

Title	二重構造を持つ問題としての洞察問題の実験的検討
Author(s)	岡崎, 優実
Citation	
Issue Date	2021-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/17172
Rights	
Description	Supervisor: 日高 昇平, 先端科学技術研究科, 修士 (知識科学)

修士論文

二重構造を持つ問題としての洞察問題の実験的検討

岡崎 優実

主指導教員 日高 昇平

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科
(知識科学)

令和3年3月

Abstract

When we solve the problem, we may come up with a solution unexpectedly after struggling with it. This kind of problem solving is called insight problem solving. And the feeling at this time is sometimes called an “Aha experience”. Insight problem solving is a familiar phenomenon, but its mechanisms remain largely unexplored. The purpose of this study is to elucidate the cognitive process of insight problem solving. Insight problem solving is known to have a variety of empirical features. In the previous study on insight problem solving, it was shown that the perceived proximity to the solution may increase during the answering process, and when the solution is accompanied by an Aha experience, the feeling proximity to the solution is shown to increase rapidly just before the solution. Therefore, we think that the insight problem is structured in such a way that it connects an Aha experience with the perceived proximity to the solution.

In this study, we propose a dual-structure hypothesis on the essential structure of insight problems. We think of problem solving as deriving the solution from the problem statement, which is the set of instructions for the content to be sought. The problem is solved when the solution is uniquely determined by following the instructions. In non-insight problem solving, the solver understands the instructions of the problem from the problem statement and tries to derive a uniquely determined answer. This corresponds to the mapping between the “space of the problem sentences” and one’s internal “space of interpreting problem sentences”, and in non-insight problem solving, the mapping is established in such a way that a solution exists. On the other hand, in insight problem solving, there is a mapping that does not have a solution, and for the respondent, the mapping between the “space of the problem sentences” and the “space of interpreting problem sentences” is unclear. In this case, the solver cannot follow the instructions directly from the problem text and is left searching for a solution. At some point, however, they discover a correspondence between the “space of the problem sentences” and the “space of interpreting problem sentences” that allows them to have a solution, and they are able to derive a solution.

We hypothesize that this phenomenon is due to the fact that insight problems have a special problem structure. Insight problem solving is a special type of problem solving in which the instructions for the solver the meta-problem(the secondary problem), such as “Identify what the problem is”, and the solver follows the instructions of the primary problem, which is revealed by answering the secondary problem. The solver of an insight problem cannot read the instructions directly from the given problem statement. This is because the primary problem is incomplete and the instructions to be followed are unknown. In this case, the secondary problem is “Identify what the problem is”. By following this instruc-

tion, the solver can derive the solution to the secondary problem, which will lead to the completed primary problem. By following the instructions for the primary problem, the respondent can derive the solution to the given problem statement. Therefore, in order to find the solution to an incomplete primary problem, it is necessary to answer the secondary problem and clarify the instructions of the primary problem. The process of solving a secondary problem is a process of searching for an appropriate “space of problems” and “pace of understanding” mapping. The perception of proximity to the solution is a metacognition of the proximity to the solution of the secondary problem, which corresponds to the distance to the appropriate solution in the “space of problems. The first-order problem, which is the solution to the second-order problem, is the mapping between the “space of problems” and the “space of understanding” such that it has a solution. In order to identify the primary problem, we can reason based on the property that the answer to the primary problem is determined to be only one, so we thought that the primary problem and the secondary problem are solved simultaneously, which leads to an Aha experience.

We tested this hypothesis in an experiment using a binary image task. The binary image task is to find an animal in a natural image in which each pixel is black or white by a threshold to the gray scale color binarized to blur the boundary between the animal and the background. This task is known to be associated with an Aha experience when the object is found in the picture. The binary image task was used because the structure is spatial and can be mass produced. If the binary image task has a dual structure, then since the structure of the binary image task is spatial, we would expect the perception of proximity to the solution to accompany the process of finding a portion of the image that is sufficient to recognize the animal. In addition, when finding an animal is accompanied by an Aha experience, we expect the perception the perceived proximity to the solution to increase rapidly immediately before and the gaze to move rapidly toward the animal.

We conducted two experiments using a binary image task. We conducted the preliminary experiment using a computer mouse and the main experiment using eye tracking. In the experiment, the participants were presented with a binary image task and asked to find an animal. After they found an animal or exceeded the time limit, they answered some questions. When the Aha experiences were present, the distance between the gaze and the animal suddenly approached just before the answer was given, which was consistent with the prediction. Therefore, the duplex hypothesis was experimentally supported. In addition, we hypothesize that we have proposed an experimental framework that can quantitatively handle the relationship between an Aha experience and the perception the perceived proximity

to the solution.

In this research, it is possible to treat the cognitive process of insight problem solving as a theoretically explainable phenomenon. We expect that our proposal, which treats insight problem solving as a special kind of problem solving rather than a phenomenon that is completely different in quality from ordinary problem solving, can be applied beyond the framework of insight problem solving research.

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.1.1	洞察問題解決とは	1
1.1.2	洞察問題解決の特徴	1
1.1.3	洞察問題解決中の主観的な解への近さの知覚	3
1.2	本研究の目的	3
1.3	本論文の構成	3
第2章	洞察問題の二重構造仮説	5
2.1	洞察問題の構造についての仮説提案に向けて	5
2.2	洞察問題の二重構造仮説の提案	6
2.3	二重構造をもつ問題の例	7
2.3.1	なぞなぞの二重構造	7
2.3.2	謎解き検定問題の二重構造	8
第3章	二値画像課題を用いた実験設計	11
3.1	二値画像課題とは	11
3.2	二値画像の作成	12
3.3	二値画像課題の二重構造	13
3.4	二値画像課題を用いた実験のアプローチと結果の予想	15
第4章	マウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験	18
4.1	実験1：マウス軌跡による二重構造仮説の予備実験	18
4.1.1	実験刺激	18
4.1.2	実験環境	18
4.1.3	実験手順	19
4.1.4	実験参加者	20
4.1.5	結果	20
4.2	実験2：マウス軌跡による二重構造仮説の本実験	34
4.2.1	実験刺激	34
4.2.2	実験環境	34
4.2.3	実験手順	34

4.2.4	実験参加者	34
4.2.5	結果	35
第 5 章	実験 3：視線計測による二値画課題実験	44
5.1	実験刺激	44
5.2	実験環境	44
5.3	実験手順	45
5.4	実験参加者	47
5.5	結果	47
5.6	考察	60
第 6 章	結論	61
6.1	まとめ	61
6.2	今後の課題	62
	参考文献	63
	付 録 A 二値画像集	66

図目次

2.1	非洞察問題解決の持つ問題構造	5
2.2	洞察問題解決の持つ問題構造	6
2.3	洞察問題解決の二重構造仮説	7
2.4	なぞなぞの問題構造の模式図	8
2.5	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)	9
2.6	問題15の問題構造の模式図	9
3.1	グレゴリーのダルメシアン(図は原文中の自然画像をもとに、著者が二値化したもの)	12
3.2	二値画像作成の流れ	13
3.3	動物の写る二値画像の例	14
3.4	「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	14
3.5	二値画像課題の二重構造	15
3.6	マウス軌道で視線をたどる実験におけるマウス位置と動物の領域までの距離の変化の予想	17
3.7	視線計測による実験における視線と動物の領域までの距離の変化の予想	17
4.1	マウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験の流れ	20
4.2	実験1 正答試行と誤答試行の確信度の評価	21
4.3	実験1 正答試行と誤答試行のひらめきの感覚の評価	21
4.4	実験1 正答試行と誤答試行の納得感の評価	22
4.5	実験1 画像ごとの正答率	23
4.6	実験1 画像ごとの未回答の場合を除く平均回答時間	23
4.7	実験1 画像ごとの高確信度の割合	24
4.8	実験1 画像ごとのひらめき感ありの割合	24
4.9	実験1 実験参加者ごとの正答率	25
4.10	実験1 実験参加者ごとの未回答の場合を除く平均回答時間	26
4.11	実験1 実験参加者ごとの高確信度の割合	26
4.12	実験1 実験参加者ごとのひらめき感ありの割合	27

4.13 実験1 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と確信度の割合の関係	28
4.14 実験1 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と回答時間の関係	29
4.15 実験1 マウス軌道の可視化画像	30
4.16 実験1 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(回帰分析)	31
4.17 実験1 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(2分割の回帰分析)	32
4.18 実験1 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化(回帰分析)	33
4.19 実験1 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化(2分割の回帰分析)	33
4.20 実験2 正答試行と誤答試行の確信度の評価	35
4.21 実験2 正答試行と誤答試行のひらめきの感覚の評価	36
4.22 実験2 正答試行と誤答試行の納得感の評価	36
4.23 実験2 画像ごとの正答率	37
4.24 実験2 画像ごとの未回答の場合を除く平均回答時間	37
4.25 実験2 画像ごとの高確信度の割合	38
4.26 実験2 画像ごとのひらめき感ありの割合	38
4.27 実験2 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と確信度の割合の関係	39
4.28 実験2 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と回答時間の関係	40
4.29 実験2 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(回帰分析)	41
4.30 実験2 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(2分割の回帰分析)	42
4.31 実験2 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化(回帰分析)	43
4.32 実験2 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化(2分割の回帰分析)	43
5.1 視線計測実験の様子	45
5.2 視線計測による二値画像課題実験の流れ	47

5.3	視線計測実験 正答試行と誤答試行の確信度の評価	48
5.4	視線計測実験 正答試行と誤答試行のひらめきの感覚の評価	48
5.5	視線計測実験 正答試行と誤答試行の納得感の評価	49
5.6	視線計測実験 画像ごとの正答率	49
5.7	視線計測実験 画像ごとの未回答の場合を除く平均回答時間	50
5.8	視線計測実験 画像ごとの高確信度の割合	50
5.9	視線計測実験 画像ごとのひらめき感ありの割合	51
5.10	視線計測実験 実験参加者ごとの正答率	52
5.11	視線計測実験 実験参加者ごとの未回答の場合を除く平均回答時間	52
5.12	視線計測実験 実験参加者ごとの高確信度の割合	53
5.13	視線計測実験 実験参加者ごとのひらめき感ありの割合	53
5.14	視線計測実験 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と確信度の割合の関係	54
5.15	視線計測実験 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と回答時間の関係	55
5.16	視線計測実験 視線データの可視化画像	56
5.17	視線計測実験 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視線の時系列変化(回帰分析)	57
5.18	視線計測実験 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視線の時系列変化(2分割の回帰分析)	58
5.19	視線計測実験 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群の視線の時系列変化(回帰分析)	59
5.20	視線計測実験 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群の視線の時系列変化(2分割の回帰分析)	59
A.1	二値画像 No.1～No.15	66
A.2	二値画像 No.16～No.30	67
A.3	二値画像 No.31～No.50	68
A.4	二値画像 No.51～No.70	69

表 目 次

2.1	問題 15 の問題構造	10
3.1	二値画像課題の二重構造	14

第1章 序論

1.1 研究の背景

1.1.1 洞察問題解決とは

問題に直面し解を導こうとする場面で、悩んだ末に「ああ！ そうか！」と不意に解を思いつく経験は、誰しもあるのではないだろうか。このように解のひらめきのある問題解決は、洞察問題解決と呼ばれる (Metcalf & Wiebe, 1987)。またひらめきの感覚と同義的に、Aha 体験と呼ばれることがある (Webb & Little, 2018)。

このような解のひらめきのある問題解決は、過去の心理学研究から一般の人でも観察できる身近な現象であることが知られる (Öllinger & Knoblich, 2009)。しかしながら、Aha 体験や洞察問題、洞察問題解決といった現象に合意された明確な定義は存在せず (Metcalf & Wiebe, 1987; Webb & Little, 2018; Öllinger & Knoblich, 2009; Sternberg & Davidson, 1995)、根底にどのような認知メカニズムが存在するかも未解明な点が多い (Danek, Wiley, & Ollinger, 2016)。

1.1.2 洞察問題解決の特徴

洞察問題解決は、さまざまな特徴を持つ現象であると知られる。Batchelder and Alexander (2012) では、洞察問題解決の特徴として以下のような 8 点があげられている：

- 1). いくつかの解釈が可能なように問題が提示されていて、それぞれの解釈に解の探索空間がある。
- 2). 問題から読み取れる解釈の多くは、問題の解を発見することができないという点で不適切である。
- 3). このような不適切な解釈を打開するためには、別の解釈を見つける必要がある。
- 4). 解につながるような解釈は、非解法活動の期間や、ヒントによって、発見の可能性が高まることもある。

- 5). 一度解につながるような解釈が得られると、直接的かつ迅速に解答につながる。
- 6). 解は、解いた人の既存知識を利用している。
- 7). 解が得られると Aha 体験を伴う。
- 8). 解が自力で導けなかったときも、解を明かされると、その簡単さに驚きを感じ、すぐに理解することができる。

しかし、これらの特徴が洞察問題解決に特有であるとは限らない。例えば、洞察問題と対比して非洞察問題と扱われる数学の文章題の解決過程であっても、与えられた問題の再解釈が起こることが分かっている (Thevenot & Oakhill, 2008)。非洞察問題と洞察問題を区別することは困難であり (Webb & Little, 2018; Thevenot & Oakhill, 2008)、洞察問題解決の最も注目すべき特徴は解決時のひらめきの感覚や Aha 体験であるとする研究者もいる (Webb & Little, 2018; Danek et al., 2016; 開 & 鈴木, 1998)。

このひらめきの感覚に関しては Topolinski and Reber (2010) が次の 4 点を特徴として挙げている：

- 1). 突然さ：問題の解決策が不意に思い浮かぶ
- 2). 容易さ：解決策が見つかった後は、問題は迅速かつ容易に処理可能である
- 3). ポジティブさ：肯定的な感情経験をもたらす
- 4). 解決策が正しいことを体系的に評価する前であっても、解決策が正しいと判断し、その判断に自信がある。

これらのひらめきの感覚の特徴に関しては同意する研究者も多く、回答者の主観的な感覚に着目した研究で参考にされている (石川, 戸嶋, ガルカビス, 茂木, & 神門, 2013; Kizilirmak, Serger, Kehl, Ollinger, Foltz-Schoofs, & Richardson-Klavehn, 2018)。

このように、洞察問題に特有であるかは議論のあるものの、洞察問題解決はさまざまな特徴を持つことから、古典的な既存の問題解決の枠組みでは扱うことができない問題であるとする。Newell and Simon (1972) の示した問題解決の枠組みでは、問題解決を、問題空間内でのゴールへ向かう探索として定義した。しかし、この問題解決の枠組みではゴールが明確に定まる問題のみ扱い、一方で存在するゴールの定まらないような問題は扱うことができないと述べている (Newell & Simon, 1972; 三宅, 2005)。洞察問題解決というのはここでのゴールの定まらない問題に相当すると考えられ、この枠組みでは扱うことができない。従って、洞察問題のメカニズムや構造について明らかにすることは、ゴールが不明な問題解決への理論的枠組みの提案につながると考える。

1.1.3 洞察問題解決中の主観的な解への近さの知覚

本研究に関連する知見として、洞察問題解決中の主観的な解への近さの知覚に関する先行研究を示す。前述のように洞察問題解決は、突然解のひらめきを感じるような問題解決であるが、一方で解を思いつく前に解への近さを感じることがあると知られている (Metcalf & Wiebe, 1987)。Kizilirmak et al. (2018) は、洞察問題解決中の主観的な解への近さについて調査している。この研究では、言語の洞察問題への回答と並行して解に近い感覚があるかどうかを判断させることで、解への近さを調査した。被験者は 30 秒以内に言語の洞察問題に回答することと、並行して解に近い感覚があるかどうかを 5 段階で判断することが求められる。解への近さの判断は、開始から 6～7 秒で 1 回、以降 5～6 秒ごとに洞察問題の回答を中断し、回答するまで最大で 6 回おこなわれた。また、言語タスクに解答後もしくは回答できず 30 秒経過した後に、アハ体験があったかどうかを問う。この実験結果から、回答が正解である場合、回答後に Aha 体験があったと答えた場合は、Aha 体験がなかったと答えた場合に比べて、洞察問題回答中の解への近さの感覚が、回答の直前に上昇すると示唆された。

つまり、主観的な解への近さの知覚は、答えが分かった時の Aha 体験の有無と関係がある。特に、答えが分かるときに Aha 体験を伴うときには、解に近づいている感覚が解答する直前に急激に上昇すると考えられる。解決前の解への近さの感覚と解決時の Aha 体験の有無に関係があるということは、これらの認知的現象は洞察問題の持つ問題構造に起因していると考えられる。

1.2 本研究の目的

本研究は洞察問題解決の認知過程解明を目的とする。

そのために、1.1.2 や 1.1.3 で示したような知見を踏まえて、洞察問題の持つ構造についての仮説を提案する。本研究では洞察問題の持つ本質的な問題構造が、問題と「その問題とは何か」というメタ問題との二重構造となっていると仮説を立てた。この二重構造仮説の詳細は 2.2 で述べる。

1.3 本論文の構成

本論文では、第 1 章で洞察問題解決に関する先行研究と認知過程の解明に向けた本研究の方針を述べた。第 2 章では、洞察問題解決の認知過程に関する仮説提案に向けた議論の整理をしたのち、本研究での提案仮説を述べ、具体例を用いて説明する。第 3 章では、提案仮説の実験的検証のための使用課題と、その課題を用いた実験のアプローチや予想を述べる。第 4 章では、マウス軌道を視線の代理指標として用いた二値画像課題実験とその結果について述べる。第 5 章では、視線

計測による二値画像課題実験とその結果について述べる．最後に第 6 章では，第 4 章と第 5 章の総括および，洞察問題解決の認知過程に関して明らかになったことと，今後の課題について述べる．

第2章 洞察問題の二重構造仮説

本研究では、洞察問題のもつ問題構造について二重構造仮説を提案する。本章ではまず、洞察問題解決の持つ問題構造の仮説提案に向けた議論を整理する。次に本研究で提案する二重構造仮説について説明し、最後に二重構造をもつと考えられる問題を例に挙げて具体的に説明する。

2.1 洞察問題の構造についての仮説提案に向けて

洞察問題のもつ問題構造についての仮説提案に向けて、そもそも問題解決とは何か、こういった構造を持つかを考える。

問題を解決するとき、人は与えられた問題文から指示内容を解釈して、解答を導く。これは、問題文の空間の要素と、問題文の解釈の空間の要素を対応づけることと考える。このとき、解釈された問題で要求されるもの、つまり問題の指示に従って導くものが解である。また、それを導くことが解答にあたる。この問題文と解釈が1対1に対応するとき、またその解釈から導かれる解が一意に定まることが通常の問題解決（非洞察問題解決）にあたると考える（図2.1）。

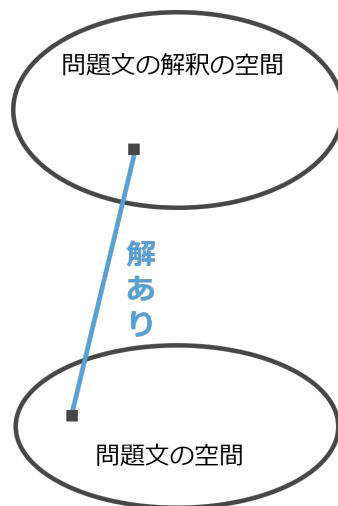


図 2.1: 非洞察問題解決の持つ問題構造

一方で洞察問題は、以下のような特徴がある（先述の Batchelder and Alexander (2012) が挙げた洞察問題の特徴より一部抜粋）。

- 1). いくつかの解釈が可能ないように問題が提示されていて、それぞれの解釈に解の探索空間がある。
- 2). 問題から読み取れる解釈の多くは、問題の解を発見することができないという点で不適切である。
- 3). このような不適切な解釈を打開するためには、別の解釈を見つける必要がある。
- 4). 一度解につながるような解釈が得られると、直接的かつ迅速に解答につながる。

これは、解答者が問題文から異なる複数の内容を解釈し、その解釈の多くは解を持たず、解を持つ解釈を発見できるとすぐに解を導くことができることにあたる。つまり、問題文の空間と問題文の解釈の空間の対応付けが複数存在すると考える。このとき解答者が問題文に対する解を導くためには、解を持つような解釈を模索し、発見する必要があるような構造を持つと考える（図 2.2）。

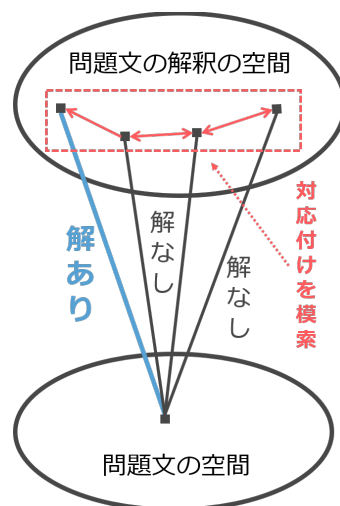


図 2.2: 洞察問題解決の持つ問題構造

2.2 洞察問題の二重構造仮説の提案

洞察問題のもつ問題構造について、本研究で提案する二重構造仮説を説明する（図 2.3）。2.1 の議論に基づくと、洞察問題解決は解答者にとって問題文の空間と問題文の解釈の空間の対応付けが複数存在する。このとき、洞察問題は解を持つような解釈を探索する二次問題と、解を持つ解釈に従い解を導く一次問題の二重構造を持つ問題であると考えられる。与えられた問題文に対して解を持たない解釈をす

るとき、解を導くには二次問題を解決して解を導くような解釈を発見する必要がある。そして解を導くような解釈があれば、そこから解を導くことができる。

二次問題に解答するとは、解を持たない問題文の解釈から解を持つ解釈へ、解釈を変えることである。一次問題に解答するとは、解のある問題に解答することである。したがって、一次問題と二次問題は同時に解決し、それがひらめきの感覚につながると仮説を立てた。また、1.1.3で述べた解への近さの知覚は、二次問題の解への近さのメタ認知にあたり、これは問題文の解釈の空間での適切な解への距離に相当すると考えた。

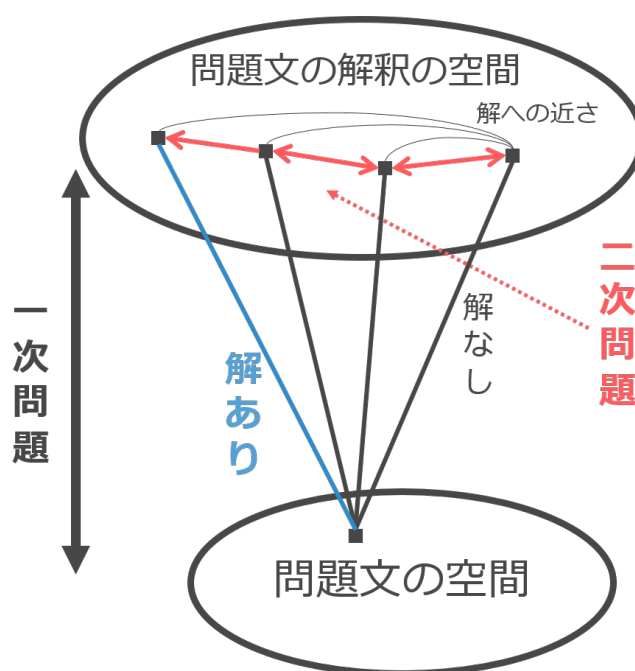


図 2.3: 洞察問題解決の二重構造仮説

2.3 二重構造をもつ問題の例

2.3.1 なぞなぞの二重構造

洞察問題の二重構造仮説を具体的に説明するために、なぞなぞを用いて説明する（図 2.4）。例えば「パンはパンでも食べられないパンは？」というなぞなぞを洞察問題の一つとして考える。問題文から直接読み取れる解釈は「食べられないパンを答えよ」となるが、解を導くことはできない。解答者は問題文から読み取れる問題が不明確なまま、模索する状態になる。この場合、もし二次問題の解答として「文末がパンである、食べ物ではない単語を答えよ」と解釈することができれば、一次問題の解答として「フライパン」を導くことができる。

