

早稲田大学
博士学位請求論文

対象の認識における情報の時間空間的統合と
知覚的表象の形成

Spatiotemporal Integration of Information and
Formation of Perceptual Representation in Object Perception

鵜沼秀行

目次

序	1
第1章 対象認識と時間空間的統合	5
1.1 人間の認識活動と情報の統合	5
1.1.1 人間の認識と情報処理	5
1.1.2 認識の統合性	9
1.2 統合過程の諸理論	11
1.2.1 空間的統合	11
1.2.2 時間的統合	14
1.2.3 時間空間的統合	16
1.2.4 先行研究の問題と本研究の目的	19
1.3 時間空間的統合理論	21
1.3.1 知覚的持続性	23
1.3.2 空間的表象と定位	25
1.3.3 知覚的統合と時間空間的過程	26
1.3.4 本研究が取り上げる問題の範囲	27
第2章 知覚的持続と知覚的表象の形成に関する実験	31
2.1 実験Ⅰ 知覚的持続と対象の表象の形成	31
2.1.1 問題	31
2.1.2 方法	33
2.1.3 結果と考察	34
2.1.4 統合された表象の性質	36
2.2 実験Ⅱ 知覚的持続と知覚的統合	41
2.2.1 問題	41
2.2.2 方法	44

2.2.3	結果	47
2.2.4	考察	50
2.3	知覚的持続性と時間空間的統合過程における処理	53
第3章	知覚的持続性と空間的定位の実験的検討	56
3.1	実験Ⅲa アイコニック・メモリーにおける空間的定位	56
3.1.1	問題	56
3.1.2	方法	60
3.1.3	結果	63
3.1.4	考察	65
3.2	実験Ⅲb 視覚短期記憶における空間的定位	67
3.2.1	目的	67
3.2.2	方法	67
3.2.3	結果	68
3.2.4	考察	69
3.3	時間-空間的定位についての総合的考察	70
第4章	空間的表象の性質についての実験的検討	76
4.1	時間空間的統合と視覚的記憶表象	76
4.2	実験Ⅳa 視覚的表象における構造図式	78
4.2.1	問題	78
4.2.2	方法	80
4.2.3	結果と考察	82
4.3	実験Ⅳb 視覚的枠組みの効果	85
4.3.1	目的	85
4.3.2	方法	86
4.3.3	結果と考察	86
4.4	実験Ⅳc 視覚情報と筋運動感覚の統合	89
4.4.1	目的	89
4.4.2	方法	89

4.4.3 結果と考察	91
4.5 実験IVについての総合的考察	92
4.6 視覚短期記憶の知覚表象と時間空間的統合過程	96
第5章 時間空間的統合過程についての総合的考察	98
5.1 時間空間的統合理論の評価	98
5.2 時間空間的統合理論の意義	103
5.3 時間空間的統合理論の今後と残された問題	106
5.3.1 生態学的に妥当な入力情報の検討	106
5.3.2 選択的統合と対象認識	107
結語	110
引用文献	112

序

われわれが身の回りの事物を認識する時、それらを瞬時に認識していると感じている場合でも、実際には探索的な認識活動が行われていることが多い。たとえば、目の前にいる他人を見る場合、その相手の表情やしぐさ、服装などを次々と見ながら、それが誰でどのような状態かを認識するであろう。絵画を前にすれば、そこに描かれた風景や事物を目で探索しながら鑑賞することが一般的である。このような場合、われわれは継時的に見る部分を変化させ、さらにそれらの部分をまとめあげた全体像によって対象を認識していると言えよう。本研究は、人間が外界の対象を認識する際に、自己をとりまく外界の情報を時間空間的に統合することで対象の認識が成立することを説明する時間空間的統合理論 (Spatio-temporal Integration Theory) を提示する。この理論は、人間が探索的に外界から情報を抽出し、さらにその情報を統合することで、対象についての表象を形成すると説明する。

人間が視覚を中心として外界の対象を認識する現象を説明しようとする試みは、時間空間的統合理論以外にも、心理学を含む4つの大きな系譜に見ることができる (Rock, 1995)。その系譜とは、推論説 (Inference Theory)、ゲシュタルト理論 (Gestalt Theory)、刺激と感覚経験の関係に焦点をあてる刺激理論 (Stimulus Theory)、そして情報処理理論 (Information Processing Theory) である。推論説は、しばしば経験論と結び付けられて議論されるが、英国経験論に源を発した、知識と認識論の問題に関心を向ける哲学の系譜であり、19世紀後半には Helmholtz による無意識的推論 (unbewusster Schluss) 説として科学的理論の形式を整えた (Helmholtz, 1909 英訳 2000)。これに対してゲシュタルト理論は、直接的には20世紀初頭のゲシュタルト心理学者による主張に源をもつ。彼らのゲシュタルト概念は、知覚的な体制化 (perceptual organization) についての概念であり、そこでは個々の感覚要素は基本的に断片的なものであって、それらの寄せ集めでは人間の対象や事物・事象についての知覚を説明することはできない。知覚される世界は、全体を体制化する生得的な法則によって、対象が背景 (地 ground)

から図 (figure) として成立することを基礎にしている (Koffka,1935), とされる。一方, 推論説は外界からの刺激に対して人間が知識にもとづいて「仮説」を立て, 「推論」に類似した過程を経て知覚を成立させると考える。ここで「仮説」「推論」は, 必ずしも高次の推論過程と同様な意識的なものではない (Helmholtz, 1909 英訳 2000)。

推論説とゲシュタルト理論が, 外界から人間に与えられる刺激自体は対象の知覚には不十分であると考えのに対して, 刺激理論は知覚の成立に必要な情報はすでに環境の中に存在すると考える。したがって, 無意識的推論や神経系における体制化の法則を仮定する必要はない。刺激理論におけるこの精神物理学的なアプローチは, Weber, Fechner らの単純な刺激の検出と弁別についての分析から, より生態学的な場面における知覚を説明するために, 刺激変化やそれらの関係から抽出されるより高次の刺激変数と知覚の関係の分析へと発展した (Gibson, 1966, 1979)。さらに, 情報処理理論では, 刺激に代わって情報とその処理過程としての説明が求められ, Neisser (1967) のように情報の処理段階と内的な表象 (表現) の成立を明らかにしようとする認知心理学 (Cognitive Psychology) が成立することとなった。その展開のひとつとして, たとえば Marr (1982) にみられるように, 単純な視覚刺激入力の表象 (表現) から, 一連の情報処理過程 (計算) を経て, 最終的な知覚という高次の表象に至る情報処理段階と情報の表現を明らかにしようとする計算理論 (Computational Theory) が登場した。

本研究における時間空間的統合理論は以上の4つの理論を統合し, 時間空間的な情報の統合による知覚の成立を説明しようとするものである。本理論は, 直接には情報処理理論の発展のなかに位置づけられるものである。すなわち本理論は, これまでの情報処理理論が十分に検討してこなかった空間的かつ時間的に断片的な情報から, 対象全体の知覚的表象が形成される情報の処理過程を明らかにし, さらに形成される表象の特性を説明する (Kellman, Guttman, & Wickens, 2001; Palmer, Kellman, & Shipley, 2006; Unuma, Hasegawa, Kellman, 2010b) ものである。このような情報処理の観点は, 推論説における「仮説」「推論」という過程を情報処理の概念で捉

え直すとともに、推論という時系列的な過程をも検証することになる。同時に本理論は、ゲシュタルト理論における体制化の法則が時間空間的統合過程において作用することを仮定する（第1章 1.3）。さらに、刺激理論において仮定されるように、情報統合過程が刺激の時間空間的に連続あるいは不連続な変化、遮蔽などの外在する情報によってまず駆動されることを主張する点で、刺激理論とも共通する点をもつ。

さらに、本研究は外界の構造と人間の行動の双方に注目し、規則的な構造を持った外界とその中の対象に対して、人間が探索的に行動することによって認識を成立させることを明らかにする。生態学的な観点（Gibson, 1966, 1979）に立つならば、生物としての人間は眼球や頭部、身体を動かしながら外界の対象をとらえ、さらに次なる行動を生起させる。一方、外界に存在する事物は無秩序に存在するわけではなく、物理的な法則性を維持している。たとえば、物体は急速に変形・消失することは少なく、またその外縁は空間的な連続性を維持しながら広がりを持つことが多い。人間は、このような外界の事物の法則性を情報として処理することで、対象についての表象を形成し認識を成立させる（e.g., Marr, 1982）と考えられる。

本研究のアプローチは、このような人間の探索的活動と、外界からの情報の統合という心理的過程の関係を明らかにしようとするものである。すなわち、本研究はこれまで個別に研究されることが多かった静的な事態における空間的な認識の成立と、時系列上での知覚的認識活動を総合的に理論化しようとする。そのために本研究は、以下に述べるように、知覚的持続、空間的定位、知覚的統合の3つの基礎的な概念を提示し、それぞれの法則性を明らかにすることによって、時間空間的統合過程についての理論を提示する。本理論は、特に視覚情報処理段階における情報の保存、すなわちアイコニック・メモリー、視覚短期記憶、さらには長期記憶における情報の符号化、変換に直接関連する。本理論は、これらの記憶過程をまず「知覚的持続」という概念で総合的にとらえ、各記憶過程の時間空間的統合事態における共通性と差異にあらためて着目する（第1章、1.3.1）。さらに、時間的かつ空間的に断片的な情報入力にも関わらず、対象全体の認識が現象的には空間的な広がりを表現する表象によって成立することか

ら、時間空間的統合過程が「空間的定位」を達成することに注目する(1.3.2)。また、成立した表象は、対象の輪郭や明るさ、テクスチャなどの表面特性、さらには筋運動感覚などを統合して表現すると考えられ(1.1.2)、「知覚的統合」を達成していると仮定される(1.3.3)。

本研究の構成

本研究は、まず第1章において対象の知覚に関わる空間的統合、時間的統合を中心に、情報の統合についての理論的な整理が行われる(1.1, 1.2)。その上で、本研究が提示する時間空間的統合理論の概要が述べられる

(1.3)。本理論は、知覚的持続、空間的定位、知覚的統合の3つの概念をその基礎に置いている。第2章以降では、これら3つの概念についての実験的検討が行われる。第2章(実験I, II)では知覚的持続による対象の表象の形成が検証される。第3章(実験IIIa, b)では空間的定位の特性が、特にアイコニック・メモリーと視覚短期記憶の比較によって明らかとなる。第4章(実験IVa, b, c)では知覚的統合の問題が順次検討される。これらの結果をふまえて、第5章では本理論の評価と意義、そして今後を検討されるべき問題が指摘される。

第1章

対象認識と時間空間的統合

1.1 人間の認識活動と情報の統合

1.1.1 人間の認識と情報処理

われわれが日常生活において身のまわりの事物・事象を認識する際、それらの認識は感覚受容器 (receptor) を通じて神経系に入力される物理的・化学的刺激に基礎を置いている。たとえば、人間の色覚経験は、網膜に到達した特定の波長をもつ光が神経系において変換されることで成立する。しかし、このような感覚経験は、物理化学的刺激に一対一に対応するものではない。われわれが経験する「赤」は、一定の範囲で波長の変化に対してほぼ不変であり、さらに物体の表面の色はそこからの反射光が変化しても、しばしば同一の色として経験される。このような刺激の物理化学的特性と認識される属性の関係に加えて、人間の認識を特徴づけているのは、それらの属性が特定の対象 (object) の属性として認識されることである。これは認識の対象性とよばれる (柿崎・牧野, 1976; 鳥居, 1982)。われわれが経験する「赤」は、直接には網膜上の物理化学的変化に起因するとしても、認識されるのは対象としての赤いリンゴであり、赤いスポーツカーである。さらに、このような対象性は一般にそれらの対象が、認識する主体である人間の外側、すなわち外界に定位されるという特性をもたらす。これは認識の外在性とよばれる (柿崎・牧野, 1976; 鳥居, 1982)。視覚の場合、網膜上に対象が定位されることはない。

対象性、外在性という人間の認識の特性は、外界および自己の身体から神経系に入力される「刺激 (stimulus)」のみならず、それらの関係と変化に規定されていると考えられる (Gibson, 1966)。ここでは人間の認識を規定する刺激間の関係、あるいはそれらの変化を「情報 (information)」¹と

¹ 情報 (information) と用語は、一般にさまざまな意味で用いられる。Shannon (1948)においては、情報が量として定義された (情報量 エントロピー)。一方、生体あるいは人工的システムに対する入力として情報を定義する立場がある (例えば、Dusenbery (1992) など)。本研究では、後者の観点から情報という用語

呼ぶことにする。

本研究が取り上げようとする問題は、刺激間の関係と変化としての情報が、どのようにして対象性を備えた認識を可能にするのか、である。ここで本研究がこの問題を検討するために採用する「情報処理理論」の枠組みについてふれておきたい。

人間の認識活動と外在する刺激あるいは情報との間の関係について、Gibson (1966) は独創的な理論的枠組みを提示した。そこでは、情報は抽出 (pick-up) されるものとして外在し、一方の人間 (そして動物) は環境の中で行動しつつ、自己の周囲の情報を抽出し知覚する存在として位置づけられた (pp.266-286)。Gibson の一連の主張 (Gibson, 1966, 1979) は、行動する生活体が環境からどのような情報を抽出して認識を成立させているかを明らかにしようとする試みであったと言えよう (柿崎, 1993)。

Gibson の情報抽出理論 (information picking-up theory) に対して、本研究は人間個体において認識の成立を説明しようとする情報処理論

(information processing theory) の立場をとる。これは広義の生理学的枠内における説明 (柿崎, 1970) ともいうことができるが、いわゆる生理学的な説明とは以下の点で異なる。情報処理論的アプローチは、必ずしも特定の情報処理と脳の特定の部位との対応を明らかにしようとするものではない。例えば、本研究と関連する情報の感覚記憶 (視覚情報貯蔵 visual information storage) が神経系のどの部位に対応するかは問題とされない。取り上げられる問題は、ある情報処理過程の妥当性と、その過程における情報の表現と処理のアルゴリズム、さらには他の過程への転送、変換である。

また、情報処理論的アプローチは、人間の認識についての説明を生理的な「内部」に閉じ込めようとするものでもない。むしろ本研究は、人間の認識が環境の探索による情報の選択と統合によって成立することを明らかにしようとするものであって、その処理過程は生体と環境との相互作用

を用いるが、その量的な側面についても第4章において考慮される。

を前提としている。人間の視覚による認識活動を例にあげれば、対象を認識しようとする時、網膜の最も感度の高い部位（中心窩 fovea）によって対象からの投影像をとらえるために眼球運動 (eye movement) が誘発され、さらに継起的な眼球運動によって対象の異なる部分を探索する。眼球の運動のみならず、頭部を動かすことでさらに対象の異なる光学的刺激配列からの情報が抽出される。さらには、身体の運動・移動によって対象と認識主体の人間の位置関係が変化することで、新たな情報の抽出が行われる (Gibson, 1979, p.222)。これら一連の階層的・重層的な探索活動に加えて、外在する対象自体も運動・移動するために、人間の視覚系に入力される情報は時間的・空間的に常に変化すると考えられる。情報処理論の観点においては、このような入力情報の変化によって視覚系に課せられる本質的な課題のひとつは、空間的かつ時間的に断片的な情報から対象全体について表象を形成することである (Kellman, Guttman, & Wickens, 2001)。Neisser (1976)は、知覚的図式→探索→対象→図式の修正、という知覚的循環 (perceptual cycle) によって認識活動を特徴づけた。

一方、計算理論 (computational theory) 的アプローチは、視覚系が対象の認識において解決する課題と、その処理過程および各過程における情報の表現について具体的な提案を行ってきた (Marr, 1982; Grossberg & Mingolla, 1985; Biederman, 1987)。Marr (1982) は、視覚入力から不連続な変化を検出することによって、プライマル・スケッチから、面の表現としての 2.5D 表現を経て、対象の 3 次元 (3D) 表現が達成されるまでの全体像を提案した。各情報処理過程における情報の表現とその処理のアルゴリズムを、実際の計算が可能な形式で示そうとした試みは、その後の展開に大きな影響を与えてきた (Grossberg & Mingolla, 1985; Biederman, 1987; Kellman & Shipley, 1991; Hummel & Biederman, 1992)。これらの展開の過程で、Marr が描いたプライマル・スケッチから 2.5D 表現へといたる過程は、より具体的な知覚属性である色、明るさや輪郭などの処理を含むモデルへと修正され (Grossberg & Mingolla, 1985; Kellman & Shipley, 1991)、具体的な面と形の認識を説明しようとしている。また最終的な対象の認識を説明しようとする 3D 表現は、Marr (1982) の一般円筒から、より妥当性の高い

表現 (Biederman, 1987) に修正されるとともに、一方でこのような視点不変の表現の妥当性そのものについても再検討が行われている (Tarr & Vuong, 2002)。

計算理論的アプローチの展開は、人間の認識活動にとってより生態学的に妥当性の高い情報とその具体的な処理を明らかにする方向へと進められてきたと言える。ここでは、Gibson が指摘した生態学的な環境下において、対象と生体の変化による空間的かつ時間的に断片的な情報入力から、対象の全体的表象 (表現) を形成する情報処理過程の全体が明らかにされようとしている (Shipley & Kellman, 2001; Guttman, Sekuler, & Kellman, 2003; Palmer, et al., 2006; Kean, Lu, & Kellman, 2007)。これらの研究は、これまでの2次元的で静的な刺激画面における情報の処理から、3次元空間あるいは時間軸を含む刺激変化における情報の統合による対象の認識を取り上げた点で重要である。しかし、情報の統合が時間的にどのように進行するのか、また形成される表象がどのような性質を持ち、具体的な知覚的属性をいかに表現しているのか、などの点は十分に理解されているとは言えない (Palmer, et al., 2006, p. 538; Unuma, et al., 2010b)。

本研究は、時間的かつ空間的に断片的な情報入力が見覚を中心とする知覚情報処理過程において統合され、知覚的表象を形成することによって人間の対象についての認識が成立することを説明する理論を提示し、さらにその実験的根拠を示す。これまでの時間空間的統合を説明しようとする理論は統合の時間的な推移について一貫した結果を見いだしていない

(Chastain & Burnham, 1975; Ikeda & Uchikawa, 1978; Shipley & Kellman, 1994)。これに対して、本理論はアイコニック・メモリーから視覚短期記憶をふくむ時間範囲において時間空間的統合を一貫して説明しようとする。また、従来の理論 (Chastain & Burnham, 1975; Ikeda & Uchikawa, 1978; Palmer, et al., 2006; Shipley & Kellman, 1994) はいずれも時間空間的統合による表象成立の可否のみを問題としており、成立する知覚的表象の性質すなわち表象に表現される情報内容やその精度を検討してはいない。これに対して、本理論は形成される知覚的表象が表現する情報を具体的に問題とする。この理論を時間空間的統合理論 (Spatiotemporal Integration Theory)

と呼ぶ (Unuma, 1992; Shipley & Kellman, 1994; Kellman et al., 2001)。ここでは、これまで十分に説明されてこなかった統合の時間過程が、より具体的に明らかにされる。また、この時間空間的統合過程において情報が統合される条件と、統合された情報の心理的な表現 (表象) の特性が検討される。その結果は、時間と空間の双方の次元において広がりをもつ情報の統合についての新たな理論として示される。これまで主として検討されてきた (時間軸をともしない) 空間的統合は、新たな時間空間的統合理論の特殊ケースとして位置づけられることになる。さらに、第2章から第4章の実験を通じて、視覚情報処理過程においてこれまで異なる処理段階 (stage) と考えられてきた視覚像における知覚的体制化 (perceptual organization) の水準すなわち知覚の段階と、視覚短期記憶 (visual short-term memory) におけるイメージ過程すなわち短期記憶の段階の間の共通性と差異性が具体的に明らかとなる。すなわち、両者は共通する要因に規定されながら対象の全体像についての表象を形成すること、しかし一方でそれらの発現の機制を異にすることが指摘される。

本章の以下では、まず心理学的説明概念としての時間空間的統合を、一般的な情報の統合という問題の文脈に関連づけることで、その構成概念としての位置づけを明らかにする。これは、そこで取り上げられる情報統合の諸過程が、後に述べられるように時間空間的統合過程にも直接に関与するためである。次に、時間次元をともしない空間的統合過程と、時間次元のみを問題とする時間的統合過程において、これまで対象の知覚的表象の形成がどのように説明されてきたのかを概観する。これは時間空間的統合理論が、空間的統合と時間的統合のそれぞれの過程についてのこれまでの知見に理論的基礎を置き、さらにそれらの過程を総合的に捉え直そうとするためである。

1.1.2 認識の統合性

本研究では、人間の認識における情報統合を、次のようないくつかの水準においてとらえる。すなわち、(1)空間的統合 (spatial integration)、(2)時間的統合 (temporal integration)、(3)時間空間的統合 (spatiotemporal

integration), (5)特徴統合 (feature integration), (6)感覚間統合 (inter-sensory integration), (7)感覚-運動統合 (sensory-motor integration), が区別される²。

視覚においては, 空間的統合は空間的な一定の範囲あるいは関係にある視覚刺激が統合されて一体的に知覚されるはたらきであり, 空間加重 (spatial summation) (Barlow, 1958), 図地分離 (figure-ground segregation) (Koffka, 1935; Rubin, 1921 英訳 2001), 知覚的群化 (perceptual grouping) (Wertheimer, 1923 英訳 1938) などに見ることができる。時間的統合は, 時間的な一定の範囲あるいは関係にある視覚刺激が統合されて一体として知覚されるはたらきであり, 時間加重 (temporal summation) (Block, 1885), 視覚的持続 (visible persistence) (Eriksen & Collins, 1967; Sperling, 1960), 視覚的記憶 (visual memory) (Shepard & Metzler, 1971; Baddeley, 2000) に見ることができる。時間空間的統合は, 時間的かつ空間的に一定の範囲あるいは関係にある視覚刺激が統合されて一体的な知覚を成立させるはたらきであり, 仮現運動 (apparent movement) (Kolers, 1972), 眼球運動 (eye movement) (Yarbus, 1967) による対象の知覚, 視覚的注意による探索的知覚事象 (Hochberg, 1968; 鹿取, 1982) などにおいて観察される。

特徴統合は, 選択的に処理される複数の知覚的特徴 (perceptual feature) の間の統合である。Treisman & Gelade (1980) における特徴統合理論 (Feature Integration Theory) 以来, 線分の方向と色などの視覚特徴の統合的処理が問題とされてきた。感覚間統合は複数のモダリティにおける情報の統合による対象の認識をさす。視覚と聴覚における情報処理の相互作用と統合は, 視覚優位の統合を成立させる (McGurk & MacDonald, 1976)。さらに, 視覚と筋運動感覚の間においても感覚-運動統合が成立する。両者からの情報が不一致の事象では, しばしば視覚優位の統合が成立する (Hay, Pick, & Ikeda, 1965)。本研究では, 感覚間統合の問題は取り上げな

²さらに人間の認識活動全体を視野に入れれば, 感覚入力と高次の言語的・意味的処理の結果が意味的に統合されて人間の認識が決定される。これを意味的統合 (semantic integration) とよぶことができる。ただし, 本研究では対象からの感覚入力を中心とした認識を問題とすることから, 意味的統合については特に関連する場合を除いて言及しない。

いが、感覚-運動統合については知覚的統合のひとつとして言及することになる。

1.2 統合過程の諸理論

時間空間的統合理論はこれまでの空間的統合と時間的統合の知見を総合し、さらに特徴統合、感覚-運動統合をも含む総合的な理論である。そのために、まず時間空間的統合理論がその基礎を置く空間的統合と時間的統合について、それぞれの情報統合と対象の表象形成過程が述べられる。

1.2.1 空間的統合

空間的統合は、まず神経系における空間加重においてみることができる。神経系は一般に一定の空間的範囲における刺激による神経興奮を加算する。感覚は視野内において空間的に加算された神経興奮の総量に規定される。これを空間加重という。例えば人間の光覚閾 I について、中心視ではその刺激の面積 A との間に次のような関係がある。

$$I \times A = \text{const.}$$

すなわち、刺激の面積 A が視角約 1° までの範囲では、面積が大きければ神経興奮の加算結果も大きくなるので光覚閾は低下する (Ricco の法則)。空間加重の過程は、光刺激の入力に対して一定の範囲で空間的に統合された反応を出力するとともに、その周囲には逆に反応を抑制する領域をもつ (Wilson, 1978)。その範囲は受容野 (receptive field) とよばれ、対象知覚にいたる空間的な情報処理の最も初期の過程と位置づけることができる

(Wilson, 1978; Marr, 1982; 乾, 1993)。空間的に近接した受容野の反応は、さらに統合されて連続した空間的領域を視覚的に表現する。たとえば、空間的な輝度の不連続は、エッジ (edge) として検出されて、後に述べるように知覚的な輪郭 (contour) 形成過程への入力となる。さらに、輪郭の形成によって、視野は複数の領域へと分離し、またそれらの各領域内は同化 (assimilation) によって明るさなどの表面特徴が均一に知覚される傾向をもつ。これらの初期処理の結果、視野の分凝 (segregation) が成立する。

しかし、輪郭の成立による視野の分凝は、人間の対象認識を一義的には

決定しない。輝度の不連続な変化によって分離された複数の領域のうち、その一部が選択されることによって図 (figure) が認識される。図として認識された領域が「形 (shape)」を持つと知覚されるのに対して、地は図の「背後」に広がり形を持たない (Rock, 1995) ことは、図の成立が対象の認識の過程に本質的な段階として仮定されるべきであることを示している。図となりうる領域の面積や明るさは、地となる領域との相対的な関係において図の成立を規定する (Oyama, 1960; Kennedy, 1974) ことから、ここでも刺激の空間的統合が図の成立の一要因であると言える。

さらに、形成された複数の図には、知覚的群化 (perceptual grouping) が成立する。Kanizsa (1979) は、複数の図が空間的に統合され群化が成立することによって、あらたな図が知覚されることを示した。Figure 1 では、複数の図が空間的に統合された結果、あらたに物理的には存在しない三角形 (主観的あるいは錯視的輪郭図形) が図としての特性とともに知覚される。

知覚的群化は、日常の生態学的な環境下における対象の認識において、本質的な情報統合過程の問題を含んでいる。生態学的な環境下においては、われわれの身のまわりの事物は相互に重なり合い遮蔽 (occlusion) が生じるので、ある対象の全体が同時にすべて知覚システムに入力されることは少ない (Figure 2)。知覚システムは、このよう

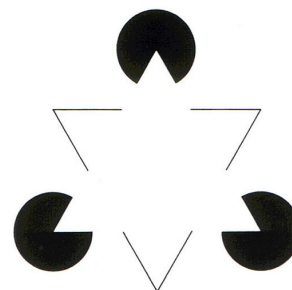


Figure 1. A subjective-contour figure after Kanizsa (1979).



Figure 2. A scene of partially occluded objects in a city. Observers perceive a total building and a car, in spite of occlusions by trees and street light.

な情報入力の制約にも関わらず、対象の知覚的表象を形成し、認識を成立させると考えられる。Figure 2 では、建物や車は街路樹などで遮蔽されているにも関わらず、われわれは建物や車の全体について知覚する。これは、遮蔽されることで断片化された対象の各部分が空間的に統合されること（知覚的群化）によって、対象全体の知覚的表象を形成したと考えることができる。

知覚的群化の水準にいたる空間的統合の過程について、Kellman & Shipley (1991) は数量的なモデルを提案した。さらに Kellman et al., (2001)はその情報処理過程の全体像を提示した (Figure 3)。Kellman et al. (2001) において空間的統合過程は、前述した輝度の不連続をエッジとして検出することから駆動される。検出されたエッジは、空間的に隔たった他のエッジとの間で一定の幾何学的制約条件 (Kellman & Shipley, 1991) が満たされる場合に統合されて輪郭 (contour) の知覚的表現を形成する (輪郭処理過程 contour processing stream)。一方、視覚入力のうち、色、テクスチャ、奥行き、運動などの属性は可視表面の特性を表現する表面処理過程 (surface processing stream)へと入力される。これら2つの処理過程からの出力は、さらに境界の補間 (boundary interpolation) とその内部への表面特性の拡散 (surface property spreading) を経て、最終的に対象の知覚的表現を形成する。Figure 3 における形の表現 (shape representation) は、対象の表面特

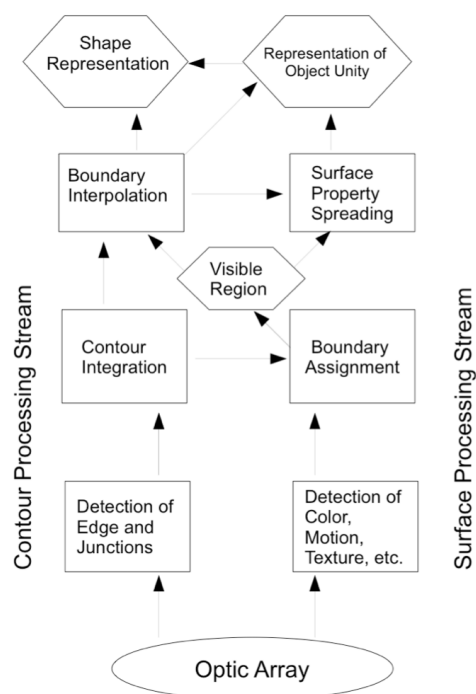


Figure 3. A framework of object perception based on Kellman, Guttman, and Shipley (2001).

Rectangles indicate perceptual processing stages and hexagons indicate visual representations.

Top-down processes, such as feedback from shape representation to boundary assignment, are not shown in the figure (Unuma, Hasegawa, & Kellman, 2010 c).

