状情報は忘却されつつ比較的正確に記憶保持されることが検証されてきた。

本研究は、輪郭図形を刺激に用いて、視覚短期記憶の時空間的な表現・忘却特性について検討する。そのアプローチとして、再認実験による定量化とモデル構築の2つを試みる。短期記憶は刺激提示から数秒、数十秒後の記憶であるため、刺激と被験者の反応の入出力関係が厳密に定量化されやすい手続き上の利点がある。また、視覚記憶特性を検討することにより、いかなる処理過程を通して現在我々が持つ長期記憶表現にいたるかを考察することが可能となる。

まず、本研究と関連の深い3つの視覚短期記憶特性を取り上げる。

### 1.1 視覚短期記憶の諸特性

#### 1.1.1 記憶容量

視覚短期記憶の容量は、記憶保持される視覚刺激の個数により測定されることが多いが、本研究では正確に記憶保持されうる単一図形の複雑さレベルに基づいて検討する。

Phillips(1974)は、感覚記憶と短期記憶は異なる特性をもつことを検証した。提示直後の保持システムである感覚記憶では、少なくとも8×8のBPがほとんど忘却されずに保持される。しかし、感覚記憶では約100msしか視覚情報が貯蔵されず、マスク刺激により除去される。

その後、視覚短期記憶に数秒から数十秒程度保持される。視覚短期記憶に容

量制限があることは、BP の再生実験により検証されてきた。Inui(1988)によると、3×3のBPでは300ms程度の提示時間によりほぼ完全な再生率が得られるが、4×4のBPでは1secの提示時間でも再生率は90%に達しなかった。またAttneave & Curlee(1983)は、一時的に保持できるのは、3×3から4×4のマトリックス数程度の複雑さをもつ図形であることを指摘した。これらの研究より、視覚短期記憶の容量は、BPを刺激とした場合で3×3から4×4程度の複雑さであることがわかる。

しかし、視覚短期記憶では保持時間の増大により忘却が生じるため、記憶容量を一義的に測定するのは困難となる。Phillips(1974)は、4×4のBPで保持時間の増大により忘却が生じた結果から、4×4のBPは視覚短期記憶の容量を上回ると言及した。Phillips(1974)の解釈に基づくと、保持時間が数秒程度経過しても正確な形状情報がほとんど忘却されない図形の複雑さが視覚短期記憶の容量と定義されうる。この定義の場合、再認実験で4×4のBPは記憶容量を上回る点で、Inui(1988)の再生実験結果と一致する。本研究では、Phillips(1974)の解釈に基づいて視覚短期記憶の容量について検討する。

### 1.1.2 記憶ノイズによる忘却

視覚短期記憶で忘却が生じる要因として、記憶ノイズ(memory noise)を仮定したモデルが提案されてきた(Kinchla & Smyzer,1967; Fahle & Harris,1992; Vogels & Orban,1986)。記憶ノイズは、記憶保持過程で生じる入力刺激値の分散に相当する。本研究では、輪郭図形の再認モデルを構築するに際して、Kinchla & Smyzer(1967)によるドットの位置の短期記憶モデルを考慮に入れる。Kinchlaらのモデルによれば、視覚短期記憶で保持される刺激値は正規ランダム変数により表される。そして保持時間の増大に対し、記憶保持される刺激値の期待値は外界の刺激値と一致するが、分散が増大するため弁別力・記憶感度が低下する。

視覚短期記憶における記憶ノイズと保持時間の関数関係は、視覚刺激により異なる。ドットの位置弁別(Kinchla & Smyzer,1967)では線形関数となり、線分の方位(Vogels & Orban,1986)や格子のコントラスト(Lee & Harris,1996)の弁別閾の場合、べき関数となった。これらの研究で、記憶ノイズは保持時間の単調増加関数である点は一致している。多くの視覚刺激において、記憶ノイズは数秒から数十秒のあいだ生じ続けることが示される。

Lee & Harris(1996)は、閾測定で主観的等価点(Point of Subjective Equality; PSE)と丁度可知差異(Just Noticeable Difference; JND)を調べ、視覚短期記憶の忘却要

因は記憶ノイズであることを実証した。PSEは、第1刺激と同じ刺激強度と再認される第2刺激の刺激強度を示す。JNDは一般的にいう閾値であり、第1刺激より第2刺激のほうが大きい刺激強度と再認される第1・第2刺激間の刺激強度の差異を示す。Lee & Harris(1996)はグレーティングのコントラストの閾測定において、1secから10secの保持時間のあいだ、JNDは上昇し続けるがPSEは一定であることを検証した。単色の色相(Nilsson & Nelson,1981)においても同様の結果である。これらの結果は、保持時間の増大に対して、外界の刺激値は視覚短期記憶で一定に保持され続けるが、ノイズが増大するため記憶保持の正確さが低下し、忘却が生じることを明白に示す。

### 1.1.3 分節表現

Kinchla(1974)は、複数の要素からターゲットを検出する課題で、提示刺激が複数の要素に分節され、各要素の刺激値は正規ランダム変数として処理されると指摘した。各要素の刺激値の期待値は、ターゲットのとき1、非ターゲットのとき0であり、各要素ごとに分散 $\alpha$ が生じる。そして、各要素の刺激値が加算され、加算された信号強度に基づいてターゲットの有無が判断される。Kinchla(1974)によれば、信号検出力Dは次式に従う。

$$D = \frac{t}{\sqrt{n\alpha + \pi}}$$

tはターゲット数、nは要素数、 $\pi$ は判断基準の分散を示す。要素数nの増大により分散の総和が増大するため、ターゲットと非ターゲットの混同が増大し、検出力Dは低下する。

各要素ごとの分節処理は、ターゲットの検出過程だけでなく、図形の形状情報の獲得過程、および記憶保持過程でも行われる。一般に、視覚情報処理では2過程モデルが提唱されている。第1の前注意過程では、図形は特徴点に基づき複数の部分に分節され、それらの部分は並列処理される。部分に関してより正確な処理が必要な場合、第2の集中的注意過程で系列処理される。獲得された各要素は、視覚短期記憶で分節して保持され(Frick & Rose,1986)、図形は特徴の空間配列として記憶保持される(Reed,1974)。そして、図形の複雑さと視覚短期記憶での分節数は強い正の相関が成立する(Inui,1988)。

提示刺激が輪郭図形の場合、凹部分節の原理が強く作用する。2つの物体が結合すると結合部に凹部が生成されることから、我々の形状処理システムは、凹部で分節して凸状の物体を部分と知覚する特性をもつ(Hoffman & Richards,

1984). 凹部による分節は, 形状の記憶においても基本的原理となる(Beusmans et al.,1987). Biederman(1987)の物体認識モデルによれば, 深い凹部をもたない凸状の構成要素が空間配列されて物体は記憶表現されており, 凸状の構成要素をベースとして, 入力表現と内部表現の照合により認識が達成される. 2次元図形の場合も, 凸部が部分として記憶保持されると考えられる.

## 1.2 本研究の仮説

図形の知覚, および長期記憶における凹部分節の原理により, 視覚短期記憶で図形は凹部で分節され, 凸部が部分として表現されると仮定する. 視覚短期記憶で保持される凸部の部分に関して, 本研究では次の主な仮説をたてる.

### (1) 記憶ノイズによる忘却

視覚短期記憶でコードされる各凸部の物理変数として, 各凸部の長さ, 深さ, 曲率の3つが考えられる. いずれの物理変数として凸部が表現される場合でも, 図形の正確な形状が忘却される要因として, Lee & Harris(1996)の仮説に基づく次の3つが想定される.

1. 保持される各凸部の刺激値が低下する. つまり, 凸部の突出度が低下する.
2. 保持される各凸部の刺激値が一定の値に変容する.
3. 保持される各凸部の刺激値の期待値は外界の刺激値と同値であるが, 分散が増大してノイジーになる.

本研究では, Lee & Harris(1996)の実験結果に基づき, 仮説3が正しいと考える. 視覚短期記憶において輪郭図形は凹部で分節され, 各凸部の刺激値が正規ランダム変数として保持されると仮定する. 各凸部ごとに記憶ノイズが生じるために保持図形の正確さが低下し, 記憶ノイズの発生が数秒から数十秒程度続くため, 視覚短期記憶において忘却が続くと仮定する.

### (2) 各凸部の独立保持

図形は各凸部の空間配列により記憶保持されると考えられるが, 視覚短期記憶でのチャンクの配列関係として, Bartram(1978)は次の3つの可能性を示した.

1. 個々のチャンクが1対1の配列により線状に記述される.
2. 個々のチャンクが1対多の配列により回路網状に記述される.
3. 各チャンクが独立に記述される.

Bartram(1978)は, 上記のどの戦略が用いられるかは刺激図形の特性や課題により異なると考えた. そして, 対称図形の場合, 複数のチャンクの回路網により1つのチャンクとして保持されるが, ランダム図形の場合, 複数の部分に分

節されて各部分は独立に保持されると指摘した. 本研究では刺激図形にランダム図形を用いるため, 各凸部は独立に視覚短期記憶で保持されると仮定する.

### (3) 各凸部ごとの記憶ノイズ

視覚短期記憶では, できるだけ少ない分節数で図形は保持される傾向をもつ(Bartram,1978). そのため輪郭図形の場合, 図形の全凹部で分節されるのではなく, 負曲率の絶対値のより大きい凹部のみで分節されると考えられる. そして, 複数の凸部により何らかの意味での1つのまとまりが形成されて視覚短期記憶で保持されると推測される. しかし本研究では, 記憶ノイズは, 視覚短期記憶で形成された1つのまとまりに対して生じるのではなく, 物理的な形状特徴に対して生じるとみなす. そのため, 記憶ノイズは各凸部ごとに生じ, 図形に生じる記憶ノイズは各凸部に生じる記憶ノイズの総和により表されるとみなす.

### (4) 階層ごとの忘却特性

Palmer(1977)によれば, 図形は複数の階層により表現される. 上位の階層には図形の対称性, 閉合性, 緻密性などの大局形状が表現され, 下位の階層には図形の角度, 方向, 位置などの局所形状が表現される. 視覚短期記憶において図形の大局形状は忘却されにくいことから(Inui,1988), 各凸部の局所形状は記憶ノイズにより正確さが低下して下位の階層に保持されるが, 大局形状は上位の階層に正確に保持されると仮定する.

## 1.3 本研究の着眼点

本研究で行われる再認実験の主な内容は, 以下の3点である.

### (1) 単一図形の記憶保持

被験者の課題は, 第1刺激が瞬間提示され, 数秒から十数秒の後に第2刺激が持続提示されたときの, 第1・第2刺激の異同判断である. 単一図形がいかにかに記憶保持されるかに関する検討が, 本研究の主目的の1つとなる.

### (2) 記憶保持の正確さ

第1・第2刺激が異なる試行における2図形の大局形状は一致し, 微妙な形状のみが異なるように設定される. そのため, 第1刺激の正確な記憶保持が被験者の課題となる.

### (3) 再認手続き

再認判断は第1刺激の記憶表現と第2刺激の照合に基づいて行われると考えられる. そのため, 第1刺激の記憶保持の正確さだけでなく, 判断過程も再認成績に影響する.

これらの実験手法により、視覚短期記憶に関する再認実験はいくつか行われてきた(Phillips,1974; Avons & Phillips,1980; Kikuchi,1987)。しかし、従来の再認実験で十分でないと思われるのが次の3点である。

#### (1) 3過程による再認記憶の説明

第1刺激の記憶保持の正確さのみが再認成績に反映するとみなした研究例が多いが、判断過程も再認成績に影響する。記憶保持過程で容量に制限がなくとも、判断過程で図形の複雑さが作用して課題成績が低下することもありうる(Greenlee & Magnussen,1998)。獲得、記憶保持、判断の3過程の作用により、視覚短期記憶の再認成績を説明する必要がある(Kinchla & Smyzer,1967)。本研究で用いられる、3過程に関する用語の説明は付録1に記される。

#### (2) 刺激図形の物理量・心理量の規定

図形の物理変数と被験者の課題成績の対応関係により内部表現を考察するのが、一般的な心理物理学のアプローチである。しかし、より直接的に課題成績に影響するのは、図形の物理変数に対する心理量である。そのため、図形の物理変数と心理量の対応関係を評定実験により明らかにしたうえで、図形の物理変数および心理量と再認成績の関係を定量化したほうが説明力は高くなる。

#### (3) 4実験変数の操作

個々の実験要因を操作した研究例は比較的多いが、これらの場合、全体的な視覚短期記憶特性が把握されない。視覚短期記憶の時空間特性を包括的に検討した再生モデルは提案されているが(Inui,1988)、再認モデルは報告例がない。視覚短期記憶の再認に大きく影響する、刺激図形の複雑さ、第1・第2刺激が異なる試行での2図形の類似度、第1刺激の提示時間、第1・第2刺激間の保持時間の4実験変数を操作した再認実験により時空間的な記憶特性を調べ、視覚短期記憶の包括的な再認モデルを構築する。

本研究では、主に上記の3点に着眼して、再認実験およびモデルにより視覚短期記憶の時空間特性について検討する。

### 1.4 各章の流れ

本論文は9章より構成される。1章では、視覚短期記憶の時空間特性に関して、本研究と関連の深い記憶容量、記憶ノイズによる忘却、分節表現について概観し、本研究の仮説と着眼点について言及した。

以降、2、3章では、図形の物理変数と再認記憶の関係を媒介する図形の心理量を測定するため、図形の複雑さと類似度の評定実験を行う。2章では、図

形の角の数と周囲長の相関は極めて高いことから(Chipman,1977)、図形の符号化に及ぼす両変数の影響を分離して検討する。3章では、2図形間で微妙な形状が異なる条件での2図形間の心理的類似度について調べ、心理的類似度に及ぼす図形の複雑さの効果を検討する。

4、5章では、視覚短期記憶の空間特性を検討する。4章では、獲得・記憶保持の正確さ、および判断過程の混同効果について検討する。5章では、図形のいかなる物理変数が、視覚短期記憶の再認困難性に大きく影響するかを検討し、記憶ノイズは視覚短期記憶でどのように生じるかについて考察する。

6、7章では、視覚短期記憶の時間特性として、視覚短期記憶の忘却について検討する。6章では、忘却率は図形の複雑さに依存するかを検証し、記憶ノイズがどのように生じ続けるかを検討する。7章では、忘却率は刺激提示時間に依存するかを検証し、入力過程での学習レベルが保持過程で生じる記憶ノイズにどのように作用するかを検討する。

8章では、本再認実験の成績はいかなる処理過程に基づくか、また4実験変数がどの処理過程でどの程度再認成績に作用するか、などを明らかにするため、信号検出理論に基づき視覚短期記憶の再認モデルを構築する。そして、本モデルと4、6、7章の実験データとの適合性を検証する。

9章では、2章から7章の心理実験、および8章のモデル構築を通して、本研究により視覚短期記憶に関してどのような知見が提起されるかを総括し、今後の研究について展望する。

## 2章 図形の心理的複雑さに及ぼす物理変数の検討

2章では、図形のいかなる物理変数が図形の心理的複雑さに大きく影響するかを検証するため、複雑さの評定実験を行う。図形の物理変数と心理的複雑さの対応関係を定量化し、図形の知覚特性について検討する。

Attneave(1957)によれば、多角形図形の角の数が複雑さの評定値の上限に最も大きく影響する物理変数となった。角の密集度、角の角度差、角が頂点をもつか曲線からなるか、などの物理変数は、複雑さの評定値に大きく影響しなかった。格子にドットを配置したパターンの場合も(Ichikawa,1985)、角の数が知覚される複雑さの上限に大きく影響した。曲率の大きい部分は図形を構成する上でより重要な部分となるが(Attneave,1954)、曲率の大きい部分に相当する角の数が複雑さの評定値を大きく規定する物理変数になると理解される。

しかし、図形の角の数が大きくなると周囲長/ $\sqrt{\text{面積}}$ (Perimeter/ $\sqrt{\text{Area}}$ ;  $P/\sqrt{A}$ )の値も増大する。 $P/\sqrt{A}$ は、面積に依存しない図形の複雑さの指標として一般によく用いられる。Chipman(1977)によれば、BPの角の数と $P^2/A$ の相関係数は極めて高く、.94であった。Chipman(1977)は、角の数と $P^2/A$ のいずれの物理変数が複雑さの評定値により大きく影響するのかを明らかにするため、 $P^2/A$ は一定で角の数の異なる刺激セットを用いて複雑さの評定実験を行った。結果は、同じ $P^2/A$ の値をもつBPでも、角の数の大きいBPほど複雑さの評定値は大きくなった。Chipman(1977)は、角の数と $P^2/A$ は複雑さの上限を決定する重要な変数となるが、角の数はより重要な物理変数になると指摘した。

実験1, 2では、BPの角の数に相当する輪郭図形の凹凸数(付録4.1)、 $P/\sqrt{A}$ (付録4.2)、各凸部の長さ(付録4.3.1)、の3つの物理変数を操作して、輪郭図形でもChipman(1977)と同様の結果が得られるかを検討する。

### 2.1 実験1

#### 2.1.1 目的

実験1では、図形の凹凸数と各凸部の長さの増大により心理的複雑さはどのように変化するかを調べ、心理的複雑さにより大きく影響する物理変数を検討する。

#### 2.1.2 方法

刺激 刺激は凹凸閉図形で、三つの余弦波の加算平均を極座標表現して生成

された(付録2)。生成された刺激図形の物理特性は、付録3に記される。

刺激の生成および提示は、パーソナルコンピュータ(NEC PC-9821 CS2)により行われた。ディスプレイの視角は約11.1度×約14.9度で、図形の大きさは

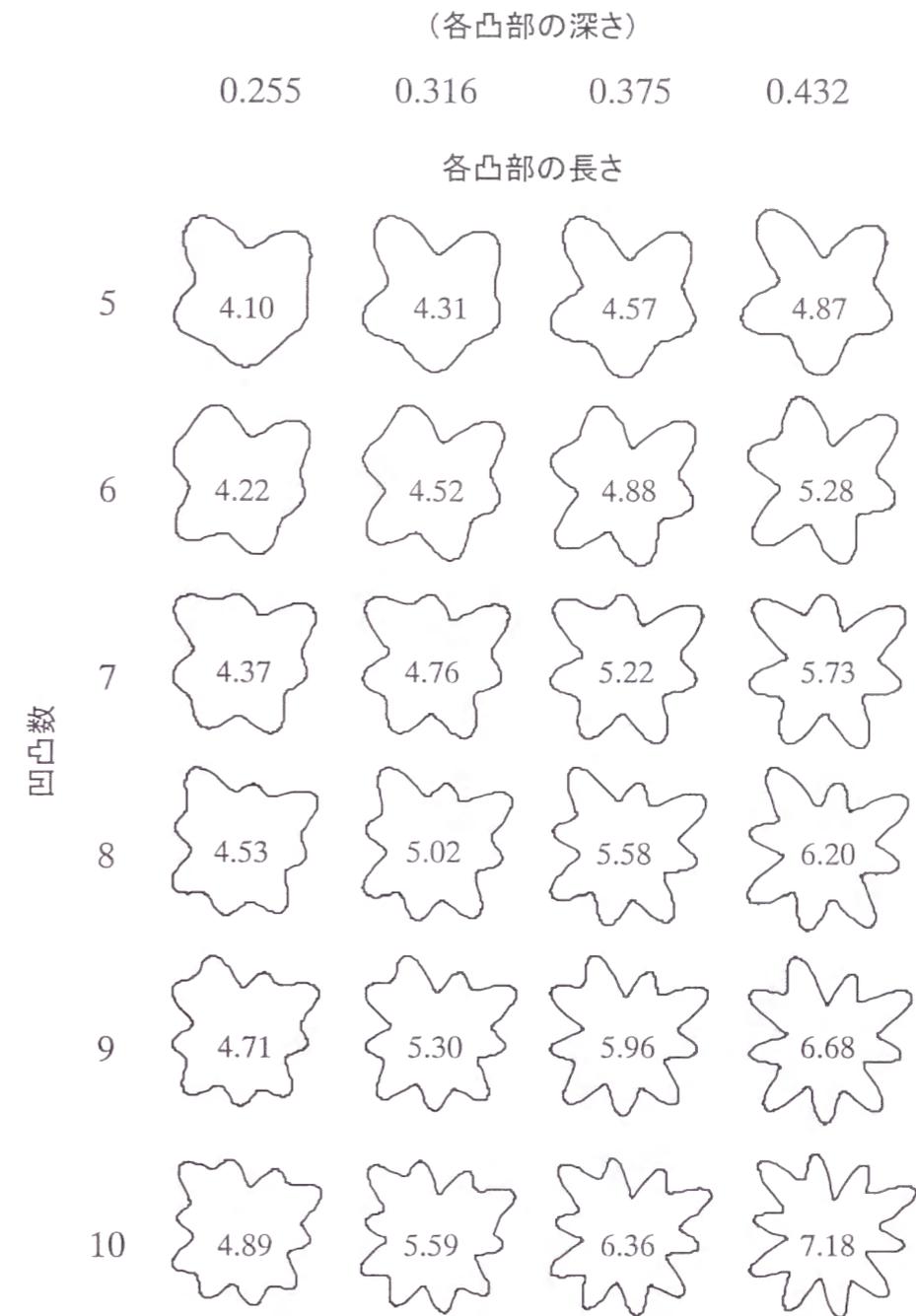


図 2.1 : 実験1で用いられた刺激図形例。縦列は凹凸数、横列は各凸部の長さの操作を示す。各凸部の長さは、3章で各凸部の深さとして数値化された。縦の6図形は、同じ各凸部の深さの値をもつ。図形中の数値は $P/\sqrt{A}$ を示す。

各凸部の長さにより異なったが、約 3.5 度×約 3.5 度に設定された。

図形の物理的複雑さは、凹凸数と各凸部の長さにより操作された。凹凸数 6 種 (5, 6, 7, 8, 9, 10) × 各凸部の長さ 4 種により、24 種の異なる物理的複雑さをもつ図形が刺激に用いられた (図 2.1)。

**手続き** 警告音のあと、刺激図形が持続提示された。被験者の課題は、1 (きわめて単純な図形) から 9 (きわめて複雑な図形) のいずれかの数字で図形の複雑さを評定することであった。評定後に被験者がリターンキーを押すと画面の図形は消え、約 2 秒後に次の試行が開始された。

20 回の練習試行の後、凹凸数 6 種 × 各凸部の長さ 4 種 × 繰り返し 8 回により、全 192 試行が行われた。繰り返しは、凹凸数、各凸部の長さが同じで形状の異なる図形が用いられた。凹凸数、各凸部の長さの提示順序はランダムであった。

**被験者** 7 名の大学生。

### 2.1.3 結果・考察

図 2.2 は、各凸部の長さに対する図形の心理的複雑さを表す。各凸部の長さの増大に対して、心理的複雑さはそれほど大きく増大しなかった。各凸部の長さが 0.7 で一定のとき、凹凸数の増大により心理的複雑さは大きく増大した。

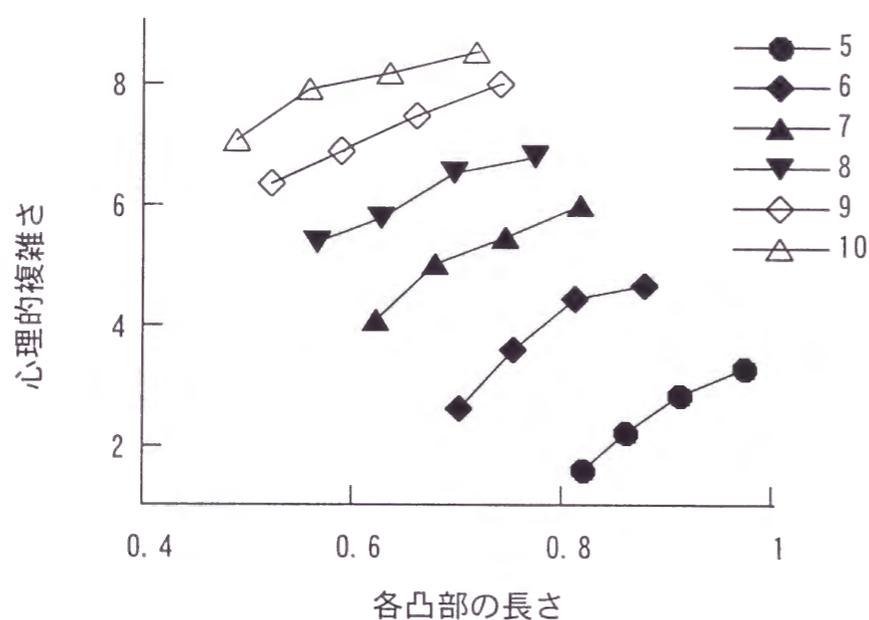


図 2.2 : 実験 1 の結果。各凸部の長さに対する図形の心理的複雑さ。パラメータは凹凸数を表す。

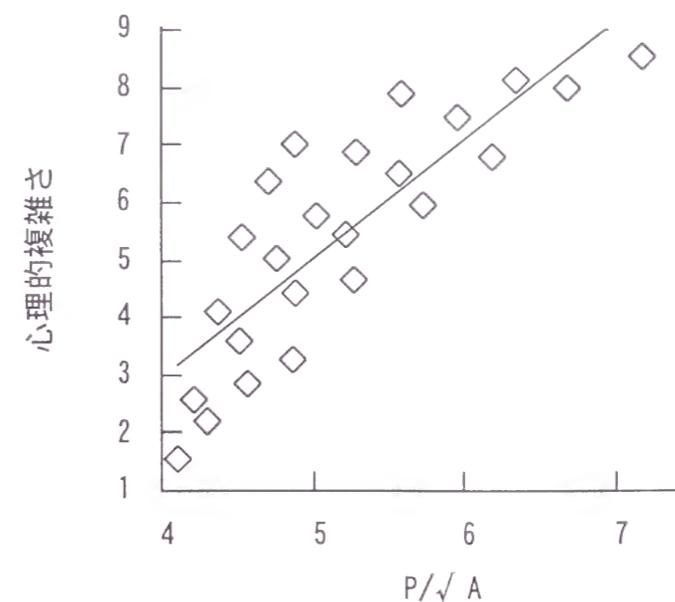


図 2.3 : 図 2.2 を再プロットしたもの。  $P/\sqrt{A}$  と心理的複雑さの相関関係。

図 2.1 のように、凹凸数と各凸部の長さの増大により  $P/\sqrt{A}$  は大きく増大するが、凹凸数は各凸部の長さ比べてより大きく心理的複雑さに影響した。

図 2.3 は、図 2.2 を再プロットしたもので、 $P/\sqrt{A}$  と心理的複雑さの相関関係を表す。相関係数は  $r=0.836(p<.001)$  であったが、 $P/\sqrt{A}$  と心理的複雑さのあいだに明瞭な正の直線関係はみられなかった。

Chipman(1977)は、角の数と  $P/\sqrt{A}$  は BP の複雑さの上限を決定する重要な変数となるが、角の数はより重要な物理変数になると指摘した。角は BP 全体を構成する上で局所的に重要な部分であり、構造的に輪郭図形における凹凸部に相当する。凹凸図形の場合、図 2.3 のように  $P/\sqrt{A}$  は心理的複雑さをある程度予測する指標となるが、各凸部の長さより凹凸数のほうが物理変数として大きく重みづけされて心理的複雑さに影響することが検証され、BP を刺激とした Chipman(1977)の知見と一致した。

## 2.2 実験 2

### 2.2.1 目的

実験 1 では、各凸部の長さより凹凸数のほうが大きく重みづけされて心理的複雑さに影響するため、 $P/\sqrt{A}$  は心理的複雑さを正確に予測する物理変数とな

らないことが示された。この結果を確認するため、実験2では Chipman(1977)の手法を用いて、 $P/\sqrt{A}$ は一定で凹凸数の異なる刺激セットを用いて複雑さの評定実験を行う。

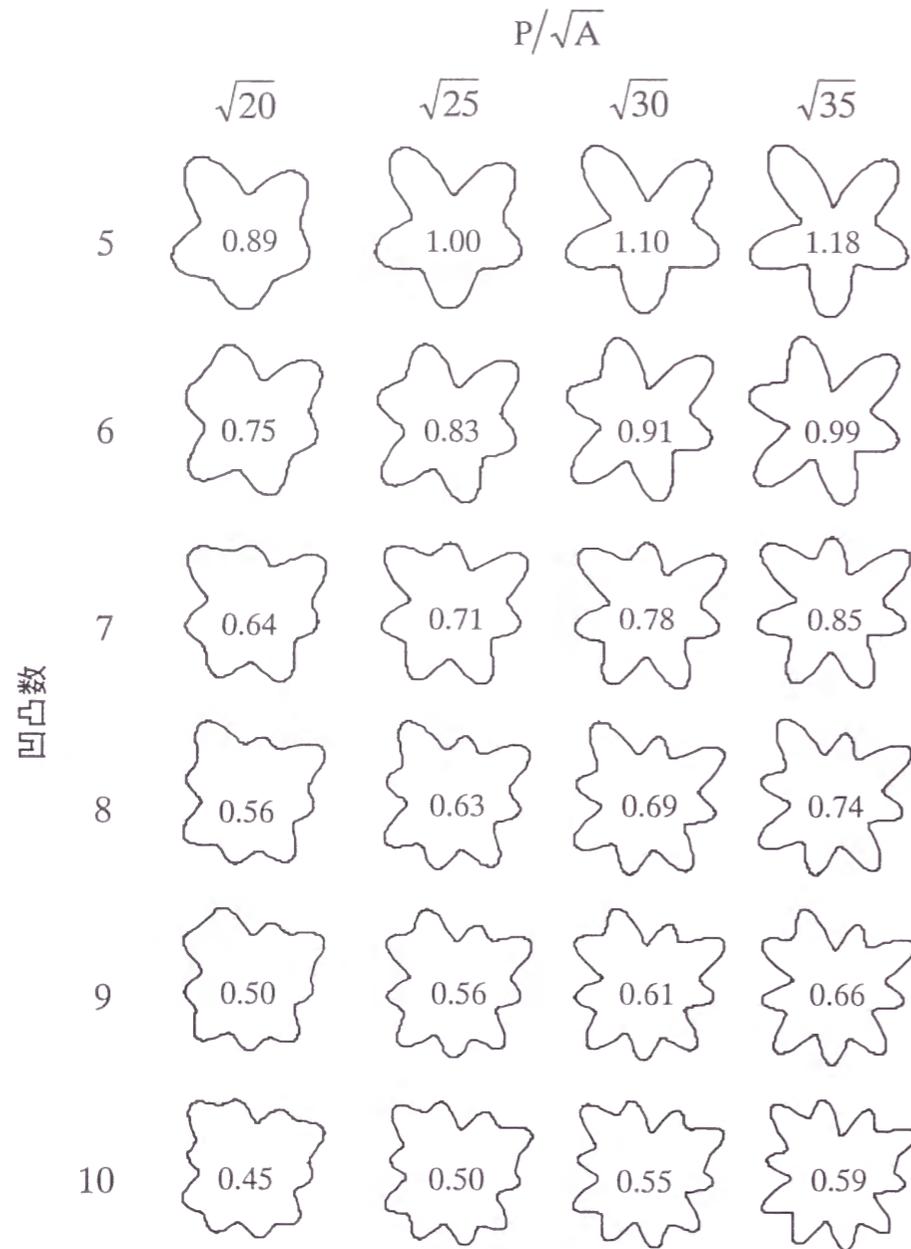


図 2.4：実験2で用いられた刺激図形例。縦列は凹凸数，横列は $P/\sqrt{A}$ の操作を示す。図形内の数値は各凸部の長さを示す。凹凸数が一定の場合， $P/\sqrt{A}$ の増大により各凸部の長さは大きく設定され， $P/\sqrt{A}$ が一定の場合，凹凸数の増大により各凸部の長さは小さく設定された。

