

正則的挙動および変則的挙動に対する  
記憶ベース方略の優位性とその特性  
—心理実験とシミュレーションによる検証—

松 林 翔 太



## 概要

機械の故障や自律的エージェント，様々な自然現象など，システムによる様々な変則的な挙動を目にすることは少なくない。そのような変則的な挙動を予測するため，その変則的な挙動が生じた背後にある原因構造を推論する方略は広く用いられている。これを推論ベース方略と呼ぶ。それに対して，本研究では，挙動を記録することで予測を試みる記憶ベース方略に着目した。記憶ベース方略では，原因構造の推論を試みずに，システムの挙動を事例として記憶して理解を試みる。本論文では，記憶ベース方略の特性と，推論ベース方略に対する優位性についての2つの仮説を立て，その妥当性を検証する。記憶ベース方略の特性に関する仮説では，変則事例は記録が行われる一方で，正則事例はデフォルト値として認識されるため記録が行われなかった。また，推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説では，変則事例が生じる原因構造がより単純なシステムにおいては，変則事例の予測に関して推論ベース方略のほうが有効であるが，その構造がより複雑なシステムに対しては記憶ベース方略のほうが有効であるとした。

この2つの仮説を検証するため，正則事例と変則事例がともに生じ，参加者がその挙動予測が求められる実験課題を用いた。この課題では平面空間上をボールが移動するが，中央に配置された遮蔽物体によって一部の領域は隠されており，その領域を通る間のボールの軌道を参加者は観察することができない。その不可視領域の中で屈折する変則事例と，そのまま直進する正則事例の2種類が存在し，参加者はそれらの事例を複数回観察した。その後のテストフェーズにおいて，参加者はボールが最終的に到達する位置を予測することを求められた。

本論文ではこの課題を用いて，心理実験アプローチとモデルシミュレーションアプローチの両面から上記2つの仮説を検証した。心理実験では，上記の実験課題遂行中に記憶ベース方略を使用させ，そのときの参加者の行動

や方略に対する主観評定を測定し、記憶ベース方略の特性に関する仮説を検証した。また、推論ベース方略を使用した参加者の行動との比較から、記憶ベース方略の優位性に関する仮説の検証を行った。続くシミュレーションでは、変則事例と正則事例それぞれの記銘処理を規定するパラメータを設定し、正則事例を記銘しないパラメータ設定が心理実験のデータに最も適合するかを確かめることで、記憶ベース方略の特性に関する仮説を検証した。さらに、正則事例を記銘した場合のモデルの行動や成績についてACT-Rによるシミュレーションを行うことで、記憶ベース方略の優位性がどのような過程で生じているのかを検証した。

本論文は全6章で構成されている。以下に各章の概要を示す。

第1章「序論」では、本論文で扱う正則的挙動と変則的挙動に関して述べ、それらを扱う先行研究を領域横断的に紹介する。そして変則的挙動の予測においては、推論ベース方略がかねてより議論されてきた一方で、記憶ベース方略の特性や、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性が明らかではないことを示す。そこから、本論文において検証する2つの仮説を述べ、それらを検証する2つのアプローチ、すなわち心理実験とモデルシミュレーションについて概説する。

第2章「実験課題」では、心理実験とモデルシミュレーションの両者に共通して用いた実験課題について、詳細に説明を行う。

第3章「記憶ベース方略と推論ベース方略に関する心理実験」では、実施した3つの心理実験の方法と結果について詳説する。実験の結果、記憶ベース方略の特性に関する仮説、すなわち、記憶ベース方略を適用する場合、スキーマに従う正則事例に対しては、これをデフォルト値として認識するため記銘が行われず、変則事例に対する記銘のみが行われることが支持された。また、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説、すなわち、より単純な構造を持つシステムにおいては、変則事例の予測に関して推論ベース方略のほうが有効であるが、より複雑な構造を持つシステムに対

しては、明示的な方略教示がある場合に限り、記憶ベース方略のほうが有効であることが支持された。

第4章「記憶ベース方略に関するモデルシミュレーション」では、まずシミュレーションの設定について記述し、その後、実施した2つのシミュレーションの結果について述べる。記銘処理を規定するパラメータであるリハーサル確率に基づくシミュレーションの結果から、変則事例は記銘し正則事例は記銘しないモデルのデータが、心理実験のデータを最も良く再現することが明らかになった。これは記憶ベース方略の特性に関する仮説をさらに支持する結果であり、心理実験2で得られた記憶ベース方略適用時の参加者の主観とも一致していた。また、正則事例を正則事例と同様に記銘させたシミュレーションの結果から、記憶ベース方略の優位性は、正則事例が不適切に想起されてしまうコミッションエラーを防ぐことで現れることを示した。

第5章「総合考察」では、心理実験とモデルシミュレーションの結果を通して、変則的挙動の予測における記憶ベース方略の特性と、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性について得られた知見をまとめた。また、先行研究との差異や関連についても考察を行い、本研究の新規性について記述を行なった。合わせて、本研究における問題点を詳述し、今後の展望について議論を行った。

第6章「結論」では、本論文の総括を行った。



# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	背景 . . . . .	1
1.1.1	正則的挙動と変則的挙動 . . . . .	1
1.1.2	変則的挙動を扱う先行研究 . . . . .	2
1.1.3	変則的挙動の予測方略 . . . . .	4
1.2	本研究の目的 . . . . .	6
1.2.1	検証仮説 . . . . .	6
1.2.2	仮説検証アプローチ . . . . .	8
<b>第2章</b>	<b>実験課題</b>	<b>9</b>
2.1	刺激 . . . . .	9
2.1.1	概観 . . . . .	9
2.1.2	観察フェーズとテストフェーズ . . . . .	10
2.1.3	構造の複雑さの設定 . . . . .	11
2.1.4	方略 . . . . .	12
2.1.5	手続き . . . . .	12
<b>第3章</b>	<b>記憶ベース方略の特性と優位性に関する心理実験</b>	<b>15</b>
3.1	実験1 . . . . .	16
3.1.1	方法 . . . . .	16
3.1.2	結果の予想 . . . . .	16

3.1.3	結果 . . . . .	18
3.2	実験 2 . . . . .	23
3.2.1	方法 . . . . .	23
3.2.2	結果 . . . . .	24
3.3	実験 3 . . . . .	26
3.3.1	結果の予想 . . . . .	26
3.3.2	方法 . . . . .	27
3.3.3	結果 . . . . .	28
3.4	心理実験の考察 . . . . .	30
3.4.1	記憶ベース方略の特性 . . . . .	30
3.4.2	記憶ベース方略の優位性 . . . . .	31
3.4.3	心理実験アプローチの限界 . . . . .	33
<b>第 4 章</b>	<b>記憶ベース方略に関するモデルシミュレーション</b>	<b>35</b>
4.1	シミュレーション方針 . . . . .	36
4.2	シミュレーション設定 . . . . .	38
4.3	シミュレーション結果 . . . . .	42
4.3.1	リハーサル確率に関するシミュレーション . . . . .	42
4.3.2	正則事例の記銘に関するシミュレーション . . . . .	46
4.4	シミュレーションの考察 . . . . .	52
4.4.1	記憶ベース方略の特性 . . . . .	52
4.4.2	記憶ベース方略の優位性 . . . . .	53
<b>第 5 章</b>	<b>総合考察</b>	<b>57</b>
5.1	記憶ベース方略に関して得られた知見 . . . . .	58
5.1.1	記憶ベース方略の特性 . . . . .	58
5.1.2	記憶ベース方略の優位性 . . . . .	60
5.2	科学的発見との関連 . . . . .	62