性と輪郭が統合された表現であり、すでに述べた特徴統合が空間的統合過程において実現されることを示している。この「形」は2次元的な面の表現と奥行きを持ち、Marr (1982)における2.5 D表現に対応するもので、さらに高次の3次元的表现の形成への入力となる。その意味で、最終的な対象の表現に至る中間視覚 (middle vision) の表現といえることができる (鶴沼, 長谷川, Kellman, 2010 c)。

1.2.2 時間的統合

さて、本研究が明らかにする対象認識の最終的な知覚的表現の形成過程は、上述の中間表現から高次の空間的枠組 (frame of reference) を含むより広い範囲の空間的統合や、空間的統合から時間次元を含めた情報統合へと理論が拡張される。すでに、知覚的群化において空間的要因以外に時間次元をふくむ運動要因である共通運命の要因 (factor of common fate) が取り上げられていた (Wertheimer, 1923) ように、時間次元の情報統合は生態学的环境下における認識活動を取りあげる際には、重要かつ有効な観点である。

視覚的認識における時間的統合は、まず時間加重 (temporal summation) においてみることができる。空間加重と同様に、視覚神経系は0.1秒までの時間範囲で視覚刺激の効果を加算する。この場合、光覚閾を規定する刺激強度 I と刺激持続時間 T の間には、

$$I \times T = \text{const.}$$

という関係が成立する (Bloch's law: Bloch, 1885)。これは、弱い刺激強度でも加算されることで刺激閾を超えることを示している。

さらに、複数の視覚刺激が継時的に提示された場合に、それらが0.1秒までの範囲で時間的に統合されて、個別の刺激にない視覚像が成立することが示されている。Eriksen & Collins (1967) は、ランダムドットからなる2つの刺激画面を継時的に提示し、それらの刺激時間間隔 (inter-stimulus interval: ISI) を操作して、2つの刺激が統合されて文字の知覚が成立するISIを検討した。その結果、0.1秒までの範囲で文字の知覚が成立し、ISIの増加とともに文字同定の正答率は減少した。この結果は、視覚刺激の消

失後もその効果が持続（視覚的持続 *visible persistence*）し、さらにそれらが統合されて視覚表象が形成されることを示している。その後、視覚的持続がどのような視覚情報をどの程度の時間持続させるのか（Turvey, 1978）、さらには視覚的持続を検証するために時間的統合をふくむ6種類の方法（Coltheart, 1980）が検討された。視覚的持続の特性に統一的な見解を見いだすことは困難という主張（Haber, 1983; 菊池, 1994）もあるが、本研究では数分の一秒までの時間範囲における視覚刺激の効果の持続（Coltheart, 1980）を視覚的持続とよぶこととする。

視覚的持続は、古典的な Sperling (1960) の実験における視覚情報貯蔵（*visual information storage: VIS*）あるいはアイコニック・メモリー（*iconic memory*）の働きに関連している。アイコニック・メモリーにおける視覚的情報の表象については、その後、色（Banks & Barber, 1977）、形（Turvey & Kravetz, 1970）、方向（Von Wright, 1968）、運動（Shioiri & Cavanagh, 1992）の情報が、刺激入力の停止後も持続的に表現されることが示されてきた。本研究との関連では、特に形、方向、運動情報がどのように処理・表現されるかが問題となる。

アイコニック・メモリーにおける視覚入力の時間的統合については、視覚的持続とは異なる処理（di Lollo, 1980）、複数の異なる視覚的表象の可能性（di Lollo & Dixon, 1988）、空間的統合要因との競合・比較（Oyama & Yamada, 1978）などが検討されてきた。これらの結果は、時間的統合が空間的統合とならんで人間の視覚における対象認識の解明にとって有効で妥当な概念であることを示している。本研究は、時間的統合にとどまらず時間空間的統合の問題をとりあげるが、アイコニック・メモリーにおける時間的統合の特性、特に視覚的処理と表象の具体的内容、空間的要因との相互作用は、前項でとりあげた空間的統合とならんで比較・考慮すべき問題と言える。

さらに本研究における統合の問題は、アイコニック・メモリーよりも長い時間範囲における情報の統合を視野に入れる必要がある。それは、眼球運動や視覚的探索を含む長時間の範囲にわたる情報統合の解明が、人間の認識活動の理解に不可欠であると考えられるからである（Gibson, 1966,

1979)。特に、視覚短期記憶 (visual short-term memory) あるいは作動記憶 (working memory) における情報の時間的統合と、長期記憶をふくむ学習過程におけるさらに長期的な情報統合の問題は、本研究における時間空間的統合においても取り上げられることになる。ここで視覚短期記憶は、一般に数秒間の視覚情報の貯蔵であり (Phillips, 1974), その容量の限界 (Luck & Vogel, 1997) において無限の容量をもつ長期記憶と区別される。また、視覚短期記憶は、作業記憶の一部 (Baddeley, 2000) として位置づけられる。

短期記憶および長期記憶における視覚的表象の特性に関する検討は、これまで視覚像との類似性ないし差異という観点でおこなわれてきた

(Shepard & Metzler, 1971; Kosslyn, 1980)。内的表象が視覚像と類似するか、それとも命題として表現されうるか、といういわゆる“イメージ論争”

(Shepard, 1978; Pylyshn, 1973) 以降、内的表象が視覚的か否かという二分法よりも、表象が表現する情報の具体的な内容とそれらの操作・変換が取り上げられてきた (大山・梅本, 1981)。本研究においても、“視覚的”表象がどのような点で視覚像と共通するのか、また具体的な差異はどこにあるのか、どのような情報が表現されていると考えられるか、が検討される。

いわゆる視覚短期記憶における情報の統合は、作動記憶の一部である視空間スケッチパッド (visuo-spatial sketchpad) とエピソード・バッファ (episodic buffer) における統合として位置づけることができる

(Baddeley, 2000)。エピソード・バッファでは、さまざまなモダリティからの情報や、長期記憶からの情報が統合されることが仮定されており、日常の知覚事態における積極的で注意を必要とする (active and attentionally demanding) ような比較的自動的な統合が短期記憶の時間範囲で想定されている (Baddeley, 2000, pp.421-422)。視空間スケッチパッドでは、眼球運動によって入力されるような断片的な視覚情報が統合されて、一貫した視空間表象が形成されると考えられており (Baddeley, 2010), これは後に述べる時間空間的統合の機構としても位置づけることができる。

1.2.3 時間空間的統合

本研究が提起する時間空間的統合理論に関連する現象は、視覚刺激の時間的かつ空間的に分離された複数の入力統合されて対象全体の認識が成立する事態である。このような事態として、アノースコピック知覚 (anorthoscopic perception) (Parks, 1965; Haber & Nathanson, 1968), 眼球運動 (Yarbus, 1967; Loftus, 1972) ないし視野制限下 (Hochberg, 1968; 鹿取, 1969, 1982) における探索的な知覚, および分割画素による対象全体の知覚 (Chastain & Burnham, 1975; Ikeda & Uchikawa, 1978), さらに短期・長期記憶をとまなう探索的空間表象の形成 (Thorndyke & Hayes-Roth, 1982; Presson & Montello, 1994), をあげることができる。なお, β 運動に代表される仮現運動の知覚 (Kolars, 1972) は, 時間空間的に隔たった入力の統合という点で時間空間的統合の問題を含んでいる。これに対して, 本研究は時間空間的統合によって成立する知覚表象が形とその表面的な特性を表現する点に焦点をしぼる。したがって, 仮現運動などの運動の知覚に焦点をあてた研究は, 本研究の取り上げる問題では区別される。

眼球運動の測定による時間空間的統合の検討では, 注視点が対象の特定の部分に選択的に停留すること (Mackworth & Morandi, 1967; Loftus & Mackworth, 1978), 対象の特定部分への注視の頻度が後の再認記憶を規定すること (Loftus, 1972), 文脈などの高次の知識からの影響が注視点の選択とそれらの間の系列を規定すること (Yarbus, 1967), が示されてきた。眼球運動測定は, 日常の情報処理活動と情報の選択的处理をとらえる点で本研究に深く関連するといえる。これに対して, 視野制限法 (e.g., Hochberg, 1968; 鹿取, 1982; 乾・宮本, 1978, 1979) と分割画素法 (Ikeda & Uchikawa, 1978) では, 実験者が視覚系への入力を空間的あるいは時間的に操作することで視覚刺激の選択と統合の過程をより明確に検証することが可能となる。視野制限法では, 観察者が観察できる視野の大きさが実験者によって統制される。観察者は空間的に制限された視野で対象を自由に走査する。視野制限法を用いた短期記憶照合 (Saida & Ikeda, 1979) や長期記憶内の情報との照合実験 (Inui & Miyamoto, 1984) の結果は, 対象全体の認識には視野の大きさが対象全体に対して $1/5$ (Inui & Miyamoto, 1984) から $1/2$ (Saida & Ikeda, 1979) 以上の割合をもつことが必要であることを示唆し

た。分割画素法では観察者の走査系列と観察時間が実験者によって統制される。その結果、分割された画素のすべてが 500 ミリ秒の範囲で提示されることが全体の知覚に必要であるとされた (Ikeda & Uchikawa, 1978)。

視野制限法や分割画素法における視覚的表象の形成は視覚短期記憶における時間空間的統合の過程と考えることができる (乾, 1981) が、この過程には長期記憶からの情報の影響や筋運動感覚の関与など、視覚刺激の入力からのボトム・アップの処理以外の可能性が指摘されてきた。眼球運動をとまなうような長時間の探索的走査の事態では、長期記憶における図式的知識が短期記憶に転送され、“仮説検証的”な処理 (Neisser, 1967) がなされると仮定することで探索の規則性 (Mackworth & Morandi, 1967) や文脈効果が説明された (Biderman, Glass, & Stancy, 1973)。また、Ikeda & Uchikawa (1978) は、分割画素事態において形成される視覚表象が、実際に手を動かしてみると分かる表現をとることがあることを指摘し、これを運動イメージ (motor image) とよんだ。

アノーツスコピック知覚は、狭いスリットの背後を図形が通過する事態で、図形の一部のみが提示されるにもかかわらず全体像が知覚される現象である (Parks, 1965)。知覚される図形が狭いスリットよりも大きく、スリットの外側に拡大して見えることから、ある時点でのスリットからの入力が見覚系に保持され、さらにその空間的位置が通過方向へと更新されて、後の入力と統合されると考えられる (Palmer, et al., 2006)。この時間空間的統合は網膜上の位置に基づくのではなく、より高次の処理によって外界の座標系において生じていると考えられる (Shipley &

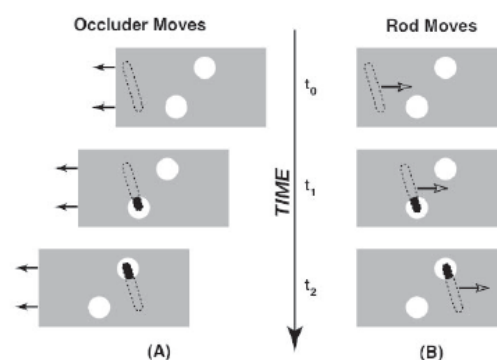


Figure 4. Experimental situations for examining spatio-temporal integration process. A: The moving occluder reveals parts of the rod sequentially in time. B: Parts of moving rod become visible through apertures sequentially in time. From “Geometric and Neural Models of Object Perception,” by P.J.Kellman, S.E. Guttman, and T.D. Wickens, in *From Fragments to Objects: Segmentation and Grouping in Vision* (p. 238), edited by T. F. Shipley and P. J. Kellman, Amsterdam: Elsevier. Copyright 2001. Reprinted with permission.

Cunningham, 2001)。網膜座標上での対象の表現 (retinotopic representation) が全体像の知覚に不十分であることは、静止した図形の前でスリットを移動した際に、観察者がスリットを追視しても図形全体が知覚された (Haber & Nathanson, 1968) ことが根拠となる。なぜならば、スリットを追視した場合、常に網膜上の同じ位置に入力が投影されるので網膜座標ではそれらの位置は同一になってしまい、全体の中での各部の位置は記述できない。つまり、網膜座標上の表現だけで空間的位置を更新し、対象全体の表現を形成することは困難と考えられ、外界の座標系で記述されたと考えられるからである (Shipley & Cunningham, 2001)。

近年、アノースコピック知覚に類似した事態を説明するための時間空間的統合過程に関する具体的なモデルが Palmer et al. (2006) によって提案された。彼らは、視覚系に入力された視覚刺激が限られた時間範囲で保持される (視覚的持続) とともに、時間軸上のみならず空間位置においても異なって入力される複数の視覚刺激が統合されて単一の対象が知覚される事態 (Figure 4) を問題とした。彼らは、複数の刺激間の空間的關係とそれらの運動をふくめた時間的關係をもとに、複数の視覚刺激を時間空間的に統合する視覚情報処理過程のモデルとして動的視覚アイコン

(Dynamic Visual Icon; DVI) を提案した。これは、時間空間的統合の具体的な計算理論的モデルの提案という点で意義を持つものである。本研究は、この DVI の空間的、時間特性を具体的に明らかにし、さらに輪郭や明るさなどの対象の特性がいかに統合されるのかを検討することになる。

1.2.4 先行研究の問題と本研究の目的

空間的統合、時間的統合、そして時間空間的統合の諸過程についての研究の進展は、以上のように一定の成果を見せている。そこで本研究はさらに、これまでの空間的、時間的、そして時間空間的統合の諸モデルおよび理論を総合し、新たな時間空間的統合理論を提示する。本理論は、次の3つの観点から、従来の理論・モデルを捉え直し、新たな時間空間的統合過程の展望を開こうとするものである。(1) 主として空間的統合において理論化されてきた知覚的群化による対象の認識を時間空間的統合事態に括

張する。これによって、生態学的環境下における人間の探索的認識活動と対象認識における表象の形成が、従来の2次元、静的な事象から拡張された時間次元を含む情報処理過程によって説明されるだろう。(2) 時間空間的統合における視覚的持続（アイコニック・メモリー）による統合と、視覚短期記憶における統合の関係を明らかにすることによって、これまで明らかではなかった眼球運動をともなう長期的な統合過程をふくむ空間的な表象の形成が解明されることになる。(3) 時間空間的統合過程においても、空間的統合と同様に視覚的な特徴間、さらには視覚-運動情報間の統合という異なる水準の知覚的統合が成立すると考えられる。時間空間的統合におけるこれらの知覚的統合の成立を明らかにすることは、(2)の観点にくわえてアイコニック・メモリーと視覚的短期記憶における情報統合についての理論的発展に寄与するものである。本節の以下では、これら3点について、これまでの理論との関係から、さらに論点を具体的に整理しておきたい。

まず2次元平面においては、図の成立から群化にいたる空間的統合が、エッジの検出から形の視覚的表現への情報処理過程として理論化されてきたが（Figure 3）、この過程が処理の時間的推移の実時間上でいかに進行するのかが明らかではない。たとえば、Kellman & Shipley (1991)における空間的統合の幾何学的制約条件は、ゲシュタルト心理学の提起した群化の要因（よい連続の要因）を数量的、計算理論的に定式化したともいえるが、時間次元をふくめてその制約条件を適用するには、時間次元における何らかの仮定が必要であろう。本研究においては、群化の要因について時間次元を含めた拡張と理論化をおこなうことになる。

次に、アイコニック・メモリーと視覚短期記憶において、空間的関係の表現と知覚的群化が、これまで検討されてきた2次元平面と同様に時間次元をふくめた時間空間で成立するかどうかの問題とされる（第3章、第1節および第2節）。探索的な認識活動における対象の表象の成立を明らかにするために、これら2つの段階における対象表象、特に群化の成立を明らかにすることが求められる。

さらに、アイコニック・メモリーと視覚短期記憶において、輪郭や明る

さなどの具体的な視覚的情報がいかに統合されるかが問題となる。すでに、アノーズコピック知覚事態における形の知覚については、Palmer et al. (2006) が時間空間的に断片的な視覚的エッジが統合されて形の表現が成立する過程を説明する理論を提案している。しかし、そこではエッジが補間されて輪郭が形成される過程が取り上げられたが、明るさなどの表面特徴や奥行き手がかりなどとの統合は説明されていない。本理論は、明るさなどの表面特徴、さらには奥行き手がかりなどの視覚の手がかりの統合が、時間空間的統合過程においていかに統合されるかを問題とする（第2章、第2節）。

1.3 時間空間的統合理論

以上の議論をふまえて、本研究は時間空間的統合の全体像を説明する理論を提示し、さらにその実証的根拠を示すことを目的とする。本節の以下では、まず本理論が仮定する理論的な前提について述べる。

本研究が提示する時間空間的統合理論は、空間的かつ時間的に不連続な視覚的情報の入力に対して、視覚系がそれらの情報を統合して対象の知覚的な表象を形成することによって認識を成立させる過程を説明しようとする。本理論は、つぎの3つの仮定を置くことによって時間空間的統合事態における対象の認識を説明する。まず、視覚系に入力された対象の要素的部分は、時間次元においては視覚的持続や視覚的記憶の働きによって、物理的な持続範囲を超えて時間空間的統合過程内で知覚的に持続して表現される（**知覚的持続性** *perceptual persistence*）。すなわち、分割画素提示やアノーズコピック知覚事態において、ある時点で視覚系に入力された要素部分は、次の時点では遮蔽物によって覆われるために視覚系には継続して入力されることがない。Figure 4 A において時点 t_1 において観察された対象物の一部は、次の時点 t_2 ではすでに遮蔽されて見ることができない。時間空間的統合事態においては、 t_2 の時点まで遮蔽された対象の一部が消失せずに知覚的に持続し、 t_2 の時点で観察された部分と統合されて対象全体の知覚表象が形成されると仮定される。

ただし、対象全体の知覚表象が形成されるためには時間次元上の知覚的

持続のみでは不十分である。遮蔽物が移動する Figure 4 A では、時刻 t1 において観察された対象の空間内の位置が、t2 において保持され空間的に統合されることがさらに必要である。この空間位置は、遮蔽物が静止して対象が移動するアノースコピック知覚 (Figure 4 B) においてはさらに重要である。Figure 4 B の時刻 t1 で観察された部分は、そのままの位置に保持されたままでは、後の t2 において出現する部分と統合されることができない。時刻 t1 における位置は、t2 においてあるべき空間位置に変更され、t2 において観察された部分と統合されることではじめて対象全体を表現することが可能となる。対象が運動する場合には、t1 における運動速度に基づいて t2 における位置が推定されて「更新」(updating) される考えられる (Palmer et al., 2006)。これに対して対象が静止して遮蔽物が移動する場合や分割画素法のように要素部分が運動情報を伴わずに視野から消失するか、あるいは遮蔽される場合には、推定される位置が更新されることはない。しかし、空間位置自体はやはり t1 における位置をもとに推定されると考えられる。すなわち、対象が運動するか否かに関わらず、対象の空間的位置は時間空間的統合過程において推定され、推定された位置をもとに空間的に統合されると考えることができる。このような時間差をとともなう空間的位置の推定を、*時間-空間的定位 (spatio-temporal localization)* と呼ぶことができる。ここで、最終的な知覚的表象は対象を時間次元とは独立な空間的關係によって表現することが仮定される。したがって、この空間的關係の表現は、時間差を伴わない空間的統合による空間關係の表現と類似すると考えられるが、アノースコピック知覚の場合にみられるように、形が変形、収縮 (Parks, 1965) することが知られていることから、時間-空間的定位は物理的な位置と同一ではないと仮定される。なお本理論は、遮蔽された事態における時間空間的統合のみではなく、一般に時間空間的な広がりをもつ視覚情報の統合において、時間-空間的定位が成立すると考える。これは、遮蔽された事態における時間空間的統合が、一般的な時間空間的統合事態のひとつと位置づけられるからである。

さらに、時間空間的統合過程によって形成される知覚表象は、対象についての知覚的属性を統合的に表現する (*知覚的統合 perceptual integration*)。

すでに空間的統合過程においては、群化による空間的統合において、同時に対象の輪郭処理と明るさやテクスチャなどの表面処理が統合される過程が理論化されてきた (Figure 3)。本理論は、特に時間空間的統合過程が群化によって対象の空間的表象を形成する際に、視覚的エッジの統合による輪郭の形成、明るさなどの表面処理との統合が成立することを仮定する。本節の以下では、知覚的持続、時間-空間的定位、知覚的統合の3つの仮定を中心に、さらに本理論の詳細とその理論的な根拠および意義を述べる。

1.3.1 知覚的持続性

知覚的持続性は、視覚情報が刺激の消失後も時間空間的統合過程において保持されること、その結果、時間的に不連続な複数の視覚的エッジが統合されることをさす。これは、時間空間統合過程における情報の持続という点において新たな理論的概念である。一般的な概念としての情報の持続と保持は、すでに視覚的持続すなわちアイコニック・メモリーと、視覚短期記憶において理論化されている (1.2.2)。本理論における知覚的持続性は、特に形、明るさと色、運動がアイコニック・メモリーに数分の一秒間保持されること (Banks & Barber, 1977; Shioiri & Cavanagh, 1992; Turvey & Kravetz, 1970) と、視覚短期記憶において数秒間にわたって形や位置が保持されること (Phillips, 1974) に直接関連している。本理論ではさらにこれら2つの水準において、時間空間的に不連続な複数の持続情報が時間空間的統合過程において統合され、以下に詳しく述べる時間-空間的定位と知覚的統合過程への入力となる点が重要である。したがって、知覚的持続はアイコニック・メモリーと視覚短期記憶の双方をふくむ概念であり、包括的に時間空間的統合事態における認識の成立を説明するための概念である。

知覚的持続性の考え方は、特に探索的な対象の認識を説明するために有用である。分割画素提示事態 (Ikeda & Uchikawa, 1978)、アノースコピック知覚 (Parks, 1965)、探索的知覚事態 (鹿取, 1982)、そして眼球運動を伴う探索的知覚のいずれにおいても、一般にある時点 t_1 において時間

空間的統合過程に入力された視覚情報は、その後の時点 t_2 において他の視覚情報が入力される際には、遮蔽物によって視野から消失するか(Figure 4)、中心窩 (fovea) から移動するために詳細な入力を物理的に持続することができない。したがって、時点 t_1 における入力が、時間空間的統合過程内において知覚的に持続することによって、時点 t_2 における入力と統合され、空間的に定位される。

知覚的に持続する視覚情報は、アイコニック・メモリーにおいては物理的な入力に忠実な視覚コードである (Sperling, 1960) が、時間の推移とともに数分の一秒で減衰し、視覚短期記憶においては「図式的な表現」(Phillips, 1974, p.289) をとる視覚コードに変換される。視覚短期記憶における視覚コードは、文字刺激のように長期記憶からの概念駆動型の処理が誘発されなければ、数秒 (Phillips, 1974) から、10 秒ないし 20 秒 (Kikuchi, 1987; Kroll, et al., 1970 ; Phillips, 1974; Oyama, Kikuchi, & Ichihara, 1981) 程度持続する。持続時間は、刺激強度などの刺激要因のほかに、課題の性質が視覚コードの使用を誘導するかに依存する。視覚短期記憶の知覚的持続は、視覚コードとしては入力から数分の一秒は減衰しないが、数秒から 20 秒の持続範囲において次第に減衰する。

時間空間的統合過程は、アイコニック・メモリーから視覚短期記憶を含む知覚的持続の範囲において、時間空間的に不連続な視覚エッジに対して群化の法則にしたがって統合された視覚表象を生成する。アイコニック・メモリーにおける時間空間的統合過程の動作はアノースコピック知覚を説明し (Palmer, et al., 2006)、視覚短期記憶における動作は分割画素事象、探索的知覚、そして眼球運動をとともう対象や景観の認識 (Baddeley, 2000, 2010) を説明することになる。

本研究が新たに提示する時間空間的統合理論において、時間空間的統合過程は一貫して上述の知覚的持続の範囲において群化の法則にしたがって時間空間的統合を達成しようとする。ただし、アイコニック・メモリーと視覚短期記憶の範囲において、それぞれ時間空間的統合過程は異なる動作特性を持つ。すなわち、知覚的持続の時間的推移とともに、後述する表象の知覚的明瞭さと空間的定位の精度、そして知覚属性の統合の程度が低

下する。この点に関しては、第2章から第4章において、その実験的根拠が示される。言い換えれば、これまで空間的統合として取り上げられてきた事態(1.2.1)は、本理論においては知覚的持続を必要としない一方の極であり、時間空間的統合過程が動作する事態の特殊ケースとして位置づけられる。

1.3.2 空間的表象と定位

知覚的持続によって保持された複数の視覚情報は、統合されて空間的に定位される。この時間-空間的定位がアイコニック・メモリーと視覚短期記憶の両水準で作動する点で、これまでのいくつかの理論を総合したものである。すでにアイコニック・メモリーにおける時間空間的統合過程について、Palmer et al., (2006) は視覚的エッジの空間的位置が更新された後に、後続のエッジと統合されて輪郭表現を形成するメカニズムを提案した

(1.2.3)。本理論はPalmerらのモデルを、視覚短期記憶を含む統合過程に拡張したものと言える。さらに本理論では新たに、統合された対象の輪郭の保持する空間位置の精度と知覚的持続との関係が次のように定式化される。すなわち、知覚的持続の時間的推移とともに、統合された輪郭の空間位置の精度は低下する。これは、知覚的持続が時間的推移とともに減衰することに対応する。対象の輪郭の精度は、輪郭表象の強度および明瞭度に直接関連すると仮定される。以上の実験的根拠は、第2章および第3章において示される。

時間-空間的定位によって成立する対象の空間的表象は、対象の要素的部分が異なる時点(t_1, t_2 ; Figure 4)で入力されるにも関わらず、それらが知覚的持続によって「同時に」存在することを表現する。その結果、対象はある時点において空間的広がりを持つ対象として表現される。もし、この時間-空間的定位が作動しない場合は、たとえば2つの要素部分はそれぞれ知覚的に持続しても、それらが同一時点に存在するとは表現されない。2つ間に仮現運動(β 運動)が成立する事態もこのような場合に含まれる。時間-空間的定位の作動を促進する要因には、対象が遮蔽されることが含まれる。一方の要素が遮蔽されることで、他方の要素が出現するまで遮蔽

物の背後で知覚的に持続し、その結果、時間-空間的的定位によって同一空間内に同時に表現され、対象の表象が成立する。

さらに、時間-空間的的定位によって成立する対象輪郭の空間位置は、物理的な位置と同一ではない。すでにアノースコピック知覚の一連の研究が明らかにしたように (1.2.3), 統合された対象の形が規則的に変形、収縮することが知られている。本理論は、高い精度すなわち明瞭度を保つアイコンック・メモリーにおける定位においては、物理的な空間位置からの変位を予測する。

1.3.3 知覚的統合と時間空間的過程

時間空間的統合理論は、空間的統合における輪郭処理と表面処理の統合 (1.2.3, Figure 3) を、時間的かつ空間的に不連続な入力に対する時間空間的統合事態に拡張する。すなわち、時間的推移とともに輪郭処理過程と表面処理過程の2つの過程が並列的に作動し、時間空間的統合過程によって統合される。これらの処理進行の特性は現時点では未解明な点が多い (Unuma, Hasegawa, & Kellman, 2008, 2010 b) が、両過程の統合的処理によって対象の表面特性と輪郭が統合されて知覚される (知覚的統合)。このような視覚的屬性間の知覚的統合が、選択的な注意 (selective attention) による継時的な処理機構によって達成されるという主張は、すでに特徴統合理論 (Feature Integration Theory) に見られる (Treisman & Gelade, 1980)。Treisman らの統合理論が特定の対象の注視による統合を仮定するのに対して、本理論は時間空間的に不連続な複数の注視間の知覚的統合と関連する問題、すなわち時間空間的統合事態における知覚的統合へと問題を拡張することをめざす。

この知覚的統合に関して、新たに本理論は知覚的持続性と知覚的統合の関連を次のように仮定する。時間-空間的的定位が知覚的持続の進行とともにその精度を低下させたように、知覚的統合も知覚的持続の時間的推移とともに、空間的統合と同様の両過程の統合状態から、両過程が統合されない状態へと統合の様相を変化させる。この知覚的持続と知覚的統合の関係は、先に述べた時間-空間的的定位に関連する。これは、すでに視覚的短期

記憶における知覚的統合，たとえば色と形の統合は，その空間位置の対応に規定されること（Treisman, 2004; Wheeler, & Treisman, 2002）が指摘されており，その空間位置の精度が知覚的持続の時間的推移につれて低下することによって知覚的統合が成立しなくなると考えることができるからである。

1.3.4 本研究が取り上げる問題の範囲

本研究における時間空間的統合理論は，以上のように知覚的持続，時間-空間的定位，知覚的統合という3点において，これまでの理論的展開を総合し，あらたな知見を見いだそうとするものである。しかしながら，これらの問題は，いずれもきわめて広範な現象とそれらを規定する要因に関連しているため，本研究が直接取り上げようとする問題の範囲をあらかじめ明示することは必要であろう。ここでは，具体的な課題および材料と，測定される指標の観点から問題の範囲を明らかにしたい。

まず，本研究が問題とする時間空間的統合事態とは，2次元平面的な広がりをもつ視覚的対象について，探索をふくむ情報抽出によって統合された知覚的表象が形成されることで対象認識が成立する事態をさす。この事態では，すでに述べたように眼球運動や視覚的注意が関与するが，本研究では視覚系に入力される情報を実験的に統制・操作することによって，実験者側の操作によって統制された時間空間的条件と，観察者において形成された知覚的表象の間の関係を分析することを主眼とする。この場合，提示される情報の時間空間的な制限は，分割画素提示法（Chastain & Burnham, 1975; Ikeda & Uchikawa, 1978; Unuma, 1992; Unuma, Hasegawa, & Kellman, 2010b; Unuma & Tozawa, 1994）と，視野制限法（Hochberg, 1968; 乾・宮本, 1978, 1979; 鹿取, 1982）に類似した探索課題（鶴沼, 1993）によっておこなわれる。

視野制限法と分割画素提示法の一部（Unuma, 1992）では，視覚情報の消失は物理的な遮蔽面（occluding surface）によって操作される。一方，このような遮蔽による物理的消失をとまなわない事態（Chastain & Burnham, 1975; Ikeda & Uchikawa, 1978; 鶴沼, 1993; Unuma & Tozawa, 1994; Unuma,

Hasegawa, & Kellman, 2010b) では、単に対象の一部が出現・消失することで視覚情報の入力操作される。本研究は、遮蔽をともなう事態と単に出現と消失の事態において、共通の時間空間的統合過程が関与すると考える。すなわち、物理的な遮蔽面をもたない出現・消失事態においても、視覚的エッジの時間空間的条件が満たされれば、最終的な知覚には遮蔽が現象的に生じること (Unuma & Tozawa, 1994; Unuma, Hasegawa, & Kellman, 2010b) から、物理的な遮蔽は時間空間的統合における必要条件ではないと考えられる。空間的統合においては、物理的な遮蔽をともなうエッジ間の統合による輪郭線の補間 (interpolation) が、遮蔽されない事態における補間と共通の統合過程をもつこと (Guttman & Kellman, 2004) がすでに指摘されてきたが、本研究はさらに時間次元をふくむ時間空間的統合においても共通の統合過程が物理的遮蔽の有無に関らず作動すると考える。

本研究で取り上げられる知覚の対象は、2次元的な広がりをもつ視覚的对象であるが、実験において具体的にどのような対象を問題とするかは、研究を展開するうえで重要な問題である。さらに、それらの対象についての知覚的認識をどのような指標によって実験的にとらえるかという問題は、本研究における基本的な問題のひとつである。本研究では、認識の対象として、多義的な解釈が可能な図形 (多義図形 *ambiguous figure*)、物理的な輪郭が存在しない図形 (主観的輪郭線図形 *subjective-contour figure*)、そして2次元の迷路パターンを取り上げる。これらは、いずれも従来 の時間空間的統合に関連する研究において取り上げられてきた対象である。多義図形を用いた Chastain & Burnhum (1975) は、分割画素法によって分割された画像の提示順序が多義図形の見えを規定することを示した。そこでは、統合された知覚像に対応する言語報告が指標として用いられた。また主観的輪郭線図形を用いた Watanabe & Oyama (1988) は、空間的な統合によって知覚された現象間の因果関係を評定法によって検討した。Guttman, et al. (2003) と Guttman & Kellman (2004) は、同様に主観的輪郭線図形を用いて空間的統合による輪郭の形成過程を精神物理学的な行動的指標によって検討した。さらに大野 (1965) は、鉄筆迷路とよばれる課題で2次元の迷路パターンを材料として探索的な知覚的学習過程を検討した。本研究は、

これらの先行研究を具体的にふまえて、より一般的な時間空間的統合過程への拡張とその検証をおこなおうとするものである。

そこで、第2章以降ではこれらの先行研究の問題点を整理し、新たにおこなわれた実験をもとにして時間空間的統合を総合的にとらえなおす。まず視覚短期記憶をふくむ知覚的持続による時間空間的統合が、アイコンック・メモリーにおける視覚的持続による統合とは異なる機序によることを検証する。そのためには、多義図形を用いた Chastain & Burnham (1975) において操作された時間範囲をより長い時間範囲に拡大することが必要となる。また同様にこれまで検討されてこなかった範囲で情報入力の間を操作しながら、主観的輪郭線図形を用いて空間的統合を検討した先行研究 (Watanabe & Oyama, 1988; Guttman, et al., 2003; Guttman & Kellman, 2004) の結果を時間空間的統合事態において再検討する。空間的統合との比較検討のため、すでに先行研究で用いられた評定法と精神物理学的測定手法が同様に用いられる。これらはいずれも、分割画素法に先行研究の反応指標を適用するものであるが、その操作される時間範囲において先行研究の問題点を克服しようとするものである。

一方、時間空間的統合における時間-空間的定位の問題は、定性的にはすでに主観的輪郭線図形を用いた Palmer et al., (2006) において検討され、すでに述べたように時間空間的統合の機構としての動的視覚アイコン

(Dynamic Visual Icon, DVI) が提案されている (1.2.3)。本研究は、さらに定量的に DVI の時間的そして空間的特性について主観的輪郭線図形を用いて検討する。すなわち、主観的輪郭の時間空間的定位がどの程度の時間範囲において可能なのか、またその定位の精度は時間の推移にともなう知覚的持続とどのような関係にあるのか、が検討される。

さらに、探索的な時間空間的統合事態である迷路探索課題 (大野, 1965; 鶴沼, 1993) は、分割画素法とは異なり、視野制限法 (Hochberg, 1968; 乾・宮本, 1978, 1979; 鹿取, 1982) の変形とみなすことができる。すなわち、分割画素法 (Chastain & Burnham, 1975; Ikeda & Uchikawa, 1978 など) においては、実験者によって提示される対象の要素的部分が空間的かつ時間的に操作されたのに対して、視野制限法では空間的な範囲が制限されたが観

察者の探索行動は制限されなかった (Hochberg, 1968; 乾・宮本, 1978, 1979; 鹿取, 1982)。迷路探索課題においても, 実験参加者の探索行動は制限されず, その探索行動自体が問題とされる。このような自発的な探索行動においては, 分割画素法における眼球運動に加えて探索行動にともなう筋運動情報が情報の統合に関与する (鹿取, 1982 ; 大野, 1965) と考えられる。特に, 腕の運動をともなう 2次元の迷路探索 (大野, 1965 ; 鶴沼, 1993) においては, 刺激のもつ形態的情報の統合とその変換 (大野, 1965) においてこの筋運動情報と形態情報を中心とする空間的情報が時系列において統合されることが予想される。したがって, 特に迷路探索課題においては時間空間的的定位に加えて, 筋運動情報と視覚的情報の統合がいかに時間空間的統合において達成されるのかが検討される。

第2章

知覚的持続と知覚的表象の形成に関する実験

2.1 実験 I³ 知覚的持続と対象の表象の形成

2.1.1 問題

本章では時間空間的統合理論における知覚的持続の根拠を分割画素法によって検証する。まず、実験 I は日常的な絵画的材料における時間空間的統合による知覚の成立から検討をはじめ。絵画的材料を用いた先行研究 (Ikeda & Uchikawa, 1978 など) のなかでも、いわゆる多義図形を用いた研究 (Chastain & Burnhum, 1975) では、知覚の成立を言語報告によって推測する場合の曖昧さが少ないとすることができる。すなわち、成立した知覚表象と言語報告の対応が他の絵画的材料を用いた場合よりも明確である点で、測度の妥当性をより保証できる。そこで実験 I では特に多義図形の知覚を分割画素法によって検討する。

すでに、多義図形を用いた Chastain & Burnhum (1975) は、分割画素法によって分割された画像の提示順序が多義図形の見えを規定することを示した。しかしながら、そこで要素的画素を提示するために操作された時間範囲は、すべての画素が提示される時間の総和でも 333 ミリ秒であり、視覚短期記憶までを含む時間空間的統合が仮定する知覚的持続を検証するには短すぎるものであった。そこで、本実験では視覚短期記憶の範囲まで時間範囲を拡大して、分割画素法のもとで図形全体の知覚的表象が形成されるかを検討する。

実験 I では、観察対象となる絵が 6 つの部分に分割され、それらが継時的に提示された (Figure 5)。用いられた絵は、一般に 2 通りの見え方が生じる多義図形であった。もし、絵の部分要素の提示系列に絵の見え方が規定されるならば、刺激系列と知覚的反応の間に内的な統合過程を仮定す

³ 本実験は Unuma (1992)における第一実験の一部としておこなわれたものである。

ることが妥当であろうと考えられた。つまり、多義図形の各部分が時間空間的に異なる系列で提示される結果、提示順序によって要素的部分間の時間的近接が異なるために、群化の法則によって時間的に近接した要素部分には群化を生じ、時間空間的統合過程によって統合される。一方、時間的な隔たりが大きい部分間では、知覚的持続の特性にしたがって先に提示された部分の情報が減衰するので、後に提示された部分との統合が困難となる。

ここで、多義図形においては、図形の各部分の間で全体の知覚との関連の強さに違いがあることが指摘されてきた(苧阪, 1970)ことを考慮する必要がある。Figure 5 において要素部分 1 は、後述する予備実験の結果から最も「妻」という知覚に関連する部分と見なされる。Chastain & Burnham (1975) はすでにアイコニック・メモリーにおける時間空間的統合において、最初に入力される部分が後の統合を規定することを示唆した。本実験では、新たに視覚短期記憶における時間空間的統合においても、同様の規制が働くことを検証する。すなわち、最初に要素部分 1 が提示される系列では、この部分を斜め後方から横顔とする「妻」に対応する表象が形成され、最も「継母」に関連する要素部分 5 が最初に提示される場合には、この部分を鼻と口の一部とする「継母」の表象が成立すると考えられる。

また、Chastain & Burnham (1975) では最初に提示される要素部分に続く提示系列は空間的に近接していた。時間的に近接した部分が空間的にも近接して提示されることが、アイコニック・メモリーにおける時間空間的

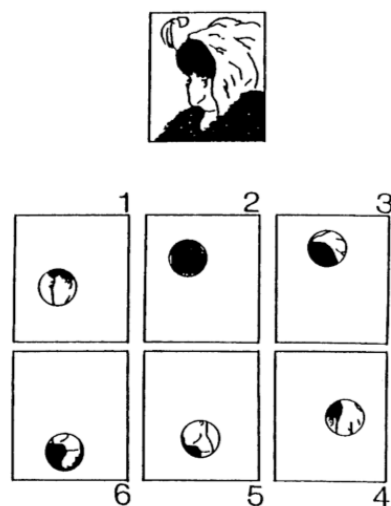


Figure 5. Total figure used in experiment 1: "wife and mother-in-law" after Boring (1930). Six parts from the figure were presented to observers one by one sequentially (Unuma, 1992).

