

## 知覚学習における介入効果の測定とその方法論的問題

鵜 沼 秀 行\*・長谷川 桐\*\*

### Methodological Issues in Measurement of the Effects of Interventions in Perceptual Learning

Hideyuki UNUMA, Hisa HASEGAWA

#### Abstract

Perceptual learning is the relatively permanent modification of perception following sensory experience. The authors review the methodological issues in evaluating the effects of interventions in perceptual learning, especially in experience-based change of picking up structural information in problem solving situations. Experimental design and methods to test the intervention in recent research are critically reviewed. A framework for measurement of perceptual learning is proposed; the framework emphasizes the transaction with the pattern structure by learners. Logical structure in mathematical learning and spatial structure of visual pattern are also discussed in relation to perceptual learning.

Key Words: perceptual learning, problem solving, interventions, experimental design, pattern structure

人間の知覚機能が経験によって比較的永続的に変容することは知覚学習 (perceptual learning) と呼ばれる。たとえば、熟達したチェスのプレイヤーは、初心者に比べてより正確にかつ速く盤面の駒の配置を知覚することが知られている (Chase & Simon, 1973)。近年、このような知覚学習のメカニズムについての理論的あるいは実験的な研究の進展が顕著である (e.g. Ahissar & Hochstein, 2004; Kellman & Garrigan, 2009; Petrov, Doshier, & Lu, 2005; Sagi & Tanne, 1994)。これらの研究の展開において、単一のメカニズムで知覚学習を説明することが

---

\*教授 知覚・認知心理学

\*\*中部学院大学非常勤講師

困難であることが指摘されてきた (Ahissar & Hochstein, 2004; Sagi & Tanne, 1994)。たとえば, Karni & Sagi (1991, 1993) における知覚学習では, 基礎的な弁別や視覚探索における知覚学習において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ため, この知覚学習が初期視覚における変容によると主張された。これに対して Petrov, et al. (2005) は, 基礎的な方位の弁別における知覚学習でさえも, 課題に依存した分析器への選択的な加重によって成立することを指摘し, 初期視覚における符号化の変化を仮定する必要はないと主張した。さらに, 知覚学習が特定の課題に依存した特殊性をもつことが指摘されてきた (Ahissar & Hochstein, 2004; Sagi & Tanne, 1994)。

本稿は, 日常的な生活場面における知覚学習が, 環境の中の不変な関係 (不変項 invariance) を抽出することで成立するという観点 (Gibson, 1969; Kallman & Garrigan, 2009) に立ち, 不変な情報の抽出としての知覚が経験によって永続的に変容することを検証する際の方法論的な問題を整理する。このような不変項の抽出とその変容は, 視野の特定の位置に対応した刺激の検出機能の変化のみによって説明することは困難であろう (鶴沼・長谷川, 2011)。すなわち, 日常の知覚においては, 網膜に与えられる近刺激の変化にも関わらず, 視覚系は外界の対象の不変の関係を知覚像として形成する。たとえば, 紙面上の2次元図形としての三角形は, 眼球運動や観察者の移動にともなって網膜上で大きさ, 形, 位置においてさまざまに変化するが, 観察者はそれらを不変の三角形として知覚する。このようなパターン認知 (pattern cognition) の水準における知覚の成立と, その経験による変容こそ本稿が取り上げようとする問題である。

### 知覚学習のメカニズム

知覚学習は知覚システムの比較的永続的な変容であって, 一時的な変化としての順応や注意過程, 方略の変化とは区別されるとともに, 発達的な変化である成熟とも異なる (Goldstone, 1998)。知覚学習のメカニズムとして Goldstone (1998) は, 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。注意の重みづけとは, 重要な刺激次元や特徴に注意をはらうことで課題や環境に適応することである。これには, 無関係な次元や特徴への重みを減少させることもふくまれる。刻印づけとは, 刺激やその一部に直接に“刻印づけられる”検出器 (detector) が形成されることによって, 知覚が環境に適応することである。このような検出器は, 生理学的に実装されたものと, 知覚的機能から抽象的に構成された概念の場合がある。分化は, ある知覚が他の知

覚から分離されることであり、これによってそれまで区別されなかった刺激が別個に知覚される。これに対してユニット化は、複数の刺激が情報処理的な単位（ユニット）を形成することで、それまでいくつかの刺激を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）ことをさす。