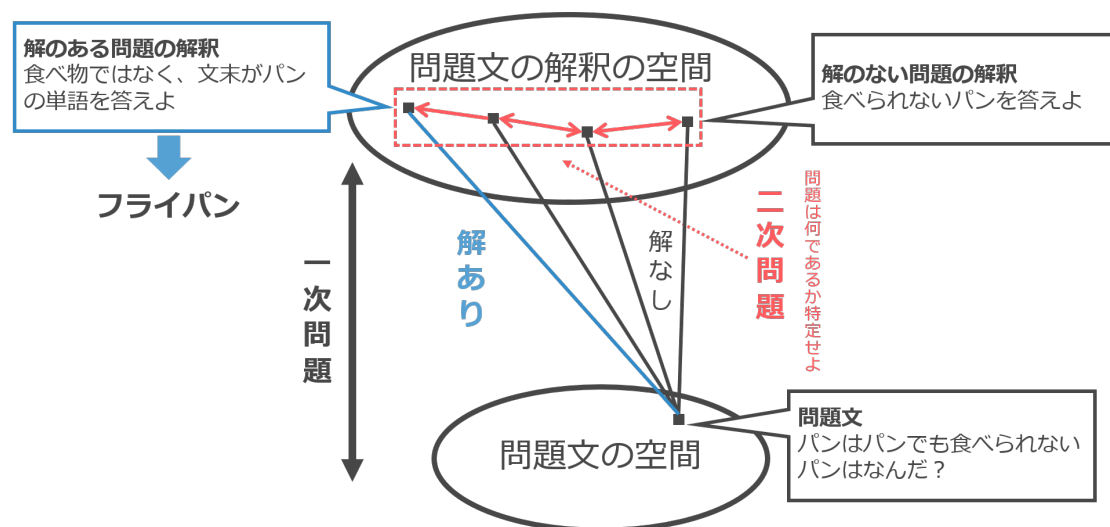


図 2.4: なぞなぞの問題構造の模式図

2.3.2 謎解き検定問題の二重構造

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 (SCRAP, 2019)」(以下、謎検と表記する)の課題を分析した。結果として、謎検の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2.1、図2.6に二重構造を示す。問題文は図2.5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が、このような解釈では適切な解答を導くことはできない。このとき二次問題の解答として、「(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I, II満たし?に入るアルファベットを選択肢から選べ。I. 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者と一致する。II. 上3段は、Iを満たす例になっている」と解釈することができれば、解答者は問題文から解釈した問題の指示に従って、適切な解答が「P」と特定できる。

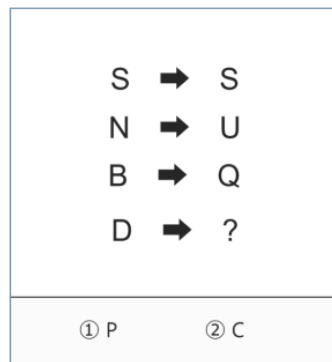


図 2.5: 第 5 回謎解き検定 (引用) の問題 15 (図は原文を基に, 著者が図を再構成したもの)

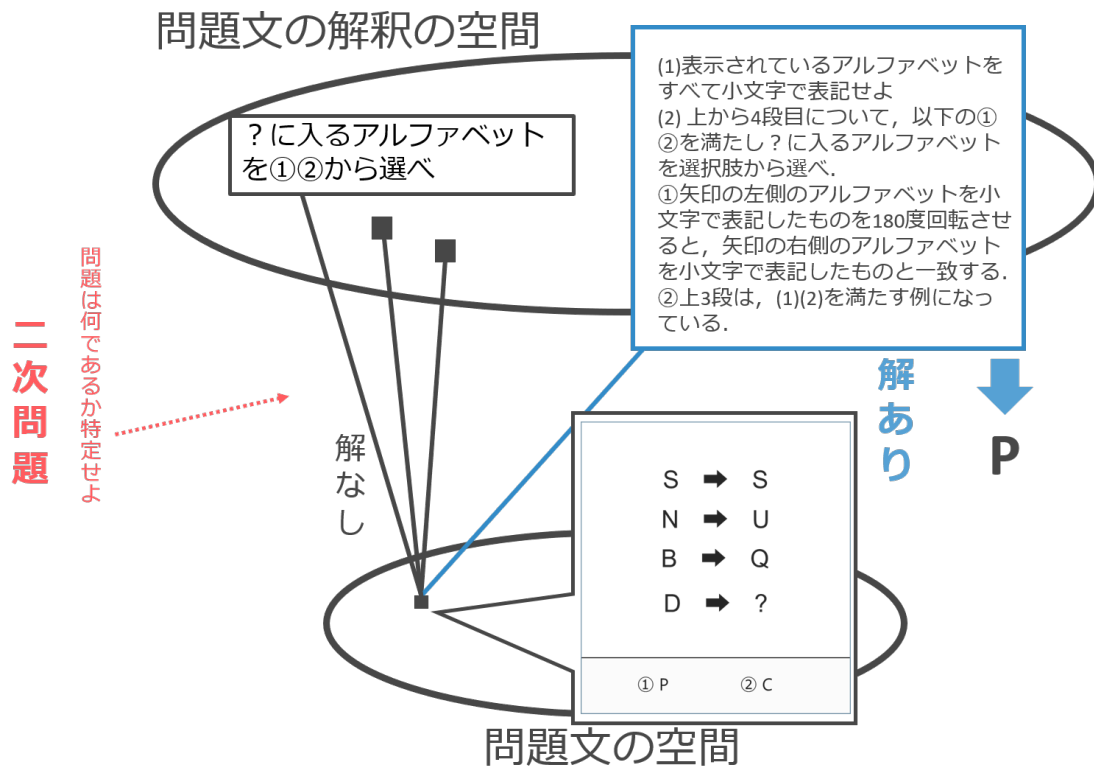


図 2.6: 問題 15 の問題構造の模式図

表 2.1: 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	図中の？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, 図中の？に当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 I II を満たし？に入るアルファベットを選択肢から選べ I. 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. II. 上 3 段は, I を満たす例になっている.	①P

第3章 二値画像課題を用いた実験設計

本章では、洞察問題の二重構造仮説を検証するための課題である二値画像課題についての説明と、二値画像課題を用いた実験のアプローチ、予想について示す。

3.1 二値画像課題とは

本研究では、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。有名な類題として、図 3.1 のようなグレゴリーのダルメシアンがある (Gregory, 1970)。この画像には犬（ダルメシアン）が写っているが、この犬の発見は背景との境界が曖昧であるため難しい (Gregory, 1970)。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, Silingardi, Borgheresi, Feurra, Amati, Pizzorusso, Viggiano, Zaccara, Berardi, & Cincotta, 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 et al., 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。

本研究で二値画像課題を使用する理由は2点ある。1点目に、二値画像課題は問題構造自体が空間的であるためである。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いるが (Knoblich, Öllinger, & Spivey, 2005)、特に空間的な構造を持つ二値画像課題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る。

2点目に、類題を複数作成することが可能であり、より有効な実験データの取得につながると考えるためである。



図 3.1: グレゴリーのダルメシアン（図は原文中の自然画像をもとに，著者が二値化したもの）

3.2 二値画像の作成

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．自然画像は，写真素材サイト「unsplash」「Pexels」からダウンロードした．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 Adobe Photoshop 2020 で背景を透過した動物画像を切り出した．背景となる自然画像からは 600pixel× 600pixel の背景画像を切り出し，グレースケール化した．二値画像の作成は動物画像と背景画像を組み合わせた状態おこなった．動物画像のサイズと配置位置，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の計 7 個のパラメータを手動で調整して，二値画像を作成した．二値画像作成の流れを図 3.2 に示す．なお，本研究で使

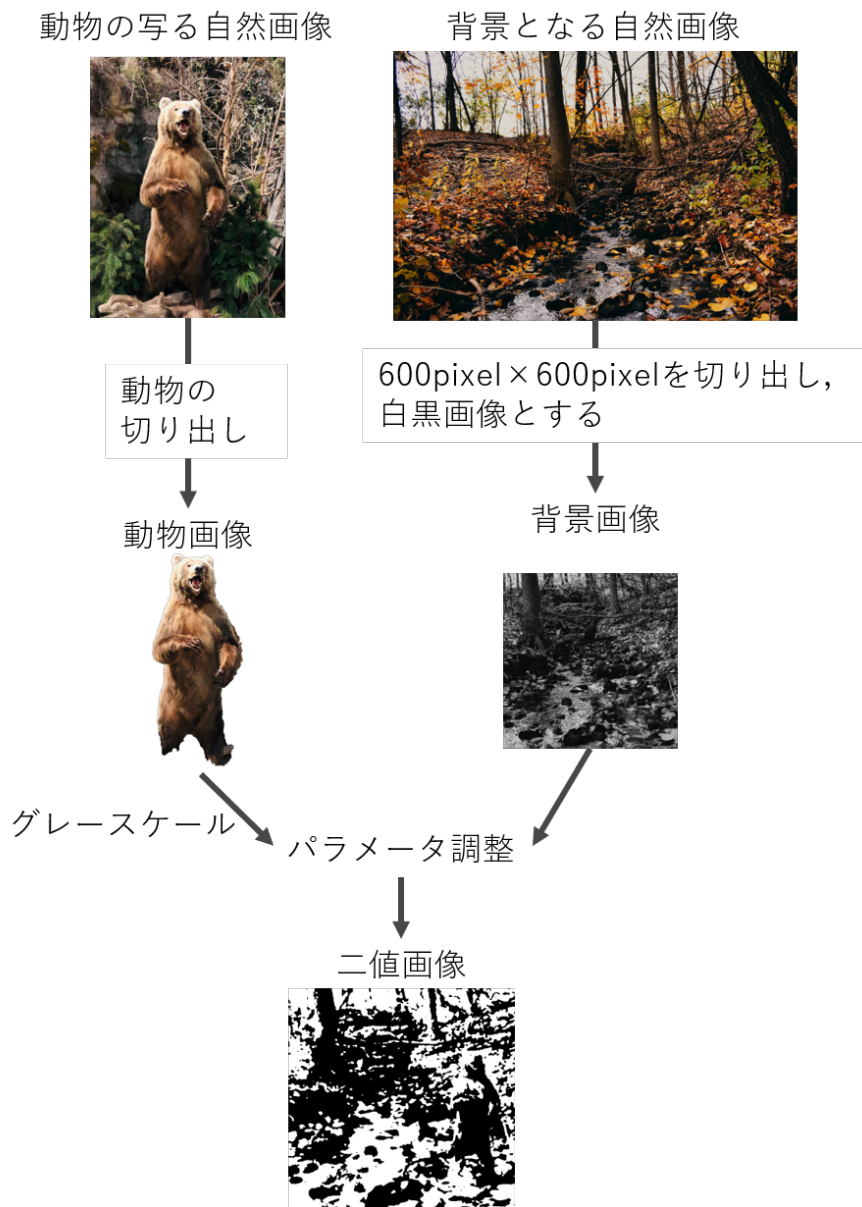


図 3.2: 二値画像作成の流れ

3.3 二値画像課題の二重構造

自作した二値画像である図 3.3 を例に、この課題の二重構造を表 3.1、図 3.5 示す。図 3.3 のような二値画像を提示し、「この画像に写る動物を答えよ」と出題する。このとき、解答者が図 3.3 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解釈するとき、解答できない。そのように解釈する場合には図 3.3 を含む一次問題は解を持たないためである。解を導くためには、二値画像含む与えられた問題文を解を持つように解釈する必要がある。解を持つような解釈を探索し発

見する二次問題の解決過程は、二値画像課題において二値画像内を探索し、「どの領域に動物がいるか」を特定することにあたる。二次問題の解答は、写る動物を理解した図 3.4 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の領域が判明していればよい。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 3.4) に写っている動物名を答えよ」と解釈され、解答者は指示に従い「クマ」と解答を導く。



図 3.3: 動物の写る二値画像の例



図 3.4: 「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

表 3.1: 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 3.1 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 3.2 にうつる動物を答えよ
解答	不可	図 3.1 に写る動物をこた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

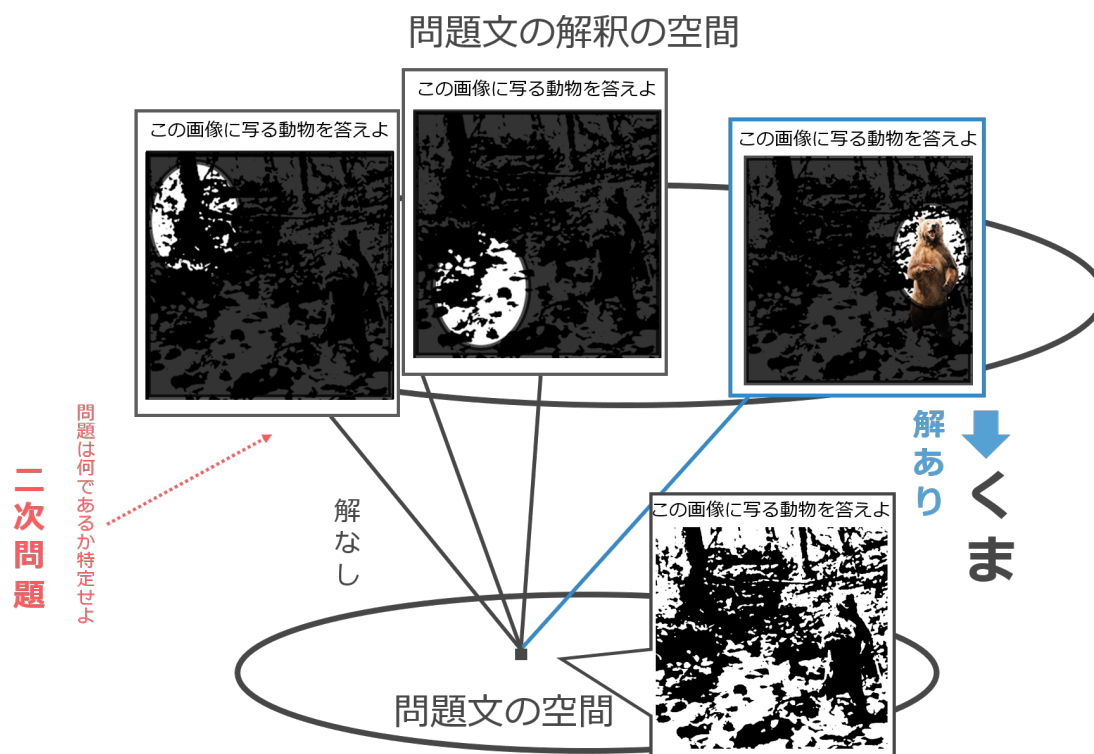


図 3.5: 二値画像課題の二重構造

3.4 二値画像課題を用いた実験のアプローチと結果の予想

二重構造仮説では、一次問題と二次問題の同時解決がひらめきの感覚につながると考えた。前述のように二値画像課題が二重構造を持つならば、一次問題の解決は写っている動物が何か分かることにあたり、二次問題の解決は、「どの領域に動物がいるか」を特定することにあたる。つまり、ひらめきの感覚がある場合は二次問題の解決である動物の領域の特定と一次問題の解決である写っている動物が何か分かることが同時に起こると考える。

また二重構造仮説によれば、解への近さの知覚は二次問題の解への近さのメタ認知にあたり、「問題文の解釈の空間」での適切な解への近さに相当する。二値画像課題の二次問題の探索は図 3.3 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対応し、これ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、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。以上より、本研究では解答者の客観的な行動指標として視線データを取得する。また、解答時のひらめきの感覚の有無について、主観的な評価を調査する。

次に、二値画像課題解決中の解答者の視線位置の変化と、ひらめきの感覚の関係について予想を示す。ひらめきの感覚がある場合、二次問題の解決である動物の領域の特定と、一次問題の解決である動物が何か分かることがほとんど同時に起こる。解答者の視線はまず画像内を探索し、あるとき動物の領域に近づいて解への近さを知覚すると、動物の領域を特定してそこに視線が集中し、すぐに動物の名前を解答する。一方で、ひらめきの感覚がない場合は、二次問題と一次問題の解決は同時に起こらないと考えるため、動物の領域を特定して視線が集中した状態でしばらく経過したのち、動物の名前を解答すると予想する。ひらめいた感覚がある場合とない場合の視線の推移の予想を示したグラフが図 3.7 である。それぞれ左側の図は、1 試行の予想を 1 種類の線で表しており、3 試行を示した模式図である。縦軸は視線位置と動物の領域との距離、横軸は解答までの時間である。各試行は解答時間が異なるため、解答時間を 0 に揃え、解答までの一定時間の視線の変化を示した。詳細は 5.3 で述べるが、写っている動物が何か分かった時に視線計測による二値画像実験では左方向キーを押すように指示するため、解答時間を左方向キーを押す時刻として記載した。

それぞれ複数試行を平均すると、ひらめきの感覚がある場合は、探索期間と動物の領域を特定する期間で 2 分するような傾向になり、解答直前に急速に動物へ近づくような変化をすると予想される。一方でひらめきの感覚がない場合には、全体的に緩やかに動物へ近づくような変化をすると予想する。

また本研究では、予備実験としてマウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験をおこなう。この実験では、解答者に目で見えているところをなぞるようにマウスを動かし、写っている動物が何か分かったら動物の頭部をダブルクリックするように指示する。実験手順の詳細は 4.1.3 に示す。マウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験では、視線の代理指標としてマウスの軌道を取得する。二値画像課題解答時にひらめきの感覚がある場合とない場合のマウス軌道の時系列変化について、図 3.6 に示す。縦軸はマウス位置と動物の領域との距離、横軸は解答（ダブルクリック）までの時間であり、ダブルクリックの時刻を 0 に揃えた一定時間のマウス軌道の変化を示した。マウス軌道の場合も、視線と同様に、ひらめきの感覚がある場合は、探索期間と動物の領域を特定する期間で 2 分するような傾向になり、解答直前に急速に動物へ近づくような変化をすると予想される。一方でひらめきの感覚がない場合には、全体的に緩やかに動物へ近づくような変化をすると予想する。ただしマウス軌道で視線をなぞる実験では、マウスを随意的に動かす必要があるため、実際の視線とマウスの動作に時間差が生じ、回答直前は動物の領域特定後にマウスを頭部へ動かすような動きになると考える。したがってひらめきの感覚の有無によらず、解答直前の短時間急激に動物の頭部へ向かう傾向がある点が視線計測実験の結果と異なると考えられる。

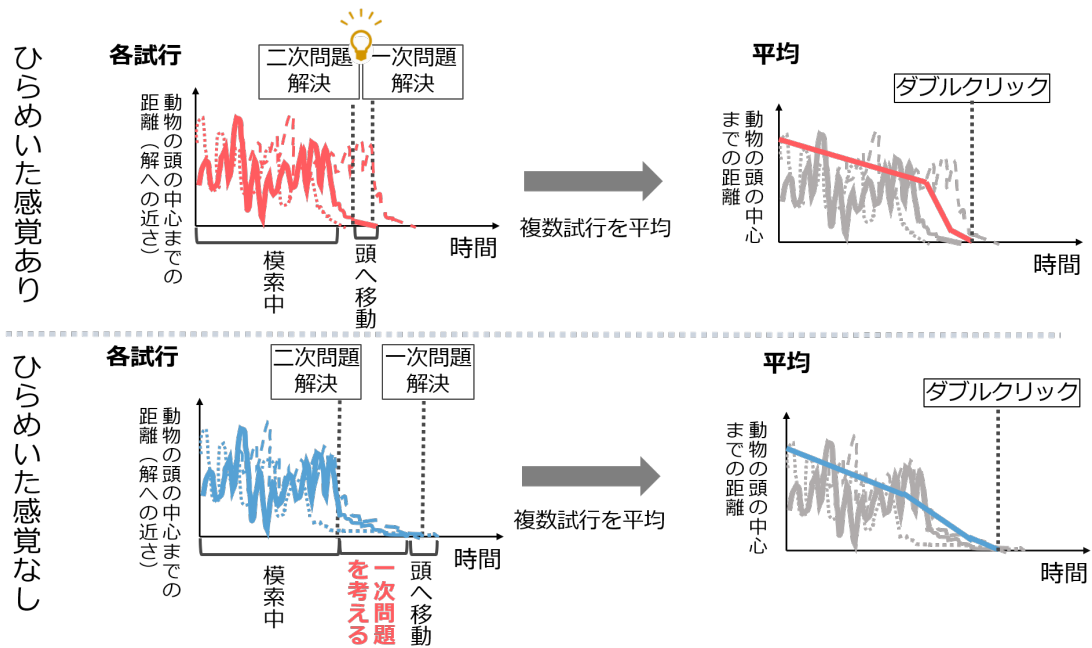


図 3.6: マウス軌道で視線をたどる実験におけるマウス位置と動物の領域までの距離の変化の予想

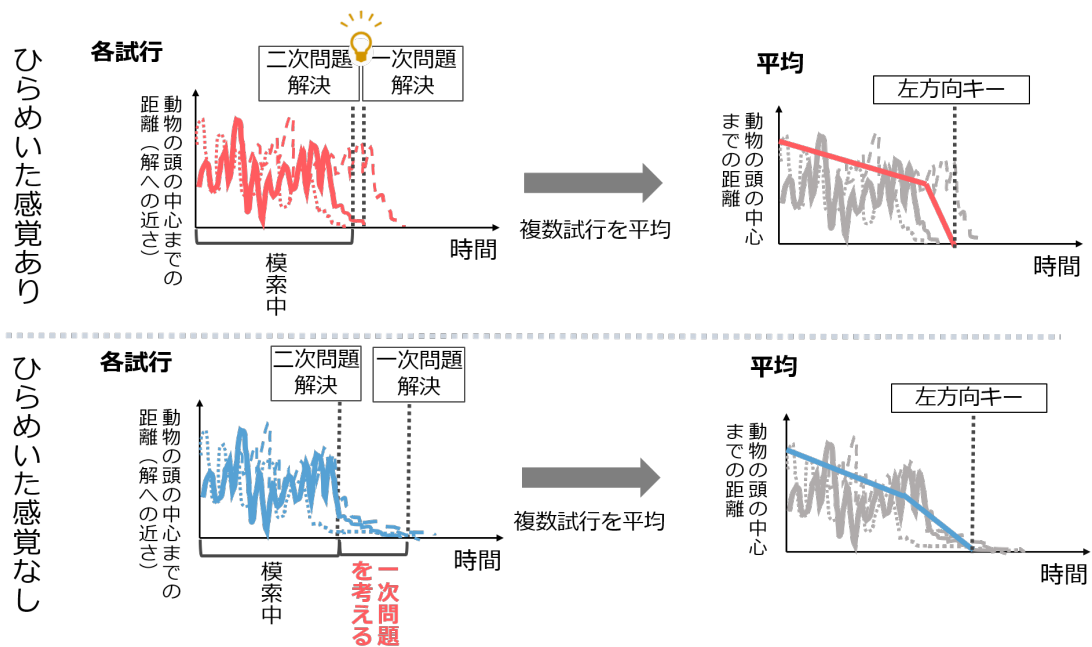


図 3.7: 視線計測による実験における視線と動物の領域までの距離の変化の予想

第4章 マウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験

本研究では、洞察問題の二重構造仮説の検証のため二値画像課題を用いた実験をおこなった。本章では、課題解決中の解答者の視線を、マウスの軌道を視線でなぞるように指示した上で視線の代理指標として取得した実験について示す。実験は予備実験である実験1、本実験の実験2の2回実施した。実験1は30問、実験2は実験1とは異なる40問の二値画像を用いて実施した。

