

ボンガルド問題を利用した文脈による概念形成の模索

Exploring contextual concept formation using Bongard problems

藤堂 健世[†], 吉川 厚^{†,‡}, 山村 雅幸[†]
Kense Todo, Atsushi Yoshikawa, Masayuki Yamamura

[†]東京工業大学, [‡]立教大学
Tokyo Institute of Technology, Rikkyo University
k_todo@ali.c.titech.ac.jp

概要

知覚と概念の関係性についてまだ解決された問題ではないとされている。本研究では、視覚情報から概念形成するとき、文脈によって被験者の認識変化にどのような影響を与えるのか、知覚と認識との関係から概念形成のメカニズムを探る。機械のパタンの認識問題の1つであるボンガルド問題から、様々な認識が可能な問題を用意し、被験者に回答させた。その結果、一度形成した概念が図形の知覚情報により、容易に再構築されない場合とされる場合が生じた。

キーワード：概念, 概念形成, ボンガルド問題

1. はじめに

概念は人間の知覚、動作、記憶、伝達などを含む認知活動の中核となっている。そのため、概念について研究が様々な側面からされてきた。例えば、概念獲得方策の研究[1]や概念に及ぼす文脈の効果についての測定[2]である。概念が二重の表象を持つ可能性も調べられてきた[3]。また、学習科学の観点からも、概念変化がいかにして引き起こされるか仮説が立てられている。特にコラボレーションが概念変化を引き起こす報告[4]や、断片的知識の再構築により生じるという報告[5]もある。このように概念を構築する上での条件や、獲得した概念がどのような特徴を有するかについての研究は様々な研究がなされている。

しかしながら知覚情報と概念の関係性についてははっきりとした関係性がわかっていない [6]。入力情報としての知覚が概念の構築にどのように作用するのか、知覚情報の文脈により概念の構造が変容するかなど知見は、素朴概念形成や、見たものの心的イメージを形成するうえで重要な知見になりうる。

本研究では、視覚情報から概念形成するとき、文脈によって被験者の認識変化にどのような影響を与えるのか、知覚と認識との関係から概念形成のメカニズムを探る。ここで概念とは、物事、事象、実態の心的表象として捉え、人は概念化を通して世界の捉え直しを行うとして考えている。この捉え直しを繰り返す行うので概念化も都度行われていると考えている。

1.1. ボンガルド問題について

今回の実験の材料として、「ボンガルド問題[7]」を利用する。ボンガルド問題は、コンピュータのパタン認識におけるベンチマーク問題として扱われており [8]、6枚ずつ左右2つのグループに分けられたパタンから、グループの分類に用いられたルールを推測するパズルである。回答者は、左右の違いをそれぞれ回答しなければならない。

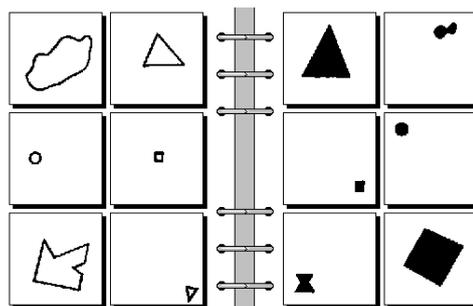


図1 ボンガルド問題の例題 (BP #3)

例えば図1では、「左側のグループは白色のパタンで表されており、右側のグループは黒色のパタンで表されている」と答えることができる。ボンガルド問題を選んだ理由は、提示されたパタンの特徴が形や配置、図形間関係、左右のグループ分けの比較など多岐あり、これらから被験者は何かの特徴を捉えた認識を行い、分類のルールを推測するので、提示パタンによる認識と概念形成との関係が探れると考えたからである。

2. 手法

2.1. 利用したボンガルド問題と提示順番

実験に利用した基本となるボンガルド問題を図②に示す。今回は5問用意した。この5問はそれぞれ注目しなければならないルールが異なり、いくつかの問題は複数のルールを組み合わせる必要がある。これは、Bongard Problems で示された「ボンガルド問題を解く際