知覚学習をその機能的な水準から見ると、近刺激の変化によらず外界の刺激の不変な特性についての知覚が成立する水準における学習的な変容が指摘されてきた。たとえば、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が、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）。すなわち、特定の文化的な環境の中で学習された顔の知覚が逆転効果を生むと考えられる。さらに 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 Garrigan & Kellman (2008) は、明るさ、大きさ、運動の知覚を取り上げて、それらの知覚学習が近刺激ではなく不変の刺激特性、すなわち知覚的恒常性の水準において成立することを示した。これらの知見は、いずれも知覚学習がパターン認知あるいは物体知覚の水準において成立し、その学習が日常の思考や問題解決に寄与することを示唆している。

### 知覚学習への介入

さて、このような知覚学習のメカニズムを検証し、さらに日常の行動の水準における思考や問題解決との関係を検討するためには、知覚学習を促進（あるいは妨害）する要因を実験的に操作し、それらの要因と知覚的な変容との間の因果関係を明らかにすることが有効である。本稿の以下では、知覚学習を規定する要因、さらには知覚される情報の構造的な特性を明らかにするための実験的方法論の問題に焦点をあてることとする。

知覚学習の実験的な検討にあたって、直接にその学習過程を操作する試みとして、Kellman からは PLM (Perceptual Learning Module) とよばれる知覚学習への介入方法を考案した (Kellman, Massey, Roth, Burke, Zucker, Saw, Aguero, & Wise, 2008; Thai, Metter, & Kellman, 2011; Unuma, Hasegawa, & Kellman, 2012)。PLM は、学習者に（一般に）フィードバックをともなう分類課題を課すことによって知覚の熟達化を促進する学習アルゴリズムである。ここではまず PLM の事例を取り上げて、そこで考慮される実験上の方法論の問題について整理したい。具体的な問題について考えるために、やや詳しく実験方法について紹介する。

Kellman et al. (2008) は、分数の問題を解く課題における知覚学習的側面を取り上げた。た

たとえば、「24 個のビー玉の  $\frac{1}{8}$  は何個のビー玉か」を解くことが課題であり、この種の課題の解決における知覚学習の効果を、事前・事後テストデザインで検証した。事前テストと事後テストの間には3つの介入条件が設定された。なお、事後テストには介入の直後テストと9週間後の遅延事後テストがおこなわれた。介入の3条件とは2種の PLM 条件と統制条件であった。

2つの PLM 条件で用いられた PLM は、いずれも基本的に以下のようなものであった。PLM は個々の学習者にパーソナルコンピュータによって視覚的に問題を提示して学習者に正解を選択させ、反応に対して正解がフィードバックされるものであった。具体的には、分数についての問題を文章題、簡単な質問、図示、そして数式の4つの表現形式の組み合わせで学習者に提示した。学習者の課題は、ある形式で表現されたターゲットとなる構造（たとえば、簡単な質問である「24 個のビー玉の  $\frac{1}{8}$  は何個のビー玉か」）と、その異なる表現（たとえば、24 個の  $\frac{1}{8}$  を視覚的に図示したもの）を対応づけることであった。学習者は、一般的な誤りを含むいくつかの選択肢から正しいものを選択した。ここで学習者は実際に計算をして問題を解く必要はなく、ターゲットとなる構造を弁別し対応づけるだけであった。

2つの PLM 条件のうちひとつは単位先行 PLM 条件とよばれ、最初に分子が1であるような単純な分数（単位分数）についての授業を受けた後に、単位分数の事例からなる PLM を実施した。その後に分子が1以外の相対的に難しい分数の授業を受け、単位分数とそれ以外をふくめて PLM が課された。他方の PLM は混合 PLM 条件とよばれ、単位分数とそれ以外の分数についてあわせて授業がおこなわれた後に、両者が混合された試行で構成される PLM を実施した。これらの2つの PLM 条件では、いずれも後述するようなコンピュータを用いた学習が個別におこなわれた。これに対して、統制条件では2つの PLM 条件と同じように分数についての授業をうけたのみで、PLM を用いた個別の学習はおこなわれなかった。2つの PLM 条件では学習達成基準に到達するまで、30分から40分のセッションが学習者によって2セッションから13セッション実施された。

これらの介入の前後に事前テストと事後テスト（直後テスト、遅延事後テスト）がおこなわれた。いずれのテストにおいても、学習者は紙と鉛筆で分数についての問題に解答した。3つのテストの問題はすべて異なっており、また PLM として介入した学習試行において提示された問題とも異なっていた。