---

5.3	本論文の問題点と今後の展望 . . . . .	63
5.3.1	記憶ベース方略と推論ベース方略の関係性 . . . . .	63
5.3.2	想定に関する指標の導入 . . . . .	64
<b>第 6 章</b>	<b>結論</b>	<b>67</b>
<b>謝辞</b>		<b>69</b>
<b>文献</b>		<b>71</b>
	引用文献 . . . . .	71
	関連論文 . . . . .	75
<b>付録 A</b>	<b>実験課題教示</b>	<b>81</b>
A.1	実験 1 記憶条件・実験 2 . . . . .	82
A.2	実験 1 推論条件 . . . . .	85
A.3	実験 3 . . . . .	88
<b>付録 B</b>	<b>リハーサル確率に関するシミュレーション 決定係数一覧</b>	<b>91</b>
B.1	観察時間 . . . . .	91
B.2	予測成績 . . . . .	92
<b>付録 C</b>	<b>シミュレーションソースコード</b>	<b>93</b>



# 目次

2.1	課題画面 . . . . .	10
2.2	課題難易度の設定 . . . . .	12
2.3	実験手続きの概要 . . . . .	14
3.1	記憶条件におけるパドル移動試行数（実験1） . . . . .	20
3.2	確認画面（実験3） . . . . .	27
3.3	記憶得点と推論得点の分布（実験3） . . . . .	28
3.4	パドル移動試行数（実験3） . . . . .	32
4.1	観察フェーズにおけるモデルのプロダクションルール . . . . .	38
4.2	テストフェーズにおけるモデルのプロダクションルール . . . . .	40
4.3	ブロック5の観察時間に関する，心理実験データ-シミュレーションデータ間の決定係数 . . . . .	42
4.4	ブロック5における観察時間についての心理実験データとシミュレーションデータの比較 . . . . .	43
4.5	ブロック5の予測成績に関する，心理実験データ-シミュレーションデータ間の決定係数 . . . . .	44
4.6	ブロック5における予測成績についての心理実験データとシミュレーションデータの比較 . . . . .	45
4.7	正則リハーサル確率に対するブロック5における予測成績の推移 . . . . .	47

---

4.8	ブロック5における変則 - 既知事例に対する想起エラーの推移	49
4.9	ブロック5における正則事例に対する想起エラーの推移 . . . . .	50
A.1	実験1 記憶条件・実験2の教示 (1枚目) . . . . .	82
A.2	実験1 記憶条件・実験2の教示 (2枚目) . . . . .	83
A.3	実験1 記憶条件・実験2の教示 (3枚目) . . . . .	84
A.4	実験1 推論条件の教示 (1枚目) . . . . .	85
A.5	実験1 推論条件の教示 (2枚目) . . . . .	86
A.6	実験1 推論条件の教示 (3枚目) . . . . .	87
A.7	実験3の教示 (1枚目) . . . . .	88
A.8	実験3の教示 (2枚目) . . . . .	89
A.9	実験3の教示 (3枚目) . . . . .	90

# 表目次

1.1	正則的挙動と変則的挙動を扱う先行研究一覧 . . . . .	2
3.1	記憶条件における観察時間（実験1） . . . . .	19
3.2	変則事例に対する予測成績（実験1） . . . . .	21
3.3	再認課題における Yes 回答数（実験2） . . . . .	25
3.4	変則事例に対する予測成績（実験3） . . . . .	29
B.1	ブロック5の観察時間に関する，心理実験データ-シミュレーションデータ間の決定係数一覧 . . . . .	91
B.2	ブロック5の予測成績に関する，心理実験データ-シミュレーションデータ間の決定係数一覧 . . . . .	92



# 第 1 章

## 序論

### 1.1 背景

#### 1.1.1 正則的挙動と変則的挙動

私たちが環境に適応して生きていくためには、周辺に存在する様々なシステムの挙動を予測することが重要である。それらのシステムが定常的な動作を行なっている間は、その挙動はスキーマによって比較的簡単に予測可能である (Schützwohl, 1998)。このような挙動を以下では「正則的挙動」と呼ぶ。

一方で、システムがそのような正則的挙動から逸脱した動作を行うことがある。本研究では、そのような挙動を「変則的挙動」と呼ぶ。スキーマに一致しない変則的挙動は人々を驚かせ、その態度を変化させることが知られている (Loewenstein, 2019)。また近年、より現実的場面では、より高度に自動化されたシステムの挙動は人間の理解を超え、時にはユーザ Automation surprise をもたらすことが指摘されている (Rushby, 2002)。変則的挙動が観察される場合、そのシステムの挙動を予測するために、私たちは複雑な認知的処理を行わなければならない。Meyer, Reisenzein, and Schützwohl (1997) によれば、想定外の出来事に対しては、驚きに関する特有の処理が働き、スキーマ処理が中断され、注意の再分配などが行われるとされているが、その詳細な過程は明らかではない。

表 1.1 正則的挙動と変則的挙動を扱う先行研究の一覧。本研究で定義した正則的挙動と変則的挙動に該当する事象、また変則的挙動に対する心理的反応を領域横断的に整理する。

領域	正則的挙動	変則的挙動	変則的挙動に対する反応
目標推定 <sup>1</sup>	直進軌道	迂回軌道	下位目標の推定 気まぐれさの推定
文章理解 <sup>2</sup>	文脈一致の結末	文脈不一致の結末	弁明・正当化 読解の遅延 ストーリー構築
故障対応 <sup>3</sup>	訓練時と同じ故障 頻度の高い故障	訓練時と異なる故障 頻度の低い故障	非規範的な対処 対処の遅延

<sup>1</sup> Baker, Saxe, and Tenenbaum (2009); Tremoulet and Feldman (2000, 2006)

<sup>2</sup> Clary and Tesser (1983); Ferguson and Sanford (2008); Jones and Endsley (2000)

<sup>3</sup> Besnard and Bastien-Toniazzo (1999); Casner, Geven, and Williams (2013)

### 1.1.2 変則的挙動を扱う先行研究

変則的挙動に対する予測を対象とする先行研究は数多く存在する。ただし各領域ではそれぞれ別の用語が用いられ、領域固有のものとして扱われている。本節ではまず、それらの先行研究を変則的挙動とその予測の観点から横断的にまとめる（表 1.1）。

Baker et al. (2009) は、空間上を移動するエージェントの到達目標を推定する課題を設計し、推定される目標はその軌道に大きく影響されることを示した。具体的には、直進軌道がいくつか観察される中で、ある地点を經由する軌道が観察された場合、参加者が「迂回している」「気まぐれに動く」などの下位目標を推定したと報告している。前者の直進軌道を正則的挙動、後者の屈折軌道を変則的挙動と捉えると、それぞれの挙動に対して行われた認知的処理は異なっており、特に変則的挙動を説明するような推論が重点的に行われたと考えることができる。さらに、ここで推定された下位目標は他の軌道