4.1 実験1：マウス軌跡による二重構造仮説の予備実験

4.1.1 実験刺激

実験に使用した二値画像は、第3章に記載の方法で60枚作成した。その中から実験者が適切な難易度だと判断した30枚を実験に用いた。使用した30枚の二値画像は付録の図A.1, 図A.2に記載した。二値画像の提示順は無作為に画像を抽出した提示順セットを二セット用意し、いずれの提示順で試行を行うかを参加者間でカウンターバランスを取った。

4.1.2 実験環境

実験はオンラインでおこなった。実験参加者は実験者からWebexを通じて説明を受けたのち、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、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。

実験中、実験参加者が操作・回答をおこなう実験提示システムは、鳥居拓馬助教に協力いただき、構築した。システムはJavaScriptライブラリのp5.jsにより構築し、Webブラウザ上で表示した。WebブラウザはMozilla Firefox、もしくはGoogle Chromeを使用することと、回答はマウスによりおこなうことを事前に指示した。システム上では、二値画像課題中の毎秒30点記録のマウス軌道の位置と、各質問項目の回答結果を記録した。各質問の詳細は4.1.3に示す。

4.1.3 実験手順

実験は練習セッションと本番セッションから構成された。練習セッション3試行と本番セッションを前半・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、実験参加者は動物がいることと、写っている動物の種類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。一部の実験参加者には動物の種類と頭部が分かっ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」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。この5段階の選択を以下「確信度」と呼ぶ。「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全く分からなかった/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た。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。一試行の流れを図4.1に示す。

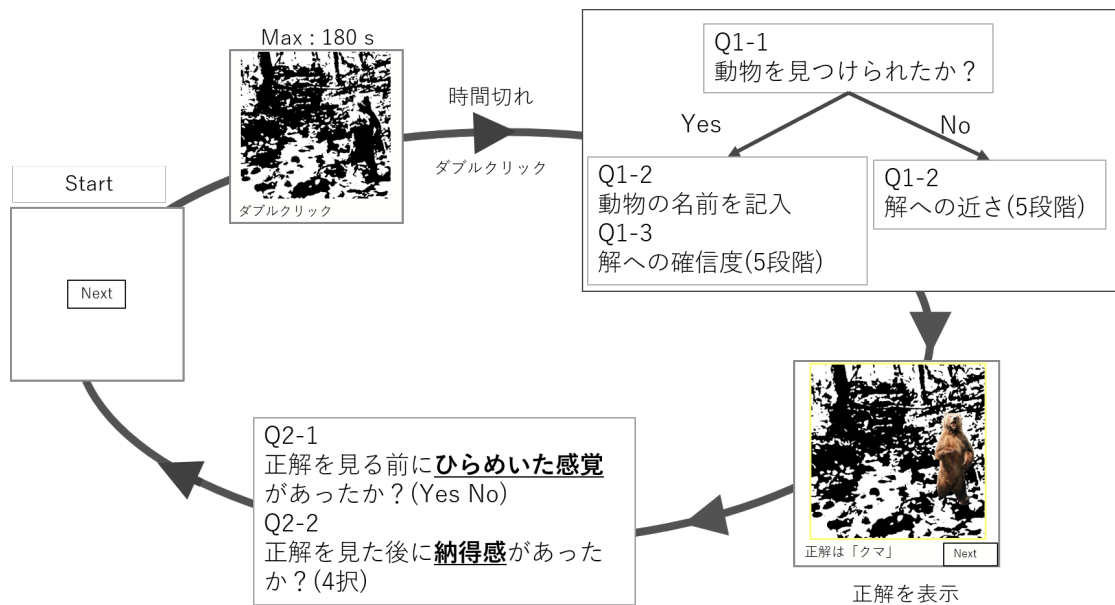


図 4.1: マウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験の流れ

4.1.4 実験参加者

本研究は、北陸先端科学技術大学院大学の倫理委員会による承認の下で実施された。実験参加者は21人の大学院生（男性：17名、女性4名）であった。実験参加者はインフォームド・コンセントを受け、実験同意書に記入の上で実験に参加した。実験参加者21人のうち9人は、日本語でコミュニケーションをとることが可能な中国人留学生だった。

4.1.5 結果

実験参加者21人のうち、指示を理解せずに実験を実施した1人を除く20名（男性：16名、女性4名、平均年齢25.4, SD=3.31）の結果が分析対象になった。二値画像課題は、頭部の領域内をダブルクリックできているものを正答として扱った。「動物が見つかりましたか？」に対して「はい」と回答した試行のうち、頭部がダブルクリックできていないものを誤答として扱い、制限時間3分以内にダブルクリックされなかったものと「動物が見つかりましたか？」に対して「いいえ」と回答した試行は未回答として扱った。全試行600のうち、正答が76.0%（456試行）、誤答が18.0%（77試行）、未回答が11.2%（67試行）であった。また二値画像課題の回答時間の平均は正答試行平均10.1秒±20.2秒、誤答試行42.7±45.7秒であった。

各質問項目の結果

各質問の回答と二値画像課題の正誤との関係は図 4.2, 図 4.3, 図 4.4 のようになった。図 4.2 は正解と不正解の場合で、「答えにどれくらい自信がありますか」という確信度に関する質問に対して 5 段階の選択肢から選んだ試行数である。図 4.3 は正解と不正解の場合で、「正解を見る前にひらめいた感覚がありましたか?」というひらめきの感覚に関する質問に対して「はい」または「いいえ」で回答した試行数である。図 4.4 は正解と不正解の場合で、「正解を見た後に「あ!!なるほど!!」と感じましたか?」という納得感に関する質問に対して、「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」を選んだ試行を納得感ありとし、「4 正解を見ても「なるほど」と思わなかった」を選んだ試行を納得感なしとした場合の、それぞれの試行数である。

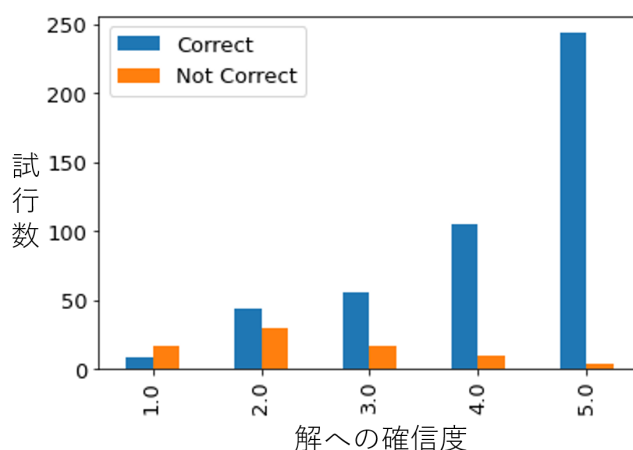


図 4.2: 実験 1 正答試行と誤答試行の確信度の評価

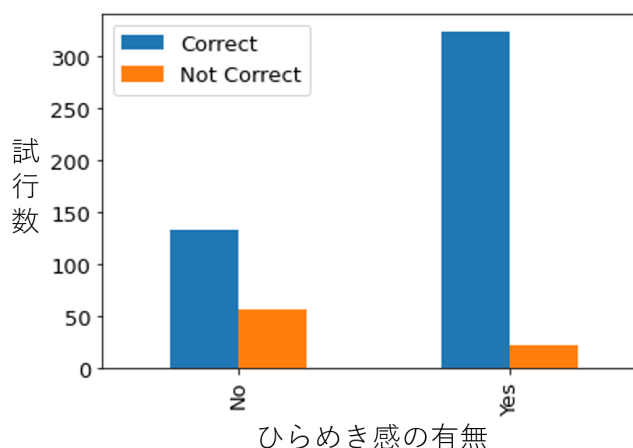


図 4.3: 実験 1 正答試行と誤答試行のひらめきの感覚の評価

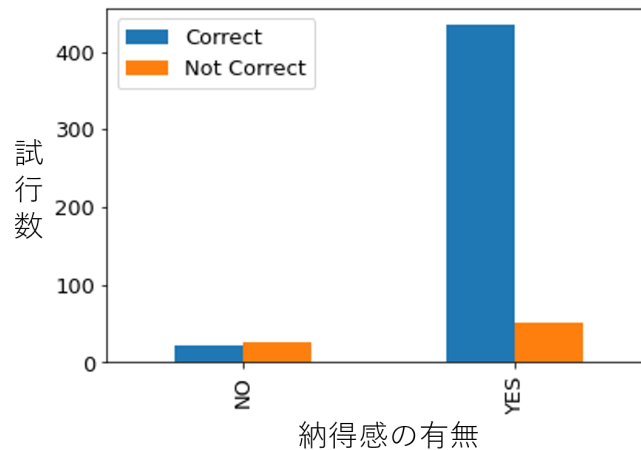


図 4.4: 実験 1 正答試行と誤答試行の納得感の評価

二値画像課題ごとの結果

課題の二値画像ごとの結果について図 4.5, 図 4.6, 図 4.7, 図 4.8 に示す. 各図横軸の画像番号は, 付録の図 A.1, 図 A.2 の画像番号 No.1 から No.30 と対応する. 図 4.5 は, 画像ごとの正答率である. 図 4.6 は, 画像ごとの未回答の場合を除いた平均回答時間である. 図 4.7 は, 画像ごとに, 正答の場合に確信度に関する質問に, 5 択のうち確信度の強い上位 2 つの選択肢のどちらかを選択した高確信度の割合である. 図 4.8 は, 画像ごと, 正答の場合にひらめきの感覚に関する質問にひらめきの感覚があったと回答したひらめき感ありの割合である.

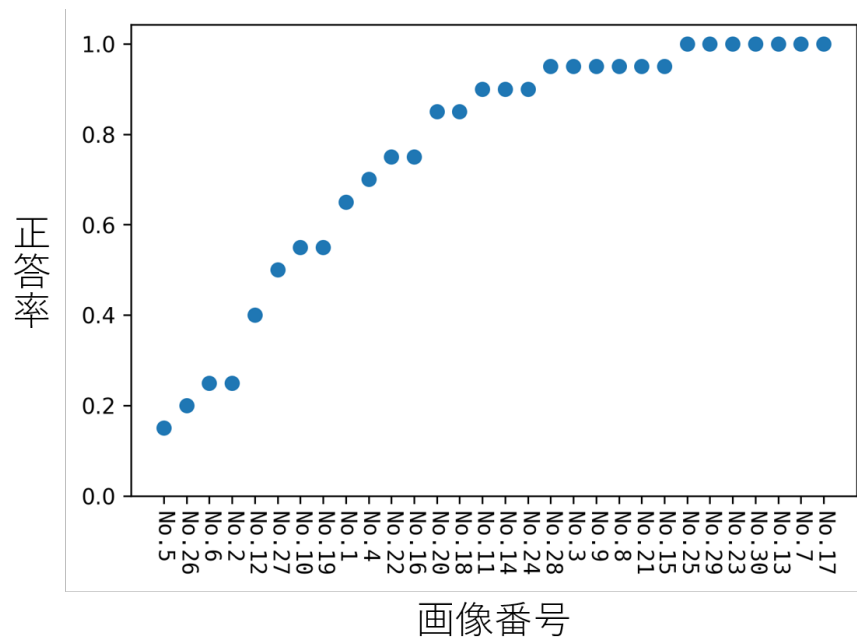


図 4.5: 実験 1 画像ごとの正答率

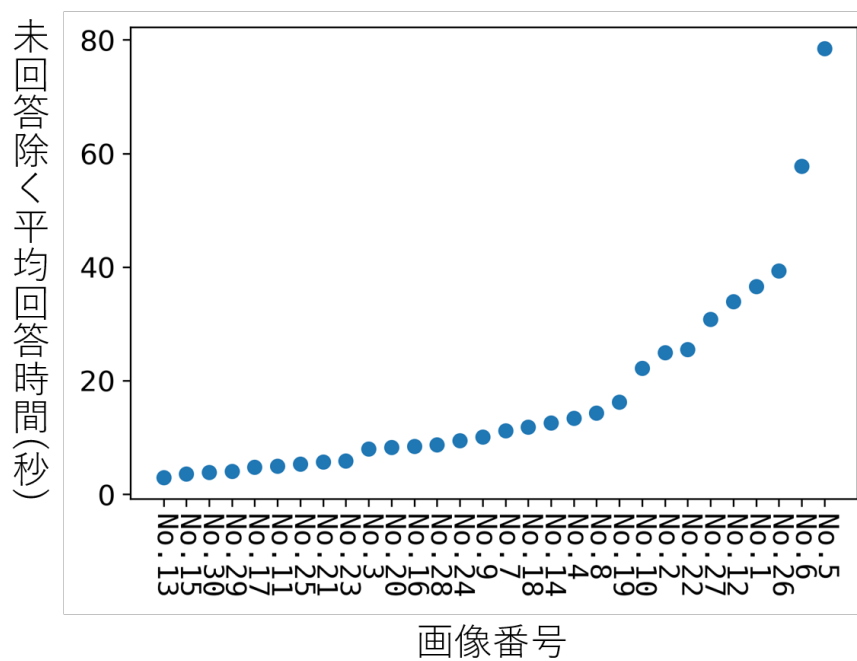


図 4.6: 実験 1 画像ごとの未回答の場合を除く平均回答時間

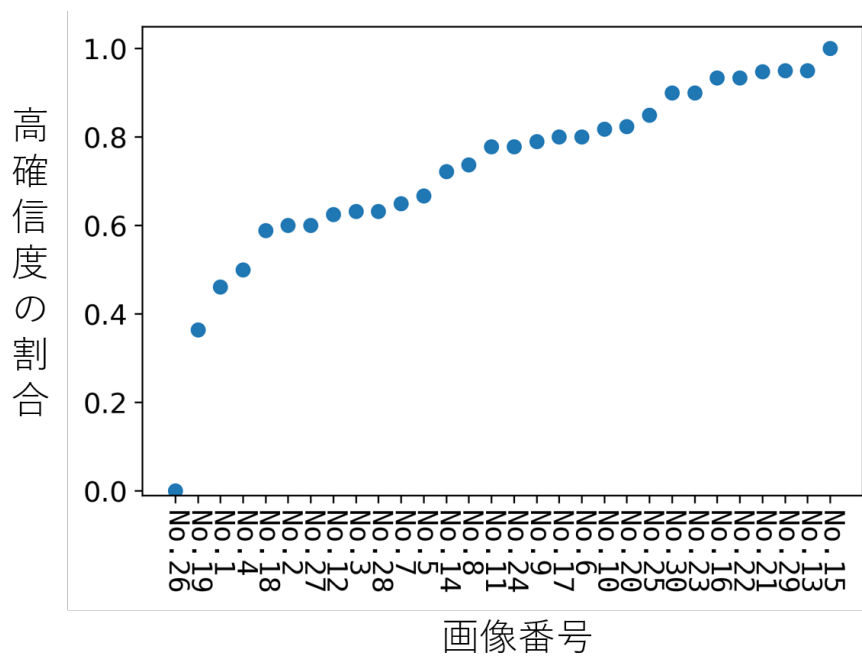


図 4.7: 実験 1 画像ごとの高確信度の割合

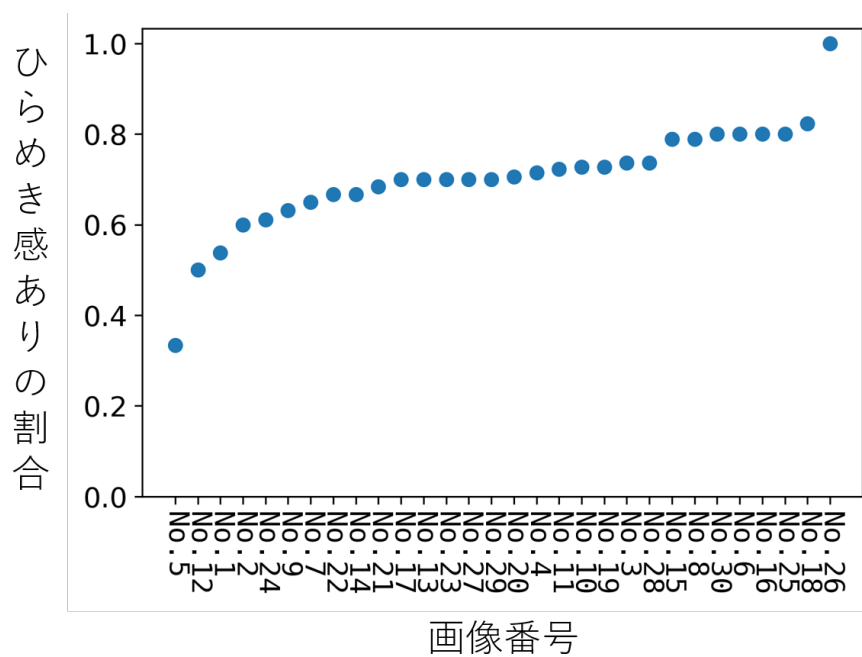


図 4.8: 実験1 画像ごとのひらめき感ありの割合

実験参加者ごとの結果

実験参加者ごとの結果について図 4.9, 図 4.10, 図 4.11, 図 4.12 に示す. 実験参加者 20 人にそれぞれ大文字のアルファベットを実験参加者符合として割り当て, 識別した.

図 4.9 は, 実験参加者ごと正答率である. 図 4.10 は, 実験参加者ごとの未回答の場合を除いた平均回答時間である. 図 4.7 は, 実験参加者ごとに, 正答の場合に確信度に関する質問に, 5 択のうち確信度の強い上位 2 つの選択肢のどちらかを選択した高確信度の割合である. 図 4.12 は, 実験参加者ごとに, 正答の場合にひらめきの感覚に関する質問にひらめきの感覚があったと回答したひらめき感ありの割合である.