統合を促進することは、Julesz (1971) において指摘されている。これに対して、本実験が取り上げる視覚短期記憶における統合において、空間的な近接が時間的な近接と同様に統合を促進するかどうかは明らかではない。視覚短期記憶における情報が、視覚的持続に基づくアイコニック・メモリーとは異なる、より「図式的」(Phillips, 1974) 表象と仮定すれば、提示系列における空間的な近接は必要ではない可能性がある。現時点では、空間的な近接以外の特定の仮説とその根拠を示すことはできないが、予備実験においてその効果が示唆された空間的に近接しない提示系列を含めて、提示順序の効果を検証する。

2.1.2 方法

実験参加者 大学生（学部，大学院）60名が実験に参加した。いずれも視力は正常で、実験の仮説については知らされていなかった。

材料 多義図形「妻と継母 (wife and mother-in-law)」(Boring, 1930) が用いられた (Figure 5)。図は6分割され、予備実験によって最も「妻らしい」部分 (Figure 5における1)、最も「継母らしい」部分 (同5)、いずれでもない中立な部分 (2, 3, 4, 6) が決められた (予備実験では6名の大学院生が、「妻らしい-継母らしい」尺度で5段階の評定を行った)。1つの要素部分の大きさは視角 7° ，多義図形全体の大きさは視角 18° (縦) \times 15° (横)。観察距離は60cmであった。要素部分内部の平均輝度は 610 cd/m^2 ，要素外部の平均輝度は 180 cd/m^2 であった。

装置 観察者による注視の空間的範囲と観察時間を統制するために、パーソナル・コンピュータとビデオ編集器が用いられた。多義図形全体がビデオカメラ (SONY HNC-2500, SL-FI, AC-FI) で撮影され、部分要素を作成するためにパーソナル・コンピュータ (SANYO MPC-11, MPI-01) によって窓を持つ遮蔽面がスーパーインポーズされた (Figure 5 参照)。ビデオ編集器 (SONY SLO-383, SLO-420, RM440) が各部分要素の提示間と提示系列を統制するために使われた。作成された刺激系列はビデオテープに記録され、TV モニターによって観察者に提示された。

手続き 画面中央の凝視点の提示 (1s) に続いて、要素部分 (Figure 5)

がひとつずつ提示された。各要素部分は、常に多義図形全体のなかのそれぞれの位置に提示された。1つの要素部分の提示時間は333msであり、要素図形間の時間間隔は0msであった。予備実験において各要素部分を1度ずつ提示したところ、観察者には多義図形全体の認知が困難であったので、本実験では各要素部分は3回ずつ提示された。すなわち、1つの系列が3周提示された。刺激系列が提示された後、観察者は彼らが見た対象についての言語報告を求められた。言語報告は、実験者によって「妻」「継母」「それら以外」に分類された。

実験計画 要素部分の提示順序によって6条件が設定された(Table 1)。これは最初に提示される位置(要素1 vs. 5の2種, Figure 5)に、図形全体の輪郭に近く隣接した要素部分が連続して提示(時計回り, 反時計回りの2種: Table 1におけるS1およびS2: 以下, 近接系列と呼ぶ)か、それとも近接系列に比べて相対的に隣接しない要素部分が提示される(Table 1におけるN: 以下, 非近接系列と呼ぶ)か(計3種)を組み合わせた合計2×3であった。す

なわち、最初に提示される要素部分の効果と系列の時間空間的近接の効果を検討された。各観察者はランダムに6条件のひとつ割り当てられた。

Table 1
Stimulus-sequences in each condition in experiment 1

Start	Conditions					
	1 ^a			5 ^b		
Order	S1 ^c	S2 ^d	N ^e	S1	S2	N
Sequence	123456 ^f	165432	156324	561234	543216	534162

- a) the most wife-like segment
 b) the most mother-like segment
 c) sequential presentation (clockwise)
 d) sequential presentation (counterclockwise)
 e) non-sequential presentation
 f) 1→2→3→4→5→6

Table 2
Response frequencies in each presentation-condition

Start	Conditions					
	1			5		
Order	S1	S2	N	S1	S2	N
"wife"	3	3	7	2	2	1
"?"	3	3	1	7	5	2
"mother"	3	2	0	1	1	6

2.1.3 結果と考察

観察者の言語報告の結果が Table 2 に示され

ている。表中の数字は、各刺激系列に対する観察者の言語報告を3カテゴリーに分けた結果をもとに、それぞれの度数を集計したものである。なお、各提示条件における度数の和は同一ではない。これは、実験者による装置

の操作が不正確であると見なされたデータ、および実験後に観察者が実験の教示を誤解したと判断されたケースを処理から除いたためである。

‘Wife’ と ‘Mother’ はそれぞれ観察者の言語報告が明らかに「妻」あるいは「継母」が観察されたことを示していた場合である。‘?’ は観察者が、絵が全体として何であるかわからないことを報告した場合と、観察者の報告が「妻」「継母」いずれでもなく、分類が困難であった場合を含んでいる。

Table 2 にみられるように、「最も妻らしい」要素部分 (1) から提示された非近接系列 (N) において、「妻」が観察される傾向があり、また「最も母らしい」要素部分 (5) から提示された非近接系列 (N) において「継母」が観察される傾向があった。統計的検定がこのことを支持した ($\chi^2=24.198, df=10, p<.01$)。

この結果は、空間的には同一の図形要素が、異なる順序で観察された場合に、対象についての異なる認知を成立させることを示している。すなわち、注視によって継時的に入力された情報が、時間的統合されるとともに、図形の全体として空間的にも統合されて、対象全体の視覚像を形成したと考えることができる。さらにこの時、入力される情報の順序 (系列) が、最終的な視覚像の認知を規定することが示唆された。このような刺激系列と知覚的反応の関係を説明するためには、単に初頭効果のように最初に提示された部分についての記憶を仮定するだけでは不十分であり、継時的入力を時間的かつ空間的に統合する処理過程を仮定する必要があると考えられる。すなわち本実験の結果は、最初に入力された部分がアイコニック・メモリーの範囲を超えて知覚的に持続したこと、また時間空間的統合過程によって統合された表象が対象全体を空間的に表現するものであったことを示している。知覚的持続については、アイコニック・メモリーにおける視覚的持続時間として Sperling (1960) における観察者の平均正答率が 50%に低下する範囲 300 ミリ秒 (Sperling, 1960, p.11, Fig.7) を採用すれば、本実験の知覚的持続は感覚的な視覚的持続の範囲を超えたものである。視覚的持続に代わって、より長い時間範囲の持続とその範囲での時間空間的統合を仮定することが妥当であることが示された。

ただし、本実験では全体の知覚が成立するために各刺激系列が3周提示されたことから、最初に提示された部分の効果は限定的である。また、特定の刺激系列（非近接系列 N）において全体の知覚が規定された点も、その系列が他の系列（S1, S2）とどのような点で異なるかが本実験の材料においては明らかにされていないことから、その原因は明らかではない。

また、最初に提示された部分が後の統合を規定したことと、空間的近接が必ずしも統合を規定しないことは、さらに説明を必要とする。これは、入力された情報がすべて等価に保持されるわけではなく、各要素部分がもつ不均一な情報内容によって統合が規定されたことを示唆している。しかし、形成された表象がどのように不均一な要素的情報に規定されたのかは現時点で明らかではない。また、本実験では、知覚的表象の形成における提示順序の効果が認められた1種類の多義図形についての結果が議論されたが、このような提示順序の効果が他の多義図形において認められるかは明らかになっていない。多義図形の要素的部分や全体が持つ親近性や知識の効果などは、未検討の問題である。しかしながら、本実験が新たに VIS レベルを超えた時間範囲における順序効果の可能性を指摘した点は意義があろう。

以下では、これまで論じられてきた時間空間的統合過程における表象の性質、表現される情報についてさらに考察を加え、本理論における表象の性質についての主張を明らかにする。

2.1.4 統合された表象の性質

Hochberg (1968)は、本実験に類似した視野制限課題を用いて、注視によってとらえられた要素部分が遮蔽面の背後で時間空間的に統合されて対象全体が認知される事態を検討した。このような事態で統合される情報として Hochberg は、各注視点で入力される視覚像と、注視点の間の移動情報を区別した。これらが「図式的な地図 (schematic map)」として統合されることで、全体の視覚像が形成され、対象の認知が成立するとされた。ここで、本実験の結果に沿って、各注視点における視覚情報とそれらの間の移動情報について考察をくわえる。

視覚情報の処理

本実験において、最初に提示された要素部分が「もっとも妻（あるいは母）らしい」ものであることと、その後の刺激系列の2つの要因が、「妻（あるいは継母）」という認知を規定していた。まず、最初に提示された要素部分の持つ視覚的情報が、その後の統合過程において後続の情報の統合を規定したことに関しては、いくつかの異なる過程を考えることができる。ひとつは、最初の要素部分によって一種の「仮説 (hypothesis)」が形成され、これが後続の系列において検証されたとする「仮説-検証説」(Rock, 1985)である。ここでは仮説の形成、検証、その支持あるいは棄却、という一連の過程によって対象の心的な記述 (description) が成立するか否かで知覚が説明された (Rock, 1985)。

これに対して、小谷津 (1976) は「積極的総合化の原理」を提案した。ここでは、対象の要素部分への注視は、記憶されている内的な「図式」を活性化させ、その図式がその他の部分の認知を決定する。最初の要素部分 (1) が「鼻」という図式を活性化すれば、後続の要素 (6) は「あご」と知覚される。一方、最初に要素部分 (5) が「鼻」という図式を活性化すれば、後に要素 (6) が提示されても「あご」ではなく「口」と知覚される。対象全体が単なる部分の加算ではなく、このような部分間の総合化を経て認識されるという点が特徴である。さらに、注視される部分の移動によって、全体の総合化が変化することで、多義図形の不安的な多義性が説明される。

Rock (1985) と小谷津 (1976) の説明は、「推論 (reasoning)」のような高次の認知過程を仮定しているように思われるが、それが具体的にどのような過程なのか、また対象認識の過程をどこまで高次認知過程と類似した過程と考えるのかは明らかではない。たとえば、仮説-検証あるいは積極的総合化においては仮説や図式にもとづく探索的過程がすべての対象全体まで継続されずに、途中で探索が打ち切られてしまう可能性もあろう。また、もしこのような知覚的過程が推論と同一の過程と仮定するならば、意識的な活動が関与するとも考えられるが、この点では少なくとも以下の問題を考慮しなければならない。Chastain & Burnham (1975) は、本実験と

同様な多義図形を6つの部分に分割し、それぞれ55.6 ms 継時的に観察者に提示した。その結果、本実験の結果と同様に最初に提示された要素部分によって対象全体の認知が規定されていた。Chastain らはこの説明として Rock (1985) に類似した「仮説-検証」仮説を提案しているが、各要素部分の提示時間が55.6 ms, 対象の全体でも333 ms という時間範囲の実験事態において、推論過程と同一の仮説-検証過程を仮定することには無理がある。なぜならば、推論過程では短期記憶の活動をふくむ符号化と検索によって意識的に仮説の検証がおこなわれると考えられるが、Chastain ら実験事態はVIS レベルの統合と考えられ、推論過程と同一とは言えないからである。

もし「仮説」あるいは「図式」による説明が推論過程と同一ではないがこれと共通する特性をもった過程であると仮定するならば、その過程はいわゆる「無意識的推論 (unconscious inference)」(Helmholtz, 1909 英訳 2000) にも共通すると考えられる。しかし、たとえば吉村 (2001) も指摘するように Rock (1985) は必ずしも無意識的な過程として仮説-検証過程を考えているわけではない。また図式との照合を仮定する場合には、そのような図式が経験を通じて記憶されたものと考えられるが、このような図式がどのように記憶内で表現されているのか、図式がどのように入力から活性化されるのか、明らかではない。このように、対象認識活動、特に時間空間的統合事態における認識過程を仮説あるいは図式によって説明するためには、それらの時間的水準、さらに具体的な内容(表現される情報)と処理(アルゴリズム)が明らかにされる必要がある。

移動情報の処理

実験 I において最初に提示された要素部分のみならず、それに引き続いて提示された系列の違いが対象全体の認知を規定したことは、統合の可否を決定するもうひとつの要因が本実験の系列間の差異にあったことを示唆している。本実験では、統合を導いた系列が必ずしも空間的に近接したものでなく、空間的に隔たった要素部分間が時間的に近接した場合に対象全体の認知が成立した。この結果は、同様の多義図形を用いて、より短時間の時間範囲で各要素を空間的に近接させて提示した(周回提示) Chastain

& Burnham (1975)の結果とは異なっていた。また、Julesz (1971)は、幾何学的図形を材料として、それらの要素部分を周回提示あるいはランダム順提示する条件を比較し、ランダム順提示では周回提示よりも要素部分がより短い時間範囲で（より速く）提示される必要があることを示した。これは、空間的に近接した要素部分の系列のほうが、空間的に隔たった系列よりも統合が容易であることを示唆している。

これらの先行研究の結果が本実験と異なった原因としては、用いられた材料、すなわち各要素部分のもつ情報のほかに、時間条件があげられる。Chastain & Burnham (1975)では対象全体が 333 ms の範囲で提示され、また Julesz (1971) では提示周期が 10HZ 前後で操作されていた。これに対して本実験では単一の要素部分が 333 ms、全体の提示が一周期で 2 秒であった。先行研究におけるような短時間の提示において、本実験とは異なる統合過程が成立している可能性も考えられる。

Unuma (1992)は Chastain らのような短時間の時間範囲における統合と、本実験のような範囲の統合を区別することを提案した。前者は短時間過程 (short-range process) とよばれ、これに対して後者が長時間過程

(long-range process) とよばれた。短時間過程は VIS レベルの時間空間的統合であり、長時間過程は短期記憶をふくむより長い時間範囲における統合過程である (Unuma, 1992)。これらの違いはその作動する時間範囲のほかに、認識が成立する時に経験される現象的差異にあるとされた。すなわち、短時間過程において統合されて認識された対象は、現象的に全体が同時に知覚され、各要素部分が同時に感覚的属性、すなわち「見える」という視覚的属性を持つ。これに対して、長期的過程では、要素部分が統合されて全体が知覚されるが、すべての要素部分が同時に「見えている」とは感じられない。すなわち、各部分が同時に見えるわけでないが、対象全体が何であるかは知覚される、とされた (Unuma, 1992, p.159)。このような現象的差異が統合の時間範囲のみによって規定されるのか否かは、別に検討されなければならないが、短時間過程と長時間過程が異なる情報表現と出力をもつことが示唆される。

これに対して、本研究における時間空間的統合理論は、知覚系の時間空

間的統合過程の全体像を VIS レベルから視覚短期記憶の水準をふくめて総合的に説明するために、情報保持の機能としての知覚的持続を仮定する。この知覚的持続を仮定することで、これまでの VIS と視覚短期記憶の処理がどのように連続し共通するのか、あるいは異なるのかが実験Ⅱ以降で検討される。特に、時間空間的統合の長時間過程がさらに仮定されるならば、Chastain らの短時間過程とどのように共通するのか、また異なるのかについて検討される必要がある。本実験の結果から短時間過程と長時間過程は、ともに対象についての全体的すなわち空間的な表象を形成する点で共通する、と考えることができた。これに対して、時間的な表現においては、長時間過程は各要素部分について異なる時間を保持・表現すると考えられる。それにも関わらず、最終的には遮蔽面の背後に各部分が永続的に存在するという知覚表象を形成する点では短時間過程とも共通するとも考えられる。このような共通性を理解するために、本理論はまず知覚的持続を VIS レベルから視覚短期記憶にまで連続的に仮定し、さらに空間的定を一貫したメカニズムとして仮定する。そして、知覚的持続の変化にともなう統合の差異を、長時間過程と短時間過程としてひとまず仮定し、その区別の妥当性を実験Ⅱ以降で検証することになる。

さて、このような視覚短期記憶における長時間範囲の統合過程において、要素間の関係がどのような「移動情報」として表現されているのかは、これまで実験的な資料では明らかではない (Hochberg, 1968; Unuma, 1992)。この移動情報は、Noton & Stark (1971)が指摘した scanpath に関連するかも知れない。ただし scanpath は、対象の再認事態において特定の注視系列が再現される可能性を示すものであるのに対して、本研究における移動情報は探索による符号化の段階で全体の統合を規定する情報としての違いがあろう。本実験が示唆したように、要素部分の系列によって特定の図式が活性化されたと考えられることから、本研究における時間空間的統合理論においては、特定の系列のもつ関係が、それらの間の「移動」情報として表現される必要があると考える。その移動情報についての検証は、引き続き第4章の実験Ⅳにおいて行われる。

実験 I についての結論

本実験は、対象の要素的部分の系列を継時的に提示する事態で知覚的持続と対象表象の形成を検証した。系列の違いによって要素部分の統合が規定されたことから、要素部分を時間空間的に統合する時間空間的統合過程を仮定する必要があるとされた。さらにその過程では、要素部分のもつ視覚情報と要素部分間の移動情報が統合されると考えられた。同時に本実験は、対象全体を要素部分に分割して継時的・系列的に提示する実験方法が、時間空間的統合過程の検証において方法として妥当であることを示した。

一方、本実験は時間空間的統合過程についてさらに検討されるべきいくつかの理論的、方法論的な問題点を示唆している。まず、Unuma(1992)が提案した短時間過程と長時間過程の区別は、さらに時間範囲を連続的に操作した上で検証される必要があると思われる。この2過程の区別がどの程度まで妥当なのか、さらにはどのような特性において異なるのか、についてはここでは十分に明らかとは言えない。また、統合過程の説明に「仮説」あるいは「図式」のような高次認知過程が関与すると考えるべきかどうか、十分に検討されてはいない。これらの問題を明らかにするためには、統合過程に入力される情報の内容が課題と材料に即してさらに具体的に考慮・検討される必要があるだろう。なぜならば、統合過程に入力され表現される情報が特定されなければ、高次過程と刺激規定的な処理の役割を具体的に評価することは困難であると考えられるからである。

2.2 実験 II 知覚的持続と知覚的統合

2.2.1 問題

本実験は対象の認識の中でも、対象についての複数の感覚的な属性をともなう認識を取り上げる。具体的には、視覚的な面、形と輪郭、奥行きなどの属性が知覚され対象の全体が認識される際の時間空間的統合過程の役割が検討される。特に、視覚短期記憶が重要な役割を果たすと考えられる過程において、感覚属性をともなった時間空間的統合が行われるかどうかを検討することで、時間空間的統合理論の妥当性を示す。すなわち、知覚的持続と、これにともなう群化による知覚的統合の様相とメカニズムを

検証することが本実験の目的である。ここで時間空間的統合理論は、視覚短期記憶における統合においても、一定の時間範囲で群化による知覚的統合が成立し、空間的統合と同様に統合された視覚的表象が成立することを予測する。また、時間範囲の増加にともなって、知覚的持続が減衰し、その結果、統合的視覚表象が成立しない状態に移行することが予測される。すなわち、知覚的持続には時間的な限界が仮定される。

材料として錯視的輪郭図形 (illusory contour figure)⁴が用いられ、実験 I と同様に要素部分が継時的に提示された。一般に錯視的輪郭図形においては物理的に存在しない形態が知覚される (第 1 章 Figure 1)。Kanizsa (1976) は、複数の誘導図形 (inducing figure) からなる錯視的輪郭図形において、物理的な刺激が存在しない領域に知覚的に明瞭な形態が認識され、同時にその領域が明るさ、奥行き感の点で周囲から異なることを指摘した。Figure 1 では 3 つの主たる誘導図形 (「欠けた」円盤) と 3 つの副次的誘導図形 (鋭角で交わる 2 つの線分) によって、錯視的な三角形が知覚され、同時にその三角形の明るさが、物理的には同一の輝度をもつ周囲よりも明るく感じられる。さらに、この三角形は周囲から浮き上がって感じられる。このような錯視的な輪郭図形の知覚的特性は、単一の誘導図形のみでは成立しない。したがって、複数の誘導図形が一定の空間的な配置において統合される (空間的統合) ことによって、錯視的輪郭図形の知覚が成立していると考えられることができる。

もし、実験 I と同様の要素部分 (誘導図形) の継時的提示事態において、Figure 1 と同様に錯視的輪郭図形が知覚されるならば、その認識過程に時間空間的統合過程を仮定する必要があるだろう。そこで本実験では、要素部分提示の時間条件を操作し、要素部分が提示される時間範囲と錯視的輪郭図形の知覚との間の関係を検討した。一定の時間範囲において要素部分 (誘導図形) が時間空間的に統合されるならば、錯視的輪郭が同時提示 (Figure 1) と同様に知覚されるであろう。

⁴ これ以降、本実験に関する記述では、一般的に用いられる主観的輪郭図形に代わって錯視的輪郭図形という用語を用いる。これは、「主観的」という用語が過度に現象の主観性を示唆すると考えられるためである。

さらに本実験では、時間空間的統合過程における情報の表現とそれらの知覚的統合過程を検討した。一定の時間範囲において要素的部分が統合されるならば、複数の知覚属性の間の統合が同時提示と同様に成立するであろう。すなわち、同時提示の錯視的輪郭図形では、輪郭と面、明るさ、奥行きが知覚されることから、それぞれの知覚属性が時間空間的統合過程においても知覚的に統合され、内的に表現されていると考えることができる。

これまで錯視的輪郭の成立に関しては、明るさの対比説 (Frisby & Clatworthy, 1975; Hamada, 1987; Joly & Day, 1979)、完結化説 (Kanizsa, 1976, 1979; Ware, 1981)、奥行き説 (Coren, 1972; Gregory & Harris, 1974)、推論説 (Gregory, 1972; Parks, Rock, & Anson, 1983; Rock & Anson, 1979) などが提案されてきた (鶴沼, 1997)。明るさの対比説、完結化説、奥行き説は、それぞれ誘導図形における明るさの対比、誘導図形が完結化する傾向、そして誘導図形の処理から導かれる奥行きの変化が、錯視的輪郭図形の知覚の原因であると主張する。

これに対して推論説は、実験 I における時間空間的統合過程の「仮説-検証」説と同様に、誘導図形からこれを覆い隠す対象 (錯視的図形) についての「仮説」が形成され、他の誘導図形によってこの仮説が支持されることで錯視図形が知覚されると主張する。しかし、前節で述べたように、仮説-検証という高次の認知過程を仮定することが妥当かどうかは十分に検討されてはいない。これは、直接に推論説が主張する内的過程を実験的に検証することが困難であることに理由があると考えられる。そこで本実験では、推論説のような高次過程の仮説に対立する明るさの対比説、完結化説、奥行き説を検討することで、間接的に推論説の妥当性を検討することとする。

同時提示の錯視的輪郭においては、Watanabe & Oyama (1988) が知覚される輪郭、明るさ、奥行きの処理の間の因果関係を検討した。その結果、明るさと奥行きから輪郭の知覚が規定されるというモデルは棄却され、輪郭の処理が奥行きと明るさの知覚に影響するとするモデルが支持された。もし、時間空間的統合過程が同時提示事態と同様に輪郭、明るさ、奥行きを統合的に処理するならば、誘導図形を継時的に提示する場合でも輪郭の処

理が奥行きと明るさの知覚を規定するであろう。そこで本実験では、誘導図形の継時的提示事態において、明るさの対比説、奥行き説が主張するように、明るさ、あるいは奥行きが輪郭の知覚を規定するのか、それとも輪郭が明るさや奥行きから独立に成立するのかを検討する。これによって、時間空間的統合過程における具体的な情報表現とそれらの関係の処理としての知覚的統合過程が明らかとなろう。すなわち、時間空間的統合過程において輪郭線処理がまずおこなわれ、別に明るさや奥行きが処理されること（第1章、Figure 3, p.13）を検証する。

具体的な方法として、誘導図形の継時的提示の時間範囲が実験的に操作され、これと知覚された輪郭の明瞭度、背景に対する明るさの変化の程度、奥行き程度の間の関係が相関、偏相関分析による因果推定によって検討された。もし、知覚された輪郭の明瞭度と奥行きの変化の間に相関があったとしても、時間条件の影響を固定した場合の両者の偏相関が0と見なせるならば、輪郭と奥行きの間関係は見かけの相関と考えることができる。明るさと輪郭の関係についても同様である。これらの分析から、時間空間的統合過程において、明るさの対比説あるいは奥行き説が妥当なのか、それとも輪郭の知覚が明るさ、あるいは奥行きから独立なのかを検証できるであろう。

2.2.2 方法

実験参加者 5名の学部学生（すべて女子学生）が実験に参加した。彼女らはコンピュータ画面を利用した心理実験に経験があったが、本実験の仮説については何も知らされていなか

った。視力は矯正を含めて正常であった。

材料 Kanizsa 型の錯視的輪郭図形が刺激として用いられた（Figure 6）。なお、

Figure 6では印刷の都合で白黒が反転している。6つの誘導図形が、パーソナルコンピュータ（NEC PC9801 VM）で制御されたCRT上にひとつず

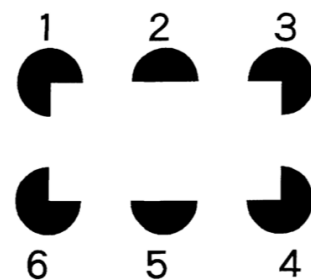


Figure 6. Total stimulus pattern used in experiment II (Unuma & Tozawa, 1994).

つ継時的に提示された (Figure 7)。観察距離は 57.3 cm で、あご台が使用された。刺激画面の背景 (黒色) の輝度は 0.02 cd/m^2 で、誘導図形 (白色) の平均輝度は 4.64 cd/m^2 であった。誘導図形の大きさは縦横とも視角 2.0° , 錯視的輪郭図形 (長方形) の大きさは縦 $3.5^\circ \times$ 横 7.0° であった。なお本実験の材料では, 実験 I のような遮蔽面による対象の分割はおこなわれなかった。これは従来の分割画素法のなかで, 遮蔽面を用いずに分割提示する方法 (Chastain & Burnham, 1975; Ikeda & Uchikawa, 1978) に類似するものであった。この場合, 要素部分が統合された結果, 対象全体が遮蔽面の「背後」に定位されることはないが, 時間空間的統合過程が作動する点において遮蔽面がある場合と同様の機制が働くと仮定された。

実験計画 誘導図形の提示時間についての 2 つの被験者内要因が独立に操作された。ひとつは 6 つの誘導図形がすべて提示されるまでに要した時間範囲であり, もうひとつは単一の誘導図形の提示時間 (duration: D) と誘導図形間の刺激間時間間隔 (inter-stimulus-interval: ISI) の比 (D/ISI) であった (Figure 8)。すべての誘導図形が一周提示されるまでの時間 (以下, T) は 5 段階で操作された (1585, 2510, 3981, 6309, 10000 ms)。この 5 段階は, 対数で等間隔になるように設定された ($\log 1585=3.2$, $\log 2510=3.4$, $\log 3981=3.6$, $\log 6309=3.8$, $\log 10000=4$)。これに対して単一の誘導図形提示時間 D と誘導図形間の ISI の比は, 3 段階で操作された (0.5, 1.0, 2.0)。D/ISI が操作された理由は, 時間空間的統合により対象あるいは運動 (仮現運動) が知覚される場合, 要素部分間の SOA (stimulus-onset-asynchrony) が現象を規定するとする報告 (Kolers, 1972) がある一方で, 各要素部分の処理が時間的に加算

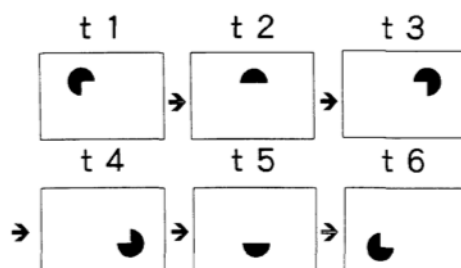


Figure 7. An example of stimulus sequence: each inducing-figure was serially presented one by one (Unuma & Tozawa, 1994).

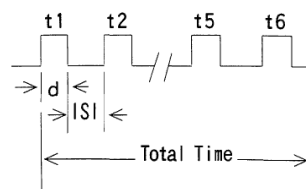


Figure 8. Schematic time-chart of inducing-figure presentation (Unuma & Tozawa, 1994).