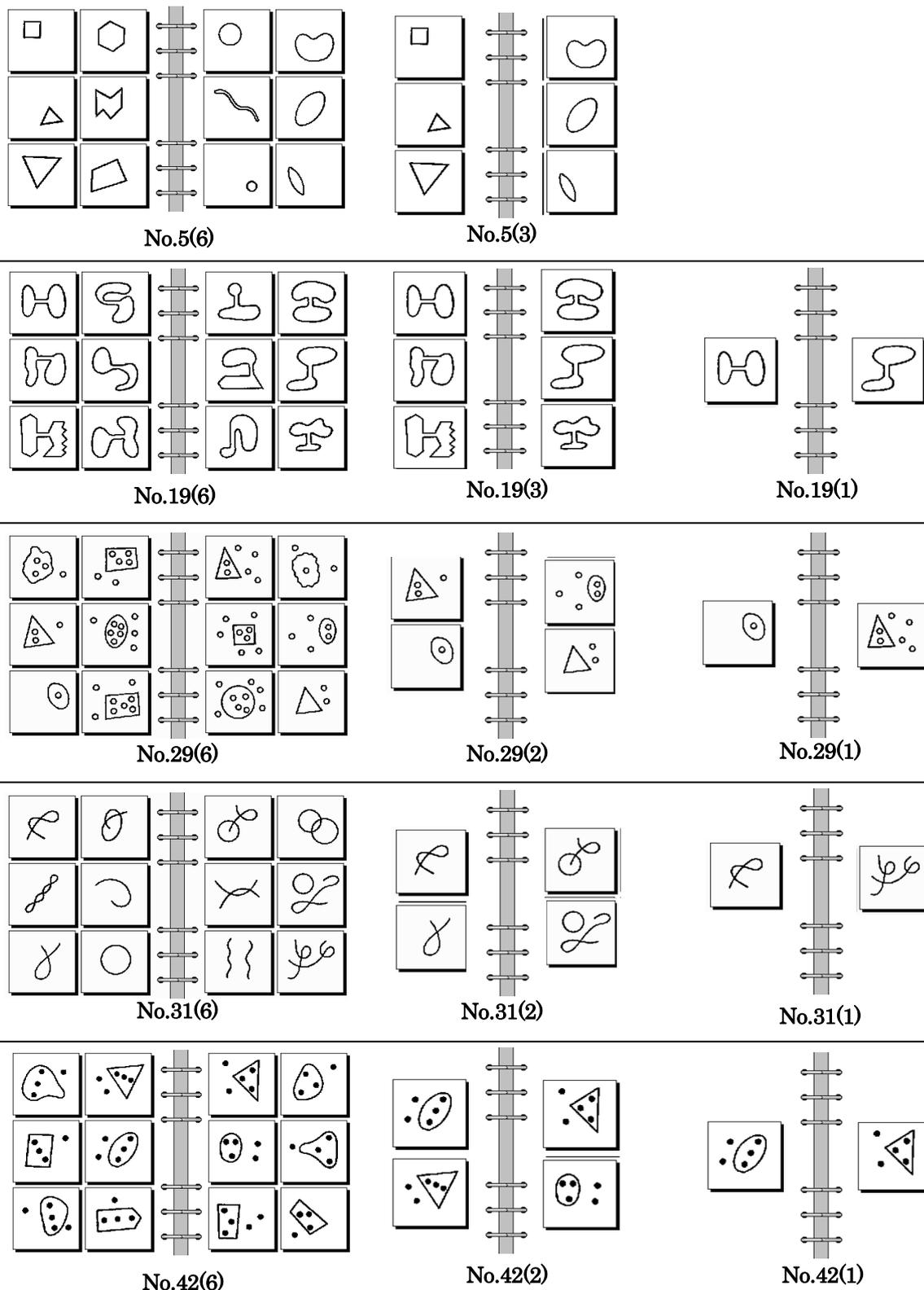


図2 提示したボンガルド問題

に現れる概念(Concepts that Appear in Solutions of Bongard Problems)」を参考にした。それぞれ、No.5 は形状ルール、No.19 はオブジェクトの中の部分的な配置ルール、No.29 は形状による内側と外側の関係性と数のルール、No.31 はオブジェクトの数ルール、No.42

