

## ジグソーパズル課題における知覚と知覚学習<sup>1</sup>

鶴 沼 秀 行\*・長谷川 桐\*\*

### Perception and Perceptual Learning in Jigsaw Puzzle Tasks

Hideyuki UNUMA, Hisa HASEGAWA

#### Abstract

Perceptual learning refers to experience-induced changes in the way perceivers pick up information. Perceptual and perceptual-learning processes in jigsaw puzzle tasks are analyzed experimentally and theoretically. We hypothesized that perceiving relationships between fragmental pieces of jigsaw puzzles should affect performance, and perceptual learning should facilitate picking up information about these relationships. Two factors are examined experimentally: the factor of color cue in jigsaw puzzle patterns and the factor of participants' past experience with jigsaw puzzles. Effects of color cue and past experience were found, and the time to complete the inner area of a puzzle pattern in color pattern condition was shorter than the time in black-white pattern condition. Past experience facilitated the effects of perceptual cue both in color condition and in black-white condition. The results suggest that perceptual processes determine the performance in the inner area of a jigsaw puzzle, and that perceptual learning affected the way of picking up information about relationships between puzzle pieces.

Key Words: jigsaw puzzle, perception, perceptual learning

---

\*教授 知覚・認知心理学

\*\*中部学院大学非常勤講師

<sup>1</sup> 本研究にふくまれる実験は、その一部が日本心理学会第66回大会(2002)において報告され、今回さらに分析と考察を加えたものである。また本研究は、第一著者に対する平成23年度川村学園女子大学教育研究奨励「高次認知過程における知覚的学習の検討と教育場面への応用」による補助を受けた。

われわれの日常的な問題解決行動，たとえば車の運転や，携帯電話の操作，スーパーマーケットでの買い物，といった課題の遂行は，課題に関連した知識と，いくつかの認知的技能に支えられている。これまで心理学，特に認知心理学の領域においては，事物についての知識（宣言的知識 declarative knowledge）と手続き的な知識（procedural knowledge）が，このような問題解決行動の主要な認知的決定因として検討されてきた（e.g., Anderson, 1983）。宣言的知識は，事物・事象についての具体的な知識や概念であり，意識的・言語的に表現することができる。手続き的知識は，具体的な行動のステップからなる系列的な知識で，問題解決行動を導く。

これに対して，本研究は新たに問題解決行動における知覚的側面とその学習の役割を再検討することを目的とする。ここで取り上げる知覚的側面とは，問題の解決に関連する情報を選択し無関連な情報を取り入れない選択的な情報抽出と，変化するさまざまな課題材料の間における抽象的で不変な情報を抽出する不変項抽出（Gibson, 1969）をさす。ヒヨコの雌雄の鑑別にみられるように，熟達者は仔細な特徴のみを抽出することで対象を分類することが可能である。これはいわゆる視力の問題ではなく，熟達化の過程で判別に無関連な特徴群から関連する特徴の選択的抽出が可能になるためと考えられる。一方，問題解決行動に熟達した者では，このような選択的知覚はさまざまな対象の変化においても頑健に維持される。たとえば幾何の問題を解くことに習熟することは，さまざまな図形の中に不変の関係，たとえば3本の直線が三角形をなすという関係を知覚することを可能にするであろう。そこでは，三角形という抽象的な不変項の知覚が成立すると考えられる。さらに，選択的な不変項抽出としての知覚は，熟達者においては自動化されているが，初心者では熟達者とは異なる知覚情報処理の特徴をもつ。この知覚情報処理の差異は，知覚学習（perceptual learning）によって生じると考えられるが，そこには後述するようにいくつかの異なる水準のメカニズムが仮定されてきた（Gibson, 1969; Goldstone, 1998）。これに対して Kellman (2002) は，初心者と熟達者の知覚学習による情報処理的变化を，発見効果（discovery effects）と流暢性効果（fluency effects）として区別することを提案した。発見効果とは，初心者から熟達者への変化によって，注意が課題に関連する情報と無関連の情報の双方へ向けられる処理から，関連する情報のみへ選択的に向けられることをさす。同時にこの変化は，単純な特徴の処理から，チャンク化された高次の関係の処理への移行を含んでいる。一方，流暢性効果とは，関連する情報の発見というよりも，情報抽出の効率における変化である。すなわち，熟達化によって情報抽出がより効率的になり自動化されることが流暢性効果と呼ばれる。これにより，熟達者は同時並列的に情報を処理することが可能となり，またより少ない注意の負荷で情報抽出が可能となる。さらにこれらの変化は結果として処理速度を高速にする。

本研究は、以上のような問題解決における知覚学習過程についての理論的な仮説を実証する実験を示す。さらにこれまでの知覚学習についての諸研究が仮定してきたメカニズムを比較検討しながら、日常の問題解決行動における知覚学習のメカニズムについて考察を加える。本稿ではまず、近年の知覚学習についての研究を概観し、知覚学習の諸相を整理する。次に、本研究が問題とする問題解決行動における知覚学習の機能とメカニズムについての理論的な整理をもとに、知覚学習についての**関係知覚** (relationship-perception) 仮説が提案される。さらに、この仮説を検証するためにジグソーパズルを用いた実験が報告される。

### 知覚学習の諸相

知覚学習とは、知覚システムが環境に反応する能力を比較的永続的に変化させることをさしているが、より一時的な変化としての順応 (Helson, 1948)、注意過程 (Nosofsky, 1986)、あるいは方略の変化 (strategy shifts) とは区別される (Goldstone, 1998)。また、知覚学習を定義しようとする際の重要な問題は、知覚的学習と高次の認知的学習を区別することである。この場合、視覚過程の初期、すなわち形や物体の知覚が成立する以前の段階において経験の効果が認められれば、それは知覚学習と考えられてきた。ここでは、知覚学習の定義に関わるこれまでの基礎的な事実を整理して、知覚学習のいくつかの側面の特徴を検討する。

#### 知覚学習の諸相と水準

**基礎的な弁別** 副尺視力 (Vernier acuity) は、2つの線分 (あるいは物体) の整列ないしズレを判断するもので、しばしば知覚学習を明らかにする課題として用いられてきた。副尺視力はそもそもきわめて高精度であって、訓練を経なくとも10秒以下のズレを検出することが可能である (Westheimer & McKee, 1978)。この弁別閾は数千試行を経るとさらに数分の一に低下することが知られており (Saarinen & Levi, 1995)、同様の弁別閾の低下が単純な方位 (Shiu & Pashler, 1992) や運動の弁別においても報告されている (Ball & Sekuler, 1982)。

**視覚探索** 妨害項目群の中からターゲットを検出する視覚探索課題においても、経験によってターゲット検出の正確度と検出速度が改善されることが報告されてきた。Karni & Sagi (1993) は、ターゲットとして方向の異なる線分で構成されたテクチャアの分凝 (texture segregation) を検出させる課題を用いて、訓練が終了して数時間経過後に成績の上昇が見られたこと、さらにその学習効果が少なくとも2年から3年持続したことを報告した。この学習は、視野内の位置と刺激の方向に特異的であったことから、初期視覚における永続的な神経学的変化によるものと考えられた。

基礎的な弁別や視覚探索における知覚学習では、しばしば学習が訓練された刺激や課題に限定されるという特殊性が認められてきた。たとえば Karni & Sagi (1991, 1993) における知覚学習では、視野内の位置と刺激の方位についての特殊性が認められた。この学習は両眼間で転移しないことから初期視覚における変容によると主張されたが、その後特定の課題に依存する課題特殊性をもった知覚学習が見いだされ (Ahissar & Hochstein, 2004; Sagi & Tanne 1994)、知覚学習を単一のメカニズムで説明することが困難であると指摘された (Ahissar & Hochstein, 2004; Sagi & Tanne, 1994)。知覚学習のメカニズムが、初期視覚における変容によって説明されるのか、それとも高次の知覚的情報処理を含むのか (Kellman & Garrigan, 2009; Petrov, Doshier, & Lu, 2005) は、知覚学習のメカニズムの解明における基本的な問題であろう。