実験の結果、全体として事前テストから2つの事後テストへと成績（平均正答率）の上昇が認められた。直後テストでは2つの PLM 群はともに統制群よりもすぐれた成績を示した。これに対して遅延事後テストでは、混合 PLM 群がもっともすぐれた成績を示した。PLM を経験しなかった統制群は、もっとも低い学習効果を示した。単位先行 PLM 群の正答率は、遅延事

後テストでは混合 PLM 群よりも低く、統制群よりも高かった。したがって、混合 PLM が最も効果的な学習効果を示し、その効果は9週間後でも維持されていた。

以上の結果から、分数の問題を解くという課題の学習において、実際に計算をして問題を解くよりも、分数の問題にふくまれる構造的パターンを同定させる介入が効果的であることが示された。PLM を用いた介入が学習者に課した学習は、事前と事後のテストにおける問題の形式と異なっていたにもかかわらず事後テストに転移した。

また、3つの介入条件ではいずれも分数についての授業がおこなわれ、いずれの条件でも事前テストから事後テストへと成績の上昇がみられたことから、授業形式における学習が分数の学習のある側面については効果をもつことが示された。これは授業形式が分数についての概念的知識および計算の手続き的知識の修得に一定の効果をもつことを示唆している。しかし、PLM を利用しない学習条件の学習成果は2つの PLM 条件の成果におよばないことから、PLM による学習が問題の構造の抽出と変換に効果的であって、さらに概念的知識と手続き的知識の修得と活用を促進したと考えられる。

混合 PLM が遅延事後テストにおいて最も効果的であったことは、構造の抽出と変換における学習系列の効果を示している。易問から難問へという系列よりも、さまざまな問題の混在した系列において、より永続的な知覚学習が成立することが示唆される。

### 知覚学習への介入において考慮される要因

では上述のようなパラダイムにおいて、学習者の学習過程への介入が知覚的要因への介入であって、それ以外の要因、たとえば概念的知識や運動技能への介入ではないという点は、どのようにして保証されるであろうか。さらには、学習が比較的永続的な知覚的変容であって、注意や方略の一時的な変化でないと主張するためには、実験的検証において何が考慮されなければならないだろうか。もちろん、上に取り上げた数学的学習における知覚学習の側面の変容が、学習者の概念的知識や手続き的知識という問題解決スキルと相互に作用して、学習が進行したという観点を無視するものではない。むしろ特に数学のような複雑な課題の解決と学習においては、知覚的側面と高次の認知過程が補完的に重要な役割を果たすことが指摘されてきた (Goldstone, Landy, & Son, 2008)。

しかしながら、われわれは以下の点において前述の介入が知覚的変容をもたらすもので、高次の認知的方略や概念的知識による行動的変容ではないことを示すことにする。同時に、情報抽出としての知覚とその学習を検証するために何が要件となるかについて、Kellman, Massey,

& Son (2010) の提案を中心に整理してみたい。ここでは、知覚学習を検証する課題が備えるべき特性と、知覚学習の成立の根拠となる測度にわけて述べることにする。

### 課題の特性

#### (1) 対象の構造との交渉

知覚学習における介入としての前述の PLM は、対象の構造への注意、弁別、分類、さらにはそれらのマッピングをふくむ。対象の構造とは、分数の計算の例では質問形式や視覚的表現に関わらず、それらの表現する内容にふくまれる論理的関係をさす。たとえば、先の「24 個のビー玉の  $\frac{1}{8}$  は何個のビー玉か」という質問形式は、 $24 \times \frac{1}{8}$  という数式や、視覚的にその関係を表現した図などと同型の論理的関係をふくんでいる。PLM では、それらの構造を抽出し、さらに相互に変換（マッピング）する処理が促進される。

#### (2) 課題解決の未遂行

PLM の第二の特徴は、学習段階では実際に課題を解くことがないことである。すなわち、学習者はターゲットと選択肢の構造を抽出し、それらの間の変換を遂行するのみであって、先の例では実際に分数の計算を遂行して答えを計算することはない。さらに、言語的・概念的知識や手続き的知識が直接に学習者に教授されることはない。すなわち、もとの課題の遂行に必要な知識が教授者から明示されることは最小限であって、学習者は事例の分類のみをおこなう。

