

# 二重構造を持つ問題としての洞察問題の実験的検討

## An experimental examination of the insight problem as a problem with a dual structure

岡崎 優実<sup>†</sup>, 日高 昇平<sup>†</sup>, 鳥居 拓馬<sup>†</sup>  
Yumi Okazaki, Shohei Hidaka, Takuma Torii

<sup>†</sup>北陸先端科学技術大学院大学  
Japan Advanced Institute of Science and Technology  
okazaki@jaist.ac.jp

### 概要

本研究では洞察問題が、「問題が何か特定せよ」という二次問題と、それに答えて完成する一次問題の指示に従うことで解答を導く二重問題構造であると仮説を立て、検証のため二値化曖昧画像に写る動物を見つけて回答する二値画像課題を用いて実験した。その結果、解答者の視線の代理指標としたマウスの軌道がひらめきの有無によって異なる結果を示すことが示唆され、二値画像課題が二重構造をとることが示唆された。

**キーワード**：洞察問題解決、二値画像、二次問題

### 1. はじめに

人は初めて出会う問題に対して、経験や知識をもとに解を導く。このような問題解決で、悩んだ末に不意に解を思いつく場合がある。このような解のひらめきのある問題解決を洞察問題解決と呼ぶ(Metcalf & Wiebe, 1987)。洞察問題解決には、すべての研究者が合意する定義はなく、その機序には未解明な点が多い。本研究は洞察問題解決の認知過程の解明を目的とし、洞察問題の持つ本質的な問題構造について次節で示す仮説を立て、それを実験的に検討する。

### 2. 洞察問題の二重構造仮説

本研究では、問題解決を、求めるべき内容の指示書である「問題文」から、その内容を満たすべき「解答」を導くことと考える。洞察問題ではない通常の問題解決で、解答者は「問題文」から問題の指示を理解し、解答を導こうとする。

一方の洞察問題解決は、解答者にとって指示が「問題は何であるか特定せよ」という二次問題(メタ問題)になっていて、二次問題に解答することで明らかになる一次問題(特定すべき問題)の指示に従い、解答を導く特殊な問題解決と捉える。洞察問題の解答者は、与えられた問題文から直接指示を読み取ることはできない。これは一次問題が未完成で、従うべき指示が不明なためである。このとき、二次問題は「問題は何であるか特定せよ」(「一次問題の問題文を完成せよ」)

と考える。解答者はこの指示に従い二次問題の解を導くことで、完成した一次問題を導くことができる。解答者はこの一次問題の指示に従うことで、与えられた問題文の解を導くことができる。従って、未完成な一次問題の解答を導くには、二次問題に答えて、一次問題の指示を明らかにする必要がある。一次問題を特定するには、その一次問題の答えがただ一つに定まる性質に基づいて推論をすると考えられるため、一次問題と二次問題の二つは同時に解決し、それがひらめきの感覚につながると仮説をたてた。

### 3. 謎解き検定の課題分析

洞察問題の二重構造を確認するために、「第5回謎解き検定」(以下、謎検と表記する)の課題を分析した。結果として、一部の課題で二重構造を確認できた。問題番号15の問題を例に、表1に二重構造を示す。

問題文は図1である。問題文からは、解答者は表示された画像の中の?に入る適切な解答を「P」と「C」から選択することが求められていると読み取れる。だがこの一次問題は未完成であり、直接読み取れる指示からでは、適切な解答を導くことはできない。このとき二次問題は「一次問題は何であるか特定せよ(一次問題を完成させよ)」となっていて、解答は表1に示すような指示文である。この指示が完成した一次問題の問題文である。解答者はこれに従うと、適切な解答が「P」と特定できる。

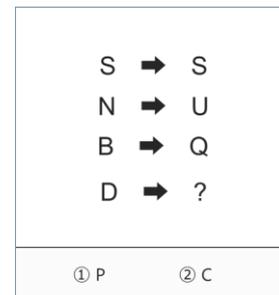


図1 第5回謎解き検定(引用)の問題15

(図は原文を基に、著者が図を再構成したもの)

表 1 第 5 回謎解き検定 (引用)の問題 15 の問題構造

問題	未完成な一次問題	二次問題	完成した一次問題 (特定された一次問題)
指示	図1の?にあてはまる適切なものを①か②から選べ.	一次問題を特定せよ (一次問題を完成させよ).	特定した一次問題の指示に従って, 図1の?にあてはまる適切なものを①か②から選べ.
解答	不可	(1)表示されているアルファベットをすべて小文字で表記せよ (2) 上から4段目について, 以下の①②を満たし?に入るアルファベットを選択肢から選べ. ①矢印の左側のアルファベットを小文字で表記したものを180度回転させると, 矢印の右側のアルファベットを小文字で表記したものと一致する. ②上3段は, (1)(2)を満たす例になっている.	① P