**ユニット化 (unitization)** ユニット化とは、複数の情報が知覚的情報処理におけるひとつの機能的な単位 (ユニット) を構成することである。これによって、それまでいくつかの部分個別に検出することが必要であった課題が、ひとつのユニットを検出することによって達成されるようになる (Goldstone, 1998, pp. 602-604)。ユニット化による知覚学習に関しては、すでに LaBerge (1973) が、語類似刺激が語と同様に訓練によってユニットとして処理されうることを示していた。また、視覚探索課題を用いた Czerwinski, Lightfoot, & Shiffrin (1992)、Shiffrin & Lightfoot (1997) は、訓練の後には探索項目数の関数としての反応時間の勾配が減少したことから、刺激がユニットを形成することで項目群の処理が逐次的なものから同時並列的へと変化することを指摘した。対象・物体の知覚においても、対象の全体的な体制化 (configuration) された処理がユニット化によってもたらさせる可能性が指摘されている (Goldstone, 1998)。一般に、顔の知覚は逆転した場合に知覚反応の正確度が低下し速度は遅くなる。このような逆転による知覚反応の変化の程度は、見慣れない他文化の顔では見慣れた顔ほど大きくはない (Tanaka & Gauthier 1997)。物体の逆転によって知覚が困難になる事態は顔以外では顕著ではないが、訓練によって習熟した物体の知覚においては顔と同じように逆転と正立に知覚的な差が生じる。Diamond & Carey (1986) は、犬の品種の識別に習熟した者でのみ、犬の知覚でこのような逆転効果が認められることを報告した。また、Gauthier & Tarr (1997) は、人工の新奇な物体の知覚が知覚経験を重ねることで体制化され、部分を結合した単一の機能的なユニットへと変容することを示した。これらの例は、経験によるユニット化が物体知覚の水準で生じることを示唆している。

**自動性 (automaticity)** 自動性とは情報抽出が効率化された状態で持続することであり、より短い時間で情報を抽出するように知覚が変化したことをさす。Schneider & Shiffrin (1977) は、文字探索課題においてターゲットの検出のために配分される注意の量を操作的に定義し、

学習によって検出速度が上昇するとともに、より少ない注意の負荷で検出が可能となることを示した。この結果は、知覚学習によって処理が自動化されたためとされた。さらに、この自動化された処理はターゲットと妨害項目が入れ替わっても継続し、その結果、新たな妨害項目への自動化された検出処理が持続した (Shiffrin & Schneider, 1977)。Shiffrin らの結果は、一時的で意識的な方略の変化とは異なり、意識的に制御することが困難で、比較的永続的に持続する知覚的な変化であったと考えられる。この学習による変化は、後に行われた負のプライミング (negative priming) の結果 (DeSchepper & Treisman, 1996; Rock & Gutman, 1981; Tipper, 1985) と類似すると言えよう。負のプライミングでは、検出を課されない対象についての反応が自動的に抑制され、その検出速度が遅くなることが知られており、DeSchepper & Treisman (1996) の実験においては、検出を抑制された対象の知覚についての負のプライミング効果は一ヶ月後でも観察された。

### 知覚学習とは

さて、近年の知覚学習に関する研究は、感覚レベルの弁別を中心とする初期視覚の水準における知覚の変容について新たな知見を提供してきた (Fahle & Poggio, 2002; Karni & Sagi, 1993; Watanabe, Náñez, Koyama, Mukai, Liderman, & Sasaki, 2002)。しかし、たとえば熟達者の物体知覚のような日常の生態学的環境下における知覚とその変容を問題とすると、受容野レベル、すなわち視野の特定位置に固有の検出機能の変化だけを検討することは充分とは言えない。Gibson (1969) が指摘したように、環境の中で変化する事象から不変の特性 (不変項 invariance) を抽出する働きとしての知覚を問題とする必要がある。この場合、知覚学習は不変項の発見 (discovery) と流暢性 (fluency) の獲得を含む知覚の変容であり、そこには何らかの抽象化が含まれると考えられる (Kallman & Garrigan, 2009)。知覚における抽象化とは、知覚システムが高次の刺激変数、すなわち刺激間の関係を抽出することをさす。抽象化は、たとえば「ある対象が他方より大きい」、「2つが連続している」、というように空間内の刺激間の関係を直接に知覚することや、さまざまに変化する近刺激 (proximal stimulus) からそれらが「四角形である」、「円筒である」、と知覚することをふくんでいる。これらの知覚は、抽象的な「より大きい」「四角形」という記述 (description)、あるいは内的な表現 (representation) によって達成されると考えることができる (Biedermann, 1987; Marr, 1982; Rock, 1983)。同様に知覚学習においても、このような抽象的な記述が成立することで知覚が変容すると考えることができる。

抽象化は、一方で不変項以外の刺激から不変項を分離して抽出する過程である。この観点から、知覚学習についてすでに Gibson & Gibson (1955) が指摘した分化説 (Differentiation theory)

に類似するものである。分化説においては、知覚学習で学習されるのは不変の関係、すなわち不変項、そして示差的特徴 (distinctive feature)、パターン (pattern) とされる (Gibson, 1969, p.119)。分化説は、それまでの経験による感覚と意味の連合を基礎とする学習説を豊富化説 (Enrichment theory) と呼んで区別した。

近年、Petrov, Doshier, & Lu (2005) は、基礎的な方位の弁別における知覚学習でさえも、受容野レベルの変容ではなく、分化説が主張するような選択的な弁別によって説明することが適切であることを実験的に示した。Perovらのモデルは、課題に特定の選択的再加重 (task-specific selective reweighting) モデルと呼ばれ、課題の遂行に最適な分析器の発見 (discovery) と、その分析器への重みの増加によって知覚学習を説明する。このモデルでは、初期視覚レベルの符号化において変化が仮定される必要はない。

### 知覚学習と問題解決行動

本研究の目的は、基礎的な刺激から対象・物体における弁別と分類へと検討されてきた知覚学習の問題を、推論的な問題解決場面へと拡張することである。すでにチェスのような推論的問題解決においては、熟達者の高成績がその知覚特性によって規定されることが示されてきた (Chase & Simon, 1973; de Groot, 1965)。de Groot (1965) はチェスの熟達者と初心者と比較して、いわゆる推論過程、すなわち考慮するコマの動きの数、推論のヒューリスティックス、推論の深さ、などにおいて差異を見いだすことができなかった。これに対して、短期記憶についての実験、すなわち盤面を5秒間観察した後のコマの位置の再構成では、熟達者が優れていた。コマの位置がランダムに配置された場合には、この熟達者の優位が見られなかったことから、熟達者が初心者よりも優れている点は短期記憶の容量ではなく、盤面の配置の構造を知覚し、チャンクを作って符号化する点であるとされた。

チェスの熟達者が盤面から構造パターンを抽出できる点で初心者と異なることは、熟達化の過程でチェスに固有の構造を抽出する知覚学習が成立することを示唆している。しかしながら、盤面の構造の抽出がどのような知覚処理によって成立するのか、またその知覚がどのように学習されるのか、は明らかではない。本研究が取り上げる問題は、このような構造パターンの知覚がいかにして成立し、学習されるのかを、より一般的な課題において明らかにすることである。

**本研究における問題** チェスを用いた問題解決行動の検討は、その知覚過程の役割を明らかにしたが、その構造的パターンの知覚がどのような情報をもとに、いかにして成立するのかは明らかにされなかった。チェスを課題とした知覚的過程の分析では、そのチャンクの分析は知覚学習の可能性を明らかにした (Chase & Simon, 1973) が、チェスの盤面の構造化にはチェ

スについての概念的知識、コマの動かし方などの方略と分離できない要因の影響が大きいと考えられる。そこで本研究は、チェスよりも構造的なパターンの知覚がパターン自体の視覚的情報によって規定されると考えられるジグソーパズルを用いて、パターンの構造的な関係が知覚学習によって抽出されることを検証する。