### 2.2.2 方法

**刺激** 実験1と同様。ただし，図形の物理的複雑さは凹凸数と $P/\sqrt{A}$ により操作された。ディスプレイ上で，図形の $P/\sqrt{A}$ は付録4.2により算出された。図形の面積 $A$ は図形の物理変数に関わらず一定に設定されたため， $P/\sqrt{A}$ は周囲長 $P$ のみにより変動した。本文中での「周囲長」は $P/\sqrt{A}$ の値を示す。

$P/\sqrt{A}$  4種 ( $\sqrt{20}, \sqrt{25}, \sqrt{30}, \sqrt{35}$ ) × 凹凸数 6種 (5, 6, 7, 8, 9, 10) の24種の異なる物理的複雑さをもつ図形が刺激に用いられた (図 2.4)。 $P/\sqrt{A}$ が一定の図形間で，凹凸数の小さい図形は各凸部の長さがより大きく，凹凸数の大きい図形は各凸部の長さがより小さく設定された。図形の視角は各凸部の長さにより異なったが，約3.6度×約3.6度に設定された。

**手続き** 実験1と同様。

**被験者** 9名の大学生。

### 2.2.3 結果・考察

図 2.5 は，凹凸数に対する図形の心理的複雑さを表す。 $P/\sqrt{A}$ が一定の図形間で，凹凸数が大きく各凸部の長さが小さい図形ほど心理的複雑さは大きくなった。 $P/\sqrt{A}$ が一定で凹凸数の異なる図形間で心理的複雑さに有意な差がみられ

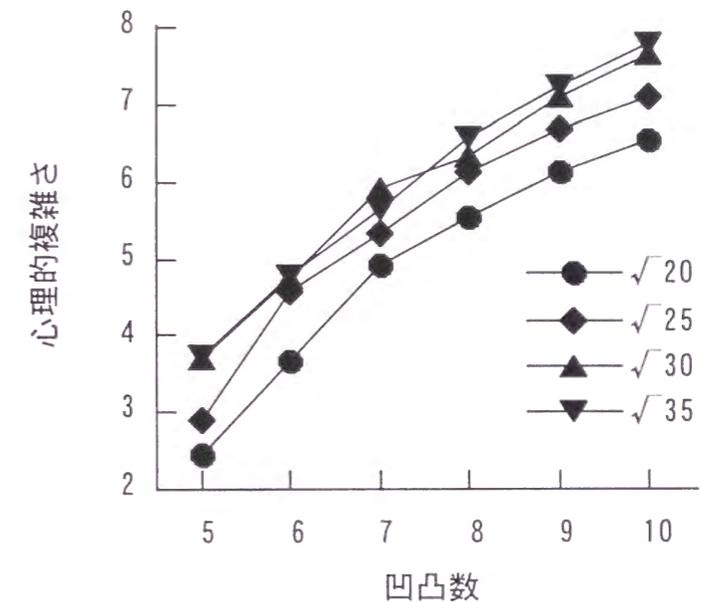


図 2.5：実験2の結果。凹凸数に対する図形の心理的複雑さ。パラメータは $P/\sqrt{A}$ を表す。

るかを検証するため、1 要因の分散分析を行った。その結果、すべての  $P/\sqrt{A}$  の条件で凹凸数の主効果に有意差がみられた ( $\sqrt{20}$ ,  $F(5,40)=61.75$ ,  $p<.0001$ ;  $\sqrt{25}$ ,  $F(5,40)=105.07$ ,  $p<.0001$ ;  $\sqrt{30}$ ,  $F(5,40)=72.08$ ,  $p<.0001$ ;  $\sqrt{35}$ ,  $F(5,40)=82.14$ ,  $p<.0001$ )。この結果は、 $P/\sqrt{A}$  が一定の図形間でも、凹凸数および各凸部の長さにより心理的複雑さは異なることを示す。

Fisher の LSD 法による下位検定の結果、 $P/\sqrt{A}$  が  $\sqrt{25}$ 、および  $\sqrt{35}$  の条件では、あらゆる凹凸数の対のあいだで、凹凸数の大きい図形の方が有意に心理的複雑さが大きかった。 $P/\sqrt{A}$  が  $\sqrt{20}$  の条件では凹凸数 9 と凹凸数 10 のあいだで、 $P/\sqrt{A}$  が  $\sqrt{30}$  の条件では凹凸数 7 と凹凸数 8 のあいだで有意差がみられなかったが、 $P/\sqrt{A}$  が  $\sqrt{20}$  および  $\sqrt{30}$  の条件では、これらを除くあらゆる凹凸数の対のあいだで凹凸数の大きい図形の方が有意に心理的複雑さが大きかった。

凹凸数が一定のとき、 $P/\sqrt{A}$  の増大に対する心理的複雑さの増大レベルは非常に小さかった。図 2.6 は、図 2.5 を再プロットしたもので、各凸部の長さに対する心理的複雑さを表す。実験 1 での図 2.2 と同様、各凸部の長さの増大により心理的複雑さはそれほど大きく増大しなかった。

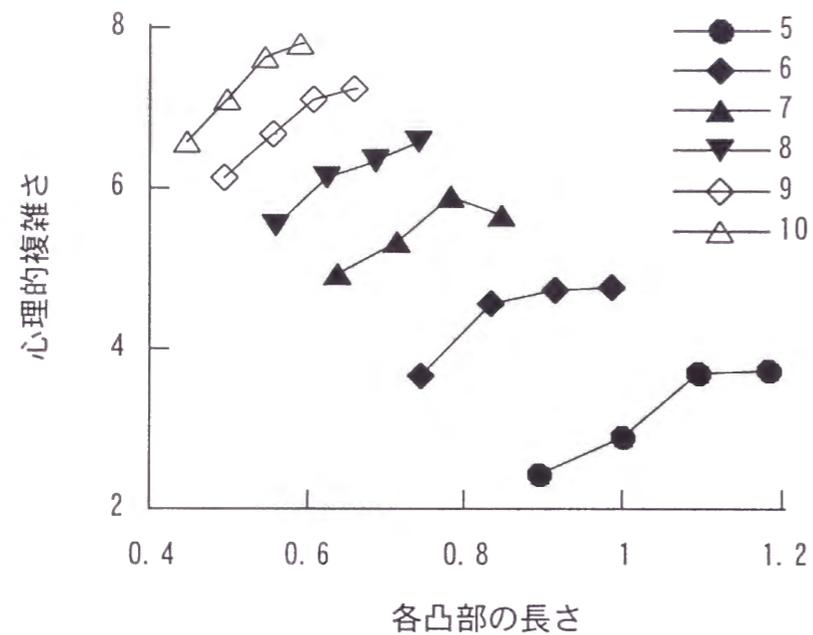


図 2.6：図 2.5 を再プロットしたもので、各凸部の長さに対する図形の心理的複雑さ。パラメータは凹凸数を表す。

$P/\sqrt{A}$  そのものが心理的複雑さを規定する大きな要因であると仮定した場合、 $P/\sqrt{A}$  が一定の図形間では、図形の凹凸数と各凸部の長さに関わらず心理的複雑さは一定になることが導かれる。しかし実験 2 の結果は、 $P/\sqrt{A}$  が一定の場合、凹凸数が大きく各凸部の長さが小さい図形ほど心理的複雑さは大きくなった。実験 2 により、 $P/\sqrt{A}$  の増大により心理的複雑さは増大するが、 $P/\sqrt{A}$  は輪郭図形の心理的複雑さを正確に予測する物理変数とならず、凹凸数が心理的複雑さを規定する最大の要因になることが明らかにされた。

## 2.3 実験 3

### 2.3.1 目的

実験 1, 2 で、図形の心理的複雑さは凹凸数と各凸部の長さの増大により単調増加した結果から、両変数で重みづけは異なるが、両変数の物理量の増大は心理的複雑さの増大に正確に反映することが示された。では、図形の物理的複雑さに関する形状処理は、瞬間提示された場合でも可能であろうか。図形の凹凸部は瞬間視により並列処理され、大局形状が把握されることから(Inui,1989)、図形の物理的複雑さは短い提示時間で正確に知覚されると想定される。実験 3 では、異なる刺激提示時間での図形の心理的複雑さを比較することで、大局形状の 1 つである図形の複雑さは、瞬間提示により正確に把握されるかを調べる。

### 2.3.2 方法

**刺激** 刺激図形の生成、提示方法は実験 1 と同様。ただし、図形の物理的複雑さは 4 種で、(凹凸数, 各凸部の長さ) が (7, 0.62) (7, 0.71) (8, 0.57) (8, 0.66) の図形が用いられた。

**手続き** 実験 1 と同様。ただし、刺激図形は瞬間提示され、提示時間 4 種 (54, 90, 144, 198ms) であった。

**被験者** 7 名の大学生。

### 2.3.3 結果

図 2.7 は、刺激提示時間に対する心理的複雑さを表す。4 種の物理的複雑さをもつ図形すべてにおいて、異なる提示時間の条件で心理的複雑さはほぼ一定となった。また、凹凸数および各凸部の長さの増大により心理的複雑さは増大した。物理的複雑さ × 提示時間の分散分析の結果、物理的複雑さの主効果には有意差がみられたが ( $F(3,18)=203.32$ ,  $p<.0001$ )、提示時間の主効果には有意差がみられなかった ( $F(3,18)=1.62$ , n.s.)。物理的複雑さと提示時間の交互作用に有意

差がみられた( $F(9,54)=4.40, p<.0002$ ).

### 2.3.4 考察

Ichikawa(1985)は BP を刺激に用いて、複雑さ評定値に及ぼす提示時間の効果を検討した。結果は、角の数などの量的変数は 50ms の瞬間提示でも正確に検出され、提示時間に依存せず複雑さ評定値に作用したのに対して、対称性などの構造変数は提示時間の増大により複雑さ評定値を低減させる影響度が高まった。この結果より彼は、最初に量的変数が検出されて複雑さの上限が決定され、その後に構造変数が検出されて複雑さの上限は低減されるモデルをたてた。

実験 3 では、提示時間の主効果に有意差がみられず、またどの提示時間でも一貫して、各凸部の長さの大きい条件のほうが評定値は高まったことから、瞬間提示により図形の物理的な複雑さレベルは正確に知覚されると解釈される。これらの結果は、図形の物理的な複雑さの度合いは 54ms の短い提示時間で正確に知覚されることを示し、Ichikawa(1985)の結果と一致する。

図形は、対称性、複雑さ、長軸方向など多次元的に知覚され(Cortese & Dyre,1996)、これらの知覚特性に基づいて図形の大局形状が把握される。図形の特徴点は瞬間視により並列処理されるが(Inui,1989)、図形の複雑さなどの大

局形状は非常に短い提示時間によりかなり正確に把握されることがわかる。

## 2.4 まとめ

実験 1 では、各凸部の長さの増大により心理的複雑さはそれほど大きく増大しないのに対して、凹凸数の増大により心理的複雑さは大きく増大した。凹凸数と各凸部の長さの増大により  $p/\sqrt{A}$  は大きく増大するが、凹凸数に比べ各凸部の長さは心理的複雑さに大きく影響しないため、 $p/\sqrt{A}$  は心理的複雑さを正確に予測する物理変数とならないことが示される。実験 2 では、 $p/\sqrt{A}$  は一定で凹凸数の異なる図形間において、凹凸数が大きく各凸部の長さが小さい図形ほど心理的複雑さは増大した。実験 1, 2 より、 $p/\sqrt{A}$  でなく凹凸数が心理的複雑さを規定する第一の物理変数であることが示される。図形は  $p/\sqrt{A}$  でなく凹凸構造に基づいて符号化されることが検証され、凸部が部分として知覚されることが間接的に導かれる。また実験 3 により、図形の物理的複雑さを規定する凹凸数、各凸部の長さの物理量は、瞬間提示によりかなり正確に獲得されることが示された。曲率の大きい凹凸部は極めて瞬時に並列処理されて、図形の大局形状は把握されると推察される。

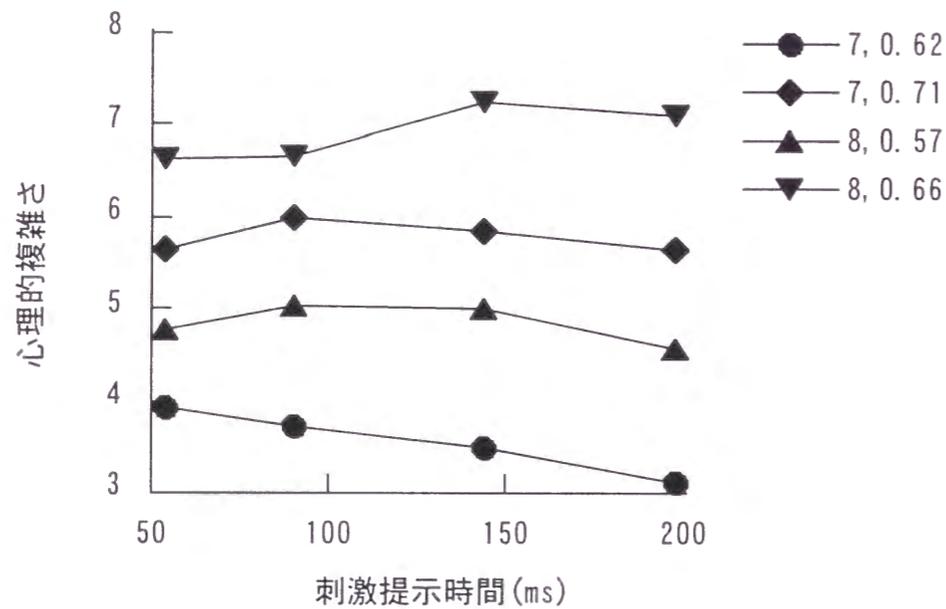


図 2.7 : 実験 3 の結果。刺激提示時間に対する図形の心理的複雑さ。  
パラメータは (凹凸数, 各凸部の長さ) を表す。

### 3章 特徴照合による類似度判断過程の検討

図形の再認において、図形に関する形状情報の記憶保持と、記憶表現と提示図形の照合、の少なくとも2つの処理が行われるとみなせる。前者に関しては4章以降の再認実験で検討されるが、後者の処理は提示図形と内部表現の類似度判断に基づくと解釈できる。

3章では、2図形間の心理的類似度について検討する。幾何学的モデル、コントラストモデルなど、いくつかの類似度モデルが提案されているが、これらは、図形間で複数の次元の刺激値が異なる多次元的モデルである。3章では、2図形間で1つの次元の刺激値のみが異なる単次元モデルを検討する。

#### 3.1 実験

##### 3.1.1 目的

Posner et al.(1967)は、ドットパターン間の心理的距離は、2パターン間で対応する各ドットの平均距離の対数値と直線関係が成立することを見出した。2パターン間において、各ドットがほぼ一定にずれている場合も、特定のドットが大きくずれている場合も、各ドットの平均距離により2パターン間の心理的距離は予測されると指摘した。

3章では、2章の複雑さ評定で用いられた輪郭図形を刺激に用いて、2図形間の心理的類似度について検討する。対となる2図形の複雑さは一致させ、2図形間で異なるのは微妙な形状のみである。2図形間の微妙な形状の差異はどのように心理的類似度に変換されるか、また2図形間の物理的差異が一定のとき、対となる2図形の凹凸数、各凸部の長さは心理的類似度にどのように影響するかを検討する。そして、2図形間の心理的距離の予測式を考案し、実験データとの適合性を検証する。

##### 3.1.2 方法

刺激 刺激は、2章の複雑さ評定の実験1で用いられた輪郭図形と同様(図2.1)。各凸部の物理変数は、2章では各凸部の長さにより規定されたが、3章では各凸部の深さ(付録4.3.2)により規定された。図2.1の縦列の図形はすべて同じ各凸部の深さを持ち、各凸部の深さの値は左列から順に0.255, 0.316, 0.375, 0.432であった。これらの値は、付録2の方法で生成される刺激図形において、第三余弦波の振幅を0.6, 0.8, 1.0, 1.2に設定したときの値である。

2図形の物理的類似度は、2図形のずれ率(付録4.4)により規定された(図3.1)。2図形の輪郭線の形状は、局所的のみでなく全体的に異なった。対となる2図形の凹凸数、各凸部の深さは、全試行において同じ値に設定された。2図形間で各凸部の特徴照合が可能となるように、2図形間で対応する各凹凸部の位置は、極座標上ではほぼ一致するように設定された。

実験計画は、凹凸数4種(6, 7, 8, 9)×各凸部の深さ4種(0.255, 0.316, 0.375, 0.432)×2図形のずれ率6種(0, 3.7, 5.0, 6.3, 7.5, 9.0%)×繰り返し4回であった。ずれ率0%の条件では、2図形は同じ図形であった。繰り返し4試行は、凹凸数、各凸部の深さは同じで形状の異なる図形が用いられた。全384試行において、上記の4条件の刺激提示順序はランダムであった。

手続き 警告音の後、左右視野に2図形が持続提示された。図形の大きさは、視角約3.5度×約3.5度であった。被験者の課題は、1(きわめて類似度が低い)から7(きわめて類似度が高い)のいずれかで2図形の類似度を判断することであった。判断した後に被験者がリターンキーを押すと画面の図形は消え、約2秒後に次の試行が開始された。

被験者 7名の大学生。

##### 3.1.3 結果

図3.2は、2図形のずれ率に対する2図形間の心理的類似度を表す。2図形のずれ率の増大に対して、心理的類似度は線形的に低下した。ずれ率の低い3.7%の条件でも、ずれ率0%の条件より心理的類似度は低下した。心理的類似

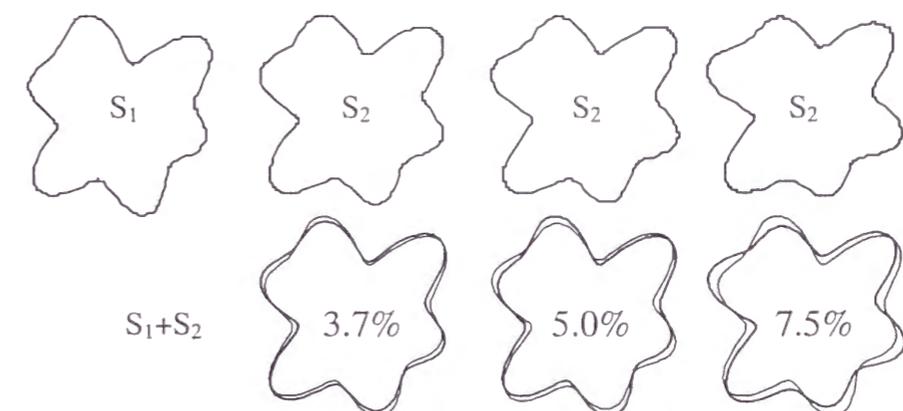


図3.1: 2図形の物理的類似度は、図形中の2図形のずれ率により操作された。2図形のずれ率の増大は、2図形の非類似度の増大を示す。

度は、ずれ率 9.0%の条件でも漸近とならずに低下した。また、ずれ率が一定の場合でも、対となる2図形の各凸部の深さ、および凹凸数の増大により心理的類似度は高まった。図 3.3 は各凸部の深さに対する2図形間の心理的類似度を表すが、心理的類似度は各凸部の深さの増大に対して線形的に上昇した。各凸部の深さ×凹凸数×2図形のずれ率で分散分析を行った結果、各凸部の深さ( $F(3,18)=33.07, p<.0001$ ), 凹凸数( $F(3,18)=15.24, p<.0001$ ), および2図形のずれ率( $F(4,24)=105.46, p<.0001$ )の主効果に有意差がみられた。各凸部の深さと2図形のずれ率の交互作用( $F(12,72)=3.11, p<.0014$ ), および凹凸数と2図形のずれ率の交互作用( $F(12,72)=3.86, p<.0001$ )にも有意差がみられた。

ドットパターンの各ドットは、図形の構成要素という点で輪郭図形の各凸部

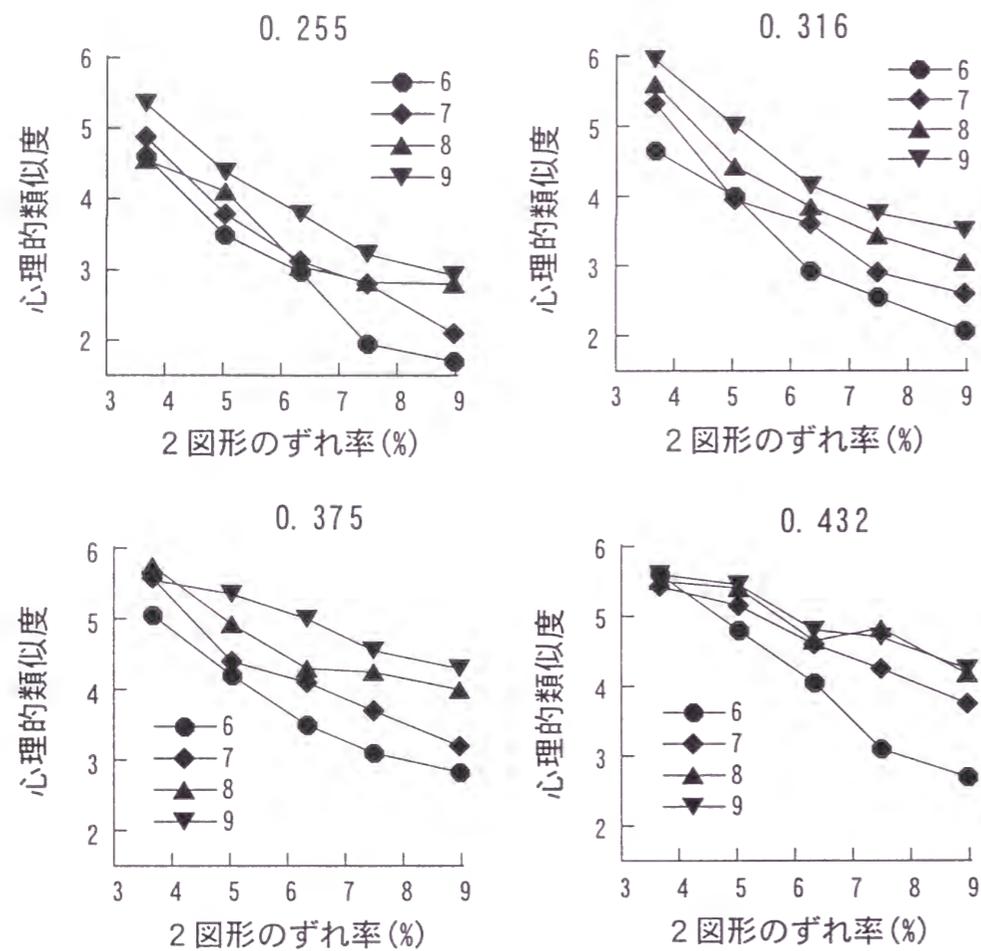


図 3.2 : 2図形のずれ率に対する心理的類似度。パラメータは凹凸数を表す。  
4つの図は、各凸部の深さが0.255, 0.316, 0.375, 0.432の条件を表す。

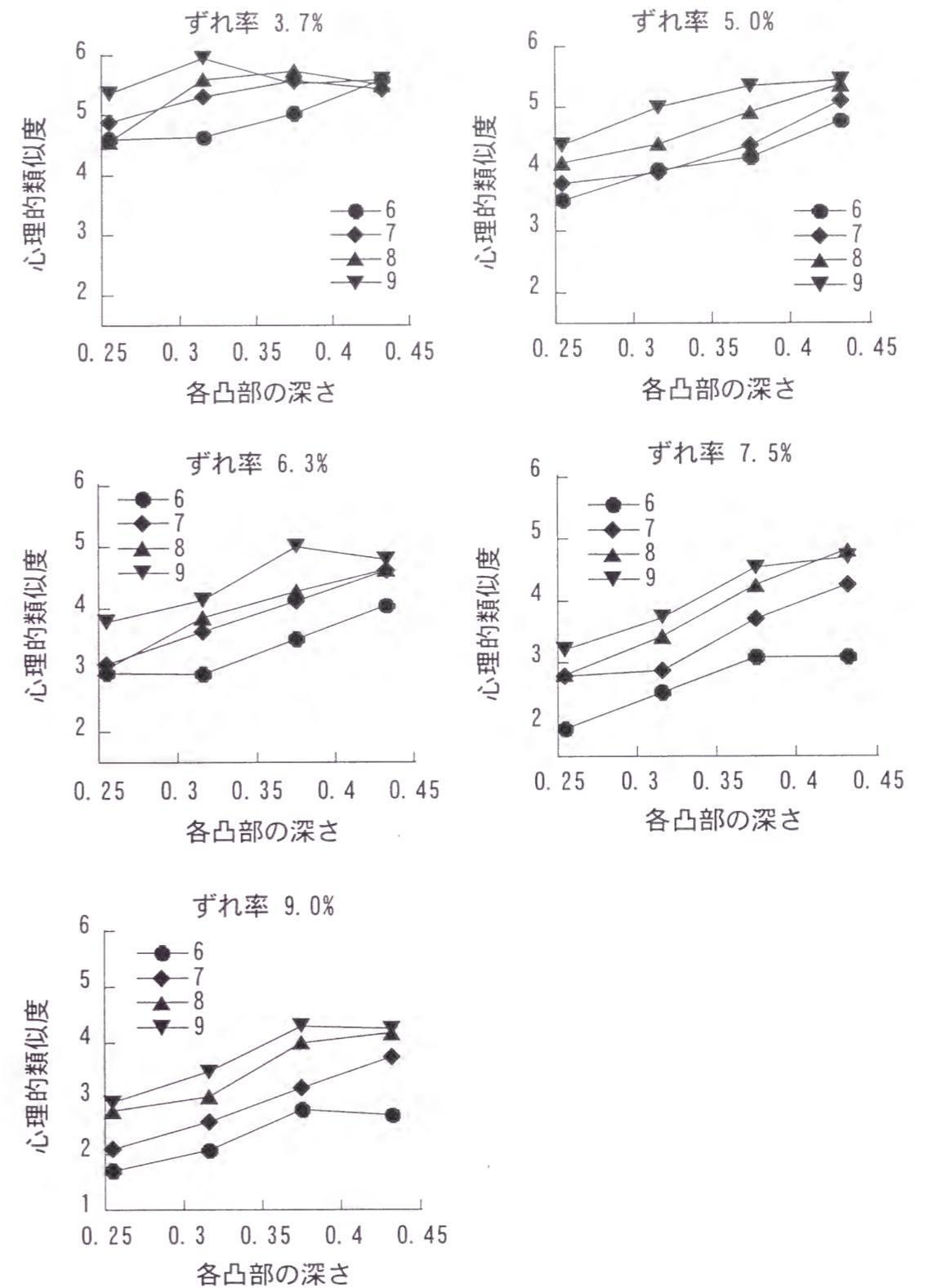


図 3.3 : 各凸部の深さに対する心理的類似度。パラメータは凹凸数を表す。  
5つの図は、2図形のずれ率が3.7, 5.0, 6.3, 7.5, 9.0%の条件を表す。

に相当するが、図 3.3 のように 2 図形間の心理的類似度は各凸部の深さの増大により高くなり、各凸部のずれ率のみにより正確に予測されない。ここで、類似度判断過程において、各凸部の差異は各凸部のずれ率と各凸部の深さの比により算出され、2 図形間の心理的距離と各凸部の差異の平均とのあいだに線形関係が成立すると仮定した場合、次式が成立する。

$$\text{心理的距離} = k \frac{\Delta s}{f \cdot a} \quad (3.1)$$

$\Delta s$  : 2 図形のずれ率,  $f$  : 凹凸数,  $a$  : 各凸部の深さ  
 $k$  は正の定数である。  $\Delta s/f$  が各凸部のずれ率に相当する。

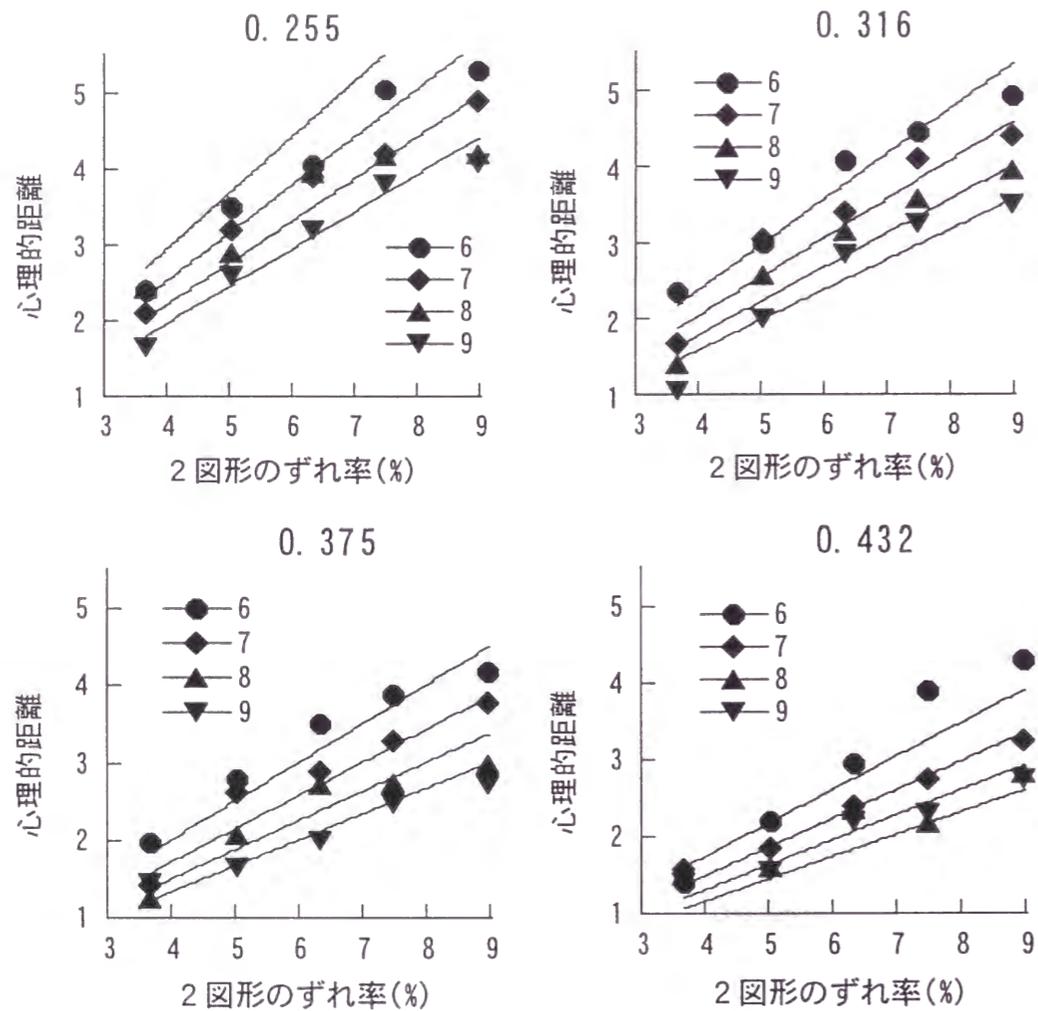


図 3.4 : 図 3.2 を再プロットして予測式をあてはめたもの。パラメータは凹凸数を表す。4 つの図は、各凸部の深さが 0.255, 0.316, 0.375, 0.432 の条件を表す。