に適用されることで、屈折軌道の予測が可能になるという側面もある。

また文章理解の領域では、事前に提示された文脈と一致しない結末が提示された場合の反応について、検証が行われている。Ferguson and Sanford (2008) は、文脈不一致の結末が提示されると、その読解に時間を要することを示した。またClary and Tesser (1983) では、その結末を参加者自身が説明する際に、なぜそのような結末になったかについて言及する弁明や正当化が自然と行われることを示している。これらは、スキーマから逸脱した変則的な結末に対して、特有の処理が働くことを表している。

より実践的領域、例えばコンピュータなどの認知的人工物を使用する際に起こるシステム障害や機械故障においても、変則的挙動と予測が関連している。Casner et al. (2013) では、航空機事故のシナリオにおいて、エンジン故障などが訓練時と同じ状況で発生する場合と異なる状況で発生する場合を比較している。ここで前者、すなわち訓練時と同じ故障への対応は、正則的挙動の予測として達成される。その一方、変則的挙動を予測することが求められる後者においては、その予測が困難になり、規範的ではない不適切な行動が多く見られたと報告している。また、Besnard and Bastien-Toniazzo (1999) では、低周波増幅回路において、故障頻度の高い部品が原因の場合、熟達者は予測を通して素早く対処できる一方、故障頻度の低い部品がそのその故障の原因である場合、対処に時間を要することが示されている。ここでも、発生頻度の低い故障は変則的挙動と捉えることができ、故障対処ではそれに対する予測が求められていると考えられる。

これらの先行研究を概観すると、いずれの領域においても、変則的挙動に対してその背後に潜む原因構造に関する推論が自動的に起動されることが分かる。一方、スキーマから容易に導くことができる正則的挙動に対してはそのような推論があまり行われず、どのような処理が行われているかは明らかではない。

### 1.1.3 変則的挙動の予測方略

1.1.2節で示したように、変則的挙動の予測は、様々な領域に跨る高次認知機能の重要な要素であると考えられる。そして多くの先行研究では、次に現れる変則的挙動を予測するために、推論を基にした方略が使用されることが示されてきた。このような方略を以下では「推論ベース方略」と呼ぶ。

推論ベース方略を適用した場合、その適応者は変則的挙動を発生させたシステムの原因構造に着目し、それを推論し理解することで、変則的挙動の予測を試みる。例えば、先述した人工物の故障に対する理解行動として、診断がある。診断は要素を意味のある構造へ整理する活動として捉えることができ (Cegarra & Hoc, 2006)、障害ログやケーブルなどの構成要素の確認を通して、内部構造の把握や、故障原因の解明が試みられる。すなわち故障診断は、推論ベース方略の日常的な例と考えられる。

科学的発見においても、変則的挙動に対する推論が頻繁に行われている。科学的発見において、自身の持つ仮説にそぐわない変則的データは、理論構築において重要な役目を果たしていると言われている (Hempel, 1965, 2001; Thagard, 2001)。科学的発見の主要な目的は、観察されるデータの説明であり、変則的データに対してもその原因構造を説明し、そこからデータを正確に予測することが求められる。

以上に示すように、推論ベース方略は変則的挙動を予測する上で重要な役目を果たしており、様々な領域で非常に広く扱われてきた。原因構造を正しく推定できれば、それ以降に現れる挙動を正確に予測できるという効用が得られる。しかしその一方で、推論には、知識と環境を統合する複雑な認知過程を含んでいるため (Darabi, Nelson, & Palanki, 2007)、その過程では多くの認知的資源を必要とし、その認知的負荷は大きい。これはつまり、対象が極めて複雑なシステムの場合には推論ベース方略を適用しても、その構造の正確な理解に至らず、その結果、変則的挙動の予測が困難になる状況もありうる

ことを暗に示している。

そこで本研究では、推論ベース方略に代わる変則的挙動を予測する方略として、ここでは「記憶ベース方略」を定義する。記憶ベース方略は、推論ベース方略と異なり、原因構造の推論を試みずに、システムの挙動を事例として記録することを試みる方略である。一例として、過去の障害事例を蓄積したデータベースとしてのナレッジベースが保守運用の領域では日常的に活用されている。多くの場合、このデータベースには一時的な対処方法が記されているのみで、障害事例の原因構造を必ずしも説明していない。しかしたとえ十分な理解を伴わずとも、過去事例を参照して、それを障害復旧に活用することができる。Lane, Mathews, Sallas, Prattini, and Sun (2008) では、システムの入力と出力の関係を記録した場合、学習時と同じ状況では成績が高いことが示されている。これはつまり、記憶ベース方略には一定の効用があることを示している。

また、科学的発見においては、変則的データが生じた原因構造の説明が求められるにもかかわらず、そのようなデータを観察すると、その観察者は説明を行わずに、無視や除外などの反応を見せることが知られている (Chinn & Brewer, 2008)。一般的に、これらの反応は科学的発見を遠ざけるものと捉えられやすい。しかし科学史においては、ケプラーの第三法則の発見など、観察データを事例として蓄積することが重要な発見に寄与した例もある (Simon, 1998)。これらの先行研究は、変則的挙動の予測を行う状況において、事例の記録を試みる記憶ベース方略には一定の効用があることを示唆している。

## 1.2 本研究の目的

変則的挙動を扱う先行研究の多くは、変則的挙動に対して推論ベース方略が用いられることを前提として議論が進められてきた。特に科学的発見や意図推定の領域では、その推論の過程や推論を通して得られた内容に主に着目されてきた。実際、意図推論の領域ではモデルアプローチを通して、人間の推論過程に関する知見が蓄積されつつある (e.g., Pantelis et al., 2014)。一方で、記憶ベース方略に関しては、とりわけその認知的資源の節約において、その優位性が期待できる一方、変則的挙動の予測という文脈で、その特性について議論された研究は決して多くない。一部の先行研究では、推論ベース方略に対して記憶ベース方略の持つ優位性が示されているが (Kalyuga, Chandler, Tuovinen, & Sweller, 2001; Lane et al., 2008), それがどのような心的過程を経て生じたのかが明らかではない。また、参加者が観察する正則的挙動と変則的挙動を明確に区分し比較した分析も行われておらず、それぞれの挙動に対してどのような心的処理が行われるかも明らかではない。そこで本研究では、変則的挙動の予測の観点から記憶ベース方略に着目し、その特性について検証を行う。合わせて、記憶ベース方略のどのような特性が、推論ベース方略に対する優位性を生じさせるのかについても検討する。

### 1.2.1 検証仮説

先行研究を通して、変則的挙動を見せる事例（以下、変則事例と呼ぶ）を予測するために、その事例には特有の処理が行われることが示されている (e.g., Meyer et al., 1997)。とりわけ変則事例は注意を引きやすく (e.g., Schützwohl, 1998), 挙動予測が求められる状況で記憶ベース方略を適用した場合に、変則事例が記憶されることは容易に想像がつく。しかしその一方で、記憶ベース方略を適用する場合に、正則的挙動を見せる事例（以下、正則事例と呼ぶ）について、どのような処理が行われているかは明らかではない。そこでまず、