は形状による内側と外側の関係性とオブジェクトに作られる形のルールを比較することで解くことが可能となる。

また、今回の実験においてそれぞれの問題に提示枚数を変更する「提示枚数変更実験」を行った。これは、

被験者に与えるパタンの提示数を基本課題である6枚から1～3枚に減少させ提示させたものである(図3)。これにより、提示枚数の違いによる正答率の変化や抽出したルールの着眼点の変化を確認した。

今回は計14問を作成し1つずつ被験者に提示し回答させた。提示順番を表1に示す。

表1 提示順番表 提示は1行1列目から順番に行った。番号のかっこ内数字は提示枚数を示している。

No.5(6)	No.19(6)	No.29(6)	No.31(6)	No.42(6)
No.5(3)	No.19(3)	No.42(2)	No.31(2)	No.29(2)
No.19(1)	No.29(1)	No.31(1)	No.42(1)	

2.2. ボンガルド問題の基準回答と概念バリエーション

表2は提示される枚数が6枚のボンガルド問題の正答を表している。正答例は Solutions of Bongard Problems[9]を参考に日本語訳を行い作成した。提示した枚数が6枚の時の評価基準を表3に示す。

提示する枚数を減らした場合、被験者が異なるルールで回答をする可能性がある。その時にどのような判断を行われたか確認するために、提示する枚数が6枚のボンガルド問題の答え以外で、その枚数において識別可能な回答を「概念バリエーション」として評価した。例えば、No.31(2)の課題は、線のみで構成されているか、線と丸で構成されているかどうかという「形状ルール」で判断できる可能性がある。また No.31(1)は提示されたオブジェクトの交点の数で判断できる可能性がある。No.29(1)と No.42(1)の問題は、小さな円を囲む大きな図形の形状のみに着目可能なため、左右のルールの違いが「大きな図形の形状」の変化として判断できる可能性がある。

それ以外の判断できない回答を Error として評価した。

表2 ボンガルド問題の正答例

	左	右
No.5	図形が多角形で構成されている	図形が曲線で表されている
No.19	水平方向に首がある	垂直方向に首がある
No.29	図形の外側より内側の円が多い	図形の外側より内側の円が少ない
No.31	1本で構成されている	2本で構成されている
No.42	図形の輪郭の内側の	図形の輪郭の内側の

	点は直線上にある	点は直線上にない
--	----------	----------

表3 ボンガルド問題正答判断基準

No.5	左側を「角がある」、右側を「丸みを帯びている」という答え方でも正解にした。また「左側は角があるが、右側は角がない」という答え方も正解にした。一方、それぞれの図形の共通点を見つけられずそれぞれの種類で答えた場合は曖昧回答として処理をした。
No.19	図形の特定の部分についての記述がある場合や「アルファベットのHに似ている」といった抽象的な形について答えられる場合正答とした。一方「全体の形が横向き」などの全体形状を曖昧に答えている場合は、曖昧回答として処理をした。
No.29	小さな円を囲む図形に注目しており、その図形の内側と外側の丸の数に着目しているものは正解とした。小さな円を囲む事のみ注目してある回答は曖昧回答とした。
No.31	「一筆書きが可能か」などの回答も正解とした。
No.42	小さな円を囲む図形に着目しており、その中の円の形状に着目しているものを正解とした。小さな円を囲む事のみ注目した回答については曖昧回答とした。また、囲む事が理解できる記述が1つしかない場合も曖昧回答とした。