#### (3) 変化する事例との多数の分類試行

PLM では学習者は多くの事例の分類をおこない、フィードバックを受け取る。そこでは多くの事例が提示されるが、それらに共通する不変な関係を抽出することが学習者に求められる。そのためには、事例のセットが、問題となる不変関係以外でさまざまに変化することが同時に必要である。さらに、PLM において提示される事例は、事前テストや事後テストで提示される事例とも異なることが必要である。これは、知覚学習される構造が、個々の事例の記憶に基づくものではなく、それらに共通する構造であると考えられるからである。

ここで、PLM にみられる知覚学習におけるこれら 3 つの課題特性にくわえて、われわれは以下の 2 点を知覚学習課題の特性として指摘したい。

(4) 比較的短期間における学習の可能性

Kellman et al. (2008) における分数計算の知覚学習では、PLM は 30 分から 40 分のセッションが 2 セッションから 13 セッションで学習効果を示した。同様に代数の計算における PLM では 1 日 40 分から 45 分の学習を 2 日間実施することで知覚学習の効果が認められた (Kellman et al., 2008, p.380)。この学習時間は、基本的な方位の弁別のような知覚学習 (Karni & Sagi, 1991, 1993) とは異なり、対象のパターン認知における知覚学習が比較的短い数百試行で成立することを示唆している (Thai et al., 2011; Unuma et al., 2012)。たとえば、Karni & Sagi (1993) の視覚探索課題を用いた単純な線分の方位弁別の知覚学習では、50 試行からなブロックが 16 ~ 24 ブロックで 1 セッションを構成し、1 日から 3 日の間隔をおいたセッションが 10 セッション以上実施された。これに対して、漢字を材料とした視覚探索課題を用いた Thai et al. (2011) では、平均で 300 試行 (45 分以内) の知覚学習 (PLM) で効果が認められた。

(5) 構造の抽出における課題の認知的容易性

知覚学習における構造の抽出は、前述 (2) のように事前テストや事後テストにおけるような本来の課題の遂行を必要としない。これは、知覚学習が認知的な課題遂行の全体を必要とせず、その一部において比較的独立の成立しうることを示唆している。さらにこの構造抽出は、課題全体の遂行に比べて学習者にとってより容易である点が学習課題の特性として重要である。すなわち、学習者にとってより困難な課題全体の遂行を繰り返す必要はなく、構造の抽出という、より容易な課題を反復することで効果的な学習が成立すると言うことができる。

## 学習成果の測度

(1) 構造抽出の転移

知覚学習が個々の事例の記憶にもとづくのではなく、不変の構造の抽出に基礎をおくことは、学習が PLM と同じ構造をふくみながら一見異なる文脈へと転移することによって示される必要がある。分数の例では、コンピュータを使った分類 (PLM) において学習された構造の抽出は、紙と鉛筆を使って実際に分数の問題を解く、という事後テストに転移していた。

(2) 速度の指標における変化

知覚学習の過程では構造の抽出が可能となると同時に、その抽出がより短時間で可能となる。すなわち、行動的な測度として、課題解決の正答率が上昇することと反応 (所要) 時間の短縮が観察される。すでに概念的知識が習得されながら課題の遂行速度が低い事態におい

ては、知覚学習によって反応時間が短縮することが予測される。中学生の代数の計算における知覚学習を検討した例（Kellman et al., 2010, 実験2）では、正答率は大きく上昇しなかったが、PLMによって、正当に至る反応時間が大きく短縮した。

### (3) パターン認知と概念的知識の分離

課題解決成績と遂行速度の上昇が、パターン認知における知覚学習の効果によるものであって、概念的あるいは手続き的知識の習得によるものではないことは、測度の点では具体的にどのように示されるであろうか。分数 PLM においては、2つの PLM 条件と統制条件はいずれも授業形式の教示を受けていたが、PLM 条件においてのみその後の介入、すなわち知覚学習訓練を受けた。したがって、これら2つの PLM 条件と統制条件の間の正答率と反応時間における差異が知覚学習効果の指標となる。もちろん、積極的に概念的知識を中心とする学習条件を設定して、PLM 条件と直接比較することも可能であろう。