記憶ベース方略の特性に関する以下の仮説を立てた。

### 記憶ベース方略の特性に関する仮説

記憶ベース方略を適用する場合、スキーマに従う正則事例に対しては、これをデフォルト値として認識するため記銘が行われず、変則事例に対する記銘のみが行われる。

視覚的探索課題において、そのシーンに存在する可能性の高い刺激よりも、可能性が低い刺激に対して選択的に素早く注意を向けやすいことが知られている (Loftus & Mackworth, 1978)。その根拠として、シーンのスキーマに一致する刺激は、スキーマのデフォルト値として標準化されるという仮説が提唱されている (Hollingworth & Henderson, 2000)。正則事例は記憶内にすでに貯蔵されているスキーマによって予測可能な事例であるため、挙動予測のために新たに記銘する必要はない。一方、変則事例はそのスキーマに従わないことから、変則事例だけが記銘されると考えられる。

また、推論ベース方略を適用する認知的な困難さ (Darabi et al., 2007) の観点から、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する以下の仮説を立てた。

### 推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説

正則事例と変則事例を生じさせるその原因構造が単純なシステムにおいては、変則事例の予測に関して、推論ベース方略のほうが有効であるが (Reber, Kasson, Lewis, & Cantor, 1980)、構造が複雑なシステムに対しては、記憶ベース方略のほうが有効である (Kalyuga et al., 2001)。

人工言語の学習において、その構造が単純な場合は規則への着目が、複雑な場合は事例への着目が有益であることが示されている (Reber et al., 1980)。またカテゴリ学習においては、初期段階の学習者にとって、構造に着目した学習は認知的負荷が高い一方、事例を通した学習は認知的負荷が低く、有用とされている (Kalyuga et al., 2001)。記憶ベース方略の認知負荷を軽減する特

性は、多くの認知資源を要する複雑さの高いシステムにおいて特に有効に機能すると考えられる。

### 1.2.2 仮説検証アプローチ

本論文では、上記の2つの仮説について心理実験による検証を行い、その後、ACT-R(Anderson, 2007)を用いたモデルシミュレーションを通してさらなる追加検証を実施する。

まず心理実験アプローチとして、参加者を対象に3つの実験を行う。実験1では、参加者が記憶ベース方略もしくは推論ベース方略のいずれを用いるかを実験者による教示で誘導し、参加者の客観的行動や課題成績を測定して2つの仮説を検証する。続く実験2では、記憶に関する再認課題と主観アンケートを通して、主に記憶ベース方略の特性に関する仮説を追加検証する。そして実験3では、参加者に各方略を選択させる状況における記憶ベース方略と推論ベース方略の効用を確かめ、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説をさらに検証する。

モデルシミュレーションでは、記憶ベース方略に関して2つのシミュレーションを行う。まず、正則事例と変則事例それぞれの記銘処理を規定するパラメータを設定したシミュレーションを実施し、どのパラメータの組み合わせのモデルが心理実験データに最も適合するかを検証することで、記憶ベース方略の特性に関する仮説を検証する。その後、正則事例の記銘処理パラメータを変化させた際に生じるモデルの行動や課題成績の変化に着目し、推論ベース方略に対して記憶ベース方略が持つなぜ優位性を持っているのか、その過程に着目した検証を行う。

## 第2章

# 実験課題

### 2.1 刺激

#### 2.1.1 概観

仮説検証のため，平面上を移動するボールの動きから最終的な到達位置を予測する課題を新たに開発した。この課題は，本論文のすべての心理実験およびモデルシミュレーションにおいて，共通して使用した。

課題画面は，ボールの動きが見える可視領域と，遮蔽により見えない不可視領域で構成されていた（図 2.1a）。不可視領域内にはある物体が隠されており，その物体に接触して途中で進行方向が変わる軌道を変則事例，接触せずに当初の進行方向にそのまま進む軌道を正則事例とした。

本課題における変則事例と正則事例の軌道は，オブジェクトの進行方向の急激な変化は観察者の注意を引き，その変化をもたらした構造や原因が自然と喚起させるという先行研究を参考にしている (Baker et al., 2009; Howard & Holcombe, 2010; Tremoulet & Feldman, 2000, 2006)。つまり本課題では，多くの事例が空間上を直進する中で，稀に現れる屈折する変則事例には注意が向けられやすいことが期待される。

ボールは外枠上のある初期位置からある初期角度で射出され，不可視領域内では一時的に動きが見えなくなる。その後，可視領域で再び観察可能になり，外枠上のいずれかに到達したところで停止する。以降では，初期位置と

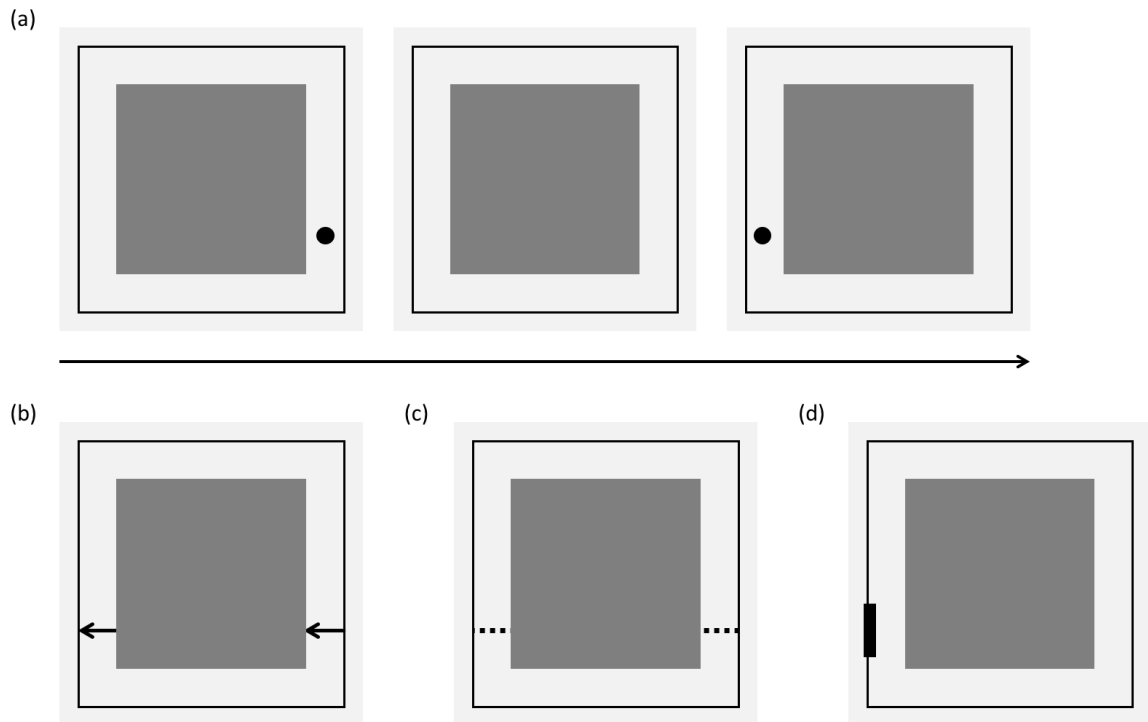


図 2.1 課題画面。観察フェーズでは (a) ボールの入出力を観察後、確認画面が提示される ((b): 記憶条件, (c): 推論条件)。テストフェーズでボールの入力を観察後, (d) パドルが表示される。