鶴沼・長谷川(2001)は、ジグソーパズル課題を用いて課題遂行時の知覚的学習過程を分析した。2つの異なるパズル課題を連続して実験参加者に課し、ひとつのパズル課題を達成する所要時間を測度として、2つのパズル課題の間の転移すなわち最初の課題の学習効果を分析した。その結果、白黒の濃淡による線画のみによる模様パターンを材料とした場合に、線画と色による材料に比べて大きな学習の効果が認められた。さらに、過去のジグソーパズルについての経験の程度と所要時間の関係を分析したところ、経験による所要時間の差異が認められたのは白黒線画パターンの場合のみで、色と線画によるパターンでは経験の効果が認められなかった。

色をとまなう材料で学習効果が認められず、白黒パターンで効果が見られたことから、2つの連続した課題遂行の間での学習的变化が、パズル達成の手続き的知識の習得によるのではなく、白黒の模様パターンをもとにパズルのピースを弁別・分類する過程によることが示唆された。なぜならば、白黒パターンと色をとまなうパターンのいずれにおいても、選んだピースをくみあわせてパズルを完成させる手続きは共通するからである。色つきのパターンにおいては、ピースの弁別と分類が最初から容易であるために学習効果が認められないのに対して、白黒パターンでは弁別と分類に学習効果が認められたと考えられた。また、この学習効果は過去のジグソーパズル経験の効果においても共通すると考えられた。過去経験の効果が白黒パターンでのみ認められたことは、この弁別と分類という知覚的側面の学習が、長期間にわたって持続することを示唆する、とされた(鶴沼・長谷川, 2001)。

本研究は、パズル課題の達成における学習効果が知覚的側面における変化によるものかどうかをあらためて検討する。さらに、その知覚的学習が白黒パターンにおいてのみ成立するのか、を再検討する。これらの点が取り上げられる理由は、理論的観点と方法論的観点から鶴沼・長谷川(2001)の結果に再検討されるべき点があるからである。まず、理論的には、パズル課題における経験の効果が、手続き的知識に限定されるのか、それとも知覚的側面の影響を含むのか、という問題をあらためて検討する。一般に、問題解決行動が一連の手続き的知識の集合によって分析できることは、すでにプロダクションシステム・アプローチによって指摘されてきた(e.g., Anderson, 1983)。ジグソーパズル課題においてもピースの選択とパズル構成を導く手続き的知識の関与は考慮される必要がある。さらに手続き的知識と知覚的処理の関係、すなわち、その手続き的知識の作用がどのような知覚的処理によって駆動されるのか、また経験

の効果は手続き的知識の獲得あるいは駆動においてみられるのかが明らかにされることが望まれる。

第二に知覚的側面において学習される属性が白黒パターンのみに限られるか否かについては、さらに検討の余地があると思われる。一般に知覚的学習においては、対象事物間の関係が課題によって要求される水準で抽出され、課題と無関連の次元が処理から捨てられると考えられる（Gibson, 1969）が、いくつかの研究は経験によって色（hue）や飽和度（saturation）などの課題の要求する次元で識別が促進されることを示唆してきた（Burns & Shepp, 1988; Goldstone, 1994）。ジグソーパズル課題においては、多数のピースから模様パターンを構成するために、ピース間の関係、すなわちピースが連続した模様パターンを構成するかどうかを知覚することが要求される。そのために、白黒の濃淡以外の色の情報も抽出されると考えられる。その抽出に学習効果が認められなかったとする鶴沼・長谷川（2001）の結果は、以下に述べる方法論的な問題から、知覚的処理の影響を過小評価したことが考えられる。したがって、より妥当な測度を用いて知覚処理における経験の効果についての再検討が必要であろう。

方法論の観点から再検討されるべき問題点とは、以下のように実験において用いられた測度に、知覚的処理と手続き的知識の影響の両方が反映されていた可能性が考えられる点である。鶴沼・長谷川（2001）においては、白黒パターンと色つきのパターンの間の所要時間の差は、両条件で手続き的知識の影響が等価であることから知覚的処理の差に起因すると仮定された。ただしこの仮定は、ひとつのジグソーパズルを完成させるまでの全体過程が知覚的処理によって均質に規定され、また手続き的知識の影響も全過程にわたって一定であることを前提としている。つまり、ひとつのピースをそれまで構成したピース群に当てはめる各試行において、手続き的知識と知覚的処理の影響が常に一定あることを仮定している。しかしながら、仮にパズルを完成させる途中のある試行までは手続き的知識の影響が知覚的処理よりも大きく、その試行以降では知覚的処理の役割の方が手続き的知識よりも大きくなった場合には、知覚的処理の影響をパズル全体の所要時間によって評価することは妥当ではない。

そこで本研究は、これまで観察された事実をもとに、主として手続き的知識が所要時間を規定すると考えられる事態と、手続き的知識の影響がほぼ一定で知覚的処理が主として所要時間を規定する事態に分けて、知覚学習の効果を検討する。このために本研究では、鶴沼・長谷川（2001）において課題を最終的に達成することができた参加者がすべてパズルの外側の枠組み（外周）をまず完成させたことに着目する。パズルの外周を完成させるという方略は手続き的知識のひとつと考えることができ、この方略の遂行はパズルの模様パターンに依存しないと考えられる。なぜなら、パズルの外周の構成は、枠組みを構成するピースを用いて直線的な辺（枠

組み)を構成するという手続き的知識の円滑な駆動と、そのために必要なピースの選択、すなわち各ピースの縁にそった凹凸の識別とピースの1辺あるいは2辺が直線であることへの選択的な知覚から主として成り立っている。これに対して、パズルの枠組みが完成した後のパズル内部の処理段階では、各ピースの辺は直線部分をもたず凹凸のみであることから、ピースの選択とパズルの構成ではピース上の模様パターンの知覚的処理に基づくピースの探索的選択が課題の遂行を規定すると考えることができる。もちろん、外周の直線部分を配列する際にも模様パターンの知覚が関与するが、パズル内部においてはこの処理が主としてパズル構成を規定するのに対して、外周の枠組み部分の構成では相対的に模様パターンの知覚的処理の影響は低下すると考えられる。

## 実験

### 目的

本実験は、ジグソーパズル課題の解決過程を、知覚的処理と経験の効果という観点から検討する。知覚的処理に対して、手続き的知識が本実験の課題解決を規定すると仮定する説を**手続き的知識仮説** (*procedural-knowledge hypothesis*) と呼ぶことにする。これに対して、知覚的処理がジグソーパズル課題の遂行に影響するという仮説を**知覚処理仮説** (*perceptual-processing hypothesis*) と呼ぶ。ここで、手続き的知識仮説は、パズルの知覚的差異、たとえば色がついた模様パターンと白黒パターンの違いによって課題の遂行に影響されないことを予測するが、知覚的処理自体がパズル課題に関与しないことを主張するものではなく、模様パターンの色に依存しない知覚的処理をふくむものである。一方、知覚処理仮説は、模様パターンに応じた知覚的処理が手続き的知識よりもジグソーパズル課題の遂行に大きな影響を持つことを仮定し、模様パターンが色を含む場合に白黒パターンの場合よりも課題の遂行が促進されることを予測する。なお、この知覚処理仮説も、手続き的知識がジグソーパズル課題に関与しないことを仮定するものではない。さらに、手続き的知識による処理と知覚的処理が過去のジグソーパズルについての経験によって促進されるという説を、それぞれ**手続き的知識学習仮説** (*procedural knowledge learning hypothesis*)、**知覚学習仮説** (*perceptual-learning hypothesis*) と呼ぶこととする。手続き的知識学習仮説は、知覚処理が過去経験によって変容しないことを仮定し、手続き的知識の獲得および作用の促進が課題の遂行を促進すると説明する。知覚学習仮説は、過去経験による情報の発見および抽出の促進を仮定するが、この仮説はさらに抽出される情報によって2つ仮説に分けられる。1つは、**濃淡一形学習仮説** (*shade-shape learning hypothesis*) であり、他方