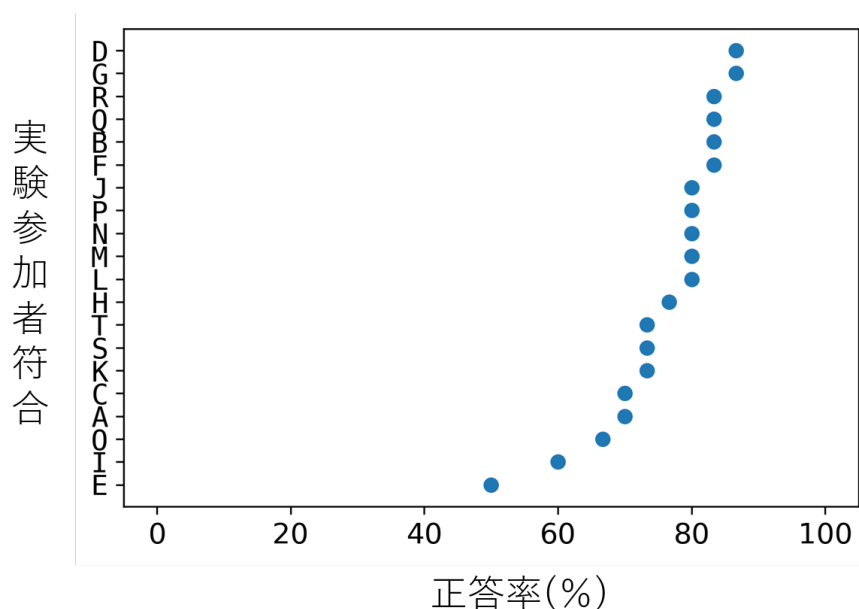


図 4.9: 実験 1 実験参加者ごとの正答率

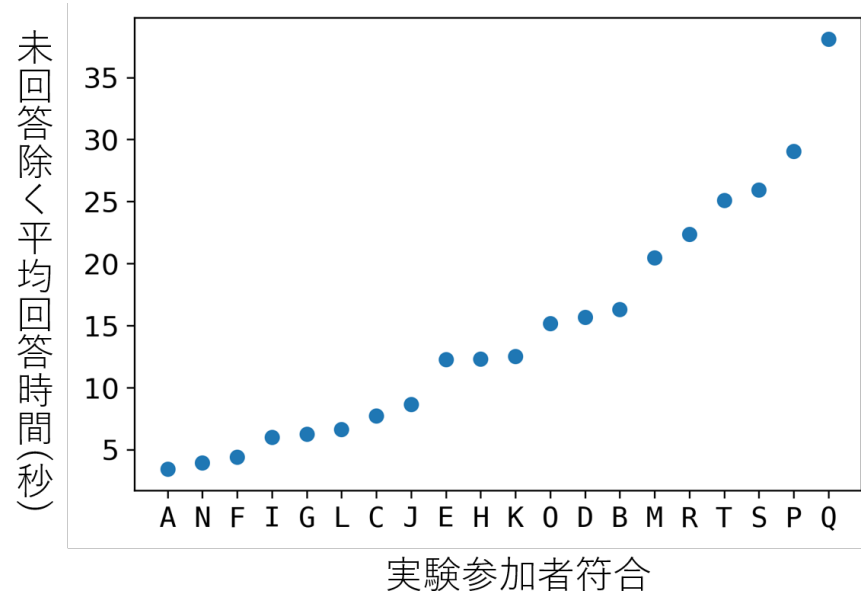


図 4.10: 実験 1 実験参加者ごとの未回答の場合を除く平均回答時間

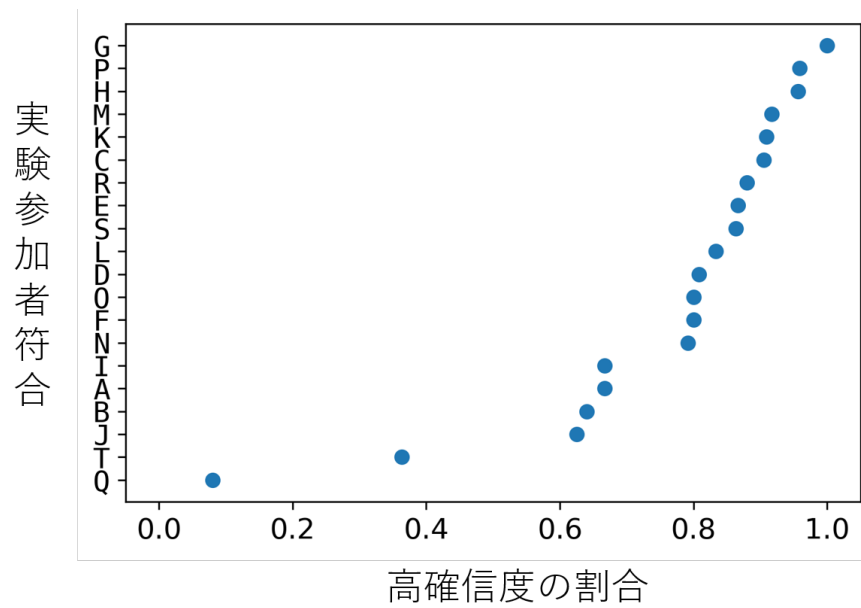


図 4.11: 実験 1 実験参加者ごとの高確信度の割合

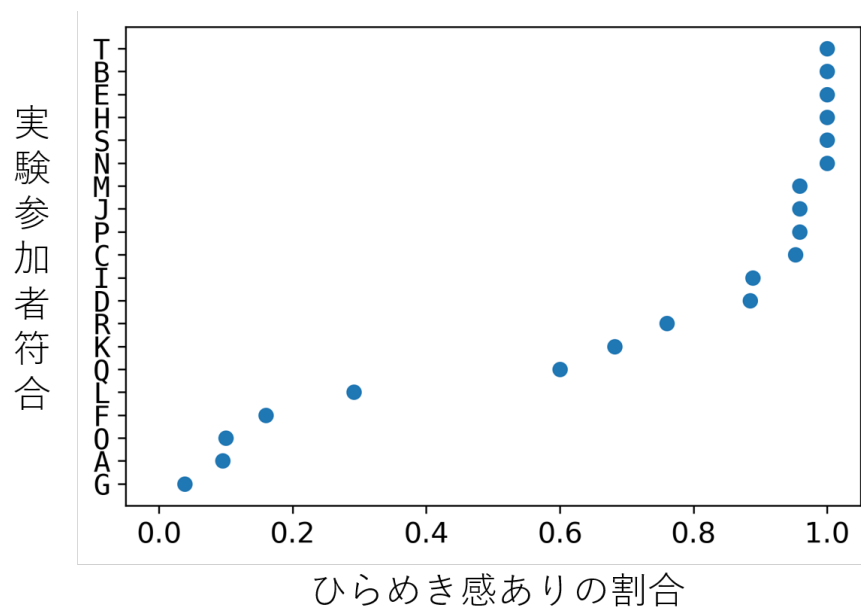


図 4.12: 実験 1 実験参加者ごとのひらめき感ありの割合

ひらめきの感覚と確信度を見るために、相関分析をおこなった (図 4.13). 実験参加者ごとのひらめき感ありの割合と高確信度の割合の相関分析を行ったところ、相関は見られなかった ($R = -0.03, p = 0.90$). Topolinski and Reber (2010) によると、ひらめきの感覚の特徴の一つに解への確信があることが示されているが、例えば解答者にとって二値画像課題が極めて簡単である場合や、二値画像を見た瞬間に動物が何か分かる場合には、解への確信があってもひらめきの感覚はないと判断される可能性があると考えられる. このとき、解答者は初めから動物のいる領域を特定できているため、解答者にとってその課題は洞察問題ではないと言える. そこで図 4.13 の分布に注目すると、実験参加者 A, F, G, L, O が、ひらめき感ありの割合が低く高確信度の割合が高い傾向を持つことが分かる.

また、ひらめきの感覚と正答率の関係を見るため、相関分析をおこなった. 図 4.14 ではスケールをそろえるために回答時間の単位は分で出力した. 実験参加者ごとのひらめき感ありの割合と回答時間の相関分析をおこなったところ、こちらも相関は見られなかった ($R = -0.20, p = 0.39$). 一方、実験参加者 A, F, G, L, O は、短時間で回答し、かつひらめき感ありの割合が低い、すなわちひらめきを感じにくい傾向にあることが分かる. この結果から、回答時間が早く、かつ、ひらめきを感じにくい傾向にある実験参加者にとって、二値画像課題は洞察問題ではない可能性が考えられるため、以降の分析では一部の実験参加者を除外した. 具体的には、平均回答時間が 10 秒未満かつ、ひらめき感ありの割合が 0.2 未満だった実験参加者 A, F, G を除く 9 人で、以降の分析をおこなった.

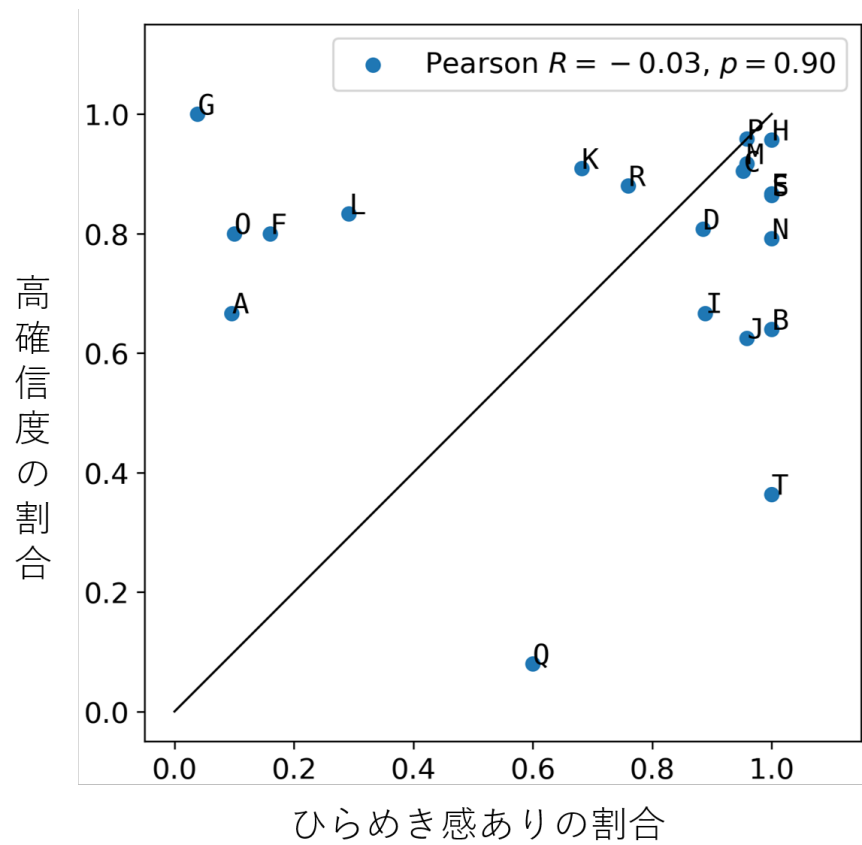


図 4.13: 実験 1 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と確信度の割合の関係

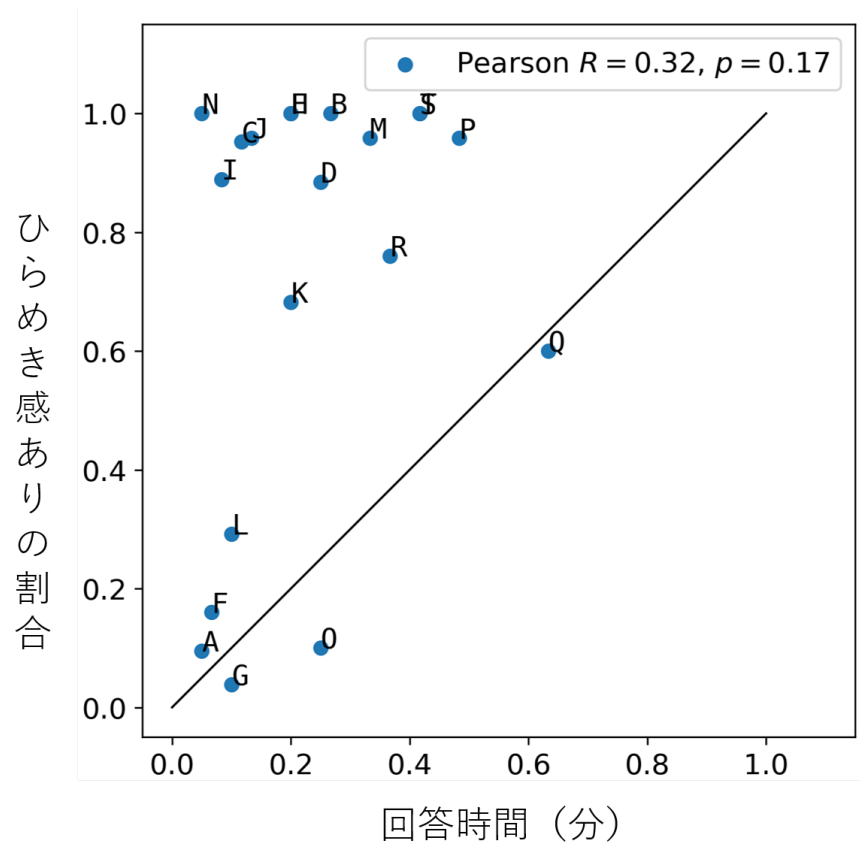


図 4.14: 実験 1 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と回答時間の関係

マウス軌道の時系列変化

マウス位置のデータは，課題となる二値画像が提示されている画面で毎秒 30 点記録した．一試行のマウスの軌道を可視化した図を 4.15 に示す．

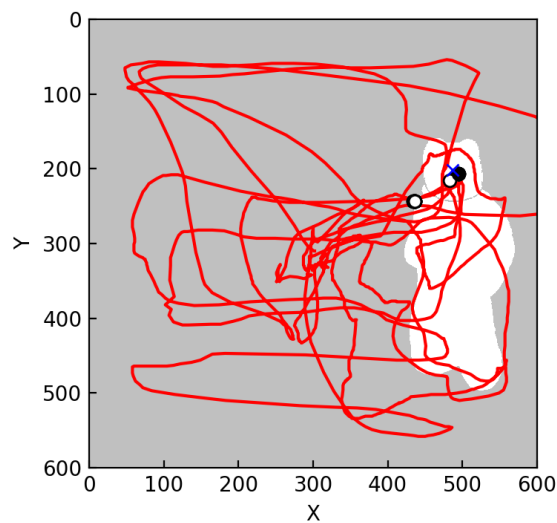


図 4.15: 実験 1 マウス軌道の可視化画像

以下、マウス軌道の分析は毎秒 3 点の座標データを用いておこなった。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、図 4.16 に示す。図中ではひらめきの感覚ありを「Aha」、ひらめきの感覚なしを「No Aha」と記載する。横軸は時間であり、実験参加者が動物の頭部の位置をダブルクリックした時刻を 0 として 10 秒前から記載した。各実線はそれぞれ、動物の頭部の中心からの距離を平均したものである。ただし、すべての試行のダブルクリック時点を 0 に揃え、回答時間が 10 秒以内の試行は存在しないデータを欠損値として扱った。

ひらめきの有無による時系列変化の傾向の差異を確認するため、回帰分析をおこなった。図 4.16 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、有意な差がみられた ($p < .001$)。つまり、ひらめいた感覚があると回答した試行群では、ひらめいた感覚がないと回答した試行群に比べて、急速に対象物へ向かうマウスの動きをしている傾向が見られた。

さらに時系列変化が予想と一致する傾向を持つかを調査するために、2 直線による回帰分析をおこなった。ここでは、ダブルクリック時刻から 10 秒間の区間をある時刻で 2 分割して、それぞれのデータに回帰分析をおこなう。区間分割の時刻は、最尤法で求めた。また区間を分割しなかった場合の回帰分析のモデルとの比較もおこない、赤池の情報量基準 (以下 AIC とする) を用いて選択した。ひらめきの感覚があると答えた試行群、ないと答えた試行群、ひらめきの有無にかかわら

ず一つの試行群として扱った場合それぞれに対して同様の分析をおこなった．結果を図 4.17 に示す．図中の直線は，それぞれの群に対し，選択された時刻で分割されたデータに基づく回帰直線である．ひらめきの有無によらず 1 種類の回帰モデル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 種類ずつ計 2 種類の回帰モデル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，有意な差がみられた ($p < .001$)．つまり，ひらめいた感覚があると回答した試行群では，ひらめいた感覚がないと回答した試行群に比べて，急速に対象物へ向かうマウスの動きをしている傾向が見られた．ただし全ての群で分割時刻はダブルクリックまで 1 秒以内であり，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が影響したと考えられる．

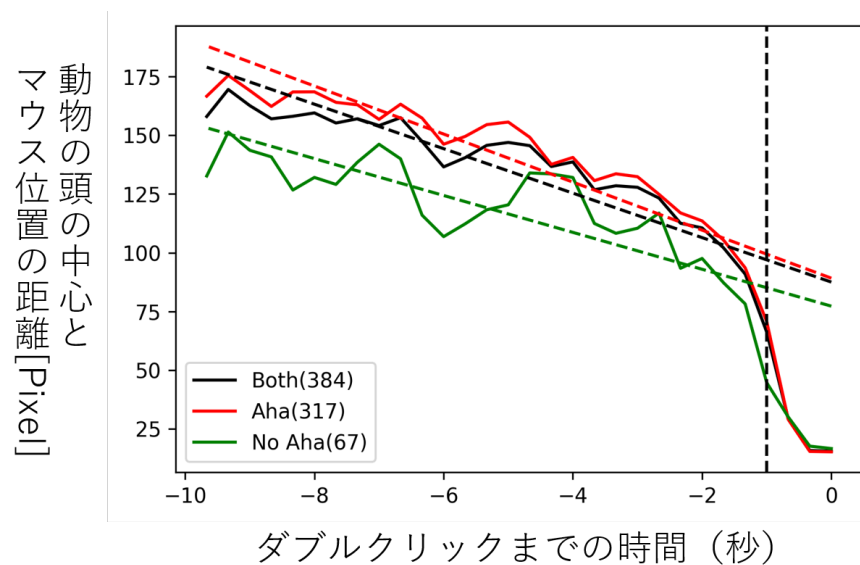


図 4.16: 実験 1 正答試行のうちひらめいた感覚があると回答した試行群とひらめいた感覚がないと回答した試行群のマウス軌道の時系列変化 (回帰分析)

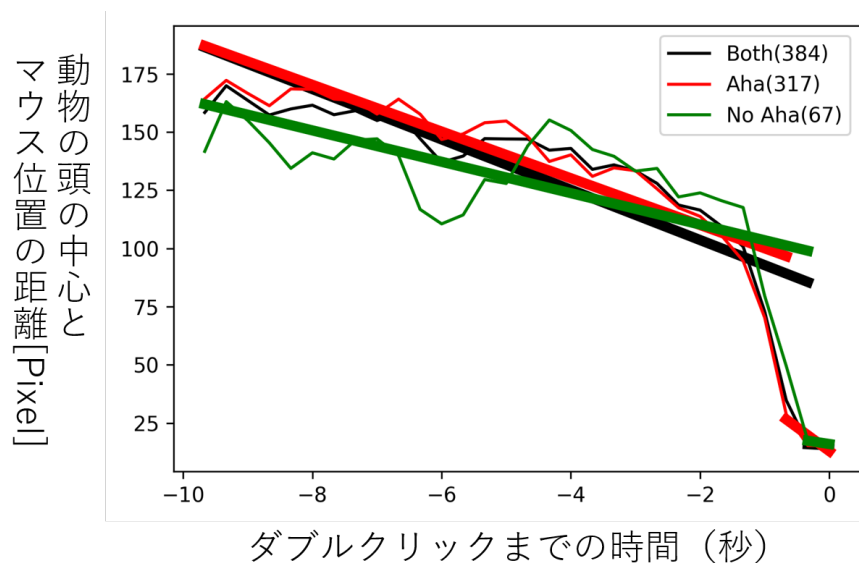


図 4.17: 実験 1 正答試行のうちひらめいた感覚があると回答した試行群とひらめいた感覚がないと回答した試行群のマウス軌道の時系列変化（2 分割の回帰分析）

次に、正答試行のうち、高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化を、図 4.18 に示す。ひらめきの有無による時系列変化と同様に、実験参加者が動物の頭部の位置をダブルクリックした時刻を 0 として 10 秒前から記載しており、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。確信度によらず 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、高確信度と低確信度ごとに 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、有意な差がみられた ($p < .001$)。

また、2 分割の回帰分析の結果を図 4.19 に示す。図中の直線は、それぞれの群に対し、選択された時刻で分割されたデータに基づく回帰直線である。確信度の評価によらず 1 種類の回帰モデル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、高確信度と低確信度それぞれの試行群に 1 種類ずつ計 2 種類の回帰モデル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、有意な差がみられた ($p < .001$)。以上より、高確信度の試行群では、低確信度の試行群に比べて、急速に対象物へ向かうマウスの動きをしている傾向が見られた。ただし全ての群で分割時刻はダブルクリックまで 1 秒以内であり、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が影響したと考えられる。

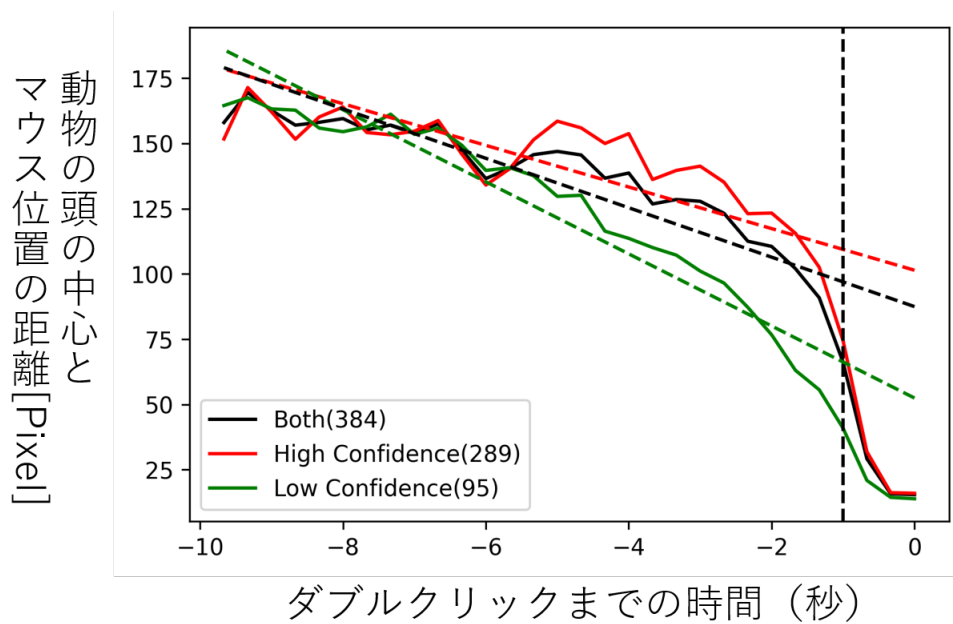


図 4.18: 実験 1 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化 (回帰分析)

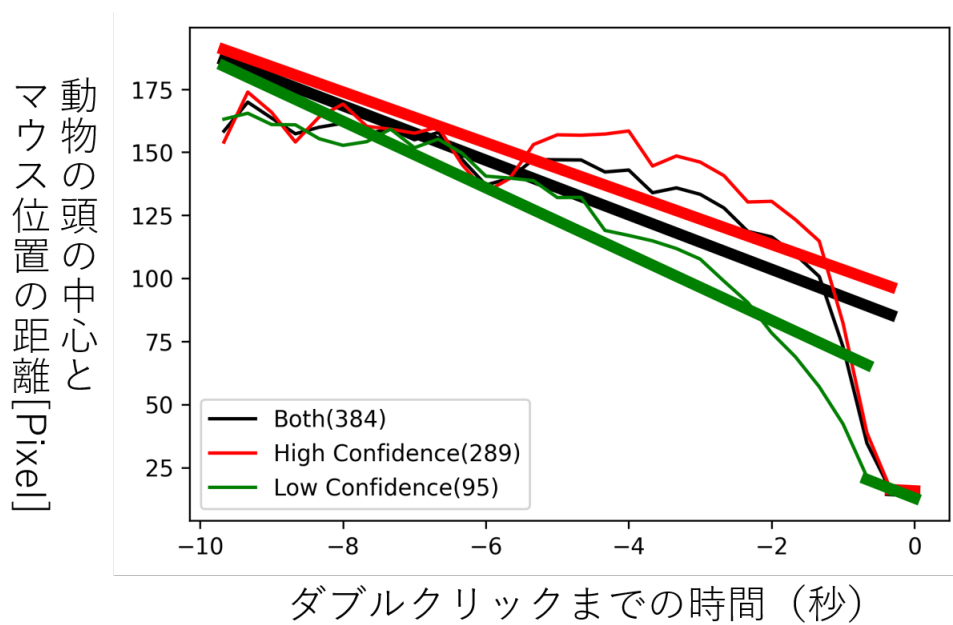


図 4.19: 実験 1 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化 (2 分割の回帰分析)

4.2 実験2：マウス軌跡による二重構造仮説の本実験

4.2.1 実験刺激

二値画像は第3章に記載の方法で40問作成し、実験に用いた。使用した30枚の二値画像は付録の図A.3, 図A.4に記載した。この40問を作成するために用いた動物の写る自然画像、背景の自然画像は実験1で使った二値画像の制作に用いた画像とは異なる。二値画像の提示順は無作為に画像を抽出した提示順セットを二セット用意し、いずれの提示順で試行を行うかを参加者間でカウンターバランスを取った。

4.2.2 実験環境

実験は、実験者と同室でおこなった。実験参加者は実験者から説明を受けたのち、実験者が用意したコンピュータ上で、マウスを用いて実験画面の提示、操作、回答した。コンピュータはSurface Pro 4（ディスプレイサイズ12.3インチ、解像度2736pixel×1824pixel）を使用し、二値画像は画面中央に1200pixel×1200pixel（114mm×114mm）で表示した。実験中、実験参加者が操作・回答をおこなう実験提示システムは、実験1と同様である。本実験では、使用ブラウザはGoogle Chromeに限定した。

4.2.3 実験手順

実験は練習セッションと本番セッションから構成された。実験は練習セッションと本番セッションから構成された。練習セッション2試行と本番セッションを前半・後半の2つのセッションに分けて、前半20試行、後半20試行の課題に取り組んだ。

実験手順は実験1と同様である。ただし、実験2ではすべての実験参加者に動物の種類と頭部が分かっ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は要請しなかった。