初期角度を「入力」、到達位置と到達角度を「出力」と定義する。

### 2.1.2 観察フェーズとテストフェーズ

本課題では、観察フェーズとテストフェーズを繰り返し交互に実施する。観察フェーズでは、ボールが外枠4辺のいずれかから無作為に設定された角度で射出され、再び枠上に停止するまでの様子を観察し、その後、初期位置と到達位置の確認画面が表示された (図 2.1b, c)。参加者は後のテストフェーズで挙動を予測するために、その後表示される確認画面を観察した。確認画面は参加者がマウスで左クリックを押下するまで表示された。この際、確認画面が提示されてから参加者がマウスでボタンを左クリックするまでの時間を観察時間とした。なお、ボールが射出される初期位置は外枠1辺につき、等間隔に配置された9つの座標いずれかであった。また、初期角度は外枠に対



して垂直，垂直から±15度の3つのいずれかに設定されていた。

続くテストフェーズでは，ボールが同じように射出されるが，不可視領域に入った直後にボールが一時停止し，パドルが表示される（図2.1d）。参加者は，そのボールの入力からボールが最終的に到達する位置を予測し，それがパドルに含まれるようマウスで自由に移動させ，右クリックでパドルの位置を確定する。このときのパドルは，ボールが初期位置と初期角度から仮に直進した場合に到達する位置に初期表示される。つまり規範的には，そのボールの軌道が変則事例の場合はパドルを移動させないと予測に失敗するが，正則事例の場合は移動させなくても予測が成功する。課題の成績として，パドルの範囲内にボールの到達位置を含ませることができた試行数を予測成績とした。なお参加者には，予測の成功または失敗のフィードバックを与えなかった。これは，テストフェーズでフィードバックを与えると，それをもとに学習が行われる可能性があったためである。特に，変則事例それぞれの試行数が観察フェーズとテストフェーズで異なっており，フィードバックを与えると正則事例と変則事例の統制が困難になることから，フィードバックを実施しなかった。

### 2.1.3 構造の複雑さの設定

正則事例と変則事例が生じるその原因構造の複雑さについて検証を行うため，本課題の不可視領域に設定された物体の形状から，複雑さの異なる2つの課題を設けた（図2.2）。隠された物体が四角で変則事例の屈折軌道が比較的単純なものを易課題，その物体が円形で変則事例の屈折軌道が比較的複雑なものを難課題とした。易課題では変則事例の屈折角度パターンが少なく単純である一方，難課題では屈折角度が複雑で，かつ様々な軌道のパターンが存在した。

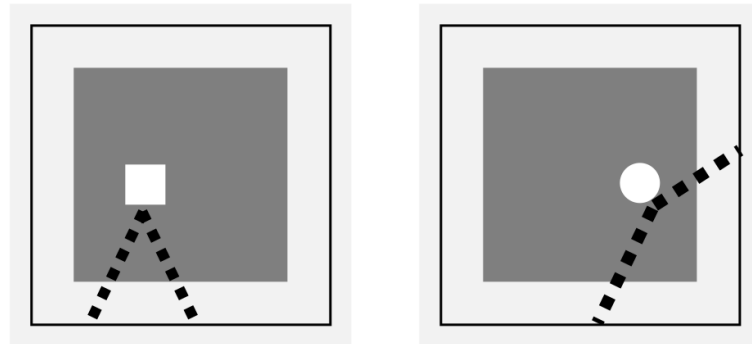


図 2.2 課題難易度の設定。易課題（左）と難課題（右）において設定された物体（白いおオブジェクト）と，変則事例の軌道例（点線）。

#### 2.1.4 方略

本課題は，1.1.3 節で述べた 2 つの方略のいずれを観察フェーズにおいて適用しても，テストフェーズにおけるボールの軌道を予測することができた。

記憶ベース方略を適用した場合，観察フェーズにおける可視領域のボールの動き，すなわち入出力に着目しそれを事例として記憶することで，テストフェーズで事例を予測できる。つまり，記憶ベース方略においては，入力としての初期位置・角度と，出力としての到達位置の組み合わせが事例ごとに記録されることが期待される。

一方，推論ベース方略を適用した場合，観察フェーズにおける不可視領域のボールの動きに着目し，隠された物体を推論することで，ボールが直進もしくは屈折する原因構造，つまり隠された物体を理解し，テストフェーズで事例を予測できる。この方略では，事例が提示されるごとに推論が行われ，物体に関する表象が逐次更新されることが期待される。

#### 2.1.5 手続き

参加者は，後のテストフェーズでできる限り多くのボールをキャッチできるように，観察フェーズでボールの動きを注意深く観察するよう教示によって

促された。

一続きのボールの動きを1試行として、観察フェーズ12試行、テストフェーズ12試行を合わせて1ブロックとし、5ブロックを連続して実施した(図2.3)。ブロック2以降で変則事例の挙動を予測させるため、ブロック1では観察フェーズとテストフェーズともにすべて正則事例が提示された。これは、類似した正則事例を繰り返し提示することでスキーマを形成させ、その後それらと対照的な変則事例を提示することで強い驚きを生じさせる反復-破棄プロット構造(Loewenstein & Heath, 2009)を参考にしている。この手続きにより参加者は、「ボールが直進する場合についてはパドルを移動させずともキャッチに成功できる」という正則事例に関する初期表象を、ブロック2開始時点で獲得したと考えられる。

ブロック2から5において、観察フェーズは正則事例9試行、変則事例3試行で構成された。テストフェーズは正則事例6試行、変則事例6試行で構成されていたが、それぞれについて、全ブロックを通して初めて提示される未知事例3試行、直前の観察フェーズで提示された既知事例3試行で構成されていた。つまり、テストフェーズの1ブロックは、正則-未知事例、正則-既知事例、変則-未知事例、変則-既知事例の4種類の事例がそれぞれ3試行ずつで構成されていた。なお各ブロックにおける提示事例の順序は参加者間でランダムに設定されていた。