される (temporal summation: 第 1 章 1.2.2 参照) 可能性が考えられるためであった。もし要素部分の SOA が統合を規定するならば、D/ISI は知覚される現象に影響を与えないと考えられるが、要素部分の処理が時間的に加重されるならば影響を与えるであろうと予測された。各誘導図形は 1 度だけ提示され、誘導図形の提示系列は錯視的輪郭図 (長方形) の辺に沿った時計回りと反時計回りの 2 種で、試行ごとにコンピュータによってランダムに設定された。また最初に提示される誘導図形は 6 つの中から試行ごとにランダムに選択された。

従属変数は、実験参加者による 3 つの知覚属性についての評定値であった。すなわち、観察者は、錯視的輪郭の明瞭度、背景に対する錯視的輪郭図形の見えの明るさの変化の程度、見えの奥行き程度のそれぞれについて、「0: まったく見えない」から「10: はっきりと見える」までの 11 段階で評定を行った。

手続き 実験は参加者ごとに個別実験で実施された。実験全体は、観察された 3 つの知覚属性別に 3 つのブロックからなっていた。各ブロックの実施順序は参加者ごとにランダムであった。各ブロックは、全体の提示時間 (T) 5 種 × D/ISI 3 種 × 系列の方向 (時計回り, 反時計回り) 2 種 × 最初に提示される誘導図形 6 種, のすべての組み合わせからなる 180 試行で構成され、ランダムな順序でこれらの試行が実施された。各ブロックの最初に、すべての誘導図形が同時に提示され (Figure 6), そこで観察される輪郭線の明瞭度, 明るさの変化, あるいは奥行きの変化の程度を評定では 10 とするように教示された。各試行では、まず画面中央に注視点 (+ 印, 1s) が提示され、その後 ISI 1s を挿んで誘導図形の系列が提示された。提示終了後、指定された属性の評定値をキーボードから入力することが求められた。また観察者は刺激系列の観察中、注視点の位置から眼を動かさないように教示された。

分析方法 参加者の評定データは間隔尺度上の値であると仮定され、独立変数との間、および輪郭, 明るさ, 奥行き各属性についての評定値間でピアソンの積率相関係数, 偏相関係数が算出された。また、独立変数の効果を検討するために分散分析 (被験者内 2 要因) がおこなわれた。

2.2.3 結果

全観察者のデータをもとに，誘導図形の総提示時間（ T ）の対数を独立変数，輪郭の明瞭度(c)，明るさの変化(b)，奥行きの変化(d)を従属変数として回帰分析を行った。その結果，総提示時間の増加とともに，輪郭の明瞭度，明るさの変化，奥行きの変化のいずれも低下した。しかし，いずれの知覚属性においても， $T=3000$ ms 以下では 0 から 10 の評定値で 6 を超える評定が行われたことが示された。回帰式は次のようであった。

$$c = -6.84 \log T + 29.90 \quad (r^2 = .80)$$

$$b = -6.08 \log T + 27.20 \quad (r^2 = .79)$$

$$d = -6.48 \log T + 28.74 \quad (r^2 = .83)$$

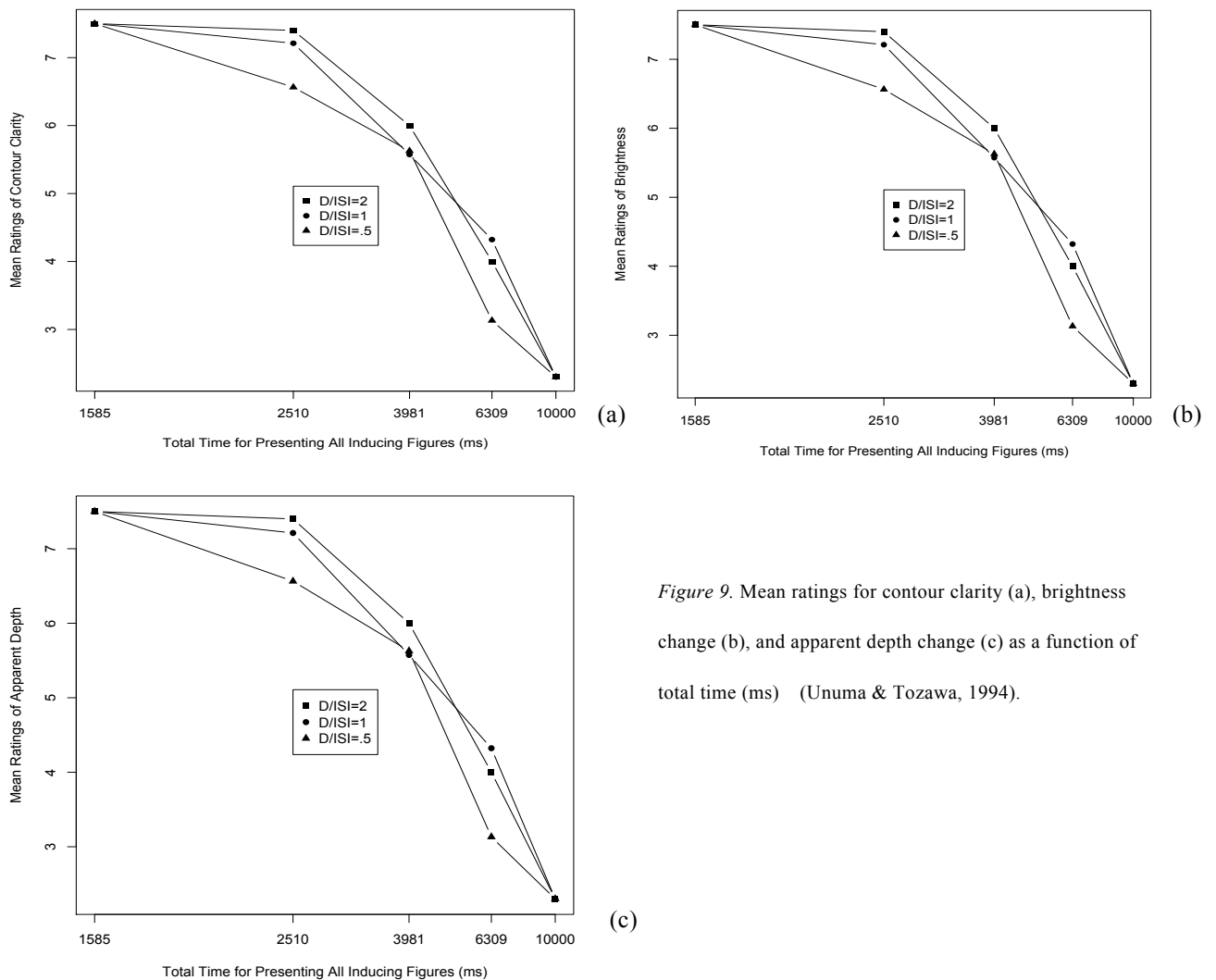


Figure 9. Mean ratings for contour clarity (a), brightness change (b), and apparent depth change (c) as a function of total time (ms) (Unuma & Tozawa, 1994).

輪郭の明瞭度の評定平均値について、総提示時間 (T) の効果と、誘導図形の提示時間 (D) と時間間隔 (ISI) の比 (D/ISI: 以下ではこれを D とのみ表記する) の効果を検討するために分散分析 (2 要因被験者内) をおこなった。総提示時間 ($F_{4,875}=379.51, p<.01$), 提示時間と時間間隔に比 ($F_{2,875}=6.70, p<.01$) の主効果はいずれも有意であったが、交互作用は認められなかった ($p>.01$)。また、明るさの変化についても同様に分析をおこなったところ、総時間 (T) の主効果、提示時間と時間間隔の比の主効果はいずれも有意であった (T: $F_{4,875}=312.90, p<.01$; D: $F_{2,875}=7.91, p<.01$) が、交互作用は有意ではなかった ($p>.01$)。奥行きの変化においては、2つの要因の主効果 (T: $F_{4,875}=393.45, p<.01$; D: $F_{2,875}=4.67, p<.01$) にくわえて、交互作用も有意であった ($F_{8,875}=3.73, p<.01$)。Figure 9-a, b, c は、それぞれ総時間 (T) の関数としての輪郭の明瞭度、明るさの変化、奥行きの変化の評定平均値を示している。いずれの知覚属性においても、総時間 (T) の増加とともに評定平均値は減少した。また、輪郭の明瞭度と明るさの変化の評定においては、誘導図形の提示時間と時間間隔の比が大きいほど評定平均値が高い傾向があった。

Table 3
Simple correlations between total time (T), duration/ISI (D), contour clarity (c),
brightness difference (b), and apparent depth (d) for each subject.

	r_{Tc}	r_{Tb}	r_{Td}	r_{Dc}	r_{Db}	r_{Dd}	r_{cb}	r_{cd}	r_{bd}
S1	-.839 **	-.862 **	-.817 **	.120	.022	.011	.779 **	.722 **	.751 **
S2	-.822 **	-.734 **	-.834 **	.096	.102	.129	.677 **	.796 **	.637 **
S3	-.838 **	-.851 **	-.890 **	-.077	.005	-.024	.738 **	.767 **	.808 **
S4	-.724 **	-.658 **	-.741 **	.058	.197 *	.028	.435 **	.598 **	.514 **
S5	-.756 **	-.795 **	-.796 **	.142	.173 *	.071	.637 **	.655 **	.685 **

* $p<.05$, ** $p<.01$.

df=176, 177, or 178.

Table 4
Simple and partial correlations between T, c, b, and d (see Table 3) for Group 1 (S1, S2, S3)
and for Group 2 (s4, S5). Simple and partial correlatio between D, c, b, and d are also shown.

	r_{Tc}	r_{Tb}	r_{Td}	r_{Dc}	r_{Db}	r_{Dd}	r_{cb}	r_{cd}	r_{bd}
Group 1	-.850 **	-.811 **	-.824 **	-.048	.041	.045	.719 **	.761 **	.705 **
Group 2	-.720 **	-.702 **	-.761 **	.097	.178 **	.050	.563 **	.634 **	.615 **

	$r_{cb \cdot T}$	$r_{cd \cdot T}$	$r_{bd \cdot T}$	$r_{Tc \cdot b}$	$r_{Tb \cdot c}$	$r_{Tc \cdot d}$	$r_{Td \cdot c}$	$r_{Td \cdot b}$	$r_{Tb \cdot d}$
Group 1	.096	.202 **	.112	-.656 **	-.547 **	-.607 **	-.519 **	-.607 **	-.573 **
Group 2	.116 *	.189 **	.176 **	-.553 **	-.517 **	-.475 **	-.567 **	-.586 **	-.457 **

	$r_{cb \cdot D}$	$r_{cd \cdot D}$	$r_{bd \cdot D}$	$r_{Dc \cdot b}$	$r_{Db \cdot c}$	$r_{Dc \cdot d}$	$r_{Dd \cdot c}$	$r_{Dd \cdot b}$	$r_{Db \cdot d}$
Group 1	.096	.760 **	.705 **	.026	.058	.026	.067	.014	.009
Group 2	.557 **	.632 **	.617 **	-.004	.150 **	.084	-.014	-.077	-.187 **

	$r_{cb \cdot TD}$	$r_{cd \cdot TD}$	$r_{bd \cdot TD}$	$r_{cb \cdot TDd}$	$r_{cd \cdot TDb}$	$r_{bd \cdot TDc}$
Group 1	.092	.198 **	.108	.072	.191 **	.092
Group 2	.081	.180 **	.159 **	-.054	.169 **	.147 **

* $p < .05$, ** $p < .01$

df=534 (Group 1), df=352 (Group 2)

変数間の相関係数についての結果 (Table 3), 観察者 S4 と S5 が他の観察者と異なる傾向を示したことから, 全体をグループ 1 (S1, S2, S3) とグループ 2 (S4, S5) に分け, それぞれ別にさらに相関・偏相関分析を行った (Table 4)。両グループとも T, c, b, d のすべての組み合わせの単純相関係数はすべて有意であった ($p < .01$)。これに対して, D と c, b, d の間の単純相関はすべて有意とは言えなかった ($p > .01$)。偏相関分析を行ったところ, グループ 1 では T の影響を固定した時の c と b, b と d の偏相関係数 ($r_{cb \cdot T}$, $r_{bd \cdot T}$) が有意に無相関と異なるとは言えなかった ($p > .01$) が, c と d, すなわち輪郭の明瞭度と奥行きの変化の間の偏相関係数 ($r_{cd \cdot T}$) は有意であった ($p < .01$)。グループ 2 では, 同様に T 影響を固定した場合, c と d にくわえて, b と d の偏相関係数も有意であった ($p < .01$)。

グループ 1 においては, 誘導図形の総提示時間が輪郭の明瞭度, 明るさの変化, 奥行きの変化のそれぞれを規定していた (Figure 10 a)。さらに, 輪郭の明瞭度と奥行きの変化の間に双方向の影響が推定された。これに対して, 明るさの変化と奥行きの変化および輪郭の明瞭度の間には関係が認められず, 明るさの変化は総提示時間のみによって規定されていた。誘導図形の提示時間と誘導図形間の時間間隔の比は, いずれの知覚属性も規定していなかった。

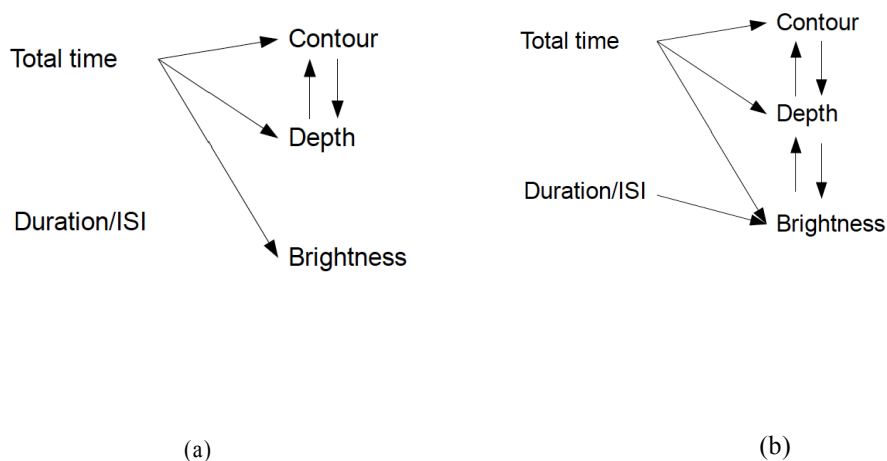


Figure 10. Causal flows estimated for observer 1, 2, and 3 (a), and those for observer 4 and 5 (b) (Unuma & Tozawa, 1994).

グループ 2 (Figure 10 b) においては、総提示時間が輪郭の明瞭度、明るさの変化、奥行きの変化を規定していた点がグループ 1 と共通であった。輪郭の明瞭度と奥行きの変化の間の双方向の規定性が認められた点と、輪郭の明瞭度と明るさの変化の間に関係認められなかった点も同様であった。しかし、グループ 2 ではさらに明るさの変化と奥行きの変化の間にも双方向の影響が推定され、また誘導図形の提示時間と時間間隔の比が明るさの変化を規定していた点がグループ 1 と異なっていた。

2.2.4 考察

本実験は、具体的な視覚情報についての時間空間的統合過程を取り上げ、その情報処理を検討することで時間空間的統合過程の知覚的持続と知覚的統合の妥当性を検証することを目的とした。具体的には、錯視的輪郭図形を材料として、時間空間的統合事態においても通常の同時提示事態と同様に錯視的輪郭が観察されれば、認識過程における時間空間的統合過程における知覚的持続と知覚的統合を仮定することが妥当であろうと考えられた。その結果、要素部分の総提示時間が、輪郭の明瞭度、見えの明るさの変化、奥行きの変化を規定することが認められ、総提示時間が 3 秒まで

の範囲では錯視的輪郭が同時提示と類似した知覚を可能にしていることが示された。これは、3つの知覚的属性の評定が一貫して高い値であったことから、観察者がこの時間範囲で錯視的図形全体を知覚していたと推定されるからである。このことは、同時的な対象の認識活動における視覚像と類似した視覚像が、時間空間的統合過程によって形成されることを示している。さらに、知覚された輪郭、奥行き、明るさの程度が、提示時間間隔の増加とともにその対数関数として低下したことは、知覚的持続が時間的推移とともに減衰することを示していた。これは、本研究が提示する時間空間的統合理論における知覚的持続の特性の根拠となるものである。また、本実験において、知覚された輪郭と明るさが、それぞれ提示時間との間に異なる回帰係数の対数関数関係をもったことは、輪郭処理と明るさという表面処理が異なる過程においておこなわれるという空間的統合における処理 (1.2.1, Figure 3) が、時間空間的統合においてもあてはまるという本研究の主張を支持する結果といえる。

ここで本実験が取り上げた時間範囲と、より短い時間範囲における統合過程、さらに同時提示事態における処理過程について比較しておきたい。Reynolds (1981) は、本実験と同様の錯視的輪郭図形を用いてその形成過程を処理時間の関数として検討した。その結果、提示から数百ミリ秒で錯視的輪郭が形成されるが、この段階ではマスク刺激の影響を受けやすい不安定な状態であること、さらに数百ミリ秒の間に安定した視覚像が形成させることを示した。また、Ikeda & Uchikawa (1978)は、材料は本実験とは異なるが、同様に継時的提示事態で図形が全体として認識される時間範囲を検討し、全体が 500 ミリ秒の範囲で提示されることが図形全体の認識には必要であるとした。これらの実験結果は、いずれも本実験の取り上げた時間範囲よりも短い数百ミリ秒の範囲であり、同一の時間空間的統合過程とは考えがたい。Unuma (1992) はこれらの過程を短時間過程と呼んだが、これはすでに Sperling(1960)において指摘されたアイコニック・メモリーに関連する短時間の情報貯蔵と考えることができる。これに対して本実験が検討した数秒の時間範囲における情報の貯蔵と統合過程は、知覚される現象の面からも短時間過程とは異なっている。Ikeda & Uchikawa (1978)や

Reynolds (1981) においては、断片的に提示された図形の要素部分は同時に知覚された。すなわち、個々の要素部分は物理的な時間軸上では異なる値を取るにもかかわらず、それらの視覚像は同一の感覚的時間軸上の値をもっている。これに対して本実験の時間過程においては、要素部分（誘導図形）は、物理的にはもちろん、感覚的にも同一の時間軸上の値を取ってはいない。すなわち、各誘導図形は感覚的にも継時的に点滅していた。それにも関わらず適切な時間範囲において、誘導図形の統合によって形成された錯視的輪郭図形は、現象的には画面上に永続的に知覚された。統合された視覚的表象が、空間的に定位される現象は、本研究が提示する時間空間的統合理論が「時間-空間的的定位」として位置づける処理の結果であると考えることができる。本実験の結果は、この時間-空間的的定位が視覚短期記憶の統合において成立することを示した。

一方、本実験の時間範囲における情報処理過程と同時提示事態における処理過程の比較については、本実験と同様に知覚された輪郭の明瞭度、明るさと奥行きの変化の間の因果的関係を推定した Watanabe & Oyama (1988) を本実験の結果と比較することができる。Watanabe & Oyama (1988) では、輪郭の知覚が奥行きと明るさの変化を規定することが推定され、逆に明るさの変化が輪郭の成立を規定するというモデルは棄却された。本実験においては、明るさの変化と輪郭の明瞭度の間には直接の関係を見いだすことはできなかった。この結果は、観察者数が少ないことを考慮しても、明るさの対比が錯視的輪郭を規定すると主張する明るさ対比説 (e.g., Frisby & Clatworthy, 1975) に反する結果であり、また Watanabe らの輪郭が明るさの知覚を規定するというモデルとも異なる。さらに、Watanabe らにおいては輪郭の知覚が奥行きの知覚を規定したのに対して、本実験では知覚された輪郭の明瞭度と奥行きの変化の間に双方向の規定性が推定された。したがって輪郭の知覚と奥行きの変化の間に一方向の因果関係を推定することはできない。しかし、これは輪郭が奥行きを規定するモデルを否定するものではない。したがって、明るさと他の属性との関係を除けば、本実験の結果は同時提示における Watanabe らの結果を否定するものではないと言えよう。なお、本実験においては明るさを中心とする現象間

の関係について2種類のモデルを考えることが可能であった (Figure 6) が、その原因は明らかではない。これらの2群についてのこれ以上の検討は、さらに多くの観察者データに基づくべきであろう。

2.3 知覚的持続性と時間空間的統合過程における処理

実験 I と II においては、時間空間的統合事態で要素部分が統合されて対象全体の認識が成立することをみることができた。実験 I では、その統合過程によって全体の認識自体が異なることが指摘された。また、実験 I, II を通じて、時間空間的統合過程が要素的部分の知覚的持続性によって視覚的表象を形成することが示唆された。さらに実験 II では、視覚的表象の形成過程と同時提示事態における情報処理過程の共通性が指摘できた。これらの結果は、いずれも知覚的持続と視覚的表象の成立による対象認識という本理論の妥当性をひとまず支持しているように思われる。

ここで、実験 I における多義図形の知覚を指標とした時間空間的統合過程と、実験 II における錯視的輪郭図形の知覚における統合過程は、いずれも時間空間的入力から視覚的表象を形成する点で共通の過程と考えることができる。ただし、多義図形の知覚が最終的に言語的な表現として出力されることと、錯視的輪郭図形の知覚が視覚像にもとづく評定判断として観察されたことは区別されなければならない。また、錯視的輪郭図形に対する視覚像が初期の視覚処理 (1.2.1) において成立するという主張もある

(Sasaki & Watanabe, 2004; von der Heydt, Peterhans, & Baumgartner, 1984)。これに対して本研究は、視覚的エッジの抽出にはじまる初期過程から、群化と補間を経たユニット表現 (1.2.2, p.13, Figure 3) を形成する中間視覚において視覚的表象が形成されて、錯視的輪郭図形の知覚が成立すると考える。この段階の視覚表象は、それ以降の高次の知覚処理への入力となる。一方、多義図形の知覚は、この視覚表象に対してさらに高次の処理が加えられて成立すると考えられる。実験 I の結果は、多義図形の知覚への入力となる中間視覚のユニット表現が時間空間的統合過程によって成立し、最終的な知覚を規定したことによると考えられる。本研究の目的は、時間空間的統合過程が中間視覚におけるユニット表現を形成すること、そしてさ

らに高次の処理への入力となることを説明し検証することである。なお、すでに前章で述べたように (1.2.1, p.6), 本研究はこの時間空間的統合過程が特定の神経生理的部位に対応するのかが問題としない。

実験 I および II においては、以下にみるように、この理論の検証についていくつかの理論的・方法論的な問題が残されている。まず、時間空間的統合過程における知覚的持続と視覚的表象の成立が、アイコニック・メモリーと視覚短期記憶の段階において共通する点と異なる点について、いまだ検討が不十分であると言える。この理論的に未解決な問題は、さらに具体的にはそれぞれの段階の処理をより具体的、操作的に特定することと、それらの処理における情報の表現を明らかにすることを含むと言えるだろう。後者は、ある処理段階における情報表現が、具体的に何を表現するものか、果たして「視覚的表象」と言いうるのかもどうか、を検討する必要がある。具体的には、空間的統合 (1.2.1) における輪郭処理過程と表面処理過程の諸段階 (Figure 3) に対応する時間空間的統合過程の検討が含まれる。すなわち、視覚短期記憶における視覚属性間の統合や感覚-運動統合の問題としてとらえることができる。これらの問題は、それぞれ第 3 章と第 4 章において実験的に検討される。

このような理論的問題を解明しようとする時、実験 I および II の結果は、さらに多面的な方法によって検証される必要があるだろう。それは、実験 I と II で測定された指標が、観察された現象についての言語報告 (実験 I) と評定値 (実験 II) であったという点である。これらの指標は、内的情報処理段階と情報表現を明らかにするためには、その感度・精度においては必ずしも充分とは言えない。より鋭敏な行動的指標を用いることで、さらに時間空間的統合過程を詳細に検討することが可能となるだろう。

本論文の次章以降では、より鋭敏な行動的指標を用いて、具体的に知覚的持続の時間的推移と視覚的表象の関係について考察する。第 3 章では、精神物理学的方法を用いて知覚的持続と表象による時間-空間的定位の関係が検討される。特にアイコニック・メモリーと視覚短期記憶における時間空間的統合の比較が行われる。これに対して、第 4 章では知覚-運動学習のパラダイムを用いて時間空間的統合過程における知覚的統合の様相

がさらに多面的に検討される。これらをふまえて、第 5 章では時間空間的統合理論の全体像が示される。

第3章

知覚的持続性と空間的定位の実験的検討

3.1 実験Ⅲa アイコニック・メモリーにおける空間的定位⁵

3.1.1 問題

本実験は、時間空間的統合過程における時間-空間的定位の特性を検討する。基本的な実験方法は実験Ⅱに類似しているが、評定法に代わって精神物理学的方法が採用される。ここでは、時間空間的統合過程において形成される視覚的表象の特性についての具体的なモデルが提案され、吟味される。実験Ⅲa では、特にアイコニック・メモリーにおける時間空間的統合が取り上げられ、これに対して実験Ⅲb では、視覚短期記憶における時間空間的統合が比較検討される。

さて、数百ミリ秒までのアイコニック・メモリーの範囲における時間空間的統合による対象全体の認識過程については、すでにいくつかの実験が試みられてきた。前章で取り上げた Chastain & Burnham (1975), Ikeda & Uchikawa (1978) は、それぞれ仮説検証的統合過程と統合を規定する時間空間的条件を検討する試みであった。しかし、これらの実験では、測定された指標はいずれも言語報告であった。これに対して、Shipley & Kellman (1994), Takemoto & Ejima (1997) は精神物理学的手法を用いて、より客観的な行動的指標で時間空間的統合過程を検討した。たとえば、Shipley & Kellman (1994)は、空間的に不連続な多数のドットの一部を時間空間的に（黒から白、あるいはその逆へと）変換させることで、変化した領域に図形が知覚される実験事態を考案した。この事態でドット変換の時間空間的条件と境界輪郭の知覚および図形の同定（10 選択肢からの正答率）の間関係を検討した。その結果、165ms の時間範囲を超える時間条件では時間空間的統合による図形の識別が困難であるとされた。

⁵ 本実験は、Unuma et al. (2010 b)における Experiment 1 をもとに、加筆修正したものである。

一方、Takemoto & Ejima (1997)は、Unuma & Tozawa (1994)と同様に錯視的輪郭図形を材料として時間空間的統合過程を検討した。具体的には、錯視的輪郭図形の誘導図形を継時的に提示し、知覚された明るさの対比を測度として、時間空間的統合の時間範囲が検討された。その結果、誘導図形間の SOA が長くなるとともに明るさの対比が減少し、372ms 以上で消失することが示された。Takemoto & Ejima (1997) は、要素部分の情報が一定時間保持され、さらにそれらが空間的に統合されて錯視的輪郭が知覚されることを示した。同時に、その時間範囲の推定値が課題で測定される知覚属性に依存することも示唆された。

ここまで述べたように、先行研究における時間空間的統合の時間的限界についての検討は異なる方法と材料を用いて行われてきた。しかしながら、錯視的輪郭や遮蔽された図形なども含めて、これらの推定値を視覚的補間の輪郭過程と表面過程という観点から一貫して説明することが可能と思われる (Grossberg & Mingolla, 1985)。まず、時間空間的統合事態における視覚的エッジの統合による輪郭形成の時間過程が、静的な刺激画面における空間的補間の時間過程 (Sekuler & Palmer, 1992) と関連するならば、時間空間的統合事態においても輪郭補間は空間補間の成立と同様に 200ms の時間範囲内で成立すると考えられる。この予測は、いくつかの先行研究と矛盾しない (Shipley & Kellman, 1994; Ringach & Shapley, 1996; Keane, Lu, & Kellman, 2007)。これに対して、表面過程はさらに長い処理時間 (300 ~ 400 ms) を必要とすることが指摘されてきた (Sekuler & Palmer, 1992; Unuma & Tozawa, 1994; Ringach & Shapley, 1996; Takemoto & Ejima, 1997)。したがって、実験Ⅲa および b では時間空間的統合事態における輪郭補間の成立を2つの異なる時間範囲において検証することを目的とした。ここでは、200ms までの時間範囲を短時間範囲 (short time range) とよび、これに対して 200ms を超えた範囲を長時間範囲 (long time range) と呼んで区別することにする。

実験Ⅲでは、実験Ⅱと同様の錯視的輪郭図形を用い、さらに小点定位課題 (dot localization task; Guttman, et al., 2003; Guttman & Kellman, 2004) と誘導図形の系列提示法 (Unuma & Tozawa, 1994) が採用され、短時間範囲

と長時間範囲における輪郭補間の違いが検討された。実験Ⅱにおける評定法に代わって用いられた小点定位課題では、錯視的輪郭の付近に小さな点が提示された。観察者は小点が、知覚された錯視的線の内側（錯視図形内部）か外側かを判断した。2つの変形上下法（transformed up-down method）による刺激系列（Levitt, 1971）が設定され、知覚された輪郭の位置と精度が推定された。具体的には、小点定位課題の結果から定位、定位誤差、精度の3つの測度が求められた。定位（location）測度は錯視的図形の外側から開始された系列において求められた弁別閾（外側弁別閾）と、内側から開始された系列における弁別閾（内側弁別閾）の平均値として定義された。定位誤差（location error）測度は系列ごとに求められた弁別閾の理論的位置（後述）からの絶対値として定義され、小点定位課題遂行の正確度を表していた。さらに、（低）精度（imprecision）測度は、内側弁別閾と外側弁別閾の差の絶対値として定義され、この値が大きいほど点の定位の精度が低いことを表していた。

ここで実験Ⅲaおよびbでは、知覚された輪郭の「強度（strength）」が、小点定位課題における精度測度を指標として測定されるものとみなす。その理由は、精度測度が、他の知覚された輪郭の強度に関する測度、たとえば反応時間（Guttman, et al., 2003）や分類成績（Guttman & Kellman 2004）などと高い相関をもつからである。さらに、この精度測度は、少なくとも静的な刺激事態では輪郭の強度と量的な関数関係があることが示されている（Guttman & Kellman 2004）。したがって、本実験ではまず、精度測度を用いて系列提示事態においても輪郭の視覚表象が高い強度で形成されることを検証する。これを**精度仮説（precision hypothesis）**と呼ぶことにする。この仮説と関連して、誘導図形の継時的提示の時間範囲の増加とともに（すなわち、200msを超えた時間間隔で誘導図形が継時的に提示されるために）、補間される輪郭の強度が減少することを検証する。空間的次元においては、すでに空間的遮蔽量の増加とともに小点定位の精度が系統的に減少することが報告されている（Guttman, et al., 2003）。同様に、輪郭補間が時間的に制約されているならば、本実験における精度測度でとらえられる輪郭の視覚表象の強度も、200msを超える時間範囲では減少するこ

とが予測されるわけである。

第二に、補間された視覚表象が正確に「理論的」位置を反映するものであるかどうか、を問題とする。ここで、「理論的位置」(theoretical location; Guttman et al., 2003) とは、視覚的なエッジと物理的に対応した位置、すなわち誘導図形の直線部分の単純な延長線上を意味している。Guttman et al. (2003) は、空間的な遮蔽量の増大とともに、判断された輪郭の位置が系統的に図形全体の外側から内側へと変化することを見いだした。このような変位の原因は明らかではない。しかし、Guttman et al.(2003)は、輪郭補間過程がより広い刺激の文脈を計算にいれることを示唆している。たとえば、小点の定位は図形全体の中心方向へ引き寄せられるのかもしれない。さらに、彼らは錯視的輪郭の補間と遮蔽された輪郭の補間が共通の過程によっているとする同一性仮説 (identity hypothesis) を提案している (Guttman & Kellman, 2004)。

この錯視的輪郭と遮蔽輪郭補間の同一性仮説にしたがって、系列提示条件下においても補間された輪郭は「理論的」位置を正確には反映せず、静的な刺激すなわち遮蔽された同時提示条件と同様に図形全体の内側へと小点の定位を変位させると予測することができる。これは、時間空間的統合過程が空間的のみならず時間的な隔たりの補間を形成するもので、図形全体の中心への変位を生む処理過程が、限られた時間範囲においては時間空間的統合過程においても作動すると考えられるからである。本実験において、この第二の仮説は**不正確仮説 (inaccuracy hypothesis)** と呼ばれる。不正確仮説と精度仮説はそれぞれ個別の仮説であるが、静的な刺激画面では両者が同時に供応する形で成立することが示されている (Guttman et al., 2003)。したがって、時間空間的統合事態においても (高) 精度仮説と不正確仮説に対応する過程が供応し、統合された対象の表象が形成されるという仮説を立てることができる。

実験Ⅲでは継時的に提示される誘導図形の時間範囲が操作された。各誘導図形間の SOA を変えることで、すべて誘導図形が提示されるための時間範囲が 4 水準で変化した。実験Ⅲa では先行研究 (Shipley & Kellman, 1994; Ringach & Shapley, 1996) をふまえて、刺激全体が提示される時間範

囲が 0ms から 180ms までの範囲で設定された。これが短時間範囲である。これに対して実験Ⅲb では 240ms から 1920ms までの範囲で時間範囲が操作された (Unuma & Tozawa, 1994; Takemoto & Ejima, 1997)。本実験ではこれが長時間範囲と呼ばれる。

精度仮説にしたがうと、短時間範囲では時間空間的統合過程が系列提示される誘導図形を統合し、補間された高精度の輪郭線をもつ視覚表象を形成すると考えられ、それは小点定位課題の精度測度に反映されると予測される (Guttman et al., 2003)。すなわち、実験Ⅲa では短時間範囲が高精度の小点定位をもたらし、一方実験Ⅲb では長時間範囲において低精度の定位が予測される。

不正確仮説によれば、実験Ⅲa では観察者は錯視的図形の内部に小点を定位し、これは定位測度と定位誤差測度に反映されると予測される。これは観察者が高精度ではあるが定位が正確ではない視覚表象を用いることと、全体的な処理が輪郭の定位を図形内部へと変位させると考えられるからである。さらに、実験Ⅲb の長時間範囲では、実験Ⅲa の短時間範囲と比較して輪郭の図形内部への変位は少ないと予測できる。これは、長時間範囲では短時間範囲とは異なって、高精度かつ不正確な視覚表象が用いられないと考えられるからである。なお、実験Ⅲa における同時提示条件 (0 時間範囲 ms) は、実験Ⅲにおける統制条件としての役割をもつ。ここでは時間空間的統合過程が作動することは仮定されないため、一般的な観察事態として高精度でかつ正確な焦点定位が予測される。

3.1.2 方法

実験参加者 18 歳から 23 歳まで (平均年齢 20.4 歳) の女子大学生 6 名が実験に参加した。参加者は実験の仮説については何も知らされていなかった。視力は矯正を含めて正常であった。

装置 実験におけるすべての試行は、パーソナル・コンピュータ

(Macintosh Performa 5320, 100 MHz) と MacProbe 1.702 (Hunt, 1994) を用いて作成されたプログラムによって制御された。実験参加者は、15 インチのモニター (67 Hz; 640×480 pixels) 上の刺激画面を観察し、キーボー

ドの2つのキーのいずれかを押すことで反応した。参加者はあご台に固定され、モニターから57.3 cmの距離から刺激画面を観察した。

刺激 Figure 11 は本実験で用いられた刺激を示している。錯視的輪郭図形は4つの黒色の誘導図形になっており、各誘導図形は輝度 15.2 cd/m^2 、直径が視角 2.0° で、 90° の扇型の部分(視角 1.0°) が欠損していた。誘導図形の中心間距離は視角 5.7° であった。誘導図形は白色(輝度 92.9 cd/m^2)の背景の上に提示された。

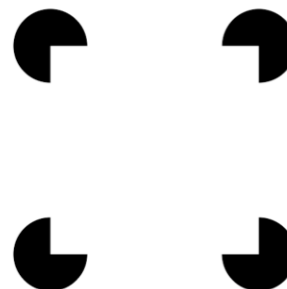


Figure 11. An illusory contour stimulus used in Experiment III (Unuma et al., 2010 b).

