

早稲田大学
博士学位請求論文 概要

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

序

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 (Spatiotemporal Integration Theory) を提示する。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。本研究における時間空間的統合理論は、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。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。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, 2010 b) ものである。しかし、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 (1.3.1) で、刺激理論とも共通する点をもつ。

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

人間の認識を特徴づけているのは、認識される属性が特定の対象 (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。本研究が取り上げようとする問題は、刺激間の関係としての情報が、どのようにして対象性を備えた認識を可能にするのかを明らかにすることである。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理論

(information processing theory) の立場をとる。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の表象を形成することである。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)。一方、Gibson (1966, 1979) が指摘した生態学的环境下において、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はとていない (Palmer, et al., 2006, p. 538; Unuma, et al., 2010 b)。

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と考える。この理論は時間空間的統合理論と呼ばれる (Unuma, 1992; Shipley & Kellman, 1994; Kellman, et al., 2001)。本章ではまず時間空間的統合という観点を、より一般的な情報の統合という問題の文脈に位置づけ、その構成概念としての妥当性を明らかにする。

1.1.2 認識の統合性

人間の対象認識においては、さまざまな水準で選択された情報が統合され、対象についての表象を形成すると考えることができる。なぜならば、人間の対象についての認識が選択された部分に対してではなく対象の全体に対して成立することが人間の認識の特徴である (1.1.1) からである。このような統合機能を認識における統合性と呼ぶ (柿崎, 1993)。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、空間的統合 (spatial integration)、時間的統合 (temporal integration)、時間空間的統合 (spatiotemporal integration)、特徴統合 (feature integration)、感覚間統合 (inter-sensory integration)、感覚-運動統合 (sensory-motor integration) が区別される。

1.2 統合過程の諸理論

本節では、時間空間的統合理論と直接に関連する水準の統合について具体的にこれまで明らかとなった事実を整理する。

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。さらに空間的統合による輪郭 (contour) の成立は、対象の認識を促進する。しかし、輪郭の成立による視野の分離 (segregation) 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。

形成された複数の図は、Gestalt 心理学が指摘したように、視覚系によって体制化 (organization) されて群化 (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。

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) は数量的な空間的統合のモデルを提案した。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 1)。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

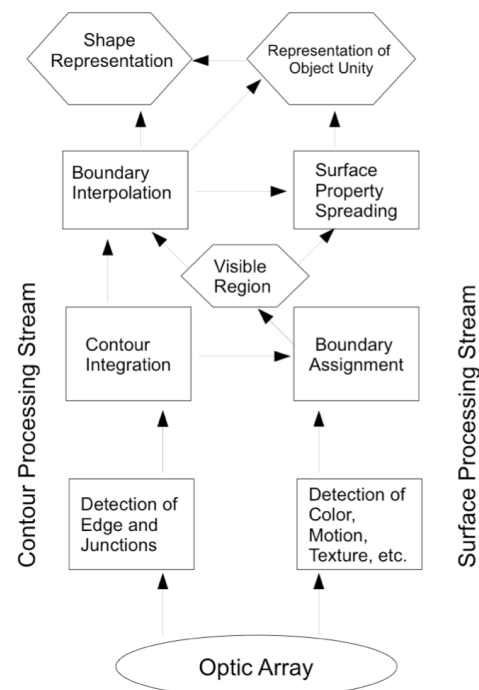


Figure 1. A framework of object perception based on Kellman, Guttman, and Shipley (2001). Rectangles indicate perceptual processing stages and hexagons indicate visual representations. Top-down processes, such as feedback from shape representation to boundary assignment, are not shown in the figure.

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。

1.2.2 時間的統合

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。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。すなわち、視覚刺激の消失後も視覚的持続 (visible persistence) が存在し、さらにそれらが統合されて視覚表象が形成される。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。

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。

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)、をあげることができる。

アノースコピック知覚 (anorthoscopic perception) 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視覚系に保持され、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)。

一方、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。

これに対して、視野制限法では観察者が空間的に制限された視野で対象を自由に走査する。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)。

1.2.4 先行研究の問題と本研究の目的

本研究は、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拡張する。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、静的な事態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、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。

1.3 時間空間的統合理論

本研究が提示する時間空間的統合理論は、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。

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、時間空間的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。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(Philips, 1974)に直接関連している。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」(Philips, 1974)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(Philips, 1974)から、10秒ないし20秒(Kikuchi, 1987; Kroll, et al., 1970; Philips, 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500ないし600ミリ秒は減衰しないが、数秒から20秒の持続範囲において次第に減衰する。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。これまで空間的統合として取り上げられてきた事態は、本理論においては知覚的持続を必要としない一方の極(持続時間=0)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と仮定する点で、本理論は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(1.2.4)。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。