はより一般的な**関係知覚学習仮説** (*relationship-perception learning hypothesis*) である。なお、これらの知覚学習仮説は、いずれもジグソーパズルの経験によって手続き的知識についての学習が生じることを否定するものではなく、学習における知覚的側面の影響を仮定するものである。知覚学習と手続き的知識の学習が、相互にどのように関連してジグソーパズルにおける経験効果を成立させるかについては、ここでは具体的には仮定されない。

知覚学習仮説のうち濃淡-形学習仮説は、鶴沼・長谷川 (2001) が示唆したように、ジグソーパズルについての過去経験の程度が、白黒の濃淡による形を中心とするパズルパターンの達成に影響すること、これに対して色と形からなるパズルパターンの達成には影響を持たないことを仮定する。白黒パターンにおいては、色と形からなるパターンに比べてピースの識別と分類に利用可能な情報が少ないため、白黒の濃淡 (テクスチャ)、輪郭の連続性によってピースを選択する必要がある。濃淡-形学習仮説は、ジグソーパズルについての過去経験が、このような微妙な白黒テクスチャの識別とその統合に効果をもつと仮定する。また色と形からなるパターンでは、色と形の手がかりがピースの識別と統合を容易にし、過去経験の程度が低い場合でも、経験の程度が高い場合と同様にピースの識別と統合が行われることでジグソーパズル達成に差が生じないと予測する。濃淡-形学習仮説は、ピース間で模様パターンの濃淡と形の類似性と連続性が知覚されることでピースが選択的に統合されることを仮定するが、空間的に隔たったピース間でそのような白黒の濃淡と形の類似性および連続性を抽出することに知覚学習が介在すると仮定する。これに対して、関係知覚学習仮説は白黒の濃淡だけではなく色と形からなるパズルパターンもふくめて、一般にピースの関係の知覚に経験の効果を仮定する。すなわち、関係知覚学習仮説は空間的に隔たった色の類似性と連続性をふくむ模様パターンの類似性と連続性の知覚において知覚学習を仮定する。鶴沼・長谷川 (2001) において関係知覚学習仮説が支持されなかった結果は、以下に述べるように、用いられた測度の妥当性の問題によると思われる。

**測度** 本実験では従属測度としてパズル課題を達成するための所要時間を用いる。ここで、ひとつの課題を完成する所要時間はすべてのピースを結合させる時間の総和であり、一方ひとつのピースをそれまでに完成させたピースと結合させる時間 (これを1試行とする) には、そのピースの弁別・選択という知覚的過程と、手続き的知識に主として規定される他のピースとの結合作業 (遂行過程) がふくまれる。この知覚的過程は、ピースの探索と弁別、選択からなることから、視覚探索 (*visual search*) と共通する知覚処理をふくむと考えられる。1つの試行における知覚的過程と遂行過程の時間的割合は、試行の推移とともに変化すると考えられるが、ひとつの課題全体の所要時間は単一試行における知覚的側面の処理時間の総和として、知

覚的過程を反映する測度と考えられる。もし、ピースの総数が等しい白黒濃淡パターンと色をふくむパターンの間で所要時間に差異がみられれば、両者において遂行過程の関与が同等である場合には、ピースの模様パターン以外の外周の凹凸も同等であることから、その差異は各試行における模様パターンの知覚的処理の総和によるものと考えることができよう（鶴沼・長谷川, 2001）。

さらに本実験はジグソーパズル課題における知覚的側面の役割を明らかにするために、白黒濃淡パターンと色をふくむパターンの間で手続き的知識の影響の差がより少ない状況における課題成績の分析を行う。ジグソーパズル課題においては、まず全体を構成するピースのうち、外側の枠組みを構成するピースを集めて外周を形成しようとする方略が観察される（鶴沼・長谷川, 2001）。このような方略は、ジグソーパズル課題において用いられる手続き的知識のひとつと考えられ、パズルの外周が完成するまでの所要時間はこの方略の選択と遂行に大きく依存すると考えられる。すなわち、外周の枠組みの作成には、ピース間の識別と統合による模様パターンの構成という知覚的側面よりも、外周を構成するピース、すなわち一辺ないし二辺が直線をなすピースを選択し、それらで外枠を構成するという手続き的知識の活用が大きく作用すると考えられる。これに対して、外枠が完成した後のピースの選択は、ピースの間の知覚的処理に相対的に規定されると考えられる。なぜならば、ジグソーパズルの内部の作成では、各ピースの四辺がいずれも凸凹であり、ピースの選択と統合は、各ピース内部の模様パターンに基づくと考えられ、ピース内部の識別とピース間の模様の統合という知覚的側面が課題の遂行、そして結果としての所要時間に大きく影響すると考えられるからである。

したがって、知覚処理仮説はパズル内部の所要時間に関して、色と形をともに備えるパズルでは、白黒の濃淡によるパズルよりもピース間の模様パターンの関係が抽出されやすいこと、その結果、白黒パターンのパズルよりも所要時間が短くなることを予測する。一方、手続き的知識仮説はパズルの外周である枠組みの所要時間に関して、知覚的処理の影響よりも手続き的知識の影響を仮定するので、模様パターンの色の有無によって所要時間に差が生じないことを予測する。

過去のジグソーパズル経験の効果について、手続き的知識学習仮説はパズルの枠組み構成の所要時間における経験の効果予測する。すなわち、枠組み構成という手続き的知識に規定される課題では、手続き的知識の駆動による遂行行動は過去の経験によって促進されると仮定する。一方、知覚学習仮説のうち関係知覚学習仮説は、パズル内部の処理において過去経験が色を含む模様パターンと白黒パターンのいずれでも所要時間を短縮する事を予測する。これに対して、濃淡—形学習仮説は白黒パターンにおいてのみ経験効果によるパズル内部の所要時間の

短縮を予測する。

## 方法

**実験参加者** 大学生（すべて女性）14名が自発的に実験に参加した。実験に先立ち、ジグソーパズルの経験の程度について、まったくない、数回、何度もある、の3つの選択肢のいずれかを選ぶことで報告することが求められた。

**材料** 市販の白黒模様で構成されたパズル（以下、BW）と、多数の色と模様で構成されたパズル（以下、CL）の2種が各1つずつ用いられた。2つのパズルの模様パターンは異なっていたが、いずれもピースの数は108枚であった。

**装置** ビデオカメラによって参加者の課題遂行過程が記録された。

**計画** 参加者のジグソーパズルについての過去経験と課題の種類を要因とする2要因混合計画であった。各参加者には2つのパズル課題（BW、CL）を連続して実施した。いずれのパズルを先に実施するかは、参加者ごとにランダムに決定された。すなわち課題要因は被験者内要因であった。課題要因を被験者間要因としなかった理由は、ジグソーパズル課題においては所要時間の個人差変動が大きい（鶴沼・長谷川，2001）と考えられ、被験者間計画では課題の効果の検出に適さないことと、あらかじめ異なる被験者をマッチングして2つの課題条件に割り当てることが困難であるからである。操作された独立変数はパズルの模様パターンに白黒濃淡以外の色をふくむかどうかであり、それ以外の点では2種の課題は等価と見なされた。一方、過去経験の要因は、3水準が設定されたが、後述するように唯一経験のなかった1名については成績の基準を満たさなかったため、処理から除外した。このため、過去経験要因は2水準（数回、何度も）となった。それぞれ低経験群、高経験群とよぶ。従属測度は、各課題の開始から終了までの所要時間（T）、開始から枠組み（外周）完成までの所要時間（t1）、および枠組み完成から課題終了までの所要時間（t2=T-t1）であった。

**手続き** 実験は個別に実施された。ジグソーパズルは、すべてのピースがランダムに混ぜられた状態で参加者の前の机の上に提示された。参加者はジグソーパズルを完成させるようにのみ指示された。90分を過ぎてもひとつの課題が終了しない場合は、実験を打ち切った。