表 3.1 : 式(3.1)による実験データの説明率。

凹凸数	各凸部の深さ			
	0.255	0.316	0.375	0.432
6	.543	.936	.905	.889
7	.789	.913	.920	.970
8	.648	.923	.851	.782
9	.953	.909	.860	.776

ただし本実験では、被験者の評定値が大きいほど 2 図形間の心理的類似度が高く、評定の上限が 7 にスケールされたことから、次式により 2 図形間の心理的距離を換算する。

$$\text{心理的距離} = 7 - \text{心理的類似度の評定値} \quad (3.2)$$

図 3.4 は、式(3.2)により換算された本実験データが、式(3.1)によりどの程度予測されるかを示したグラフである。式(3.1)のパラメータ  $k$  の値を探索した結果、 $k=1.13$  となった。表 3.1 は、式(3.1)による実験データの説明率を表すが、2 図形間の心理的距離は式(3.1)によりかなり正確に予測されることがわかる。

### 3.1.4 考察

余弦波の振幅、周波数、位相の 3 変数により記述されるフーリエ図形(Zahn & Roskies,1972)を刺激に用いた類似度判断(Cortese & Dyre,1996)では、各変数が異なる次元として心理的類似度に影響した。2 図形間で異なる物理変数が複数の場合、多次元的な類似性空間が形成されるが、2 図形間で凹凸数、各凸部の深さは同じに設定され、2 図形のずれ率のみを操作した本実験では、ずれ率は 1 次元の成分として心理的類似度に影響した。わずかなずれ率の差異が心理的類似度に大きく影響したことから、微小な形状の差異に対する類似性の感度は非常に高いことが示される。

図形を分節せずに知覚して 2 図形の類似度が判断されると仮定した場合、心理的類似度は 2 図形のずれ率のみに依存することになり、本実験結果と一致しない。凹凸数の増大により心理的類似度は低下した結果から、2 図形は凸部分の特徴照合に基づいて類似度判断されることが間接的に示される。2 図形のずれ率が一定の場合、各凸部のずれ率は凹凸数の増大により低下するため、各凸部の差異は凹凸数の大きい条件ほど低く算出される。そして式(3.1)のように、各凸部の差異は各凸部のずれ率と各凸部の深さの比により表され、一種のウェ

バー比の関係が成立すると考えられる。

式(3.1)より、本実験における輪郭図形の類似度判断は4つのプロセスに基づくことが示される。(1)分節：何らかの分節法則に基づき、図形は複数の部分に分節される。本実験の輪郭図形の場合、図形は凹部で分節され、各凸部が形の部分として知覚される。(2)特徴照合：対となる2図形の凹凸数は一致させたため、極座標の位置がほぼ一致する凸部どうしが照合される。(3)各特徴の差異の算出：特徴照合により各特徴の差異が算出される。各凸部のずれ率は $\Delta s/f$ で表されるが、 $\Delta s/f$ と各凸部の深さの比により各凸部の差異が算出される。(4)各特徴の差異の平均化：各特徴により差異レベルが異なる場合、それらが平均化されて2図形間の心理的距離が算出される。

2パターン間の物理的差異は、本実験では2図形のずれた面積に基づき、Posner et al.(1967)は各ドットのずれた距離に基づいて規定された。2パターン間の物理的差異が、面積・距離、全体・部分に基づく点で、両研究の類似度の規定方法は異なる。また、各部分の物理的差異と2図形間の心理的距離の関係は、本実験は線形関係でPosner et al.(1967)は対数関係が成立した。この結果の相違は、刺激図形に基づく物理的差異の規定方法に依存するもので、本質的に重要な意味はない。本実験で、心理的類似度は2図形のずれ率の単調減少関数になった結果より、2図形間の特徴が正確に照合される条件では、2図形のずれ率は物理的類似度の規定方法として妥当性が高いとみなせる。

本実験では、(1)2図形間で異なる物理変数は2図形のずれ率のみ、(2)極座標上で2図形間の各凸部の位置をほぼ一致させた、(3)照合されるどの凸部のずれ率もほぼ同程度であるなど、対となる2図形間の制約がかなり多い条件で類似度判断が行われた。多角形図形において、(a)移動させる頂角の数、(b)移動させる頂角の選択性(どの頂角を移動させるか)(c)頂角の移動距離、(d)頂角の移動方向、の物理変数の操作により、図形間の微妙な形状の差異を操作する方法が提案されている(Attneave & Arnoult,1956)。本実験の結果は、2図形間で異なる物理変数がより複数の条件での、多次元的な類似度判断モデルに展開させていく必要がある。

## 4章 差異に基づく再認判断過程の検討

視覚短期記憶は、保持できる容量などの諸特性の違いから、長期記憶と分離して検討されてきた(Phillips & Christie,1977)。短期記憶では情報の保持が一時的であり、容量に制限がある。数字や単語の場合、記憶保持特性の測定は比較的容易であるが、視覚パターンの場合、どのくらい多くの視覚情報がどの程度正確に保持されるかを測定するのは困難なことが多い。通常は、視覚情報の量的側面は図形の複雑さにより、正確さはターゲット(Target; T)とディストラクタ(Distracter; D)の類似度により検討されてきた。TとDは、第1・第2刺激が異なる試行での対となる2刺激のことを示す。

図形の複雑さに関して、Phillips(1974)は、BPのマトリックス数により図形の複雑さを操作して再認実験を行った。感覚記憶では $8 \times 8$ のBPが保持されるが、視覚短期記憶の容量は $4 \times 4$ のBPを下回った。Inui(1988)による再生実験では、 $3 \times 3$ から $4 \times 4$ のBPが視覚短期記憶で保持されうる容量となった。ほぼ完全な正確さで保持される容量は非常に小さいことがうかがえる。

TとDの類似度に関して、Paivio & Bleasdale(1974)は、2つのBPにおいて白黒で色の異なるブロック数によりTとDの類似度を操作して再認実験を行った。類似度が高い条件では短い保持時間で再認率は急激に低下するが、類似度が低い条件では30secの保持時間でも再認率はほとんど低下しなかった。視覚情報は、短期記憶において完全に忘却されるわけではなく、正確さが低下した状態で、数十秒という比較的長いあいだ保持されることが示される。

ここで、複雑な図形が正確に再認されない場合、視覚情報が正確に知覚されないためか、視覚短期記憶で正確に保持されないためか、という問題が提起される。この問題に対してRock et al.(1972)は、複雑な図形の微妙な形状が正確に知覚されないため、正確な形状が記憶保持されないと指摘した。Pellegrino et al.(1991)による多角形図形の比較実験では、頂角数の多い複雑な図形ほど異同判断に要する反応時間は増大した。複雑な図形ほど、瞬間視による正確な形状の獲得が困難になることがうかがわれる。Palmer(1990)は、処理できる視覚刺激の正確さには、知覚、記憶の両過程に容量制限があると言及した。

4章では、3章の類似度判断で用いた2図形の対をTとDとして用いて再認実験を行う。図形の複雑さを凹凸数により操作し、実験1では第1・第2刺激の時間間隔(Inter-Stimulus Interval; ISI)が0secの瞬時の再認実験、実験2ではISI

が1secの再認実験を行う。実験1により獲得の正確さ、実験2により記憶保持の正確さを検討する。

## 4.1 実験1

### 4.1.1 目的

2次元図形において、曲率の大きい凹凸部は図形を構成する上でより重要な部分となり(Attneave,1954), 特徴点として並列処理される(Inui,1989)。しかし、瞬間視により並列処理される視覚情報の正確さ、および複雑さには制限があると想定される。実験1では、複数の凹凸部をもつ図形はどのくらい正確に獲得されるか、獲得される図形の正確さは複雑さに依存するかを検討する。

### 4.1.2 方法

**刺激** 刺激図形は、2, 3章で用いられた輪郭図形と同様。図形の複雑さは凹凸数4種(6, 7, 8, 9)により操作された(図4.1)。TとDの類似度は、3



図4.1: 4章と6章の再認実験での刺激図形例。図形の複雑さは、図形中の凹凸数により操作された。

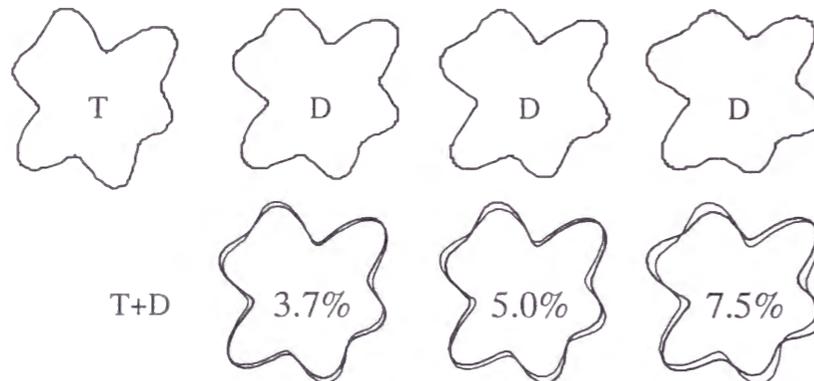


図4.2: TとDの類似度は、図形中のTとDのずれ率により操作された。TとDのずれ率の増大は、TとDの非類似度の増大を示す。

章の類似度判断のときと同様、TとDのずれ率により操作された。ただし、TとDのずれ率は5種(2.1, 3.7, 5.0, 6.3, 7.5%)に設定された(図4.2)。

**手続き** 1試行の手順は、以下の通りである。警告音のあと、左視野に注視点が提示され、第1刺激が288ms提示された。その直後に、左視野にマスク刺激、および右視野に第2刺激が持続提示された。第1・第2刺激のISIは0secであった。マスク刺激は、9つの凹凸閉図形を重ねたものを正方形にカットしたものであった。被験者の課題は、第2刺激が第1刺激と同じか異なるかを判断することであった。反応に制限時間はなく、正誤のフィードバックは与えられなかった。被験者が反応した直後に画面の図形は消え、約2秒後に次の試行が開始された。

全320試行は、64試行を5セッションに分けて行われた。セッション内では、TとDのずれ率は一定に設定された。セッション内で、図形の複雑さの提示順序はランダムであった。セッション間でTとDのずれ率は異なり、このことは被験者に教示された。各セッションでTとDのずれ率がどの程度であるかを被験者が認識できるように、各セッションで本試行の前に10試行程度の練習試行が行われた。1セッション64試行のうち、第1刺激と第2刺激が同じ試行と異なる試行は32試行ずつで半々に設定され、チャンスレベルは50%であった。

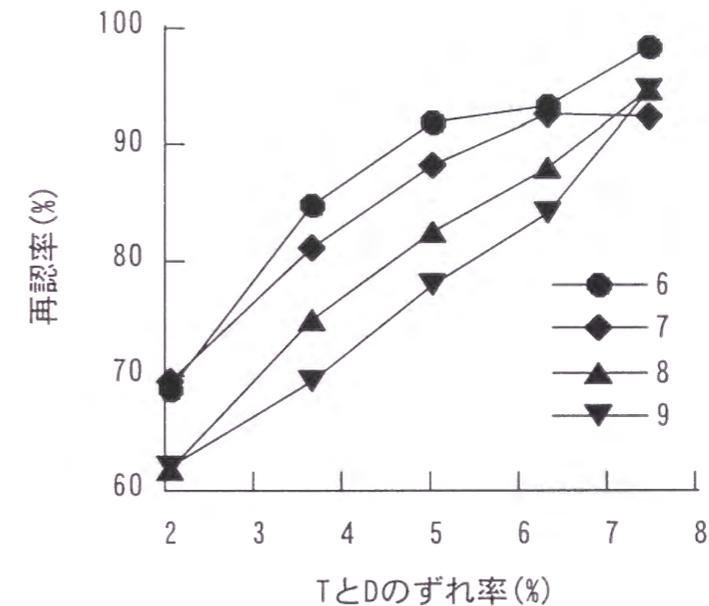


図4.3: 実験1の結果。TとDのずれ率に対する再認率。パラメータは凹凸数を表す。

チャンスレベルは、当て推量で得られる正答率を示す。第1刺激を回転させると第2刺激と一致する試行はなかった。

被験者 10名の大学生。

#### 4.1.3 結果

図4.3は、TとDのずれ率に対する再認率を表す。再認率は、図形の凹凸数、およびTとDのずれ率に大きく依存した。ずれ率の増大により、凹凸数に関わらず再認率は上昇した。どの凹凸数の条件でも、ずれ率2.1%の条件で再認率は70%以下となったが、ずれ率7.5%の条件で再認率は90%以上となった。またずれ率が一定の場合でも、凹凸数の増大により再認率は大きく低下した。ずれ率×凹凸数の分散分析の結果、ずれ率と凹凸数の主効果に有意差がみられた(ずれ率,  $F(4,36)=73.28, p<.0001$ ; 凹凸数,  $F(3,27)=11.27, p<.0001$ )。ずれ率と凹凸数の交互作用はみられなかった( $F(12, 108)=1.41, n.s.$ )。

3章の類似度判断では、対となる2図形の凹凸数の増大により2図形間の心理的類似度が高まった結果より(図3.2)、凹凸数は判断過程の混同に作用することが推測される。ここで、第1刺激の獲得の正確さが図形の凹凸数により異なるかを検証するため、判断過程の混同レベルがどの凹凸数の条件でも一定のときの再認成績を比較する。その方法として、凹凸数に関わらずTとDの心理

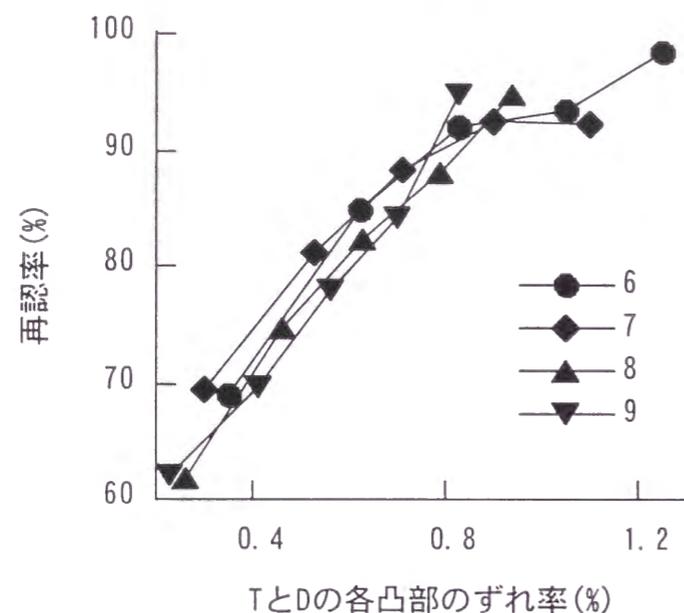


図4.4：図4.3を再プロットしたもの。TとDの各凸部のずれ率に対する再認率。パラメータは凹凸数を表す。

的類似度が一定のときの再認成績をみる。

3章では式(3.1)により、TとDの心理的類似度は各凸部の差異が平均化されて判断されることが検証された。そこで図4.3を再プロットして、TとDの各凸部のずれ率が凹凸数に関わらず一定のときの再認率をプロットしたのが図4.4である。図4.3のようにTとDのずれ率が一定の場合、凹凸数の増大により再認率は大きく低下するが、図4.4のようにTとDの各凸部のずれ率が一定の場合、再認率は凹凸数の影響をほとんど受けなかった。

#### 4.1.4 考察

Rock et al.(1972)は、図形の正確な形状が知覚されないため、複雑な図形の再認が困難となる可能性を指摘した。本実験のチャンスレベルは50%であったが、ずれ率2.1%の場合、どの凹凸数の図形も再認率は70%以下となった。チャンスレベルを差し引いた再認率は、付録5より $70 \times 2 - 100 = 40\%$ 以下となり、複雑な図形だけでなく凹凸数6の単純な図形でも、瞬時の再認の正確さには制限があることがわかる。

TとDの心理的類似度が一定のとき、図4.4のように異なる凹凸数の図形間で再認率にほとんど差はなかった。獲得の正確さは、図形の複雑さに関わらずほぼ一定であることが示される。複雑な図形で瞬時の再認がより困難となるのは、第1刺激の獲得の正確さがより低下するためでなく、判断過程における混同がより増大するためであることが示される。

しかし図形の複雑さは、常に瞬時の再認が困難になる要因となるわけでない。図4.3でずれ率7.5%の場合、凹凸数の大きい複雑な図形でも再認率は高くなった。Pellegrino et al.(1991)による、2図形が左右視野に同時提示される比較課題では、2図形の類似度が高い場合は図形の複雑さは課題成績に大きく影響するが、2図形の類似度が低い場合は課題成績に及ぼす図形の複雑さの効果が低下した。Pellegrinoらは、2図形の類似度が低い場合、各特徴の正確な形状は検出されなくても図形は全体処理されるため、図形の複雑さの効果は低下すると指摘した。実験1では、TとDの類似度がかなり低い場合、系列提示されたときの瞬時の再認は複雑さの影響をほとんど受けない結果より、ある程度の大局レベルでは複雑な図形でも容易に再認されることがわかる。実験1の結果は、Pellegrinoらの同時提示による比較課題の結果と一致する。

## 4.2 実験2

#### 4.2.1 目的

実験1では、瞬間提示により瞬時の再認は比較的正確に行われるが、複雑な図形ではより困難となった。実験2では、刺激提示後1secの視覚短期記憶において、どのくらい複雑な図形をどの程度正確に再認できるかを検討する。また、刺激提示後1secの記憶保持の正確さは複雑さにより異なるかどうかを検討する。そして実験1の結果との比較により、瞬間提示により獲得された形状は1secの保持時間により忘却が生じるか、また再認率の低下レベルは図形の複雑さ、およびTとDのずれ率により異なるかを検討する。

#### 4.2.2 方法

**刺激** 実験1と同様、凹凸数4種(6, 7, 8, 9)×TとDのずれ率5種(2.1, 3.7, 5.0, 6.3, 7.5%)。

**手続き** 全320試行は、64試行を5セッションに分けて行われた。1試行の手順は以下の通りである。警告音のあと、左視野に注視点が提示され、第1刺激が288ms提示された。その直後に、左視野にマスク刺激が360ms提示され、その640ms後に右視野に第2刺激が持続提示された。マスク刺激の提示時間も含めて、第1・第2刺激のISIは1secに設定された。ISI時に挿入課題はなく、第1刺激を正確に保持するための自由な戦略が被験者に認められた。被験者の

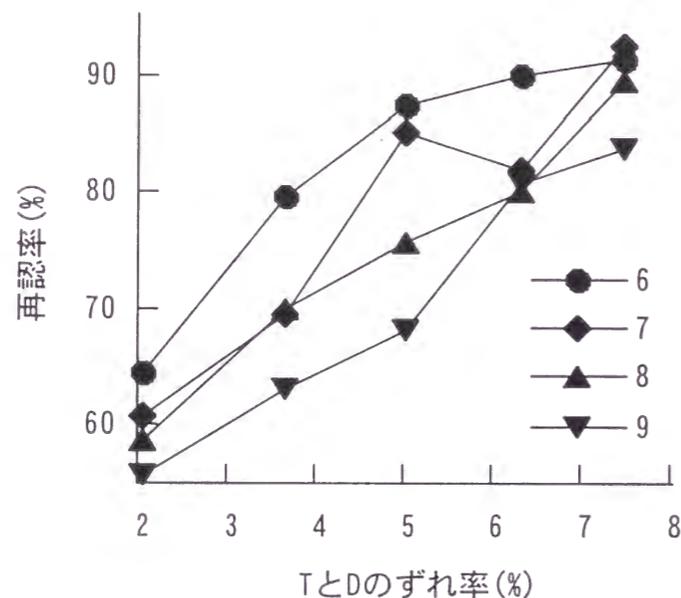


図4.5：実験2の結果。TとDのずれ率に対する再認率。パラメータは凹凸数を表す。

課題は、第2刺激が第1刺激と同じか異なるかを判断することであった。反応に制限時間はなく、正誤のフィードバックは与えられなかった。被験者が反応した直後に画面の図形は消え、約2秒後に次の試行が開始された。

**被験者** 10名の大学生。

#### 4.2.3 結果

図4.5は、TとDのずれ率に対する再認率を表す。実験1の図4.3と同様、再認率は図形の凹凸数、およびTとDのずれ率に大きく依存した。TとDのずれ率の増大により、どの凹凸数の図形も再認率は高まった。また、どのずれ率の条件でも、凹凸数の大きい図形ほど再認率は低かった。ずれ率×凹凸数の分散分析の結果、TとDのずれ率、および凹凸数の主効果に有意差がみられた(ずれ率,  $F(4,36)=59.78, p<.0001$ ; 凹凸数,  $F(3,27)=12.81, p<.0001$ )。ずれ率と凹凸数の交互作用はみられなかった( $F(12, 108)=1.04, n.s.$ )。

第1刺激の記憶保持の正確さが図形の複雑さにより異なるかを検証するため、実験1の図4.4と同様、どの凹凸数の条件でもTとDの心理的類似度が一定のときの再認成績を比較する。図4.5を再プロットして、TとDの各凸部のずれ率が凹凸数に関わらず一定のときの再認率をプロットしたのが図4.6である。図4.5のようにTとDの2図形のずれ率が一定の場合、凹凸数の増大により再

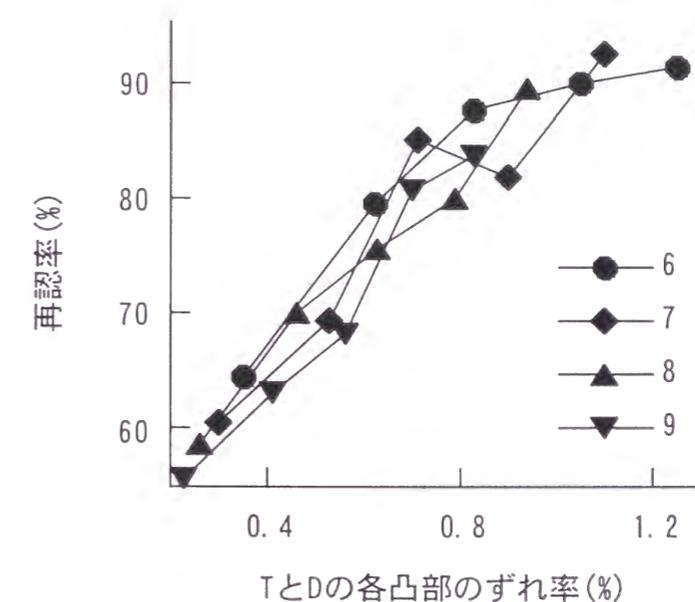


図4.6：図4.5を再プロットしたもの。TとDの各凸部のずれ率に対する再認率。パラメータは凹凸数を表す。

認率は大きく低下するが、図 4.6 のように T と D の各凸部のずれ率が一定の場合、再認率は凹凸数の影響をほとんど受けなかった。しかし凹凸数 6 と凹凸数 9 を比較するとわかるように、凹凸数の大きい図形のほうが再認率は微妙に低かった。

図 4.7 は、T と D のずれ率に対する、実験 1 の ISI=0sec の再認率と実験 2 の ISI=1sec の再認率を示す。どの凹凸数の図形でも、ほぼすべての T と D のずれ率の条件で、1sec の ISI により再認率は 5% 前後から 10% 前後で同程度に低下した。この再認率の低下レベルを 1sec の ISI による忘却レベルとみなし、5 つのずれ率の条件における忘却レベルを平均した。凹凸数 6, 7, 8, 9 の図形の忘却レベルは、それぞれ 4.9, 6.8, 5.7, 7.4% となり、凹凸数の大きい複雑な図形のほうが忘却レベルは大きくなる傾向を示した。

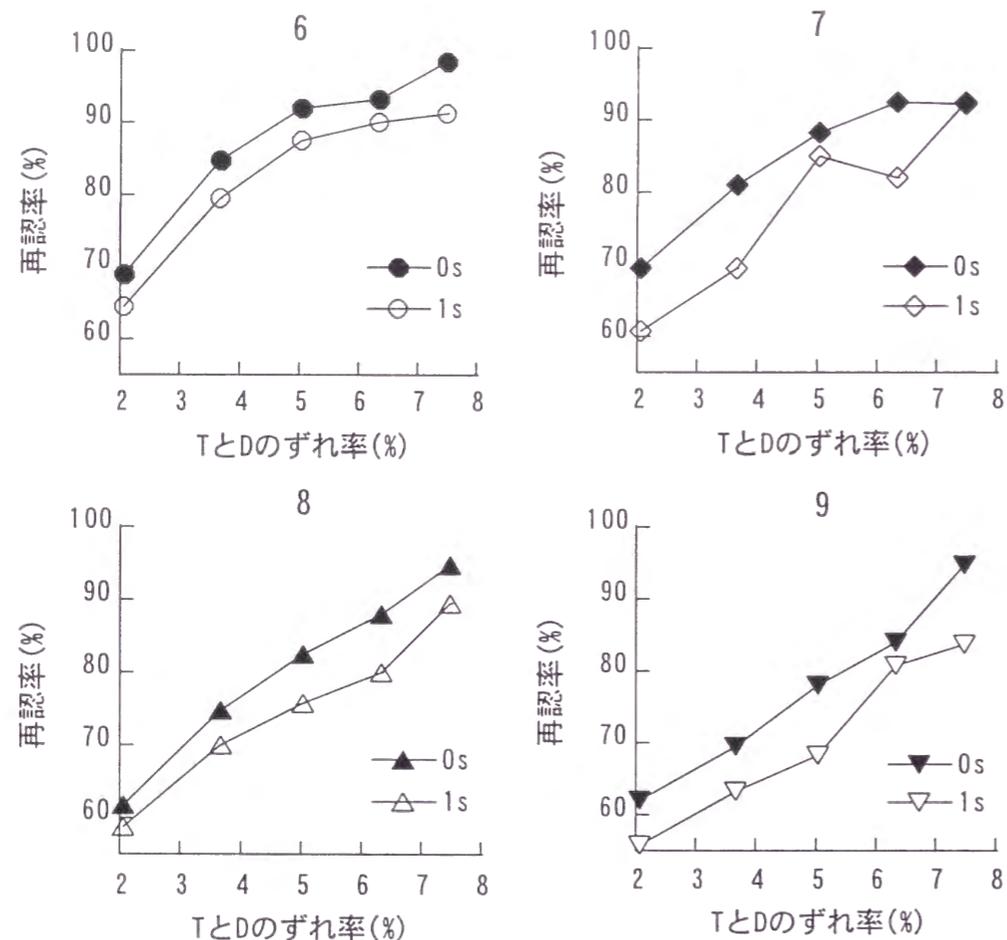


図 4.7：図 4.3, 図 4.5 を再プロットしたもの。T と D のずれ率に対する再認率。パラメータは ISI を表す。4 つの図は、凹凸数 6, 7, 8, 9 の条件を示す。

#### 4.2.4 考察

実験 1 と同様、T と D のずれ率の増大により再認率は線形的に上昇し、凹凸数の増大により再認率は低下した。T と D の心理的類似度が一定のとき、再認率は凹凸数の大きい図形ほど微妙に低くなったが、ほとんど差はなかった。第 1 刺激の記憶保持の正確さは、異なる凹凸数の図形間でほとんど差はないことがうかがえる。図形の複雑さは、判断過程の混同に比べ、記憶保持過程の忘却に大きく作用しないことがわかる。複雑な図形で保持時間が 1sec の再認がより困難となるのは、実験 1 における瞬時の再認と同様、判断過程での混同の増大が大きな原因であることが示される。

Phillips(1974)によれば、刺激提示直後は極めて多くの情報が保持されるが、数百 ms 後は急速に忘却が生じ、その後徐々に忘却される。図 4.7 は、獲得された形状は 1sec という比較的短い保持時間で忘却が生じること示す。この忘却は、凹凸数の大きい複雑な図形だけでなく、凹凸数 6 の単純な図形でも生じており、また T と D のずれ率 7.5% という、極めて正確な記憶保持をそれほど必要としない条件でも生じている。図形の微妙な形状情報は、単純な図形でも、視覚短期記憶に入力されるとすぐに忘却されることがうかがえる。

### 4.3 総合考察

#### 4.3.1 差異に基づく再認判断

第 2 刺激が提示されたときの異同判断の戦略として、第 1 刺激の既知感に基づくものと、第 1・第 2 刺激の差異感に基づくものがあげられる。前者の場合、ある判断基準より再認される既知感が大きければ「同じ」、小さければ「異なる」と判断される。後者の場合、ある判断基準より再認される差異感が大きければ「異なる」、小さければ「同じ」と判断される。いずれの戦略が用いられるかは課題に大きく依存し、また試行間において一定でない可能性もあるが、第 1・第 2 刺激間の差異が微妙な条件では、差異感に基づく戦略により再認判断が行われると考えられる。

先行研究では、視覚短期記憶における再認成績は、第 1・第 2 刺激が異なる試行での 2 刺激間の差異を信号とみなしたときの信号検出理論に従うことが検証されてきた。再認成績は、線分の方位弁別課題の場合、第 1・第 2 刺激間の方位差の線形関数として上昇し(Vogels & Orban,1986)、ドットの位置弁別課題の場合、第 1・第 2 刺激間のドット距離の線形関数として上昇する(Kinchla &

Smyzer,1967). これらの研究では, 線分, ドットという1次元的な視覚刺激が用いられた.

4章では, 多次元的な物理属性をもつ輪郭図形が刺激に用いられた. TとDのずれ率の増大により, 3章の類似度判断において図3.3にみられるように2図形間の心理的距離は線形的に上昇し, 本実験において再認成績は線形的に上昇した. 心理的類似度と再認の混同は共変することが示される. そして, TとDのずれ率は微妙な形状の再認における信号となり, 輪郭図形の再認成績はTとDのずれ率を信号とする信号検出理論に従うことが示唆される. 再認記憶課題への信号検出理論の適用性に関して, 8章のモデルで検討される.