実験計画 実験は 4×2 の被験者内2要因計画で実施された。すべての誘導図形が提示

されるまでの時間範囲が4水準(0, 60, 120, 180 ms)で操作され、これが系列の方向の2水準(内側, 外側)と組み合わせられた。総提示時間0 msでは、すべて(4つ)の誘導図形が同時に提示された。時間範囲は、誘導図形間の SOA (stimulus-onset-asynchrony) を4水準(0, 15, 30, 45 ms)で変化させることで操作された。各観察者は8種類の条件でランダム順に観察を行った。

手続き 具体的な試行の手順が Figure 12 に示されている。各試行の最

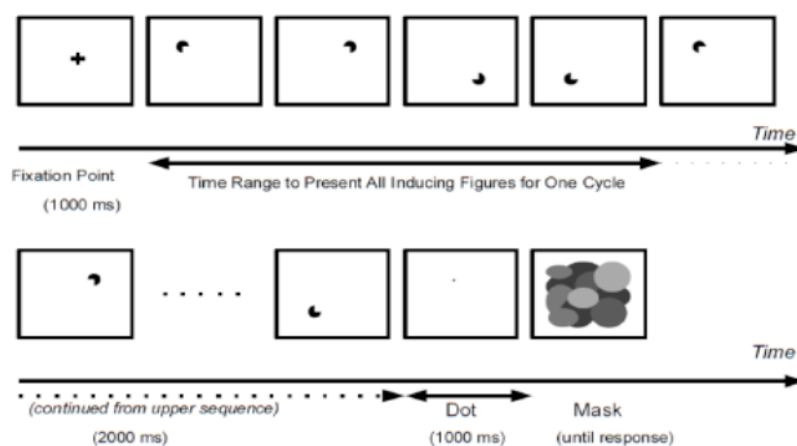


Figure 12. Trial structure for Experiment IIIa and IIIb: Following fixation point, each inducing element was presented one by one. After presenting inducing elements for 2 second, probe dot appeared for 1 second, and then mask was presented until observer's response. The dot in the experiment was significantly smaller than the dot in Figure 12 relative to the stimulus (Unuma et al., 2010 b).

初に注視点が刺激画面中央に1秒間提示された。その後、4つの誘導図形がひとつずつ継時的に、その試行において決定された一定のSOAで提示された。誘導図形の継時的系列提示は2秒間続けられた。各誘導図形の提示時間は15msで常に一定であった。ただし、同時提示条件(SOA 0ms)では4つの誘導図形が2秒間同時に提示された。各誘導図形は錯視的四角形の辺に沿って提示され、時計回りと反時計回りの2種の系列のうちから試行ごとにランダムに選択された。また系列の最初に提示される誘導図形も試行ごとに4つの誘導図形の中からランダムに選択された。誘導図形の系列に続いて、小さな赤色の点(5.4' × 5.4' ; 25.3 cd/m²)が1秒間、錯視的四角形の辺の近くに提示された。この小点(以下、ドットと呼ぶ)は、錯視的四角形の4つの辺から試行ごとにランダムに選ばれたひとつの辺(錯視的輪郭線)の中央付近に提示された。ドットに続いて、最後にマスク画面が刺激全体の領域に観察者が反応するまで提示された。

観察者は、赤いドットが知覚された輪郭線の内側か外側かのいずれに位置していたかを、対応する2つのキーのいずれかを押すことで報告するように教示された。観察者の反応に対して、実験者からのフィードバックは与えられなかった。各時間条件の刺激画面に対して、ドットの位置は錯視的四角形の4つの辺のいずれかの付近で、錯視的輪郭図形の内側からと外側から開始される変形上下法(transformed up-down method)にしたがって操作された。図形の内側から開始されたドットの位置は2-up/1-downの手続きの結果、仮定される精神測定関数上で観察者が.707の確率(Falmagne, 1985, p.226)でドットが輪郭の「内側である」と反応する位置に収束した。同様に図形の外側から開始されたドットの位置は2-down/1-upの手続きで変化し、ドットの位置が輪郭の「外側である」と観察者が.707の確率で反応する位置に収束した。

ドットは常に空間的に隣接した2つの誘導図形から等距離にある仮想の線分上に現れた。各ドット位置変化の系列は、ドット移動方向の10回の反転をもって打ち切られた。実験はすべての時間条件のドット定位系列が収束するまで続けられた。ほとんどの実験参加者は、この課題を終了するために約60分を必要とした。また、100試行ごとに休憩を取ることが

可能であった。

分析 各ドット定位系列（4時間条件×2開始位置＝8系列）別に、10回のドット反転位置の値が平均された。これらの値はそれぞれ、時間条件ごとの内側弁別閾と外側弁別閾を表していた。これをもとにさらに3つの測度が求められた。まず、知覚された錯視的輪郭図形の輪郭位置を推定するために、内側弁別閾と外側弁別閾の平均から「定位（location）」測度が求められた。この定位測度が0ならば、観察者は誘導図形の欠けた直線部分の物理的延長線上（これを「理論的な位置」と呼ぶ）に錯視的輪郭を知覚していたことになる。なお、定位測度は、負の値の場合は知覚された輪郭の位置が理論的位置よりも図形の内部に、正の値の場合は外部の位置していたものとして数値化された。第二に、定位測度の絶対値から「定位誤差（error in location）」測度が求められた。これは観察者の定位の不正確度（inaccuracy）の指標であった。最後に、内側弁別閾と外側弁別閾の差の絶対値から「（低）精度（imprecision）」測度が求められた。ドット定位が安定しているほど、この（低）精度測度は小さな値になった。

二人の観察者のデータは以下の理由でこれ以降の処理から除かれた。一人のデータは、同時提示条件も含めてすべて条件において、（低）精度測度の水準が高くドットの定位が不安定であり、教示を誤解しているか、もしくはこの課題に適していないと見なされた。もう一人のデータは、すべての上下法によるドット定位系列が90分を経過しても基準の10回の反転に達しなかった。

3.1.3 結果

精度測度（imprecision）の結果は、継時的系列提示のドット定位の精度が同時提示条件と同水準であったことを示していた（Figure 13 a）。すなわち、系列提示条件における精度測度の平均値は、同時提示条件の平均値から有意には異なっていなかった（ $F_{3,9} < 1, p > .50, \eta^2_p = .11$ ）。本実験における全被験者の精度測度の平均値は16.7'であった。

Figure 13 b は、観察者によって判断された輪郭線の定位（location）を、誘導図形が一周提示される時間範囲の関数として示している。定位測度

(縦軸)の負の値は、判断された輪郭線の位置が、誘導図形の直線部分の物理的延長線上よりも錯視的四角形の内部(中心方向)であったことを示している。観察者のドット定位の結果は、系列提示条件下において観察された輪郭の位置が、同時提示条件下の位置に比べて、図形全体の中心方向へ変位していたことを示していた ($F_{3,9} = 49.43$, $p < .001$, $\eta^2_p = .94$)。事前計画比較(修正 Bonferroni)の結果はこの傾向を支持していた。すなわち、同時提示条件と各系列提示の平均値の間の差はいずれも有意であった(いずれも $p < .05$)が、系列提示条件の間には有意な差は認められなかった

(いずれも $p > .10$)。系列提示条件全体における知覚された輪郭位置の推定値は、錯視的四角形の内側に $27.5'$ 変位しており、その95%の信頼区間は $-31.1 < \mu < -24.0$ で、有意に理論的位置(すなわち0)とは異なっていた。一方、同時提示条件における輪郭位置の推定値は $0.81'$ 内側であったが、95%の信頼区間は $-6.56 < \mu < 4.94$ で、理論的な位置(0)の間に含んでいた。

定位誤差測度(error in location)の結果(Figure 13 c)は、定位測度(location)の結果と同様に、系列提示条件において同時提示条件よりもドットの定位が不正確であったことを示していた ($F_{3,9} = 42.65$, $p < .001$, $\eta^2_p = .93$)。事前計画比較(修正 Bonferroni)の結果も、系列提示条件におけるドット定位が同時条件よりも不正確であり(いずれも $p < .05$)、系列提示の3条件の間には有意な差が認められなかった(すべて $p > .05$)。なお、定位誤差測度(error in location)の平均値は、各観察者の定位測度(location)の絶対値

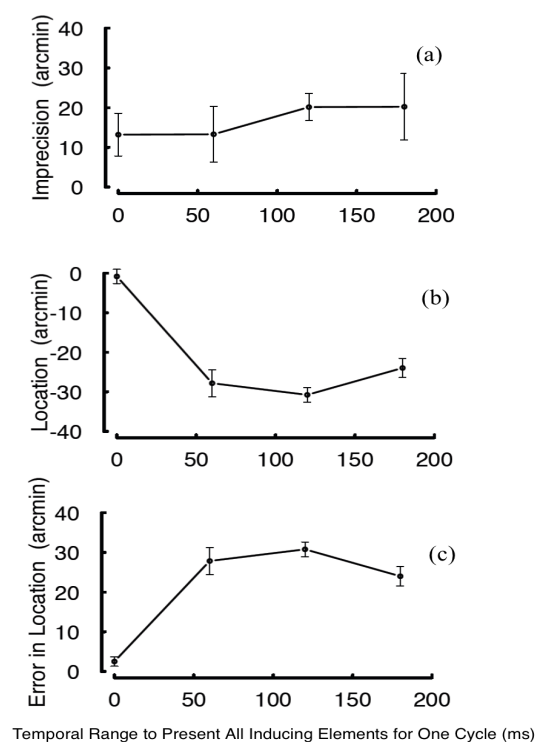


Figure 13. Results of Experiment IIIa: (a) imprecision as a function of time range to present all inducing elements for one cycle; (b) location as a function of time range to present all inducing elements for one cycle, (c) error in location as a function of time range to present all inducing elements for one cycle. Error bars represent plus or minus one standard error of the mean across observers (Unuma et al., 2010 b).

から算出されたので、定位測度の全観察者の平均値の絶対値とは一致しない。すなわち、Figure 13 c の縦軸の値は、Figure 13 b の縦軸の値の絶対値には一致しない。なお、同時提示条件のドット定位は、4条件でもっとも精度が高く、また定位誤差、定位誤差の両測度で低い値を示した。

3.1.4 考察

本実験の結果は、時間空間的統合過程が精度の高い視覚表象を形成するとする精度仮説 (precision hypothesis) の予測を支持するものであった。このことは、系列提示条件における(低)精度指標 (imprecision measure) の値が、同時提示条件における値と異ならなかったことによって示された。この結果は、観察者が系列提示条件においても、時間空間的統合過程によって形成された視覚表象に基づいてドットを定位したという説明と矛盾しない。ただし、本実験における(低)精度指標の水準の平均値 $16.7'$ は、静的な事態で測定された錯視的輪郭において報告された水準 (たとえば, Guttman & Kellman, 2004) よりも高い水準であって、本実験の輪郭の精度が先行研究の静的事態の水準よりも低いことを示している。

しかしながら、本実験の(低)精度指標の値が高いことにはいくつかの理由をあげることができる。第一に、本実験では定位されるドットが錯視的四角形の4つの辺のいずれかの付近にランダムに提示されたが、Guttman & Kellman (2004)では常に同一の辺に提示された。ランダムな位置に提示された場合のドットの定位では、常に限られた位置に提示された場合よりも高い(低)精度指標(すなわち低い精度)が観察されるであろう。第二に、本実験における2つの誘導図形大きさ(半径の和)と誘導図形間の空間的距離(中心間距離)の比(支持比率 support ratio: Shipley & Kellman, 1992)は0.35であったが、この値はGuttman & Kellman (2004)における比率0.50よりも低い値であった。低い支持比率は、より弱い輪郭補間を形成すると考えられる (Shipley & Kellman, 1992)。

定位測度 (location measure) は、知覚された輪郭線の位置を表している。輪郭位置についての本実験の結果は、ドットの定位が錯視的輪郭図形の内側に変位すると予測する不正確仮説 (inaccuracy hypothesis) を支持するも

のであった。ここで、ドットの定位が不正確になることの説明として2つの仮説をさらに検討することにしよう。まず、本実験の系列提示条件下において観察者は知覚的に補間された輪郭の視覚表象に基づいてドットを定位した、と考えてみよう。これを知覚表象仮説と呼ぶことにする。(低)精度指標の結果は、系列提示条件においても観察者が同時提示条件と同程度の精度をもつ表象を用いてドット定位課題を遂行したことを示唆している。また、遮蔽された静的な提示条件 (Guttman et al., 2003) と同様に、系列提示条件下においても時間空間的統合過程の全体的処理が輪郭線の位置を図形全体の内側に変位させていたのかも知れない。

本実験の知覚された輪郭位置の結果についてのもうひとつの説明は、系列提示条件において観察者がドット位置について反応する際に、“内側”よりも“外側”と反応する傾向があった、というものである。これを反応バイアス仮説と呼ぶことにする。もし

観察者がドット定位課題において外側と反応する傾向があるならば、定位指標は結果として輪郭位置の内側への変位を示すことになるだろう。観察者が、なぜ内側ではなく外側という反応をする傾向を生ずるかは、さらに説明されなければならないが、次のように考えることは可能であろう。すなわち、観察者は図形の外側からの系列（下降系列）においてはドット位置の判断に困難を感じると仮定することができる。

その理由は、各誘導図形の扇型の欠損

部分が錯視的四角形の内側を向いているために、四角形の外側からドット位置が変化する系列ではドット位置を判断する手がかりが誘導図形の円弧の部分となり、内側からの系列においてよりも位置の判断が困難になると考えられるからである。Figure 14 は本実験の図形外側からの系列 (①) と内側からの系列 (②) におけるドット定位の事態を示している。観察者

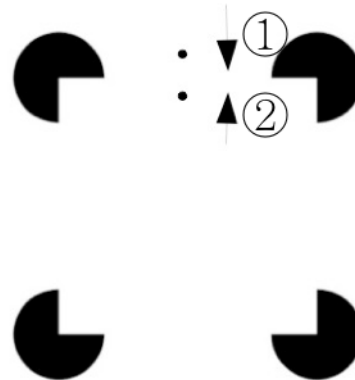


Figure 14. Dot localization performances in a series from outside the illusory figure (①) and a series from inside the figure (②).

が部分要素の位置をもとに輪郭の位置を推定しているすると、その位置手がかりは図形の中心に向いたパックマンのエッジにあると考えられる。ドット定位の外側から内側へ向かう系列；①) においては、その手がかりパックマンの円周部分となり、図形の内側に向いた直線エッジ (90° の切れ込み) 部分は内側からの系列 (②) ほど有効ではないと考えられる。その結果、外側からの系列①では系列②よりもドット位置判断が困難になると考えられ、その場合、先行試行の「外側」反応の反復が増える (曖昧な事態では同一反応の反復が増えるため)。これは結果として、推定される輪郭位置を図形の「内側」に変位させる。反応バイアス仮説と知覚表象仮説のいずれが妥当かについてのこれ以上の考察は、以下の実験Ⅲbの結果をふまえて行うことにする。

3.2 実験Ⅲb 視覚短期記憶における空間的定位⁶

3.2.1 目的

本実験Ⅲbでは、実験Ⅲaにおいて用いられた精度指標 (precision measure) で測定される輪郭表象の強度 (strength) が、時間範囲の拡大とともに減少するかどうかを検討する。本章で仮定されている短時間範囲の時間空間的統合過程がその仮定された時間的限界を超えた場合に動作しないならば、観察者は高精度の表象を用いてドットの定位課題を遂行することができないので、(低)精度指標の値は増加するであろう。

3.2.2 方法

実験Ⅲaの参加者とは異なる10名の学部学生が実験に参加した (すべて女性)。参加者の年齢は18歳から22歳 (平均年齢20.1歳) で、矯正を含めて正常な視力を有していた。実験Ⅲaと同様に、参加者は本実験の仮説については知らされていなかった。

実験に用いられた刺激と手続きは以下の点を除いて実験Ⅲaと同一であった。4つの誘導図形を1周提示するために実験Ⅲaよりも長い4つの時

⁶ 本実験は、Unuma et al. (2010 b)の Experiment 2 に加筆修正したものである。

間範囲が設定された (240, 480, 960, 1920 ms)。各試行において誘導図形が提示される時間の総計は実験Ⅲaと同じく一定 (2 秒) にされた。定位, 定位誤差, (低) 精度の 3 つの測度のデータが時間範囲を独立変数とする反復測度の分散分析にかけられた。

3.2.3 結果

Figure 15 a は誘導図形が 1 周提示されるための時間範囲の関数としての (低) 精度 (imprecision) の変化をプロットしたものである。ドット定位の精度はすべての誘導図形が提示される時間範囲に依存していた ($F_{3,27} = 3.28, p < .05, \eta^2_p = .27$)。事前計画比較 (修正 Bonferroni, $\alpha = .05$) の結果では 4 条件の間に有意な差が認められなかったが, 時間範囲の増加とともに (低) 精度測度の値は $15.8'$ から $25.9'$ まで増加した。最も短い時間範囲 (240ms) の精度の水準は, 実験Ⅲa 全体の平均値 ($16.7'$) に近く, 一方最も長い時間範囲 (1920ms) における (低) 精度は最も短い時間範囲の値の 1.6 倍を超えていた。

これに対して, 定位 (location) 測度の結果 (Figure 15 b) は, 誘導図形提示の時間範囲に規定されていなかった ($F_{3,27} = 1.56, p > .05, \eta^2_p = .15$)。4 条件の平均値による定位の推定値は錯視的四角形の内側 $11.1'$ で, これは実験Ⅲa の系列提示条件の推定値 ($27.5'$) よりも理論的位置に近かった。また, 本実験

において知覚された輪郭位置の 95% の信頼区間は $-15.0 < \mu < -7.2$ で, こ

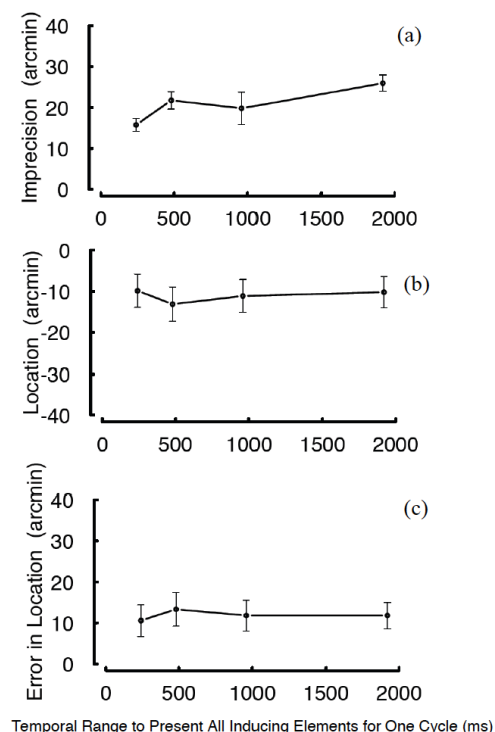


Figure 15. Results of Experiment IIIb: (a) imprecision; (b) location; (c) error in location. Each measure is plotted as a function of time range to present all inducing elements for one cycle in the same way as in Figure 13. Error bars represent plus or minus one standard error of the mean across observers (Unuma et al., 2010 b).

これは実験Ⅲaにおける系列提示の3条件から求めた位置の推定値 ($-31.1 < \mu < -24.0$) と重ならなかった。定位誤差 (error in location) 測度の結果 (Figure 15 c) も誘導図形の時間範囲には依存していなかった ($F_{3,27} = 1.12, p > .05, \eta^2_p = .11$)。定位誤差の推定値は $11.9'$ で、これは有意に0と異なっていた ($t_{39} = 6.57, p < .05, d = 1.04$)。

3.2.4 考察

本実験における(低)精度測度の結果は精度仮説を支持するものであった。本実験の(低)精度測度の水準は、実験Ⅲaの水準に等しいか、あるいはそれ以上であった。これらの結果は、限定された時間範囲において精度の高い視覚表象が形成され、さらに本実験で設定された200ms以上の範囲ではこの視覚表象の精度(すなわち、強度)が減少することを基本的に示唆していた。ただし、240ms条件における精度測度の水準が実験Ⅲaの系列提示条件の水準に近かったことは、以下の定位測度の結果とあわせてさらに慎重に判断する必要がある。

定位測度の結果は、実験Ⅲaの結果と比較して本実験の観察者がより理論的な位置に近くドットを定位していたことを示している。これらの結果は、観察者が200msよりも短い短時間範囲では高精度の視覚表象によってドット定位課題を遂行し、これに対して200msを超える時間範囲では誘導図形の視覚的エッジの延長線上にドット定位していたという説明と矛盾しない。本実験の200msを超える範囲でドット定位の図形内側への変位が少なかったことは、精度指標の結果が錯視的輪郭図形の高精度の視覚表象に規定されていなかったことを示唆している。ただし、依然としてわずかながら図形の内側へドット定位の変位が観察されたことに関しては、反応バイアス仮説、すなわち図形の外側からのドット変化系列における「外側」反応への傾向による説明の可能性が残されているかもしれない。

これに対して、240ms条件における定位誤差測度の結果は、実験Ⅲaの系列提示条件の結果や同時提示条件の結果のいずれとも一致しない。また、240ms条件における定位誤差測度と(低)精度測度の水準は輪郭補間の根拠としては相互に矛盾するものである(高精度で、同時に正確)。したが

って、240ms 条件の精度測度の結果が認識された錯視的四角形についての何らかの表象を示唆するとしても、本実験と実験Ⅲa の観察者が異なっていたことも考慮すれば、この点に関してはさらに慎重な検討が必要である。少なくとも、240ms 条件におけるドット定位が、実験Ⅲa で形成された精度の高い視覚表象と同一の表象によって規定されていたということではできないであろう。

3.3 時間-空間的定位についての総合的考察

実験Ⅲの目的は、時間空間的統合過程の時間的、空間的特性を明らかにすることであった。精度仮説は、限られた時間範囲において時間空間的統合過程が対象の輪郭についての精度の高い視覚表象を形成することを仮定する。この仮説はさらに、ある時間範囲を超えれば、視覚表象の空間的な精度が低下することを主張している。観察者が限られた時間範囲でこのような高精度の視覚表象を形成すると考えられるのに対して、不正確仮説は先行研究に基づいて、その限られた時間範囲で知覚された対象が中心方向へ縮小することを予測する。これらの予測を検証するために、錯視的輪郭図形を材料として、系列提示パラダイムとドット定位課題を用いて2つの実験が行われた。

実験Ⅲa および b において、精度測度の結果は短時間範囲において観察者が高い精度でドットを定位することを示した。例えば、最も精度の高い時間条件における観察者の平均の精度は $13.3'$ で、これは 57.3cm の観察距離で 2.2mm に対応するものであった。本実験の同時提示条件を別にすれば、継時提示条件下における本実験の精度は、同時提示された空間的遮蔽条件下 (Guttman & Kellman, 2004, Figure 5) の結果 ($5' \sim 10'$) に近い。定位測度と定位誤差測度の結果は、観察者の報告した位置が短時間範囲において錯視的図形の内側に変位していたことを示した。これに対して、長時間範囲においては位置の図形内側への変位が短時間範囲よりも小さかった。すなわち、長時間範囲における視覚表象が、理論的位置に近いという点で正確ではあるが、精度すなわち強度は低いとすることができる。以上をまとめると、本実験の結果は限られた時間範囲 (実験Ⅲa における

180ms 条件以下)における時間空間的統合過程と輪郭表象の形成についての精度仮説と不正確仮説を支持するものであった。なお本論文では、実験 IIIa において実際に設定された最も長い時間範囲条件である 180ms を輪郭補間の上限と見なすこととする。これは、精度(精度測度)と正確度(定位測度, 定位誤差測度)において一貫して知覚表象の成立が示唆されるからである。この時間範囲(180ms)は、先行研究の時間空間的統合事態における統合時間の推定値、たとえば Keane et al. (2007)における 175ms や Shipley & Kellman (1994)における 165ms とほぼ一致するものである。

ここで、本実験の結果と先行研究の結果を総合的に説明するために、輪郭あるいは境界形成過程(contour or boundary-formation process)と表面拡散過程(surface-spreading process)の役割の区別(Grossberg & Mingolla, 1985)と、それらの時間過程の差異にあらためて注目したい。すなわち、Rogers-Ramachandran & Ramachandran (1998) は、応答の速い輪郭システム(15Hz)と、より遅い表面弁別システム(<7Hz)の根拠となるデータを示した。これらの値のうち、前者は輪郭の知覚を指標とする本実験の短時間範囲と対応し、後者は知覚された明るさを指標に含む先行研究(Unuma & Tozawa, 1994; Takemoto & Ejima, 1997)で示唆された時間範囲に対応すると考えられる。一方、輪郭過程のうち、錯視的輪郭(Guttman & Kellman, 2004)と遮蔽された輪郭(Sekuler & Palmer, 1992)の補間は実輪郭の知覚の成立よりも長い時間を必要とすることが指摘されているが、いくつかの実験証拠が錯視的輪郭と遮蔽された輪郭の補間に共通する輪郭過程の存在を示唆してきた(e.g., Kellman et al., 2001; Kellman & Shipley, 1991)。すなわち、遮蔽された輪郭の補間は時間とともに進行し、最低でも 200ms を要するとされている(Sekuler & Palmer, 1992)。錯視的輪郭の形成過程を検討した Ringach & Shapley (1996)は、局所的な輪郭過程が 120ms を必要とするのに対し、表面過程を含む全体的な過程がさらに 140 から 200ms を必要とすることを指摘した。これら結果は、遮蔽輪郭と錯視的輪郭の補間が全く同一の過程であることを意味するわけではないが、両者がその一部に同一の補間過程を共有すると仮定する同一性仮説に矛盾するものではない。すなわち、遮蔽された事態と錯視的事態のいずれにおいても 200

ms の間に輪郭の補間が成立するが、その初期においては局所的な輪郭線処理が生じ、その後には面の拡散が進行する。最終的に遮蔽された背後に形が知覚されるか、または錯視的輪郭が知覚されるかは異なるが、両者はその直前までの処理を共有していると考えられる。本実験の結果も一般的な輪郭補間過程の時間特性を示したものと考えることができる。

実験 IIIb の 240ms 条件において、(低) 精度測度と定位および定位誤差測度間に矛盾する結果が見られた。すなわち精度測度の結果は、180ms 以下の短時間範囲と異ならなかったが、もし高精度の視覚表象が形成されたならば、定位および定位誤差測度も 180ms 以下と同様に内側への大きな変位を示すはずである。しかし、240ms 条件の定位、定位誤差は、観察者が異なることを考慮しても 180ms 以下とは異なっていた。このことの原因は明らかではないが、視覚表象の性質が 240ms では 180ms 以下と異なることを示唆している。ここで、輪郭過程と表面過程の時間特性の違い (Ringach & Shapley, 1996) を考慮すれば、240ms 条件では表面過程が作動していた可能性がある。表面過程と輪郭過程の時間特性の違いという説明は、時間空間的統合事態において明るさの変化を指標とした時間範囲の推定値 (約 300ms, 例えば Unuma & Tozawa, 1994; Takemoto & Ejima, 1997) と一貫している。240ms 条件下での視覚表象のより具体的な特性については、「対象のユニット表象 (unit representation)」(Kellman et al., 2001) の水準を仮定することができるかもしれない。ユニット表象 (Figure 3, 右上部 Representation of Object Unity) とは、表面が連続して補間され一体として知覚されながらも、明確な輪郭が知覚されない状態の知覚的表現と考えられる。Figure 16 は、空間的統合の事態において、ユニット表象が形成される例である (Kellman et al., 2001)。この図では、遮蔽面によって分離された複数の可視領域が空間的に統合されて、遮蔽面の背後に連続して対象の表面が補間される (表面拡散過程)。しかし、対象の輪郭は明瞭には知覚されない。本実験では、ひとまず 240ms 条件下において、表面拡散過程が対象の表面特性についての視覚表象を形成し、さらに高精度でしかも正確なドット定位課題の結果をもたらしたと結論する。

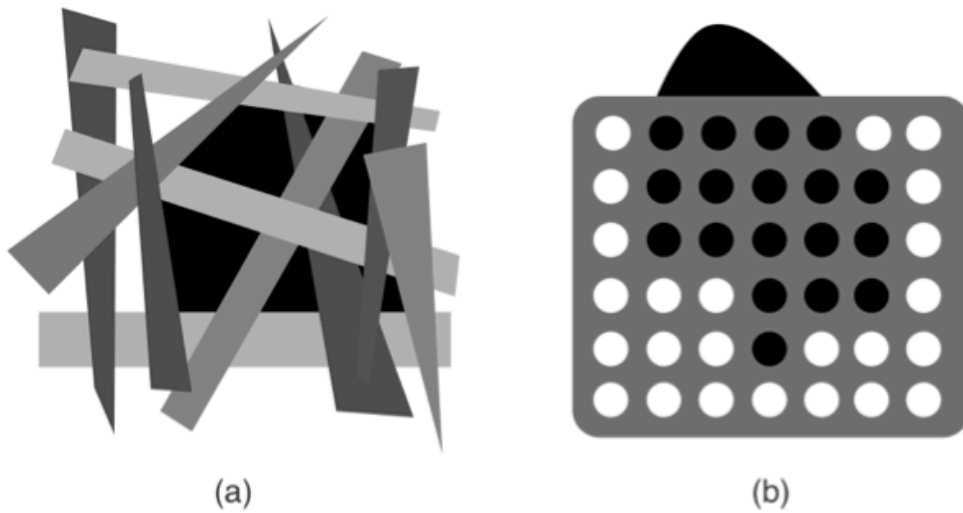


Figure 16. In (a), we perceive a unitary black surface despite a complete absence of shape information. In (b), surface spreading gives the unity of the partly occluded surface. From Kellman et al., 2001.