### (4) 遅延事後テスト

知覚学習による行動変容が、一時的な注意や方略の変化と区別されるためには、比較的永続的な変容であることが示されなければならない。したがって、直後テストに加えて遅延事後テストの導入が求められる。先の分数の例では、9週間後の遅延事後テストにおいても正答率が高く維持され、特に混合 PLM において顕著であった。

## 知覚学習において抽出が促進される構造

以上のように、知覚学習の効果を検証するためには、いくつかの課題特性と測度の設定が必要である。その中でも、特に対象の構造との交渉を必要とする課題の設定がもっとも先に検討される必要があるだろう。それでは、対象の構造との交渉、すなわち構造の抽出とは具体的にどのようにして保証されるであろうか。分数 PLM においては、いくつかの表現形式に共通する論理的関係として構造を仮定することができた。以下では、このような論理的な関係とは異なる空間的、視覚的關係についての構造を取り上げて、知覚学習の新たな側面を検討する試みについて述べよう。視覚的關係における構造は分数 PLM の表現形式のひとつである分数の図示として取り上げられ、他の表現形式との変換が可能であることが示されたが、どのような視覚的、空間的關係が知覚学習を促進するのかは未解決の問題である。

視覚的關係の知覚学習に関して、すでにわれわれは前稿（鵜沼・長谷川, 2011）においてジ



ジグソーパズル課題における知覚学習の可能性を指摘した。そこでは、学習者のパズル経験によってパズルのピースを探索し結合する際の知覚、すなわち情報抽出が促進されること（鶴沼・長谷川, 2001, 2002）が示唆された。さらに Unuma et al. (2012) は直接にパズルについての経験、すなわち学習に介入し、これを実験的に操作することで学習によってパズル遂行の知覚的な側面が変容することを示した。実験は、絵画を材料としたジグソーパズルのピース間の関係を判断する事前・事後テストと、それらの間に設定された幾何図形を材料とした知覚学習訓練（PLM）の介入から構成された。以下では、パズルのピース間の視覚的關係の抽出が、介入した知覚学習としての PLM によっていかに促進されたのかを述べることにしよう。

事前テストおよび事後テストで用いられたジグソーパズルは、既存の絵画をもとに作成されたピースを材料とした。一例を挙げれば、Figure 1 における 9 つの要素がピースとして選択された。ジグソーパズルの外周の凹凸の影響をのぞきパズル上の絵画パターンのみを手がかりとしてピースを照合させるために、ピースは正方形とされた。また課題の困難度を統制するために、ピースの回転は許さなかった。事前テストと事後テストでは、それぞれ 5 種、計 10 種の異なる絵画が素材として用いられ、事前と事後では異なるパズルが用いられた。課題はターゲットとなるピース（Figure 1 の中央のピース）と、その周囲の 8 つのピースから選ばれた 4 つのピースからなる選択肢が観察者に提示され（Figure 2）、選択肢のなかからターゲットと 1 辺を接して連続するただ 1 つのピースを選択することであった。事前テストと知覚学習への介入の実施は同日におこなわれ、事後テストはそれから一週間後におこなわれた。

知覚学習段階では、簡単な幾何学図形からなるターゲットと 2 つの選択肢からなる PLM 条件（Figure 3）と、同一の材料からなる統制条件が設定された。PLM 条件ではターゲットと接して連続する図形を選択することが求められ、学習者の反応の反応時間が測定された。また試行ごとに正解がフィードバックされた。一方、統制条件では同様の刺激配置でターゲットと同一の図形を選択することが求められた。いずれの条件においても、試行数は 400 試行であった。ターゲット図形と選択肢は、複数の幾何図形からなる異なる 5 種類の原材料パターンの一部をランダムに切り取ったものであった。

実験の結果、統制条件では事前テストから事後テストへと正答率の上昇も反応時間の低下もともには見られなかった。これに対して PLM 条件では、正答率の上昇は認められなかったが、反応時間は低下した。すなわち、統制条件にくらべて、PLM の介入によって情報の抽出はより効率的に変容した。

Unuma et al. (2012) における知覚学習への介入（PLM）は、前述した知覚学習を検証するために課題特性と学習測度の要件を満たすものである。すなわち、PLM はパズルの視覚的構