4.2.4 実験参加者

本研究は、北陸先端科学技術大学院大学の倫理委員会による承認の下で実施された。実験1の実験参加者のうち、再度協力が得られた13人の大学院生（男性10名、女性3名）が実験2に参加した。実験参加者はインフォームド・コンセントを受け、実験同意書に記入の上で実験に参加した。実験参加者のうち6人は日本語でコミュニケーションをとることが可能な中国人留学生だった。

4.2.5 結果

実験参加者 13 人のうち、一部実験指示を無視して実験を実施した 1 人を除く 12 名（男性：9 名，女性 3 名，平均年齢 26.8，SD=3.51）の結果が分析対象になった。

二値画像課題の正答，誤答，未回答の判断は実験 1 と同様の基準でおこなった。全試行 480 のうち，正答が 83.3%（400 試行），誤答が 8.3%（40 試行），未回答が 8.3%（40 試行）であった。また二値画像課題の回答時間の平均は正答試行平均 11.6 秒 ± 18.9 秒，誤答試行 41.8 ± 40.7 秒であった。

各質問項目の結果

各質問の回答と二値画像課題の正誤との関係を実験 1 と同様に示す。確信度に関しては図 4.20，ひらめきの感覚の有無に関しては図 4.21，納得感の有無に関しては図 4.22 のようになった。

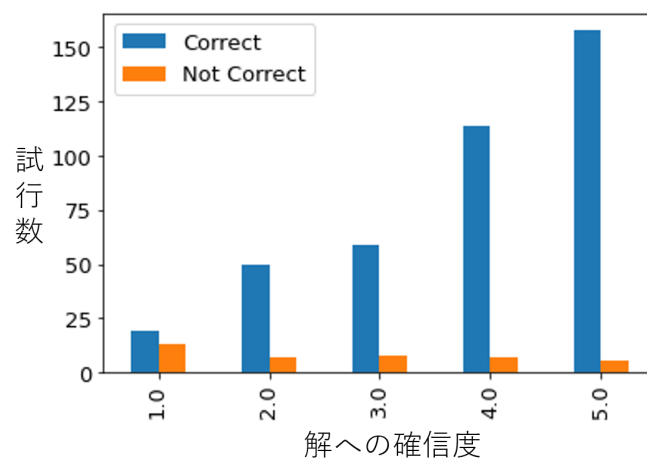


図 4.20: 実験 2 正答試行と誤答試行の確信度の評価

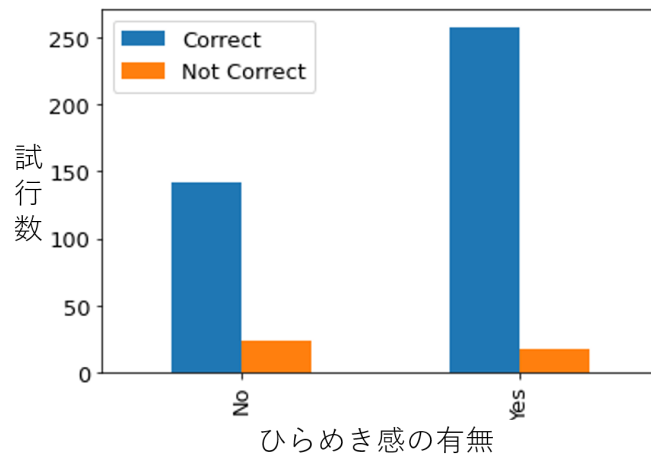


図 4.21: 実験 2 正答試行と誤答試行のひらめきの感覚の評価

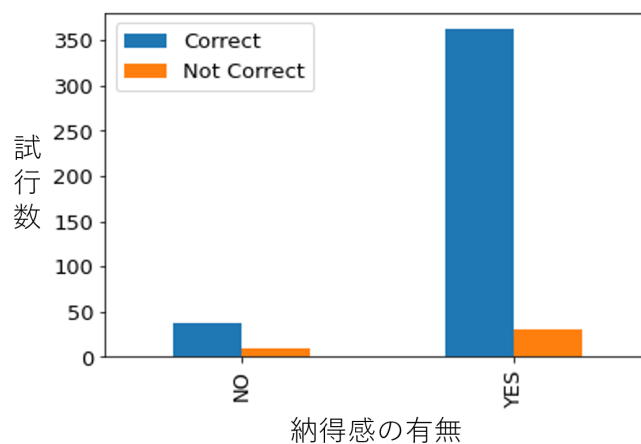


図 4.22: 実験 2 正答試行と誤答試行の納得感の評価

二値画像課題ごとの結果

課題の二値画像ごとの結果について図 4.23, 図 4.24, 図 4.25, 図 4.26 に示す. 各図横軸の画像番号は, 付録の図 A.3, 図 A.4 の画像番号 No.31 から No.70 と対応する.

図 4.23 は, 画像ごとの正答率である. 図 4.24 は, 画像ごとの未回答の場合を除いた平均回答時間である. 図 4.25 は, 画像ごとの高確信度の割合である. 図 4.26 は, 画像ごとのひらめき感ありの割合である.

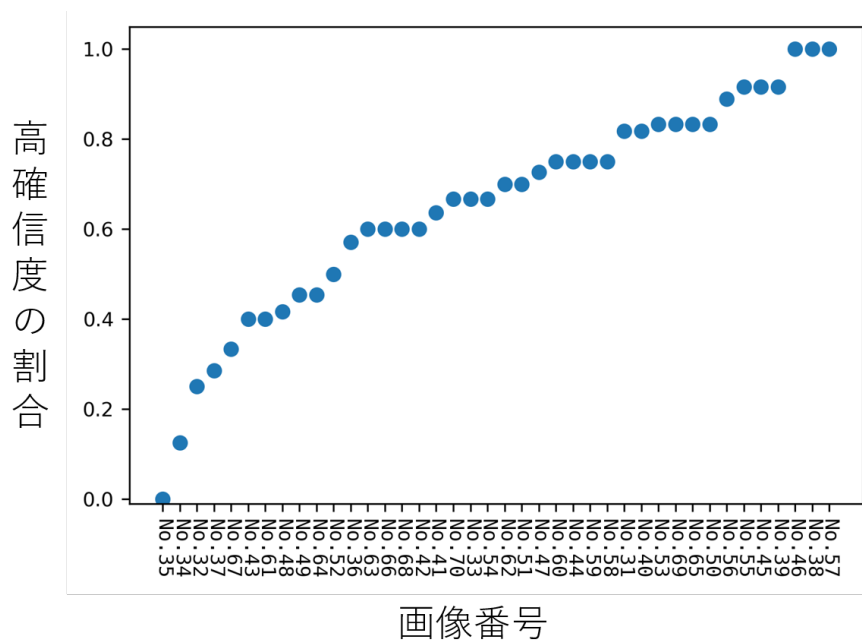


図 4.25: 実験 2 画像ごとの高確信度の割合

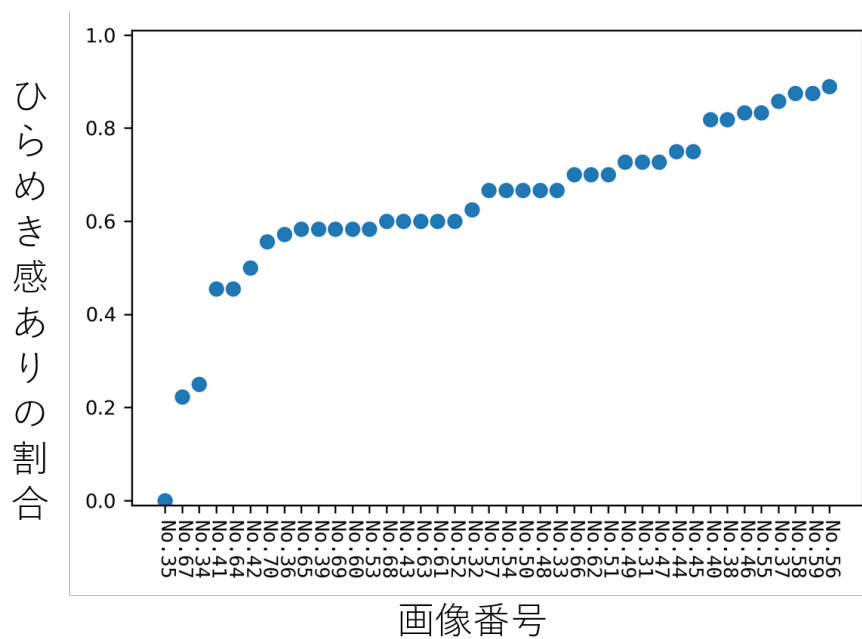


図 4.26: 実験 2 画像ごとのひらめき感ありの割合

ひらめきの感覚と確信度を見るために、相関分析をおこなった (図 4.27). 実験参加者ごとのひらめき感ありの割合と高確信度の割合の相関分析を行ったところ、相関は見られなかった ($R = 0.36, p = 0.25$). また、ひらめきの感覚と正答

率の関係を見るため、相関分析をおこなった(図 4.28)。で実験参加者ごとのひらめき感ありの割合と回答時間の相関分析をおこなったところ、こちらも相関は見られなかった($R = -0.00, p = 0.99$)。実験 1 と同様、回答時間が早く、かつ、ひらめきの感覚がある割合が低い傾向にある実験参加者にとって、二値画像課題は洞察問題ではない可能性が考えられるため、以降の分析では平均回答時間が 10 秒未満かつ、ひらめき感ありの割合が 0.2 未満だった実験参加者 F を除外した。

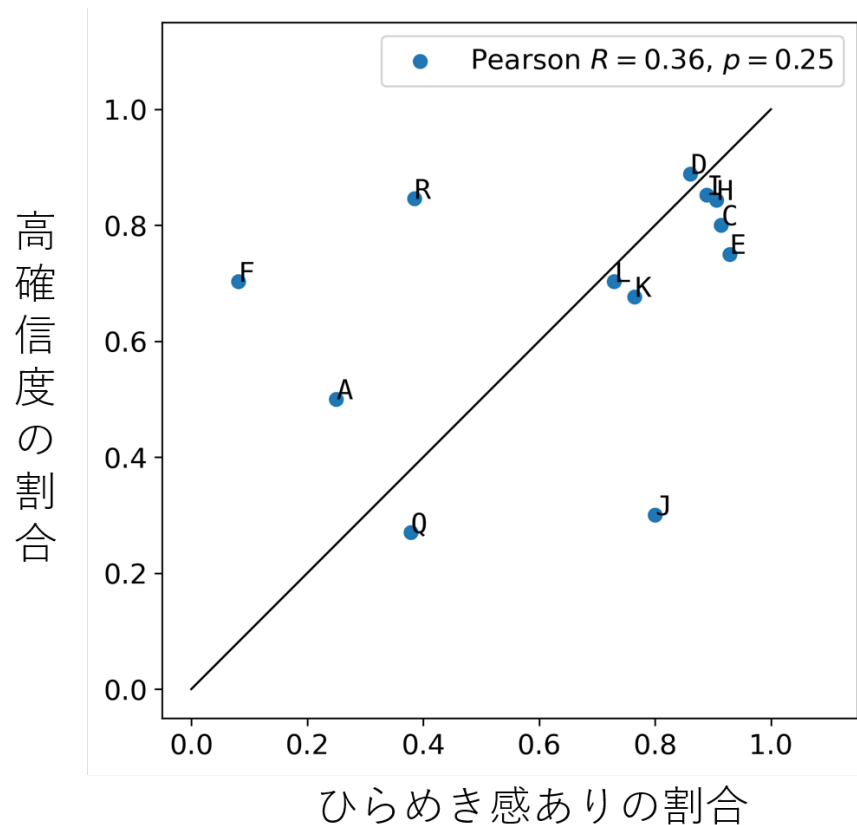


図 4.27: 実験 2 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と確信度の割合の関係

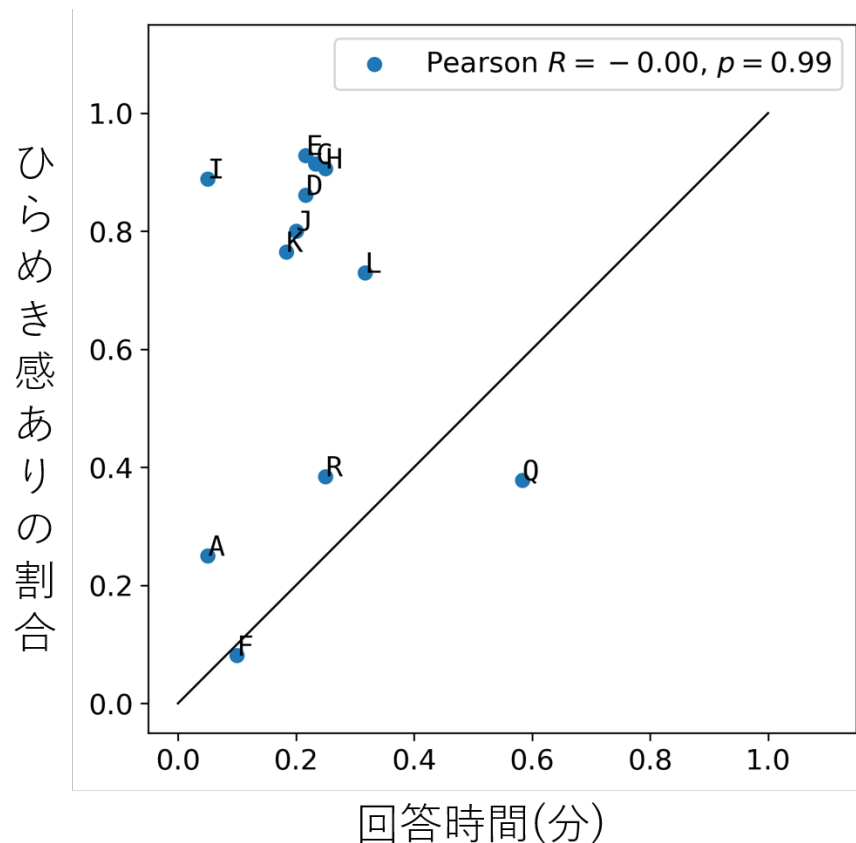


図 4.28: 実験 2 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と回答時間の関係

マウス軌道の時系列変化

マウス軌道の分析は毎秒 3 点の座標データを用いておこなった。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、図 4.29 に示す。図中ではひらめきの感覚ありを「Aha」、ひらめきの感覚なしを「No Aha」と記載した。図 4.29 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、有意な差がみられた ($p < .001$)。この回帰分析では、ひらめいた感覚がないと回答した試行群の方が、あると回答した試行群に比べて、急速に対象物へ向かうマウスの動きをしている傾向が見られた。また、2 分割の回帰分析の結果を図 4.30 に示す。図中の直線は、それぞれの群に対し、選択された時刻で分割されたデータに基づく

回帰直線である。ひらめきの感覚の有無によらず1種類の回帰モデル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種類ずつ計2種類の回帰モデル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、有意な差がみられた($p < .001$)。この結果からも、ひらめいた感覚があると回答した試行群では、ひらめいた感覚がないと回答した試行群に比べて、急速に対象物へ向かうマウスの動きをしている傾向が見られた。ただし全ての群で分割時刻はダブルクリックまで1秒以内であり、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が影響したと考えられる。

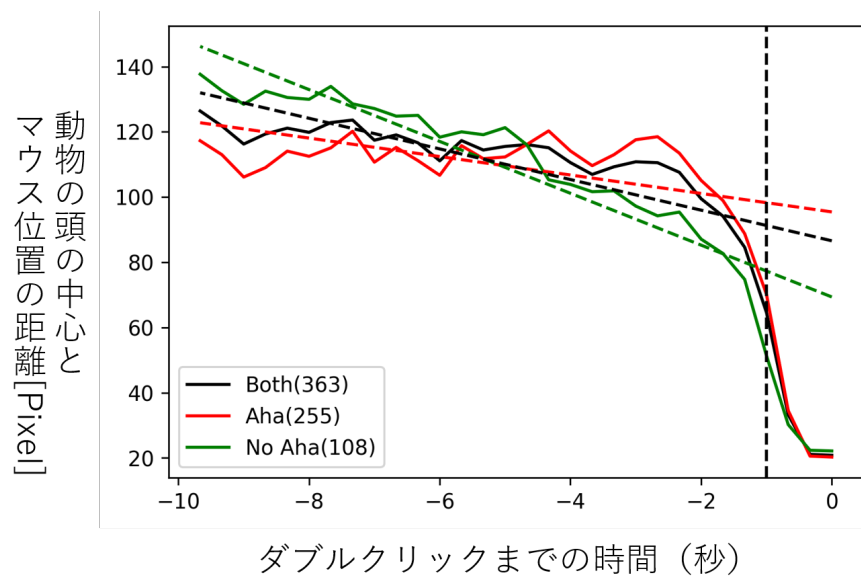


図 4.29: 実験 2 正答試行のうちひらめいた感覚があると回答した試行群とひらめいた感覚がないと回答した試行群のマウス軌道の時系列変化 (回帰分析)

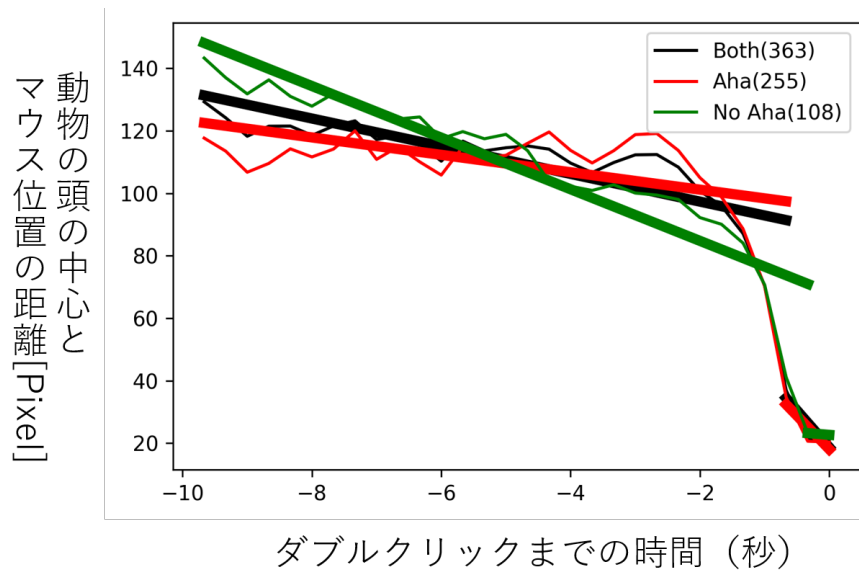


図 4.30: 実験 2 正答試行のうちひらめいた感覚があると回答した試行群とひらめいた感覚がないと回答した試行群のマウス軌道の時系列変化（2 分割の回帰分析）

次に、正答試行のうち、高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化を、図 4.31 に示す。ひらめきの有無による時系列変化と同様に、実験参加者が動物の頭部の位置をダブルクリックした時刻を 0 として 10 秒前から記載しており、図 4.31 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。確信度の評価によらず 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、高確信度と低確信度ごとに 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、有意な差がみられた ($p < .001$)。また、2 分割の回帰分析の結果を図 4.32 に示す。図中の直線は、それぞれの群に対し、選択された時刻で分割されたデータに基づく回帰直線である。確信度の高低によらず 1 種類の回帰モデル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、高確信度と低確信度それぞれの試行群に 1 種類ずつ計 2 種類の回帰モデル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、有意な差がみられた ($p < .001$)。以上より、高確信度の試行群では、低確信度の試行群に比べて、急速に対象物へ向かうマウスの動きをしている傾向が見られた。ただし全ての群で分割時刻はダブルクリックまで 1 秒以内であり、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が影響したと考えられる。

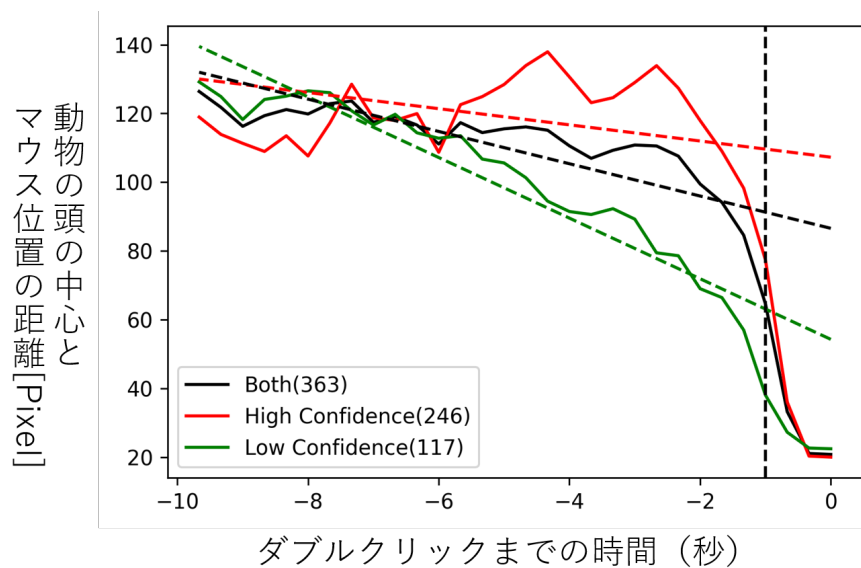


図 4.31: 実験 2 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化 (回帰分析)

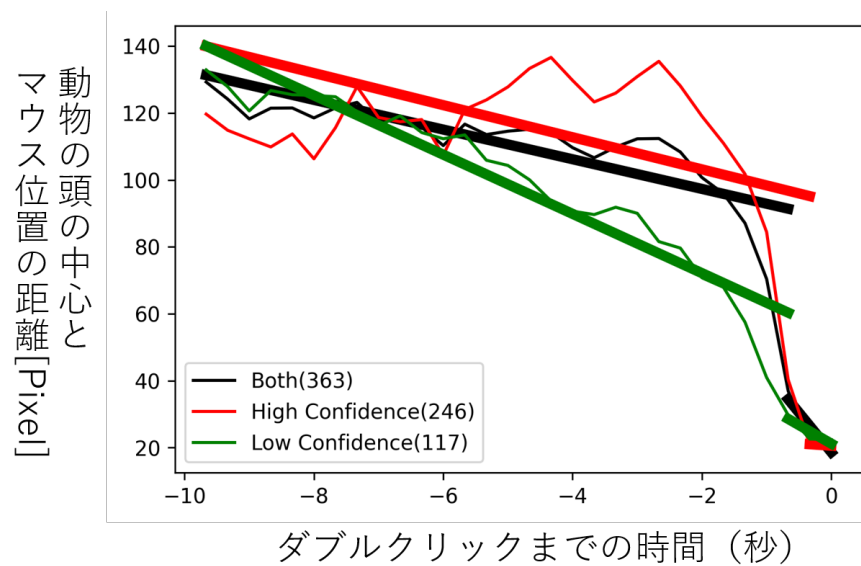


図 4.32: 実験 2 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群のマウス軌道の時系列変化 (2 分割の回帰分析)