#### 4.3.2 獲得・記憶保持の正確さ

TとDの心理的類似度が凹凸数に関わらず一定の条件のとき, 判断過程の混同レベルが一定になるため, 再認成績は獲得, および記憶保持の正確さを示すと解釈される. この解釈に基づくと本実験の結果より, 獲得, 記憶保持の正確さは複雑さに関わらずほぼ一定であると判断される.

2章の実験3では, 瞬間提示により図形の大局形状は把握されることが推測されたが, 4章の実験1の結果より, 各凸部の局所形状も複雑さに関わらずかなり正確に獲得されることが読みとれる. Rock et al.(1972)は, 複雑な図形の再認が困難になるのは知覚過程に容量制限があるためと指摘したが, 本実験の結果によると, 知覚・獲得過程において容量制限はなく, 判断過程の混同に図形の複雑さが大きく作用するためであると理解される.

記憶保持の正確さも, 複雑さに関わらずほぼ一定であったが, この原因の1つとして, 保持時間が1secと短かったことが考えられる. しかし, 図4.6のように凹凸数6と凹凸数9の再認率を比較すると, 凹凸数の大きい図形のほうが記憶保持の正確さは微妙に低い傾向がみられた. また図4.7のように, 1secの保持時間による忘却レベルは凹凸数の大きい図形ほど大きくなる傾向がみられた. Hoffman & Richards(1984)は, 図形は凹部で分節され, 凸部が形の特徴として知覚されると指摘し, また Palmer(1977)は, 図形は各特徴の空間的配列として記憶保持されることを示した. 1章の1.2節で述べたように, 視覚短期記憶では各凸部の刺激値が正規ランダム変数として保持され, 各凸部ごとに記憶ノイズが生じるため, 凹凸数の大きい複雑な図形ほど記憶ノイズの総量は大きくなり, 忘却レベルも大きくなると推測される. 5章では, この妥当性を再認実験により検討する.

## 5章 再認記憶に及ぼす物理変数の検討

従来, 複雑な図形の再認はより困難となることが指摘されてきたが, これまでの再認実験では, 図形の複雑さは, BPのマトリックス数(Phillips,1974; Inui,1988), 格子に配置するドット数(Kikuchi,1987)により操作されてきた. これらの規定方法の場合, 2章の複雑さ評定実験で指摘したように, 図形の複雑さの増大により角の数と $p/\sqrt{A}$ の両変数の値が大きくなる. そのため, 角の数と $p/\sqrt{A}$ のいずれの物理変数が複雑な図形の再認をより困難にする要因であるのか明らかにされない. この問題を明白にするため, 実験1では,  $p/\sqrt{A}$ は一定で凹凸数の異なる刺激セットを用いて再認成績を比較する.

ここで, 図形の複雑さは獲得, 記憶保持過程だけでなく, 判断過程にも影響する. 3, 4章で検証されたように, 図形の複雑さの増大によりTとDの心理的類似度は高まり, 判断過程の混同が増大する. 従来多くの研究で, 複雑な図形で再認成績が低くなる結果のみから, 複雑な図形ほど記憶保持の正確さが低下するとみなされてきた(Phillips,1974; Avons & Phillips,1980; Kikuchi,1987). 異なる複雑さの図形間で, 再認の正確さを比較するには再認成績を比較すればよいが, 記憶保持の正確さを比較するには, 判断過程での混同レベルを複雑さに関わらず一定にする必要がある. 実験2では, どの複雑さの条件でもTとDの心理的類似度を一定に設定することで判断過程での混同レベルを一定に保ち, 異なる複雑さの図形間で記憶保持の正確さを比較する. そして, 各凸部ごとに記憶ノイズが生じるという仮説の妥当性を検討する.

### 5.1 実験1

#### 5.1.1 目的

2章では, 凹凸数が輪郭図形の心理的複雑さを規定する最大の要因であり,  $p/\sqrt{A}$ は心理的複雑さを正確に予測する物理変数とならないことが検証された. 実験1では2章の実験2と同様,  $p/\sqrt{A}$ は一定で凹凸数の異なる刺激セットを用いて, 再認困難性により大きく影響する物理変数を検討する.

#### 5.1.2 方法

**刺激** 2章の実験2で用いられた刺激と同様. ただし, 凹凸数4種(6, 7, 8, 9) ×  $p/\sqrt{A}$  4種( $\sqrt{20}, \sqrt{25}, \sqrt{30}, \sqrt{35}$ )の16種の異なる物理的複雑さをもつ図形が刺激に用いられた(図2.4).

TとDのずれ率は、図形の凹凸数、および $p/\sqrt{A}$ に関わらず6.3%で一定に設定された。そのため、 $p/\sqrt{A}$ が一定で凹凸数の異なる図形間で、単位周囲長あたりのずれ率は一定であった。

手続き 1 試行の手順は4章の実験2と同様。第1・第2刺激のISIは1secに固定された。

凹凸数4種× $p/\sqrt{A}$ 4種×第2刺激がTかDの2種×繰り返し10回の全320試行が行われた。繰り返しは、凹凸数、 $p/\sqrt{A}$ が同じで形状の異なる図形が用いられた。凹凸数、 $p/\sqrt{A}$ の提示順序はランダムであった。第1刺激と第2刺激が同じ試行と異なる試行は160試行ずつで半々であり、チャンスレベルは50%であった。第1刺激を回転させると第2刺激と同じという試行はなかった。

被験者 17名の大学生。

### 5.1.3 結果

図5.1は、凹凸数に対する再認率を表す。 $p/\sqrt{A}$ が $\sqrt{20}$ 、 $\sqrt{25}$ の図形の場合、凹凸数の増大に対して再認率は低下する傾向を示した。 $p/\sqrt{A}$ が $\sqrt{30}$ の図形の場合、凹凸数8の図形で再認率が最も高くなり、凹凸数6、7、9の図形で再認率はより低くなった。 $p/\sqrt{A}$ が $\sqrt{35}$ の図形の場合、どの凹凸数の図形も再認率は低くなった。 $p/\sqrt{A}$ が一定で凹凸数が異なる図形間で再認率に有意な差がみられるかを検討するために、各 $p/\sqrt{A}$ ごとに1要因の分散分析を行った。そ

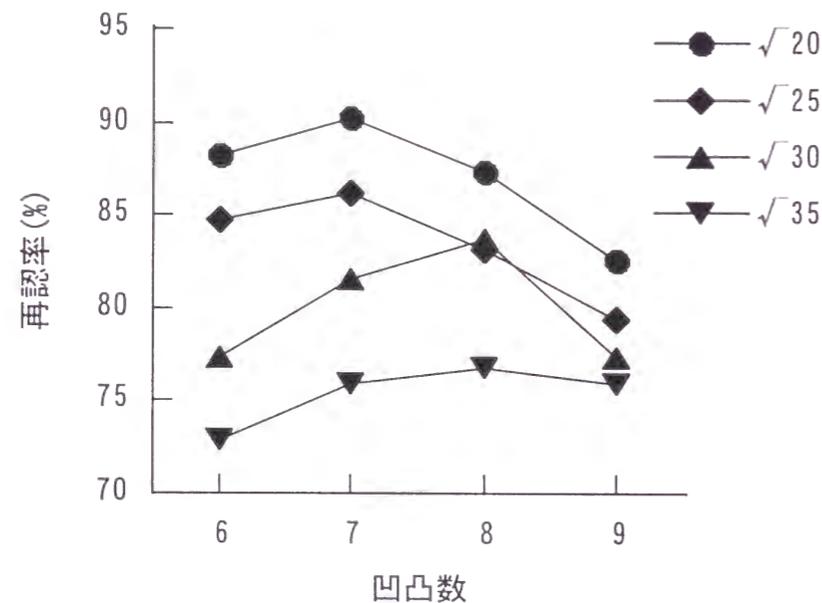


図5.1：実験1の結果。凹凸数に対する再認率。パラメータは $p/\sqrt{A}$ を表す。

の結果、 $p/\sqrt{A}$ が $\sqrt{20}$ 、 $\sqrt{25}$ 、 $\sqrt{30}$ の条件で、凹凸数の主効果に有意差がみられた ( $\sqrt{20}$ ,  $F(3,48)=2.80$ ,  $p<.05$ ;  $\sqrt{25}$ ,  $F(3,48)=4.39$ ,  $p<.01$ ;  $\sqrt{30}$ ,  $F(3,48)=3.07$ ,  $p<.05$ )。  $p/\sqrt{A}$ が $\sqrt{35}$ の条件では、凹凸数の主効果に有意差がみられなかった ( $F(3,48)=0.60$ , n.s.)。この結果は、 $p/\sqrt{A}$ が $\sqrt{20}$ 、 $\sqrt{25}$ 、 $\sqrt{30}$ の条件では、 $p/\sqrt{A}$ が一定の図形間でも凹凸数と各凸部の長さにより再認率は異なることを示す。

FisherのLSD法による下位検定の結果、 $p/\sqrt{A}$ が $\sqrt{20}$ 、 $\sqrt{25}$ の条件では、凹凸数6と凹凸数9、凹凸数7と凹凸数9のあいだで有意差がみられ、凹凸数9の方が有意に再認率が低かった。 $p/\sqrt{A}$ が $\sqrt{30}$ の条件では、凹凸数6と凹凸数8、凹凸数8と凹凸数9のあいだで有意差がみられ、凹凸数8の方が有意に再認率が高かった。

図5.2は、図5.1を再プロットしたもので、各凸部の長さに対する再認率を表す。どの凹凸数の図形も、各凸部の長さの増大により再認率は直線的に、比較的大きく低下した。

3章の類似度判断では、図3.3のように、ずれ率が一定でも対となる2図形の凹凸数および各凸部の深さの増大により心理的類似度が高まった。図5.3は、2図形のずれ率が6.3%で本実験のTとDのずれ率と同じとき、異なる $p/\sqrt{A}$ 、

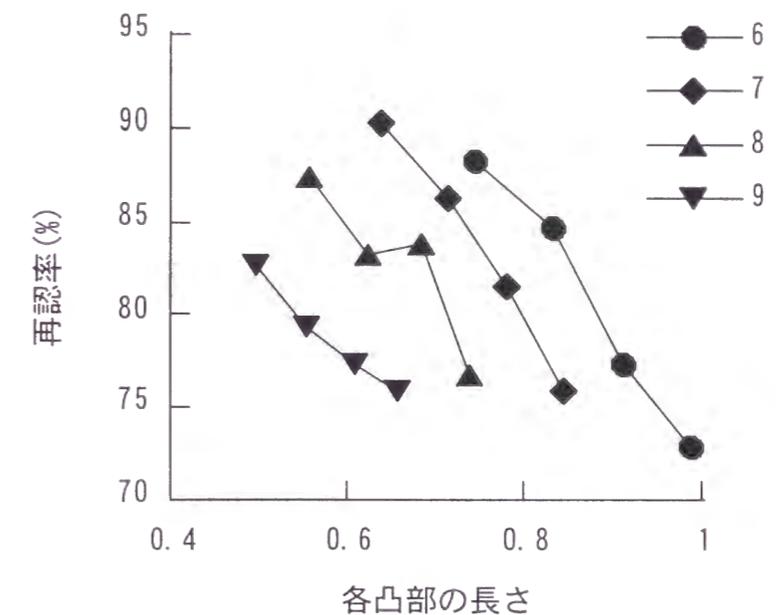


図5.2：図5.1を再プロットしたもの。各凸部の長さに対する再認率。パラメータは凹凸数を表す。

および凹凸数での2図形間の心理的距離を3章の式(3.1)により算出してプロットしたものである。図5.3の心理的距離は、 $p/\sqrt{A}$ が一定の場合ほどの凹凸数の図形でもほぼ一定であるのに対して、図5.1の再認率は、 $p/\sqrt{A}$ が一定でも凹凸数により異なり、心理的距離と再認率は異なる傾向を示した。

#### 5.1.4 考察

$p/\sqrt{A}$ の増大により再認率は大きく低下し、複雑な図形の再認はより困難になることが検証された。しかし、 $p/\sqrt{A}$ が一定で凹凸数の異なる図形間で再認率が異なる結果より、 $p/\sqrt{A}$ そのものが図形の再認を規定する要因でないことがわかる。 $p/\sqrt{A}$ の増大により再認は困難となるが、凹凸構造が視覚短期記憶における再認困難性に影響することが読みとれる。

$p/\sqrt{A}$ が小さい値で一定の $\sqrt{20}$ 、 $\sqrt{25}$ の図形間では、凹凸数の大きい図形ほど再認率は低下する傾向を示し、凹凸数が図形の再認を困難にするより大きな要因となった。しかし、 $p/\sqrt{A}$ が比較的大きい値で一定の $\sqrt{30}$ の図形間では、凹凸数より各凸部の長さが図形の再認を困難にする大きな要因となった。図5.2のように、どの凹凸数の条件でも各凸部の長さの増大により再認率は大きく低下した。 $p/\sqrt{A}$ が一定の図形間で、常に凹凸数が再認を困難にする最大の規定

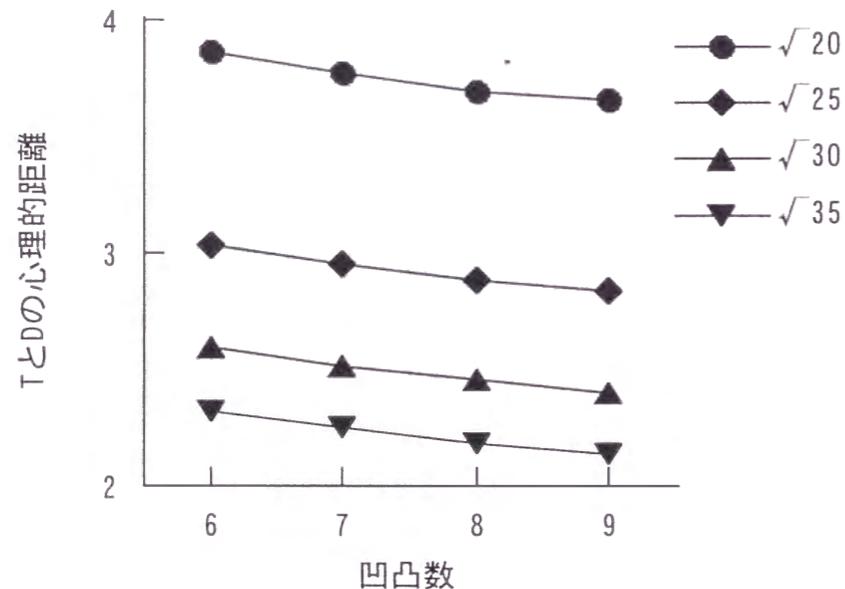


図5.3：TとDのずれ率が一定で、対となる2図形の $p/\sqrt{A}$ 、凹凸数が異なるときのTとDの心理的距離。プロット値は、3章の式(3.1)により算出された。パラメータは $p/\sqrt{A}$ を表す。

要因となるわけではなく、各凸部の長さも再認が困難になる大きな要因になることが読みとれる。図形の再認に大きく影響する物理変数は凹凸数と各凸部の長さであり、この両変数の増大により間接的に $p/\sqrt{A}$ が再認に影響することが示唆される。

4章では、TとDの心理的類似度と再認の混同は共変したのに対して、本実験では、2図形間の心理的距離と再認率は異なる傾向を示した。これらの結果により、記憶保持の負荷は $p/\sqrt{A}$ のみにより規定されず、図形は凹凸構造に基づいて忘却され、視覚短期記憶に保持されることが示される。ただし、 $p/\sqrt{A}$ の増大によりTとDの心理的距離と再認率が低下する点は図5.3と図5.1で一致している。 $p/\sqrt{A}$ の増大による再認率の低下は、判断過程での混同の増大が大きな要因の1つであることが示される。

## 5.2 実験2

### 5.2.1 目的

実験1では、 $p/\sqrt{A}$ の増大によりTとDの心理的距離と再認率が大きく低下する結果から、 $p/\sqrt{A}$ は判断過程の混同に大きく作用することが示された。実験2では、図形の物理的複雑さに関わらずTとDの心理的類似度を一定に設定することで判断過程の混同レベルを一定に設定する。そして、第1刺激の記憶保持の正確さが、凹凸数、および各凸部の長さに依存するかを検証し、記憶保持過程で各凸部ごとに記憶ノイズが生じるという仮説の妥当性を考察する。

### 5.2.2 方法

**刺激** 刺激図形は、2章の実験1と同様。ただし、凹凸数4種(6, 7, 8, 9)×各凸部の長さ4種であった(図2.1)。3章の図3.2において、2図形のずれ率に対する心理的類似度を直線回帰したとき、心理的類似度が4で一定になるときの2図形のずれ率が、それぞれの凹凸数、および各凸部の長さの条件におけるTとDのずれ率として設定された。そのためTとDのずれ率は、凹凸数、および各凸部の長さの大きい図形ほど大きく設定された。

**手続き** 実験1と同様。ただし、ISIは1secに固定し、凹凸数4種×各凸部の長さ4種×第2刺激がTかDの2種×繰り返し10回により、全320試行が行われた。

**被験者** 10名の大学生。

### 5.2.3 結果

図 5.4 は、各凸部の長さに対する再認率を表す。各凸部の長さの増大に対する再認率は、凹凸数 7 の図形ではやや上昇し、凹凸数 9 の図形ではやや低下した。凹凸数 6, 8 の図形では、各凸部の長さ依存せず再認率はほぼ一定となった。また、凹凸数の大きい条件ほど再認率はわずかに低くなる傾向がみられた。各凸部の長さにより再認率が異なるかを検討するため、各凹凸数の条件ごとに 1 要因の分散分析を行った。その結果、どの凹凸数の条件でも、各凸部の長さの主効果に有意差はみられなかった(凹凸数 6,  $F(3,27)=0.66$ , n.s.; 凹凸数 7,  $F(3,27)=0.40$ , n.s.; 凹凸数 8,  $F(3,27)=0.39$ , n.s.; 凹凸数 9,  $F(3,27)=0.47$ , n.s.).

### 5.2.4 考察

実験 1 では、各凸部の長さの増大は判断過程の混同に大きく作用し、再認が困難になる大きな要因となることが示された。実験 2 では、どの各凸部の長さの図形でも判断過程の混同レベルが一定のとき、各凸部の長さは再認率にほとんど影響しなかった。各凸部の長さは記憶保持の正確さに影響せず、視覚短期記憶の負荷にならないことが示される。各凸部の長さの増大は、凹凸数が一定で  $p/\sqrt{A}$  の増大を意味することから (図 2.1), 視覚短期記憶において図形の周

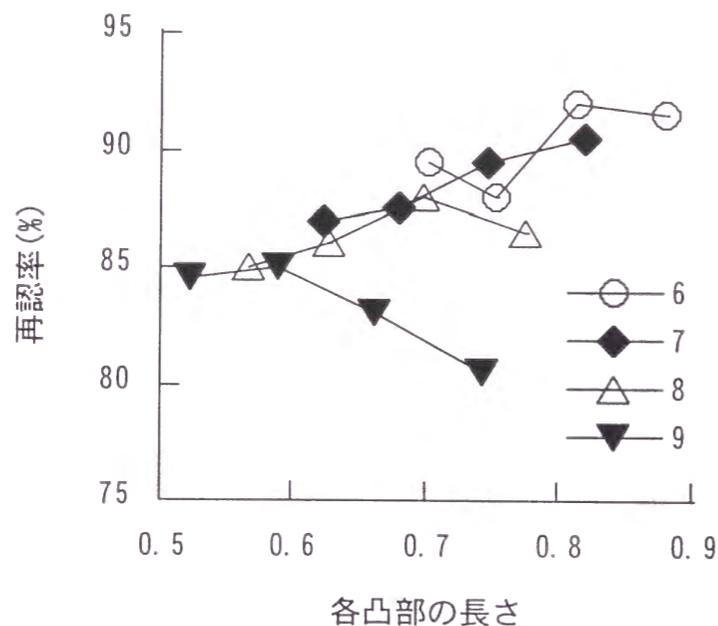


図 5.4 : 実験 2 の結果。各凸部の長さに対する再認率。パラメータは凹凸数を表す。凹凸数、各凸部の長さに関わらず、T と D の心理的類似度はほぼ一定に設定された。

囲長に基づいて記憶ノイズが生じるのではなく、各凸部の記憶ノイズは凸部の長さに依存せず一定であることがうかがえる。それに対し、わずかであるが凹凸数の増大により再認率は低下したことから、凹凸数の増大により図形に生じる記憶ノイズは増大すると理解される。図形は凹部で分節され、凸部が特徴として知覚・記憶保持される(Hoffman & Richards,1984)ことを考慮すると、視覚短期記憶では凸部が部分として保持され、各凸部ごとに記憶ノイズが生じることが間接的に示される。

各凸部の長さが記憶保持の正確さに影響しなかった原因として、保持時間が 1sec と短いため、記憶ノイズの増大に大きく作用しなかったためとも解釈される。保持時間の増大により各凸部の長さが記憶ノイズの増大に影響することもありうるため、保持時間を 4sec 程度に設定して検討される必要がある。この点に関しては今後確認すべき点として残し、本研究では、保持時間が 1sec の本実験の結果により、視覚短期記憶において記憶ノイズは周囲長単位でなく各凸部ごとに生じ、各凸部の記憶ノイズは各凸部の長さに依存せず一定である、という仮説の妥当性が間接的に実証されたと解釈する。

### 5.3 総合考察

従来、複雑な図形の再認は困難になることが検証されてきたが、(1)図形のいかなる物理変数が再認困難性に大きく影響するか、(2)どの処理過程で図形の複雑さが大きく影響するか、について明瞭にされてこなかった。5 章では(1)に関して、各凸部の長さや凹凸数の増大により間接的に  $p/\sqrt{A}$  が再認困難性に大きく作用し、 $p/\sqrt{A}$  そのものでなく凹凸数が記憶保持の負荷となることが検証された。この結果は、視覚短期記憶で周囲長に基づいて記憶ノイズが生じるのではないことを示し、間接的に各凸部ごとに記憶ノイズが生じることを示す。また(2)に関して、記憶保持過程での記憶ノイズに及ぼす凹凸数の効果がわずかであるのに対して、判断過程では凹凸数と各凸部の長さの両変数が混同の増大に大きく作用することが示された。物理的複雑さを規定する両変数は、記憶の負荷でなく判断過程の混同に大きく作用するため、複雑な図形の再認がより困難になると解釈される。しかし、保持時間が 1sec と短かったため、図形の複雑さが記憶の負荷に大きく作用しなかったことが想定される。保持時間が増大したときの忘却に及ぼす図形の複雑さの効果に関して、6 章で検討される。

ただし、各凸部に生じる記憶ノイズは異なる凹凸数の図形間で一定かどうか

に関して、本実験の結果から実証されない。この点は本研究で検討されないが、物理的な凸形状が視覚短期記憶の構成単位になると考えた場合、どの凹凸数の図形でも各凸部に生じる記憶ノイズはそれほど大きく異ならないと推測される。

### 5.3.1 図形処理における知覚と記憶の負荷

2章の実験2では、 $p/\sqrt{A}$ は心理的複雑さを正確に予測する物理変数とならず、各凸部の長さより凹凸数のほうが大きく重みづけされて心理的複雑さに影響した。5章の実験1では、図形の再認率は $p/\sqrt{A}$ そのものにより規定されず、凹凸数と各凸部の長さの両変数が図形の再認に大きく影響した。つまり、心理的複雑さに大きく影響する物理変数と、再認に大きく影響する物理変数は一致しない結果を示した。心理的複雑さと再認率の相関係数は $r=-.419(n.s.)$ と低く、心理的複雑さにより再認率は正確に予測されなかった。それに対して5章の実験2では、記憶保持の負荷は各凸部の長さに依存せず、わずかであるが凹凸数の増大により大きくなった。各凸部の長さが大きく影響せず、凹凸数が影響する点で、心理的複雑さと記憶保持の負荷は対応する。2章の評定実験と5章の再認実験により、心理的複雑さと再認が困難となる物理変数は対応しないが、心理的複雑さと記憶保持の負荷は対応することが示される。

これらの対応関係により、図形の知覚と記憶保持は凹凸構造に基づいており、凹凸数は、知覚において符号化負荷、記憶において記憶ノイズの増大に作用すると理解される。そして、各凸部の長さは符号化負荷、および記憶ノイズに大きく作用しないのに対して、判断過程の混同には大きく作用するため、図形の符号化負荷と再認困難性は一致しないと解釈される。

4,5章では保持時間を1secで一定に設定して、図形の複雑さを操作して視覚短期記憶について検討した。しかし、数秒から十数秒程度の保持時間の増大により図形の再認率は低下する(Phillips,1974; Kikuchi,1987)。4,5章での視覚短期記憶の空間特性に関する知見に基づき、6,7章では視覚短期記憶の時間特性について検討する。

## 6章 忘却率に及ぼす図形の複雑さの効果

視覚短期記憶の忘却特性に関して、様々な視覚刺激を用いて検討されてきた。Phillips & Baddeley(1971)はBPを刺激に用い、0.3secから9secのあいだ忘却が続くことを検証した。またHole(1996)によれば、2ドット間の弁別閾は0secから30secのあいだ直線的に増大した。記憶保持の正確さは、数秒から数十秒のあいだ低下し続けることがわかる。しかしCermak(1971)による輪郭図形の再認実験では、再認率は、保持時間が1.5secから12secまでは低下し続けたが、12secから20secまでは漸近となった。記憶保持の正確さの低下は永続的でなく、いずれ視覚短期記憶の忘却はほとんどなくなることが読みとれる。

視覚短期記憶の忘却率は、図形の複雑さに依存することが検証されてきた(Phillips,1974; Kikuchi,1987)。Phillips(1974)の再認実験では、4×4のBPの場合、保持時間の増大により再認率は緩やかに低下したが、8×8のBPの場合、1secの保持時間により再認率は急激に低下した。ドットパターンを刺激に用いたKikuchi(1987)の再認実験でも、複雑な図形ほど忘却率は高くなる傾向を示した。再認成績の低下に及ぼす複雑さの効果は、保持時間の増大により大きくなることがわかる。

従来の再認実験では、TとDの差異は異なる複雑さの条件間で一定に設定されてきた。TとDの差異の設定方法は、図形の複雑さに関わらず、BPにおいてTの任意の1セルを白黒反転させたもの(Phillips,1974)、ドットパターンにおいてTの任意の1ドットを移動させたもの(Kikuchi,1987)であった。つまり、TとDの図形全体の物理的差異が一定であるため、3章の式(3.1)に基づくと、複雑な図形の条件ほどTとDの心理的類似度は高いことが示される。この設定方法の場合、4章、5章で指摘したように、複雑な図形ほど判断過程の混同レベルが大きくなる。そのため、忘却率が複雑さに依存するかどうかは検証されるが、異なる保持時間において、記憶保持の正確さが複雑さによりどの程度異なるかは検証されない。

6章では、実験1で先行研究と同様、TとDの物理的差異を複雑さに関わらず一定に設定し、実験2でTとDの心理的類似度を複雑さに関わらずほぼ一定に設定して、忘却率に及ぼす図形の複雑さの効果を検討する。

### 6.1 実験1

### 6.1.1 目的

視覚短期記憶において、BP(Phillips,1974)やドットパターン(Kikuchi,1987)などを刺激に用いて、複雑な図形ほど忘却率は高くなる傾向であることが検証されてきた。実験1では、Phillips(1974)や Kikuchi(1987)と同様、異なる複雑さの条件間で T と D の物理的差異を一定に設定して、再認成績の忘却率は図形の複雑さに依存するかどうかを検討する。

### 6.1.2 方法

**刺激** 刺激は、4章の実験1, 2で用いられた図形と同様。図形の複雑さは、凹凸数4種(6, 7, 8, 9)により操作された(図4.1)。TとDのずれ率は、図形の凹凸数に関わらず6.3%で一定に設定された。

**手続き** 1試行の手順は4章の実験2と同様で、実験計画は凹凸数4種(6, 7, 8, 9)×ISI5種(0.5, 1, 2, 4, 8sec)であった。

全320試行が4セッションに分けて行われた。各セッションは、第1・第2刺激のISI5ブロック(0.5, 1, 2, 4, 8sec)×16試行により構成された。ブロック間のISIの提示順序、および各ブロックの凹凸数の提示順序はランダムであった。第1刺激と第2刺激が同じ試行と異なる試行は各ブロックにおいて半々であり、チャンスレベルは50%であった。

**被験者** 27名の大学生。

### 6.1.3 結果

図6.1は、第1・第2刺激のISIに対する再認率を表す。凹凸数6の図形では8secのISIでも再認率は80%を上回った。ISIが短い0.5secにおいても、凹凸数の大きい図形ほど再認率は低くなった。どの凹凸数の図形でも、ISIが4secから8secのあいだも再認率の低下は続いた。凹凸数×ISIの分散分析の結果、凹凸数およびISIの主効果に有意差がみられた(凹凸数,  $F(3,78)=30.24, p<.0001$ ; ISI,  $F(4,104)=19.89, p<.0001$ )。凹凸数とISIの交互作用には有意差がみられなかった( $F(12,312)=0.96, n.s.$ )。

図6.1でプロットされた再認率は、実際に正しく再認される確率  $p(R)$  に当て推量  $g$  が含まれた値である。付録5により補正再認率  $p(R)$  を換算し、各凹凸数の条件での忘却曲線を指数関数により回帰した結果を以下に示す。

$$\text{凹凸数 6 : } p(R)=77.3 \times \exp(-0.0213 \times \text{ISI})$$

$$\text{凹凸数 7 : } p(R)=69.1 \times \exp(-0.0283 \times \text{ISI})$$

$$\text{凹凸数 8 : } p(R)=68.9 \times \exp(-0.0463 \times \text{ISI})$$

$$\text{凹凸数 9 : } p(R)=60.5 \times \exp(-0.0776 \times \text{ISI})$$

回帰係数  $R$  は、凹凸数6, 7, 8, 9のとき、それぞれ.837, .987, .986, .957であった。ISIの係数の絶対値が忘却率を示す。忘却率は凹凸数の大きい図形ほど高かった。

### 6.1.4 考察

図形の複雑さに関わらず、8secの保持時間のあいだ再認率は低下し続けた。Magnussen et al.(1996)は、グレーティングの空間周波数は数秒間正確に保持されるが、コントラストは1secから10secまでの保持時間の増大により閾値が増大することを検証した。視覚情報の物理属性により、視覚短期記憶での忘却の有無が異なることがわかる。実験1の結果より、Cermak(1971)と同様、輪郭図形の微妙な形状は数秒のあいだ忘却が続くことが示される。

分散分析の結果、凹凸数と保持時間の交互作用に有意差はみられなかったが、指数関数による回帰式を比較すると、複雑な図形ほど忘却率は高くなる傾向がみられた。Kikuchi(1987)の再認実験でも、図形の複雑さと保持時間の交互作用に有意差はみられなかったが、忘却率は複雑なパターンほど高い傾向を示している。実験1の結果は、輪郭図形の忘却率は複雑な図形ほど高い傾向にあると