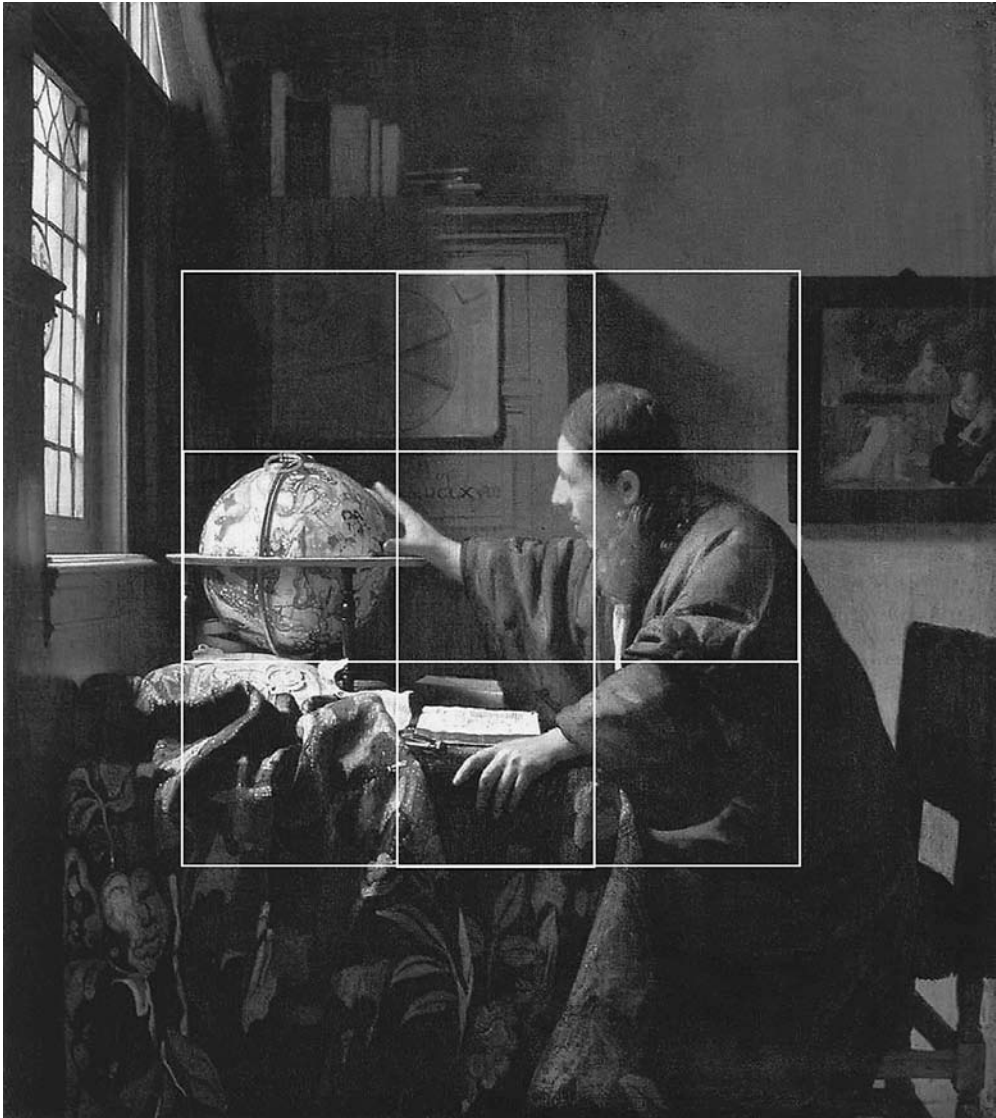


Figure 1. Example of a jigsaw puzzle used in Unuma et al. (2012). Nine square pieces of a puzzle were presented to observers.

造との交渉、ジグソーパズルの未遂行とそれに代わる多数の変化する事例の分類を備えていた。さらに、PLMにおける課題は、事前および事後テストにおける課題よりも容易なものであった。すなわち、事前・事後テストのジグソーパズルは、複雑な輪郭線と微妙なテクスチュ