さて、上述した時間空間的統合過程の時間特性は、これまで多くの知見が蓄積されてきた誘導図形の同時提示という静的な事態（Ringach & Shapley, 1996; Shipley & Kellman, 1994; Sekuler & Palmer, 1992; Guttman & Kellman, 2004）における空間的統合の時間特性と類似しているように思われる。そこで以下では時間空間的統合過程のメカニズムと、従来明らかにされてきた空間的統合過程の関係について考察をくわえておきたい。これまでドット定位課題によって明らかにされてきた空間的統合と補間のメカニズム（Guttman et al., 2003）は、方位選択的ユニット（orientation-sensitive unit）のネットワークを仮定する神経ネットワークモデル（e.g., Field, Hayes, & Hess, 1993; Pillow & Rubin, 2002）によって次のように説明されてきた。空間的統合は神経ユニットの逐次的な活性化に依存しているが、ドット定位課題におけるドットあるいは輪郭位置における活性化は、誘導図形の視覚的エッジからの空間距離の増大とともに減衰すると考えられる。この論理にしたがって、ドットあるいは輪郭位置における神経ユニットの活性化が誘導図形提示の時間範囲（間隔）の増加にともなって減少すると仮定す

れば、本実験の系列提示事態におけるドット定位課題においても、時間範囲(間隔)の増大とともに精度が低下すると考えることができる。つまり、空間的統合過程は時間空間的統合過程のひとつの限られた事例であり、時間空間的統合過程 (Palmer et al., 2006; Keane et al., 2007; Unuma et al., 2010 b) において時間変数が 0 になった事態が、これまで空間的統合過程として扱われてきたと考えることが可能である。したがって空間的統合過程も、時間空間的統合過程の一部として位置づけられるであろう。

不正確仮説についてはさらに説明の余地が残されている。本実験の時間空間的統合事態における不正確な輪郭位置の定位は、静的な事態における遮蔽輪郭の位置に不正確な定位と類似するものである。視覚的エッジの時間空間的統合と空間的統合の両方において、局所的過程と全体的過程 (local and global processes) の双方が関与している可能性がある (Sekuler, Palmer, & Flynn, 1994)。たとえば本実験では、全体過程の根拠は対象の輪郭全体が知覚的に縮小した点にみることができ。これは断片的なエッジが錯視的四角形の中心方向へと統合された、とも考えられる。ここまでの考察をまとめると、実験Ⅲの結果は、時間空間的統合過程においても静的あるいは空間的統合過程と同様の輪郭補間過程が作動することを示唆していた。

以上、実験Ⅲにおいて精度仮説と不正確仮説が支持されことは、本研究の時間空間的統合理論における時間-空間的定位の主張の根拠となると考えられる。すなわち時間空間的統合理論は、アイコニック・メモリーにおける高い精度の空間的定位を主張する。一方、知覚的持続の減衰とともに空間的定位の精度が低下することを仮定する。これらは、いずれも実験Ⅲにおいて、その根拠となるデータが示された。さらに、空間的な定位において、アイコニック・メモリーにおける定位が物理的な位置から変位することが実験Ⅲにおいても指摘された。この理由について時間空間的統合理論は今後説明を保留するが、変位の事実はこれまでアノースコピック知覚においても、また空間的統合において (Guttman et al., 2005) も報告されてきたことから、時間空間的統合過程の特性として検討される必要がある。以下の実験Ⅳではさらに時間空間的統合理論が主張する知覚表象

の特性について、新たなパラダイムによる実験的検討をおこなう。

第4章

空間的表象の性質についての実験的検討

4.1 時間空間的統合と視覚的記憶表象

第3章では時間空間的統合過程における輪郭過程と表面過程に焦点をあてながらそのメカニズムを検証した。実験Ⅲの結果から180msまでの範囲で対象全体についての高精度の視覚的表象を形成することが明らかとなった。本章では、さらに日常的事態までふくめた対象認識の全体像を明らかにするために、第2章で取り上げた視覚短期記憶における時間空間的統合を再び検討する。視覚短期記憶は、数百ミリ秒から秒のオーダーでの情報の符号化と統合を行うと考えられ、眼球運動や注意の移動にともなう長期の統合過程ということができる(乾, 1981)。Hochberg (1968) は、このような統合過程において各注視点で入力される情報と、注視点の間の移動情報を区別した。本章は、視覚短期記憶において処理される情報とその処理過程、その表象の性質について検討することを目的とする。同時に、アイコニック・メモリーにおいて形成される対象の表象と、視覚短期記憶において形成される表象の類似点と差異についても検討される。

アイコニック・メモリーと視覚短期記憶の2つの過程はその時間範囲が異なるだけではなく、それぞれに関与する記憶系の役割においても異なると考えられる。後者は、長期記憶などの他の記憶系との相互作用を介することで、より長い時間範囲での時間空間的統合を達成すると仮定される。ここで、対象についての表象の性質についても、視覚的モダリティの特性を保持するアイコニック・メモリーとどのように異なるのか、あるいは共通するのかが明らかにされる必要がある。

第1章で述べたように、人間の認識活動における情報の統合は、空間的、時間的統合、時間空間的統合、さらに感覚間統合と感覚-運動統合の問題として階層的・体系的に整理することができる。視覚短期記憶における統合には注意や眼球運動にともなう移動情報が関与すると仮定されるが、さらに空間的な情報統合から感覚-運動統合に至る重層的な統合過程を考慮

に入れる必要があると考えられる。典型的な時間空間的統合の過程とみなすことのできる先天盲の開眼手術後の対象の認識活動を検討した鳥居・望月（1992）によれば，術後の認識活動には対象の特徴的な部分や輪郭を探索する活動と，身体（手，頭部）を移動させながら対象全体についての認識を達成しようとする行動が観察された。さらに，これらの探索的認識活動は，長期間にわたる学習過程を経てはじめて，対象全体の視覚的表象を形成すると考えられた（Umezu, Torii, & Uemura, 1975; 梅津・鳥居・上村, 1991）。本章がとりあげる時間空間的統合過程においても，視覚情報にくわえて，感覚-運動統合の観点から身体運動情報の関与も検討されることになる。

一方，視覚短期記憶とアイコニック・メモリー，さらには通常のいわゆる（静的・同時的事態の）視知覚における表象の差異と共通性という問題は，70年代のいわゆる「イメージ論争」と関連する。Shepard, R. N. らのいわゆるメンタル・ローテーションとよばれる一連の実験(Shepard & Metzler, 1971; Cooper & Shepard, 1973) は，外的対象を物理的に操作することと同様に「内的」表象（internal representation）が操作され得ることを示した。これは一般に内的表象のアナログ的・全体的性質を示唆すると受け取られている。しかし，内的表象とその変換過程がアナログ的性質を持つかという問題と，イメージ過程（視覚短期記憶過程）が視知覚過程と共通の性質を基礎に持つのか，という問題は区別することができる(下條, 1981)。本章では，イメージ過程と視覚過程の共通性あるいは差異性という視点からイメージ⁷の形成と変換過程を検討する。

本章の実験IV（a～c）⁸では，視覚短期記憶に対応する課題として迷路探索課題が用いられる。3つの実験は，まず視覚短期記憶においても時間

⁷ 本章において，いわゆる表象について‘イメージ’と‘(内的) 表象’の両方の話が用いられる。論文中では内観の対象となる意識的表象を‘イメージ’とよび，これに対してイメージを情報処理過程の中で概念的に構成する場合の情報表現を‘(内的)表象’とよぶ。またこの内的表象を符号化・変換し，意識としてのイメージを生成する情報処理過程全体を‘イメージ過程’と呼ぶことにする。

⁸ 本章の実験部分は，鶴沼(1993)として公刊されたものの一部を修正加筆したものである。

空間的統合によって対象の空間的表象が形成されることを検証する(実験IVa)。さらに視覚短期記憶において対象の認識にどのような視覚情報が関与するかが検討される(実験IVb)。また、表象の形成過程が学習の過程として分析される。最後に、いわゆる「視覚的」表象と知覚的表象の関係が、筋運動感覚の影響という観点から議論される(実験IVc)。

4.2 実験IVa 視覚的表象における構造図式

4.2.1 問題

第2章の実験Iでは、視覚短期記憶における時間空間的統合過程が、多義図形の分割提示によって検討された。そこでは特定の要素部分の系列提示条件によって、多義図形の全体の認識が規定されることが示された。また実験IIでは、第3章で検討されたアイコニック・メモリーの範囲よりも長い範囲で時間空間的統合による錯視的輪郭図形全体の認識が可能であることが示唆されていた。ただし、実験IおよびIIではいくつかの方法論的あるいは理論的問題が含まれていたために、結果の解釈と情報統合過程についての説明が不十分なままで残されていた。方法論の上からは、いずれの実験も主観的な言語報告と評定法を用いたため、認識された現象の信頼性と妥当性に問題が残り、より客観的・行動的指標による測定が望まれた。また理論的には、視覚短期記憶における時間空間的統合において仮定される注視点における入力と、注視点の間の移動情報(図式的地図)の区別(Hochberg, 1968; 乾, 1981)は未解決の問題として残された。図式的地図あるいは移動情報という概念を操作的に定義し、その内容を検討することは時間空間的統合過程の検証に不可欠であろう。

以上の点を考慮して、実験IVでは迷路探索課題が用いられた。課題では、「正しい」ルートがひとつだけ設定されたため、実験参加者の探索行動を統制することが可能であり、情報の入力と対象(迷路)についての表象形成の間の因果関係を仮定することができる。これは、実験I～IIIにおいて、対象を分割提示することで情報の入力と表象形成の間の因果関係を設定し、これを説明するための統合過程を検証した方法論に共通する方法と言えよう。また、迷路学習の達成を指標とすることで、形成された表象の客

観性を保証することができ、表象の全体性・精度についての曖昧性を除くことができる。さらに、材料として迷路を用いることによって移動情報のみを取りだし、Hochberg (1968) における図式的地図を検証することが可能となる。

実験では、静的（同時提示）事態と類似した視覚属性の処理をとまなうことが示されたアイコニック・メモリー（第3章）との共通性・差異を検討するために、視知覚における体制化、特に「かたち (configuration)」あるいは「パターン⁹の構造 (pattern-structure)」の効果を検討した。視覚的体制化を規定する原理はゲシュタルト心理学において「良さ」の概念としてとらえられた。「良さ」の概念は必ずしも明瞭に定義されていない（今井, 1986, p. 69）が、Hochberg & Brooks (1960) は単純性として精神物理学的に測定しうることを示した。また Attneave (1954) は本実験に類似した探索的実験課題を用いて図形（領域）のもつ情報量の測定を試みた。この場合、屈曲や角が少ないほど形は単純となると考えられた。視覚短期記憶における時間空間的統合過程においても単純性原理（minimum principle）が働くとする説を、本研究では**単純構造図式仮説**と呼ぶことにする。

一方、Hochberg (1968, 1978, 訳書 p. 172) は単純性では説明できない不可能図形の知覚あるいは図地の反転現象をあげ、中心視と周辺視の視力の差を重視して継起的一瞥を統合する過程を問題とした。継起的一瞥は相互に独立ではなく、外界の一貫性あるいは構造が期待を導き、統合を可能に

⁹ ‘パターン’という語が刺激を指すのか、それとも認識された構造を指すのかは区別する必要がある。特に本研究において迷路探索によるイメージの形成を問題とする場合には、刺激として被験者に与えられるのは各時点における点の空間的な位置であり、その移動による軌跡が刺激に他ならない。CRT 画面上にひとつのルートが一貫して存在することは、認知的情報処理の結果である、と言わなければならない。実験ではこの認知されたルートの2次元平面的‘かたち’が問題となり、その認知された‘かたち’を‘パターン’と呼ぶことが適切とも考えられよう。この場合、物理的刺激は‘パターン刺激’（今井 1986）として区別するか、あるいは特に本実験で刺激の時間系列性を除いた空間布置を問題とする場合には‘パターン刺激の空間布置’と記述しなければならないだろう。しかし、本論文では煩雑なることを避けるために、刺激の空間布置を単にパターンと表記することとする。

するとしている。ここで単純性以外の構造が問題となる。視覚においては閉合性(factor of closure) が近接や類似性の要因よりも図地分凝を強く規定するとされている(野口, 1976)。一方, Kanizsa (1979) は, “図形ができるだけ凹状を避けて凸状の境界をもった形を好む傾向” (訳書 p.81) を体制化の一要因と考えている。計算理論的アプローチにおける形の記述においても, 凹の部分で意味のある分割が可能であることが示されている (Hoffman & Richards, 1984)。さらに, 知覚的体制化における凸状 (convexity) の構造は凸状 (concavity) よりも閉合による知覚的群化と補完を規定することが指摘されている (Liu, Jacobs, & Basri, 1999)。これらを考慮して本研究では, 時間空間的統合を規定するパターン構造としての凸構造をふくむ閉合性の効果を検討する。凸構造をもつ閉合性が統合を促進するとする説を**閉合構造図式仮説**と呼ぶことにする。

実験IVaの目的は, 迷路探索課題における情報の時間空間的統合過程において, 迷路パターンの構造, 特に凸構造をもつ閉合性が効果をもつことを検証することである。すなわち, 凸構造をもつ閉合性をもつ迷路パターンのほうが, 閉合性をもたないパターンよりも迷路探索課題において優れた成績をもたらすことが予測される。これは閉合性によって時間空間的統合過程における知覚的体制化が促進され, 迷路全体の表象が形成されやすくなると考えられるためである。さらに, 形成される迷路についての表象の妥当性を検証するために, 表象の心的変換を課題に加える。すなわち, もし対象の表象が形成されているならば, その表象を変換・操作することが可能であると考えられる。さらに, 表象の形成に迷路パターンの閉合性が影響をもつならば, 表象の変換課題においてもパターンの閉合性の有無により成績に差が生じ, 閉合性をもつ迷路パターンは変換課題においても高成績をもたらすことが予測される。

4.2.2 方法

実験参加者 大学生 (すべて女性) 11 名が実験に参加した。

材料 パーソナル・コンピュータ (NEC, PC9801 VX) を用いて CRT (NEC, N5913L) 上に碁盤目上の直交座標 (以下では, 枠組みと呼ぶ) を提

示した(Figure 17)。この枠組み上に正しいルートを1通り設定した。画面上にはスタート位置(画面上で、Sと表示)、ゴール位置(Gと表示)およびその時点での到達位置(○で表示)が示された。Figure 17における太線は実験者によって設定されたルートを示しており、これは被験者には提示されなかった。被験者はゲーム用ジョイスティック(Tokyo Needs, β 98 Mk 11)を用いて枠組み上を探索した。

すでに通過した方向への後戻りは禁止したので選択可能な方向は常に上下左右のうちの3方向であった。正しいルートからはずれた場合には beep 音がフィードバックされ1つ前の選択点に戻ることが求められた。実験で用いられたルートは、SとGが枠組み上の同一辺上にあるもの(以下ではC(closed)パターンと呼ぶ)と、対辺上にあるもの(NC

(non-closed)パターン)の2種。CパターンではSからGにいたるまでに出発した方向に戻らなければならなかった。これに対しNCパターンは出発方向に戻ることはなかった。C、NCパターンとも、選択点の数は22。連続して同一方向に進む選択点は5ヶ所。連続して3回以上同一方向へ進むことはなかった。CパターンとNCパターンは前述の“単純構造”に関しては同等と見なされた。これは、選択点の数および連続する選択点の数が、探索における判断の回数と各判断における選択肢の数として迷路の複雑さ(あるいは単純さ)を規定すると考えられるためである。Cパターンは“閉合構造”持つのに対しNCパターンは“閉合構造”を持たない、と考え

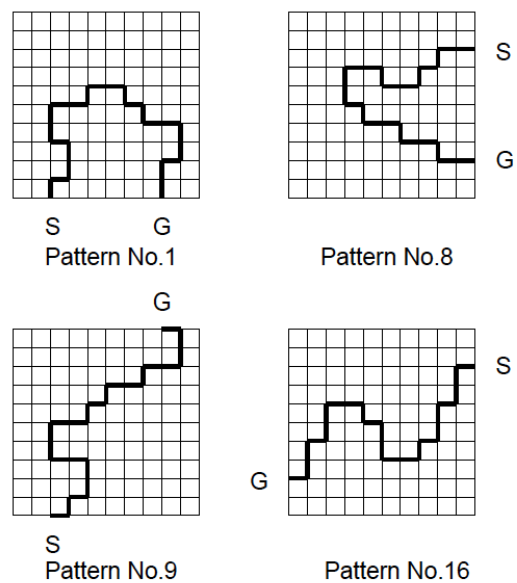


Figure 17. Examples of maze-patterns used in Experiment IVa. Top: closed patterns (No. 1 and 8). Bottom: non-closed patterns (No.9 and 16). S, G, and ○ were presented to show starting point, goal, and exploring point. Bold line means correct route, which was not presented to subjects (Unuma, 1993).

られた¹⁰。C、NC パターンとしてそれぞれ異なる 8 個ずつの迷路パターンを作成し、合計 16 個のパターンを用いた。C 条件と NC 条件における各 8 パターンは枠組みの辺上での S の位置(4つの各辺に設定;4 種)、S と G の位置関係(上下あるいは左右の組み合わせ;2 種)を剰余変数として組み合わせて作成した。パターンの大きさは CRT 上で 115 mm x 115 mm で、観察距離 0.5m。パターンの視角は 13° 7'であった。

手続き 実験はひとつの迷路を学習する Learning Phase と、学習達成に引き続いてもとの迷路を変換したルートをとる Test Phase をあわせて 1 セッションとした。Test Phase では Learning Phase で学習したルートを、パターンの中心に関して点対称に変換したもの(180° 回転:以下 R (Rotation) 変換と呼ぶ)と、鉛直中心線に関して対称に変換したもの(鏡映変換:M(Mirror) 変換)のいずれかを探索した。各 Phase を打ち切る学習達成基準は、誤反応なしの試行が 2 回連続することとした。指標として Learning Phase と Test Phase 終了に要した所要試行数、各試行において S を離れた時点から G に到達するまでの所要時間と誤反応数、各選択点での誤反応数が記録された。各被験者は 16 種のパターンのすべてについて学習とテストを行った(16 セッション)。実施順序は被験者間で相殺した。ただし、Test Phase における変換の種類によって R 変換群と M 変換群に分けられた(R 変換群 6 名、M 変換群 5 名)。被験者は自分が Test Phase においてどのような変換が行われるのかについては告げられず、単に“テストをおこなう”とのみ教示された。なお各被験者は本実験に先立ち 4 試行の練習試行を行った。

4.2.3 結果と考察

¹⁰ ここで定義された閉合構造は全体として凸構造をもつものであるが、局所的には凹部分をふくむ。本研究では群化要因として従来とりあげられてきた閉合性が時間空間的統合過程において作用するか否かを問題とするため、凸凹の差異とその影響については検討課題としない。また、ここで取り上げる閉合性は、必ずしもパターン全体が完全に閉じた構造をもつことをさすものではない。これは、迷路学習におけるスタート位置とゴール位置が一般に異なること(大野, 1965)による。

本実験の主要な測度は所要試行数、試行あたりの平均誤反応数、1 試行の平均所要時間である。 Learning Phase における各測度間の相関を求めたところ、試行数と 1 試行の平均所要時間の相関 ($r=-.135, p>.07, N=175$)、および試行数と平均誤反応数の相関 ($r=-.01, p>.20, N=174$) は有意ではなかった。これに対して 1 試行の平均所要時間と平均誤反応数の間には有意な正の相関が認められた ($r=.599, p<.001, N=174$: なお、装置の誤作動のため総数 N は 176 にはならなかった)。

次に Learning Phase における各条件の平均所要試行数、試行あたりの平均所要時間、1 試行あたりの平均誤

Table 5

Mean trial numbers, mean errors/trial, mean time required/trial in closed pattern and non-closed pattern condition (Learning phase in Experiment IVa)

	Closed pattern	Non-closed pattern
Number of trials	9.1 (4.1)	9.2 (4.0)
Errors/trial	2.6 (0.9)	3.0 (1.1)
Time (S) /trial	17.9 (5.9)	18.2 (5.9)

(SD)

反応数を Table 5 に示す。 8 パターンずつを込みにして C , NC 条件の平均値を比較した。試行数、所要時間では C, NC 間に有意な差を認めることはできなかった(それぞれ, $F_{1,174}=0.05, p>.80; F_{1,173}=0.15, p>.70$) が、平均誤反応数では C 条件の方が NC 条件よりも有意に 1 試行あたりの誤反応数が少なかった ($F_{1,172}= 6.25, p < .05$)。所要試行数は個人とパターンによる変動が大きかったこと(Table 5) と、所要試行数と他の測度との相関が認められなかったことから、平均誤反応数と所要時間の結果を中心に考察することが可能であろう。イメージが形成されていれば、誤反応数と所要時間が低い値になると考えられる。所要時間の結果からは必ずしも明らかではないが、誤反応数の結果からは、実験IVa のイメージの形成過程においてパターンの閉合性がイメージ形成を促進すること、すなわち、“単純構造図式”よりも“閉合構造図式”が用いられる可能性が示唆された。

Test Phase の結果を Table 6 に示す。パターンと変換の 2 要因分散分析を行ったところ、所要試行数、1 試行あたりの平均所要時間、平均誤反応数のいずれに関しても変換の効果は認められた(それぞれ, $F_{1,171} = 20.80, p < .01; F_{1,171}=6.60, p=.01, F_{1,171}=25.69, p < .01$) が、パターンの効果は認められなかった (それぞれ, $F_{1,171}=4.58, p>.03; F_{1,171}=0.31, p>.50; F_{1,171}= 1.22,$

$p > .20$)。交互作用も認

められなかった

($p > .05$)。

R(回転)変換におい

て4 試行前後で Test

Phase が終了したこ

とは、学習達成基準の

2 試行を除けば2 試

行前後で変換したル

ートのイメージが完

成したことを意味す

る。これに対して M(鏡映)変換では3 から5 試行が必要であったと考えられる。また1 試行あたりの所要時間あるいは誤反応数も M 変換よりも R 変換に対するイメージの変換が容易であったことを示している。

Test Phase の結果から、イメージの心的変換過程では、パターンの閉合性は効果を持つとは言えない。またこの心的変換過程では回転変換よりも鏡映変換において困難度が高いことが推定できる。本実験課題の場合、鏡映変換パターンを探索する Test Phase では左右を区別することと、イメージを再び左右関係のもとに記述し直すことが必要となる。ここで左右関係とは観察者とパターンの関係において記述される。したがって何らかの形で観察者を含む関係の表現が必要となろう。観察者(自己)を含む関係の内的表現、あるいは座標系の問題は後の実験(実験IVc) で取り上げる。

一方、回転変換条件において特に学習効果が認められたことは、Test Phase においてはパターンの再学習が行われたというよりも、Test Phase の変換に対応する内的な処理がパターン全体に対して行われたことを示唆している。変換に対応する処理においてパターン構造の効果が認められないことから、この処理がイメージ形成過程とは別の機序に基づくことが考えられる。

本実験に即してイメージ過程を考察する場合、外在するパターンに対応する内的イメージの形成過程すなわち情報の符号化過程と、形成されたイ

Table 6

Mean trial numbers, mean errors/trial, mean time required/trial in closed pattern and non-closed pattern condition (Test phase in Experiment IVa)

Trans. (a)		Closed pattern	Non-closed pattern
R ^(b)	Number of trials	4.2 (2.5)	3.8 (2.2)
	Errors/trial	0.6 (0.7)	0.5 (0.5)
	Time (S) /trial	12.8 (3.8)	12.4 (3.6)
M ^(c)	Number of trials	7.0 (4.4)	5.2 (3.3)
	Errors/trial	1.2 (1.0)	1.0 (1.0)
	Time (S) /trial	14.3 (4.2)	14.0 (4.1)

(SD)

(a) Transformation in test phase

(b) Rotation condition

(c) Mirror image condition

イメージの保持・心的変換過程を区別することができる。Learning Phaseの結果は、イメージの符号化過程と視知覚過程とが閉合性の効果という点で共通性を持つことを示す。これに対して Test Phaseの結果は、イメージの保持・心的変換過程が閉合性の効果に関しては視知覚過程と類似しないが、鏡映錯誤に関係する関係枠あるいは座標系の機能に関して共通点を持つことを示唆する。ただし閉合性が情報の符号化過程でのみ効果を持ち、イメージの保持・心的変換過程で効果を持たないとしても、この閉合性というパターンのトポロジカルな構造的要因と関係枠あるいは座標系の問題がいかに関連するのかはなお明らかではない。実験IVb以降では、上述の符号化過程においてパターンの構造的要因と関係枠あるいは座標系の問題がいかに関わっているのか、について検討を加えることにする。

4.3 実験IVb 視覚的枠組みの効果

4.3.1 目的

視覚的イメージの形成におけるパターンの閉合性の効果と視覚的な関係枠 (frame of reference) の関係を検討する。一般に視知覚において対象の方向の知覚が対象を取りまく枠組みによって規定されることはよく知られている (Koffka, 1935; 大山, 1970)。これは、対象の知覚的表象が周囲の視覚的手がかりや枠組みを対象表現の基準、すなわち座標系として採用しているためと考えられる

(Marr, 1982)。本実験では、このような枠組みの効果が、時間空間的統合による符号化過程において果たす役割を検証する。具体的には、入力の符号化の際にその空間的位置を正

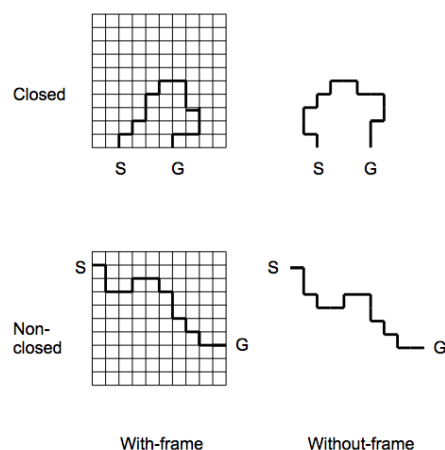


Figure 18. Examples of maze-patterns used in Experiment IVb. Top: closed patterns. Bottom: non-closed patterns. Left: with-frame condition. Right: without-frame condition. Bold line means correct route, which was not presented to subjects (Unuma, 1993).

確に表現する手がかり (Figure 18) の有無を操作することで、時間空間的統合による符号化における視覚的枠組みの効果を検討する。パターンの構造と視覚的關係枠が、符号化過程において相互に関連し、關係枠の有無が構造の符号化を促進するとすれば、2つの要因を実験的に操作した場合に両者に交互作用が認められることが予測される。これを**構造-枠組み総合仮説**とよぶことにする。一方、枠組みの効果がパターンの構造の効果と独立であるならば、両者は別個に符号化過程に寄与すると考えられる。これを**構造-枠組み独立仮説**とよぶこととする。

4.3.2 方法

実験参加者 大学生 (女子) 8名が参加した。実験IVaに参加した者とは異なる参加者であった。

材料 パーソナル・コンピュータ (PC-9801 VM2) を用い、手続きは実験IVaに準じた。実験IVbではC, NCパターンとも選択点数は18ヶ所。連続して同一方向に進む選択点は5ヶ所であった。連続して3回以上同一方向へ進むことはなかった。このパターン2種に枠組みが画面上に提示される条件と提示されない条件の2種を組み合わせ、合計4種のパターンを用いた(Figure 18)。パターンの大きさはCRT上で115 mm × 115 mm, 観察距離0.5m, パターンの視角13° 7'。

手続き 各被験者は学習とテストを4パターンのそれぞれについて行った(4セッション)。4セッションの実施順序は被験者間で相殺した。ただしTest Phaseにおける変換の種類によってR変換群とM変換群に分けられた(各4名)。教示は実験IVaと同一であった。

4.3.3 結果と考察

Learning Phaseにおける平均所要試行数の結果 (Table 7) の分散分析を行ったところ、迷路パターンの効果 ($F_{1,28}=5.70, p<.05$), 枠組

みの効果 ($F_{1,28} = 5.70, p<.025$) のいずれも有意であった。交互作用は認め

Table 7

Mean trial numbers in Experiment IVb, learning phase.		
	Closed pattern	Non-closed pattern
With-frame	7.4 (2.6)	10.3 (2.6)
Without-frame	10.3 (5.9)	15.8 (6.1)

(SD)

られなかった。C パターンよりも NC パターンにおいて、また枠組みがある場合よりもない場合において所要試行数が多かった。

Figure 19, 20 に Learning Phase の第 1 試行から第 9 試行までの平均所要時間と平均誤反応数の推移を示した（なお 試行の推移にともない被験者数は減少した）。各試行で 2 要因の分散分析を行ったところ、所要時間では 第 3 試行 ($F_{1,28}=7.09$, $p < .05$), 第 4 試行 ($F_{1,28} = 4.34$, $p < .05$) で C パターンの方が短く、また第 7 試行 ($F_{1,21}=6.91$, $p < .05$), 第 9 試行 ($F_{1,14}=7.97$, $p < .05$) で枠組みあり条件において所要時間が短い傾向があった。誤反応数では第 3 試行 ($F_{1,28} = 4.29$, $p < .05$), 第 5 試行 ($F_{1,28}=5.79$, $p < .05$) で C パターンの方が少ない傾向があった。また第 6 試行 ($F_{1,24} = 4.40$, $p < .05$), 第 9 試行 ($F_{1,14} = 6.34$, $p < .05$) では枠組みあり条件において誤反応数が少ない傾向があった。以上のいわゆる学習曲線に関する分析では、第 1, 第 2 試行を除く Learning Phase の第 3 試行から第 5 試行の間で、C パターンの方が 1 試行あたりの所要時間・誤反応数の双方とも少ない傾向があった。これに対して、第 6 試行以降ではパターンの効果は認められず、枠組みあり条件の方が所要時間・誤反応数

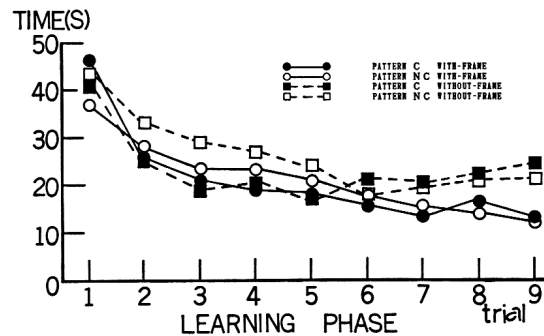


Figure 19. Mean time (S) in each trial during learning phase in Experiment IVb. Exploring time in closed pattern condition tended to be shorter than in non-closed condition from 3rd to 5th trial. After 7th trial, mean time tended to be longer in without-frame condition than in with-frame condition (Unuma, 1993).

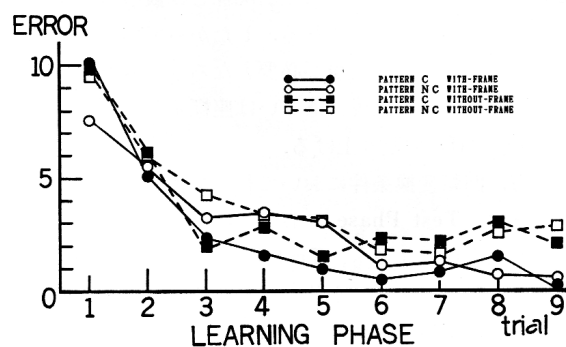


Figure 20. Mean number of errors in each trial during learning phase in Experiment IVb. Learning curve was similar to that of mean time (Unuma 1993). See also Figure 19.

ともに少ない傾向があった。

Test Phase の所要試行数(Table 8) に関しては、分散分析の結果、パターン、枠組みの要因の効果は認められなかった ($F_{1,28} = 0.14, p > .70; F_{1,28} = 0.01, p > .90$)。しかし変換については R 変換よりも M 変換において所要試行数が多い傾向があった ($F_{1,28} = 6.73, p < .015$)。

Test Phase 全体の平均所要試行数は 4.7 ($SD=2.5$) で Learning Phase (平均 10.9, $SD=5.5$) の約 2 分の 1 であり、また Learning Phase と Test Phase の差を R 変換群, M 変換群別に検定したところ、いずれの群でも差が認められ

Table 8
Mean trial numbers in Experiment IVb, test phase.

Trans. ^(a)		Closed pattern	Non-closed pattern
R ^(b)	with-frame	4.0 (1.2)	4.8 (3.2)
	without-frame	3.0 (1.2)	2.8 (0.5)
M ^(c)	with-frame	6.0 (1.8)	4.3 (2.6)
	without-frame	5.3 (2.5)	7.8 (3.4)

(SD)
(a) Transformation in test phase
(b) Rotation condition
(c) Mirror image condition

(それぞれ $t = 4.89, df = 15, p < .001$; $t = 4.02, df = 15, p < .002$), 転移が認められた。

実験IVbの結果は、Learning Phaseにおけるパターンの効果という点で実験IVaと同じ傾向を示したと言える。また Learning Phaseにおいて、パターンの構造的要因である閉合性と、関係枠に関連する枠組み提示の効果とともに認められ、さらに学習曲線の分析から両者の効果が“パターン構造→関係枠”という順序で別個に現れる傾向があった。すなわち、パターンの構造と関係枠が総合的にイメージを形成するという構造-枠組み総合仮説は支持されず、両者が独立にイメージ形成に寄与するという構造-枠組み独立仮説が支持された。

Learning Phase を情報の符号化過程と考えた場合、実験IVbの結果は符号化を規定する要因の中で、閉合性というパターン内部の構造的要因と、関係枠というパターン外部の要因が区別できることを示すとともに、両要因が、パターン内部構造の処理→パターン外部の関係枠の処理、という順序で別個の処理段階を経ることを示唆している。

Test Phaseの結果のうち R 変換よりも M 変換に対する心的変換が困難であること、またパターンによって心的変換に差が認められないことが実

験IVa と共通であった。加えて、枠組みの提示・非提示による心的変換の差も認められなかった。本課題におけるイメージの心的変換・保持過程においてパターンの閉合性、枠組み提示の効果が認められなかったことは、心的変換あるいは保持されるイメージがパターン内部のトポロジカルな構造や外部の関係枠から独立に処理(心的変換)可能な形式をとると考えられる。これは Learning Phase で用いられた '枠組み' が、Test Phase では処理から分離された、とも考えられるからである。M 変換に対する心的変換の困難さは、実験IVa と同様に心的変換されるイメージが観察者との関係で記述されていること、そのためにパターンと観察者の関係の内的変換が容易ではないこと、を示唆する。

4.4 実験IVc 視覚情報と筋運動感覚の統合

4.4.1 目的

本実験は、イメージの符号化と心的変換における筋運動感覚の影響を、視覚情報と筋運動感覚の一致・不一致という観点から検討する。すなわち、学習過程において形成されるイメージが、視覚情報を主として表現しているのか、それとも筋運動感覚成分を表現しているのかを問題とする。迷路学習の結果、視覚情報を主として表現する視覚的表象が形成されるとする仮説を**視覚表象仮説**とよぶ。これに対して、筋運動感覚成分が表現されると仮定する立場を**運動表象仮説**とよぶことにする。視覚表象仮説にしたがうならば、テスト期と学習期の間で視覚情報が一致せず心的な変換が必要な場合に、その変換に困難が生じるであろう。一方、テスト期と学習期の間で視覚情報が一致し運動成分が一致しないならば、テスト期の課題遂行は容易であることが予測される。運動表象仮説にしたがうならば、これとは逆に、テスト期と学習期の間で視覚情報が変換されても運動情報が一致していれば、テスト期の課題遂行は影響されないことが予測される。

4.4.2 方法

実験参加者 心理学専攻の学部4年生および心理学研究室員、総数10名(すべて女性)が参加した。いずれも実験IVa およびbに参加の経験

はなかった。

材料 実験IVaおよびbと類似の2次元の迷路で非閉合形(実験IVaおよびbにおけるNCパターン)の4パターンを用いた。選択点数は14カ所。各時点での現在地とゴール位置が常に示された。同方向に3回以上すすむ選択点はなく、スタートSとゴールGの位置関係(上下左右4種、すなわち上→下, 下→上, 左→右, 右→左)が剰余変数として統制された。

手続き 実験IVaおよびbに準じた。実験はLearning PhaseとTest Phaseからなり、Learning PhaseからTest Phaseへの変化によって次の2群が設定された。(1)視覚的にのみ左右対称に変換(Vi (Visual) 変換群; 視覚像の鏡映変換), (2)運動方向のみ左右対称に変換(Mo (Motor) 変換群; ジョイスティックの動きの鏡映変換)。すなわち, Mo変換群ではLearning Phase→Test Phaseにおいて視覚刺激は同一であったが, ジョイスティックの操作は左右が反転した。Vi変換群では視覚刺激は左右反転したが, ジョイスティックの操作は同一であった。なおLearning Phaseの課題内容は両群とも同一であり, Test Phaseではいずれの条件下でも視覚的な左右と運動的な左右が不一致であった。参加者はこれら2群のいずれかに振り分けられた(各群5名)。学習・テストを4パターンすべてについて行った(4セッション)。4セッションの実施順序は参加者間で相殺した。

Table 9

Mean trial numbers, mean errors/trial, mean time required/trial in Experiment IVc

Condition		Learning Phase	Test Phase
Vi ^(a)	Number of trials	5.9 (2.0)	5.3 (2.4)
	Errors/trial	1.7 (0.6)	1.4 (1.0)
	Time (S) /trial	13.3 (3.2)	17.1 (5.9)
Mo ^(b)	Number of trials	7.2 (1.8)	3.9 (1.8)
	Errors/trial	1.8 (0.5)	0.7 (0.6)
	Time (S) /trial	13.1 (5.8)	14.1 (3.5)

(a) Visual pattern was transformed to mirror image in test phase and motor pattern was identical between two phases.