2.3. 問題提示方法と被験者

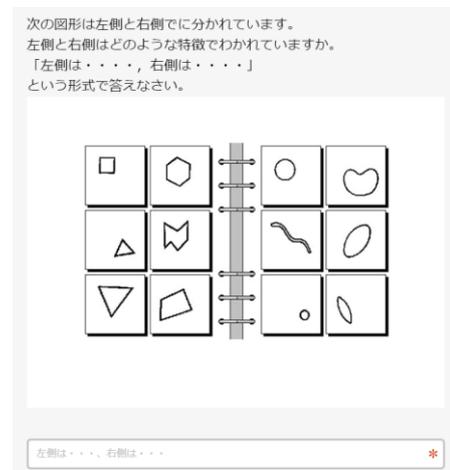


図3 アンケートサンプル

今回は Web アンケートを利用し被験者に問題を回答

させた(図3)。すべての課題に「次の図形は左側と右側で分かれています。左側と右側はどのような特徴でわかれていますか。「左側は……, 右側は……」という形式で答えなさい。」という問題文を提示させた。その下にボンガルド問題を提示した。またルールの記述を自由記述欄に書かせた。特に文章量の制限は行っていない。

今回の実験では、大学生の被験者14名が参加し有効回答数は13名であった。

3. 結果

それぞれの問題とそれぞれの提示枚数変更における正答者数の比較を行った。結果を表4から表8に示す。表の中の太字は、その中で最大値を表す。

表4 ボンガルド問題 No.5

	No.5(6)	No.5(3)
正答	12	12
曖昧	1	1
概念バリエーション	-	0
Error	0	0

表5 ボンガルド問題 No.19

	No.19(6)	No.19(3)	No.19(1)
正答	8	8	5
曖昧	2	3	4
概念バリエーション	-	1	4
Error	3	1	0

表6 ボンガルド問題 No.29

	No.29(6)	No.29(2)	No.29(1)
正答	5	3	4
曖昧	3	2	0
概念バリエーション	-	4	8
Error	5	4	1

表7 ボンガルド問題 No.31

	No.31(6)	No.31(2)	No.31(3)
正答	13	12	13
曖昧	0	0	0
概念バリエーション	-	1	0
Error	0	0	0

表8 ボンガルド問題 No.42

	No.42(6)	No.42(2)	No.42(1)
正答	6	10	5
曖昧	2	0	1
概念バリエーション	-	0	4
Error	5	3	3

No.5(表4)は形状ルールに着目する問題であり、No.31(表7)はオブジェクトの数ルールに着目する問題である。どちらもシンプルなルールで表された課題である。そのためほとんどの被験者が、画像の提示数が減少しても、6枚の基準における正答例を答えていた。

No.19(表5)はオブジェクトの中の部分的構成要素の位置関係ルールに着目する問題であった。標準課題と、提示する数を3枚にした課題の場合に正答者数に差は表れなかった。一方その場合に「局所的な形状」に着目する回答が存在した。概念バリエーションとして採用した回答は「左側は丸っこい形や角っぽい形までさまざまあるのに対して、右側は丸っこい形だけである」である。提示する枚数を1枚にした課題では曖昧記述が増加した。また概念バリエーションとして評価できる、形状に着目するルールやそれに影響されるであろうルールで回答した被験者が増加した。例えば「左側は二つの図形がちょうど真ん中でつながっているが、右側は二つの図形が端同士でつながっている」や「左側は、土台がしっかりしてるけど、右側は、右に絶対傾く」という回答が得られた。

No.29(表6)は形状による内側と外側の関係性と数のルールを合わせた問題である。この問題はすべての課題において正答者数が少なかった。特に提示枚数を減少させたところ、概念バリエーションの数が増えた。2枚提示した場合は、丸オブジェクトの数に着目した回答や、オブジェクトの配置に関する記述が現れた。例えば、「左側は丸の数が少ない、右側は丸の数が多し」である。また1枚提示の場合大きな形状の違いに着目する回答や、丸の数の違いについて着目する回答が現れた。例えば「左側は丸い、右側は三角」などという回答である。