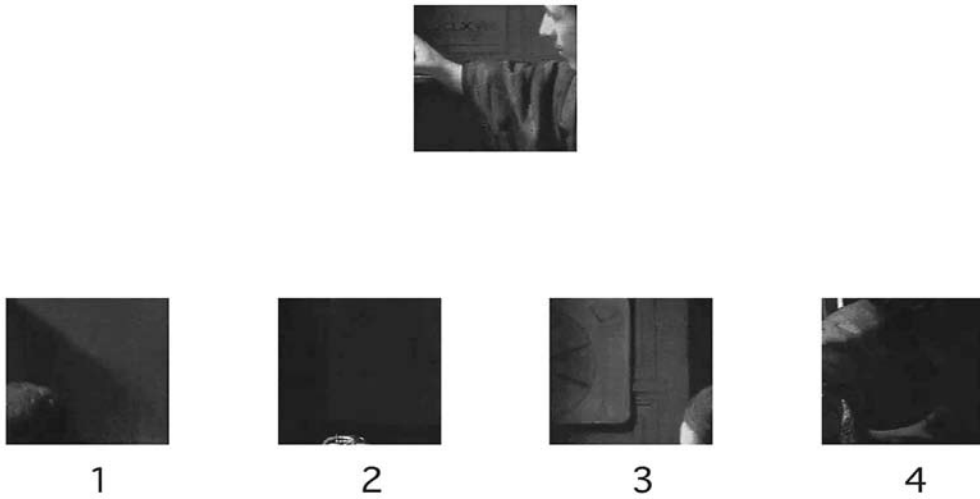


Figure 2. Example of a display in the pre-test and post-test. Observers were required to select which of the four choices on the bottom can be connected with the target at the top (Unuma et al., 2012).

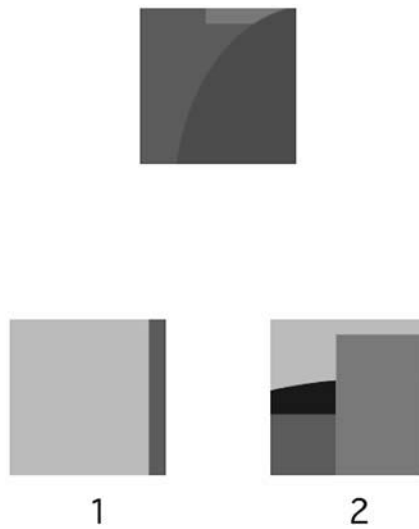


Figure 3. Sample problem from the PLM. A target appeared at the top and the learner selects which of the two alternatives on the bottom can be connected with the target (Unuma et al., 2012).

アをもった既存の絵画であり、また4つの選択肢からの選択が課題であったのに対して、PLMではより明瞭な形をもつ幾何図形が材料であり、選択肢も2つに限定された。また、試行数は400試行であり、これは Kellman et al., (2008) と同様に、Karni & Sagi (1993) などの単純な方位弁別の知覚学習における試行数よりも少ない試行数であった。

学習測度の面からも、一週間後の遅延事後テストにおいて反応時間の低下がみられたことは、ジグソーパズルの課題解決において PLM が構造の抽出を永続的に変容させたとみなすことができる。また、PLM による学習が、ジグソーパズル課題とは異なる材料を用いておこなわれ、しかも PLM 条件と同様に幾何学図形を材料とした統制条件よりも反応時間が低下したことから、パズルについての概念的知識の学習ではなく、構造の抽出についての学習であったと考えることができる。

Unuma et al. (2012) の実験で用いられた PLM は、幾何図形の輪郭と形の視覚的・空間的な連続性を抽出するものであった。これに対して、Kellman et al. (2008) における分数 PLM は、より抽象的な論理的・数学的な関係を抽出するものであった。これらの PLM は、抽出される構造の抽象化の水準においては異なるとも言えるが、そもそも知覚学習がパターンについてのなんらかの抽象化された学習によって成立すると考えられる (Kellman & Garrigan, 2009; 鶴沼・長谷川, 2011) ことから、2つの PLM はいずれも知覚学習における効果的な介入方法を示していると言えよう。いずれの PLM においても、数百試行の分類学習によって、より効率的な構造の抽出への変容が確認された。さらに、これらの結果は、PLM における個々の事例についての記憶が学習を促進した可能性を否定するものである。PLM において用いられた材料は、事前・事後テストで用いられたものとは異なるものであった。したがって、PLM における知覚学習が、新奇な材料と文脈へと転移することが示されたと言えるだろう。すなわち、PLM において学習された情報抽出が、一般的・抽象的な水準における学習であったことが示唆される。

### 知覚学習への介入：今後の展望

知覚学習において抽出される対象の構造については、今後さらに具体的な検証が期待される。Unuma et al. (2012) は視覚的な関係としての空間的構造を、輪郭と表面の連続性という側面から検討した。このような空間的な連続性は、空間的に情報を統合する知覚系の基礎的な機能である空間的統合 (Kellman & Shipley, 1991) に関連すると考えられる。さらに、日常的な事態では、情報の統合が時間的にも隔たった対象あるいはその部分間でも成立するという