**結果の処理** 過去経験について「まったくない」と答えたものは1名であったが、この参加者は90分で第一課題を終了しなかったため、そのデータは処理から除外された。また、「数回」と答えた低経験群8名のうち3名と、「何度も」と答えた高経験群5名のうち1名も90分で第一課題が終了しなかったため、それらのデータも処理から除かれた。さらに、高経験群のうち1名について、白黒パターン（BW）課題の実施に不手際があったため、その部分のデータが処理から除かれた。したがって、2つの課題間で対応のあるデータが取得できたのは、低経験

群 5 名, 高経験群 3 名であった。これらのデータについて, 記録されたビデオテープをもとに, 各参加者の所要時間 (T, t1, t2) が分析の対象とされた。統計的検定では有意水準を 5 パーセントとし, 効果量には偏イータ 2 乗  $\eta_p^2$  を用いた。

## 結果

ひとつのパズル課題を終了するための所要時間 (T) の平均値が, パズルの種類, 参加者の経験の程度別に図 1 に示されている。白黒パターンのパズル (BW) においては, 高経験群のほうが低経験群よりも所要時間が短かったが, カラーパターン (CL) では経験による差は認められなかった。また, 白黒パターンとカラーパターンを比較すると, カラーパターンのほうが所要時間が短かった。分散分析の結果, 経験の効果 ( $F_{1,6}=19.08, p<.05, \eta_p^2=.76$ ), パズルパターンの効果 ( $F_{1,6}=75.26, p<.05, \eta_p^2=.93$ ), それらの交互作用 ( $F_{1,6}=9.93, p<.05, \eta_p^2=.62$ ) がいずれも有意であった。さらにパズルパターン別に経験の単純効果を検定したところ, 白黒パターンでは経験の効果が有意であった ( $F_{1,6}=17.05, p<.05, \eta_p^2=.74$ ) が, カラーパターンでは経験の効果が認められなかった ( $F_{1,6}=3.12, p>.05, \eta_p^2=.34$ )。

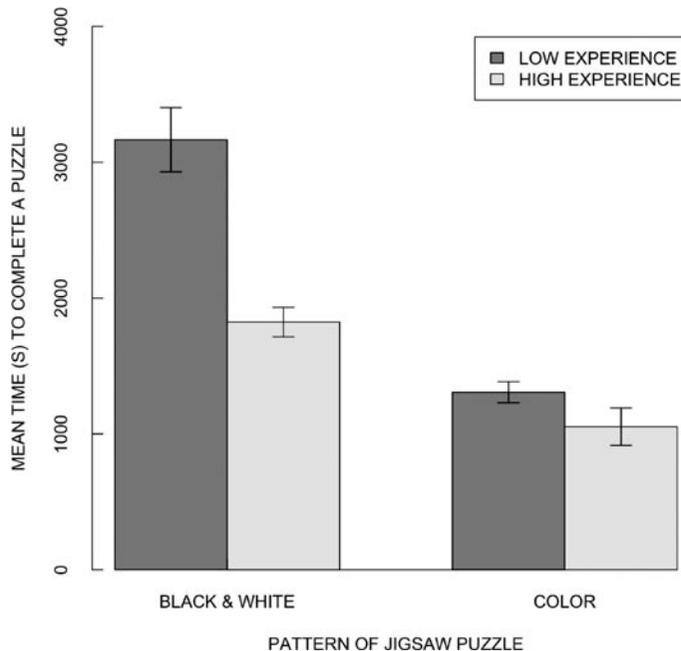


Figure 1. Results of mean time needed to complete a jigsaw puzzle of black-white pattern and color pattern for low- and high-experience participants. Error bars indicate  $\pm 1$  standard error of the mean.

つぎに、パズルの外枠の完成に要した時間 ( $t1$ ) とパズル内部の処理に要した時間 ( $t2 = T-t1$ ) について、同様の分析をおこなった。パズル内部の所要時間 (Figure 2) では、白黒パターンよりもカラーパターンで ( $F_{1,6} = 67.84, p < .05, \eta_p^2 = .92$ ), 低経験群よりも高経験群で ( $F_{1,6} = 7.47, p < .05, \eta_p^2 = .55$ ) 所要時間が短かった。交互作用は認められなかった ( $F_{1,6} = 3.18, p > .05, \eta_p^2 = .35$ )。一方、外枠の処理に要した時間 ( $t1$ ) については、経験の効果のみが有意であって ( $F_{1,6} = 7.93, p < .05, \eta_p^2 = .57$ ), 高経験群のほうが低経験群よりも所要時間が短かった (Figure 3) が、パターンによる効果 ( $F_{1,6} < 1.00, p > .05, \eta_p^2 = .12$ ), 経験とパターンの交互作用 ( $F_{1,6} = 2.47, p > .05, \eta_p^2 = .29$ ) はいずれも認められなかった。

### 考察

ひとつのパズル全体を完成するための所要時間を測度とした分析の結果は、濃淡-形学習仮説を支持するものであった。すなわち、パズルについての過去経験が白黒パターンの模様をもつパズルの完成において効果を持ち、色をふくむパターンのパズルにおいて効果をもたなかつ

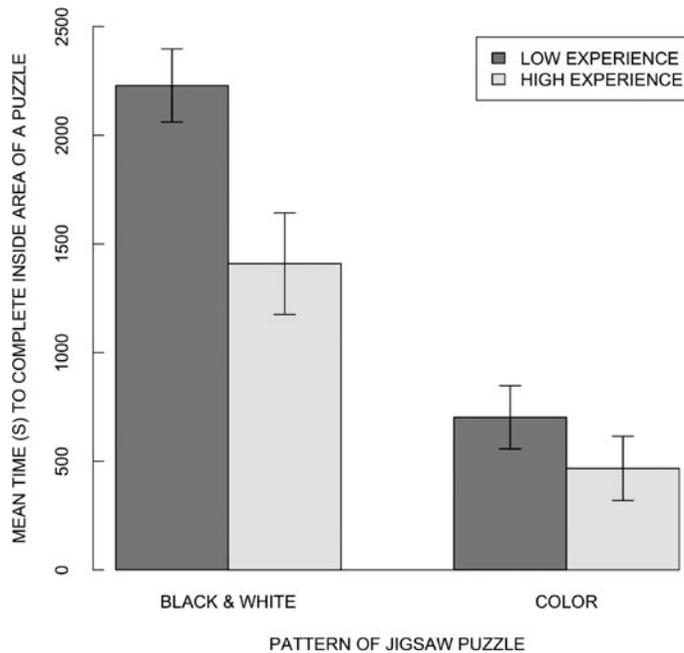


Figure 2. Results of mean time needed to complete the inside area of a jigsaw puzzle of blackwhite pattern and color pattern for low- and high-experience participants. Error bars indicate  $\pm 1$  standard error of the mean.

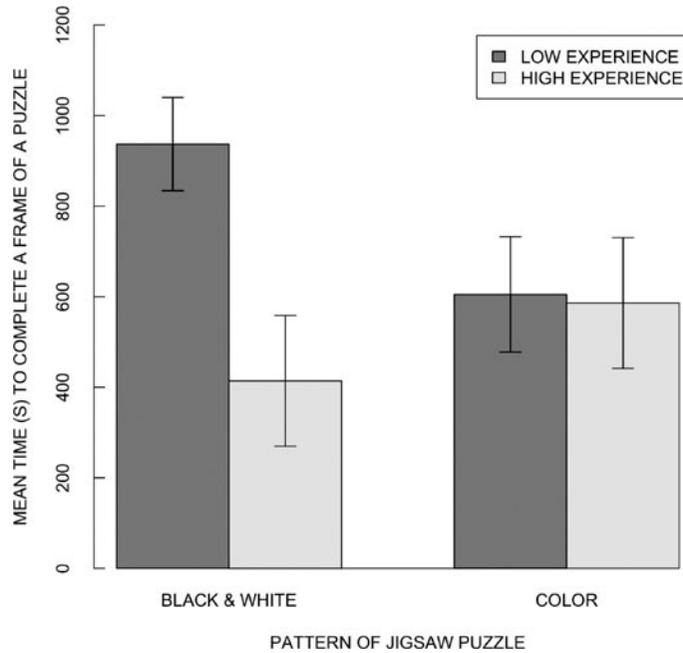


Figure 3. Results of mean time needed to complete a frame of a jigsaw puzzle of blackwhite pattern and color pattern for low- and high-experience participants. Only the effect of experience was significant. Error bars indicate  $\pm 1$  standard error of the mean.