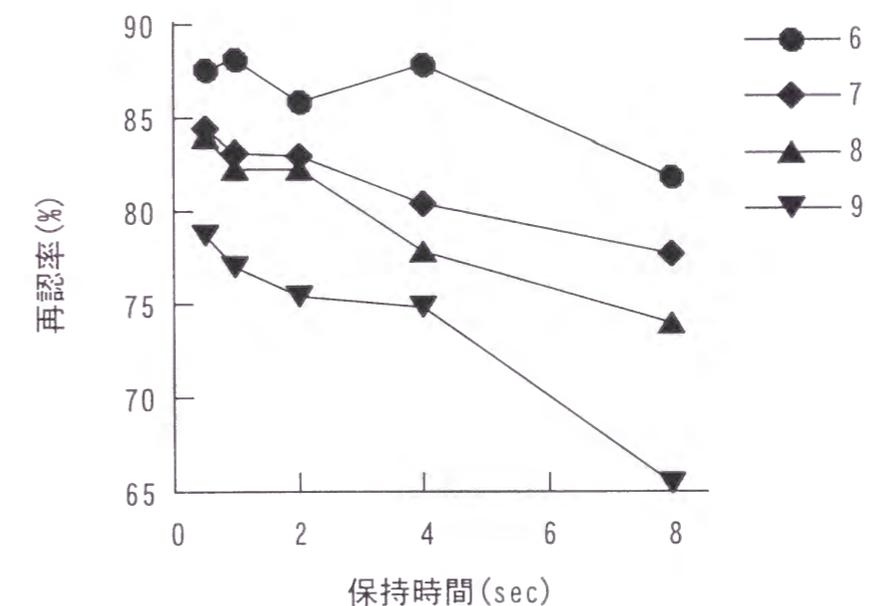


図6.1：実験1の結果。保持時間に対する再認率。パラメータは凹凸数を表す。

凹凸数に関わらず、TとDの物理的差異は一定に設定された。

解釈され、ドットパターンを刺激に用いた Kikuchi(1987)の結果と一致する。

Inui(1988)の再生実験では、正確に直後再生できるパターンの複雑さは $3 \times 3$ から $4 \times 4$ のBPであり、 $4 \times 4$ のBPの場合、数秒程度のあいだ忘却が続いた。本実験において、凹凸数6の図形では、忘却率は非常に低かったが忘却は続いた。単純な図形でも、数秒程度のあいだほぼ完全な正確さで保持され続けるのは困難であることがわかる。1.1.1節で述べたように、数秒程度のあいだ忘却が生じない図形の複雑さを視覚短期記憶の容量と定義すると、凹凸数6は容量を上回ることが示される。

それに対して、凹凸数9の図形でも、8secの保持時間でチャンスレベルまで再認率は低下せず、比較的忘却率は低かった。この原因として、保持過程での視覚的リハーサルの効果が考えられる。Dale(1973)の実験では、記憶保持されるドットの位置の正確さは、保持過程で挿入課題がない条件でも低下したが、挿入課題がある条件ではより大きく低下した。また Kelly & Martin(1974)は、保持過程で妨害課題が挿入される条件の場合、記憶成績は大きく低下することを検証し、図形を数秒のあいだ記憶保持するには、リハーサルなどの能動的な処理が必要であると主張した。本実験の結果より、凹凸数9の複雑な図形でも、保持過程での能動的な処理は図形の正確な形状を記憶保持するのに大きく作用することが示される。

## 6.2 実験2

### 6.2.1 目的

実験1では、異なる複雑さの条件間でTとDの物理的差異は一定に設定されたが、凹凸数の大きい図形ほど忘却率は高くなる傾向であった。では、異なる保持時間において、記憶保持の正確さは図形の複雑さによりどの程度異なるのだろうか。4, 5章では、TとDの心理的類似度が一定で、判断過程の混同レベルが一定のときの再認率により、異なる凹凸数の図形間で記憶保持の正確さを比較した。その結果、凹凸数の大きい図形のほうがわずかに記憶保持の正確さは低かったが、ほとんど差はなかった。この原因として、保持時間が1secと短かったため、図形の複雑さが忘却に大きく影響しなかったことが推察された。実験2では、どの凹凸数の条件でもTとDの心理的類似度をほぼ一定に設定して、実験1と同様の再認実験を行う。

### 6.2.2 方法

**刺激** 実験1と同様。ただし、どの凹凸数の条件でもTとDの心理的類似度がほぼ一定になるように、3章の式(3.1)より、TとDの各凸部のずれ率が0.78%で一定に設定された。そのため、TとDのずれ率は凹凸数の大きい条件ほど大きく、凹凸数6, 7, 8, 9の条件でそれぞれ4.7, 5.5, 6.2, 7.0%であった。

**手続き** 実験1と同様。ただし、全400試行が4セッションに分けて行われた。各セッションは、ISI5ブロック $\times$ 20試行であった。

**被験者** 22名の大学生。

### 6.2.3 結果

図6.2は、第1・第2刺激のISIに対する再認率を表す。実験1と同様、どの凹凸数の図形でもISIの増大により再認率は低下した。また、どのISIにおいても、異なる凹凸数の図形間で再認率に大きな差はなかった。凹凸数 $\times$ 保持時間の分散分析の結果、保持時間の主効果に有意差がみられたが( $F(4,84)=15.02$ ,  $p<.001$ ), 凹凸数の主効果( $F(3,63)=1.48$ , n.s.), および交互作用( $F(12,252)=0.61$ , n.s.)に有意差はみられなかった。

実験1と同様、付録5により補正再認率を換算し、各凹凸数の条件での忘却曲線を指数関数により回帰した結果を以下に示す。

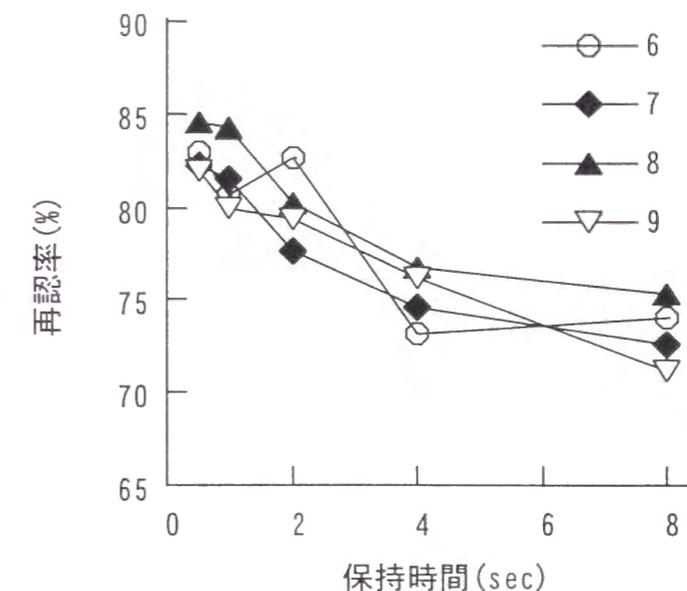


図6.2：実験2の結果。保持時間に対する再認率。パラメータは凹凸数を表す。凹凸数に関わらず、TとDの心理的類似度はほぼ一定に設定された。

凹凸数 6 :  $p(R)=65.4 \times \exp(-0.0454 \times ISI)$

凹凸数 7 :  $p(R)=63.7 \times \exp(-0.0474 \times ISI)$

凹凸数 8 :  $p(R)=68.4 \times \exp(-0.0422 \times ISI)$

凹凸数 9 :  $p(R)=64.7 \times \exp(-0.0527 \times ISI)$

回帰係数 R は, 凹凸数 6, 7, 8, 9 のときそれぞれ .832, .946, .926, .993 であった. 回帰式における忘却率は, 異なる凹凸数の条件間で大きな差はなかった.

図 6.3 は, 実験 1, 2 の結果を再プロットしたものである. そして表 6.1 は,

表 6.1 : T と D のずれ率と回帰式における忘却率.

凹凸数	6		7		8		9	
ずれ率	6.3%	4.7%	6.3%	5.5%	6.3%	6.2%	7.0%	6.3%
忘却率	0.0213	0.0454	0.0283	0.0474	0.0463	0.0422	0.0527	0.0776

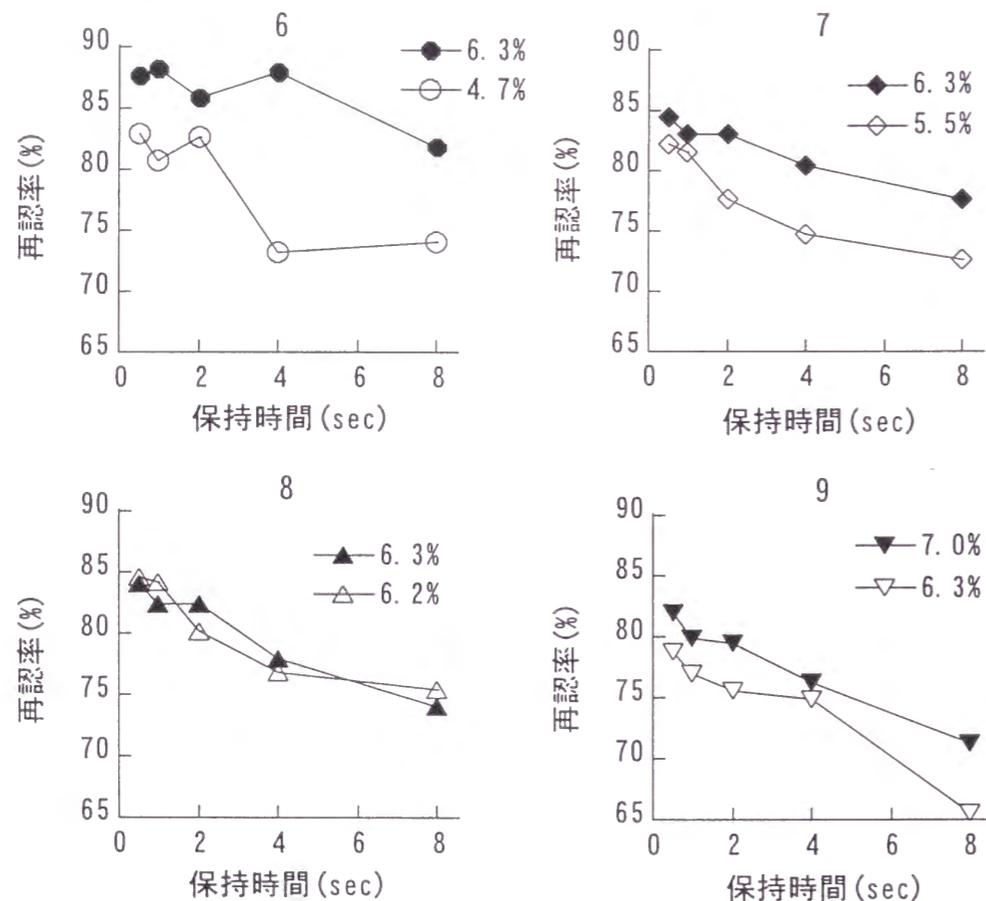


図 6.3 : 図 6.1, 図 6.2 を再プロットしたもの. パラメータは T と D のずれ率を表す. 4 つの図は, 凹凸数 6, 7, 8, 9 の条件を示す.

各凹凸数の条件ごとに, T と D のずれ率と回帰式における忘却率を比較したものである. 図 6.3 と表 6.1 にみられるように, 凹凸数 6, 7, 9 のとき, T と D のずれ率の小さい条件のほうが忘却率は高くなる傾向がみられた. 凹凸数 8 では, 実験 1 と実験 2 はほぼ同じずれ率に設定されたが, 忘却率は実験 1, 2 でそれほど大きな違いがなかった結果より, 本実験の信頼性が検証された.

#### 6.2.4 考察

T と D のずれ率が小さい条件では, 記憶保持すべき図形の正確さ・局所性がより高い課題となり, 逆にずれ率が大きい条件では, 記憶保持すべき図形の大局性がより高い課題となる. 本実験では, 図 6.3 のように忘却率は T と D のずれ率により異なり, T と D のずれ率がより小さい条件で忘却率は高くなる傾向がみられた. 図形の複雑さに関わらず, より正確な形状情報は保持時間が増大すると記憶保持するのがより困難になることがわかる.

Paivio & Bleasdale(1974)の再認実験では, T と D の類似度が高い場合, 3sec の保持時間により再認率は急激に低下したが, T と D の類似度が低い場合は, 保持時間が 30sec まで増大しても再認率はほとんど低下しなかった. 図形は階層的に表現され, 上位の階層に大局形状, 下位の階層に局所形状が表現されるが(Palmer, 1977), 視覚短期記憶において大局形状は忘却されにくく詳細な形状は忘却されやすい(Inui,1988). Paivio らと本研究の結果から, 視覚短期記憶において図形の大局性の高い形状情報は忘却率が低くなることが示され, Inui(1988)の知見と一致する.

4, 5 章では, 複雑さに関わらず T と D の心理的類似度を一定に設定することにより, 判断過程の混同レベルが一定となるため, 再認成績は記憶保持の正確さを示すと解釈した. この解釈によれば実験 2 の結果により, 保持時間に関わらず, 記憶保持の正確さはどの凹凸数でもほぼ一定であることが導かれる. しかしこの結果は, 単位時間あたりの記憶ノイズはどの凹凸数でもほぼ一定であることを意味し, 本研究の仮説と一致しない.

保持時間に関わらず, どの凹凸数の図形でも再認率はほぼ一定となった実験 2 の結果の解釈として, 単位時間あたりに各凸部に生じる記憶ノイズはかなり小さいため, 忘却に及ぼす凹凸数の影響が顕著に表れなかったことが推測される. 実験 1 でも, 分散分析で凹凸数と保持時間の交互作用はみられず, 凹凸数の大きい図形ほど忘却率が高くなる傾向は顕著でなかった. 図形の複雑さに関わらず, 視覚的リハーサルが図形の正確な記憶保持に大きく作用することが推

測される。

## 6.3 総合考察

本実験では、複雑さに関わらず 8sec のあいだ図形の忘却が続く、忘却率は複雑な図形ほど高くなる傾向がみられた。以下、この 2 点について議論する。

### 6.3.1 図形の忘却

図形の複雑さに関わらず、8sec のあいだ比較的緩やかに忘却は生じた。ドット的位置 (Kikuchi,1987)、BP(Phillips & Baddeley,1971)、2 点間の弁別閾 (Hole,1996) など、多くの視覚短期記憶実験で、ある程度の忘却は生じ続けるがかなり長い時間正確に保持されることが検証されている。本研究では、視覚短期記憶の忘却要因として記憶ノイズを仮定したが、特定の保持時間で再認率は急峻に低下しなかったことから、少なくとも十数秒程度のあいだ、単位時間あたりに一定量の記憶ノイズが生じ続けると推測される。記憶ノイズと保持時間の関数関係について、8 章のモデルで検討される。

再生実験での記憶容量は、刺激図形が BP の場合、すべてのセルの白黒位置を再生できる複雑さと定義される。再認実験の場合、Phillips(1974)の解釈に基づくと、保持時間が增大しても記憶成績がほとんど低下しない図形の複雑さを記憶容量とみなせる。凹凸数 6 の単純な図形でも忘却が生じた本実験の結果は、4×4 の単純な BP でも忘却が生じた Phillips(1974)の結果と整合する。数秒程度のあいだほとんど忘却されずに保持できる容量はかなり低いといえる。

ただし、凹凸数 6 の単純な図形でも忘却が不可避であったのは、288ms の瞬間視であったためとも解釈される。提示時間の増大により、単純な図形の場合、数秒程度の保持時間であれば忘却がほとんど生じないことも想定される。視覚短期記憶の忘却に及ぼす提示時間の効果について 7 章で検討される。

### 6.3.2 忘却率に及ぼす複雑さの効果

実験 1 では、忘却率は複雑な図形ほど高い傾向がみられ、BP を刺激に用いた Kikuchi(1987)の結果と一致する。Palmer(1990)の部分報告法においても、線分数の多い複雑な図形ほど各線分の記憶保持の正確さは低下したが、正確さの低下に及ぼす複雑さの効果は、保持時間が 0.5sec の条件より 8sec の条件のほうがやや大きくなった。図形全体の正確さ、および図形の各要素の正確さは、複雑な図形ほど保持時間の増大により急速に低下する傾向にあると解釈できる。

本実験では、8sec のあいだ各凸部ごとに記憶ノイズが生じ続けたため、凹凸

数の大きい図形ほど忘却率は高くなる傾向がみられたと推測される。しかし、複雑な図形ほど視覚短期記憶での分節数は大きくなるため(Inui, 1988)、記憶ノイズが個々の凸部ごとに、複数の凸部により形成される何らかのまとまりごとに、のいずれを仮定しても、複雑な図形ほど忘却率は高くなる結果が導かれる。本研究は前者を仮定しているが、この問題は非常に実証困難な問題であり、本実験により検証されず、また本研究でも仮定にとどめている。しかし視覚短期記憶ではできるだけ分節数が少なくなるように保持されることから(Bartram, 1978)、1 凹凸数の増大により視覚短期記憶で形成されるまとまり数が 1 つ増大するとは考えにくい。凹凸数 6 から 9 の範囲で、凹凸数は異なるが視覚短期記憶で形成されるまとまり数は同じである図形があると推測される。実験 1 で、1 凹凸数の増大により徐々に忘却率は高まった結果より、各凸部ごとに記憶ノイズが生じるという仮定はある程度妥当性が高いと判断されうる。

複雑な図形でも比較的忘却率は低かった要因として、少なくとも 8sec のあいだ、複雑な図形の記憶保持に視覚的リハーサルが作用したことが考えられる。視覚的リハーサルの戦略として、2 つ考えられる。1 つめは、視覚短期記憶の処理資源が全部分に分配され、並列的にリハーサルされるものである。2 つめは、全処理資源が部分に割り当てられ、各部分が系列的にリハーサルされるものである。本実験の結果から、いずれのリハーサル戦略が行われたか実証できないが、後者のほうが図形を正確に記憶保持するための分節の効果は大きい。

1 回のリハーサルで処理されうる視覚情報には量的に制限があると思われる。視覚短期記憶では、各部分が極めて高速に系列的にリハーサルされると推測される。1 回のリハーサルで処理されうる各部分の複雑さが比較的高く、また系列処理の速度が極めて速いため、複雑な図形でも忘却率は比較的 low であると想定される。

## 7章 忘却率に及ぼす刺激提示時間の効果

従来、入力過程での学習レベルにより忘却率が異なるかどうかに関する研究が行われてきた。学習レベルは、刺激提示回数、刺激提示時間などにより操作される。本章では、視覚短期記憶の忘却率が入力過程での刺激提示時間に依存するかどうかを検討する。忘却率の測定方法や条件間での忘却率の違いを検証する方法について盛んに議論されてきたが(Loftus,1985; Bogartz,1990; Slamecka & McElree,1983), 7章では分散分析による提示時間と保持時間の交互作用の有無(Slamecka & McElree,1983)により検証する。この場合、忘却率は記憶成績の低下率により測定されることから、視覚短期記憶の記憶成績と忘却率に及ぼす提示時間の効果を見る。

記憶成績に及ぼす提示時間の効果に関して、Avons & Phillips(1980)によれば、提示時間が60msから200ms前後までの増大に対して記憶成績は上昇したが、200msから600msまでの増大に対して記憶成績は漸近となった。またInui(1988)の再生実験では、提示時間の増大による記憶成績の上昇率および漸近値は、複雑な図形ほど低くなった。複雑な図形ほど、単位時間あたりの形状情報の獲得率、および提示時間が増大したときの獲得量は低いことがうかがえる。

一方、忘却率に及ぼす提示時間の効果に関して、Dale(1973)は、提示時間と保持時間を操作して記憶保持されるドットの位置の正確さを検討した。結果は、提示時間が0.5secの場合は保持時間の増大により記憶成績は急激に低下したが、提示時間の増大により忘却率は低くなった。Dale(1973)は、ドットの位置が正確に知覚されるには0.5secの短い提示時間で十分であるが、視覚短期記憶に数秒から数十秒のあいだ正確に保持され続けるにはより多くの提示時間が必要になると解釈した。Dale(1973)の実験結果は、視覚短期記憶の忘却率は提示時間の増大により低くなることを示す。

4, 5, 6章では、第1刺激の提示時間は288msに固定されたが、7章では120ms, 288ms, 1200msの3種に設定される。実験1では凹凸数7の比較的単純な図形、実験2では凹凸数9の複雑な図形を刺激に用いて検討される。

### 7.1 実験1

#### 7.1.1 目的

実験1では、凹凸数7の比較的単純な図形を刺激に用いて、視覚短期記憶の

忘却率は入力過程における提示時間に依存するかを検討する。

#### 7.1.2 方法

**刺激** 刺激図形は、6章の実験1, 2と同様。ただし、凹凸数7の図形が刺激に用いられた(図7.1)。刺激の提示は、パーソナルコンピュータ(NEC PC-9801 DA)により行われた。ディスプレイの視角は約11.1度×約14.9度で、図形の大きさは約3.2度×約3.2度であった。TとDのずれ率は5.0%で一定に設定された(図7.1)。

**手続き** 1試行の手順は、保持時間が0secのセッションと保持時間が2, 4, 8secのセッションで異なった。保持時間が0secのときは4章の実験1と同様で、保持時間が2, 4, 8secのときは6章の実験1, 2と同様であった。

実験では、48試行の練習試行のあと、全480試行が12セッションに分けて行われた。12セッションは、第1刺激の提示時間3種(120, 288, 1200ms)×保持時間4種(0, 2, 4, 8sec)により構成され、各セッションで40試行が行われた。全480試行において、凹凸数は同じで形状が異なる図形が第1刺激に用いられた。第1刺激と第2刺激が同じ試行と異なる試行は、各セッションの40試行において半々であり、チャンスレベルは50%であった。

**被験者** 7名の大学生。

#### 7.1.3 結果

図7.2は、保持時間に対する再認率を表す。保持時間が0secでは、120msの提示時間でも、288ms, 1200msの提示時間の条件と同程度の再認率となった。そして、提示時間が短い条件ほど再認率は急速に低下した。提示時間×保持時間の分散分析の結果、提示時間および保持時間の主効果に有意差がみられた(提示時間,  $F(2,14)=6.88, p<.05$ ; 保持時間,  $F(3,18)=12.76, p<.0001$ )。提示時間と保持

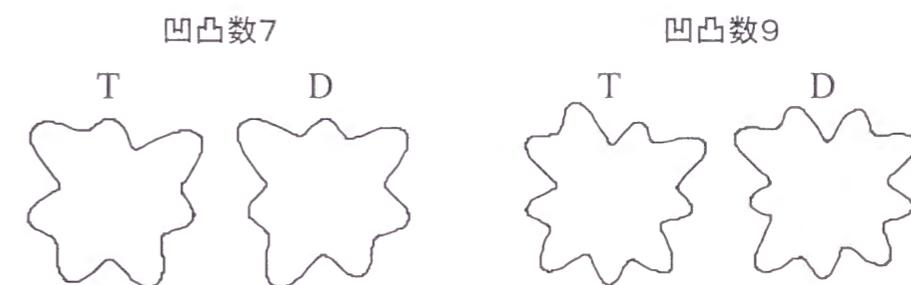


図7.1: 実験1(凹凸数7), 実験2(凹凸数9)で用いられたTとDの例。

時間の交互作用に有意差がみられた結果より( $F(6,36)=2.43, p<.05$ ), 再認率に及ぼす提示時間の効果は保持時間により異なり, 提示時間の短い条件ほど視覚短期記憶の忘却率は高くなることが示された。

交互作用に有意差がみられたことから, 各保持時間において提示時間の単純主効果を検討した。その結果, 提示時間の単純主効果は, 保持時間が 0sec, 2sec のとき有意でなかったが(0sec,  $F(2,12)=0.62, n.s.$ ; 2sec,  $F(2,12)=0.97, n.s.$ ), 保持時間が 4sec, 8sec のとき有意であった(4sec,  $F(2,12)=9.38, p<.01$ ; 8sec,  $F(2,12)=5.22, p<.05$ )。Tukey 法による多重比較の結果, 保持時間が 4sec および 8sec において, 提示時間が 120ms の条件と 1200ms の条件のあいだに有意差がみられた。

#### 7.1.4 考察

Inui(1989)によれば, 前注意過程で曲率の大きい凹凸部などの特徴点が並列処理され, その後の集中的注意過程で特徴点付近の形状が正確に処理される。保持時間が 0sec の再認率は, 提示時間の影響をほとんど受けず高かった結果より, ずれ率 5.0%程度の T と D の差異の場合, 120ms の提示時間でも 1200ms の提示時間のときと同程度の正確さで図形の形状が獲得されることがわかる。このこ

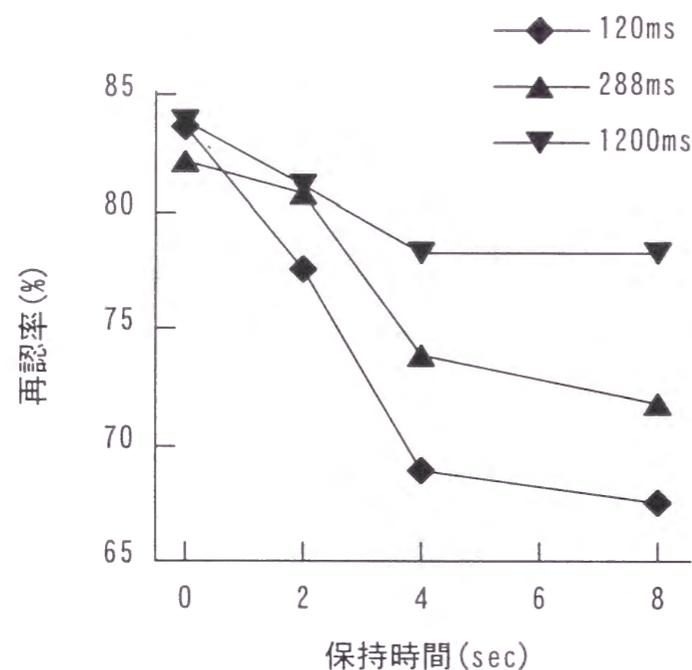


図 7.2 : 実験 1 の結果. 保持時間に対する再認率. パラメータは刺激提示時間を表す。

とは, 100ms 程度の提示時間により輪郭図形の曲率はかなり正確に獲得されることを示し, Inui(1989)の知見と一致する。

忘却率は提示時間の短い条件ほど高くなった。保持時間が 2sec では提示時間の単純主効果に有意な差はみられなかったのに対して, 4sec, 8sec では提示時間が 1200ms の条件より 120ms の条件のほうが再認率は有意に低くなった。保持時間が 2sec と比較的短い場合, 120ms の短い提示時間でもある程度正確に図形は記憶保持されるが, 保持時間が 4sec, 8sec と長い場合, 120ms, 288ms の瞬間視では図形の正確な記憶保持がやや困難になることが示される。

Avons & Phillips(1980)は, 視覚短期記憶の表現が長期記憶に固定化されるには, より多くの提示時間が必要になることを示唆した。実験 1 において, 提示時間が 120ms, 288ms の条件は瞬間提示であるため, 刺激図形は視覚短期記憶にとどまると思われる。それに対して, 提示時間が 1200ms の条件では, 視覚短期記憶表現がより長期的な記憶システムに固定化されたことも考えられる。しかし, 1200ms の条件でも多少忘却が生じたことから, 刺激図形が完全に固定化されたとは考えにくい。実験 1 での無意味図形が長期的な記憶システムに固定化されるには, 1200ms の提示時間ではまだ短いように思われる。

## 7.2 実験 2

### 7.2.1 目的

実験 1 では, 凹凸数 7 の比較的単純な刺激図形の場合, 視覚短期記憶の忘却率は提示時間の増大により低下することが明らかにされた。実験 2 では, 主に次の 2 点に着目して, 実験 1 で得られた知見が複雑な刺激図形の場合でも成立するかを検討する。

1 つめは, 実験 1 で保持時間が 0sec の再認率はどの提示時間でも同程度であったが, この結果が複雑な刺激図形の場合も成立するか, という点である。120ms の短い提示時間で獲得される視覚情報には, 量的に制限があると考えられる。そのため, 複雑な図形の場合, 保持時間が 0sec の再認率は 120ms 以降の提示時間の増大により上昇することが想定される。

2 つめは, 複雑な図形の場合も, 提示時間の増大により視覚短期記憶での記憶成績は高まるかどうかである。Inui(1988)の再生実験では, 単純な BP の場合, 1sec 程度までの提示時間の増大により再生率は上昇したが, 複雑な BP の場合, 提示時間が 9sec 程度まで増大しても再生率は上昇しなかった。複雑な図形の場合

合、実験1の提示時間の範囲では、提示時間が増大しても再認率は上昇しないことも想定される。

実験2では、凹凸数9の複雑な図形の場合も実験1と同様、視覚短期記憶の忘却率は提示時間の増大により低下するかを検討する。

### 7.2.2 方法

刺激 実験1と同様。ただし、凹凸数9の図形が刺激に用いられた(図7.1)。

手続き 実験1と同様。

被験者 8名の大学生。

### 7.2.3 結果

図7.3は、保持時間に対する再認率を表す。0secの保持時間における再認率は、提示時間が120msの条件では288msの条件よりやや低くなった。実験1と同様、提示時間の短い条件ほど、保持時間の増大により再認率は急速に低下した。提示時間×保持時間の分散分析の結果、提示時間、保持時間の主効果に有意差がみられた(提示時間,  $F(2,14)=16.47$ ,  $p<.001$ ; 保持時間,  $F(3,21)=20.70$ ,  $p<.0001$ )。提示時間と保持時間の交互作用に有意差がみられた結果より( $F(6,42)=2.48$ ,  $p<.05$ )、凹凸数9の複雑な図形の場合も、再認率に及ぼす提示時