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 (1.2.1, Figure 1) 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, et al., 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)。このような視覚的属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へと問題を拡張する。

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、知覚的統合も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。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对象について、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。

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。

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 I 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 & Burnham, 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。すでに、多義図形を用いた Chastain & Burnham (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。

Unuma (1992) は、観察対象となる絵を6つの部分に分割し、それらを継時的に提示した。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ることが妥当であろうと考えられた。

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。

材料 多義図形「妻と継母(wife and mother-in-law)」(Boring, 1930) が用いられた (Figure 2)。図は6分割され、予備実験によって最も「妻らしい」部分 (Figure 2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。

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。

手続き 要素部分 (Figure 2) 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。1つの系列は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。

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 2) 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。これによって、最初に提示される要素部分の効果と系列の時間空間的接の効果が検討された。各観察者はランダムに6条件のひとつ割り当てられた。

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。

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。

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、両者の間に系列の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。

2.1.4 統合された表象の性質

視覚情報の処理

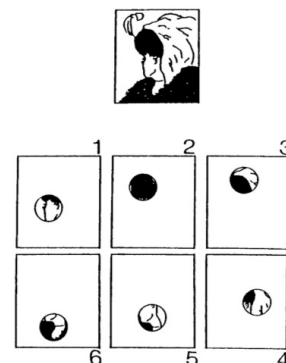


Figure 2. Total figure used in experiment 1: "wife and mother-in-law" after Boring (1930). Six parts from the figure were presented to observers one by one sequentially (Unuma, 1992).

Table 1
Stimulus-sequences in each condition in experiment 1

Start Order	Conditions					
	1 ^a	S2 ^b	N ^c	S1	S2	N
Sequence	123456 ^d	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 Order	Conditions					
	1	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

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と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。そこでは仮説の形成、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。

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。そこでは、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、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。もし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。したがって、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

次に、最初に提示された部分に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。本実験の結果は、統合を導いた系列が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、同様な多義図形を用いて、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), Julesz (1971) の結果とは異なっていた。

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 の範囲で提示されており、また Julesz (1971)では提示周期が 10HZ 前後で操作されている。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。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、たとえば「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。

2.2 実験 II 知覚的持続と知覚的統合

2.2.1 問題

本実験 (Unuma & Tozawa, 1994) 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。

材料として錯視的輪郭図形 (illusory contour figure, Figure 3) 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。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、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してもよいであろう。

さらに本実験では、時間空間的統合過程における具体的な情報の表現とそれらの関係を検討した。すなわち、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処理され、内的に表現されていると考えることができる。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、輪郭と奥行き間の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、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。

材料 Kanizsa 型の錯視的輪郭図形が刺激として用いられた (Figure 3)。6つの誘導図形が、パーソナルコンピュータで制御された CRT 上にひとつずつ継時的に提示された (Figure 4)。

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 5)。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。

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,

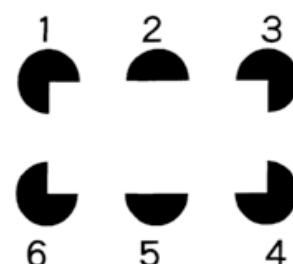


Figure 3. Total figure used in experiment II (Unuma & Tozawa, 1994).

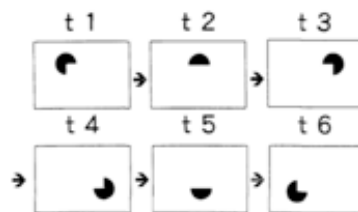


Figure 4. An example of stimulus sequence: each inducing-figure was serially presented one by one (Unuma & Tozawa, 1994).

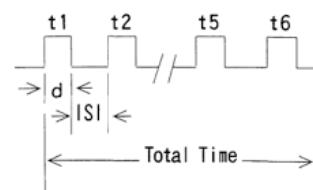


Figure 5. Schematic time-chart of inducing-figure presentation (Unuma & Tozawa, 1994).