た。この結果は、濃淡-形学習仮説が仮定したように、白黒の濃淡による模様パターンの識別と知覚的統合にパズルの過去経験が効果をもち、これに対して色を含むパターンでは識別と統合が経験によらず容易であることを示唆した。この結果は鶴沼・長谷川（2001）に一致するものであった。これに対して本実験が新たに分析の測度としたパズル内部の所要時間に限って過去経験の効果を分析した結果は、白黒パターンと色パターンの両方における経験の効果を示した。すなわち、関係知覚学習仮説が仮定するように、空間的に隔たった色と形の両方の連続性および類似性の知覚における経験の効果が示唆された。すでに測度としての所要時間の妥当性についての議論で指摘したように、パズルの枠組みよりもパズル内部の所要時間のほうが知覚的処理の測度としての妥当性が高いことを前提とすれば、本実験の結果は経験の効果についての関係知覚学習仮説を支持するものと考えられる。

さらに、パズル内部の所要時間を測度とした結果は、課題の達成における模様パターンの色の効果と経験の効果が独立で加算的であることを示している。これは、模様パターンにおける

色の付加が、低経験群においても高経験群と同様に知覚的処理を促進したことを意味する。すなわち、ピース間の類似性と連続性の知覚が色情報によって促進され、さらに経験効果によってその処理速度が上昇したと言える。

一方、パズルの枠組みを構成するための所要時間の結果は、手続き的知識学習仮説を支持するものであった。すなわち、模様パターン色の有無は所要時間に影響を与えず、経験の違いのみが影響を与え、高経験群のほうが低経験群よりも所要時間が短かった。これは枠組み構成が知覚的処理よりも手続き的知識の規定されたこと（手続き的知識仮説）と、経験効果がこの手続き的知識によること（手続き的知識学習仮説）を示唆している。手続き的知識学習仮説が枠組み構成段階で支持されたことと、関係知覚学習仮説がパズル内部の課題遂行において支持されたことは、ジグソーパズルについての過去経験が手続き的知識の学習と関係知覚の学習の両方を含んでいたことを示している。本実験においては、枠組み構成段階において手続き的知識の効果が発現し、一方パズル内部の遂行において知覚学習の効果が観察されたと言える。

知覚学習において学習されたものは、ジグソーパズル課題における模様パターンの関係を抽出する知覚そのものであると考えられる。これは、チェスの場合にパターンのチャンク化が熟達によって促進されたこと（Chase & Simon, 1973）に新たな知見を加えるものである。なぜならば、チャンク化が具体的な知覚属性にもとづく知覚的体制化としてのユニット化として位置づけられることが示されたからである。これまでのチャンク化による熟達化の説明は、そのチャンク化がいかんして成立するのかを明らかにしていなかったが、本実験の結果はパターンの連続性と類似性に基づく知覚的ユニット化が知覚学習の本質的な課題であることを示唆していると言えよう。

以上のように、本実験はジグソーパズルの枠組み構成以降の内部における課題の遂行が、知覚的な処理、すなわち模様パターンのピース間における類似性および連続性の知覚によって影響されることを示した。さらに、ジグソーパズルについての過去経験の程度がこの知覚的処理を促進することが示された。これらの結果から、推論的な問題解決において対象の知覚が課題の遂行に影響する可能性を指摘することができた。従来、知覚的な体制化が問題解決を妨害することは指摘されてきたが（Kanizsa, 1975; Legrenzi, 1994）、本研究は模様パターンの知覚的体制化が課題の遂行を促進的に規定することを指摘した点で新たな意義をもつものである。さらに、過去経験がその知覚的体制化を促進するという知覚学習の可能性を示したことは、過去経験の程度を実験的に統制したのではなく事後的に群分けした点で限界はあるにしても、問題解決課題の達成に知覚学習が果たす役割を示した点で意義をもつと考えられる。今後、知覚学習の程度の量的な統制と、学習成果についてのより妥当性の高い測度の開発が望まれる。以

下では、さらに知覚学習によって変容した知覚処理を説明する知覚学習のメカニズムについて考察を加える。

### 知覚学習のメカニズム

本実験において観察された知覚的処理の経験的変容は、処理における情報のユニット化 (Goldstone, 1998; Kellman, 2002; Kellman & Garrigan, 2009) として説明することができるだろう。ユニット化は、すでに述べたように、個別に検出されていた部分が、経験によって一つにまとめられて機能的な単位を形成することである。ジグソーパズル課題では、空間的に隔たったピース上の模様パターンの知覚が、個別に模様パターンを検出する段階から知覚的ユニットを形成する段階へと変容したと考えられる。この変容は過去経験によって規定されたものであるが、悉無的ではなく、相対的・連続的な促進への変化であり、逐次的処理から同時並列的処理への移行をふくむ知覚学習の特性をもつと言えよう。また、この変容が知覚的であることは、課題の遂行が言語化されることがきわめて困難であることから示唆される。鶴沼・長谷川 (2001, 2002) は、いずれも予備的な実験の段階で参加者に課題遂行時の言語的な報告 (プロトコル) を求めたが、課題遂行の言語化を観察することはきわめて困難であった。これは、ジグソーパズル課題の遂行が、言語以前の知覚的処理によって規定されていたことを示唆するものと言えるであろう。

ジグソーパズル課題におけるユニット化は、枠組み構成後のパズル内部の課題遂行においては模様パターンの体制化に対応すると考えられる。この場合、模様パターンが何らかの形を形成するために、空間的に不連続なピース間で形の輪郭と表面特徴が結びつけられる必要がある。このような知覚は、空間的に不連続なエッジ、すなわち不連続な輝度変化をともなう輪郭を補間し、統合する空間的統合 (spatial integration) によると考えられる。ただし、ここで統合されるエッジが連続性を持ち補間されうるかどうかを知覚することは、観察者において即時的に成立するわけではない (Guttman, Sekular, & Kellman, 2003)。また、空間的統合と輪郭線の補間が数分の1秒単位で成立するような事態 (Kellman & Shipley, 1991; Guttman, et al., 2003) とは異なり、ジグソーパズルではピース間の距離や方向の変化が知覚をより困難にする。このことがパズルとしての困難さ、言い換えればパズル遂行の動機づけをもたらしていると言えるが、一方でピース間の模様パターンを統合的に知覚するための訓練 (学習) を可能にしている。

さらに、このような空間的に隔たったピース間の模様パターンの統合は、実際のジグソーパ

ズル課題においては継時的な注視を媒介として行われることになる。すでにチェスの遂行過程における眼球運動の研究 (Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001) が示すように、チェスのような推論的な課題の遂行では、熟達者と初心者では異なる眼球運動のパターンが観察される。これはチャンク化の差異を示すとともに、継時的な注視が構造的パターンの知覚に不可欠であることを示唆している。継時的な注視によって抽出された情報は、視覚短期記憶あるいは作業記憶において統合され、全体的なパターンの知覚的表現を形成すると考えられる。このような時間的な範囲にわたる空間的な統合は、時空間的統合 (spatiotemporal integration) による知覚 (Palmer, Kellman, & Shipley, 2006; Unuma, Hasegawa, & Kellman, 2010) の成立に関連している。ジグソーパズル課題においては、その時間範囲はこれまで知覚的統合において検討されてきた数分の1秒を大きく超えることになるために、同一のメカニズムを仮定することはできない。作業記憶を介した知覚的統合は、他の推論的課題、たとえば迷路探索課題 (鶴沼, 1993) のように心的回転などの内的操作や空間枠組みを含めた統合の問題として理解されるべきであろう。