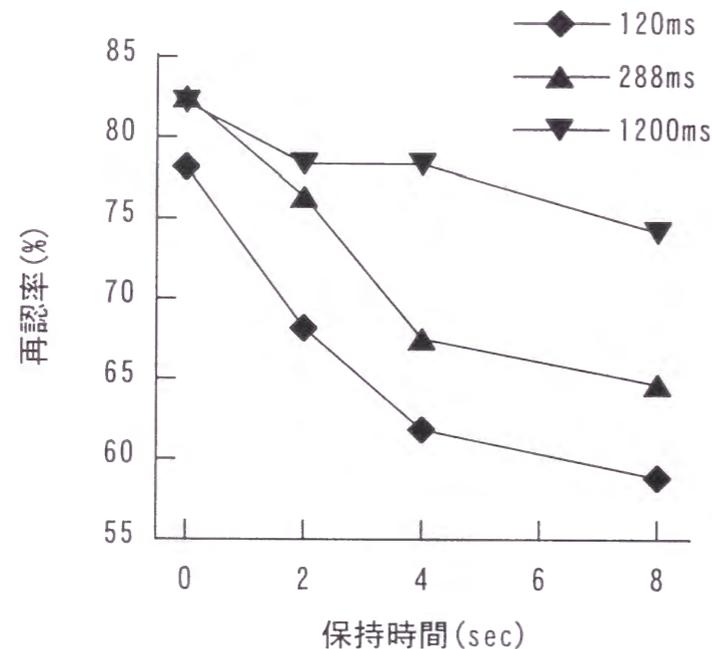


図7.3：実験2の結果。保持時間に対する再認率。パラメータは刺激提示時間を表す。

間の効果は保持時間により異なり、提示時間の増大により視覚短期記憶の忘却率は低下することが示された。

交互作用に有意差がみられたことから、各保持時間において提示時間の単純主効果を検討した。その結果、提示時間の単純主効果は、保持時間が0secのとき有意でなかったが( $F(2,14)=1.28$ , n.s.), 保持時間が2, 4, 8secのとき有意であった(2sec,  $F(2,14)=5.17$ ,  $p<.05$ ; 4sec,  $F(2,14)=10.92$ ,  $p<.01$ ; 8sec,  $F(2,14)=13.92$ ,  $p<.001$ )。Tukey法による多重比較の結果、保持時間が2secのとき、提示時間が120msの条件と1200msの条件のあいだに有意差がみられた。保持時間が4sec, 8secのとき、提示時間が120msの条件と1200msの条件のあいだ、および288msの条件と1200msの条件のあいだに有意差がみられた。

### 7.2.4 考察

実験1で凹凸数7の比較的単純な図形の場合、保持時間が0secの再認率はこの提示時間の条件でもほぼ同程度に高かった。実験2で凹凸数9の複雑な図形の場合、保持時間が0secの再認率は、提示時間が120msの条件で288ms, 1200msの条件よりやや低かった。図形が正確に獲得されるためには、比較的単純な図形の場合は120msの提示時間で十分であるが、複雑な図形の場合は120msではやや短く、300ms程度の提示時間を要することがわかる。

視覚短期記憶の記憶成績は、複雑な図形でも提示時間の増大により上昇した。提示時間が120msのとき、保持時間が2secと比較的短くても再認率はかなり低かったが、提示時間の増大により再認率は大きく上昇した。4sec, 8secの長い保持時間のとき、提示時間が120ms, 288msの条件で再認率はかなり低かったが、提示時間が1200msまで増大すると再認率は大きく上昇した。複雑な図形で保持時間が長い場合でも、提示時間の増大により保持図形の正確さは大きく高まることがわかる。

保持時間の増大により再認率は低下し続けたが、実験1と同様、4secから8secの保持時間で再認率は漸近となる傾向がみられた。Cermak(1971)によれば保持時間が12secから20secのあいだで、またKikuchi(1987)によれば4secから12secで、再認成績は漸近となったが、両研究において漸近値はチャンスレベルを上回った。これらの結果は、刺激提示から十数秒後でも、視覚刺激の正確な形状情報が完全に忘却されるわけではなく、ある程度は視覚短期記憶に保持され続けることを示唆する。実験3では、8sec以降はチャンスレベル以上の成績で漸近に達するのか、それとも8sec以降も忘却が続くのかを検討する。

## 7.3 実験3

### 7.3.1 目的

実験1, 2では保持時間が8secまでに設定されたが, どの提示時間の条件でも4secから8secの保持時間で再認率は漸近傾向となった。実験3では, 提示時間が1200msの条件で, 8sec以降も忘却が続くかどうかを検討する。

### 7.3.2 方法

**刺激** 実験1, 2と同様, 凹凸数7と凹凸数9の図形が刺激に用いられた。

**手続き** 1試行の手順は, 実験1, 2と同様。ただし, 全160試行の本試行が4セッションに分けて行われた。4セッションは凹凸数2種(7, 9)×保持時間2種(8, 16sec)により構成され, 各セッションで40試行が行われた。セッション間における提示順序はランダムであった。第1刺激と第2刺激が同じ試行と異なる試行は, 各セッションにおいて20試行ずつで半々であり, チャンスレベルは50%であった。

**被験者** 8名の大学生。

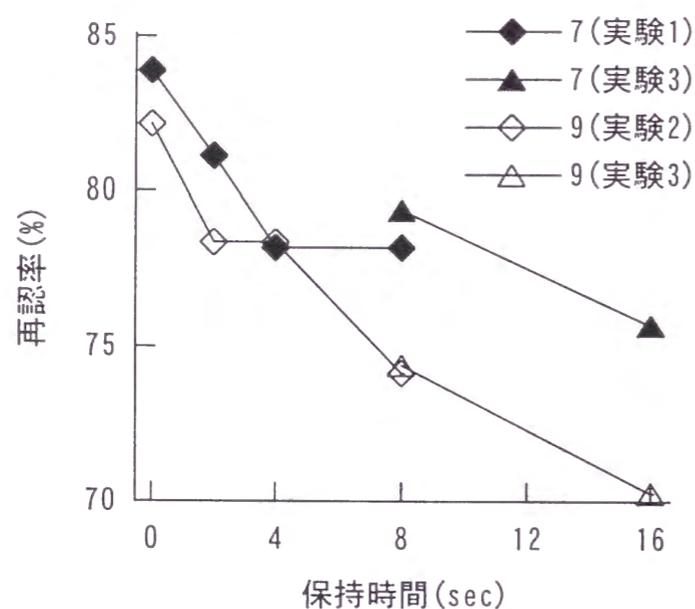


図 7.4: 実験3の結果。保持時間に対する再認率。保持時間が0secから8secのプロット値は, 実験1, 2の結果。パラメータは凹凸数を表す。

### 7.3.3 結果

図7.4は, 保持時間に対する再認率を表す。保持時間が0secから8secのデータは, 実験1, 2のデータである。凹凸数7, 9の両条件で, 8secから16secの保持時間の増大により再認率は緩やかに低下した。実験3のデータのみで凹凸数×保持時間の分散分析を行った結果, 凹凸数の主効果に有意差がみられた( $F(1,7)=7.06, p<.033$ )。保持時間の主効果( $F(1,7)=1.73, n.s.$ )、および凹凸数と保持時間の交互作用( $F(1,7)=0.01, n.s.$ )には有意差がみられなかった。

保持時間が8secの条件で, 実験1, 2の再認率と実験3の再認率に大きな差はなかった結果より, 本実験の信頼性が示された。

### 7.3.4 考察

提示時間が比較的長い1200msでも, 保持時間が8secから16secまでの増大により再認率は緩やかに低下し続けた。提示時間の長い場合, 忘却は非常に緩やかに, かなり長いあいだ続くことがわかる。提示時間の増大は忘却率の低下に大きく作用するが, 忘却をなくすのには作用しないことが示される。

提示時間, 保持時間がそれぞれ1200ms, 16secのときの再認率は, 288ms, 8secのときの再認率より高かった。そのため, 保持時間が増大したときの漸近値は, 提示時間が長い条件のほうが高いことも想定される。しかし本研究では, 推測の域をでないが, 提示時間に関わらずほぼ一定の漸近値に達すると予想する。Hole(1996)によれば, ドットの位置の弁別閾は, 20secから30secまでの保持時間の増大により上昇し続けた。本実験において, 提示時間が1200msの条件で, 16sec以降の数十秒のあいだ忘却は続くとは推測される。提示時間の増大により, 漸近に達するまでの保持時間は長くなるが漸近値はおおよそ一定であると予想される。

## 7.4 総合考察

従来, 刺激提示回数, 試行回数などにより入力過程での学習レベルを操作し, 忘却率は学習レベルに依存するかについて検討されてきた。7章では, 学習レベルを単一刺激の提示時間により操作し, 視覚短期記憶における輪郭図形の忘却率は, 入力過程での提示時間に依存するかを検討した。

### 7.4.1 学習レベルに依存した忘却率

視覚短期記憶の忘却率は, 図形の複雑さに関わらず提示時間の増大により低下した。獲得の正確さは, 凹凸数7の比較的単純な図形では100ms程度の提示

時間により、凹凸数 9 の複雑な図形では 300ms 程度の提示時間により漸近に達した。視覚情報の獲得に対し、視覚短期記憶での正確な記憶保持にはより多くの提示時間を要した。保持時間が 2sec と比較的短い場合、300ms 程度の提示時間により比較的正確に図形は記憶保持されるが、保持時間が 4sec、8sec と長い場合、正確に保持されるには 1sec 程度の提示時間が必要となった。

Rock et al.(1972)は、複雑な図形の再認が困難になる原因として、知覚および記憶保持のいずれの処理過程に容量制限があるためかを問題に取りあげた。この問題に対して Rock らは、複雑な図形では知覚の過程で正確さに制限があると結論づけた。本実験の結果は Rock らの結論と一致しない。実験 2 で凹凸数 9 の複雑な図形の場合、保持時間が 0sec の再認率は、提示時間が 120ms の条件でも 288ms、1200ms の条件と大きな差はなく、かなり高かった。複雑な図形の再認がより困難になるのは、本実験の結果によると、瞬間視により正確に知覚・獲得されるが、視覚短期記憶で正確に保持されないためと解釈される。Dale(1973)の指摘するように、知覚に要する時間と記憶保持に要する時間は大きく異なることが示される。

提示時間が 1200ms と長い条件でも、0sec から 2sec の短い保持時間の増大により忘却が生じた。提示時間を増大させても、視覚短期記憶に入力された形状情報はすぐに忘却されることが示される。また実験 3 では、保持時間が 8sec から 16sec までの増大により忘却は続いた。提示時間の増大により、視覚短期記憶の忘却率は大きく低下するが、忘却は不可避であることがわかる。

本実験では、提示時間の上限は 1200ms に設定されたが、提示時間を 1200ms より増大させても、保持図形が視覚短期記憶にとどまる限り、ある程度の忘却は生じると想定される。Dale(1973)によれば、記憶保持されるドットの位置の正確さは、0.5sec から 3sec までの提示時間の増大に対して上昇したが、3sec から 10sec までの増大に対してほとんど上昇しなかった。視覚短期記憶に及ぼす提示時間の効果には上限があり、それより提示時間を増大させても記憶成績は高まらないと理解される。本実験では、提示時間が 1200ms の条件で忘却率は低かったが、8sec 程度のあいだほとんど忘却が生じなくなるには、視覚短期記憶の表現がより長期的な記憶システムに保持される必要があると想定される。

#### 7.4.2 忘却の漸近

実験 1、2 において、保持時間が 4sec から 8sec で再認率は漸近傾向となった。実験 3 では、提示時間が 1200ms でも 16sec まで忘却が続いた結果より、漸

近に達する保持時間は提示時間の増大により長くなるが、漸近値は提示時間に依存せずほぼ一定となることが推測される。提示時間が 120ms で保持時間が 8sec の再認率が漸近値に近いと仮定した場合、漸近値はチャンスレベルを上回り、凹凸数の大きい図形のほうが低い値になることが示される。この傾向は、Kikuchi(1987)による BP の再認実験結果と一致する。

漸近値がチャンスレベルを上回る要因として、視覚短期記憶において図形の局所形状は完全に忘却されるのではなく、数十秒のあいだある程度保持され続けることが考えられる。Cermak(1971)による輪郭図形の再認実験では、12sec から 20sec の保持時間で、再認率はチャンスレベル以上の値で漸近に達した。この結果より Cermak は、輪郭図形の詳細な形状は少なくとも 20sec のあいだ、ある程度保持され続けると解釈した。保持時間が数十秒程度まで増大しても、視覚的リハーサルは図形の正確な記憶保持に作用し続けると理解される。

しかし漸近値がチャンスレベルを上回る状態は永続的でなく、保持時間が数分、数十分程度まで増大すると、記憶成績はほぼチャンスレベルまで低下すると推測される。どの程度の保持時間後に、視覚短期記憶での正確な形状情報が完全に忘却され、再認成績がチャンスレベルにまで低下するかについては、刺激図形や実験条件により異なると考えられるが、短期記憶から長期記憶への記憶表現の推移という観点から、今後の検討を要する。

## 8章 視覚短期記憶の特徴分節モデル

8章の目的は、特徴分節に基づく視覚短期記憶の再認モデルを構築し、モデルと4、6、7章の再認実験データとの適合性を検証することである。

視覚短期記憶表現の正確さが低下する原因として、本研究では記憶ノイズの発生を提案した。Lee & Harris(1996)は、視覚短期記憶で保持されるコントラスト値は外界の刺激値と一致するが、保持時間の増大によりノイズが増大するため、保持情報の正確さが低下することを実証した。保持過程において、単調減衰というよりランダムなゆらぎにより視覚情報の忘却が生じ、ノイズは視覚情報の特徴の消失でなく正確さの低下に作用するとみなされる。ドットの位置(Kinchla & Smyzer,1967)、2線分間の距離(Fahle & Harris,1992)、線分の方位(Vogels & Orban,1986)などの視覚情報に関して、記憶ノイズによる視覚短期記憶の忘却モデルが提案されている。

8章では、TとDのずれ率を信号とみなして、信号検出理論に基づく視覚短期記憶の再認モデルを提案する。モデルでは、4章から7章の再認実験で検討されてきた、図形の複雑さ、TとDの類似度、提示時間、保持時間の4つの実験変数が組み込まれる。モデルによりどの程度本実験データが説明されるかを検討する。

### 8.1 モデル

#### 8.1.1 課題成績の予測

モデルでは、視覚短期記憶の再認成績は獲得・記憶保持・判断の3過程の作用により説明されると考える(Kinchla & Smyzer,1967)。獲得過程では、瞬間視により獲得される図形の正確さと複雑さに制限がある。記憶保持過程では、獲得された形状情報は記憶ノイズにより忘却される。判断過程では、第1刺激の記憶表現と第2刺激の異同判断において、再認される差異が判断基準より大きければ「異なる」と判断されるが、判断基準は常に一定でなく分散が生じる(Kinchla,1974)。この3過程の処理制限が、再認成績の指標となる記憶感度 $d'$ を説明する要因になると考えた場合、次式が成立する。

$$d' = \frac{g(d) \cdot \Delta s'}{\sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_\beta^2}} \quad (8.1)$$

$\Delta s'$ はTとDの心理的距離、 $g(d)$ は提示時間 $d$ に対する獲得の正確さの関数、 $\sigma_m^2$

は記憶保持過程での分散、 $\sigma_\beta^2$ は判断基準 $\beta$ の分散を示す。 $\Delta s'$ は、TとDのずれ率 $\Delta s$ の関数である。3過程に分けてモデル化することにより、どの処理過程でどの程度の処理制限が生じるか明らかにされうる。

#### 8.1.2 獲得過程

図形が瞬間提示された場合、曲率の大きい凹凸部は並列処理されることから(Inui,1989)、凹凸数や凹凸部の位置などの大局形状は、複雑さに関わらず瞬間視により処理されると理解される。しかし、図形が中心窩に提示された場合、図形の各要素の正確な形状は眼球運動を要しない系列処理である内的走査により獲得される(Inui et al.,1978)。複数の凹凸部をもつ輪郭図形の場合、各凸部の正確な形状は内的走査により獲得されると考えられる。そのため凹凸数の大きい図形ほど、一定の正確さで獲得されるのに要する提示時間は長く、サンプリング率は低くなると考えられる。

一方、Loftus et al.(1993)によれば、刺激の全特徴量を1、提示時間 $t$ (ms) において獲得された特徴の割合を $I(t)$ とすると、獲得率 $r(t)$ は、

$$r(t) = \frac{1-I(t)}{c}$$

となる。 $c$ は時間を表す定数である。ここで、獲得率 $r(t)$ は $I(t)$ を $t$ で微分したものに相当するため、

$$\frac{dI(t)}{dt} = \frac{1-I(t)}{c}$$

となる。これを変数分離により解くと次式が成立する。

$$I(t) = 1 - e^{-t/c} \quad (8.2)$$

Inui et al.(1978)より、複雑な図形ほど正確に獲得されるのに要する提示時間は増大すると考えられるため、 $t$ を提示時間 $d$ (sec)に置きかえて、

$$g(t) = 1 - e^{-d/kf} \quad (8.3)$$

が成立すると仮定する。 $f$ は凹凸数、 $k$ は正の定数を表す。式(8.3)は、凹凸数の大きい図形ほど時定数 $kf$ は大きくなることを示す。BPの再生課題(Inui,1988)や物体の呼称課題(Olds & Engel,1998)など、多くの課題成績が式(8.2)により説明されることが検証されている。

#### 8.1.3 記憶保持過程

式(8.1)の $\sigma_m^2$ は、記憶保持過程で生じる記憶ノイズの総量を示す。凹部分節

による知覚は試行間と被験者間で一貫性が高く(Siddiqi et al.,1996), 視覚短期記憶では, 図形は凹部で分節されて凸部が部分として保持されるとみなされる。

本モデルでは, 各凸部の刺激値は正規ランダム変数として視覚短期記憶で保持され, 保持時間の増大により記憶ノイズが増大すると仮定する。各凸部の表現は互いに独立で, 図形に生じる記憶ノイズは各凸部に生じる記憶ノイズの総和により表されるとみなす。記憶ノイズは, 視覚短期記憶で忘却が生じる直接の要因であり, 各凸部の特徴を消失させるのではなく, 特徴の正確さを低下させるのに作用すると考える。

ここで, 記憶ノイズに関して4つの仮定をおく。

1. 提示図形が視覚短期記憶の容量内の場合, 視覚的リハーサルなどの能動的な処理作用により記憶ノイズが生じる確率は極めて低く, 0とする。
2. 記憶ノイズは各凸部ごとに生じる。
3. 各凸部に生じる記憶ノイズは, (a) 1 図形においてどの凸部でも一定であり, (b)凹凸数に関わらず一定である。
4. 記憶ノイズは保持時間の線形関数として増大する。

仮定 1.に関して, 保持時間が増大すると記憶成績は低下する報告例が多数であるが(Phillips,1974; Inui,1988), 単純な図形において保持時間が増大しても記憶成績が低下しない報告例もある(Christie & Phillips,1979)。これらの知見より, 記憶ノイズの発生は刺激図形の複雑さにより異なると仮定する。つまり, 容量以上の複雑さの図形では記憶ノイズが生じるが, 容量以内の複雑さの図形では記憶ノイズが生じる確率は極めて低く 0 に近いと仮定する。容量以内の図形の場合, 視覚的リハーサル(Shaffer & Shiffrin,1972)などの能動的な処理により, 忘却を防ぐ効果が十分であるとみなす。

仮定 2.に関して, Bartram(1978)によれば, 視覚短期記憶において図形はできるだけ少数の部分に分節して保持される。そのため, 図形は特定の凹部のみで分節され, 複数の凸部により形成される何らかのまとまりに基づいて保持されると考えられる。しかし, 特定の凹部での分節表現を仮定した場合でも, 1つのまとまり内で各凸部ごとに記憶ノイズが生じることが想定される。記憶ノイズは, 視覚短期記憶で保持されるまとまりに対してではなく, 物理的な特徴に対して生じると仮定する。

仮定 3.に関して, (a)の仮定は, 1 図形内で各凸部の顕著性に大きな差はないことに基づき (図 4.1, 図 7.1), (b)の仮定は, 各凸部が視覚短期記憶の構成単

位となることに基づく。ターゲット検出課題における Kinchla(1974)のモデルでも, 各要素に生じる分散は, 1 図形内でどの要素でも一定であり, どの要素数の図形でも一定であると仮定されている。

仮定 4.に関して, この仮定は以下の記憶特性を意味する。(a)提示図形が視覚短期記憶に転送されるとすぐに記憶ノイズが生じる。(b)記憶ノイズの発生は数秒から十数秒続く。(c)記憶ノイズは累積され, すべて忘却に影響する。これらの特性は, グレーディングのコントラスト(Magnussen et al., 1996)やドットの2点間距離(Hole,1996)の遅延弁別実験の結果と矛盾しない。また Kinchla & Smyzer(1967)は, 保持情報に生じるランダムなゆらぎは保持時間の線形関数として増大することをモデルで仮定し, その妥当性を検証している。記憶ノイズの線形性に関する妥当性は, 8.2.2 節で検討する。

上記の4つの仮定より, 保持時間  $t$  (sec)時の記憶ノイズは, 各凸部に生じる 1sec あたりの記憶ノイズを  $n_m$  とすると,

$$\begin{aligned} n_m(f-C)t & \quad (f > C) \\ 0 & \quad (f \leq C) \end{aligned} \quad (8.4)$$

となる。C は, 視覚短期記憶の容量を表す。

提示時間の増大により, 式(8.3)のように獲得の正確さが上昇する一方, 視覚短期記憶の正確さも高まる(Avons & Phillips,1980)。Nosofsky(1983)は, 検出過程で生じる感覚ノイズは入力過程の刺激提示回数の増大により低下すると指摘し, 感覚ノイズを提示回数で除算して, 単次元の絶対判断モデルを提案した。保持過程では入力直後の記憶表現に基づいてリハーサルされるため, 刺激提示直後の視覚短期記憶の痕跡強度が高いほど, 保持過程で生じる記憶ノイズは低くなると考えられる。そのため式(8.4)より,  $\sigma_m^2$  は次式で表されると仮定する。

$$\begin{aligned} \sigma_m^2 &= \frac{n_m(f-C)}{d}t & (f > C) \\ \sigma_m^2 &= 0 & (f \leq C) \end{aligned} \quad (8.5)$$

#### 8.1.4 判断過程

第2刺激の提示後, 第1刺激の記憶表現と第2刺激の差異感に基づいて異同判断が行われる。判断時の混同は, 第1・第2刺激間の心理的距離  $\Delta s'$  に大きく依存するが, 一般に  $\Delta s'$  は各特徴の差異の重みづけ総和により表される。

$$\Delta s' = \sum_{i=1}^f \omega_i s_i \quad (8.6)$$

$s_i$  は T と D の各凸部のずれ率,  $\omega_i$  は各凸部の特徴  $i$  の重みづけを表す.

本研究の再認実験で用いられた刺激図形の場合, T と D の各凸部のずれ率はどの凸部もほぼ同程度であり (図 4.2), 1 図形内でどの凸部も顕著性に大きな差はなかった (図 4.1, 図 7.1). そのため, 2 図形間における各凸部の差異はほぼ同程度に重みづけられると考えられ, 式(8.6)は次式に置き換えられる.

$$\Delta s' = \sum_{i=1}^f s_i = \Delta s \quad (8.7)$$

つまり,  $\Delta s'$  は T と D のずれ率  $\Delta s$  に相当する.

凹凸数が一定の場合,  $\Delta s'$  は式(8.7)に従う. しかし 3 章の類似度判断では, 式(3.1)より, 2 図形間の心理的距離は, 2 図形のずれ率が一定でも凹凸数の大きい図形の対ほど低下し, 各凸部の差異の平均化により算出されることが示された. そのため, 対となる 2 図形の凹凸数が異なる場合, 第 1・第 2 刺激の心理的距離は,

$$\Delta s' = \frac{a}{f} \Delta s \quad (8.8)$$

により表される.  $a$  は正の定数を表す.

判断時において, 第 1 刺激の記憶表現と第 2 刺激の差異感が判断基準  $\beta$  より大きければ「異なる」と判断されるが,  $\beta$  は各試行で常に一定ではなく, ある値を中心とした正規分布に従うと仮定される(Kinchla,1974).  $\beta$  の分散は, 刺激の反復提示回数(Nosofsky, 1983), 図形の要素数(Kinchla,1974), 保持時間(Kinchla & Smyzer,1967)に依存しないと仮定してモデル化されている. そのため本モデルでも,  $\beta$  の分散  $\sigma_\beta^2$  は,

$$\sigma_\beta^2 = n_\beta \quad (8.9)$$

により表されると仮定する.  $n_\beta$  は定数である. ただし, 被験者により  $\beta$  は異なるため,  $n_\beta$  は被験者群により異なる.

式(8.1)に式(8.3), (8.5), (8.8), (8.9)を代入すると, 次式が成立する.

$$d' = \frac{(1 - e^{-d/kf}) \cdot \frac{a}{f} \cdot \Delta s}{\sqrt{\frac{n_m(f-C)}{d} t + n_\beta}} \quad (f > C) \quad (8.10)$$

## 8.2 モデルの評価

### 8.2.1 データフィット

本モデルの予測力を検証するため, 式(8.10)のモデル式を 4, 6, 7 章の実験データにあてはめた. 8 章において, 実験 1, 2 は 4 章の実験 1, 2, 実験 3, 4 は 6 章の実験 1, 2, 実験 5, 6, 7 は 7 章の実験 1, 2, 3 に相当する. パラメータ値を探索した結果,  $k=0.01$ ,  $a=8.4$ ,  $n_m=0.219$ ,  $C=4.68$  となった.

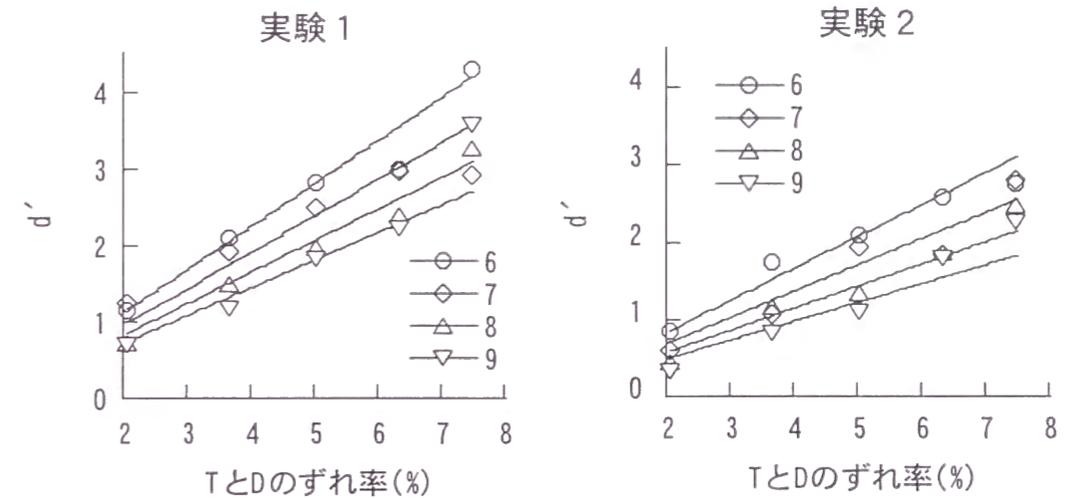


図 8.1: モデル式(8.10)を実験 1, 2 のデータにフィットさせたもの. T と D のずれ率に対する  $d'$ . パラメータは凹凸数を表す.

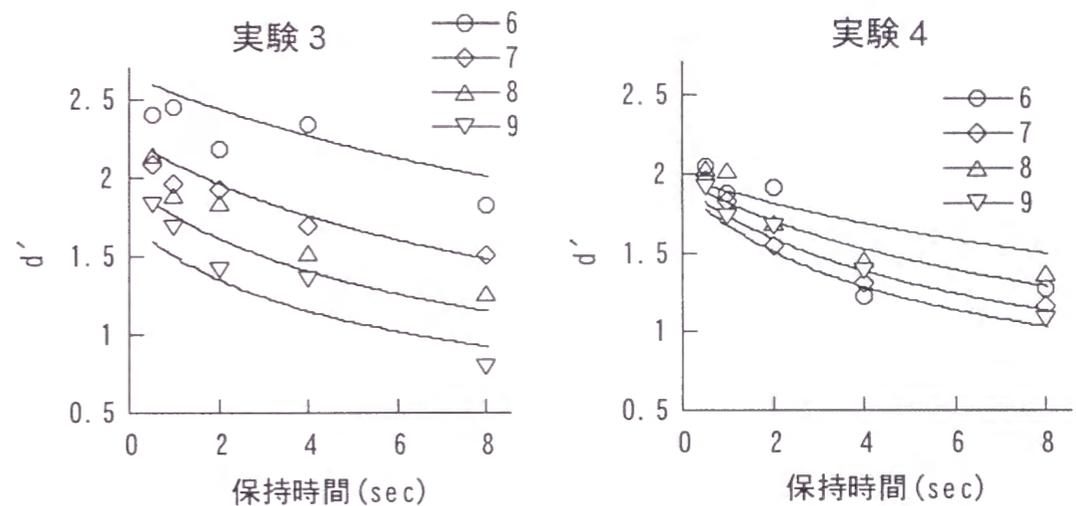


図 8.2: モデル式(8.10)を実験 3, 4 のデータにフィットさせたもの. 保持時間に対する  $d'$ . パラメータは凹凸数を表す.

