

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 9 月 17 日現在

機関番号：32514

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12615

研究課題名（和文）物体知覚における形の抽象的な表象形成過程

研究課題名（英文）Formation Process of Abstract Shape Representation in Object Perception

研究代表者

鵜沼 秀行（UNUMA, HIDEYUKI）

川村学園女子大学・文学部・教授

研究者番号：40211081

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、物体の位置、方向、大きさなどの変化に対して不変な抽象的知覚表象の形成を取り上げて、その情報処理メカニズムのモデルを提案することを目的とした。人間の物体知覚が近年の代表的な人工視覚研究の手法のような画像の表面特徴にとどまらない抽象的な形に表象に基づくことが検討された。線分の方位などの基本的な特徴から物体の不変の形が知覚される過程について、一定の曲率をもった曲線が記述されることで、大きさ不変の形の表象が形成されることが可能であることが検討された。特に情報処理の時間過程については、知覚的なゲシュタルトが視覚情報貯蔵(VIS)から次の処理段階への移行期に生じていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、人間の物体知覚が近年の代表的な人工視覚研究の手法のような画像の表面特徴にとどまらない抽象的な形に表象に基づくことを示した。線分の方位などの基本的な特徴から物体の不変の形が知覚される過程について特にその時間過程が検討され、その結果から知覚的なゲシュタルトが視覚情報貯蔵(VIS)から次の処理段階への移行期に生じていることが示唆された。これらの結果は、人間の物体知覚の抽象的な表象の時間過程を具体的に明らかにすることで、今後の人工視覚研究に新たな課題を提示するものである。また、本研究は、脳神経科学において日常的な知覚経験と基礎的な視覚特徴の処理の間を埋めることに寄与する意義をもつ。

研究成果の概要（英文）： In human object perception, the perception of objects remains relatively unchanged in the face of retinal image variations in size, orientation, or the position of external objects. This suggests the crucial role of abstract shape perception in visual object recognition. The present research explores the process of abstract representation formation, emphasizing the influence of encoding time on shape representation. Various experimental paradigms are evaluated to elucidate the presence and functional implications of abstract representations. We propose that abstract representations are generated between 100 ms and 200 ms after the transient registration of physical features (Unuma & Hasegawa, 2024), and that the formation of abstract shape representations are accomplished during this process based on Gestalt principles.

研究分野：知覚心理学

キーワード：Object Perception Visual Representation Shape Perception Abstract Representations Encoding Time

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

人間の認知活動において、物体知覚 (Object Perception) は、基本的な情報の表現を提供すると考えられている (Baker & Kellman, 2018; 鶴沼・長谷川, 2022)。知的体制化や、視覚的注意においては、物体 (Object) の水準で情報の統合と選択が行われることが示されてきた (Palmer, 1999; 鶴沼・長谷川, 2007)。また、学習や記憶における高次の情報よりにおいても、物体の水準における情報の抽出と符号化の役割が重要と考えられている (鶴沼・長谷川, 2013, 2021, 2022)。このような物体の知覚を可能にする情報の表現が、知覚システムにおいてどのように形成されているのかは、人間の知覚の基本的な問題である。しかしながら、刺激入力の大きさや明るさ、空間内の位置などの属性の変化にも関わらず、不変の物体知覚が成立するという問題は、いまだに十分に解明されていない (Kellman & Garrigan, 2009; 鶴沼・長谷川, 2007)。

物体知覚が物体の大きさや位置、構成要素などの部分的特徴の変化にも関わらず、いわゆる恒常性の水準において成立することが示唆されてきた (Garrigan & Kellman, 2008)。物体知覚に基づく対象の弁別、分類、学習は、対象が大きさ、位置、方向などで様々に変化する事例が存在するにも関わらず、不変の対象の知覚に基づいて行われると考えられる。このような不変の物体の知覚は、対象の構造についての記述、すなわち「抽象的な」形の表象 (Fig.1) によって可能になると考えられる (Garrigan & Kellman, 2008; 鶴沼・長谷川, 2022)。