表 2 二値画像課題の二重構造

問題	未完成な一次問題	二次問題	完成した一次問題 (特定された一次問題)
指示	図2に写る動物を答えよ.	一次問題を特定せよ (一次問題を完成させよ).	図3に写る動物を答えよ
解答	不可	図2に写る動物を答えるのに十分な画像の一部を特定し, それが何の動物であるのかわかること.	クマ

#### 4. 二値画像課題の二重構造

洞察問題の二重構造仮説を検証するための課題として, 写体の境界を曖昧にした二値画像を用いる. このような画像を見たときに, 何が写っているか分からない状況から, あるとき何が写っているかをひらめくことがある(Giovannelli et al., 2010). すなわち, 二値曖昧画像から何が写っているかを見つけて答える過程を洞察問題解決と捉えることができる(石川ら, 2013). こうした背景を踏まえ, 本研究では写体の境界を曖昧にした二値画像を提示して, 「写っている動物名を答えよ」と出題する二値画像課題を扱う.

二値画像課題は問題構造自体が空間的であり, 問題解決に直結する指標として解答者の視線を取得することが可能と考える. 洞察問題解決研究において視線情報の利用は解決過程を明らかにするために有効と考えられており (Knoblich, Öllinger & Spivey, 2005), 本研究では解決過程解明のために有意義な視線情報が取得できると考え, 二値画像課題を使用した. また課題に用いる二値画像は複数作成することができ, 量産可能なことも課題の選択理由に挙げられる.

図2を例に, この課題の二重構造を示す. 解答者が図2を白い背景に黒の線や点がランダムに描写された

二値画像と認識するとき, 解答できない. これはそのように認識する場合には図2を含む一次問題=「この領域にいる動物を答えよ」が未完成なためである. 問題文に解答するには, 「一次問題を特定せよ」すなわち, 「どの領域に動物がいるか」を特定せよ」という二次問題の指示に従う必要がある. 二次問題の正解は, 写る動物を理解した図3のような図になる. ただし, 解答者が一次問題特定するのに十分な範囲のうち最小でよい. この二次問題に解答したとき, 一次問題は「この特定された領域(図3)に写っている動物名を答えよ」と再構成され, 解答者は指示に従い「クマ」と解答を導く.



図 2 二値画像の例



図3 「図2に何が写っているか」ひらめいた後に回答者が得られていると考えられる動物の領域を特定したイメージの模式図

## 5. アプローチ

洞察問題解決の際に解答を思いつく前から、解答に近づいていると知覚することがあり、先行研究ではAha体験の有無と主観的な解への近さの知覚に関係があると報告されている(Kizilirmak et al, 2018).

前述のように二値画像課題が二次問題の構造をとるならば、二値画像課題では図2のような画像から動物を認識するのに十分な画像の一部を見つける過程に付随して解への近さの知覚が起こると予想される。この解への近さの知覚が、二値画像上で領域を探索し特定しようとする行動に反映されるならば、解答者の視線は動物の写った領域に徐々に集中し、また視線の集中度合いと、主観的な解への近さの知覚には相関があると予想される。

## 6. 実験方法

### 6.1 二値画像の作成と選定

課題に用いる二値画像は、動物の写る自然画像と背景となる自然画像を組み合わせで作成した。動物は知名度が高いと思われる哺乳類19種類(クマ、ラクダ、ネコ、ウシ、シカ、イヌ、ゾウ、キツネ、キリン、ゴリラ、カンガルー、ヒョウ、ライオン、パンダ、ブタ、ウサギ、ヒツジ、リス、トラ)の写る画像を用いた。動物の写る自然画像からは動物のみを切り出し、背景となる自然画像からは600pixel×600pixelのサイズを切り出した。動物画像と背景画像を組み合わせ、動物画像と背景画像それぞれの二値化閾値とガウスぼかしのカーネルサイズを調整して、約60枚の画像を作成した。そのうち実験者が適切な難易度であると判断した30枚を実験課題として採用した。

### 6.2 実験環境

本実験は、実験参加者が各自所持するコンピュータ上でオンライン実験をおこなった。オンライン実験のため、視線計測機器の使用ができなかったため、視線の代理指標として、参加者が課題にとりくむ際のマウスの軌道の時系列データを取得した。