第5章 実験3：視線計測による二値画課題実験

5.1 実験刺激

本実験で刺激として用いた二値画像は、第4章マウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験で使用した計70問の中から30問を選別した。まず、70問のうちの1問は、二値画像作成時に背景画像と動物画像の境界が不自然な合成となっていたため、使用課題から除外した。69問の選別の基準には第4章の実験結果を使用し、次の3点の基準を満たさない問題をそれぞれ除外した。1点目に、平均正答率が20%未満90%以上の二値画像を課題から除外した。2点目に、未回答を除く平均回答時間が6秒未満40秒以上の二値画像を課題から除外した。3点目に、二値画像課題に不正解と未回答の参加者が計5人以上いて、かつ、そのうちの50%以上が「正解を見た後に「あ!!なるほど!!」と感じましたか?」の問題に「4なるほどと感じなかった」と回答した問題を除外した。各基準で除外して残った30問を本実験の刺激として使用した。この30問に含まれる動物は、哺乳類15種類（クマ、ネコ、ウシ、シカ、イヌ、ゾウ、キツネ、キリン、カンガルー、ヒョウ、ライオン、ブタ、ウサギ、ヒツジ、リス）だった。

二値画像の提示順は無作為に画像を抽出した提示順セットを二セット用意し、いずれの提示順で試行を行うかを参加者間でカウンターバランスを取った。

5.2 実験環境

実験は、実験者と同室でおこなった。実験参加者は実験者から説明を受けたのち、実験画面に提示される内容に従い、キーボードとマウスを操作して回答した。

図5.1は実際の実験中の光景である。実験中は、実験参加者への負担を考慮し、大きく頭を動かさないように指示した上で頭部は非固定で実験をおこなった。表示モニターと実験者との距離は57cm～68cm程度であった。表示モニターは23.8型カラー液晶モニター FlexScan EV2451（EIZO 株式会社製）を使用した。解像度は1920pixel×1080pixelであり、二値画像は画面中央に900pixel×900pixel（24.7cm×24.7cm）、視角20.4°×20.4°～24.5°×24.5°で表示した。

視線計測にはスクリーンベース型のアイトラッカーである Tobii Pro スペクトラム 1200（トビー・テクノロジー株式会社製）を使用した。視線データはサンプル

リングレート 600Hz で記録し，データは生体計測解析ソフトウェア Tobii Pro Lab（トビー・テクノロジー株式会社製）を通して出力した．

実験中，実験参加者が操作・回答をおこなう実験提示システムは，鳥居拓馬助教に協力いただき，構築した．システムは JavaScript ライブラリの p5.js により構築し，Google Chrome 上で表示した．システム上では，二値画像課題中のマウスのダブルクリック位置と，各質問項目の回答結果を記録した．各質問の詳細は 5.3 で説明する．



図 5.1: 視線計測実験の様子

5.3 実験手順

実験は練習セッションと本番セッションから構成された．練習セッション 3 試行と本番セッションを前半・後半の 2 つのセッションに分けて，前半 15 試行，後半 15 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．マウスカーソルの表示が消え，画面中央に注視点が 3 秒間提示されるので，それを注視することが求められた．3 秒間の注視点提示後，二値画像が提示され，実験参加者は動物がいることと，写っている動物の種類が分かったらすぐに左方向キーを押す．左方向キーを押すとマウスカーソルが再表示されるので，発見した動物の頭部をダブルクリックする．ダブルクリックをした場合，もしくは

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。まず「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」の場合は続く3つの質問に回答した。一問目に、「画像の中に見つけた動物の名前を答えてください」という質問に対し「いぬ・うさぎ・うし・カンガルー・きつね・きりん・くま・しか・シマウマ・ねこ・ひつじ・ヒョウ(チーター)・ぶた・ライオン・リス・これ以外の動物」の16の中からプルダウンで選択した。二問目に、「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自信は全くない/2自信はあまりない/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。三問目に「動物を見つけたときに、ひらめいた感覚がありましたか?」という質問に対し(1はい/2いいえ)の中から最も当てはまるものを選択した。

動物を見つけたときのひらめいた感覚に関して、Topolinski and Reber (2010)で提示された4つの特徴に基づき、次のような特徴を持つと教示した：(1)動物が何であるかが突然・不意に分かる、(2)一度動物が何かわかったと、なぜ分からなかったのか疑問に思うほど簡単である、(3)動物を見つけたときに驚き、嬉しさ、喜びといったような前向きな感情を持つ、(4)正解を見る前であっても、自分の答えが正しいという自信が持てる。ただし、必ずしもこの4つの特徴すべてを強く持つ必要はなく、この特徴を参考にしつつ実験参加者の主観で判断するように指示した。

一問目の「画像の中に見つけた動物の名前を答えてください」に「いいえ」と回答した場合は、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全く分からなかった/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、動物の部分に色がついた画像。問題として提示された二値画像が表示された。確認後「Next」ボタンで遷移すると質問が表示され、「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。

一試行の流れを図5.2に示す。

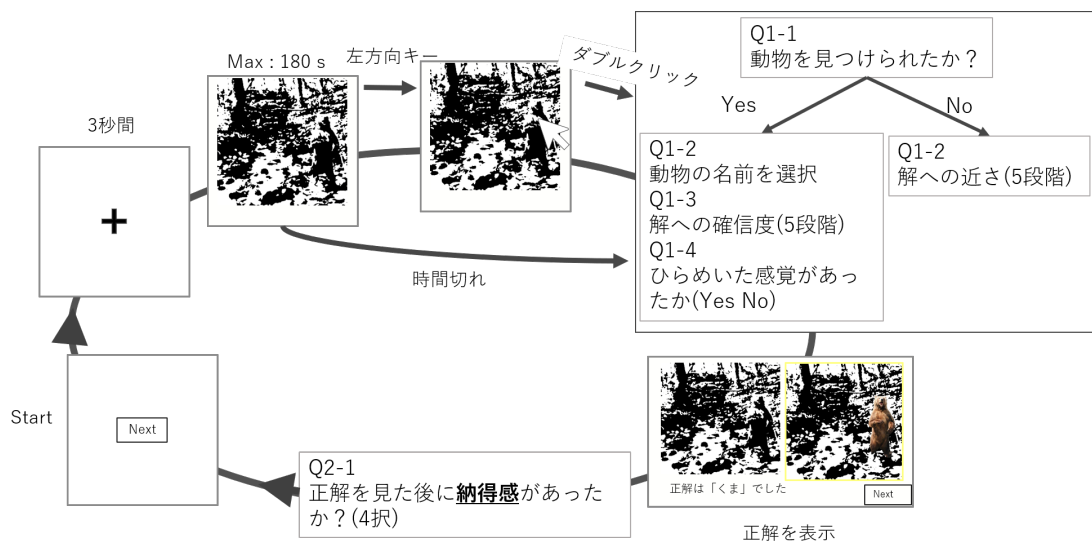


図 5.2: 視線計測による二値画像課題実験の流れ

5.4 実験参加者

本研究は、北陸先端科学技術大学院大学の倫理委員会による承認の下で実施された。実験参加者は、マウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験とは異なる 15 人の日本人の大学院生（男性：13 名、女性 2 名）であった。実験参加者はインフォームド・コンセントを受け、実験同意書に記入の上で実験に参加した。

5.5 結果

実験参加者 15 人（平均年齢 24.3, $SD=1.18$ ）の結果が分析対象になった。

二値画像課題の正答、誤答、未回答の判断はマウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験と同様の基準でおこなった。全試行 480 のうち、正答が 73.6% (331 試行)、誤答が 12.4% (56 試行)、未回答が 14.0% (63 試行) であった。また二値画像課題の回答時間の平均は正答試行 22.6 秒 $\pm$ 30.2 秒、誤答試行 62.7 $\pm$ 43.8 秒であった。

各質問項目の結果

各質問の回答と二値画像課題の正誤との関係は図 5.3, 図 5.4, 図 5.5 のようになった。図 5.3 は「答えにどれくらい自信がありますか」という確信度に関する質問に対して 5 段階の選択肢から選んだ試行数を表す。図 5.4 は「正解を見る前にひらめいた感覚がありましたか?」というひらめきの感覚に関する質問に対して「はい」または「いいえ」で回答した試行数を表す。図 5.5 は「正解を見た後に「あ!!

なるほど!!」と感じましたか?」という納得感に関する質問に対して、「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」を選んだ試行を納得感ありとし、「4正解を見ても「なるほど」と思わなかった」を選んだ試行を納得感なしとした場合の、それぞれの試行数を表す。

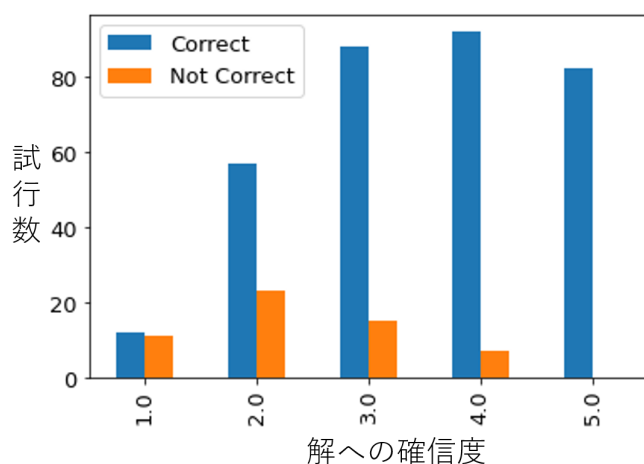


図 5.3: 視線計測実験 正答試行と誤答試行の確信度の評価

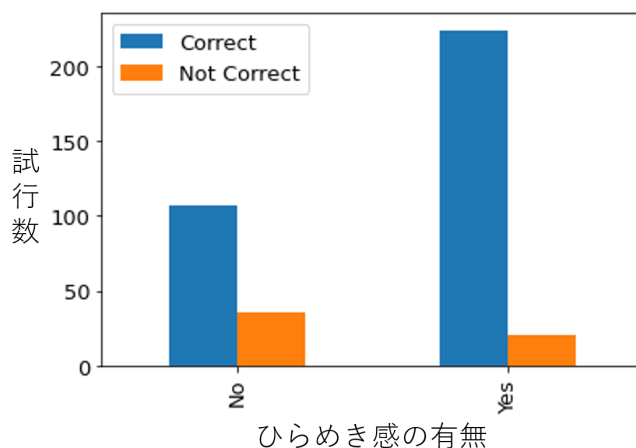


図 5.4: 視線計測実験 正答試行と誤答試行のひらめきの感覚の評価

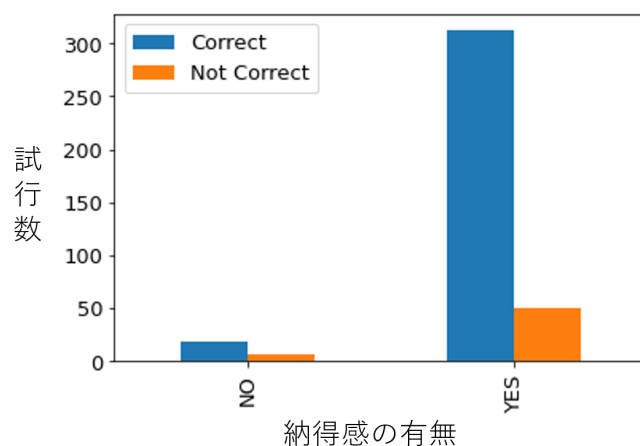


図 5.5: 視線計測実験 正答試行と誤答試行の納得感の評価

二値画像課題ごとの結果

課題の二値画像ごとの結果について図 5.6, 図 5.7, 図 5.8, 図 5.9 に示す. 本実験で出題した二値画像の画像番号は, マウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験で定めたものと対応する. 各図の横軸は画像番号である. 図 5.6 は, 画像ごとの正答率である. 図 5.7 は, 画像ごとの未回答の場合を除いた平均回答時間である. 図 5.8 は, 画像ごとの高確信度の割合である. 図 5.9 は, 画像ごとのひらめき感ありの割合である.

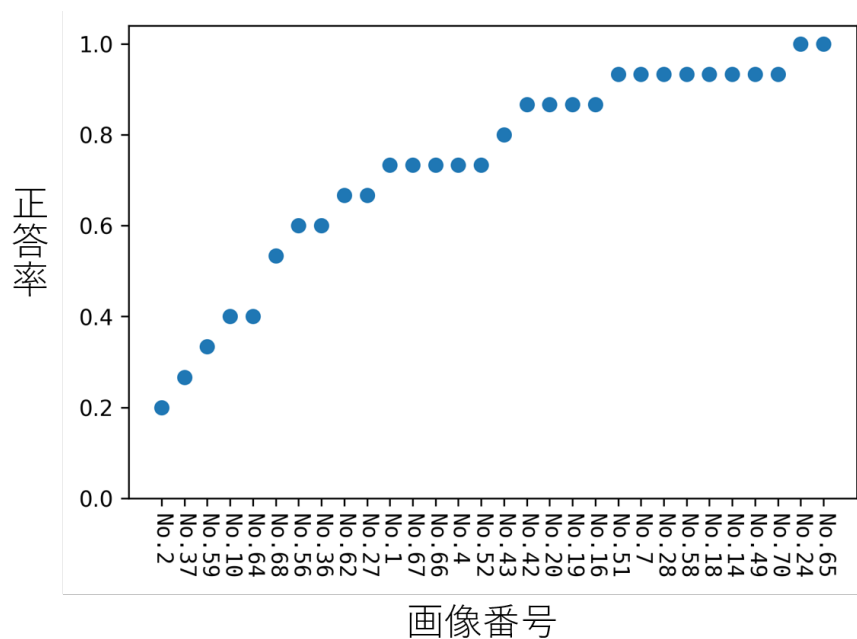


図 5.6: 視線計測実験 画像ごとの正答率

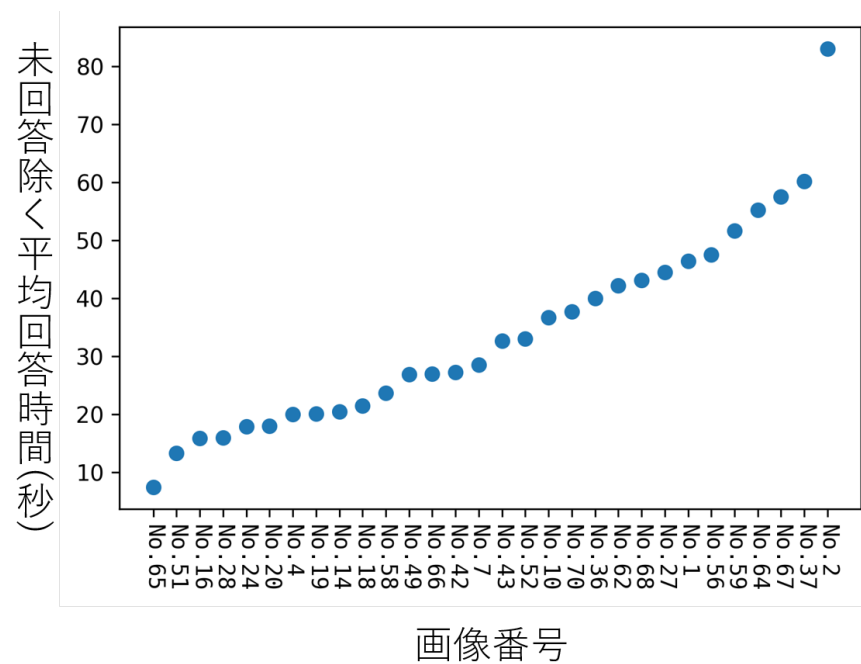


図 5.7: 視線計測実験 画像ごとの未回答の場合を除く平均回答時間

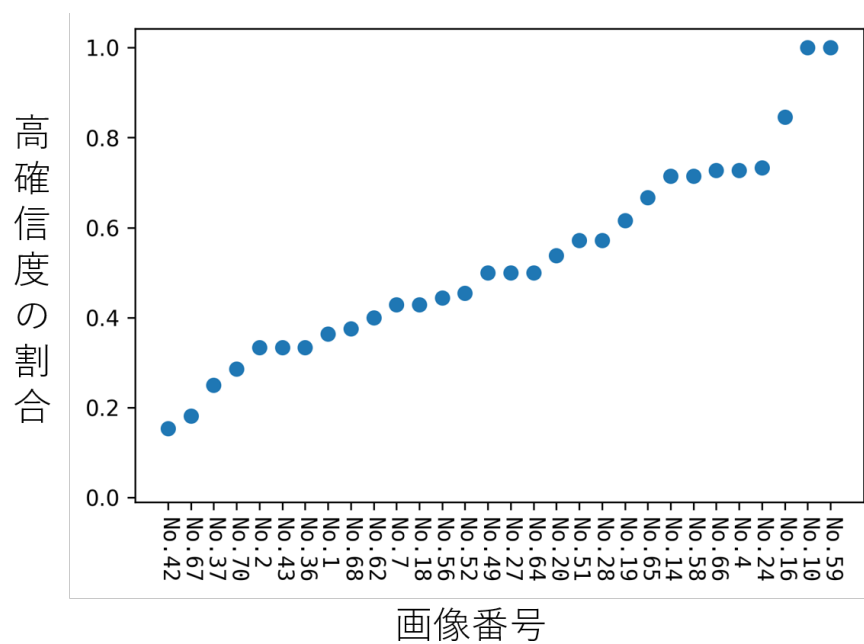


図 5.8: 視線計測実験 画像ごとの高確信度の割合

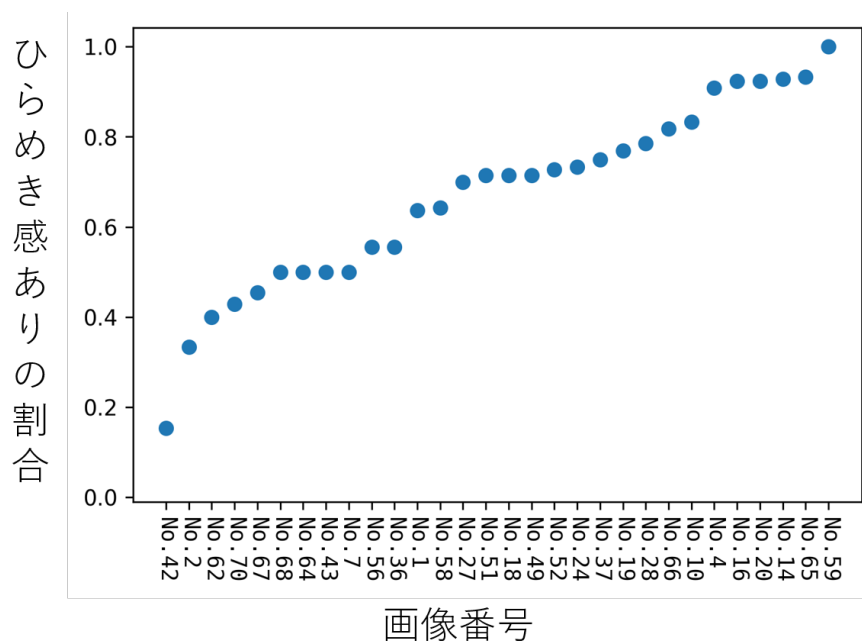


図 5.9: 視線計測実験 画像ごとのひらめき感ありの割合

実験参加者ごとの結果

実験参加者ごとの結果について図 5.10, 図 5.11, 図 5.12, 図 5.13 に示す. 実験参加者 15 人にそれぞれ小文字のアルファベットを実験参加者符号として割り当て, 識別した.

図 5.10 は, 実験参加者ごと正答率である. 図 5.11 は, 実験参加者ごとの未回答の場合を除いた平均回答時間である. 図 5.8 は, 実験参加者ごとに, 正答の場合に確信度に関する質問に, 5 択のうち確信度の強い上位 2 つの選択肢のどちらかを選択した高確信度の割合である. 図 5.13 は, 実験参加者ごとに, 正答の場合にひらめきの感覚に関する質問にひらめきの感覚があったと回答したひらめき感ありの割合である.