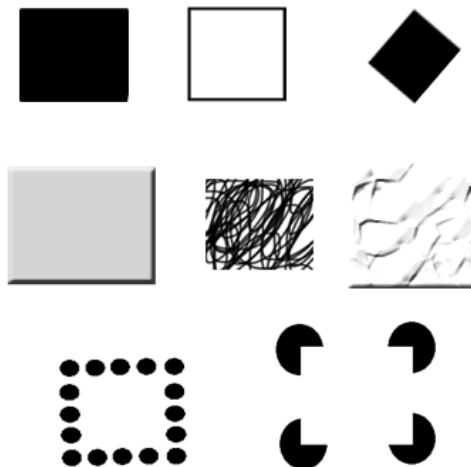


Figure 1. 不変の「形 (shape)」の知覚。様々に変化する表面特徴や構成要素にも関わらず、「四角形」の知覚が成立する。これらの図形に共通する「四角形」は、抽象的な関係としての形である。Kellman & Garrigan (2009), Figure 4 をもとに作成 (鶴沼・長谷川, 2022)。

### 2. 研究の目的

抽象的な形の表象についての議論が続いている理由は、知覚が表面的な特徴や物体の位置、大きさなどを超えた抽象的な水準で成立するにも関わらず、「抽象」の概念が明確ではないこと (Barsalou, 2003) にある。本研究は、実験的・操作的に「抽象的な形の表象」を心理物理課題において定義することによって、その存在と形成の時間過程を明らかにする。その試みは、ヒトによる知覚の抽象性ばかりでなく、人工のシステムにおける「抽象的な」物体知覚の理解の進展に貢献することが期待される。

### 3. 研究の方法

具体的な心理物理的実験の課題と材料について、Baker & Kellman (2018) はドットで作成した刺激 (Fig. 2) を作成し、大きさや位置、方向で変化させた対象の分類課題を設定した。

局所的には輪郭や方向を持たないこれらの刺激は、それでも全体としては大きさ、位置、方向などの変化にもかかわらず、全体としては一定の形 (shape) を持つ。被験者はその形に関する分類では、形以外の変化を捨象して容易に課題を遂行した。

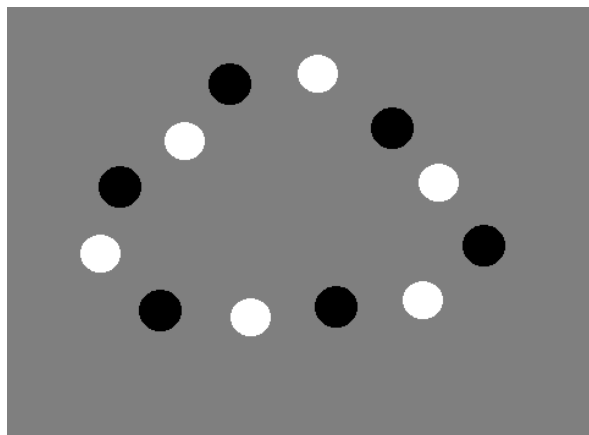


Figure 2. Baker & Kellman (2018) において用いられた刺激材料 ( Baker & Kellman (2018) をもとに作成しなおしたもの)。提示された刺激は、位置、方向、大きさで変化したが、同一不変の「形」を他の形から弁別することが被験者に求められた (鶴沼・長谷川, 2022)。

本研究は、 Baker & Kellman(2018)が用いた心理物理的パラダイムを中心に、実験データと認知科学的情報処理モデルについて比較検討を行い、物体知覚における抽象的な表象の形成過程を検証した。

#### 4. 研究成果

(1) 抽象的な形の表象形成の過程について、その時間過程が具体的なデータを総合的に比較することから明らかにされた。鶴沼・長谷川 (2022) は、人間が抽象的な形の水準の表象を形成する過程を、処理時間による表象形成の変化によって捉えることができる (Baker & Kellman, 2018; Shipley & Kellman, 1994; Unuma, Hasegawa, & Kellman, 2010) ことを指摘した。Baker & Kellman (2018) は上述の材料 (Figure2) の分類課題を用いて、刺激の提示時間の関数としての正確度 (accuracy) と、分類成績の  $d'$  を分析した。その結果、分類成績の精神測定曲線 (psychometric curve) から、30ミリ秒の処理時間ではチャンスレベルであった成績が、処理時間が長くなるにつれて単調に110ミリ秒まで上昇し、110ミリ秒以上では変化しなかった。この結果は、被験者が110ミリ秒までの処理時間で抽象的な形の表象を形成することを示唆した。一方、Unuma, Hasegawa, & Kellman (2010) は、主観的輪郭線図形を材料として、その構成要素である誘導図形を継時的に提示して、主観的輪郭線が補間されて主観的輪郭線図形が知覚される時間範囲を検討した。輪郭線の位置と精度を測定した結果、185ミリ秒までの範囲で高い精度で輪郭線が形成されることが示された。鶴沼・長谷川 (2022) はこれらの結果を総合して、185ミリ秒までの範囲では、視覚情報貯蔵 (Sperling, 1960) において高い精度で表象が形成されるが、その形は物理的に直接規定される位置から変位するが、これに対して、より長い時間範囲では作動記憶における視空間スケッチパッド (Baddeley & Hitch, 2010) 内において時間的に情報が統合されて形の表象が形成され、その精度において185ミリ秒以下とは異なることを指摘した。