### 6.3 手順

実験参加者は各自所持するコンピュータ上で実験画面の提示、操作、回答した。提示した各二値画像は600pixel×600pixelであるが、以下実験参加者ごとに実験時に見ている画像サイズは統制できていない。参加者は練習試行3試行と本試行を前半・後半の2つのセッションに分けて、前半10試行、後半20試行の課題に取り組んだ。練習セッションでは操作・回答方法について本番セッションと同様の画面で確認し、3試行終了後に実験中に取得した時間、回答、マウス軌道を記録したファイルを取得し提出を求めた。また課題についての不明点や疑問点がないか確認し解消した上で、前半セッションを開始した。

各試行は実験参加者が画面中央の「Next」ボタンを押すと開始する。二値画像が提示され、実験参加者は写っている動物が分かったらその動物の頭部をダブルクリックする。動物を探している間は、視線をマウスが指し示すように操作することを求められた。実験参加者には動物の種類と頭部が分かたらすぐにダブルクリックし、名前だけが思い出せない場合はダブルクリック後に考えるように要請した。ダブルクリックをした場合、もしくはダブルクリックをせずに制限時間3分経過した場合に次の画面に進む。二値画像が消え、画面には質問が表示された。一問目に「画面の中に何かしら動物が見つかりましたか?」という質問に(はいいいえ)のどちらかを回答することが求められた。

「はい」の場合は「画像の中に見つけた動物の名前を入力してください」という質問に対し回答を入力欄に記述、また「答えにどれくらい自信がありますか」という質問に対し(1自身は全くない/2自身はあまりない/3少し自信がある/4自信がある/5確信がある)の中から最も当てはまるものを選択した。「いいえ」の場合は「答えにどれくらい近い感覚がありましたか?」という質問に対し(1全く分らなかった/2分かりそうになかった/3何とも言えない/4分かりそうな気がした/5もう少しで分かりそうだった)の中から最も当てはまるものを選択した。

回答が終わり「Next」ボタンで次の画面に遷移すると、正解の動物の名前と、動物の部分に色がついた画像が表示される。確認後「Next」ボタンで遷移すると質問が2問表示され、回答者はどちらにも答える事が求められた。一問目は「正解を見る前にひらめいた感覚がありましたか？」に対して（はい/いいえ）のどちらかを回答し、二問目は「正解を見た後に「あ!!なるほど!!」と感じましたか？」に対して（1回答が正解だったので、正解を見て「やっぱりな」と思った/2回答が不正解だったので、正解を見て「なるほど」と思った/3回答できなかったが、正解を見て「なるほど」と思った/4正解を見ても「なるほど」と思わなかった）の中から最も当てはまるものを選択した。

各セッション全試行終了後、実験参加者は画面上の指示に従い時間、回答、マウス軌道を記録したファイルを取得し提出をした。

#### 6.4 実験参加者

実験参加者は9人の大学院生（男性：8名、女性1名）であった。このうち指示を理解せずに実験を実施した1人を除く8名（男性：7名、女性1名、平均年齢24.6, SD = 4.00）が分析対象となった。

### 7. 結果と考察

正答の判断は、頭部をダブルクリックできていることに基づきおこなった。全試行240のうち、正答が77.5%（186試行）、誤答が16.7%（40試行）、無回答（時間切れ）が5.83%（14試行）であった。また回答時間は正答試行16.1±29.4秒、誤答試行59.5±49.8秒であった。回答後の解の確信度は図4のようになり、正答試行と誤答試行で差が見られた。

正答試行のうち、ひらめいた感覚があると回答した試行群とひらめいた感覚がないと回答した試行群のマウス軌道の時系列変化を比較した結果を、図5に示す。横軸は時間であり、実験参加者がダブルクリックして動物の顔の位置を回答した時刻を0として5秒前から記載した。縦軸はマウスカーソルの位置から対象となる動物の頭の中心までへの距離であり、該当試行群の平均値である。図中の破線は、それぞれの群のデータに基づく回帰直線である。ただし、ダブルクリック直前の1秒間は、動物の位置が判明した後に対象となる動物へ向かう動きになると考え、回帰分析から除外した。ひらめきの有無によらず1本の回帰直線ですべての正答試行のマウスの軌跡を説明する帰無仮説に対し、ひらめきの有無ごとに1本計2本の回帰直線でマウス

の軌跡を説明する仮説の尤度比検定をしたところ、有意な差はみられなかった ( $p = .367$ )。しかし、ひらめいた感覚があると回答した試行群では、離れた位置から急速に対象物へ向かうマウスの動きをとる傾向が見られた。本実験では視線をマウスが指し示すように操作することを要求しているため、この動きは実験参加者の視線と一致すると考える。すなわち、解答をひらめいた感覚のある実験参加者は解答の直前に視線を対象の動物に集中させたといえる。これは解への近さの知覚が二値画像上で領域を探索し特定しようとする行動に反映され、解答時のひらめきの感覚と関係するという予想には反しない結果と考えられる。