時間空間的統合 (Palmer, Kellman, & Shipley, 2006; Unuma, Hasegawa, & Kellman, 2010) においても、知覚学習が成立することによって対象の構造からの情報抽出が可能となると考えられる。したがって、空間的あるいは時間空間的に広がりをもつ知覚系の探索的な情報抽出が、知覚学習によっていかに変容するのかを明らかにすることは、今後さらに検討される必要があるだろう。

文章や数式、あるいは図表として表現された論理的な関係としての構造については、Kellman et al. (2008) が検討した数学的な問題解決における知覚学習の効果にとどまらず、より広範な教育的事態における構造の抽出が検討されることになるだろう。伝統的な教育方法においては、言語的な教授にもとづく高次認知過程における概念的あるいは手続き的知識の学習が中心となってきたが、知覚学習による論理的な構造の抽出の促進は、これまでの教授法が取り上げて来なかった新たな教授法を示唆するものである。また、このような論理的な構造の抽出が概念的知識などといかに関わるのか、すなわち高次過程からのトップダウンによってどのように説明されるのかは、今後に残されたより理論的な問題と言えよう。

## 引用文献

- Ahissar, M., & Hochstein, S. (2004). The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *Trends in cognitive sciences*, 8 (10), 457-64.
- Chase, W., & Simon, H. (1973). Perception in chess. *Cognitive psychology*, 61, 55-61.
- Diamond, R., & Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: An effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115 (2), 107-117.
- Garrigan, P., & Kellman, P. J. (2008). Perceptual learning depends on perceptual constancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105 (6), 2248-53. doi:10.1073/pnas.0711878105
- Gibson, E. J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. New York: Prentice-Hall.
- Goldstone, R. L. (1998). Perceptual learning. *Annual review of psychology*, 49, 585-612.
- Goldstone, R., Landy, D., & Son, J. Y. (2008). A well grounded education: The role of perception in science and mathematics. In M. de Vega, A. Glenberg, & A. Graesser (Eds.), *Symbols, embodiment, and meaning*. (pp. 327-356). Oxford Press.
- Karni, A., & Sagi, D. (1991). Where practice makes perfect in texture-discrimination: Evidence for primary visual-cortex plasticity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88 (11), 4966-4970.
- Karni, A., & Sagi, D. (1993). The time course of learning a visual skill. *Nature*, 365, 250-252.
- Kellman, P. J., & Garrigan, P. (2009). Perceptual learning and human expertise. *Physics of life reviews*, 6, 53-84.
- Kellman, P. J., Massey, C., 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. *Pragmatics*

- © *Cognition*, 16 (2), 356–405.
- Kellman, P. J., Massey, C. M., & Son, J. Y. (2010). Perceptual Learning Modules in Mathematics: Enhancing Students' Pattern Recognition, Structure Extraction, and Fluency. *Topics in Cognitive Science*, 2 (2), 285–305.
- Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (1991). A theory of visual interpolation in object perception. *Cognitive Psychology*, 23, 141–221.
- 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 (4), 513–41.
- Petrov, A. A., Doshier, B. A., & Lu, Z.-L. (2005). The dynamics of perceptual learning: an incremental reweighting model. *Psychological review*, 112 (4), 715–43.
- Sagi, D., & Tanne, D. (1994). Perceptual learning: learning to see. *Current opinion in neurobiology*, 4 (2), 195–9.
- 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*. San Diego: Academic, pp. 83–126
- Thai, K., Mettler, E., & Kellman, P. (2011). Basic Information Processing Effects from Perceptual Learning in Complex, Real-World Domains. In L. Carlson, C. Holscher, & T. Shipley (Eds.), *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society. Boston, MA: Cognitive Science Society.* (Vol. 11, pp. 555–560).
- 鵜沼秀行・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.
- 鵜沼秀行・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.
- 鵜沼秀行・長谷川桐 (2012). ジグソーパズル課題における知覚と知覚学習. 川村学園女子大学研究紀要 23, 93–116.
- 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 (4), 268–280.
- Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P. J. (2012). Perceptual learning in jigsaw puzzle. *Journal of Vision*, 12 (9), 688. doi: 10.1167/12.9.688