(2) 物体知覚のモデルという観点から、処理単位となる視覚特徴から抽象的な形の表象に至る具体的なモデルが提案され、人間の物体知覚と人工的なシステムの差異が指摘された。鶴沼・長谷川 (2023) は、構造記述モデルが人間の物体知覚、そして人工のシステムにおいても重要な側面、全体的な関係の記述を可能にしていると考えられる (鶴沼・長谷川, 2022) こと、これに対して視点に依存した人工システムは、物体知覚において決定的な誤認識を起こすこと (Baker, Lu, Erlikhman, & Kellman, 2018) を指摘した。この問題を解決するには表面的・要素的特徴の処理ではなく、構造記述モデルが仮定する全体的な要素的特徴間の関係、すなわち「形 (shape)」の記述が必要と考えられる (Baker et al., 2021; 鶴沼・長谷川, 2022)。そこで、鶴沼・長谷川 (2023) は、視点依存しない情報の表現を可能にするモデルとして、2次元の形についての抽象的な表象において、輪郭の要素的な特徴である一定の曲率を持った曲線要素 (定曲率輪郭 *contant-curveture contour*) が有効な役割を果たすという仮説を検討した。検討されたモデルの一つは、類似した曲率の要素的部分に輪郭全体を分割し、それらの部分を一定の曲率の輪郭として符号化することで形全体を表現するものである (Baker et al., 2021)。構成要素としての定曲率輪郭 (*contant-curveture contour*、以下CC仮説) から、全体の抽象的な形が表現されると考えることができる (Figure 3)。

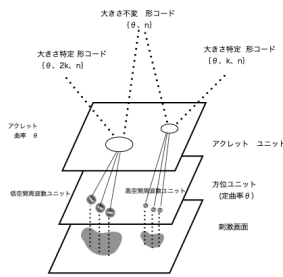


Figure 3. 視覚皮質の方位ユニット、アクレット、大きさ特定および大きさ不変コードの関係 (Baker et al., 2021, Figure2, 3をもとに作成)。

画像における輪郭から活性化した方位ユニットが一定の曲率  $\theta$  の関係にあるときに、その  $\theta$  に対応する高次の検出器がアクレットと呼ばれる。アクレットは、曲率  $\theta$ 、入力される方位ユニットの数  $n$  というパラメータを持つ。空間周波数 (対応する方位ユニットの大きさ  $k$ ) で異なる複数のアクレット (曲率  $\theta$ 、方位ユニット数  $n$ ) は、大きさ  $k$  をふくむ大きさ特定コードと、大きさ  $k$  をふくまない大きさ不変コードを生成する (鶴沼・長谷川, 2023)。