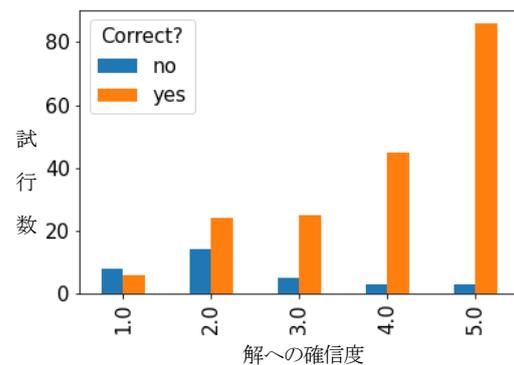


図4 正答試行と誤答試行の解への確信度の評価

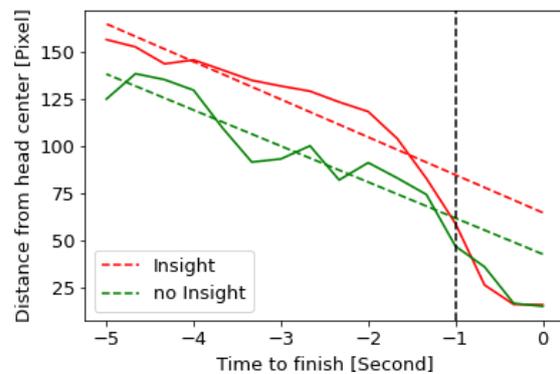


図5 ダブルクリック前5秒間のマウス位置と対象動物の頭の中心までの距離

### 8. 今後の課題

#### 8.1 詳細な分析

本稿にはマウスの軌道の時系列データとひらめいた感覚の有無の関係について得られた結果を記載した（図5）。今回の分析では各群に対して単一の回帰直線と両群に一つの回帰直線を比較した検討を行ったが、図5ではダブルクリック直前のマウスカーソルと顔の中心までの距離の変化と、それ以前での変化との違いが特徴的である。今後特徴を抽出するような分析を実

施する予定である。また、実験で得た他の主観的指標とマウスの軌道の関連についても調査予定である。

*Frontiers in Psychology*, 9, 1404.  
doi:10.3389/fpsyg.2018.01404

## 8.2 視線情報の取得

本実験では、対面での実験が不可であったためオンライン実験を実施し、実験参加者に視線をマウスが指し示すように操作することを指示した上で取得したマウスの時系列データを視線の代理指標とした。しかし、実際にマウスの軌道が視線と同様の動きをしているかは未検証である。また、本実験では実験指示で動物の姿を見つけることを明示したが、本来二値画像課題は、画像の中に写る動物を見つけることのみを出題する課題であった。本研究で提唱した二重構造仮説によると、実験参加者が動物の姿を見つけるのは一次問題を完成させるためである。しかし本実験では動物の姿を見つけることを明示しており、一次問題の解答に動物のいる領域の特定が含まれていると解釈もできる。

これらの点を再度検証し適切に仮説の検証をおこなうために、今後の実験では視線情報を取得し実験する予定である。

## 参考文献

- [1] SCRAP. (2019). 謎検過去問題&練習問題集2019秋, 27. SCRAP出版.
- [2] Metcalfe, J., & Wiebe, D. (1987). Intuition in insight and noninsight problem solving. *Memory & cognition*, 15(3), 238-246.
- [3] Knoblich, G., Öllinger, M., & Spivey, M. J. (2005). Tracking the eyes to obtain insight into insight problem solving. *Cognitive processes in eye guidance*, 55-75.
- [4] Giovannelli, F., Silingardi, D., Borgheresi, A., Feurra, M., Amati, G., Pizzorusso, T., ... & Cincotta, M. (2010). Involvement of the parietal cortex in perceptual learning (Eureka effect): an interference approach using rTMS. *Neuropsychologia*, 48(6), 1807-1812.
- [5] 石川哲朗, 戸嶋真弓, ビクトルス・ガルカビス, 茂木健一郎, & 神門典子. (2013). 視覚情報探索時の発見的気付きに伴う主観的体験の基礎付け. 情報アクセスシンポジウム 2013, 1-8.
- [6] Kizilirmak, J. M., Serger, V., Kehl, J., Öllinger, M., Foltz-Schoofs, K., and Richardson-Klavehn, A. (2018). Feelings-of-warmth increase more abruptly for verbal riddles solved with in contrast to without Aha! experience.