さて、このような空間的かつ時間的な広がりをもつ知覚的統合を含む推論的問題解決行動が経験によって変容することは、どのようなメカニズムによって説明されるだろうか。ここで、知覚的統合過程を駆動するために抽出される視覚的情報の変化が、知覚学習のメカニズムを考える上で重要であろう。Goldstone (1998) は知覚学習のメカニズムとして、注意の重みづけ (attention weighting), 刻印づけ (imprinting), 分化 (differentiation), そしてユニット化 (unitization) を区別した。このうち分化はこれまで取り上げたユニット化とは逆のメカニズムであり、それまで弁別されなかった刺激が区別されることである (Gibson, 1969)。分化は、線分の方位などの基礎的な刺激の弁別に加えて、より複雑な刺激対象、たとえば顔などの弁別、さらにはカテゴリーや刺激次元における分化を考えることができる。ジグソーパズルにおいては、模様パターンの色、輪郭、テクスチャなどの視覚属性次元での分化とともに、このような表面特徴をもったピースの弁別という複雑な対象の弁別が分化することが必要となるだろう。

さらに、分化した属性は経験を通じてより効率的に抽出され、その結果、ユニット化が促される。そこでは、課題の要求に適した属性がより優先的に抽出されることになる。これは、注意が重要な属性 (特徴) の処理へと配分される過程として理解することができよう。すなわち、Petrov, et al (2005) が指摘したような、課題の要求する分析器に対する加重の変更による知覚学習が成立すると考えられる。一方で、この分析器による知覚の変容は特定の課題に限定される。知覚学習におけるこの課題あるいは刺激の特殊性は、しばしば知覚学習が初期視覚レベル

で生じることの根拠とされてきた (Karni & Sagi, 1991) が, Ahissar & Hochstein (2004) は知覚学習には常に低次の処理と高次の処理の両方が含まれ, このことは課題特殊性を説明できると主張した。すなわち, 彼らの提案する“逆階層性 (reverse hierarchy)”に従えば, 知覚学習は課題が要求する高次の注意過程によって開始され, 課題に関連するより低次の過程へと進行する。したがって, 知覚学習にはある水準の特定の分析器のみが関与するのではなく, 高次から低次までさまざまな水準における処理の選択と分化が寄与すると考えられる。本実験におけるジグソーパズルでは, 模様パターンの色, 形, 輪郭あるいはテクチュアの連続性と類似性についての処理が, 高次の注意すなわちピースという複雑な物体への注意による選択から, より低次の注意による詳細な線分やテクチュアへの注意, 分化した反応を含む処理へと変容することによって, 知覚学習が進行したと考えられる。また, この学習は課題に依存した高次の過程をふくむ知覚学習であることから, チェスなどの他の課題への知覚学習の転移を含まない課題特殊性を有していたと説明されよう。

知覚学習は情報の抽出をより効率的に変化させ, そのために分析器へ配分される注意の負荷が減少する (Petrov, et al., 2005)。この変化は意識的な処理から, 意識されない自動化された処理への変化 (Shiffrin & Schneider, 1977) でもあると考えられる。このような自動化された処理は, 比較的長時間にわたって持続する点で, 一時的な方略の変化や注意の移動で説明することは適切ではない (Goldstone, 1998)。本研究においても, ジグソーパズルについての経験によってピースの模様パターンの連続性や類似性の知覚の自動化が成立し, その知覚が手続き的知識の駆動を促したと考えられる。ジグソーパズルの学習には手続き的知識について学習もふくまれるが, 本実験の結果が示したように, 自動化された知覚的処理がパズル内部の遂行行動に影響していたといえよう。

## 残された問題

### 知覚学習の限界と範囲

本研究は, 知覚学習の般化 (generalization) すなわち学習の転移の範囲と限界について今後検討されるべき問題を残している。本研究では, ジグソーパズルの模様パターンの連続性および類似性の抽出が知覚的に学習されると考えることができた。しかし, このような情報抽出がどの程度まで一般性をもって学習されたのかは明らかではない。知覚学習は, すでに述べたように, 対象の「抽象的な」特性 (Kellman & Garrigan, 2009), すなわち不変項が抽出されること, そして示差的特徴とパターンを学習すること (Gibson, 1969) とされるが, 本研究に

において学習された模様パターンが具体的にどの水準の不変項というべきかは保留されるべきであろう。さらに、本実験において観察された学習がどのような事態で転移しないかも明らかではない。その意味で、本研究がとりあげた知覚学習の限界と範囲は今後検討されるべき問題といえよう。

ここで知覚学習の限界に関連して、視覚情報のユニット化、あるいは次元間の統合の限界の問題が考慮されるべきであろう。たとえば、特定の次元間のユニット化が困難であることは、すでに視覚探索において色と形状の結合探索 (conjunctive search) が 1500 試行を経ても変化しなかった (Treisman & Gelade, 1980) という古典的な結果に示されている。しかし、一方で Shiffrin & Lightfoot (1997) は、文字に類似した線分と色の結合によるパターンでは、結合探索の時間が学習によって短縮することを示している。この結果は、次元間のユニット化が、文字のように既知性の高いパターンと新奇な形状では異なる (Goldstone, 1998) ためとも考えられるが、Shiffrin らの用いたパターンの構造に知覚学習を可能にする高次の関係が含まれていた可能性もあり、その説明はさらに検討されるべきである。

### 課題特殊性

知覚学習が特定の課題において成立し他の課題に転移しないこと、すなわち知覚学習における課題特殊性も、今後さらに具体的な説明を必要とする問題である。課題特殊性が高次過程の関与によるという逆階層性 (Ahissar & Hochstein, 2004) の仮定に対して、Sagi & Tanne (1994) は課題から独立した初期視覚の機構に組み込まれた学習と、より高次の課題に依存した処理ユニットと感覚ユニットの結合についての学習を区別することを提案している。このような受容野レベルの変容による知覚学習と、高次の知覚過程の関与による知覚学習がどのような整合性をもって説明されるかは、今後に残された問題である。

一方、日常の知覚の柔軟性が物体知覚のレベルにおける知覚学習によって成立する (Garrigan & Kellman, 2008; Kellman & Garrigan, 2009) と考えるならば、高次の知覚過程による知覚学習の課題特殊性は、より具体的な課題に即して検討されるべきであろう。たとえば、すでに文字と単語の知覚における単語優位性効果 (word superiority effect) として知られる現象 (Reicher, 1969) は、個別の要素的部分よりもユニット化された全体の知覚が優先される事態と言えるが、このような知覚が単語の知識によってではなく、単語の形態知覚の熟達化によってもたらされる可能性が指摘されている (Feitelson & Razel, 1984)。すなわち、単語のパターンとしての構造的関係の抽出が、知覚学習を経て単語の知覚を促進する可能性がある。このような課題に特有なパターンの構造的関係の抽出が課題特殊性を規定すると考えれば、具体的な課題ごとに抽出される構造的関係の分析がおこなわれる必要がある。

### 知覚学習の技術

本研究は、知覚学習が一定の制約と限界の範囲で知覚の柔軟性を獲得するメカニズムとして機能することによって、人間の適応的な問題解決行動を促進することを示唆した。今後、より具体的な説明が提起されるとともに、知覚学習メカニズムの応用が教育や産業の領域で具体的な学習の効率化に貢献することであろう。Kellman, Massey, Roth, Burke, Zucker, Saw, Agüero, & Wise (2008) は、分数と代数の計算における中学生の数式の理解について、その知覚的な側面を取り上げて学習的变化を測定する方法を提案した。彼らは PLM (Perceptual Learning Module) とよばれる学習アルゴリズムを考案し、実験群ではこの PLM を用いて学習過程に介入することで、分数や割合の理解、代数の式に含まれる変換規則の理解において、統制群よりも優れた学習効果を認めることができた。PLM では、学習者が対象の分類をおこない、その結果のフィードバックを受け取ることによって、対象に含まれる構造としての情報が学習者によって抽出される。たとえば代数 PLM では、実験群の学習者はターゲットとなる式を提示され、その式を正しく変形した式を複数の選択肢の中からできるだけ速く選択する。実験中に学習者が代数式そのものを解くことはないが、統制群に比べて実験群では 40 分間の PLM による学習を 2 ないし 3 セッションに経験することによって、その後の事後テスト（直後と 2 週間後）で事前テストよりも代数式を解く速度と正答率に大きな改善が見られた。

本研究における推論的な問題解決としてのジグソーパズル課題においても、PLM と同様に具体的な学習アルゴリズムを最適化することによって、直接に情報抽出としての知覚学習に介入し、課題達成までの時間を短縮させることが可能と考えられる。今後、ジグソーパズルにおける知覚学習へのこのような具体的な介入プログラムが開発されれば、他の問題解決場面においても同様のアプローチの適用が広がるであろう。

### 引用文献

- Ahissar, M., & Hochstein, S. 2004. The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, pp.457–464.
- Anderson, J. R. 1983. *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Ball, K., & Sekuler, R. 1982. A specific and enduring improvement in visual motion discrimination. *Science*, 218, pp.697–698.
- Biederman, I. 1987. Recognition-by-Components: A Theory of Human Image Understanding. *Psychological Review*, 94, pp.115–147.
- Burns, B., & Shepp, B. E. 1988. Dimensional interactions and the structure of psychological space: the representation of hue, saturation, and brightness. *Perception & Psychophysics*, 43, pp.494–507.