各実験は異なる被験者群により行われたため、 $n_p$  は各実験により異なった。 $n_p$  は、実験1から実験6で、それぞれ6.1, 10.2, 10.8, 10.8, 9.2, 5.0であった。図8.1, 8.2, 8.3のフィッティング曲線は、上記のパラメータ値を用いた式(8.10)により、本実験データをシミュレーションしたものである。

表8.1は、実験1から実験7における、実測値と予測値を示したものである。表8.1の実測値と予測値は、実験1, 2はTとDのずれ率が5.0%の条件、実験3, 4, 5, 6は保持時間がそれぞれ4sec, 1sec, 8sec, 8secの条件の値である。4つという多くの実験変数に対して、比較的少ない5つのパラメータ設定により、多くの心理実験結果が本モデルによりうまく説明されることが示される。別個の実験要因について検討した本研究の実験結果が関連づけられ、より一般的な枠組みで視覚短期記憶特性を説明するモデルが実現された。

### 8.2.1.1 実験1・2

図8.1は、TとDのずれ率に対する $d'$ を示す。ISI=0secの再認(実験1)、ISI=1secの再認(実験2)の課題成績は、TとDのずれ率の増大により直線的に高まったが、この結果はモデルによりうまく説明された。輪郭図形の再認成績は、TとDのずれ率を信号とみなした信号検出理論に従うことが示される。

Rock et al.(1972)は、複雑な図形の正確な再認が困難になることを指摘したが、記憶保持過程を含まない瞬時の再認においても、複雑な図形ほど再認成績は低下した。複雑な図形の再認が困難になる要因は、必ずしも記憶容量の制限でな

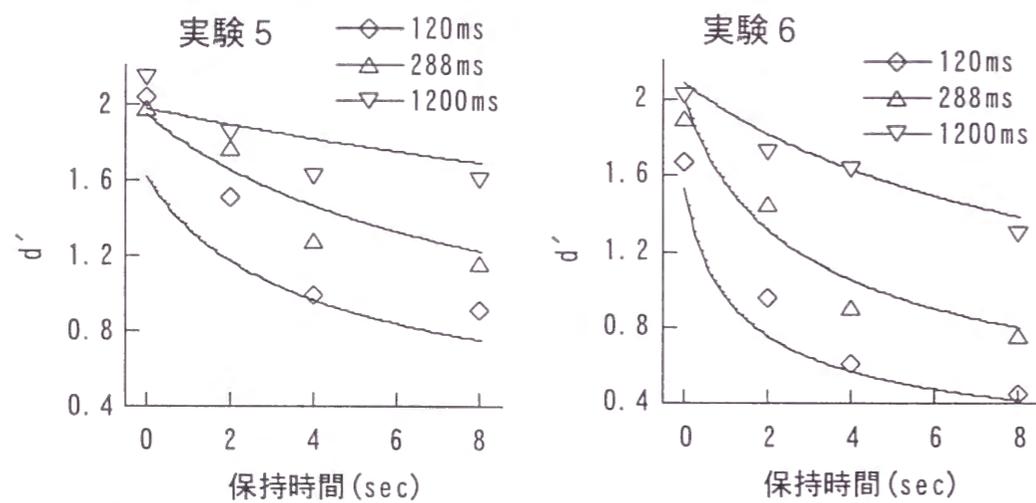


図8.3: モデル式(8.10)を実験5, 6のデータにフィットさせたもの。保持時間に対する $d'$ 。パラメータは提示時間を表す。

表8.1: 実験1から実験7における実測値と予測値。( )内が予測値。

	凹凸数			
	6	7	8	9
実験1	2.82 (2.81)	2.51 (2.39)	1.98 (2.07)	1.83 (1.81)
実験2	2.08 (2.07)	1.94 (1.71)	1.35 (1.43)	1.10 (1.22)
実験3	2.34 (2.27)	1.69 (1.76)	1.53 (1.41)	1.36 (1.15)
実験4	1.88 (1.89)	1.82 (1.82)	2.03 (1.75)	1.73 (1.67)

	提示時間		
	120ms	228ms	1200ms
実験5	0.91 (0.75)	1.16 (1.22)	1.60 (1.69)
実験6	0.45 (0.42)	0.76 (0.80)	1.30 (1.39)

	凹凸数 (保持時間)			
	7 (8sec)	7 (16sec)	9 (8sec)	9 (16sec)
実験7	1.64 (1.69)	1.40 (1.50)	1.32 (1.39)	1.07 (1.11)

いことが示される。式(8.3)において $k=0.01$ のとき、288msの提示時間では図形の複雑さにより獲得の正確さに大きな差はないことから、図形の複雑さは式(8.8)での判断過程の混同に大きく作用することが示される。

### 8.2.1.2 実験3・4

図8.2は、保持時間に対する $d'$ を表す。実験3はTとDの物理的差異がどの凹凸数でも一定の条件、実験4はTとDの心理的類似度がどの凹凸数でもほぼ一定の条件である。再認実験では、図形の忘却はどの凹凸数の図形でも8secのあいだ続いた。記憶ノイズは保持時間の増大により累積されることが示され、モデルの仮定と一致する。実験3の再認実験では、複雑な図形ほど忘却率はやや高かったが、モデルにおいて複雑な図形ほど忘却率は微妙に高くなり、データはモデルによりうまく説明された。実験4の再認実験では、忘却率は図形の複雑さによりほとんど差はなかったが、モデルにおいて複雑な図形ほど忘却率

はやや高くなり、データとモデルにやや不一致がみられた。

### 8.2.1.3 実験5・6・7

図 8.3 は、保持時間に対する  $d'$  を表す。再認実験では、比較的単純な図形（実験 5）、および複雑な図形（実験 6）において、提示時間の増大により忘却率は大きく低下したが、この結果はモデルによりうまく説明された。提示時間の増大により獲得、および記憶保持の正確さは高まるが (Loftus, 1993; Avons & Phillips, 1980)、獲得は 300ms 程度の提示時間で十分であるのに対し、視覚短期記憶で数秒のあいだ正確に保持され続けるには、1sec 程度の提示時間が必要になることが示される。式(8.5)より、記憶ノイズは入力過程における提示時間の反比例関数として低下することが検証された。

実験 7 では、1200ms の比較的長い提示時間でも、8sec から 16sec の保持時間の増大により図形の忘却は続いたが、この結果はモデルによりうまく説明された。保持時間が 16sec と増大した場合も、記憶ノイズと保持時間の線形関係は保たれ、モデル式(8.10)は実験データをうまく説明することが検証された。

### 8.2.2 記憶ノイズの線形性

8.1.3 節では仮定 4.により、記憶ノイズと保持時間の線形性が仮定された。この仮定の妥当性を検証するため、式(8.8)を式(8.1)に代入して変形させると、

$$\sigma_m^2 + \sigma_\beta^2 = \left( \frac{\Delta s}{d'} \cdot \frac{a}{f} \cdot g(d) \right)^2 \quad (8.11)$$

となる。 $\sigma_m^2 + \sigma_\beta^2$  は再認記憶課題において生じる全分散であり、全分散は  $(d')^2$  の反比例関数として表される。

また式(8.11)の左辺は、式(8.5)、式(8.9)より、

$$\sigma_m^2 + \sigma_\beta^2 = \frac{n_m(f-C)}{d} t + n_\beta \quad (8.12)$$

と表される。つまり本モデル式(8.12)に従えば、全分散は、切片を  $n_\beta$  とした保持時間  $t$  の線形関数により表される。

図 8.4 は、実験 3、実験 6 において、 $k=0.01$ ,  $a=8.4$  を用いた式(8.11)により算出される全分散の推定値が、 $n_m=0.219$ ,  $C=4.68$  を用いたモデル式(8.12)によりどの程度予測されるかを示したものである。説明率  $r^2$  は、実験 3 において凹凸数 6, 7, 8, 9 のとき、それぞれ .558, .922, .652, .785、実験 6 において提示時間 120ms, 288ms, 1200ms のとき、それぞれ .912, .905, .890 となった。全

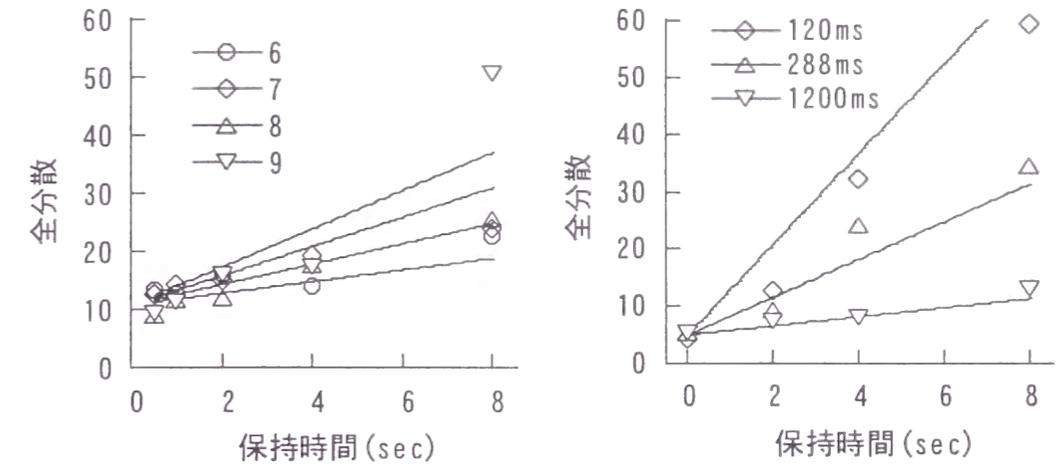


図 8.4 : 式(8.12)の予測式を、式(8.11)により算出される全分散の推定値にフィットさせたもの。左図が実験 3、右図が実験 6 の結果で、パラメータはそれぞれ凹凸数、提示時間を表す。

分散は、式(8.12)によりかなり正確に予測されることが示される。

全分散  $\sigma_m^2 + \sigma_\beta^2$  において、式(8.9)より  $\sigma_\beta^2$  は定数であることから、記憶ノイズ  $\sigma_m^2$  は保持時間  $t$  の線形関数として増大することが実証され、8.1.3 節での仮定 4.の妥当性が導かれる。また、図 8.4 の切片は判断基準の分散を示すが、実験 3 で保持時間が 0sec に近い 0.5sec の実験データはどの凹凸数でもほぼ一定、実験 6 で保持時間が 0sec の実験データはどの提示時間でもほぼ一定であった。判断基準の分散は刺激図形の複雑さ、および提示時間に依存しないと仮定した、式(8.9)の仮定の妥当性が示される。

## 8.3 総合考察

本モデルにより示される主な知見は、以下のようなになる。

- (1) 輪郭図形の再認成績は、T と D の差異の線形関数として表され、T と D の差異を信号とみなしたときの信号検出理論に従う。
- (2) 視覚短期記憶の再認は、獲得・記憶保持・判断の 3 過程により説明される。
- (3) 記憶ノイズは保持時間の線形関数として増大する。
- (4) 記憶ノイズの増加率は、提示時間の反比例関数として低下する。
- (5) 保持時間が増大しても再認成績が低下しない図形の複雑さを視覚短期記憶

の容量とみなすと、容量は凹凸数 4 の複雑さである。

- (6) 判断基準の分散は、凹凸数、および提示時間に依存せず一定である。
- (7) 図形の凹凸数は、再認時の差異感の低下に大きく影響し、判断過程の混同に大きく作用する。

従来、複雑な図形の再認が困難になることが指摘されてきた。Rock et al.(1972) は知覚過程で複雑さが大きく作用すると指摘し、Phillips(1974)は記憶保持過程での容量に制限があると指摘した。しかし、3過程のうちどの処理過程で複雑さが大きく作用したかを実験データのみから実証するのは難しい。本モデルでは、図形の複雑さの増大による3過程の処理制限作用を分離して検討した。図形の獲得の正確さはどの複雑さの図形でも500ms程度で飽和し、図形の複雑さは獲得過程に大きく影響しなかった。また、 $n_m$ は比較的小さい値となり、記憶ノイズによる忘却は比較的小さく、複雑さは記憶保持過程にそれほど大きく影響しなかった。しかし式(8.8)のように、 $\Delta s$ が一定でも複雑さの増大によりTとDの心理的距離は大きく低下し、判断過程の混同は大きく増大することが示された。複雑な図形の再認が困難になるのは、判断過程の混同が大きな要因であることが導かれる。

視覚短期記憶における閾値は、保持時間が増大すると単純な視覚刺激でも増大するが(Fahle & Harris,1992; Vogels & Orban,1986)、図形の再認成績は、保持時間が増大しても単純な図形で記憶成績が低下しない報告例がある(Christie & Phillips,1979)。また再生実験においても、提示図形を完全な正確さで再生できる複雑さの範囲があり、 $3 \times 3$ から $4 \times 4$ のBPのマトリックス数程度である(Inui,1988)。これらの知見より、ある複雑さ以下の図形の場合、視覚短期記憶において記憶ノイズによる忘却はほとんど生じないと判断される。保持時間が増大しても図形の正確な形状情報がほとんど忘却されない複雑さを視覚短期記憶の容量と定義すると、記憶容量は凹凸数4の複雑さであることが本モデルにより示される。この複雑さは、Attneave & Curlee(1983)やInui(1988)の再生実験により視覚短期記憶の容量として示された、 $3 \times 3$ から $4 \times 4$ 程度のBPのマトリックス数に相当すると推測される。

記憶容量を上回る図形では、凹凸数6の単純な図形でも記憶ノイズにより忘却が続いた。獲得過程での成績は500ms程度で飽和したことから、内的走査による図形の獲得には多くの提示時間を要しないと見える。それに対して、視覚

短期記憶での正確な保持には多くの提示時間を要する。モデルでは、単位時間あたりに生じる記憶ノイズは刺激提示時間の反比例関数として低下することが示された。各凸部の刺激値のランダムなゆらぎは、提示時間の増大により大きく弱まると思われる。Avons & Phillips(1980)によれば、視覚短期記憶表現は瞬時に構成されるが、長期記憶表現は緩やかに形成される。またInui(1988)の再生実験によれば、複雑な図形の再生成績は提示時間が9sec程度まで増大しても上昇しなかった。図形の忘却がほとんど生じないためには、かなり長い提示時間により、短期記憶表現がより長期的な記憶システムに固定化される必要があると解釈される。

単純な図形でも忘却が続いた一方で、 $n_m$ の値は比較的低く、保持時間が8secと長くても記憶成績は大きく低下しなかった。 $2$ ドット間の距離(Hole,1996)や $2$ 線分の距離(Fahle & Harris,1992)などの視覚情報も、保持時間の増大により忘却されつつ、比較的長いあいだ正確に視覚短期記憶に保持される。視覚短期記憶に転送された視覚情報は言語情報の場合と同様、記憶保持過程でリハーサルされる(Shaffer & Shiffrin,1972)。リハーサルなしの条件で記憶成績は大きく低下することから(Dale,1973)、リハーサルは視覚短期記憶での正確な保持に大きく機能すると理解される。視覚短期記憶表現の安定性は、保持時間が数秒程度経過しても比較的高いと解釈され、それゆえ、複雑な視覚シーンの特徴を系列的にスキャンした場合でも、1つの安定した知覚像が得られるといえる。

Lee & Harris(1996)は、図形のあらゆる物理属性が同じ正確さで視覚短期記憶に保持されるのではないことを指摘した。視覚刺激の属性により忘却の有無は異なり、格子のコントラストは忘却されるが、空間周波数は少なくとも10secのあいだ完全な正確さで保持される(Magnussen et al.,1996)。視覚短期記憶では、大局形状は忘却されにくいことから(Inui,1988)、凹凸数、凹凸部の位置などの大局形状は、記憶ノイズにより忘却されず視覚短期記憶で正確に保持されると考えられる。

## 9章 総括

本研究は、視覚短期記憶の再認に大きく影響する、図形の複雑さ、TとDの類似度、提示時間、保持時間の4実験変数を操作して、視覚短期記憶の時空間特性を検討した。刺激図形の物理的な形状特性により記憶特性は大きく異なるため、2,3章では、図形の物理変数を規定し、再認記憶の媒介変数として図形の物理量に対する心理量を測定した。4,5章では、視覚短期記憶の空間特性として、判断過程の混同効果と再認記憶に及ぼす物理変数について検討した。6,7章では、視覚短期記憶の時間特性として、忘却率に及ぼす図形の複雑さと刺激提示時間の効果を検討し、保持過程で増大し続ける記憶ノイズに関して考察した。そして8章では、獲得、記憶保持、判断の3過程に基づく視覚短期記憶の再認モデルを構築し、本実験データとの適合性を検証した。

9章では、本研究での心理実験およびモデルにより、視覚短期記憶の時空間特性に関するいかなる知見が得られたかを述べる。

### 9.1 分節表現

外界の物体に関して、凸形状をなす部分どうしの結合により凹部が生成される(Hoffman & Richards,1984)。そして、知覚および記憶保持過程において凹部分節の法則が機能する。被験者は実際に2次元図形を凹部で分節し(Siddiqi et al.,1996)、凹部による分節は形状記憶の基本的原理となる(Beusmans et al.,1987)。これらの知見より本研究では、2次元図形は凹部で分節され、各凸部の刺激値は正規ランダム変数として視覚短期記憶で保持されると仮定した。そして記憶保持過程だけでなく、獲得過程において各凸部ごとの内的走査を仮定し、また判断過程において各凸部ごとの特徴照合を仮定した。これらの仮定を前提として8章では再認モデルが構築されたが、モデルと実験データとの適合性がかなり高かった。再認記憶の3過程において、凸部の部分ごとに処理されることが十分条件として成立することが示される。

2章の複雑さ評定と5章の再認実験で、図形の知覚、および記憶保持に周囲長が直接的に影響しない結果より、両過程は凹凸構造に基づくことが検証された。2章では、凹凸数5から凹凸数10の範囲において、1凹凸数の増大に対して図形の心理的複雑さは増大し続け、6章では、凹凸数6から凹凸数9までの増大によりゆるやかに忘却率は上昇した。図形の符号化、および忘却率に1凹凸数の増大が作用する結果より、視覚短期記憶で生じる記憶ノイズは、複数の

凸部により形成される何らかの意味でのまとまりごとではなく、各凸部ごとに生じることが推測される。

視覚短期記憶における分節の役割の1つとして、一度にリハーサルできる図形の複雑さに制限があるため、分節により各部分が系列的にリハーサルされることが考えられる。視覚短期記憶での分節数は図形の複雑さの増大により大きくなるが(Inui,1988)、できるだけ分節数が少なくなるように、1つのまとまりは一度にリハーサル可能な範囲で複雑になるように分節されると思われる。

### 9.2 記憶ノイズとリハーサル

凹凸数6の単純な図形でも忘却は数秒から十数秒のあいだ緩やかに生じ、記憶ノイズは保持時間の線形関数として増大することが示された。記憶ノイズと保持時間の関数関係は、ドットの位置の弁別閾(Kinchla & Smyzer,1967)は本研究と同様に線形関数となり、線分の方位の弁別閾(Vogels & Orban,1986)、格子のコントラスト閾(Lee & Harris,1996)はべき関数が成立する。両者の関数関係は視覚刺激に特異であると推測される。

しかし単位時間あたりの記憶ノイズは比較的小さく、6章では、複雑な図形で保持時間が8secまで増大してもそれほど大きく忘却されないことが示された。2ドット間の距離(Hole,1996)や2線分の距離(Fahle & Harris,1992)などの視覚情報も、保持時間の増大により忘却されつつ、比較的長いあいだ正確に視覚短期記憶で保持される。保持過程で妨害課題を含むリハーサルなしの場合、記憶成績は大きく低下することから(Dale,1973)、輪郭図形の記憶保持過程においてリハーサルが効果的に機能するため、各凸部の形状が比較的正確に保持され続けると考えられる。

本研究で記憶ノイズは各凸部ごとに生じると仮定したが、リハーサルは個々の凸部ごとでなく、複数の凸部により形成される何らかのまとまりごとに行われると推測される。この系列的なりハーサルの場合、常には各まとまりはリハーサルされないために忘却が生じると思われる。凹凸数4の図形の場合、一度にリハーサルできる複雑さの範囲であるため、保持図形は常に活性化状態となり、記憶ノイズによりほとんど忘却されないと推測される。

### 9.3 記憶容量

視覚短期記憶の容量に関して、再生実験ではBPで3×3から4×4のマトリックス数程度の複雑さであることが検証されてきたが、本モデルでは凹凸数4の複雑さであることが示された。ほとんど忘却されずに数秒程度保持され続

ける図形の複雑さは、かなり低いことがわかる。輪郭図形での凹凸数4の複雑さは、再生実験により記憶容量として測定される3×3から4×4程度のBPの複雑さに相当すると想定される。

Palmer(1990)の部分報告法によれば、線分数が1本から4本の範囲において、線分数の大きい複雑な図形ほど、各線分は低い正確さで視覚短期記憶に保持される。閾レベルでの高い正確さの場合、1本から2本の少ない範囲でも、視覚情報が増大すると各要素の記憶保持の正確さは低下することがわかる。しかしPalmer(1990)は、線分数の増大により各線分の閾値は増大するが、4線分であれば、保持過程で視覚的な注意が配分されうる複雑さの範囲内であると指摘した。本研究とPalmer(1990)の研究では、全体報告・部分報告、また輪郭図形・線分図形と多くの点で異なるが、保持過程で視覚的リハーサル・視覚的注意が全要素・全部分に同時に配分されうるのは4つ程度であることが示唆される。

本研究は単一図形の複雑さにより記憶容量を検討したが、Phillips & Christie(1977)によれば、複数の無意味図形が系列提示された場合、図形の正確な再認は最後の系列刺激のみとなる。そして、刺激提示後の妨害課題により最後の系列刺激も正確な再認が困難になる。視覚短期記憶では2パターン以上を正確に保持できず、図形の正確な形状は保持過程で常にリハーサルされない条件下では忘却されると理解される。しかしWalker et al.(1993)は、学習刺激とテスト刺激のTとDの類似度が低い条件では、最後の系列刺激以前の3パターンもチャンスレベル以上の再認成績になる結果を示した。そして、視覚短期記憶では複数の系列パターンが保持されうると主張した。これらの知見より、極めて正確に保持されるのは1パターンのみであるが、4パターン程度であればある程度の正確さで視覚短期記憶に保持されることが示される。

本研究やPalmer(1990)、Walker et al.(1993)らの結果を総合すると、1図形の要素数、パターン数のいずれにしろ、視覚短期記憶で同時に視覚化される容量は、4±1の範囲であることが示唆される。

#### 9.4 忘却の漸近

BP(Kikuchi,1987)、輪郭図形(Cermak,1971)において、再認成績がチャンスレベル以上で漸近に達する例が多い。Cermak(1971)は輪郭図形の再認実験で、12secから20secの保持時間でチャンスレベル以上の値で漸近に達した結果より、図形の詳細な形状は少なくとも20secのあいだ、ある程度は保持され続けると解釈した。7章では、提示時間の短い120ms、288msの条件では、保持時間が4sec

から8secのあいだでチャンスレベル以上の再認成績で漸近傾向がみられた。数十秒程度のあいだであれば、輪郭図形の各凸部の形状は忘却されつつある程度正確に保持され続けると推測される。

Avons & Phillips(1980)は、短期記憶での活性化状態と長期記憶での固定化状態は異なり、短期記憶表現は300ms程度の提示時間で形成されるが、長期記憶に固定化されるにはより多くの提示時間を要することを指摘した。7章の実験3では、1200msの比較的長い提示時間でも緩やかに忘却は生じ、記憶表現は視覚短期記憶にとどまると思われる。図形が視覚短期記憶に保持される限り、記憶容量を上回る複雑さの図形では、提示時間を増大させても忘却は不可避であると推測される。1200msよりさらに提示時間を増大させた場合、短期記憶より長期的な記憶システムに保持されることにより、十数秒程度の保持時間であればほとんど忘却が生じないと推測される。

ただし、上記で述べた長期的な記憶システムは長期記憶と異なる。視覚長期記憶において、アフリカ地図の大域形状は保持されているが、局所形状は忘却されていることが検証されている(Inui,1989)。能動的なリハーサルにより、正確な局所情報が短期記憶に保持されるが、長期記憶において無意味図形の微妙な形状が保持されるのは困難と思われる。短期記憶から長期記憶への記憶表現の推移は、心理学的・生理学的に興味深い問題である。この問題を検討する1つの視点として、視覚短期記憶における大局・局所による階層表現と、視覚長期記憶における大まか・詳細の多重解像度表現との比較検討が提起される。

#### 9.5 差異に基づく再認判断

顔など、目、鼻、口と多次元的な物理特性を持つ刺激図形の場合、刺激間の共通特徴の増大により図形間の心理的類似度は高まり(Tversky,1977)、再認判断の混同は増大する(Ashby & Perrin,1988)。3、4章では、輪郭図形のずれ率のみの次元に関する類似度判断を検討し、図形の複雑さの増大により心理的類似度、および再認の混同は高まることが検証された。単一次元、多次元のいずれの操作による場合も、図形間の心理的類似度と再認の混同は共変することが示される。ただし、心理的類似度のみが再認困難性を規定する要因となるのではなく、5章では記憶ノイズによる忘却は図形の周囲長でなく凹凸構造に基づき、物理的な凹凸構造も再認困難性に作用することが示された。

また3、4章では、TとDのずれ率の増大により2図形間の心理的距離、および再認成績は線形的に上昇することが検証された。図形の異同判断の戦略と

して、第1刺激の既知感に基づくものと差異感に基づくものが考えられるが、本研究ではTとDの物理的差異が微妙であったため、第1・第2刺激の差異感に基づいて異同判断が行われたと考えられる。8章では、モデルと実験データの適合性が高く、輪郭図形の再認成績はTとDのずれ率を信号とする信号検出理論に従うことが示された。ドットの位置(Kinchla & Smyzer,1967)や線分の方位(Vogels & Orban,1986)などの再認成績に関しても、第1・第2刺激間のドット距離、および方位差を信号 $\Delta s$ とした信号検出理論に従うことが実証されている。多くの視覚短期記憶データは、差異に基づく再認モデルによりうまく説明されることがわかる。

## 9.6 今後の展望

### 9.6.1 曲率の短期記憶特性

本研究での輪郭図形は、閉図形を図とみた場合、各凸部の結合により構成されるとみなせる。本研究では、視覚短期記憶において図形は凸部の空間配列により表現され、各凸部の刺激値は正規ランダム変数として保持されると提案した。そして、保持時間の線形関数として記憶ノイズが増大するため、輪郭図形の各凸部の正確さが低下して視覚短期記憶に保持されると仮定した。この仮定に基づき再認モデルを構築し、シミュレーションを行った結果、本実験結果がうまく説明されたことから、この仮定の妥当性が示された。

しかし、各凸部の刺激値が正規ランダム変数として保持されることは、本実験結果を説明する十分条件であって、必要条件ではない。視覚短期記憶において、各凸部の刺激値が大小いずれかの方向に変容し続けるため、保持図形の正確さが低下し、忘却が生じることも考えられる。そのため、実際に各凸部が正規ランダム変数として視覚短期記憶で保持されるかを検証する必要がある。その方法として、視覚短期記憶における曲率の閾測定が考えられる。

曲率の短期記憶研究の意義として、以下の点があげられる。(1)曲率検出に関する研究は多いが、曲率の短期記憶に関する研究例はほとんどない。(2)曲率は、2次元図形、および3次元物体を構成する最も基本的な形状特性である。(3)2次元パターンの場合、図形のもつ物理変数が多次元的なため、記憶表現の特性を生理学的に説明するのは困難であるが、曲率の記憶表現は生理学的に説明されやすい。

刺激は、Wilson(1985)による上に凸の2次曲線を用いる。2次曲線  $y=Ax^2$  を刺激に用いる最大の利点は、次式

$$\kappa = \frac{2A}{(1+4A^2x^2)^{3/2}}$$

により凸状の曲率 $\kappa$ が容易に算出され、 $x=0$ のとき曲率 $\kappa$ は極大値 $2A$ をとる点にある。

測定方法は一般的によく用いられる恒常法であり、Lee & Harris(1996)による視覚短期記憶における格子のコントラスト閾の測定方法を参考にする。Leeらは、保持時間が増大しても主観的等価点(Point of Subjective Equality; PSE)は一定で、丁度可知差異(Just Noticeable Difference; JND)だけが上昇することを検証した。つまり、保持時間の増大に対して、外界のコントラスト値は一定に保持され続けるが、分散が増大するため記憶保持の正確さが低下し忘却が生じることを示した。この手法で、視覚短期記憶における凸形状の曲率閾を測定する。そして、PSEの測定により視覚短期記憶での曲率の期待値は外界の曲率値と一致するか、またJNDの測定により曲率値の分散は保持時間のいかなる関数で増大するか、を検証する。Leeらの場合、JNDは保持時間のべき関数として増大したが、JNDと保持時間の関数関係は刺激に特異か、などを検討する。曲率の短期記憶データにより、本実験の凹凸輪郭図形の再認データがある程度予測されるのではないかと考えている。

### 9.6.2 忘却時の動的過程

8章のモデルでは、記憶保持過程で記憶ノイズが増大するため忘却が生じると仮定され、ノイズ仮説の十分性が示された。しかし分散の増大は、視覚短期記憶の忘却が生じる原因であると同時に、記憶保持過程で何らかの動的プロセスが生じた結果でもある。分散増大の要因の1つに、Kinchla & Smyzer(1967)の拡散モデル(diffusion model)で仮定されたランダムウォークがあげられる。モデルでは、記憶保持過程でドットがランダムウォークするため、入力刺激位置の分散が増大すると仮定された。そして彼らは、モデルと実験データとの適合性により、ランダムウォークによる分散増大の十分性を実証した。

ランダムウォークはブラウン運動を理想化した物理モデルで、刺激値の時間的な変動を確率的に表す。8章のモデルでは、刺激値の分散増大の機構について言及しなかったが、次の2点により、各凸部の刺激値がランダムウォークするため分散が増大すると仮定されうる。

(1)ランダムウォークモデルでは、保持時間 $t$ の増大により、 $t$ 時の刺激値の期待値は入力刺激値と不変で分散が増大する。この現象は、保持時間の増大によ

り刺激値の PSE は一定で JND が増大する Lee & Harris(1996)や Nilsson & Nelson(1981)の視覚短期記憶データと一致する。

(2)ランダムウォークモデルでは、刺激値の分散は保持時間の線形関数として増大するが、この点は8章のモデルと一致する。

今後、視覚短期記憶における刺激値の変動過程を検討する必要があるが、その試みの1つとして、保持過程でのランダムウォークによる刺激値の分散増大があげられる。そして、いかにして短期記憶表現が視覚長期記憶に固定化されるかの問題に発展させる必要がある。

本研究は、刺激図形に強い制約を設定して、視覚短期記憶の表現・忘却特性について検討した。刺激図形の各凸部の顕著性はほぼ一定に設定され、TとDのずれはどの凸部もほぼ一定に設定された。また、比較的円形に近いランダム図形が刺激に用いられ、規則性や中心軸に基づく記憶方略について着眼されなかった。そして、各凸部は規則的に配列され、特徴の空間配列に関する記憶保持特性は検討されなかった。定性的な視覚短期記憶特性に関して、今後の検討を要する。

## 9.7 結論

外界の物体は凸形状からなる構成要素に基づいて記述され、凹部が分節部となる。図形の心理的複雑さは、図形の周囲長でなく凹凸構造に基づき、凹凸数の増大により間接的に周囲長が心理的複雑さに影響する。視覚短期記憶において、記憶ノイズは周囲長でなく凹凸部ごとに生じ、凹凸数が一定の条件では周囲長は記憶の負荷とならない。凹部分節による図形の表現、および各凸部の刺激値が正規ランダム変数として保持されることは、視覚短期記憶における輪郭図形の再認を説明する十分条件として成立する。

輪郭図形の再認記憶は、2図形間の物理的差異を信号とする信号検出理論により説明される。2図形間の差異が非常に微妙な場合、差異感に基づいて再認されるとみなせるが、2図形間の心理的距離、および再認成績は2図形間の物理的差異の線形関数として上昇する。そして図形の複雑さの増大により、2図形間の心理的距離は大きく低下し、判断過程の混同は大きく増大する。図形の複雑さは、獲得、記憶保持、判断の3過程の処理制限に作用するが、判断過程の混同が複雑な図形の再認が困難になる大きな要因となる。

視覚短期記憶では保持時間の線形関数として記憶ノイズは増大し、ほとんど忘却しないで保持されうる図形の複雑さは非常に低い。しかし、視覚的リハーサルなどの能動的処理により、複雑な図形でも比較的忘却率は低くなる。また、記憶ノイズの増加率は入力過程での刺激提示時間の反比例関数として低下する。視覚短期記憶で図形の局所形状は完全に忘却されず、ある程度正確に数十秒のあいだ保持され続ける。視覚長期記憶では大域形状のみが保持されることから、短期記憶表現から長期記憶表現への推移に関して、今後の検討を要する。

## 謝辞

情報学研究科の乾教授、齋木助教授、森崎助手には、博士論文作成に際しご協力頂き、誠に感謝致します。特に乾教授には、日々懇意で厳格なご指導、折に際して叱咤激励を頂き、心より感謝の意を表します。齋木助教授には、視覚短期記憶に関する数々の貴重なご意見を頂き、深く感謝致します。また、文学研究科在籍中に大変お世話になりました、清水教授、苧阪教授、藤田教授、山下助手に感謝致します。