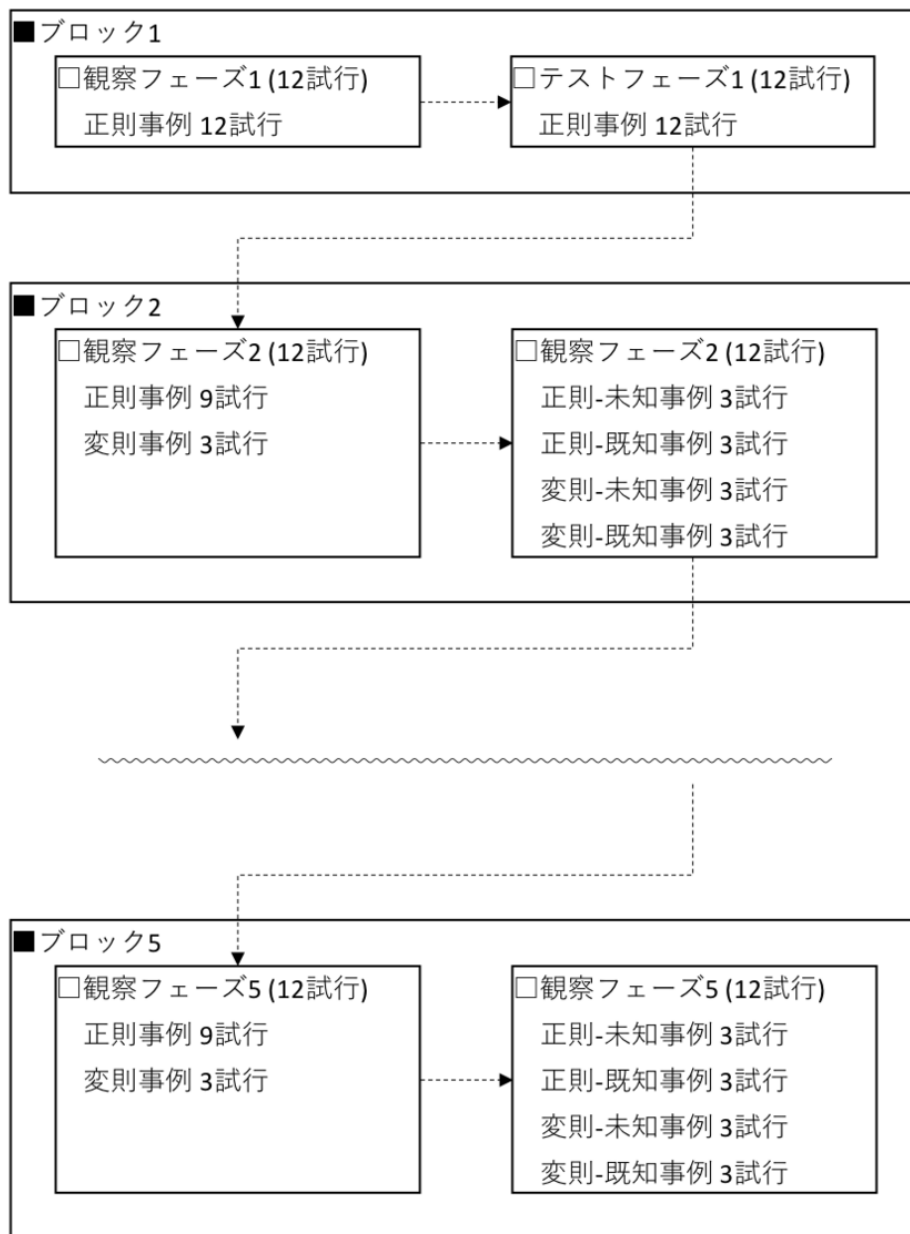


図 2.3 実験手続きの概要。

## 第3章

# 記憶ベース方略の特性と優位性に関する心理実験

記憶ベース方略の特性に関する仮説と，推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説の妥当性を検証するため，3つの心理実験を行った。実験1では，参加者が適用する方略を実験者による教示で誘導し，その際の参加者の行動や課題成績を測定した。実験2では，記憶再認テストと課題終了後のアンケートを通して，記憶ベース方略を適用した参加者が記銘した内容と方略に対する主観的評定を確認した。実験3では，参加者自身に方略を選択させ，その際の参加者のパフォーマンスを測定した。

## 3.1 実験 1

### 3.1.1 方法

大学生 46 名が実験に参加した。参加者は、記憶ベース方略条件（以下、記憶条件と呼ぶ）と推論ベース方略条件（以下、推論条件と呼ぶ）のいずれかに無作為に割り当てられた。

記憶条件では、確認画面で表示される 2 つの矢印（図 2.1b）に着目し、それを記憶することで、後の予測テストに回答することが求められた。2 つの矢印は入力と出力の組み合わせに注意を向けさせる狙いがあった。推論条件では、確認画面で表示される点線の軌跡（図 2.1c）に着目し、不可視領域に隠された物体について推論し、それに基づいて予測テストに回答することが求められた。点線は入出力の関係性を強調し、背後にある構造に自然と注意が向くことを期待した。なお、記憶条件の矢印と推論条件の点線は、言語教示における付帯的教示であり、それぞれが持つ情報は等価であった。

本実験において参加者は易課題 5 ブロックを実施し、小休憩を挟んだ後、難課題 5 ブロックを実施した。易課題と難課題それぞれにおいて、隠された物体の位置と形状は実験を通して不変であった（図 2.2）。ただし、難課題開始時には、易課題からボールの動きが一新されることを強調し教示した。また課題本番に先立って、画面の確認やマウス操作の練習を行ったが、このとき提示された事例はすべて正則事例であった。

### 3.1.2 結果の予想

記憶ベース方略の特性に関して、「記憶ベース方略を適用する場合、スキーマに従う正則的事例に対しては、これをデフォルト値として認識するため記銘が行われず、変則事例に対する記銘のみが行われる」という仮説を立てた。この仮説から、以下の 2 つの予想が導かれる。

### 観察時間に関する予想

記憶ベース方略を適用した場合，デフォルト値として記録されない正則事例と，記録に時間を要する変則事例との間に，観察時間の差が生じるだろう。つまり，観察フェーズにおいて確認画面が表示されてから参加者がクリックするまでの観察時間は，記憶条件では変則事例より正則事例のほうが短いだろう。

### パドル移動試行数に関する予想

参加者は提示された事例を変則事例と判断した場合にはパドルを動かし，正則事例と判断した場合には移動しないことが期待される。つまり，記憶条件の参加者がパドル移動を行った場合は変則事例を想起したことを表している。したがって，記憶条件では，テストフェーズの変則事例に対しては，変則-未知事例より変則-既知事例でパドルを移動する試行数が多いだろう。一方，正則事例のパドル移動試行数に関しては，正則-未知事例と正則-既知事例の間には差がないだろう。

変則事例は観察フェーズにおいて記録されるため，テストフェーズで変則-既知事例が提示された時にはそれを正しく再認でき，記録された到達位置へパドルを移動させる。その結果，記憶条件では変則事例において変則-未知事例より変則-既知事例のパドル移動試行数は多くなる。一方，正則事例は観察フェーズにおいて記録されないため，正則事例における正則-未知事例と正則-既知事例のパドル移動試行数に差は生じないと考えられる。

また，推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関して，「正則事例と変則事例を生じさせる原因構造が単純なシステムにおいては，挙動予測に関して推論ベース方略が優位である一方，構造が複雑なシステムにおいては記憶ベース方略が優位である」という仮説を立てた。ここから，以下の予測が導かれる。

### 予測成績に関する予想

テストフェーズにおける変則事例の到達位置の予測成績に関して、易課題の変則-未知事例の成績は、推論条件が記憶条件に比べて高くなる。その一方、難課題の変則-既知事例の成績は、記憶条件が推論条件に比べて高くなるだろう。

推論条件は易課題において、推論で得られた隠された物体に関する表象を、未知事例に対しても適用できるため成績が高くなる。一方、難課題では、推論条件は物体の形状に関して不十分な表象しか得られずにそれを適用できないだろう。対して記憶条件は観察フェーズで記銘されたものと同じ既知事例なら、正確な同定が可能であると考えられる。この同定は課題の複雑さに影響されづらく、難課題では推論条件よりも記憶条件の変則-既知事例の予測成績が高くなるだろう。