- Chase, W. G., & Simon, H. A. 1973. Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, pp.55–81.
- Czerwinski, M., Lightfoot, N., & Shiffrin, R. M. 1992. Automatization and training in visual search. *American Journal of Psychology*, 105, pp.271–315.
- de Groot, A. D. 1965. *Thought and choice in chess*. Amsterdam: Noord-Hollandsche Uitgeversmaatschappij.
- DeSchepper, B., & Treisman, A. 1996. Visual memory for novel shapes: Implicit coding without attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, pp.27–47.
- Diamond, R., & Carey, S. 1986. Why faces are and are not special: an effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, pp.107–117.
- Fahle, M., & Poggio, T. (Eds.) 2002. *Perceptual learning*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Feitelson, D., & Razel, M. 1984. Word superiority and word shape effects in beginning readers. *International Journal of Behavioral Development*, 7, pp.359–370.
- Garrigan, P., & Kellman, P. J. 2008. Perceptual learning depends on perceptual constancy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 105, pp.2248–2253.
- Gauthier, I., & Tarr, M. J. 1997. Becoming a “Greeble” expert: exploring mechanisms for face recognition. *Vision Research*, 37, pp.1673–1682.
- Gibson, E. J. 1969. *Principles of perceptual learning and development*. New York: Prentice-Hall.
- Gibson, J. J., & Gibson, E. J. 1955. Perceptual learning: Differentiation or enrichment? *Psychological Review*, 62, pp.32–41.
- Goldstone, R. L. 1994. Influences of categorization on perceptual discrimination. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, pp.178–200.
- Goldstone, R. L. 1998. Perceptual learning. *Annual Review of Psychology*, 49, pp.585–612.
- 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, pp.1211–1227.
- Helson, H. 1948. Adaptation-level as a basis for a quantitative theory of frames of reference. *Psychological Review*, 55, pp.297–313.
- Kanizsa, G. 1975. “Pragnanz” as an obstacle to problem-solving. *Giornale Italiano di Psicologia*, 2, pp.417–425.
- Karni, A., & Sagi, D. 1991. Where practice makes perfect in texture discrimination: Evidence for primary visual cortex plasticity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 88, pp.4966–4970.
- Karni, A., & Sagi, D. 1993. The time course of learning a visual skill. *Nature*, 365, pp.250–252.
- Kellman, P. J. 2002. *Perceptual learning*. In R. Gallistel (ed), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*, Vol. 3. Learning, Motivation, and Emotion, Third Edition. New York: Wiley, pp.259–299.
- Kellman, P. J., & Garrigan, P. 2009. Perceptual learning and human expertise. *Physics of life reviews*, 6, pp.53–84.
- Kellman, P. J., Massey, C. M., Roth, Z., Burke, T., Zucker, J., Saw, A., Aguero, K. E., & Wise, J. A. 2008. Perceptual learning and the technology of expertise: Studies in fraction learning and algebra. *Learning Technologies and Cognition; Special Issue of Pragmatics and Cognition*, 16, pp.356–405.
- Kellman, P. J., & Shipley, T. F. 1991. A theory of visual interpolation in object perception. *Cognitive Psychology*, 23, pp.141–221.
- LaBerge, D. 1973. Attention and the measurement of perceptual learning. *Memory and Cognition*, 1, pp.268–276.
- Legrenzi, P. 1994. Kanizsa's analysis of “pragnanz” as an obstacle to problem solving and the theory of mental

- models. *Japanese Psychological Research*, 36, pp.121-125.
- 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)
- Nosofsky, R. M. 1986. Attention, similarity, and the identification-categorization relationship. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, pp.39-57.
- 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, pp.513-541.
- Petrov, A., Doshier, B. A., & Lu, Z. L. 2005. The dynamics of perceptual learning: an incremental reweighting model. *Psychological review*, 112, pp.715-43.
- Reicher, G. M. 1969. Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material. *Journal of Experimental Psychology*, 81, pp.275-80.
- Reingold, E. M., Charness, N., Pomplun, M., & Stampe, D. M. 2001. Visual Span in Expert Chess Players: Evidence From Eye Movements. *Psychological Science*, 12, pp.48-55.
- Rock, I. 1983. *The Logic of Perception*. Cambridge: MIT Press.
- Rock, I., & Gutman, D. 1981. The effect of inattention on form perception. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 7, pp.275-85.
- Saarinen, J. & Levi, D. M. 1995. Perceptual learning in vernier acuity: What is learned? *Vision Research*, 35, pp.519-527.
- Sagi, D., & Tanne, D. 1994. Perceptual learning: learning to see. *Current opinion in neurobiology*, 4, pp.195-9.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. 1977. Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, pp.1-66.
- Shiffrin, R. M., & Lightfoot, N. 1997. Perceptual learning of alphanumeric-like characters. In R. L. Goldstone, P.G. Schyns, & D. L. Medin (Eds.) *The Psychology of Learning and Motivation*, 36. San Diego: Academic Press. pp.45-82.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. 1977. Controlled and automatic human information processing. II. Perceptual Learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84, pp.127-190.
- Shiu, L. P., & Pashler, H. 1992. Improvement in line orientation discrimination is retinally local but dependent on cognitive set. *Perception & Psychophysics*, 52, pp.582-588.
- Tanaka, J., & Gauthier, I. 1997. Expertise in object and face recognition. In R. L. Goldstone, P.G. Schyns, & D. L. Medin (Eds.) *The Psychology of Learning and Motivation*, 36. San Diego: Academic Press. pp.83-126.
- Tipper, S. P. 1992. Selection for action: the role of inhibitory mechanisms. *Current Directions in Psychological Science*, 1, pp.105-109.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. 1980. A feature- integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, pp.97-136.
- 鶴沼秀行, 1993, 「迷路探索課題における空間的イメージの形成と変換—パターンの構造と関係性及び筋運動感覚の効果—」. 『基礎心理学研究』, 11, pp.75-86.
- 鶴沼秀行・長谷川桐, 2001, 「ジグソーパズル課題における知覚学習過程」. 『日本心理学会第65回大会発表論文集』, 112.
- 鶴沼秀行・長谷川桐, 2002, 「ジグソーパズル課題における知覚学習過程(2)」. 『日本心理学会第66回大会発表論文集』, 480.
- Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P. J. 2010. Spatiotemporal integration and contour interpolation

- revealed by a dot localization task with serial presentation paradigm. *Japanese Psychological Research*, 52, pp.268–280.
- Watanabe, T., Náñez, J. E. Sr., Koyama, S., Mukai, I., Liederman, J., & Sasaki, Y. 2002. Greater plasticity in lower-level than higher-level visual motion processing in a passive perceptual learning task. *Nature Neuroscience*, 5, pp.1003–1009.
- Westheimer, G., & McKee, S. P. 1978. Stereoscopic acuity for moving retinal images. *Journal of the Optical Society of America*, 68, pp.450–455.