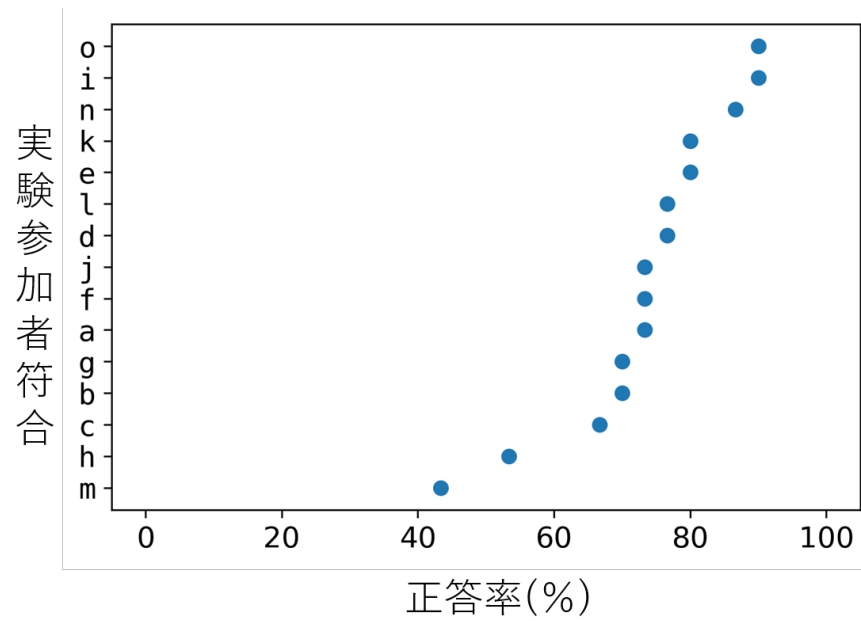


図 5.10: 視線計測実験 実験参加者ごとの正答率

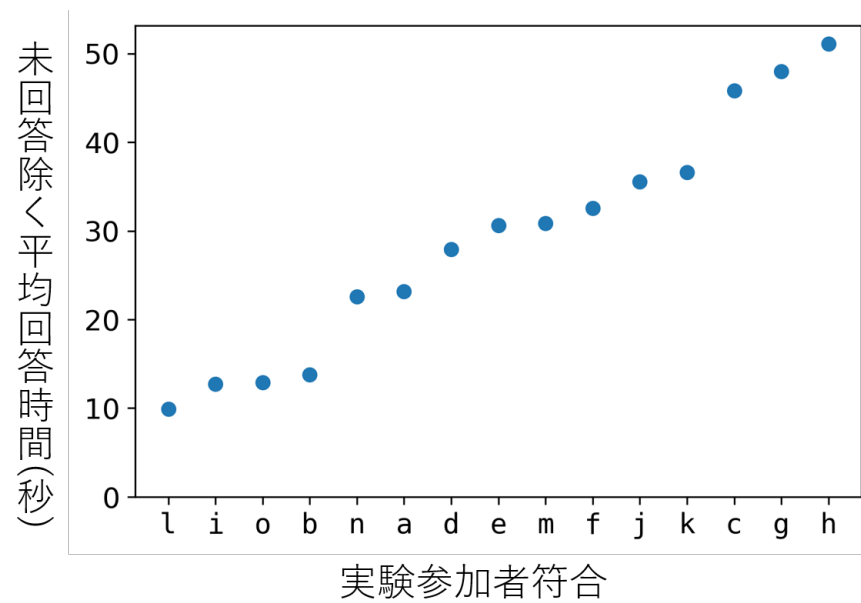


図 5.11: 視線計測実験 実験参加者ごとの未回答の場合を除く平均回答時間

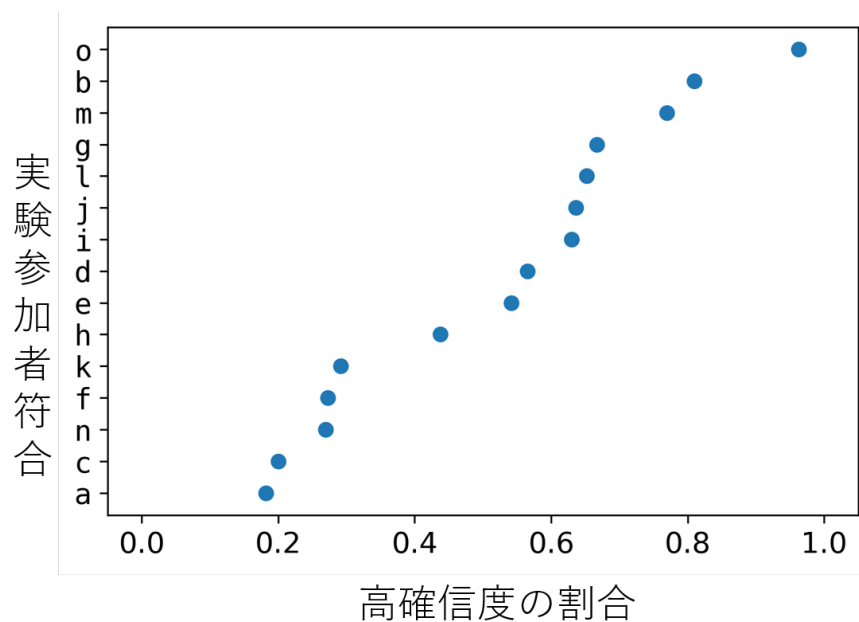


図 5.12: 視線計測実験 実験参加者ごとの高確信度の割合

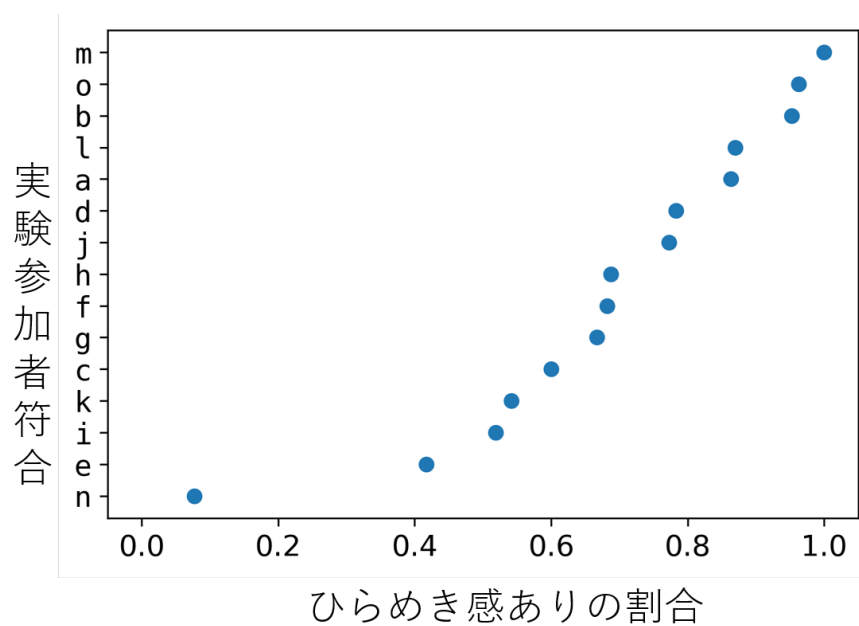


図 5.13: 視線計測実験 実験参加者ごとのひらめき感ありの割合

ひらめきの感覚と確信度を見るために、相関分析をおこなった(図 5.14). 実験参加者ごとのひらめき感ありの割合と高確信度の割合の相関分析を行ったところ、正の相関があった ($R = 0.54, p = 0.04, p < .05$). また、ひらめきの感覚と正答率の関係を見るため、相関分析をおこなった(図 5.15). で実験参加者ごとの

ひらめき感ありの割合と回答時間の相関分析をおこなったところ，こちらも相関は見られなかった ($R = -0.20, p = 0.48$)．マウス軌道で視線をと同なぞる二値画像課題実験と同様，回答時間が早く，かつ，ひらめきの感覚がある割合が低い傾向にある実験参加者にとって，二値画像課題は洞察問題ではない可能性が考えられる．本実験でも平均回答時間が10秒未満かつ，ひらめき感ありの割合が0.2未満だった実験参加者を今後の分析から除外しようと考えたが，本実験でその基準を満たす実験参加者はいなかった．

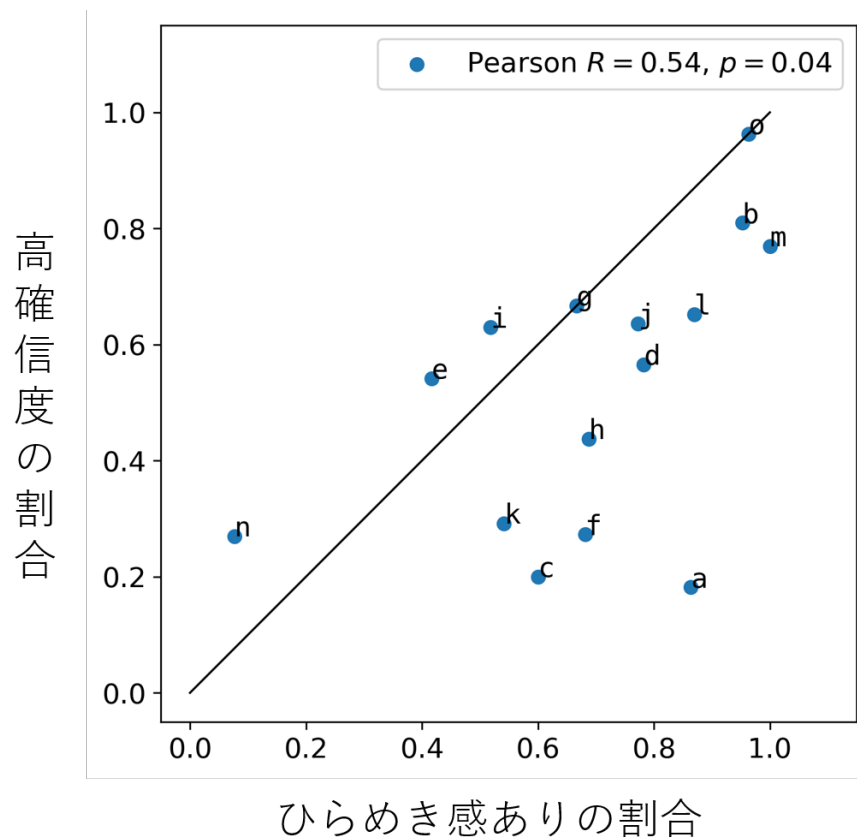


図 5.14: 視線計測実験 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と確信度の割合の関係

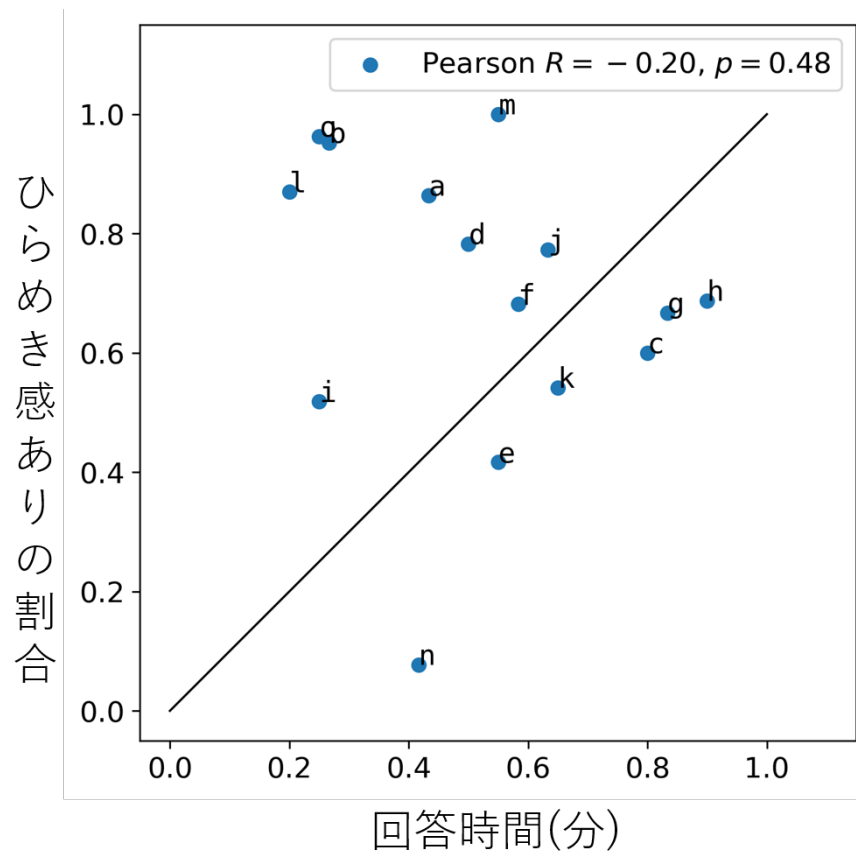


図 5.15: 視線計測実験 実験参加者ごとの正答の場合のひらめき感ありの割合と回答時間の関係

視線の時系列変化

視線データは 600fps で計測をおこない、Tobii Pro Lab を通して出力した。ある被験者の一試行の視線データを可視化した図を 5.16 に示す。

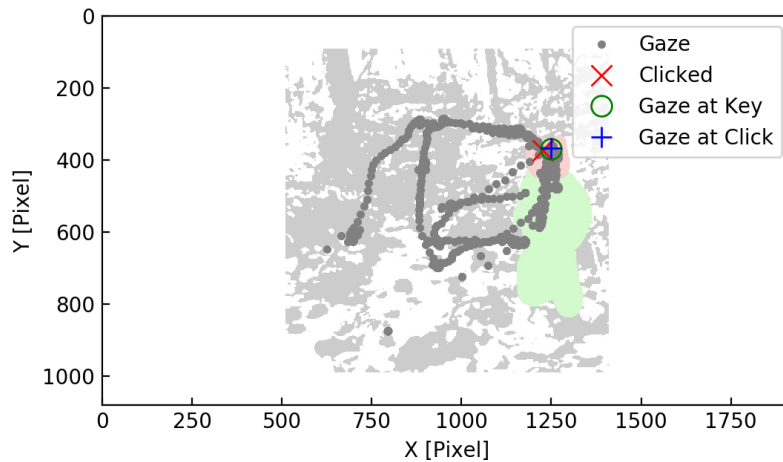


図 5.16: 視線計測実験 視線データの可視化画像

以下、視線の時系列変化の分析は、毎秒 3 点の座標データを用いておこなった。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視線の時系列変化を、図 5.17 に示す。図中ではひらめきの感覚ありを「Aha」、ひらめきの感覚なしを「No Aha」と記載している。横軸は時間であり、実験参加者が左方向キーを押した時刻を 0 として 10 秒前から記載した。各実線はそれぞれ、動物の頭部の中心からの距離を平均したものである。ただし、すべての試行の左方向キーを押した時点を 0 に揃え、回答時間が 10 秒以内の試行は存在しないデータを欠損値として扱った。また、画像サイズ 900pixel を超えるデータ点は視線計測器による計測上の外れ値と考え、分析から除外した。

ひらめきの有無による時系列変化の差異を確認するため、回帰分析をおこなった。図 5.17 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。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視線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 本の回帰直線で視線の軌跡を説明する仮説の尤度比検定をしたところ、有意な差がみられた ($p < .001$)。つまり、ひらめいた感覚があると回答した試行群では、ひらめいた感覚がないと回答した試行群に比べて、急速に対象物へ向かう視線の動きをしている傾向が見られた。

さらに時系列変化が予想と一致する傾向を持つかを調査するために、2 直線による回帰分析をおこなった。ここでは、左方向キーを押した時刻から 10 秒間の区間をある時刻で 2 分割して、それぞれのデータに回帰分析をおこなう。区間分割の

時刻は、最尤法で求めた。また区間を分割しなかった場合の回帰分析のモデルとの比較もおこない、AIC を用いて選択した。ひらめきの感覚があると答えた試行群、ないと答えた試行群、ひらめきの有無にかかわらず一つの試行群として扱った場合それぞれに対して同様の分析をおこなった。結果を図 5.18 に示す。図中の直線は、それぞれの群に対し、選択された時刻で分割されたデータに基づく回帰直線である。ひらめきの有無によらず 1 種類の回帰モデルですべての正答試行の視線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 種類ずつ計 2 種類の回帰モデルで視線の軌跡を説明する仮説の尤度比検定をしたところ、有意な差がみられた ($p < .001$)。つまり、ひらめいた感覚があると回答した試行群では、ひらめいた感覚がないと回答した試行群に比べて、急速に対象物へ向かう視線の動きをしている傾向が見られた。特にひらめいた感覚があると回答した試行群では、左方向キーを押した時刻から 2 秒以上前の時刻でデータが分割されており、回答直前に急速に動物へ視線が向かう傾向が見られた。

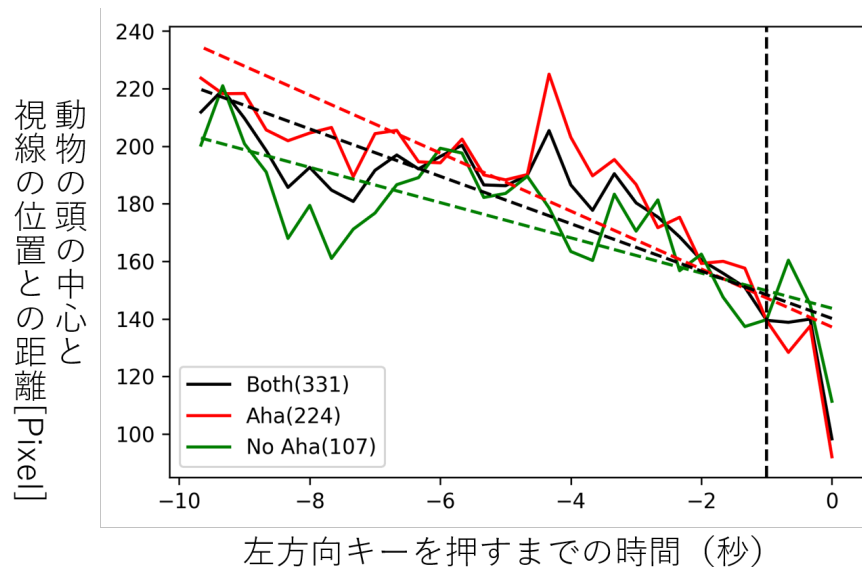


図 5.17: 視線計測実験 正答試行のうちひらめいた感覚があると回答した試行群とひらめいた感覚がないと回答した試行群の視線の時系列変化 (回帰分析)

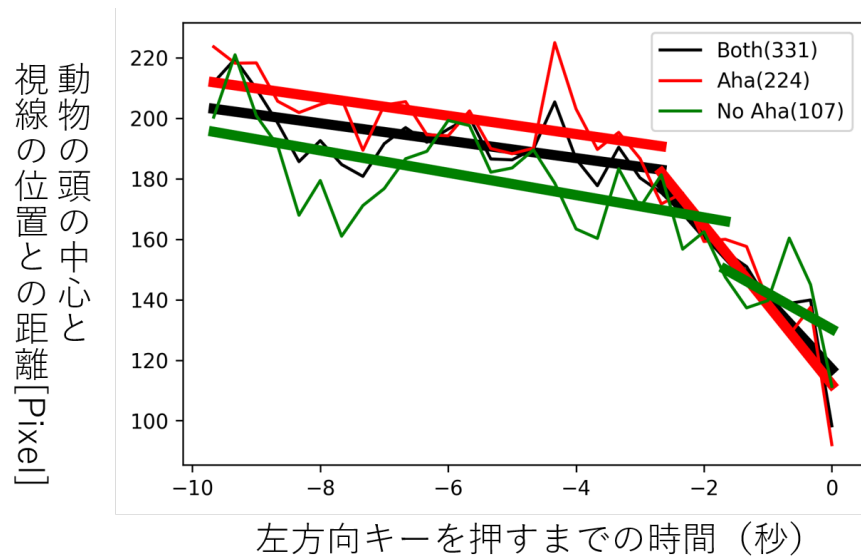


図 5.18: 視線計測実験 正答試行のうちひらめいた感覚があると回答した試行群とひらめいた感覚がないと回答した試行群の視線の時系列変化（2 分割の回帰分析）

次に、正答試行のうち、高確信度の試行群と低確信度の試行群の視線の時系列変化を、図 5.19 に示す。ひらめきの有無による時系列変化と同様に、実験参加者が左方向キーを押した時刻を 0 として 10 秒前から記載しており、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。確信度によらず 1 本の回帰直線ですべての正答試行の視線の軌跡を説明する帰無仮説に対し、高確信度と低確信度ごとに 1 本計 2 本の回帰直線で視線の軌跡を説明する仮説の尤度比検定をしたところ、有意な差がみられた ($p < .001$)。また、2 分割の回帰分析の結果を図 5.20 に示す。図中の直線は、それぞれの群に対し、選択された時刻で分割されたデータに基づく回帰直線である。確信度の高低によらず 1 種類の回帰モデルですべての正答試行の視線の軌跡を説明する帰無仮説に対し、高確信度と低確信度それぞれの試行群に 1 種類ずつ計 2 種類の回帰モデルで視線の軌跡を説明する仮説の尤度比検定をしたところ、有意な差がみられた ($p < .001$)。以上より、高確信度の試行群では、低確信度の試行群に比べて、急速に対象物へ向かう視線の動きをしている傾向が見られた。特に高確信度の試行群では、左方向キーを押した時刻から 2 秒以上前の時刻でデータが分割されており、回答直前に急速に動物へ視線が向かう傾向が見られた。

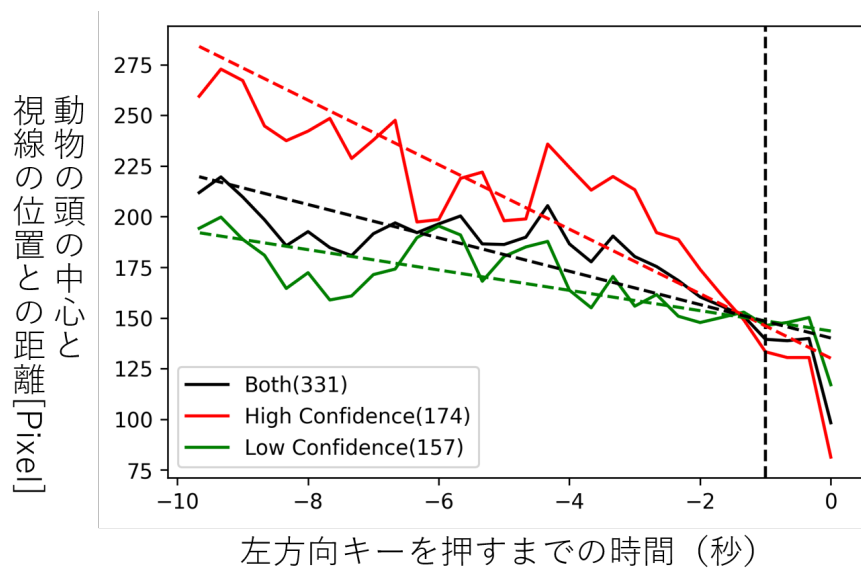


図 5.19: 視線計測実験 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群の視線の時系列変化 (回帰分析)

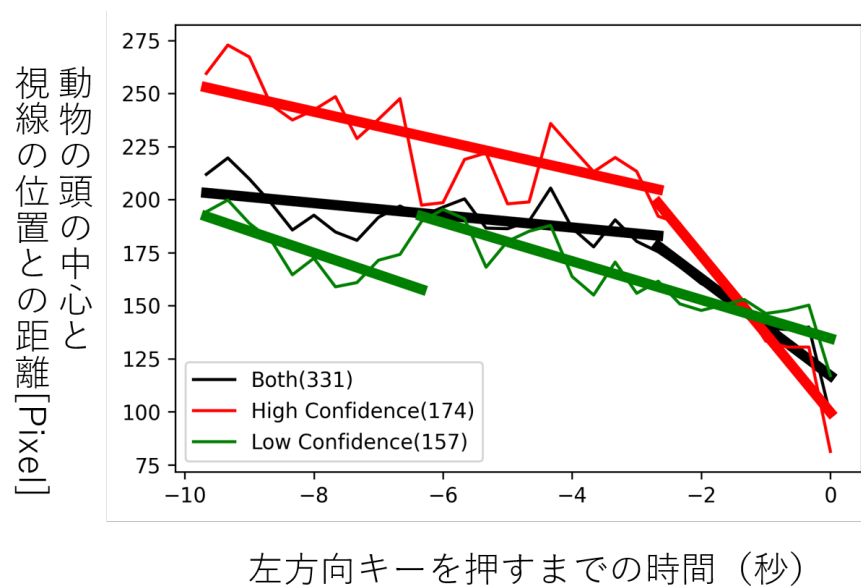


図 5.20: 視線計測実験 正答試行のうち高確信度の試行群と低確信度の試行群の視線の時系列変化 (2 分割の回帰分析)

5.6 考察

洞察問題の二重構造仮説を検証するため、視線計測による二値画像課題実験をおこなった。この実験では、3.4で示したように、ひらめいた感覚がある場合は、ない場合に比べて視線は回答直前に急速に動物に向かうような動きをすると予想していた。本実験の結果から、ひらめいた感覚がある場合はない場合に比べて、急速に動物へ向かうような動きをする傾向が確認でき(図 5.17 図 5.18)、予想と一致する結果が得られた。また、探索期間と視線が動物の領域に集中する区間の2段階があり、平均化すると2直線のグラフとなるという予想にも一致する結果となった(図 5.18)。また本実験の教示であっても、被験者ごとにひらめき感ありの割合と高確信度の割合は相関せず図 5.14、確信度の高低と視線の変化はひらめきの有無と視線の変化と同様の傾向となった(図 5.19, 図 5.20)。3.4で示した視線の時系列変化の予想は、(1) 二値画像課題は二重構造を持つ、(2) 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、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、という2点の前提を踏まえて導いた。そして、この結果から動物の特定に必要な領域が分かるという二次問題の解決と、写っている動物が何かわかるという一次問題の解決が、ほとんど同時に起き、その同時解決がひらめきの感覚を引き起こしたと考えることができる。

したがって、二値画像課題は2.2で示したような二重構造を持ち、洞察問題の問題解決過程はこの問題構造を解決しているという仮説を支持する結果が得られたと言える。また空間的な構造を持つ二値画像課題では、解への近さを二値画像上での動物の領域までの距離として定量的に扱うことができると示唆された。

第6章 結論

6.1 まとめ

本研究では、洞察問題の構造に関する新規の仮説として2章で二重構造仮説を提案した。これは洞察問題が、問題と「その問題とは何か」というメタ問題との二重構造を持ち、洞察問題の問題解決過程はこの問題構造を解決しているという仮説である。この仮説を実験的に検証することが、本研究の目的だった。実験には、写体の境界を曖昧にした二値画像から写っている動物を見つけて回答する二値画像課題を用いた。二値画像課題は、大量生産が可能かつ、空間的な構造を持つような課題である。二値画像課題は洞察問題として捉えることができ、二重構造を持つと考えた。このとき、二値画像の持つ空間的な構造から、解への近さの知覚は二値画像課題上での動物の領域と視線との距離に相関があると考えた。さらに先行研究で示された解への近さとAha体験の有無の関係 (Kizilirmak et al., 2018), すなわちひらめきの感覚の有無との関係の知見を踏まえ、ひらめきの感覚があるときには、ないときに比べて回答直前に急速に、動物の領域に視線を向けるような行動が見られると予想した。マウス軌道で視線をなぞる二値画像課題実験ではこの予想と近い傾向が得られ、視線計測による二値画像課題実験では予想と一致する結果が得られた。よって、本研究で提案した二重構造仮説は実験的な検証の結果、支持されたと言える。また、検証するためにおこなった実験はひらめきと解への近さの関係を定量的に扱うことができる実験枠組みになっていたと考える。

以上より、本研究では洞察問題解決の認知過程を理論的に説明可能な現象として扱うことができたと考える。これは洞察問題解決研究において重要な理論的枠組みを提案したと言える。また洞察問題解決は、古典的な問題解決では扱うことのできないような現象であった (Newell & Simon, 1972; 三宅, 2005)。この現象を通常の問題解決と全く質の異なる現象ではなく、あくまで特殊な問題解決として扱う二重構造の提案は、問題解決として扱うことができる問題の拡張につながると考える。Newell and Simon (1972) が提案した問題解決の理論的枠組みは、のちに人工知能分野の研究につながった (三宅, 2005)。洞察問題解決を問題解決の枠組みの中で特殊なものとして扱う本研究の提案は、こうした人工知能分野の発展にもつながると期待する。最後に、本研究で提案した二重構造仮説は Simon and Lea (1974) が提案した “Dual Space Search” とは異なる考え方であることを付記したい。“Dual Space Search” は, “rule space” と “instance space” という2つの相互作用として問題解決を捉える考え方である。しかしこれはあくまでゴールが明確

な問題のみを扱う問題解決の枠組みに基づいており (Newell & Simon, 1972), 探索的な問題解決中の形式的な手続きを相互作用として捉えている. 一方二重構造仮説は, ゴールが明確な問題の範囲外であり, なおかつ人の認知に関する仮説であり, 異なる考え方であることに注意したい.