### 3.1.3 結果

マシントラブルや教示違反によりデータ欠損のあった3名を除外し、記憶条件24名、推論条件19名を分析対象とした。

分析はブロック5におけるテストフェーズのデータを対象とした。これは、各方略における効用が現れるためには、一定数の事例観察が必要なためである。

### 観察時間

まずは観察時間に関する予想について確認を行った。記憶条件のブロック5における観察時間において、正則事例と変則事例の間において $t$ 検定を実施した(表3.1)。その結果、易課題と難課題それぞれにおいて、変則事例より正則事例の観察時間が短かった(易課題:  $t(23) = 2.7, p < .05, r = .50$ ; 難課題:  $t(23) = 3.0, p < .01, r = .54$ )。以上より、観察時間に関する予想が正しかったことが確認された。



表 3.1 記憶条件における観察時間（実験 1）。各値は確認画面が表示されてから参加者が左クリックを押下するまでの秒数を表す。括弧内は標準誤差を示す。

課題	種類	観察時間
易課題	正則事例	2.04 (0.18)
	変則事例	3.50 (0.50)
難課題	正則事例	1.89 (0.08)
	変則事例	4.11 (0.69)

なお推論条件においても同様に，易課題と難課題いずれにおいても，変則事例より正則事例の観察時間が短かった（易課題:  $t(18) = 4.3$ ,  $p < .001$ ; 難課題:  $t(18) = 3.0$ ,  $p < .01$ ）。ここから，推論ベース方略においても変則事例は重要であり，正則事例に比してより深い処理が行われたことが示唆される。

### パドル移動試行数

次にパドル移動試行数に関する予想について確認を行った。記憶条件のブロック 5 におけるパドル移動試行数について，2（経験：未知/既知） $\times$ 2（軌道：正則/変則）の分散分析を実施した（図 3.1）。その結果，記憶条件の易課題では，交互作用が有意であった（ $F(1, 23) = 12.4$ ,  $p < .005$ ,  $\eta^2 = .08$ ）。変則事例において変則-未知事例より変則-既知事例のパドル移動試行数が多かったが（ $F(1, 46) = 17.4$ ,  $p < .001$ ），正則事例において正則-未知事例と正則-既知事例の差は有意ではなかった（ $F(1, 46) = 0.5$ ,  $n.s.$ ）。また，正則-未知事例と正則-既知事例について，TOST による等価性検定 (Lakens, 2017) を行った結果， $d_z$  が  $-0.6$  から  $0.6$  の範囲において，有意に等価であることが示された（ $t(23) = 1.7$ ,  $p < .05$ ）。同様に，記憶条件の難課題でも，交互作用が有意であった（ $F(1, 23) = 11.1$ ,  $p < .005$ ,  $\eta^2 = .10$ ）。変則事例において変則-未知事例より変則-既知事例のパドル移動試行数が多かったが（ $F(1, 46) = 8.8$ ,  $p < .005$ ），正則事例において正則-未知事例と正則-既知事例の差は有意ではなかった（ $F(1, 46) = 2.2$ ,  $n.s.$ ）。また，正則-未知事例と正則-既知事例について等価性検

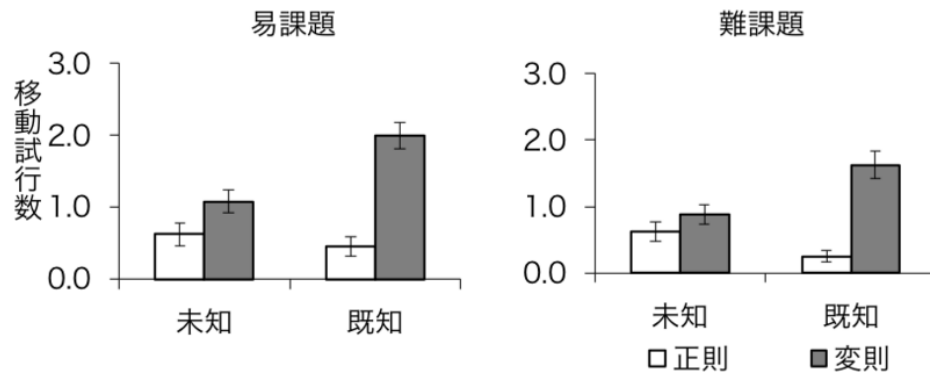


図 3.1 記憶条件におけるパドル移動試行数 (実験 1)。テストフェーズにおいて、パドルを初期表示された位置から移動させた試行数を表す。エラーバーは標準誤差を示す。

定を行ったが、有意ではなかった ( $t(23) = 0.6, n.s.$ )。以上より、パドル移動試行数に関する予想については易課題においてのみ確認された。

まとめると、記憶条件では、課題の複雑さによらず、変則事例よりも正則事例の観察時間が短かった。また、変則事例のパドル移動試行数は、変則-未知事例より変則-既知事例のほうが多いが、正則事例では正則-未知事例と正則-既知事例に差がなく、さらに易課題においてのみではあるが、そのパドル移動試行数が等価であることが示された。以上は、記憶ベース方略の特性に関する仮説を概ね支持する結果である。ただし参加者がパドルを移動させなかった場合には、正則事例を想起したことによって移動させなかった場合も含まれており、正則事例が記憶されなかったことを直接的に示していない。この疑義については実験 2 で直接的に検証する。

なお推論条件の易課題では、事例の主効果は有意であったが ( $F(1, 18) = 74.2, p < .001, \eta^2 = .46$ )、経験の主効果は見られなかった ( $F(1, 18) = 0.5, n.s.$ )。また、交互作用が有意で ( $F(1, 18) = 15.3, p < .001, \eta^2 = .06$ )、正則事例において正則-未知事例より正則-既知事例のパドル移動試行数が有意に少なかった ( $F(1, 36) = 7.9, p < .01$ )。一方、難課題では、経験の主効果、交互作用ともに見られなかった ( $F(1, 18) = 0.7, n.s.; F(1, 18) = 2.1, n.s.$ )。

表 3.2 変則事例に対する予測成績（実験 1）。パドルにボールの到達位置を含めることができた試行数を表す。括弧内は標準誤差を示す。

課題	経験	記憶条件	推論条件
易課題	未知事例	0.63 (0.12)	1.37 (0.15)
	既知事例	1.75 (0.23)	2.05 (0.20)
難課題	未知事例	0.08 (0.06)	0.37 (0.13)
	既知事例	1.33 (0.20)	0.42 (0.15)

### 予測成績

続いて、変則事例の予測成績に関する予想について検討を行った。ブロック 5 における変則事例の到達位置の予測成功試行数について、2（条件）×2（経験）の 2 要因分散分析を実施した（表 3.2）。その結果、易課題では条件の主効果が有意で ( $F(1,41) = 8.4, p < .01, \eta^2 = .17$ )、記憶条件より推論条件の成績が高かった。また交互作用は有意ではなかった ( $F(1,41) = 1.2, n.s.$ )。一方、難課題では条件の主効果が有意で ( $F(1,41) = 4.1, p < .05, \eta^2 = .11$ )、推論条件より記憶条件の成績が高かった。また、交互作用が有意で ( $F(1,41) = 15.8, p < .001, \eta^2 = .39$ )、変則-既知事例において、推論条件より記憶条件の成績が高かった ( $F(1,82) = 17.9, p < .001$ )。以上より、予測成績に関する予想が正しかったことが確認された。