## 引用文献

- Ashby,F.G. & Perrin,N.A. (1988). Toward a unified theory of similarity and recognition. *Psychological Review*, **95**, 124-150.
- Attneave,F. (1954). Some informational aspects of visual perception. *Psychological Review*, **61**, 183-193.
- Attneave,F., & Arnoult,M.D. (1956). The quantitative study of shape and pattern perception. *Psychological Bulletin*, **53**, 452-471.
- Attneave,F. (1957). Physical determinants of the judged complexity of shapes. *Journal of Experimental Psychology*, **53**, 221-227.
- Attneave,F., & Curlee,T.E. (1983). Locational representation in imagery: A moving spot task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **9**, 20-30.
- Avons,S.E., & Phillips,W.A. (1980). Visualization and memorization as a function of display time and poststimulus processing time. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, **6**, 407-420.
- Bartram,D.J. (1978). Post-iconic visual storage: Chunking in the reproduction of briefly displayed visual patterns. *Cognitive Psychology*, **10**, 324-355.
- Beusmans,J.M.H., Hoffman,D.D., & Bennett,B.M. (1987). Description of solid shape and its inference from occluding contours. *Journal of Optical Society of America*, **A**, **4**, 1155-1167.
- Biederman,I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, **94**, 115-147.
- Bogartz,R.S. (1990). Evaluating forgetting curves psychologically. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **16**, 138-148.
- Bower,G.H., & Glass,A.L. (1976). Structural units and the redintegrative power of picture fragments. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, **2**, 456-466.
- Cermak,G.W. (1971). Short-term recognition memory for complex free-form figures. *Psychonomic Science*, **25**, 209-211.
- Chipman,S.F. (1977). Complexity and structure in visual patterns. *Journal of Experimental Psychology: General*, **106**, 269-301.
- Christie,D.F.M., & Phillips,W.A. (1979). Simple drawing and pattern completion techniques for studying visualization and long-term visual knowledge. *Memory & Cognition*, **7**, 360-367.
- Cortese,J.M., & Dyre,B.P. (1996). Perceptual similarity of shapes generated from Fourier descriptors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **22**, 133-143.
- Dale,H.C.A. (1973). Short-term memory for visual information. *British Journal of Psychology*, **64**, 1-8.
- Fahle,M., & Harris,J.P. (1992). Visual memory for vernier offsets. *Vision Research*, **32**, 1033-1042.
- Frick,R.W., & Rose,A.D. (1986). The suffix effect and preattentive unit-formation in visual short-term memory. *Canadian Journal of Psychology*, **40**, 97-108.
- Greenlee,M.W., & Magnussen,S. (1998). Limited-capacity mechanisms of visual discrimination. *Vision Research*, **38**, 375-385.
- Hoffman,D.D., & Richards,W.A. (1984). Parts of recognition. *Cognition*, **18**, 65-96.
- Hole,G.J. (1996). Decay and interference effects in visuospatial short-term memory. *Perception*, **25**, 53-64.
- Ichikawa,S. (1985). Quantitative and structural factors in the judgment of pattern complexity. *Perception & Psychophysics*, **38**, 101-109.
- Inui,T., Kawato,M., & Suzuki,R. (1978). The mechanism of mental scanning in foveal vision. *Biological Cybernetics*, **30**, 147-155.
- Inui,T. (1988). Properties of human visual memory for block patterns. *Biological Cybernetics*, **59**, 179-187.
- Inui,T. (1989). A model of human visual memory: Data compression with multi-resolution. *The 6th Scandinavian Conference on Image Analysis*, 19-22.
- Kelly,R.T., & Martin,D.W. (1974). Memory for random shapes: A dual-task analysis. *Journal of Experimental Psychology*, **103**, 224-229.
- Kikuchi,T. (1987). Temporal characteristics of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **13**, 464-477.
- Kinchla,R.A., & Smyzer,F. (1967). A diffusion model of perceptual memory. *Perception & Psychophysics*, **2**, 219-229.
- Kinchla,R.A. (1974). Detecting target elements in multielement arrays: A confusability

- model. *Perception & Psychophysics*, **15**, 149-158.
- Lee, B., & Harris, J. (1996). Contrast transfer characteristics of visual short-term memory. *Vision Research*, **36**, 2159-2166.
- Loftus, G.R. (1985). Evaluating forgetting curves. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **11**, 397-406.
- Loftus, G.R., Busey, T.A., & Senders, J.W. (1993). Providing a sensory basis for models of visual information acquisition. *Perception & Psychophysics*, **54**, 535-554.
- Magnussen, S., Greenlee, M.W., & Thomas, J.P. (1996). Parallel processing in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **22**, 202-212.
- Nilsson, T.H., & Nelson, T.M. (1981). Delayed monochromatic hue matches indicate characteristics of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **7**, 141-150.
- Nosofsky, R.M. (1983). Information integration and the identification of stimulus noise and criterial noise in absolute judgment. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **9**, 299-309.
- Olds, E.S., & Engel, S.A. (1998). Linearity across spatial frequency in object recognition. *Vision Research*, **38**, 2109-2118.
- Paivio, A., & Bleasdale, F. (1974). Visual short-term memory: A methodological caveat. *Canadian Journal of Psychology*, **28**, 24-31.
- Palmer, S.E. (1977). Hierarchical structure in perceptual representation. *Cognitive Psychology*, **9**, 441-474.
- Palmer, J. (1990). Attentional limits on the perception and memory of visual information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **16**, 332-350.
- 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.
- Phillips, W.A., & Baddeley, A.D. (1971). Reaction time and short-term visual memory. *Psychonomic Science*, **22**, 73-74.
- Phillips, W.A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, **16**, 283-290.
- Phillips, W.A., & Christie, D.F.M. (1977). Components of visual memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **29**, 117-133.
- Posner, M.I., Goldsmith, R., & Welton, K.E. (1967). Perceived distance and the classification of distorted patterns. *Journal of Experimental Psychology*, **73**, 28-38.
- Reed, S.K. (1974). Structural descriptions and the limitations of visual images. *Memory & Cognition*, **2**, 329-336.
- Rock, I., Halper, F., & Clayton, T. (1972). The perception and recognition of complex figures. *Cognitive Psychology*, **3**, 655-673.
- Shaffer, W.O., & Shiffrin, R.M. (1972). Rehearsal and storage of visual information. *Journal of Experimental Psychology*, **92**, 292-296.
- Siddiqi, K., Tresness, K.J., & Kimia, B.B. (1996). Parts of visual form: psychophysical aspects. *Perception*, **25**, 399-424.
- Slamecka, N.J., & McElree, B. (1983). Normal forgetting of verbal lists as a function of their degree of learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **9**, 384-397.
- Tversky, A. (1977). Features of similarity. *Psychological Review*, **84**, 327-352.
- Vogels, R., & Orban, G.A. (1986). Decision processes in visual discrimination of line orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **12**, 115-132.
- Walker, P., Hitch, G.J., & Duroe, S. (1993). The effect of visual similarity on short-term memory for spatial location: Implications for the capacity of visual short-term memory. *Acta Psychologica*, **83**, 203-224.
- Wilson, H.R. (1985). Discrimination of curvature: data and theory. *Journal of Optical Society of America*, **A**, **2**, 1191-1199.
- Zahn, C.T., Roskies, R.Z. (1972). Fourier descriptors for plane closed curves. *IEEE Transactions on computers*, **C-21**, 269-281.

## 付録

### 付録1 3過程に関する用語説明

(a)獲得の正確さ：獲得過程のみの作用に基づく。第1・第2刺激の刺激間隔(Inter-Stimulus Interval; ISI)が0secにおける瞬時の再認成績から、判断過程での混同効果を差し引く。

(b)記憶保持の正確さ：獲得および記憶保持の作用に基づく。第1・第2刺激のISI>0secにおける再認成績から、判断過程での混同効果を差し引く。

(c)忘却：記憶保持過程のみの作用に基づく。ISI=t<sub>1</sub> sec 時の再認成績から、ISI=t<sub>2</sub> sec(t<sub>1</sub><t<sub>2</sub>) 時の再認成績を減算したものが忘却レベルに相当する。

(d)瞬時の再認：獲得、判断の2過程の作用に基づく。

(e)再認：獲得、記憶保持、判断の3過程の作用に基づく。

### 付録2 刺激図形の生成

本実験の刺激図形は、複数の凹凸部をもつ閉図形で、三つの余弦波の加算平均を極座標表現して生成される。三つの余弦波の加算平均を定数項 A<sub>0</sub> だけ平行移動した波形 r(θ) を生成子として用いる (図 A.1)。

$$r(\theta) = A_0 + \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 A_i \cos(f_i \theta - \alpha_i) \quad (0 \leq \theta \leq 2\pi)$$

A : 振幅, f : 周波数, α : 位相

本研究では A<sub>0</sub>=3/2 に設定し、生成子はデジタル波形により表現される。

$$r(\theta) = 60 + 40 \times \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 A_i \cos(f_i \theta - \alpha_i) \quad (0 \leq \theta \leq 2\pi)$$

図形は、周期関数 r(θ) を反時計周りに極座標表現して生成される。

$$(x(\theta), y(\theta)) = r(\theta) (\cos(\theta), \sin(\theta)) \quad (0 \leq \theta \leq 2\pi)$$

余弦波の振幅、周波数、位相の操作により、付録4に記される生成図形の物理変数が操作される。振幅は各凸部の長さ・深さ、周波数は凹凸数、位相は図形の微妙な形状や2図形のずれ率を規定する。

### 付録3 刺激図形の物理特性

視覚短期記憶表現は、刺激図形の物理特性に大きく依存するため、物理特性を明らかにした上で記憶表現特性を検討する必要がある。本実験で用いられる刺激図形の主な物理特性と、それが図形の処理・記憶保持に及ぼす作用について述べる。

①ランダム図形

規則性・対称性構造の強い図形の場合、記憶の負荷が低減される。また、図形の規則性に依存した方向へ記憶表現が変容される傾向が強まると想定される。これら2点を回避するため、ランダム図形を刺激に用いる。

②円形状の図形

アスペクト比を大きくすると、中心軸に基づき記憶保持する戦略により、凹凸部の数が同じ図形でも記憶の負荷が低減される。実験変数のみにより記憶の

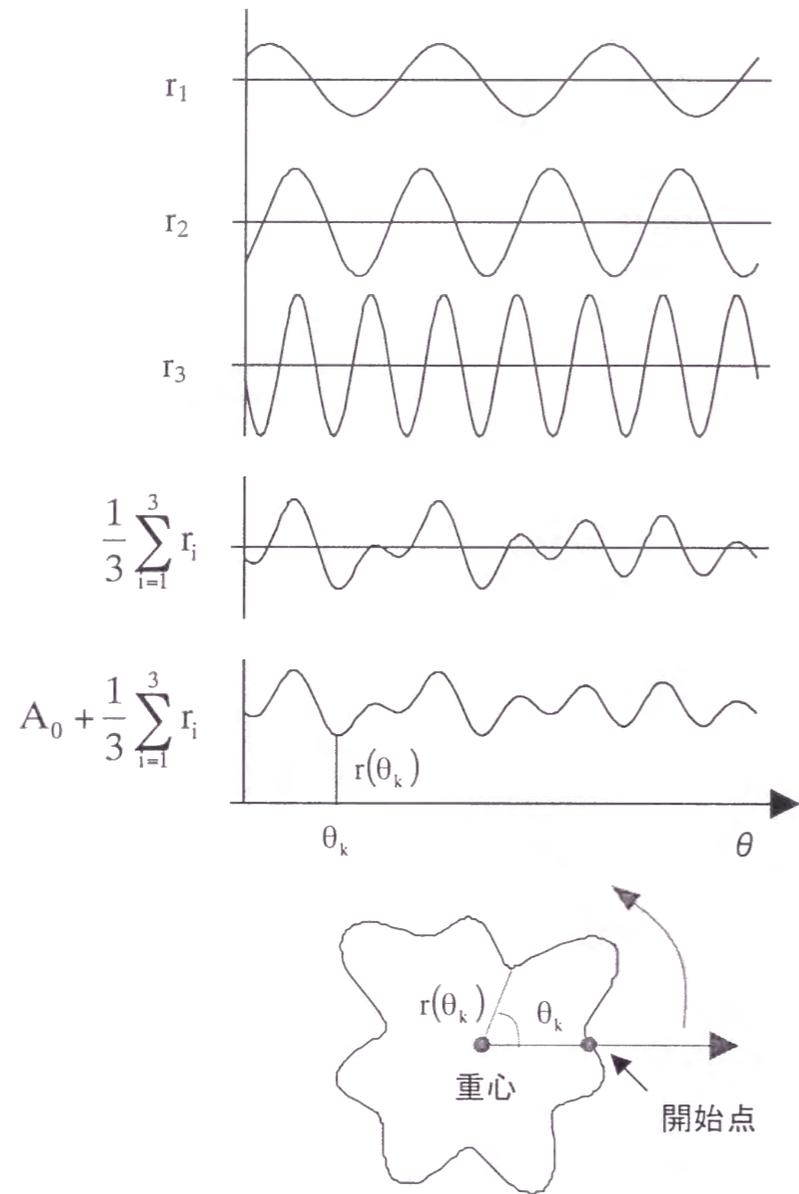


図 A.1：刺激図形は、三つの余弦波の加算平均を極座標表現して生成される。

負荷を規定するため、中心軸傾向の弱い円形状の図形を用いる。

③各凸部の空間配列の均一性

極座標における、隣り合う各凸部の偏角の差はほぼ一定である。直観的に述べると、極座標において各凸部がほぼ等間隔の偏角で配列される。図形は特徴の空間配列により表現されるが、本研究は特徴の記憶表現の正確さについて検討するため、配列関係の特異性に基づく記憶方略が最小限になるように、各凸部は規則的に配列される。

④各凸部の顕著性の均一性

各凹部の曲率の極値はそれぞれ異なるが、各凸部の曲率はほぼ一定である(図A.2)。再認判断においてより顕著な部分に基づいて照合されやすくなるが(Bower & Glass,1976)、各凸部の顕著性はどの凸部でもほぼ一定なため、どの凸部も再認手がかりの重みづけはほぼ一定とみなされる。

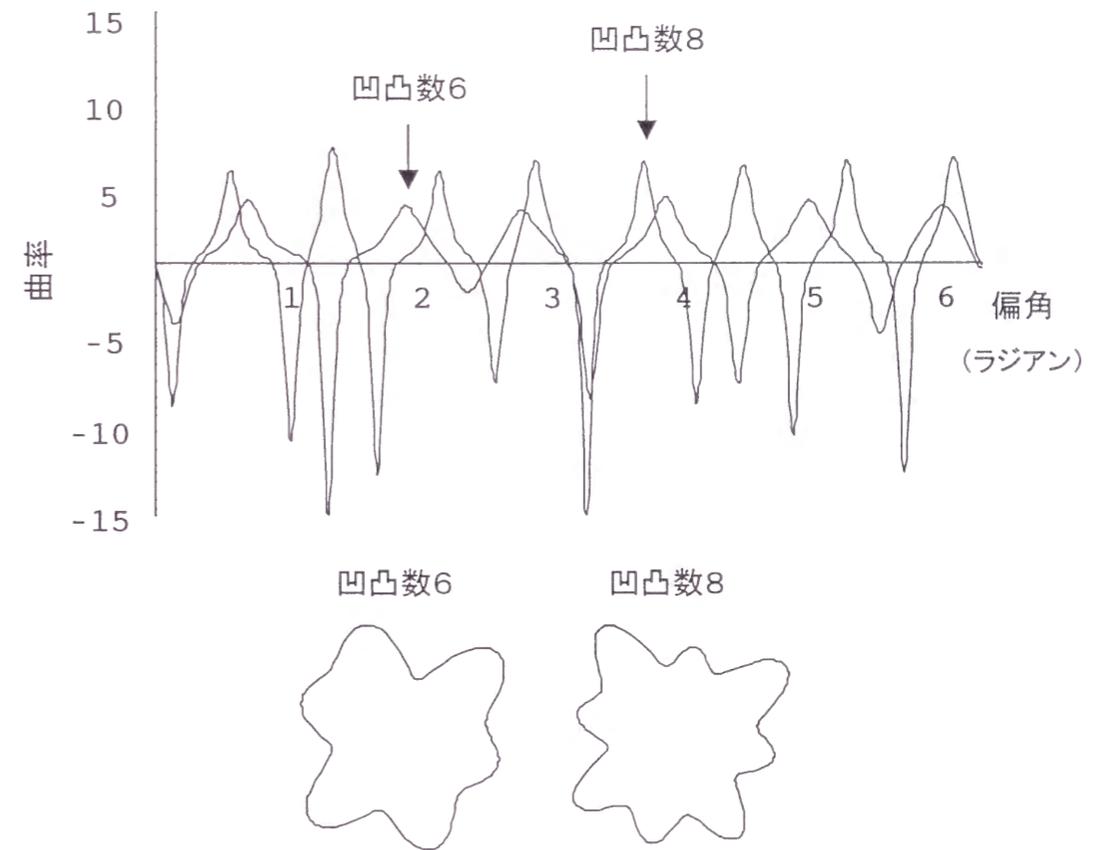


図 A.2：凹凸数6、凹凸数8の刺激図形例と、その反時計回りの偏角に対する曲率関数。

## 付録 4 刺激図形の物理変数

### 付録 4.1 凹凸数

図形の凹部, 凸部の数を示す. 凹凸数  $n$  の図形は, 凹部  $n$  個, 凸部  $n$  個をもつ図形を示す.

### 付録 4.2 周囲長(Perimeter/ $\sqrt{\text{Area}}$ ; $P/\sqrt{A}$ )

図形の輪郭の長さを面積の平方根で除算した値を示す.  $P/\sqrt{A}$  は, 図形の面積に対して不変な値をとる. 図形はディスプレイ上でドットの連続により構成されるため, デジタル閉曲線において,  $n$  個の点列により構成される閉図形の  $P$  と  $A$  は次式で近似される.

$$P = \sum_{i=0}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_{i+1}y_i - x_iy_{i+1})$$

図形の面積  $A$  は図形の物理変数に関わらず一定に設定され,  $P/\sqrt{A}$  は周囲長  $P$  のみにより変動する. 本文中での「周囲長」は  $P/\sqrt{A}$  の値を示す.

### 付録 4.3 各凸部の物理変数

知覚, および記憶においてコードされる各凸部の刺激値は, 次の 2 つの物理変数により規定される.

#### 付録 4.3.1 各凸部の長さ

周囲長を凹凸数で除算した値. 周囲長 = 凹凸数  $\times$  各凸部の長さ, が成立する.

#### 付録 4.3.2 各凸部の深さ

各凸部の突出レベルを数値化したもので, 次式により規定する.

$$\text{各凸部の深さ} = \frac{a_2 - a_1}{a_2}$$

$a_1$ : 重心から各凹部の曲率極小点までの距離の平均

$a_2$ : 重心から各凸部の曲率極大点までの距離の平均

### 付録 4.4 2 図形の物理的類似度

対となる 2 図形の凹凸数, および各凸部の長さ・深さが一致する場合, 2 図形の類似度は 2 図形のずれ率により物理的に規定されうると考えられる. 2 図形のずれ率は次式により算出される.

$$\frac{(\text{2 図形を重ねたときのずれた面積の近似値})}{(\text{1 図形の面積の近似値})}$$

極座標上での各凹凸部の位置は 2 図形のあいだではほぼ一致するように設定されるため, 本研究で規定されるずれ率は, 2 図形を任意に重ねたときのずれ率のうち最小に近い値である.

### 付録 5 再認率の補正

再認実験で得られる再認率  $p(C)$  は, 正しく再認される確率  $p(R)$  と当て推量  $g$  により次式が成立する.

$$p(C) = p(R) + g \cdot (1 - p(R))$$

本研究の当て推量は  $g = 1/2$  であったことから, 上式は次式に変形される.

$$p(R) = 2 \cdot p(C) - 1$$

## 要旨

### 1章 はじめに

視覚短期記憶において、視覚情報は忘却されつつ数秒から数十秒のあいだ正確に保持され続けることが検証されてきた。1章では、視覚短期記憶における図形の表現・忘却特性について検討するため、記憶容量、記憶ノイズによる忘却、分節表現、の3つを概観した。そして本研究の主な仮説として、(1)視覚短期記憶において図形は凹部で分節され、凸部が特徴部分として保持される、(2)各凸部の刺激値は正規ランダム変数として記憶保持される、を提案した。また本研究の着眼点として、(1)獲得、記憶保持、判断の3つの処理過程に基づく図形の再認記憶の検討、(2)図形の物理量と心理量を説明変数とした再認成績の検討、(3)4つの実験変数の操作による包括的な視覚短期記憶特性の検討、を述べた。最後に、本論文を構成する各章の位置づけを述べた。

### 2章 図形の心理的複雑さに及ぼす物理変数の検討

複雑さ評定値に影響する物理変数は、複雑さの上限に作用する量的変数と、複雑さの低減に作用する構造変数の2種に分けられる。図形の主な量的変数として角の数と周囲長が検討されてきたが、角の数と周囲長の相関は非常に高い。2章では、周囲長は一定で凹凸数の異なる図形を用いて、図形の心理的複雑さに及ぼす両変数の影響を分離して検討した。結果は、周囲長が一定でも凹凸数の増大により心理的複雑さは増大した。図形の心理的複雑さの主要因は凹凸数であり、周囲長は凹凸数の増大により間接的に心理的複雑さに影響することが示された。図形の符号化は凹凸構造に基づき、各凸部が部分として知覚されることが示唆された。また、どの刺激提示時間でも図形の心理的複雑さはほぼ一定であったことから、図形の複雑さレベルなどの大局形状は、数百msの短い提示時間で獲得されることが示された。

### 3章 特徴照合による類似度判断過程の検討

3章では、凹凸数と各凸部の深さにより輪郭図形の複雑さを操作して、2図形間でずれ率のみ異なる単次元の類似度判断を検討した。結果は、2図形間の心理的類似度は2図形のずれ率の線形関数として低下した。また、2図形のずれ率が一定のとき、対となる2図形の複雑さの増大により心理的類似度は高まった。2図形間で(各凸部のずれ率/各凸部の深さ)が一定の場合、どの凹凸数、各凸部の深さをもつ図形の対でも心理的類似度はほぼ一定となった。こ

これらの結果より、次の過程に基づく図形の類似度判断モデルが考案された。(1) 2図形が凹部で分節される。(2) 2図形間で対応する各凸部が照合される。(3) 照合された各凸部の差異が算出される。各凸部の差異は、各凸部の深さの増大により低下して算出される。(4) 各凸部の差異が平均化される。このモデルにより、本実験データは非常にうまく説明された。なお、3章の類似度判断で用いられた2図形の対は、4章以降の再認実験でターゲット(Target; T)とディストラクタ(Distracter; D)として用いられた。

#### 4章 差異に基づく再認判断過程の検討

従来、複雑な図形の正確な再認が困難になることが指摘されてきたが、4章では、(1)どの正確さのレベルでも複雑な図形の再認が困難になるのか、(2)獲得、記憶保持、判断過程のどの過程で図形の複雑さが大きく影響するのか、を検討した。図形の凹凸数とTとDのずれ率を操作した再認実験により、次の3点が示された。(1)保持時間が0sec、および1secにおける図形の再認成績は、TとDのずれ率の線形関数として上昇し、TとDのずれ率を信号とみなしたときの信号検出理論に従う。(2)図形の複雑さは判断過程に大きく影響するが、保持時間が1secと短い場合、記憶保持の正確さには大きく影響しない。(3)1secの保持時間による忘却レベルは、(a)複雑な図形ほど大きくなる傾向があり、(b)TとDの類似度に関わらずほぼ一定である。視覚短期記憶では、図形は凹部で分節されて凸部が部分として保持され、各凸部ごとに記憶ノイズが生じるため図形の正確な形状が忘却されると仮定された。

#### 5章 再認記憶に及ぼす物理変数の検討

4章では、図形の複雑さは凹凸数のみにより操作された。5章では、複雑な図形のどの物理変数が、図形の再認が困難となる大きな要因になるかを検討するため、保持時間を1secに固定し、図形の凹凸数と周囲長を操作して再認実験を行った。実験1では、周囲長は一定で凹凸数が異なる刺激セットを用い、実験2では、TとDの心理的類似度をどの複雑さの図形でも一定にすることで、判断過程の混同レベルを一定に保った。これらの実験により、以下の点が示された。(1)図形の凹凸数と各凸部の長さの両変数が、図形の再認が困難になる大きな要因となる。両変数の増大により、間接的に周囲長は図形の再認困難性に作用する。(2)周囲長が一定で凹凸数が異なる図形間で、TとDの心理的距離と再認率は完全には共変しないことから、獲得および記憶保持過程で凹凸構造が影響する。(3)保持時間が1secの記憶保持の正確さは、各凸部の長さの影響を受けな

いが、凹凸数の増大により微妙に低下する。(4)図形の心理的複雑さと再認困難性に大きく影響する物理変数は両者で異なるが、凹凸数が処理負荷となる点で図形の知覚と記憶は一致する。5章の実験結果により、周囲長に対してでなく、各凸部ごとに記憶ノイズが生じる仮定の妥当性が間接的に検証された。

#### 6章 忘却率に及ぼす図形の複雑さの効果

4, 5章では、図形の凹凸数は記憶保持の正確さに大きく影響しなかったが、この原因の1つに、保持時間が1secと短いことが考えられる。6章では、忘却率が図形の複雑さに依存するかどうかを検討した。図形の複雑さに関わらず、実験1ではTとDの物理的差異が一定の条件、実験2ではTとDの心理的類似度がほぼ一定の条件で再認実験を行った。結果は以下に示される。(1)図形の複雑さに関わらず忘却は少なくとも8secのあいだ続き、忘却率は複雑な図形ほどやや高い。(2)判断過程の混同レベルがどの複雑さでも一定の場合、保持時間が増大しても異なる複雑さの図形間で再認率に大きな差はない。これらの結果は、記憶保持過程での忘却に及ぼす複雑さの効果は、判断過程の混同に及ぼす複雑さの効果に比べてかなり低いことを示す。保持過程での視覚的リハーサルにより、記憶ノイズによる図形の忘却は大きく弱められると考えられる。

#### 7章 忘却率に及ぼす刺激提示時間の効果

4, 5, 6章では、第1刺激の提示時間は288msで一定に設定された。7章では、視覚短期記憶における忘却率は刺激提示時間に依存するかを検討した。結果は以下に示される。(1)図形の複雑さに関わらず、忘却率は提示時間の増大により低下する。提示時間は、獲得の正確さには大きく影響しないが、記憶ノイズの低下には大きく作用する。図形の獲得は300ms前後の提示時間で十分であるが、視覚短期記憶で数秒のあいだ正確に保持され続けるには1sec前後の提示時間が必要になる。(2)1sec前後の比較的長い提示時間でも、少なくとも16secのあいだ忘却は続く。提示時間の増大により忘却率は大きく低下するが、忘却は不可避であることが示唆される。1sec程度の提示時間の場合、保持図形は短期記憶にとどまり、より長期的な記憶システムに固定化されないと考えられる。

#### 8章 視覚短期記憶の特徴分節モデル

8章では、視覚短期記憶における再認はいかなる処理過程に基づいて行われるかを検討するため、信号検出理論に基づく視覚短期記憶の再認モデルを構築した。モデルでは、再認成績は獲得、記憶保持、判断の3過程の作用により説明された。モデル式には、図形の複雑さ、TとDの類似度、提示時間、保持時間

の4つの実験変数が組み込まれた。シミュレーションの結果、5つのパラメータ設定により7つの本実験データがうまく説明された。本モデルにより次の知見が示される。(1)再認成績は、TとDの差異を信号とみなしたときの信号検出理論に従う。(2)視覚短期記憶の再認は、獲得・記憶保持・判断の3過程により説明される。(3)記憶ノイズは保持時間の線形関数として増大する。(4)記憶ノイズの増加率は、提示時間の反比例関数として低下する。(5)保持時間がある程度増大してもほとんど忘却が生じない図形の複雑さを視覚短期記憶の容量とみなすと、容量は凹凸数4である。(6)判断基準の分散は、刺激図形の複雑さと提示時間に依存せず一定である。(7)図形の複雑さは、獲得の正確さの低下や記憶ノイズの増大にそれほど大きく影響しないが、判断過程の混同の増大に大きく影響する。本モデルにより、4, 6, 7章で別個に扱われた実験データがより一般的な枠組みで説明された。

## 9章 総括

9章では総括として、2章から7章の心理実験、および8章のモデルにより得られた知見をまとめた。視覚短期記憶において、図形は凹部で分節され、各凸部の刺激値は正規ランダム変数として記憶保持される、という本研究の仮説の十分性について述べた。そして、本研究の輪郭図形など多くの視覚情報において、第1・第2刺激の差異を信号としたときの信号検出理論により、視覚短期記憶の再認成績がうまく説明されることを指摘した。また、視覚短期記憶の容量制限となる図形の複雑さについて説明し、正確な記憶保持に大きく作用する視覚的リハーサル特性について議論した。さらに、視覚短期記憶からより長期的な記憶システムへの固定化について言及した。今後の展望として、曲率の短期記憶特性の検討について触れ、最後に結論を述べた。

## 研究業績

### 論文

1. 酒井 浩二・乾 敏郎 1999 視覚短期記憶における図形の変容特性. 心理学研究, 70(3), 211-219.
2. 酒井 浩二・乾 敏郎 2000 図形の心理的複雑さと視覚短期記憶の保持特性. 心理学研究, 71(1), 印刷中.
3. 酒井 浩二・乾 敏郎 視覚短期記憶の忘却率に及ぼす図形の複雑さと類似度の効果. 心理学研究, 印刷中.
4. Sakai, K. & Inui, T. A feature-segmentation model of short-term visual memory. submitted.

### 研究報告

5. 酒井 浩二・乾 敏郎 1997 図形の複雑さと視覚短期記憶の特性. 電子情報通信学会技術研究報告, HIP97-27, 123-130.
6. 酒井 浩二・乾 敏郎 1999 視覚短期記憶の特徴分節モデル. 電子情報通信学会技術研究報告, HIP99-10, 13-18.

### 学会発表

7. 酒井 浩二・乾 敏郎 1998 視覚短期記憶の変容メカニズム. 日本心理学会第62回大会発表論文集. P824.
8. 酒井 浩二・乾 敏郎 1999 視覚短期記憶の忘却率に及ぼす提示時間の効果. 日本心理学会第63回大会発表論文集. P595.

## 各章と研究業績の対応

- 2章 — 論文2の一部, 研究報告5の一部
- 3章 — 論文1の一部, 研究報告5の一部
- 4章 — 論文1の一部, 学会発表7
- 5章 — 論文2の一部
- 6章 — 論文3
- 7章 — 学会発表8
- 8章 — 研究報告6, 論文4