Garrigan & Kellman (2011) は、定曲率をもつ輪郭と持たない輪郭からなる 2 次元の図形を観察者に系列的に提示して異同判断を求めた。図形は定曲率の有無と大きさの両方で独立に操作された。彼らの予測は、図形が定曲率輪郭によって符号化されるならば、定曲率輪郭を持つ図形の方が持たない図形よりも正確に知覚される、というものであった。実験の結果は、定曲率輪郭を持つ図形の方が高い精度で異同判断が行われたことを示した。さらに、2 つの図形が系列提示される時間間隔を操作したところ、時間間隔が 1 秒の時は定率輪郭を持つ図形の方が成績が良かったが、時間間隔が 500ms で 2 つの図形間に大きさなどの変換がない場合には定曲率輪郭の有無による成績の差は認められなかった。この結果は、過渡的な (transient) の保持段階を超えると、大きさによらない抽象的な表象が形成されることを示唆している。Garrigan & Kellman (2011) が報告した符号化の時間的特性、すなわち CC 輪郭によって記述される形の抽象的な表象形成が 1 秒程度の時間の処理を必要とする可能性は、他の実験的な資料とも符合すると考えられる。鶴沼 (2013) は輪郭線の形成される時間空間的条件を検討する実験で、形の知覚的表象が物理的な特性を反する表現からさらに変換される時間過程を検証し、表象の質的な変化を指摘した。CC 仮説が仮定するモデルの時間過程については、今後の検討の余地が残されているが、一定の時間範囲の処理を経て抽象的な形の表象が形成されることが示唆されている (鶴沼・長谷川, 2023, p. 36)。

(3) 抽象的な表象の形成がいわゆるゲシュタルト心理学の提起した知覚的体制化とどのように関わるのかが、処理時間の観点から整理され、総合的なモデルが提示された。鶴沼・長谷川 (2024) は抽象的な表象が形成される符号化時間を中心に理論的な整理を行なった。Baker & Kellman (2018) は上述の分類課題を用いて、刺激の提示時間の関数としての正確度すなわち正答率 (accuracy) と、信号検出理論に基づく分類成績の感度  $d'$  を分析した。その結果、分類成績の精神測定曲線 (psychometric curve) から、30 ミリ秒の処理時間ではチャンスレベルであった成績が、処理時間が長くなるにつれて単調に 110 ミリ秒まで上昇し、110 ミリ秒以上では変化しなかった。この結果は、被験者が 110 ミリ秒までの処理時間で抽象的な形の表象を形成することを示唆した。鶴沼らは、要素的な図形を継時的に提示する実験手続きで形の表象の形成過程を時間条件を中心に検討した (Unuma et al., 2006, 2007, 2008, 2009, 2010a, 2010b)。いずれの手続きにおいても、形成された形の表象の全体的な特性が観察者によって評価・判断された。これらの形の表象はいずれも物理的な要素的特徴を超えた全体の関係によって規定されたものであり、単純な物理的特徴の組み合わせでは説明できない新たな知覚的特性を有していた点で「抽象化」された表象であり、「主観的な」表象とすることができる。これらの結果から、抽象的な形の表象が形成されるための符号化時間は、刺激属性や課題の特性によって変動することが示唆されたが、いずれにしても、100 ミリ秒から 200 ミリ秒以下の範囲で視覚システムが個々の構成要素の処理を超えた全体的な表象を形成し、そこには個々の要素とは異なる全体的な関係が表現されていると考えられる。いわゆるゲシュタルトの原理に基づく知覚的な体制化の現象は、視覚情報処理の初期における過渡的な符号化の段階ではなく、その後の抽象的な表象が形成される段階で成立すると考えられる (Baker & Kellman, 2018, p. 1305)。大山 (2010) が指摘する群化の成立も、視覚情報貯蔵の段階では過渡的である情報が視覚短期記憶へ移行する段階で生じているとされる。さらに Unuma et al. (2010a) において、物理的な位置から変異する錯視的な体制化が成立するために符号化時間が 180 ミリ秒であったことも、知覚的なゲシュタルトが視覚情報貯蔵から次の処理段階への移行期に生じていることを示唆している (鶴沼・長谷川, 2024, p. 22)。本研究は、知覚的ゲシュタルトの成立について、抽象的な「形」の成立と処理時間の関係からそのメカニズムを明らかにしたこと、また人工的なシステムにおける物体知覚との差異を示したことで、認知科学的な意義を持つものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 鷗沼秀行・長谷川桐	4. 巻 34
2. 論文標題 抽象的な形の表象における定曲率輪郭の役割	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 川村学園女子大学研究紀要	6. 最初と最後の頁 29-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 鷗沼秀行 長谷川桐	4. 巻 11
2. 論文標題 物体知覚における形の抽象的な表象形成過程	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 川村学園女子大学大学院研究年報	6. 最初と最後の頁 11,18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究協力者	長谷川 桐  (Hasegawa Hisa)		川村学園女子大学非常勤講師

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------