No.42(表8)は形状による内側と外側の関係性とオブジェクトに作られる形のルールを合わせた問題である。この問題では標準課題に比べて、提示する数を2個にした課題(No.42(2))のオリジナル問題と同じ回答した被験者が増加した。一方、提示する数を1枚にし

たところ現れなかった形状の違いのみに着目した概念バリエーションの回答が生じた。例えば「左側は、丸のみで構成されており、右側は三角と丸で構成されている」等である。

4. 考察

これらの結果から、ボンガルド問題により、枚数を減少させたとしても、回答の内容が変化しない場合(No.5, No.31)と、大幅に回答が変化し様々な概念バリエーションが登場する場合(No.19, No.29, No.31)の2つが存在することが明らかとなった。また概念バリエーションとして提示されなくても、新しく問題をとらえ直そうと試みている傾向も確認された。これは問題からの知覚情報によって獲得した問題概念が保持される問題と、保持されない問題が存在することを意味している。この違いが発生した理由を視覚情報からの概念形成がどのように進むかに着目して推測する。

ルールが1つであり形状や数といった単純な問題の場合、6枚で見た問題概念が保持されやすい傾向がある。これはNo.31の視覚情報に「丸と線の問題」という抽出しやすい形状ルールが存在する場合でも、認識が変化しなかったことから示唆された。

一方、視覚情報としてわかりやすい形状に着目するルールが複数ある場合や部分的な形状に注目しなければならない場合、問題概念が保持されにくく、新しい知覚情報によって、概念を再構築する傾向がある。特にNo.42の提示パターンが1枚において、「シンプルな形状」の強い視覚情報により、概念変容されたと考えられる。またNo.19においても、部分的構成要素の位置関係よりも、形状の視覚情報やそれに伴う認識が強く作用したと考えられる。

同じく複数ルールでかつ視覚情報として直接的でない数などの要素に着目しなければならない場合(No.29)は、そもそも視覚情報としてルールの概念形成がうまくいかないため、常に概念変容をせねばならなくなり、曖昧な回答や概念バリエーションが増加したと考えられる。

図形の知覚情報により、形成される概念の保持に差があることが示唆された。視覚情報が単純な場合、概念が保持され新しくわかりやすい要素が視覚情報として入ったとしても、形成した概念が変容しにくい状態になるが、視覚情報が曖昧な場合、概念が保持されず、類似する視覚情報やよりシンプルな視覚情報により概

念が再構築され別の認識として出力されると考えられる。

どのような視覚情報が概念変容に寄与するか、提示順番などの文脈の影響や個人差に関しては不明な部分が多い。また視覚情報以外のモーダルは関与するのか、過去に獲得した概念の影響は存在するなどの問題点もある。そのため、今後はこの知見を基に、様々な問題の提示手法や個人間の誤差について実験を行い、知覚情報による概念形成、変容のモデルについて検討を深める。

文献

- [1] Bruner, J. S., & Austin, G. A. (1986). A study of thinking. Transaction publishers.
- [2] Labov, W. (1973). The boundaries of words and their meanings. New ways of analyzing variation in English.
- [3] Armstrong, S. L., Gleitman, L. R., & Gleitman, H. (1983). What some concepts might not be. *Cognition*, 13(3), 263-308.
- [4] Roschelle, J. (1992). Learning by collaborating: Convergent conceptual change. *The journal of the learning sciences*, 2(3), 235-276.
- [5] diSessa, A. A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.) *Mental models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- [6] Frixione, M., & Lieto, A. (2014). Concepts, perception and the dual process theories of mind.
- [7] Bongard, Mikhail M. (1970). *Pattern Recognition*. New York: Spartan Books
- [8] Hernández-Orallo, J., Martínez-Plumed, F., Schmid, U., Siebers, M., & Dowe, D. L. (2016). Computer models solving intelligence test problems: Progress and implications. *Artificial Intelligence*, 230, 74-107.
- [9] Harry E. Foundalis" Index of Bongard Problems" (最終閲覧日: 2020年7月30日) <http://www.foundalis.com/res/bps/bpidx.htm>