6.2 今後の課題

二値画像課題実験は, 今回述べた分析・考察以外にも更なる検討の余地があると考えられる. 例えば洞察問題解決の特徴として, 解を発見することのできない不適切な問題の解釈をしてしまい, 解答が困難になることがある (Batchelder & Alexander, 2012). これは二値画像課題で言えば, 動物の領域外に, 動物の体の一部分に見える領域があり, そこから頭部の発見を試みるが見つめることができない, もしくは自信のない解を回答するといったことに当たる. 実際, 実験参加者の行動から動物領域外の特定の一部分に長時間着目し, 最終的に解を見つめることができないということがあった. このような現象は, 課題として出題した二値画像や実験参加者の行動の更なる分析から, 人が動物領域外に着目しやすい領域を特定可能であると考えられる. また, その領域に着目した試行について検討することで, 洞察問題の持つ構造と経験的特徴に関する更なる知見が得られる可能性がある.

また, 洞察問題の二重構造は, 本論文で紹介したなぞなぞ, 謎検の問題, 二値画像課題に限るものではない. 一般に洞察問題として扱われる問題であれば, 二重構造を持つと捉えることができると考える.

しかし, 一般に解の探索範囲の限定は脳内でおこなわれる. 問題が空間的な構造を持たない場合は, この探索を行動として本研究のような方法で検出するのは困難である. したがって, 今後は空間的な構造を持たないような課題に対して, 検証可能な実験的枠組みの考案とあわせて, 認知実験による検証を進めていく必要があると考える.

参考文献

- Batchelder, W. H., & Alexander, G. E. (2012). Insight problem solving: A critical examination of the possibility of formal theory. *The Journal of Problem Solving*, 5, 56–100.
- Danek, A. H., Wiley, J., & Ollinger, M. (2016). Solving classical insight problems without aha! experience: 9 Dot, 8 coins, and matchstick arithmetic problems. *The Journal of Problem Solving*, 9(1), 47–57.
- Giovannelli, F., Silingardi, D., Borgheresi, A., Feurra, M., Amati, G., Pizzorusso, T., Viggiano, M. P., Zaccara, G., Berardi, N., & Cincotta, M. (2010). Involvement of the parietal cortex in perceptual learning (Eureka effect): an interference approach using rTMS. *Neuropsychologia*, 48(6), 1807–1812.
- Gregory, R. L. (1970). *The intelligent eye*. ERIC.
- Kizilirmak, J. M., Serger, V., Kehl, J., Ollinger, M., Foltz-Schoofs, K., & Richardson-Klavehn, A. (2018). Feelings-of-warmth increase more abruptly for verbal riddles solved with in contrast to without aha! experience. *Frontiers in Psychology*, 9, 1–11.
- Knoblich, G., Öllinger, M., & Spivey, M. (2005). Tracking the eyes to obtain insight into insight problem solving. *Cognitive processes in eye guidance*, 355–75.
- Metcalfe, J., & Wiebe, D. (1987). Intuition in insight and noninsight problem solving. *Memory and cognition*, 15(3), 238–246.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*, Vol. 104. Prentice-hall Englewood Cliffs, NJ.
- Öllinger, M., & Knoblich, G. (2009). Psychological research on insight problem solving. *Recasting reality*, 275–300.
- SCRAP (2019). 謎検過去問題&練習問題集 2019秋. SCRAP 出版.

- Simon, H. A., & Lea, G. (1974). Problem solving and rule induction: A unified view...
- Sternberg, R. J., & Davidson, J. E. (1995). *The nature of insight*. The MIT Press.
- Thevenot, C., & Oakhill, J. (2008). A generalization of the representational change theory from insight to non-insight problems: The case of arithmetic word problems. *Acta Psychologica*, 129(3), 315–324.
- Topolinski, S., & Reber, R. (2010). Gaining insight into the “Aha” experience. *Current Directions in Psychological Science*, 19(6), 402–405.
- Webb, M. E., & Little, Daniel R and Cropper, S. J. (2018). Once more with feeling: Normative data for the aha experience in insight and noninsight problems. *Behavior research methods*, 50(5), 2035–2056.
- 三宅, なほみ. (2005). 20 世紀の名著名論: A.Newell and HA Simon: Human Problem Solving. *情報処理*, 46(6), 716.
- 石川, 哲朗., 戸嶋, 真弓., ガルカビス, ビクトルス., 茂木, 健一郎., & 神門, 典子. (2013). 視覚情報探索時の発見的気づ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*, 2013, 1–8.
- 開, 一夫., & 鈴木, 宏昭. (1998). 表象変化の動的緩和理論: 洞察メカニズムの解明に向けて. *認知科学*, 5(2), 69–79.

謝辞

本研究を進めるにあたり，研究環境を提供いただき，丁寧に指導してくださった日高昇平准教授に感謝申し上げます．日高先生には，日頃からコミュニケーションを取る機会を多く設けていただき，その中で研究を進展させていくことができたと思っています．また，議論に多くの時間を費やしてくださったことに感謝申し上げます．

また，議論や実験準備に多くの時間を割いてくださった鳥居拓馬助教にも感謝申し上げます．鳥居先生には提示画面を作成していただいたり，視線計測器についての調査やデータの前処理といった場面で，本当にお世話になりました．大変感謝しています．

日高研究室のメンバーである宮本さん，小熊君，亀井君，佐々木君，朱さん，小林君，視線計測器について共に学び，補佐してくれた稲継君にも感謝を述べます．また大変忙しい時期に実験に参加いただいた実験協力者の皆様も本当にありがとうございました．

最後に，大学院生活をサポートしてくれた両親にも，この場を借りて感謝の意を伝えます．

付 録 A 二値画像集

二値画像 No.1～No.15

本研究で作成し，実験に使用した二値画像 No.1～No.15 を図 A.1 に示す.

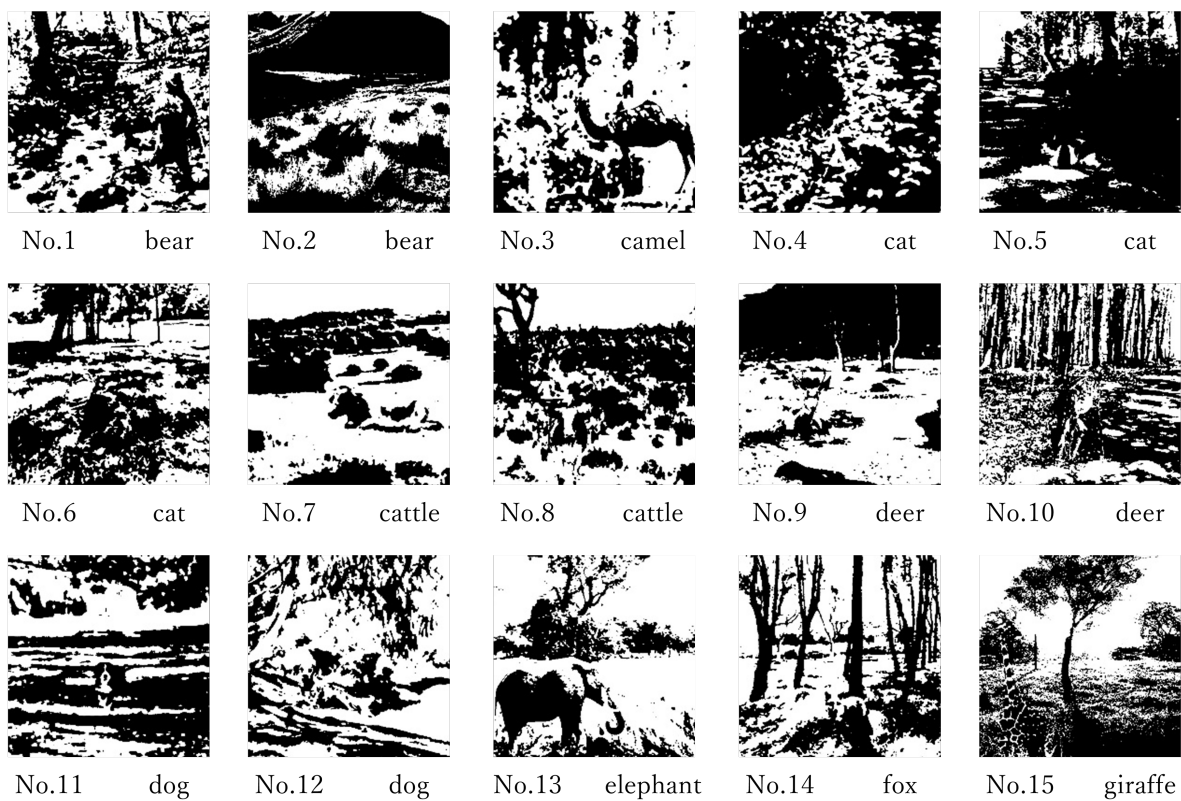


図 A.1: 二値画像 No.1～No.15

二値画像 No.16～No.30

本研究で作成し，実験に使用した二値画像 No.16～No.30 を図 A.2 に示す．

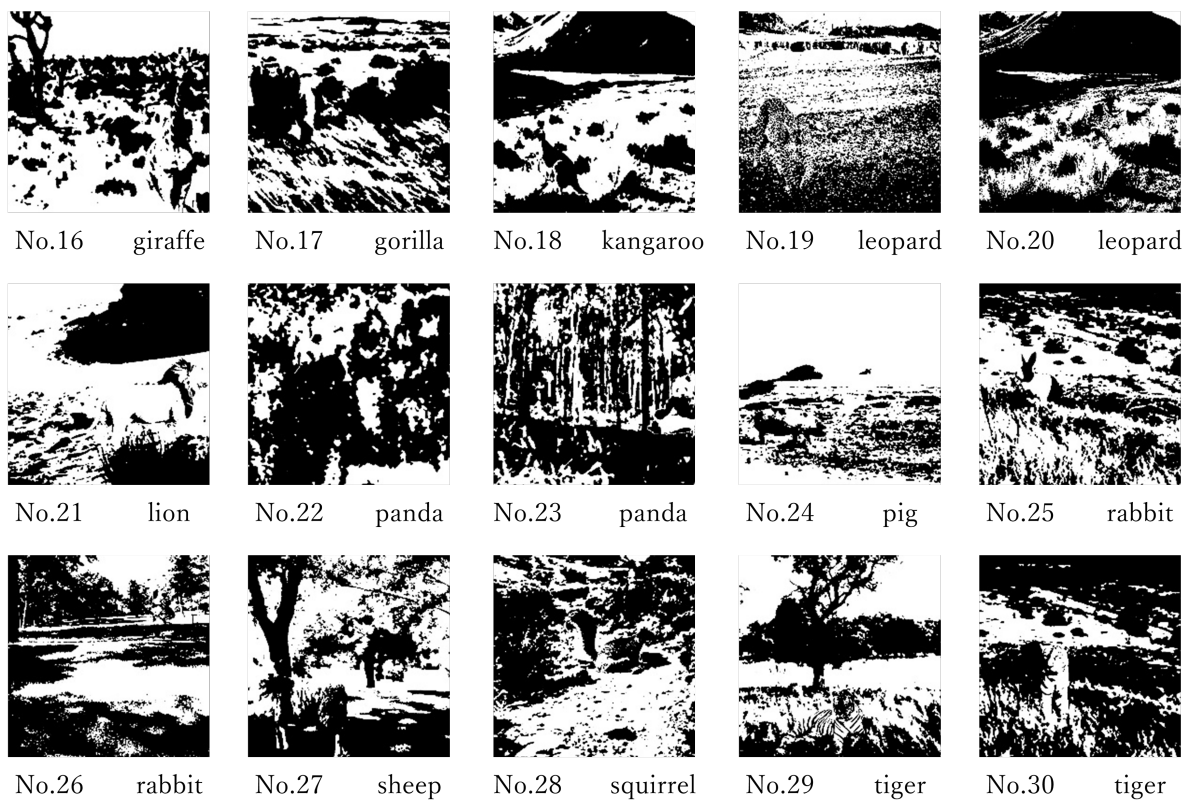


図 A.2: 二値画像 No.16～No.30

二値画像 No.31～No.50

本研究で作成し，実験に使用した二値画像 No.31～No.50 を図 A.3 に示す．

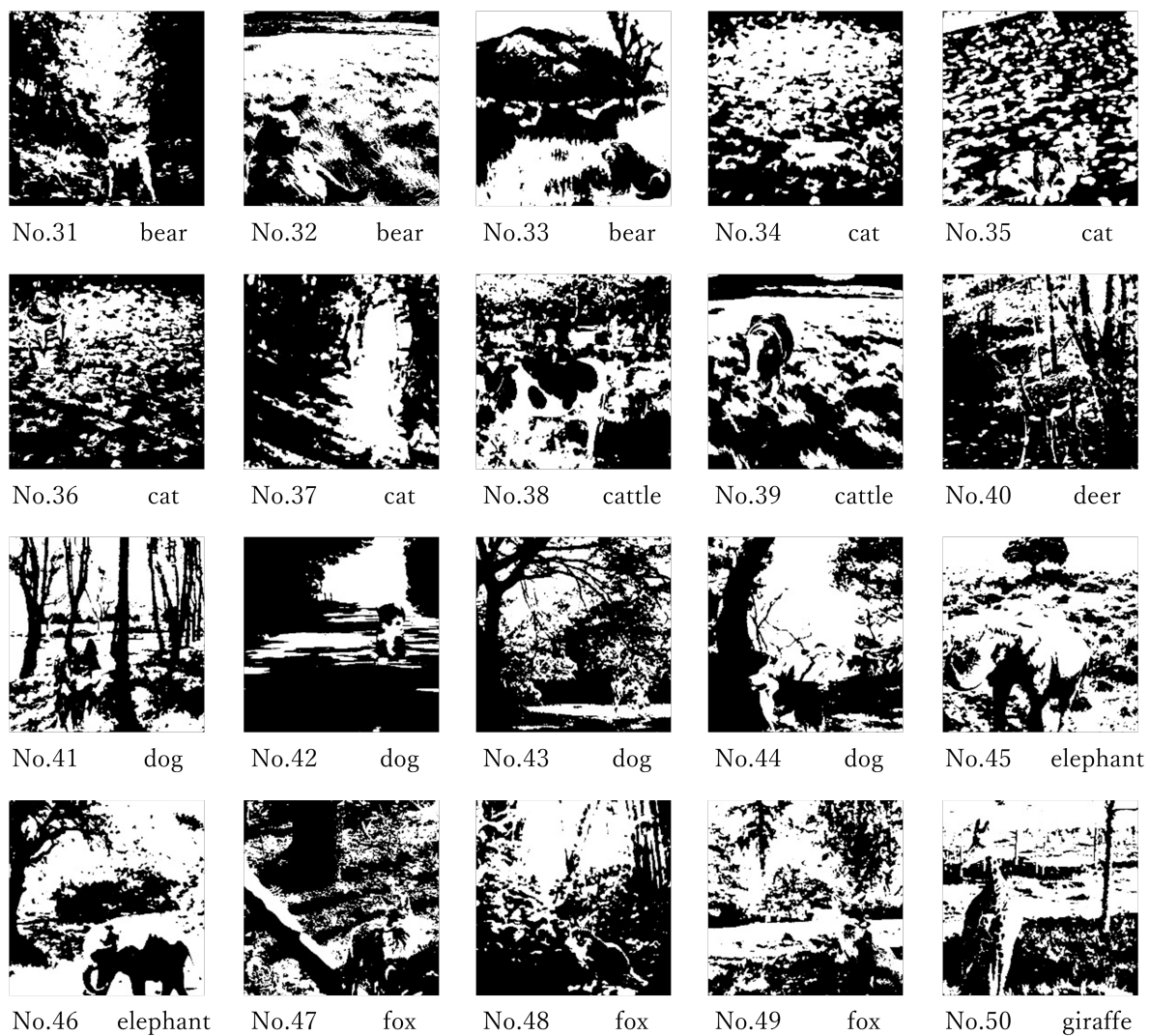


図 A.3: 二値画像 No.31～No.50

二値画像 No.51～No.70

本研究で作成し，実験に使用した二値画像 No.51～No.70 を図 A.4 に示す．

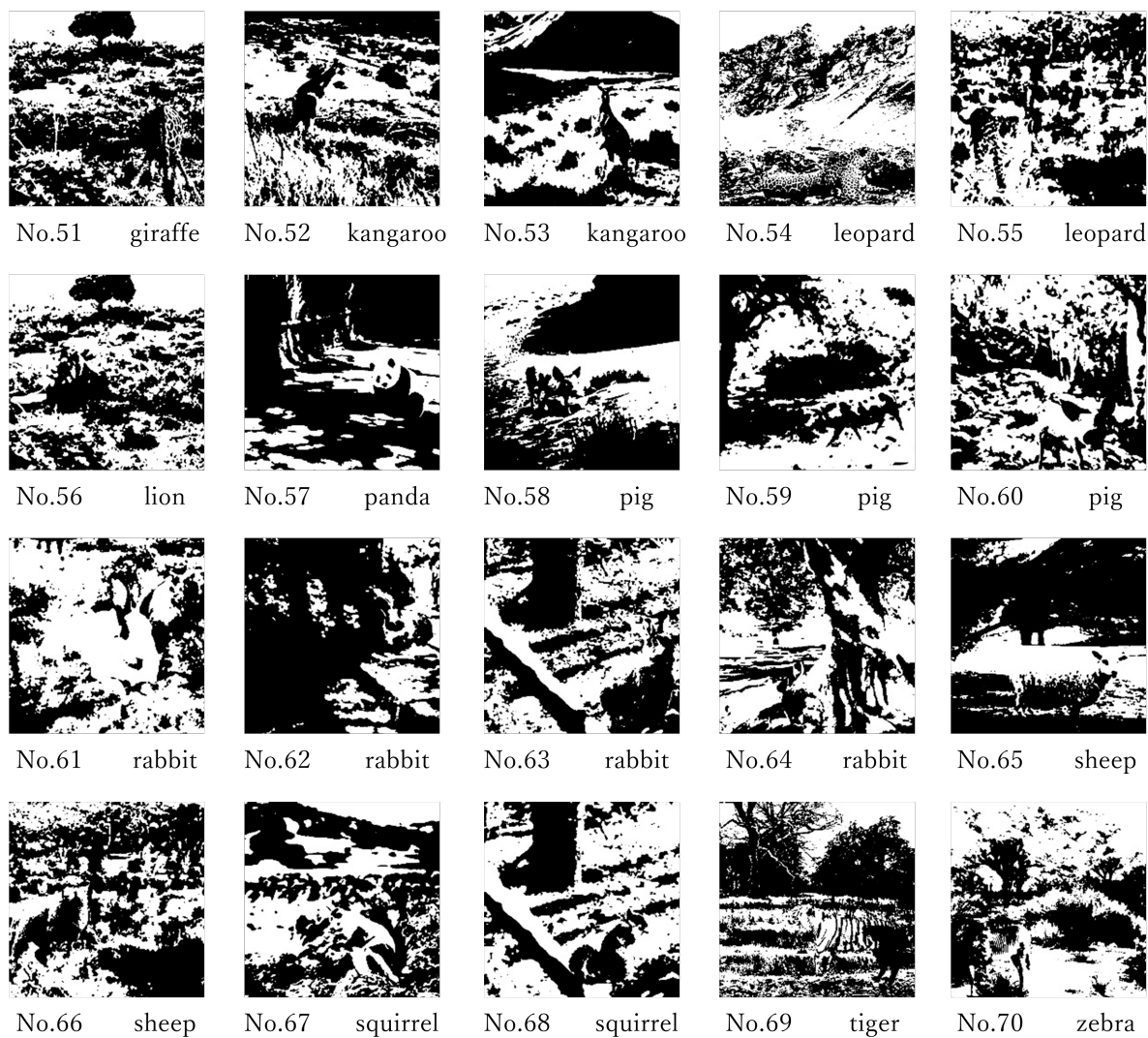


図 A.4: 二値画像 No.51～No.70