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 (Kolars, 1972) がある一方で、各要素部分の処理が時間的に加算される (temporal summation) の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 は知覚される現象の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。

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、見えの奥行きの変化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 (以下ではこれを D とのみ表記する) 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 3), 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。

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を示していた。

さらに、2 つの独立変数と 3 つの従属変数の間の相関係数および偏相関係数が求められた。T, c, b, d のすべての組み合わせの相関係数は無相関検定の結果、有意であった ($p < .01$)。一方、D と c, b, d の組み合わせでは、2 名の観察者 (S4, S5) の D と b の組み合わせを除いて、有意な相関は認められなかった。

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。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 ($r_{cb,T}$, $r_{bd,T}$) 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 ($r_{cd,T}$) は有意であった ($p < .01$)。グループ 2 では、同様に T の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 ($p < .01$)。

相関・偏相関分析の結果をもとに、グループ別に因果推定を行った。Figure 6 a はグループ 1 において推定された因果モデルであり、一方 Figure 6 b はグループ 2 において推定されたモデルである。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 6 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。グループ 2 (Figure 6 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

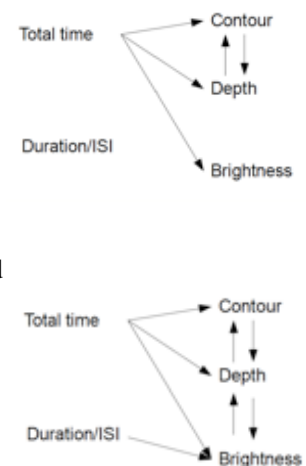


Figure 6. Causal flows estimated for observer 1, 2, and 3 (a), and those for observer 4 and 5 (b) (Unuma & Tozawa, 1994).

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、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、時間空間的統合過程における知覚的持続と知覚的統合が検証されると仮定した。その結果、要素部分の総提示時間と、輪郭の明瞭度、見えの明るさの変化、奥行きの変化の間に因果的關係が認められ、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。

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Sperring(1960)において指摘された視覚情報貯蔵 (VIS) 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範囲においては、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-空間的定位」として位置づける処理の結果であると考えられる。本実験の結果は、この時間-空間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關係を推定したWatanabe & Oyama (1988)を本実験の結果を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。本実験においても、明るさの変化が輪郭の明瞭度を規定することは認められなかった。これは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の因果關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。

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された。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。しかしここでは、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に、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」と言いうるものかどうか、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 1）に対応する時間空間的統合過程の検討が含まれる。また、視覚短期記憶における視覚属性間の統合や感覚-運動統合の問題も含まれるだろう。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。

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

3.1.1 問題

本実験（Unuma, et al., 2010 b）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 III a 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 III b 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。数百ミリ秒までの短時間範囲における要素部分の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。

実験 III 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。本章では、200ms までの時間範囲を短時間範囲（short time range：実験 III a）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：実験 III b）と呼んで区別することにする。また、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知覚された輪郭についての定位、定位誤差、精度の3つの測度が求められた。

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 を超えた範囲

で)、補間される輪郭の強度が減少することを検証する。

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入れることを示唆している。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。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。

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、補間された輪郭線についての高精度の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す、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位置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位置の図形内部への変位をもたらす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。

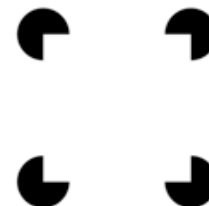


Figure 7. An illusory contour stimulus used in Experiment III (Unuma, et al., 2010 b).

3.1.2 方法

実験参加者 女子大学生 6 名が実験に参加した。

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を用いて作成されたプログラムによって制御された。

刺激 Figure 7 は本実験で用いられた刺激を示している。

実験計画 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。

手続き 具体的な試行の手順が Figure 8 に示されている。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。誘導図形の系列に続いて、小さな赤色の点が 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。

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した。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。

分析 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

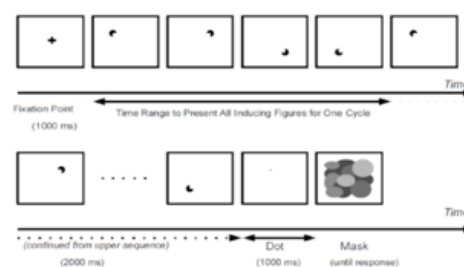


Figure 8. Trial structure for Experiment IIIa and IIIb (Unuma, et al., 2010 b).