(b) Motor pattern was transformed to mirror image in test phase and visual pattern was identical between two phases.

4.4.3 結果と考察

Learning Phase と Test Phase 別に、平均所要試行数と 1 試行あたりの平均所要時間、平均誤反応数を Table 9 に示す。これらの各指標について変換(Vi, Mo 2 水準)とパターン(4 水準)の 2 要因の分散分析をおこなった。Learning Phase においては平均所要試行数、1 試行あたりの平均所要時間、平均誤反応数のいずれにおいても、2 群間の差は認められなかった(それぞれ、 $F_{1,27} = 3.24, p > .08$; $F_{1,27} = 0.06, p > 0.80$; $F_{1,27} = 0.07, p > .70$) またパターンの差も認められなかった。すなわち Vi 群と Mo 群は等質と見なすことが可能であった。これに対して Test Phase においては平均所要試行数と 1 試行あたりの平均所要時間では変換による差が認められなかった($F_{1,27} = 2.89, p > .19$; $F_{1,27} = 3.43, p > .07$) が、1 試行あたりの平均誤反応数では変換の効果が認められ($F_{1,27} = 6.34, p < .02$)、Vi 変換群のほうが Mo 変換群よりも平均誤反応数が多い傾向が認められた。

Learning Phase と Test Phase を比較すると、Vi 群では学習の転移効果が認められなかった。Mo 群では 1 試行あたりの平均所要時間では転移が認められなかったが、所要試行数と平均誤反応数は Test Phase において減少した。

本実験の場合、Test Phase における視覚成分と運動感覚成分の不一致という点では 2 群は共通であったが、Vi 群は Learning Phase から視覚成分のみの変換、Mo 群は運動感覚成分のみの変換が行われた。したがって実験の結果は、視覚成分のみを切り離して心的に変換すること(運動成分は不変)が、運動成分のみを変換すること(視覚成分は不変)よりも探索の正確さに関して困難度が大であることを示している。言い換えれば、視覚成分が共通・不変の場合(Mo 群)の方が、視覚成分を変換する場合(Vi 群)よりも探索が正確であり、これは視覚成分が探索の正確さを規定すること、視覚成分が内的表現の中で重要な位置を占めることを示しており、視覚表象仮説を支持する結果であった。この結果は、本実験と類似の鉄筆迷路課題で視覚成分と運動成分の不一致の効果を検討した大野(1965)においても見いだされている。彼は、本実験でいう Learning Phase と Test Phase の

間で、視覚成分が同一(無変換)の場合にのみ有意な転移が認められることから、視覚的成分は作業の正確さについて促進効果を持つとしている。

一方、視覚成分のみを変換する場合(Vi 群) に Learning Phase からの転移が認められないことは、実験IVa および b において視覚成分を運動成分と一致したまま変換した時に学習効果が認められた点と比較すれば、Test Phase において運動成分との不一致が転移に抑制的影響を持ったことを推定させる。視覚成分を変換しない場合(Mo 群) には、探索の正確さ(平均誤反応数)において Vi 群よりも優れていることから、視覚成分を変換しない事態では視覚-運動の不一致が少なくとも探索の正確さに関して妨害的に作用しないか、相対的に妨害の程度が小さいことを示唆している。したがって視覚成分を変換した場合に、特に視覚-運動の不一致が探索に影響を持つとも言えよう。

4.5 実験IVについての総合的考察

パターンの閉合性とイメージの形成

本実験の第1の目的は、視覚短期記憶におけるイメージ形成において情報を時間空間的に統合する場合に、視覚系と共通するような‘かたち(configuration)’の要因が効果をもつのか、を検討することであった。実験IVa ではパターンの閉合性がイメージの形成を促進すると考える閉合構造図式仮説を検証した。その結果、閉合性がイメージの形成を促進することが見いだされた。また形成されたイメージの心的変換として回転変換と鏡映変換を課した場合には、パターンの構造による違いが認められず変換の差のみが認められ、鏡映変換が回転よりも困難度が高かった。

本研究で用いられた課題に即してイメージ過程を“符号化”と“内的変換(あるいは保持)”の2段階に分けて考えてみることにする。実験IVaの結果は、“閉合構造図式”が符号化過程において機能し、内的変換過程では機能しないことを示唆した。また内的変換はチャンク化されたパターン全体に対する処理(が可能)であり、自己(観察者)の座標系が関わった内的表現が用いられることが推定される。視知覚系と比較すると、符号化過程は知覚における‘かたち(configuration)’の成立と共通の機序を持つ可能性

を指摘できよう。

関係枠とイメージの形成および変換

実験IVbでは関係枠としての視覚的手がかりの効果を検討した。イメージの符号化過程では、パターン構造の効果とともに視覚的手がかりとしての枠組み（視覚的關係枠）の効果が認められた。特に符号化の進行とともにまず構造の効果が生じ、次に枠組みの効果が認められるという、別個の処理としての可能性が指摘できた。“構造の効果→視覚的關係枠の効果”という処理を経ることは、パターンの内部構造から外部構造へという処理範囲・領域の空間的移行を仮定することも可能であるが、少なくとも2つの要因が同時的・並列的ではなく継時的に作用することを示唆している。

一方、変換過程では構造・視覚的關係枠の効果は認められず、実験IVaと同じように鏡映変換が回轉變換よりも困難であることのみが認められた。したがって視覚的關係枠の処理は変換過程には含まれず、符号化過程のみで行われると考えられる。変換過程ではパターン構造と視覚的關係枠の情報は処理から分離されたとも言える。鈴木(1991)は心的回轉の事態において、“回轉という教示が呈示布置をその周囲から切り離す操作を含意しているので、呈示布置とその周囲の關係付けが断たれる”と述べている。

イメージ過程における視知覚機能の分離

実験IVaおよびbにおけるイメージ過程についての結果を視知覚過程の機能と比較すると、パターンの構造(閉合性)要因、視覚的關係枠(手がかり)の要因、パターンの変換の要因(あるいは自己-観察者の座標系の要因)のそれぞれが効果を持つとともに、それらが分離して作用したと考えることができる。視知覚過程の機能とイメージ過程の共通性と差異性という観点から、イメージ過程においては視知覚過程の機能が分離して作用するという仮説を立てることができる。これを“イメージ過程における視知覚機能の分離”仮説と呼ぶことにする。この仮説に従えば、視知覚過程とイメージ過程が共通の機能を持ちながら、その発現の機制が異なるということができる。

“視知覚機能の分離”仮説は、感覚様相からの情報を統合した上位の空

間表象の問題(Marks, 1978),あるいは空間表象が視覚的か,という問題とも関連する。しかし本論の主張は,イメージ過程が視覚的であるか否かではなく,視知覚機能のうちの何がイメージ過程に共通し,どの点が異なるのかを示すことによって,イメージ過程における各処理段階でどのような情報が表現されるのか,を明らかにしようとするものである。

またこの主張は,イメージ過程全体が空間関係のみを表現することを仮定しているのでもない。聴覚刺激や触刺激,筋運動感覚などの自己受容感覚,さらにはこれらの時間的変化および系列が視覚情報と統合されて表現されることも考慮されなければならない。ただしこれらの情報が統合される(あるいは葛藤する)ためには,同一の枠組みの中で表現される必要があるだろう。(行動の対象・場としての)‘空間’¹¹はその際の枠組み(認識形式,あるいはデータ・フォーマット data format)のひとつである,と考えられる。本実験において探索による時間空間的系列パターンが,同時に存在するひとつの‘(空間的)パターン’として変換される可能性が示唆されたことは,この行動的‘空間’が統合の枠組みとして有効に機能したことを推測させる。これに対して,先天盲に関する研究は,特に開眼手術直後の他の枠組み¹²の可能性も示唆している(鳥居, 1986)。問題は,この行動的‘空間’という(有効で強固な)枠組みにおいて,視覚あるいは他の様相からの情報がいかに統合されるか,である。

¹¹ イメージ過程において,異種感覚の情報や様々の次元の情報を統合するための内的表現の枠組み(データ形式)を考える場合,何も存在しない均質なユークリッド空間を想定することは心理学的には妥当ではない,と筆者は考える。モデルとしても3次元の座標系を抽象的に設定しただけでは不十分であり,かつ有効ではない。情報を統合的に表現するための枠組みとしての共通の‘空間’は,異種感覚の情報が表現されるためにも,観察者(自己)を中心として上下あるいは左右・前後という分節化された行動的‘意味’を持つ空間であることが少なくとも必要である,と考えられる。

¹² 内的表現のための空間以外の枠組み(形式)について考察することは本論の枠を大きく越える。しかし簡単な思考実験(両眼を閉じ,片耳を塞いで身体に与えられる刺激を記述する)を試みれば,聴覚などからの刺激の強度変化と自己受容感覚の変化を高度に分凝させ,さらには概念的・言語的符号化によって記述することが想像される。この場合の基本的形式は自己の行動により変化する刺激型と不変の刺激型を分離することによる,自己と対象の記述であると考えられる。この記述が空間的(あるいは‘空間的’な表現に変換される)形式かどうかは問題として残るが,少なくとも自己中心的・行動的枠組みであろうと思われる。

関係枠としての自己-対象関係

実験IVa および b の変換条件においては、いずれも回転変換よりも鏡映変換が困難であった。実験事態での鏡映変換は左右の変換を指すが、光学的には観察者と対象の間の前後軸上での変換を意味する。すなわち、左右関係とは観察者とパターンの関係において記述されるので、観察者中心 (viewer-centered, ego-centric), あるいは観察者に関連づけられた対象関係 (ego-related object-referent relation: Olson & Bialystok, 1983, p.147) の表現が必要となる。

実験IVc では観察者座標系としての筋運動感覚の影響を検討した。その結果、変換の事態では情報の視覚成分が主として内的に表現されているが、特に視覚成分の変換事態では視覚-運動の不一致が探索に妨害的に働き、運動感覚と関連する観察者座標系が重要となることが示唆された。ただしこれは、変換されるイメージが筋運動感覚のみによって成立することを意味しない。なぜなら Vi 群では Learning Phase→Test Phase で運動感覚成分は同一であるにも関わらず、転移が認められないからである。したがって視覚成分の変換事態では、観察者座標系によって記述される“対象-自己”関係が内的に表現されていると推定することができる。すなわち、Olson & Bialystok (1983) が指摘する“観察者に関連づけられた対象関係(ego-related object-referent relation)”が関係枠になると考えられる。実験IVa および b の変換事態における結果について、変換事態では視覚的關係枠の処理が分離される可能性を既に論じたが、実験IVc の結果は視覚成分の変換事態で観察者座標系による自己-対象関係が視覚的關係枠に代わって内的表現の關係枠になったと推定できる。実験IVa および b において回転変換より鏡映変換が困難であったことは、観察者座標系における前後 (自己-対象) 軸 (Z 軸) の変換 ($Z \rightarrow -Z$) が、前後軸と直交する前額平行面 (XY 平面) での回転よりも困難であったため、と考えることができる。これは、知覚的表象の形成がまず観察者中心の座標系でおこなわれ、そこでは回転変換がおこなわれるが、この座標系では対象を自己-対象の異なる視点から見ることは難しい。鏡映変換では対象を現在も視点とは反対側から (裏側から) 見るものが求められるために、鏡映変換が困難であったと考えられる。

4.6 視覚短期記憶の知覚表象と時間空間的統合過程

心的構造図式仮説

本実験は、実験的に操作されたパターンの閉合性と迷路探索行動の成績との関係から、閉合構造を(非閉合構造よりも)優先的に処理する心的構造の妥当性を問題とした。閉合性という心的構造によって継起的な一瞥が時間空間的に統合されるとする閉合構造図式仮説は、Hochberg (1968, 1978) における「心的な構造が‘期待’を生成し継起的一瞥を導くことで統合が成立する」という仮説を部分的に検証することを目的とした。また統合によって認知的地図 (Hochberg, 1978) という情報処理の単位が形成され、心的な変換・操作が可能であることを、回転あるいは鏡映変換課題を通して検証しようとした。‘認知的地図’あるいは‘移動情報を表現する視覚イメージ(乾, 1981)’に関しては、本研究の実験IVa および b において操作的に定義され、その概念的妥当性が検討された、といえるだろう。また Hochberg の仮説における‘図式’、‘期待’、‘構造’などの概念は、まだ十分に整理されているとは言えないが、本研究における閉合性の効果は、イメージの符号化において心的構造が果たす役割を示すとともに、その心的構造が視覚過程と共通する可能性を示唆していると考えられる。

時間空間的統合過程における符号化と変換

イメージの形成は、刺激の時間空間的制約を越えるためのイメージの保持あるいは内的変換を前提とする心的機能とも考えられるが、本実験の結果はその変換過程と符号化過程を支える機序の差異を示唆した。特に符号化の学習的变化において、閉合性というパターンの構造がまず処理され、ついで視覚的手がかりが関係枠として機能すると推定された (実験IVb)。また変換(あるいは保持) 過程においては、筋運動感覚を媒介とする自己(観察者)-対象関係が自己身体座標系によって記述されることによって関係枠となる、と考えられた (実験IVc)。空間的表象に関連するいわゆる認知地図の研究では、Tolman 以来、“場所学習”対“反応学習”の議論が行われてきたが、Pick & Lockman (1981) によればこの問題は関係枠の問題としてとらえなおすことができるという。すなわち関係枠が自己中心的

(ego- centric) であるか, 外界中心的(allocentric) か, という問題である。さらに Frederickson & Bartlet (1987) は視覚的パターンの記憶において, 自己を参照点とした自動的符号化が行われることを指摘した。また池田 (1982), Ikeda & Uchikawa (1978) は, パターンの記憶における motor image の役割を指摘した。これらの主張は本実験の変換(保持)過程における自己身体との関係という関係枠の選択の問題と関連すると思われる。

第5章

時間空間的統合過程についての総合的考察

5.1 時間空間的統合理論の評価

本研究はここまで、対象についての探索的活動によって人間の情報処理過程において情報が時間空間的に統合されて認識が成立すると考える時間空間的統合理論を提示し(第1章)、その実験的根拠をあわせて示した。特に、外在する認識対象についての知覚的表象が形成される過程を実験心理学的に検討した(第2章～第4章)。第2章では、時間空間的統合過程が視覚短期記憶においても入力情報を知覚的に持続すること(知覚的持続)、さらに対象の空間的な表象を形成する(時間-空間的的定位)とともに、視覚的属性を知覚的に統合すること(知覚的統合)が示された。第3章はアイコニック・メモリーの水準における時間空間的統合過程が検討され、180ミリ秒までの時間範囲において形成される視覚的表象が通常の見知覚現象と同様の高い精度を維持すること、さらに形成される視覚的表象が対象の物理的特性から予測される輪郭とは異なる輪郭をもつことを明らかにした。また、180ミリ秒を超える知覚的持続においては、形成される視覚的表象の精度が低下することも示された。第4章は視覚短期記憶において、いわゆるイメージとしての視覚的表象が時間空間的統合過程によって形成されること、その視覚的表象が空間的に変換・操作可能であることを明らかにした。さらに、探索的活動による表象の形成には、空間的な群化要因が促進的に働くとともに、視覚的な手がかりとしての枠組みの効果が群化要因の効果とは独立に作用すること、また視覚入力のみならず筋運動感覚からの情報が統合されることが示された。

アイコニック・メモリーにおける時間空間的統合について、これまで一般に検討されてきた2次元的な空間における視覚的認識の特性、例えば図と地の分離凝集(segregation)、輪郭の成立、色やテクスチャなどの表面特性の知覚(第1章、Figure 3)が成立したこと(実験IIIa)は、一定の時間範囲において対象の視覚的表象を形成する視覚系の機能が低い生態学

的妥当性をもつことを示唆すると言える。一方、視覚短期記憶において対象の閉合性という空間的・全体的な特性がその視覚的表象の形成を規定したこと（実験Ⅳa）は、時間的次元を含む統合の結果による表象が、静的あるいは2次元の対象の視覚的表象と情報の表現形式において類似することを意味するであろう。

アイコニック・メモリーと視覚短期記憶における時間空間的統合の差異については、以下の点を指摘することができる。アイコニック・メモリーにおいては、対象の視覚的表象は精度の高い輪郭表現と明るさなどの表面特性についての表現を備える（実験Ⅲa）。これに対して、より長い時間過程では輪郭の精度は低く（実験Ⅲb）、表面特性の表現は明らかではない（実験Ⅱ）。また視覚短期記憶においては、形成された対象の表象は筋運動感覚をふくむ移動情報を表現している（知覚的統合）と考えられるが、アイコニック・メモリーにおいてこのことは明らかではない。アイコニック・メモリーと視覚短期記憶の両過程に共通する点は、情報の入力がいずれも時間軸上での広がりを持つにもかかわらず、対象は同時的に存在するものとして認識されることがあげられる。すなわち、異なる時間軸上の値をもつ入力に対して、視覚的表現はそれらの個別の時間軸上の値を表現してはいない（時間-空間的的定位）と考えられる。これは、実験Ⅲにおいて時間空間的に統合された視覚的表象によって、物理的には同時に存在しない複数の誘導図形と小点の位置関係の判断が行われたと考えられるからである。また、実験Ⅳにおいても表象の回転変換が行われたことで、視覚短期記憶において形成された表象が対象全体を同時的に内的に表現していることが示されたからである。

さらに、これら両過程において入力情報の空間的な値がそのまま正確に保持されているわけではないことに注目したい。アイコニック・メモリーにおいては、形成された視覚的表象が表現する輪郭位置は物理的な位置から対象の中心方向へずれていた（実験Ⅲa）。視覚短期記憶では、少なくとも実験Ⅳにおいて迷路探索課題が達成されたことから、探索の各時点における空間的位置は正確に表現されたと考えられるが、形成された表象は対象の各部分の空間的位置（座標値）に規定されていない。なぜならば、全

体を回転あるいは鏡映変換することが可能であったことは、形成された表象がもとの対象の空間座標値（グリッドの座標）を表現しているのではなく、対象中心の座標系で表現されていたことを示唆するからである。対象中心の表現の成立によってはじめて回転あるいは鏡映変換後も同一の対象としての認識が可能となると考えられる。

以上のように、本研究が提起する時間空間的統合理論は、知覚的持続、時間-空間的定位、そして知覚的統合という3つの基本的概念によって、時間空間的に断片的な視覚入力から時間空間的統合過程が対象全体の知覚的表象を形成することを説明した。さらに、本研究の実験Ⅰ～Ⅳをふまえて、これら3つの概念および関連する法則について、以下の点を補足することができる。

知覚的持続は、アイコニック・メモリーにおける視覚入力の保持と、視覚短期記憶における保持を総合した概念であるが、実験Ⅲの結果をふまえれば、180 ミリ秒までの範囲とそれ以降に時間過程に分けてその統合機能を検討することが妥当と考えられる。また視覚短期記憶による時間空間的統合過程では、処理時間の対数と線形関係をもちながら知覚的持続が減衰することが仮定される（実験Ⅱ）。ただし、この減衰関数は、観察される知覚属性、刺激強度、測定手続きなどの課題に依存することから、現時点では検討の余地が残されている。さらに、この知覚的持続は対象が遮蔽物によっておおわれることで促進される（Rock, 1995; Unuma, et al., 2008, 2010a）という現象が示されてきた。このような遮蔽関係と知覚的持続の関係は、今後、より生態学的な事態における時間空間的統合の検討において考慮されるべきであろう（5.3.1において後述）。

一方、時間-空間的定位に関しては、輪郭処理と表面処理による定位が異なる時間的、空間的特性をもつことが仮定される（実験Ⅲ）。なお、後に述べるように（5.3.1）この具体的な特性についても検討が必要である

（Unuma, et al., 2010a）。また、時間空間的統合理論は、時間-空間的定位によって時間的に異なる入力が空間内に同時に定位される表現を形成すること（空間的定位）を主張し、その根拠はアイコニック・メモリー、視覚短期記憶の双方で示された（実験Ⅲ、Ⅳ）が、時間空間的統合による定

位は、同時的な空間的定位に限らないことは留意されなければならない。時間空間的統合の結果は、本理論が仮定する(同時的)空間定位のほかに、仮現運動(β 運動)にみられる継時的入力間の移動の知覚(第1章, 1.3.2), さらにはそれぞれの継時的入力断片的に消失, 出現して知覚される事態まで含まれる。同時的空間定位と断片的消失・出現は、本理論において知覚的持続に規定された連続次元として位置づけられるが、同時的空間定位と移動(運動)知覚がどのような要因に規定されるかは、現時点で明らかではない。しかし、出現した要素部分の知覚的持続が遮蔽されることによって維持され、その結果、同時的空間定位が成立することは重要と考えられる。

さらに時間空間的統合過程における知覚的統合については、アイコニック・メモリーと視覚短期記憶のいずれにおいても、輪郭と明るさが個別に処理された後に統合されること(実験Ⅱ, Ⅲ)が仮定できる。また、視覚短期記憶における知覚的統合においては、視覚的枠組みの処理と閉合性の処理について、それぞれが別個に進行した後に統合されること(実験Ⅳ)が仮定できる。このような別個の視覚的処理が知覚的に統合される機制は、本研究では時間空間的統合による符号化の反復、すなわち学習の進行において観察された(実験Ⅳ)。時間空間的統合理論は現時点で学習による統合の変化を取り上げていないが、今後、視覚短期記憶、さらにはアイコニック・メモリーの時間空間的統合において、学習による時間空間的統合の変化を検討することが期待される。本研究は、視覚短期記憶における時間空間的統合の学習の根拠を示すものであり、これは知覚学習(Perceptual Learning)の研究に新たな可能性をもたらすものである。

ここで、時間空間的統合理論を他の対象知覚理論(序, 第1章, 1.1.1)とあらためて比較してみたい。本理論は、外在する時間空間的な刺激変化としての情報が人間の対象認識を規定すると考える点で、Gibsonらの刺激理論と共通する点をもつ(第1章)。しかし、情報の入力順序(実験Ⅰ)や時間範囲(実験Ⅲ)などの情報の時間空間的關係が認識の成立を左右することを説明するためには、情報処理系内における情報の保持(知覚的持続)と、空間的表現(時間-空間的定位)を仮定する必要がある。また、

輪郭や明るさなどの異なる視覚属性を統合する過程（実験Ⅱ）や、視覚情報と筋運動感覚の統合過程については、それらが知覚系によって直接に抽出される（Gibson, 1966）と考えるよりも、時系列上の処理において統合されるという本理論の立場が、理論的に有意義な知見を提供することができると思われる。実際に、表象の空間的な変位と精度の変化（実験Ⅲ）、視覚的属性の統合の時系列上の変化や表象の心的操作（実験Ⅳ）を刺激理論によって説明、予測することは困難であろう。

一方、本理論において群化の要因が時間空間的統合を規定することが予測される点（実験Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）は、ゲシュタルト理論が刺激間の関係を体制化する法則によって知覚的認識が成立する考えることとも共通する（第1章）と言える。しかし、本理論はさらにいわゆるゲシュタルト原理（Gestalt principle）のいくつかを時間空間的領域に拡張した（実験Ⅲ、Ⅳ）。すなわち、知覚的群化が知覚的持続と時間-空間的定位によって、アイコニック・メモリーおよび視覚短期記憶の水準において成立すること、そしてその空間的表象といわゆる視覚像との共通性と差異を具体的に予測する点で、本理論は従来のゲシュタルト理論（e.g., Koffka, 1935）とその現代までの系譜（e.g., Kanizsa, 1996）が取り上げてこなかった対象認識の知覚的側面を明らかにするものである。本理論とゲシュタルト理論の関連は、今後さらに実験的に検討され、また理論的にも精緻化される余地を残しているが、同時に本理論がこれまでのゲシュタルト理論の拡張と、その情報処理過程の理解に寄与することが期待される。

時間空間的統合過程の説明としての本理論は、Neisser（1976）らの推論説やRock（1985）の仮説-検証説に代わる情報处理的説明を提示するものといえる（序および第1章）。これまでの提起されてきた「探索を導く図式」（Neisser, 1976）や「仮説」（Rock, 1985）は十分にその内容が検討されてきた概念ではなかった（第2章, 2.1.4）が、本理論は外在する情報とその時間空間的關係から統合を導く構造として群化要因の役割を具体的に明らかにした（実験Ⅲ、Ⅳ）。時間空間的統合過程が、いわゆるトップダウン処理によってどのように規定されるかは今後検討されるべき問題であるが、本理論は刺激規定的な群化要因が時間空間的統合におけるボ

トムアップ処理で重要な役割を果たすことを指摘する。

5.2 時間空間的統合理論の意義

時間空間的統合理論はどのような心理学的、そして教育学的意義を持つものであろうか。ここでは、(1) Marr (1982)以降の計算理論の発展における認知心理学、認知科学研究に対する理論的意義、(2) 人間の認識活動における学習と記憶についての心理学・教育学的意義、について考察したい。計算理論の観点からみた認知科学的意義

Marr (1982)における 2.5D 表現に代表される中間視覚の提案以降、人間の対象認識の問題は、3次元空間内における物体認識過程の初期から中期過程について、エッジの検出から面の表現にいたる処理を仮定してきた(第1章 1.1)。そこでは、遮蔽などによって生じた複数のエッジの間を補間(interpolation)し、連続した輪郭を表現することが必要と考えられてきた(Grossberg & Mingolla, 1985; Kellman & Shipley, 1991)。

エッジから輪郭が補間される過程についての説明は、これまで2次元平面における補間の空間的關係についての精神物理学的研究(Kellman & Shipley, 1991)から、3次元空間における補間の検討(Kellman, Garrigan, & Shipley, 2005)へと展開してきた。一方、神経活動のネットワークモデルについての研究は、2次元空間の補間のメカニズムについて具体的なモデルを提案してきた(例えば、Yen & Finkel, 1988; Heitger, von der Heydt, Peterhans, Rosenthaler, & Kübler 1998)。しかし、これらの検討はいずれも時間軸上における複数のエッジの補間を検討してはいない(Kellman et al, 2001; 鶴沼, ケルマン, 長谷川, 2005)。

その後、時間軸上における補間過程についての実験心理学的検討が現在までいくつか行われてきた(Palmer et al., 2006; Keane et al., 2007)が、その時間的限界の問題は未解決のまま残されてきた(Palmer et al., 2006, p.538)。Unuma et al. (2010b) および本研究は、精度の高い輪郭補間の時間的限界、すなわち入力された複数のエッジが統合されるための時間範囲(180ミリ秒)を明らかにした点で、これまでの補間過程に関する研究に新たな展開をもたらしたと言える。輪郭位置の変位という問題とともに、

今後の補間過程の具合的・計算理論的モデル化において考慮されるべき変数を明らかにした点で意義があると考えられる。

記憶・学習の観点からみた心理学・教育学的意義

本研究が検討した時間過程は、いずれも人間の情報処理過程における視覚情報の保存と統合という「記憶」の関与を問題としている。本研究の180ミリ秒以下における情報統合の結果は、Sperling (1960)の古典的な実験にもとづく視覚アイコン (visual icon) と呼ばれる感覚記憶 (Neisser, 1967) に類似するとも考えられよう。Sperling (1960)以降、色 (Banks & Barber, 1977) や大きさ・方向 (Von Wright, 1968),

形 (Turvey & Kravetz, 1970), 運動 (Shioiri & Cavanagh, 1992) などの属性が同様に一時的に短時間保存されることが検証されてきたが、保存される情報間の統合が問題とされることはなかった。

これに対して、本研究に関連する視覚的記憶として Palmer et al., (2006) は、運動する対象の複数の要素部分を空間的に統合する過程として動的視覚アイコン (Dynamic Visual Icon ; *DVI*) を提案した。ここでは、時間軸上で視覚系に不連続に入力される複数のエッジから対象全体の視覚表象が形成される

空間的關係が検討された (Figure 21, 第1章 Figure 4 参照)。DVIは、本研究が検討した180ミリ秒以下における統合を可能にするメカニズムに対応すると考えられる。本研究の実験IIIaが検討した事態では、エッジの空間的位置の変化がなかったが、DVIにおいては各エッジの時間軸上の値に加えて2次元空間における座標値も変化し、これらに関係づけて統合する機能 (位置更新 position update) が仮定された。本研究が仮定した180

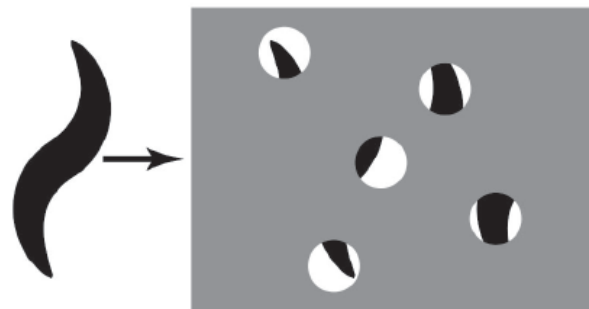


Figure 21. Experimental situations for examining spatio-temporal integration (2). From Palmer, E. M., Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (2006). A theory of dynamic occluded and illusory object perception. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135, 513–541. American Psychological Association. Reprinted with permission.