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。

3.1.3 結果

精度測度の結果は、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。一方、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。定位誤差測度の結果は、定位測度の結果と同様に、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。

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。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を支持するものであった。

3.2 実験 IIIb 視覚短期記憶における空間的定位

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)。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。

3.2.3 結果

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。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) 測度の結果は、誘導図形提示の時間範囲に規定されていなかった。4 条件の平均値による位置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。

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。

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。

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。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言えることができる。

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。

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ついて、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において指摘された。

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、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えることができる（乾, 1981）。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（イメージ）の類似点と差異についても検討される。なお、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’とよぶ。

本章の実験Ⅳ（鶴沼, 1993）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

実験IVでは迷路探索課題が用いられた。Hochberg (1968) は、時間空間的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。本実験では、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うことが示されたアイコンニック・メモリーの範囲(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)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。長時間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) 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によって期待を導き、統合を可能にするとしている。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)。また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」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)。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。

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・コンピュータを用いてCRT上に基盤目上の直交座標(以下では、枠組みと呼ぶ)を提示した(Figure 9)。この枠組み上に正しいルートを通り設定した。画面上にはスタート位置(S)、ゴール位置(G)およびその時点での到達位置(oで表示)が示された。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。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、と考えられた。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。

手続き 実験はひとつの迷路を学習する Learning Phase と、

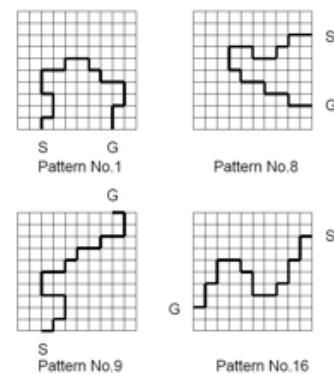


Figure 9. Examples of maze-patterns used in Experiment IVa.

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。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。Test Phase では Learning Phase で学習したルートを、パターンを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。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。各被験者は、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)。

4.2.3 結果と考察

Learning Phase における各条件の平均試行数、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。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かった。またこの心的変換過程では回転変換よりも鏡映変換の方が困難度が高いことが推定できた。

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。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、関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、枠組みの効果は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にする。

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 種を組み合わせて、合計 4 種のパターンを用いた。

4.3.3 結果と考察

Figure 10 に Learning Phase の第 1 試行から第 9 試行までの平均所要時間の推移を示した。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に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・誤反応数ともに少ない傾向があった。

Test Phase の所要試行数に関しては、パターン、枠組みの要因の効果は認められなかった。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。

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がともに認められ、さらに学習曲線

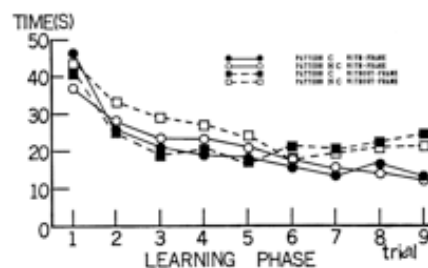


Figure 10. Mean time (S) in each trial during learning phase in Experiment IVb.

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 変換の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。

4.4 実験IVc 視覚情報と筋運動感覚の統合

4.4.1 問題と目的

本実験は、イメージの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ことで、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名が参加した。

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。

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)。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)。

4.4.3 結果と考察

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。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、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。

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、視覚短期記憶の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鋭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。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関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、次に関係枠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。

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。

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に変換を指すが、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IV c 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。

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Ⅳ a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、その心的構造が視知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。特に符号化過程においては、閉合性というパターンの構造がまず処理され、ついで視覚の手がかりが関係枠として機能すると推定された。また変換(あるいは保持)過程においては、視覚的枠組みやパターン構造の処理よりも、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。

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章ではアイコニック・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視知覚現象と同様の高い精度が維持されること、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・操作が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次元的空间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(Figure 1)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高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(時間-空間的的定位)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から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。

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)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時間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)は充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

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, 第3章3.4)。ここでは、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)。

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. (2010 b) および本研究は、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。さらに本研究では、特に探索的な情報の処理が取り上げられている。本研究がこの探索的な情報処理と時間空間的統合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正確度である。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。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 (鹿取, 1982) が示されている。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。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次元の対象の認識を可能にする情報が検討されることになるだろう。

対象の運動にもとづく情報の時間空間的統合は、すでにアノーズスコピック知覚において検討され、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次元の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運動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。特に、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, Hasegawa & Kellman (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過程が、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

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。この場合、どのような要素部分が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。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。対象の各要素部分がもつこのような「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だろう。

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、迷路学習による視覚的イメージの形成・操作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による 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正確度の結果によって支持された。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度は低く、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. 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)。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)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. 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。
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。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。