ミリ秒以下の時間過程は、*DVI*において位置更新が行われず、すなわち入力空間位置が一定の場合とみなすことができる。

本研究がこの *DVI* の処理についてあらたに明らかにした点は、統合的処理の時間範囲と統合された視覚的表象の精度および空間的位置の正確さ（正確度）である。さらに、運動情報をふくまない事態でも、時間空間的統合が達成されることを示した点で、対象の視覚的表象が表現する情報についての理論的な理解に貢献した。方法論の点では、Palmer et al. (2006) とは異なり継時的に入力される視覚情報が空間的にも単一の要素部分に限定されたことで、より探索的知覚事態（Gibson, 1966; 鳥居, 1982）に近い実験事態で時間空間的統合を検討した点に意義がある。

一方、視覚短期記憶過程についての本研究の結果は、探索的な学習による視覚的・空間的表象の形成という点で従来の迷路学習に関連する。しかし、対象（迷路全体）について視覚表象の形成とその操作（変換）という事態の結果から、閉合性という対象全体の処理と視覚的枠組み処理が表象形成過程において別個に機能することが示された点、さらに筋運動感覚と観察者の座標が果たす役割が検証された点で意義がある。

さらに、本研究で明らかにされた時間空間的統合による視覚的表象の形成と対象全体の認識活動は、先天盲の開眼手術後の視覚機能の学習過程に関連する点で、実践的な心理学・教育学的意義を持つ。梅津・鳥居・上村 (1991) は、先天盲の開眼少女 MM の形の識別・弁別活動を観察し、開眼手術後 3 ヶ月半頃には三角形などの幾何図形の上を左から右へ水平に頭を動かす探索活動をおこなうが、4 ヶ月半以降は領域の外側を一巡しようとする探索へ移行することを報告した。このような逐次的な探索活動の変化は、時間空間的統合過程による対象の認識活動の発現を示唆している。さらに、Umezu, Torii & Uemura (1975) は別の開眼者 TM についても同様の領域の外側の逐次探索的活動がみられたこと、頭部の運動を制限し手を図形がのっている台紙から離して机の上で観察する条件では、台紙を手をもって自由に観察する条件よりも識別成績が低下したことを報告している。ここでは、時間空間的統合過程における運動感覚の関与が示唆されるであろう。

また、時間空間的統合過程による対象認識活動は、個体発生の過程においても発現することが示されている。鹿取（1982）は、3歳児と6歳児の幼児群に視野制限法を用い、小穴を自由に移動させてその背後の絵を同定させた。その結果、6歳児の方が速く正答することを示した。これは、3歳から6歳までの3年間に時間空間的統合過程がより適切に断片的な視覚情報を統合する機能を獲得したためと考えることができる。

このような時間空間的統合の発達的あるいは学習による変化は、幼児や先天盲開眼者の対象認識の過程を理解し支援するために時間空間的統合理論が重要な観点を提供することを示唆している。

5.3 時間空間的統合理論の今後と残された問題

5.3.1 生態学的に妥当な入力情報の検討

時間空間的統合理論は、外界の遮蔽をふくむ光学的制約と人間の生態学的な逐次的探索活動によって、断片的に視覚系に入力される情報を時間空間的に統合することで対象の視覚的表象を形成する過程を説明しようとするものである。そこでは、視覚刺激のなかの輝度、テクスチャなどの急激な変化がエッジとして抽出され（1.2.1, Figure 3）、時間空間的統合過程への入力となる。180ミリ秒以下の時間過程ではこれらの入力が精度の高い視覚的表象を形成する（第3章）。この表象はさらに高次の認識過程への入力となる。視覚短期記憶過程では、記憶・学習過程との相互作用を通じて視覚的表象が形成される。そこでは筋運動感覚から情報も表現され、心的な操作がおこなわれる。

今後、時間空間的統合理論はより生態学的に妥当性の高い理論へとさらに拡張される可能性をもっている。具体的には、時間空間的統合過程への入力として検討されるべき刺激変数として、まず対象自体の運動に基づく情報と3次元的な対象の認識を可能にする情報が検討されることになる。

対象の運動にもとづく情報の時間空間的統合は、すでにアノースコピック知覚（1.2.3）において検討され、また具体的なモデルも提案されてきた（Palmer et al., 2006; Kean et al., 2007）。一方、2次元平面から3次元空

間におけるエッジの空間的統合への拡張 (Kellman et al., 2005) もすすめられてきた。これらのアプローチは、さらに総合されて3次元空間において運動する対象の認識を説明する理論へと拡張されることになるだろう。Unuma, Hasegawa & Kellman (2010a) は、Palmer et al., (2006) と同様の複数のスリットをとおして対象を観察する事態で、2次元平面における運動でありながら、画面の中心から周辺に向けて正の加速度を加えた場合に3次元の空間における対象の運動が知覚される現象を報告した。これは、2次元の運動情報のなかに3次元的な対象の表現を可能にする手がかりが含まれていることを示唆するものであり、3次元空間における対象の認識を可能にする時間空間的統合過程への入力のひとつを示しているといえよう。

さらに、時間空間的統合過程への入力として色やテクスチャなどの表面特徴の処理が、本研究が主としてとりあげた境界補間過程とどのように時間空間的統合過程において統合されるのかも、今後の検討課題である。時間空間的統合理論は、色やテクスチャなどが表面補間過程 (Figure 3) において処理され、さらに輪郭表現とともに対象の表現へと統合される特徴統合 (1.1.2) をふくむと考えられるが、このような表面補間過程と境界補間過程の統合は、時間空間的統合の事態では十分に検討されていない。Unuma, et al., (2008) は、対象表面の明るさの処理と輪郭の処理が分離される事態を設定して、これらの時間特性が異なることを指摘した。これは時間空間的統合が、時間特性の異なる個別の特徴処理とその統合によって達成される可能性を示唆するものであり、今後の検討が待たれる。

5.3.2 選択的統合と対象認識

第1章で論じたように人間の対象認識に関しては、情報が選択的処理され、さらに選択された情報が統合されることが説明される必要がある。これは選択的統合の問題とすることができる。時間空間的統合理論は、選択的統合のひとつと考えることができることから、より一般的な選択的統合の視点から問題をとらえ直すことによって、本研究がここまで検討してきた時間空間的な条件以外の選択と統合を規定する要因について考察して

みたい。

本研究の実験 I (Unuma, 1992, Experiment 1) では、対象の構成要素である要素的部分の系列自体が全体の認識、すなわち視覚的表象の形成を規定することが示唆された。実験において、要素的部分はあらかじめ実験者によって準備され、その系列も決定されていた。このような実験的な統制が要素部分の系列と対象認識の間の因果関係を明らかにしたわけであるが、この場合、どのような要素部分を選択された場合にその系列が認識の成立を規定するかは、明らかではない。

そこで Unuma (1992, Experiment 2) は対象の要素的部分に含まれるどのような情報が時間空間的統合の過程で対象の認識を規定するのかを検討した。材料として、6つの要素的部分からなる0から9までの数字の刺激セットが用いられ、各対象の要素部分のひとつずつ継時的に提示され

た。観察者は、対象の数字が何であるか同定することを求められた。ここで、各要素部分には刺激セット全体に対して、それぞれ一定の不確定性

(uncertainty) をもっていた。不確定性は、例えば Figure 22 の数字「5」の要素部分 1 では、同じ要素部分をもつ数字が2つ(5, 6)あるので、要素部分 1 の不確定性は $\log 2$ とされた。このような不確定性は、情報量のひとつであり系列の進行とともに情報量(可能な刺激対象のセット)が小さくなり、ある時点で1つの対象に収束した

($\log 1=0$)。実験では、要素部分の系列が操作され、それにもなう不確定性の減少パターンと、対象同定の反応時間の関係が分析された。その結果、不確定性の減少が系列のはじめでおこる場合のほうが系列の後半で減少する場合よりも、不確定性が0になってからの反応時間が短いことが示された。これは、最終的に系列の同じ位置で対象の同定な可能な場合でも、

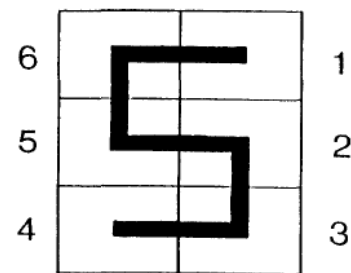


Figure 22. An example of stimulus display used in Unuma (1992), Experiment 2. Each segment was presented one by one sequentially. From Unuma (1992), *Japanese Psychological Research*, 34. Reprinted with permission from Japanese Psychological Association.

それまでの不確定性の減少のしかたによって同定の難易が影響されることを意味した。さらに、時間空間的統合による視覚表象の形成という観点からは、統合の初期において要素部分の対象全体に対する規定性が大きい（不確定性が小さい）ほど、表象の形成とこれにもとづく対象の同定が容易であることが示唆されたと言えよう。この点は、Hochberg (1968)における「図式」の形成を規定する要因のひとつとして、不確定性が考慮されるべきであることを意味する。

対象の要素的各部分のもつ役割は、Unuma (1992)にもみられるように対象の部分と全体の関係に大きく規定される。ここでいう「全体」とは、本研究が実験的に検討した対象の空間的広がりとしての全体と、対象がもつ「意味的」全体があると考えられる。後者は、Unuma (1992)において10の数字の同定事態や、多義図形の要素部分から全体を同定する場合などにあたるであろう。対象の各要素部分があつたこのような「非等価性」は、本研究が実験ⅡからⅣで取り上げてきた幾何学的な対象の認識においては十分に検討されてこなかったことから、今後の研究に期待される問題と言える。要素的部分の非等価性を検討する際には、非等価性すなわち個々の要素的部分が対象全体の認識に果たす役割を考慮する必要がある。ここでは、このような非等価性に関連して検討すべき問題として次の2点を指摘したい。(1)要素部分間の関係：個々の要素部分が別個に検討されるだけでなく、各要素部分の間関係が果たす役割も検討される必要があると考えられる。(2)認識される対象の属性と要素部分の役割：認識される対象の属性と個々の要素部分の役割の間には、何らかの関係があると考えられる。例えば、対象の形を認識する際の個々の要素部分（およびそれらの関係）の役割は、対象の大きさを認識する際の役割とは異なる可能性がある。この問題はさらに、人間の認識が対象のどのような属性について成立するのか、という極めて広範な問題に関連している。

結語

本研究には5つの学術的な貢献があった。3つは理論的に重要な貢献であり、他の2つは方法論的な独創性によって今後の心理学的研究の進展に貢献しうるものであった。すなわち、本研究が提示した時間空間的統合理論は、知覚的持続、時間-空間的的定位、知覚的統合の3つの概念によって探索的な知覚事態における対象についての表象の形成を説明した。また本理論は、独創的な2つの方法をふくむ実験的方法によって支持された。

1. 時間空間的統合過程は対象全体の空間的な広がりをもつ知覚的表象を形成する（時間-空間的的定位）。これは、特に錯視的輪郭図形の知覚に基づく高精度の課題遂行成績（3.1）、迷路学習による視覚的イメージの形成・操作（4.1）によって支持された。
2. 時間空間的統合は180ミリ秒以下とそれ以上の知覚的持続を含む2つの時間過程に区別される。これは精神物理学的測定に基づく精度と定位位置およびその正確さの結果によって支持された（3.1）。180ミリ秒までの過程においては精度の高い視覚的表象が形成されるが、空間的な位置の正確ではなく、規則的に変位する事実が確認された。一方、より長い時間範囲では、空間的位置はより正確に表現されるが、表象の精度は低いことが示された（3.2）。
3. 180ミリ秒以下のアイコニック・メモリーにおける時間空間的統合過程は、輪郭、明るさ、奥行きなどの視覚的属性を統合した視覚像と類似した表象を形成する（知覚的統合 2.2, 3.1）。探索をともなう視覚短期記憶における視覚的表象は、いわゆる視覚像との共通点と差異の双方をもつ。迷路探索による視覚的表象の形成過程の分析は、視覚的体制化に共通する特性（形態と枠組の効果 4.2, 4.3）と、それらの発現の差異を示した。さらに視覚的表象の操作の結果は、筋運動感覚の関与を示唆した（4.4）。
4. 本研究は、錯視的輪郭図形を分割・系列的に提示し、形成される視覚的表象の妥当性を検証する実験方法を初めて提案した実験を含んでいる（2.2, 3.1, 3.2）。この実験方法は、視覚系への情報の時間空間的に不連

続な入力と、それらの統合との間の因果関係を明らかにし、さらに形成された視覚的表象の妥当性を担保した。

5. 本研究は、長時間にわたる探索をともなう情報の時間空間的統合と視覚的表象の形成および変換を検討するための迷路探索課題を初めて提案した実験を含んでいる（4.2, 4.3, 4.4）。実験結果は、視覚像との類似点と差異を具体的に明らかにした。従来の迷路学習課題が学習行動の分析を目的とし、形成された表象（認知地図）の性質を検討しなかったのに対して、本研究における実験方法は統合過程における表象が対象の全体的関係や枠組の情報を表現することを明らかにした。今後、空間的認識活動と対象についての認識の成立過程の分析に活用が期待できる。

引用文献

- Attneave F. (1954). Some informational aspects of visual perception. *Psychological Review*, **61**, 183-193.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Science*, **4**, 417-423.
- Baddeley, A. D. (2010). Working memory. *Scholarpedia*, **5**, 301.
<http://www.scholarpedia.org/article/Working_memory> (2010年5月16日)
- Banks, W. P., & Barber, G. (1977). Color information in iconic memory. *Psychological Review*, **84**, 536-546.
- Barlow, H. B. (1958). Temporal and spatial summation in human vision at different background intensities. *The Journal of Physiology*, **141**, 337-350.
- Biederman, I., Glass, A. L., & Stacy, E. W., Jr. (1973). Searching for objects in real-world scenes. *Journal of Experimental Psychology*, **97**, 22-27.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-Components: A Theory of Human Image Understanding. *Psychological Review*, **94**, 115-147.
- Block, A. M. (1885). Expérience sur la vision. *Comptes Rendus de la Société de Biologie*, **37**, 493-495.
- Boring, E. G. (1930). A New Ambiguous Figure. *American Journal of Psychology*, **42**, 444.
- Chastain, G. & Burnham, C. A. (1975). The first glimpse determines the perception of an ambiguous figure. *Perception & Psychophysics*, **17**, 221-224.
- Coltheart, M. (1980). Iconic memory and visible persistence. *Perception & Psychophysics*, **27**, 183-228.
- Coren, S. (1972). Subjective contour and apparent depth. *Psychological Review*, **79**, 359-367.
- Cornsweet, T. (1970). *Visual Perception*. New York: Academic Press.
- Cooper, L. A. , & Shepard , R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation

- of mental images. In W.G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. New York: Academic Press, pp.75-176.
- Di Lollo, V. (1980). Temporal integration in visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, **109**, 75–97.
- Di Lollo, V., & Dixon, P. (1988). Two forms of persistence in visual information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **14**, 671–681.
- Dusenbery, D. B. (1992). *Sensory Ecology: How organisms acquire and respond to information*. New York: W.H. Freeman & Co.
- Eriksen, C. W., & Collins, J. F. (1967). Some temporal characteristics of visual pattern perception. *Journal of Experimental Psychology*, **74**, 476-484.
- Falmagne, J. C. (1985). *Elements of Psychophysical Theory*. Oxford University Press.
- Field, D., Hayes, A., & Hess, R. F. (1993). Contour integration by the human visual system: Evidence for a local “association field.” *Vision Research*, **33**, 173-193.
- Frederickson, R. E., & Bartlett, J. C. (1987). Cognitive impenetrability of memory for orientation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, **13**, 269-277.
- Frisby, J. P. & Clatworthy, J. L. (1975). Illusory contours: Curious cases of simultaneous brightness contrast? *Perception*, **4**, 349-357.
- Gibson, J.J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin. (ギブソン, J. J. 古崎敬・古崎愛子・辻敬一郎・村瀬旻訳 (1986). 生態学的視覚論-ヒトの知覚世界を探る (サイエンス社))
- Gregory, R. L. (1972). Cognitive contours. *Nature*, **238**, 51-52.
- Gregory, R. L., & Harris, J. (1974). Illusory contours and stereo depth. *Perception & Psychophysics*, **15**, 411-416.

- Grossberg, S., & Mingolla, E. (1985). Neural dynamics of form perception: boundary completion, illusory figures, and neon color spreading. *Psychological Review*, **92**, 173- 211.
- Guttman, S. E., & Kellman, P. J. (2004). Contour interpolation revealed by a dot localization paradigm. *Vision Research*, **44**, 1799–1815.
- Guttman, S. E., Sekuler, A. B., & Kellman, P. J. (2003). Temporal variations in visual completion: A reflection of spatial limits? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **29**, 1211-1227.
- Haber, R. N. (1983). The impending demise of the icon: A critique of the concept of iconic storage in visual information processing. *The Behavioral and Brain Sciences*, **6**, 1-54.
- Haber, R. N., & Nathanson, L. S. (1968). Post-retinal storage? Some further observations on Parks' camel as seen through the eye of a needle. *Perception & Psychophysics*, **3**, 349-355.
- Hamada, J. (1987). Overall brightness decrease observed in the Ehrenstein illusion induced for both contrast polarities. *Perception & Psychophysics*, **41**, 67-72.
- Hay, J.C., Pick, H. L., & Ikeda, K. (1965). Visual capture produced by prism spectacles. *Psychonomic Science*, **2**, 215–216.
- Heitger, F., von der Heydt, R., Peterhans, E., Rosenthaler, L., & Kübler, O. (1998). Simulation of neural contour mechanisms: Representing anomalous contours. *Image and Vision Computing*, **16**, 407-421.
- Helmholtz, H. L. F. von (1909). *Handbuch der physiologischen Optik*. 3rd ed. N. Wade (Ed.), J. P. C. Southall (Trans.) (2000). *Treatise on Physiological Optics*. Bristol: Thoemmes.
- Hochberg, J. (1968). In the mind's eye. In R. N. Haber (Ed.), *Contemporary theory and research in visual perception*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Hochberg, J. (1978). *Perception*. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
(ホッホバーク, 上村保子 (訳) (1981). 知覚 岩波書店)

- Hochberg, J., & Brooks, V. (1960). The psychophysics of form: Reversible-perspective drawings of spatial objects. *American Journal of Psychology*, **73**, 337-354.
- Hoffman, D., & Richards, W. (1981). Parts of Recognition. *Cognition*, **18**, 65-96
- Hummel, J. E., & Biederman, I. (1992). Dynamic binding in a neural network for shape recognition. *Psychological Review*, **99**, 480-517.
- Hunt, S. M. J. (1994). MacProbe: A Macintosh-based experimenter's workstation for the cognitive sciences. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, **26**, 351-356.
- 池田光男 (1982). パターン認識と有効視野 鳥居修晃(編) 知覚 II 現代基礎心理学 3 東京大学出版会 83-104
- Ikeda, M. & Uchikawa, K. (1978). Integrating time for visual pattern perception and a comparison with the tactile mode. *Vision Research*, **18**, 1565-1571.
- 今井四郎 (1986). パターン認知の変換構造説 心理学モノグラフ **17**, 東京大学出版会
- 乾敏郎 (1981). 視覚イメージの構造と形成過程 心理学評論 **24**, 85-107.
- 乾敏郎 (1993). 空間加重と受容野 大山正・今井省吾・和気典二 編 新編感覚・知覚ハンドブック 誠信書房 330-335.
- 乾敏郎・宮本健作 (1978). 視空間における時空間特性 心理学評論, **21**, 340-364.
- 乾敏郎・宮本健作 (1979). 顔の情報処理機構 —視覚的イメージの形成過程 大阪大学 人間科学部紀要, **5**, 191-221.
- Inui, T., & Miyamoto, K. (1984). The effect of changes in visible area on facial recognition. *Perception*, **13**, 49-56.
- Jory, M. K., & Day, R. H. (1979). The relationship between brightness contrast and illusory contours. *Perception*, **8**, 3-9.
- Julesz, B. (1971). *Foundation of cyclopean perception*. Chicago: University of Chicago Press.
- 柿崎祐一 (1970). ゲシュタルト心理学の現代的意義 八木晃(監修) 大山正(編) 講座心理学 第4巻 知覚 東京大学出版会

- 柿崎祐一 (1993). 心理学的知覚論序説 培風館
- 柿崎祐一・牧野達郎 (編) (1976). 心理学 1 知覚・認知 有斐閣
- Kanizsa, G. (1976). Subjective contours. *Scientific American*, **234**, 48-52.
- Kanizsa, G. (1979). *Organization in vision: Essays on gestalt perception*. New York, Praeger. (カニツツア, G. 野口 薫監訳 (1985). 視覚の文法: ゲシュタルト知覚論 サイエンス社)
- 鹿取廣人 (1969). 図形認知の発生条件: 幾何図形同一視を支える個体的条件の実験的分析 心理学モノグラフ 7 日本心理学会
- 鹿取廣人 (1982). 認識機能の障害 藤永保・須賀哲夫・久保田正人・清水御代明・鹿取廣人 編 講座 現代の心理学 5 認識の形成 小学館
- Keane, B. P., Lu, H., & Kellman, P. J. (2007). Classification images reveals spatiotemporal contour interpolation. *Vision Research*, **47**, 3460-3475.
- Kellman, P. J., Garrigan, P. B., & Shipley, T. F. (2005). Object interpolation in three dimensions. *Psychological Review*, **112**, 586 – 609.
- Kellman, P. J., Guttman, S. E., & Wickens, T. D. (2001). Geometric and neural models of object perception. In T. F. Shipley & P. J. Kellman (Eds.), *From fragments to objects: Segmentation and grouping in vision*. New York: Elsevier, pp. 183–245.
- Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (1991). A theory of visual interpolation in object perception. *Cognitive Psychology*, **23**, 141-221.
- Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (1992). Visual interpolation in object perception. *Current Directions in Psychological Science*, **1**, 193-199.
- Kennedy, J. M. (1974). *A psychology of picture perception*. London : Jossey-Bass Publishers.
- Kikuchi, T. (1987). Temporal characteristics of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **13**, 464-77.
- 菊池 正 (1994). 視覚マスキング 大山正・今井省吾・和気典二 編 新編感覚・知覚ハンドブック 誠信書房 659-680.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. New York: Harcourt.

- Kolers, P. A. (1972). *Aspects of motion perception*. New York: Pergamon.
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and Mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- 小谷津孝明 (1976). 形の知覚 心理学 1 知覚・認知 有斐閣 pp.63-86.
- Kroll, N. E. A., Parks, T., Parkinson, S. R., Bieber, S. L., & Johnson, A. L. (1970). Short-term memory while shadowing: Recall of visually and of aurally presented letters. *Journal of Experimental Psychology*, **85**, 220-224
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *Journal of the Acoustic Society of America*, **49**, 467-477.
- Liu, Z., Jacobs, D. W., & Basri, R. (1999). The role of convexity in perceptual completion: beyond good continuation. *Vision Research*, **39**, 4244-4257.
- Loftus, G. R. (1972). Eye fixations and recognition for pictures. *Cognitive Psychology*, **3**, 525-551.
- Loftus, G. R. & Mackworth, N. H. (1978). Cognitive determinants of fixation location during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **4**, 565-572.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, **390**, 279-281.
- Mackworth, N. H. & Morandi, A. J. (1967). The gaze selects informative details within pictures. *Perception & Psychophysics*, **2**, 547-552.
- Marks, L.E. (1978). Multimodal perception. In E. C. Caetererre, & M. P. Friedman (Ed.), *Handbook of perception VIII perceptual coding*. New York: Academic Press. Pp.321-339.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: W. H. Freeman & Company. (マー, D. 乾敏郎・安藤広志 訳 (1987). ビジョン -視覚の計算理論と脳内表現- 産業図書)
- McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, **264**, 746-748.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and Reality*. San Francisco: W. H. Freeman & Company. (ナイサー, U. 古崎敬, 村瀬旻訳 (1989). 認知の構図 サ

イエンス社)

- 野口薫 (1976). ‘かたち’ の成立 柿崎・牧野(編)心理学 1 知覚・認知
有斐閣 pp. 43-62.
- Noton, D., & Stark, L. (1971). Scanpaths in saccadic eye movements while
viewing and recognizing patterns. *Vision Research*, **11**, 929-42.
- Olson, D. R., & Bialystok, E. (1983). *Spatial Cognition*. Lawrence Erlbaum
Associates.
- 大野晋一 (1965). 知覚学習の研究 (2) -所謂, displaced vision 実験に
ついて- 人文研究 大阪市立大学 **16**, 47-65.
- 荻阪良二 (1970). 眼球運動と形態知覚 大山正 編 講座心理学 4 知覚
東京大学出版会
- Oyama, T. (1960). Figure-ground dominance as a function of sector-angle,
brightness, hue and orientation. *Journal of Experimental Psychology*, **60**,
299-305.
- 大山 正 (1970). 視知覚の基本体制 大山 正 (編著) 知覚 講座心理学
4 東京大学出版会
- Oyama, T., & Kikuchi, T., & Ichihara, S. (1981). Span of attention, backward
masking, and reaction time. *Perception & Psychophysics*, **29**, 106-112.
- Oyama, T. & Yamada, W. (1978). Perceptual grouping between successively
presented stimuli and its relation to visual simultaneity and masking.
Psychological Research, **40**, 101-112.
- 大山 正・梅本堯夫 (1981). 特集：イメージ 心理学評論 24
- Palmer, E. M., Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (2006). A theory of dynamic
occluded and illusory object perception. *Journal of Experimental
Psychology: General*, **135**, 513-541.
- Parks, T. E. (1965). Post-retinal visual storage. *American Journal of Psychology*,
78, 145-147.
- Parks, T. E., Rock, I., & Anson, R. (1983). Illusory contour lightness: A
neglected possibility. *Perception*, **12**, 43-47.
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and

- short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, 16, 2, 283-290
- Pick, H. L. Jr., & Lockman, J. J. (1981). From frame of reference to spatial representations. In L. S. Liben., A H. Patterson, & N. Newcombe (Ed.), *Spatial representation and behavior across the life span; Theory and application*. Academic Press.
- Pillow, J., & Rubin, N. (2002). Perceptual completion across the vertical meridian and the role of early visual cortex. *Neuron*, 33, 805– 813.
- Presson, C. C., & Montello, D. R. (1994). Updating after rotational and translational body movements: Coordinate structure of perspective space. *Perception*, 23, 1447-1455.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- Reynolds, R. I. (1981). Perception of an illusory contour as a function of processing time. *Perception*, 10, 107-115.
- Ringach, D. L., & Shapley, R. (1996). Spatial and temporal properties of illusory contours and amodal boundary completion. *Vision Research*, 36, 3037–3050.
- Rock, I. (1985). *The Logic of Perception*. The MIT Press.
- Rock, I. (1995). *Perception*. New York: W. H. Freeman & Company.
- Rock, I., & Anson, R. (1979). Illusory contours as the solution to a problem. *Perception*, 8, 665-681.
- Rogers-Ramachandran, D.C., & Ramachandran, V.S. (1998). Psychophysical evidence for boundary and surface systems in human vision. *Vision Research*, 38, 71–77.
- Rubin, E. (1921). *Visuell wahrgenommene Figuren*. Copenhagen: Gyldendalske.
- In: *Visual Perception: Essential Readings*, edited by Yantis S. (2001). Philadelphia, PA: Psychology Press, chapt. 12, pp.225–229.
- Saida, S. & Ikeda, M. (1979). Useful visual size for pattern perception. *Perception & Psychophysics*, 25, 119-125.
- Sasaki Y., & Watanabe T. (2004). The primary visual cortex fills in color.

- Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**, 18251–18256.
- Sekuler, A. B., & Palmer, S. E. (1992). Perception of partly occluded objects: A microgenetic analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, **121**, 95–111.
- Sekuler, A. B., Palmer, S. E., & Flynn, C. (1994). Local and global processes in visual completion. *Psychological Science*, **5**, 260–267.
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, **27**, 379-423, 623-656.
- Shepard, R. N. (1978). The mental image. *American Psychologist*, **33**, 125-137.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, **171**, 701-703.
- 下條信輔 (1981). メンタル・ローテーション実験をめぐって -イメージ研究の方法論の一考察- 心理学評論 **24**, 16-41.
- Shioiri, S., & Cavanagh, P. (1992). Visual persistence of figures defined by relative motion. *Vision Research*, **32**, 943–951.
- Shipley, T. F., & Cunningham, D. W. (2001). Perception of occluding and occluded objects over time: Spatiotemporal segmentation and unit formation. In T. F. Shipley & P. J. Kellman (Eds.), *From fragments to objects: Segmentation and grouping in vision* (pp. 557–585). Amsterdam: Elsevier.
- Shipley, T. F., & Kellman, P. J. (1992). Perception of partly occluded objects and illusory figures: Evidence for an identity hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **18**, 106–120
- Shipley, T. F., & Kellman, P. J. (1994). Spatiotemporal boundary formation. *Journal of Experimental Psychology: General*, **123**, 3-20.
- Shipley, T. F., & Kellman, P. J. (2001). *From fragments to objects: Segmentation and grouping in vision*. Oxford, UK: Elsevier Science Publishers.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentation.

- Psychological Monographs*, **74** (11, Whole No. 498).
- 鈴木忠 (1991). 幼児の空間表象と身体定位効果 教育心理学研究 **39**, 173-181.
- Takemoto, A., & Ejima, Y. (1997). Retention of local information in generation of subjective contours. *Vision Research*, **37**, 1429-1439.
- Tarr, M. J., & Vuong, Q. C. (2002). Visual Object Recognition. In H. Pashler (Series Ed.) and S. Yantis (Ed.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*: Vol. 1. Sensation and Perception (3rd ed., Vol. 1, pp.287-314). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Thorndyke, P. W., & Hayes-Roth, B. (1982). Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, **14**, 560-589.
- 鳥居修晃 (1982). 知覚・認知の機能 八木冕監修 鳥居修晃 編 知覚Ⅱ 現代基礎心理学 東京大学出版会 pp.1-12.
- 鳥居修晃 (1986). 空間知覚 八木冕編 歴史的展開 現代基礎心理学 東京大学出版会 pp.27-57.
- 鳥居修晃・望月登志子 (1992). 視知覚の形成 1 開眼手術後の定位と弁別 培風館
- Treisman, A. (2004). Object tokens, binding and visual memory. In H. Zimmer, A. Mecklinger, & U. Lindenberger (Eds.). *Binding in Human Memory: A Neurocognitive Perspective*. Oxford University Press.
- Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, **12**, 97-136.
- Turvey, M. T. (1978). Visual processing and short-term memory. In W. K. Estes (Ed.), *Handbook of learning and cognitive processes*, Volume 5. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Turvey, M., & Kravetz, S. (1970). Retrieval from iconic memory with shape as the selection criterion. *Perception & Psychophysics*, **8**, 171-172.
- Umezu, H., Torii, S., & Uemura, Y. (1975). Postoperative Formation of Visual Perception in the Early Blind. *Psychologia*, **18**, 171-186.
- 梅津八三・鳥居修晃・上村保子 (1991). 早期失明者の開眼手術後における

信号系活動(2)：光・視-信号系活動における図領域の探索活動と形の弁別活動 基礎心理学研究 9, 73-84.

- Unuma, H. (1992). Spatio-temporal integration in visual perception: sequential part presentation and two levels of information integration. *Japanese Psychological Research*, **34**, 158-163.
- 鵜沼秀行 (1993). 迷路探索課題における空間イメージの形成と変換：パターン構造と関係枠および筋運動感覚の効果 基礎心理学研究 **11**, 75-86. (Unuma, H. (1993). Formation and Transformation of Spatial Image in Maze Exploration Task : Effects of Pattern Structure, Frame of Reference, and Motor Action. *The Japanese Journal of Psychonomic Science*, **11**, 75-86.)
- 鵜沼秀行 (1997). 主観的輪郭線の知覚 (長縄・椎名・川崎編 認知心理学の視点 -理論と測定法- ナカニシヤ出版 pp.75-93)
- Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P. J. (2008). Contour and surface integration behind moving occluder [Abstract]. *Journal of Vision*, **8** (6), 588.
- Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P. J. (2010 a). Interpolation of expanding/contracting objects behind an occluding surface. *Journal of Vision*, **10** (7), 1210.
- Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P. J. (2010 b). Spatiotemporal integration and contour interpolation revealed by a dot localization task with serial presentation paradigm. *Japanese Psychological Research*, **52**, 268–280.
- 鵜沼秀行, 長谷川桐, Kellman, P. J. (2010 c). 遮蔽された物体の輪郭線知覚を規定する空間的および時間的条件 川村学園女子大学研究紀要, **16**, 45-62. (Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P. J. (2001 c). Spatial and temporal determinants of contour perception of occluded objects. *The Journal of Kawamura Gakuen Woman's University*, **21**, 103-119.)
- 鵜沼秀行・ケルマン, P. J.・長谷川桐 (2005). 視覚的補間の幾何学的・神経生理学的モデル 川村学園女子大学研究紀要, **16**, 45-62. (Unuma, H., Kellman, P. J., & Hasegawa, H. (2005). Consideration of Geometric and

- Neurophysiological Models of Visual Interpolation. *The Journal of Kawamura Gakuen Woman's University*, **16**, 45-62.)
- Unuma, H., & Tozawa, J. (1994). Perception of illusory contour and spatio-temporal integration in the visual system. *Japanese Psychological Research*, **36**, 188-194.
- von der Heydt R., Peterhans E., & Baumgartner G. (1984). Illusory contours and cortical neuron responses. *Science*, **224**, 1260–1262.
- Von Wright, J. (1968). Selection in visual immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **20**, 62–68.
- Ware, C. (1981). Subjective contours independent of brightness contrast. *Perception & Psychophysics*, **29**, 500-504.
- Watanabe, T., & Oyama, T. (1988). Are illusory contours a cause or a consequence of apparent differences in brightness and depth in the Kanizsa square ? *Perception*, **17**, 513-521.
- Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt, II. *Psychologische Forschung*, **4**, 301-350. Translation published in Ellis, W. (1938). *A source book of Gestalt psychology* (pp. 71-88). London: Routledge & Kegan Paul.
- Wheeler, M. E., & Treisman, A. M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, **131**, 48-64.
- Wilson H. R. (1978). Quantitative characterization of two types of lure-spread function near the fovea. *Vision Research*, **18**, 971-981.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum Press.
- Yen, S. C., & Finkel, L.H. (1998). Extraction of perceptually salient contours by striate cortical networks. *Vision Research*, **38**, 719-741.
- 吉村浩一 (2001). 知覚は問題解決過程：アーヴィン・ロックの認知心理学 ナカニシヤ出版