まとめると、変則事例の予測成績において、易課題では記憶条件よりも推論条件の成績が高く、難課題では推論条件よりも記憶条件の変則-既知事例の成績が高かった。以上は、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説を支持する結果である。易課題から難課題にかけて、推論条件の予測成績は大きく低下している一方、記憶条件では推論条件ほどの成績低下は見られていない。これは、事例に着目した学習は認知的負荷が低く (Kalyuga et al., 2001)、推論ほどの複雑な認知的過程 (Darabi et al., 2007) を必要としないためであると推察される。

なお、両条件の正則事例の予測成績については、変則事例と異なり、有意差は検出されなかった ( $F_s < 1$ , *n.s.*)。両条件の参加者は易課題・難課題いずれにおいてもほぼ正答できており、天井効果が見られた可能性がある。この点についてはモデルシミュレーションを通して、再度検証を行う。

## 3.2 実験2

実験1では観察時間とパドル移動試行数の結果から、記憶ベース方略では変則事例は記録されるが、正則事例は記録が行われないことが示唆された。ただし、パドル移動試行数の結果からは、記録された正則事例が想起された可能性も否定できない。そこで実験2では、事例の再認課題と記録内容に対する主観評定を通して、記憶ベース方略において正則事例の記録が行われた否かについてより直接的に検証する。

### 3.2.1 方法

大学生22名が参加した。手続きは、実験1の記憶条件とほぼ同じだが、易課題におけるブロック5のテストフェーズの代わりに事例の再認課題を行い、その後、記録内容に関するアンケートを実施した。再認課題は、記憶ベース方略を適用した参加者が、正則-未知事例、正則-既知事例、変則-未知事例、変則-既知事例のうち、どの事例を観察フェーズで見た記憶があるかを確認するために実施した。また記録内容に関するアンケートでは、正則事例と変則事例をそれぞれどの程度意図的に記録しようと試みていたかを確認するために実施した。

実験1の記憶条件と同じ手続きで実験を進め、易課題におけるブロック5の観察フェーズ終了後に再認課題を実施した。再認課題では観察フェーズの確認画面で提示されていたものと同じ矢印を提示し、その矢印が示す軌道を観察フェーズで見た記憶があるか否かを参加者に Yes/No で回答させた。提示事例には、実験1のブロック5のテストフェーズで提示した12事例と同じものを用いた。つまり、正則-未知、正則-既知、変則-未知、変則-既知の各事例について3試行ずつ提示された。

再認課題は、入力形式と入出力形式の2つの形式で順に行われた。入力形式では実験1のテストフェーズと同様、入力を示す矢印のみが提示され、参

加者はその矢印が示す軌道に見覚えがあるか否かを Yes/No で回答した。続いて入出力形式では入力に加えて出力を示す矢印も提示し、その2つの矢印が示す軌道に見覚えがあるか否かを回答した。

再認課題終了後に、記銘内容に関する2項目のアンケートを実施した。具体的には、「観察フェーズにおいて、まっすぐの動きを記憶しようと試みた（正則事例記銘）」と「曲がる動きを記憶しようと試みた（変則事例記銘）」という2項目について、「まったく当てはまらない (1)」から「とても当てはまる (7)」までの7件法で回答を求めた。

### 3.2.2 結果

#### 再認課題

再認課題における4種類の事例（正則-未知，正則-既知，変則-未知，変則-既知）それぞれにおいて Yes と答えた数と，チャンスレベルの値 1.5 との差分を検討するために，1 サンプル  $t$  検定を実施した（表 3.3）。その結果，入力形式，入出力形式ともに，正則事例に関しては未知・既知を問わず，チャンスレベルとの間に有意差は検出されなかった（入力-正則-未知:  $t(21) = 0.2$ ,  $n.s.$ ; 入出力-正則-未知:  $t(21) = 1.6$ ,  $n.s.$ ; 入力-正則-既知:  $t(21) = 0.5$ ,  $n.s.$ ; 入出力-正則-既知:  $t(21) = 0.5$ ,  $n.s.$ ）。この結果は，正則事例の記銘が意図的に行われなかったことを支持する。

一方，変則-既知事例では有意差があり（入力:  $t(21) = 5.5$ ,  $p < .001$ ; 入出力:  $t(21) = 8.2$ ,  $p < .001$ ），変則事例に対して参加者は記銘を試みていたことが分かった。また，変則-未知事例においても有意差が検出され（入力:  $t(21) = 3.5$ ,  $p < .005$ ; 入出力:  $t(21) = 2.8$ ,  $p < .05$ ），変則-未知事例を見たという回答が有意に多かった。これは，変則-未知事例には，記銘した変則-既知事例と類似した事例が含まれるために，それが誤って想起されたことによると考えられる。したがって再認課題の結果，記憶ベース方略の特性に関する仮説，すなわち，変則事例は記銘が行われた一方，正則事例は記銘が行われな

表 3.3 再認課題において Yes と回答された数 (実験 2)。括弧内は標準誤差を, \*はチャンスレベルの値 1.5 との間に有意差があった項目を示す。

形式	種類	Yes 回答数	
入力	正則-未知	1.45 (0.20)	
	正則-既知	1.41 (0.17)	
	変則-未知	2.05 (0.15)	*
	変則-既知	2.36 (0.15)	*
入出力	正則-未知	1.86 (0.20)	
	正則-既知	1.59 (0.15)	
	変則-未知	1.91 (0.14)	*
	変則-既知	2.55 (0.12)	*

いことが支持された。

### 記銘内容の主観評価

続いて, 記銘内容に関する主観評価アンケートを分析した結果, 正則事例記銘 2.4 点に対して, 変則事例記銘 6.8 点で, 両得点間に有意な差が検出された ( $t(21) = 10.5, p < .001$ )。ゆえに, 参加者は意図的に正則事例を記銘していなかったことが示された。

まとめると, 実験 2 における再認課題と主観評価の結果はいずれも, 記憶ベース方略の特性に関する仮説, すなわち変則事例は記銘される一方で正則事例は記銘されないことを支持するものである。

### 3.3 実験3

実験1・2では変則事例の学習方略を教示により誘導することで、記憶ベース方略の特性と、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性を明らかにした。実験3では記憶ベース方略の優位性に関する仮説の追加検証として、方略教示が行われなくても、課題構造の複雑さに適した方略を選択できるか、また、そのように各方略を選択した場合でも、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性が見られるかを検討した。その際、課題遂行後に主観アンケートによって使用された方略を推定した (e.g., Little & McDaniel, 2014)。

#### 3.3.1 結果の予想

推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説および実験1・2の結果から、参加者自身に方略を選択させた場合には以下の結果が予想される。

##### 方略選択に関する予想

参加者自身に方略を選択させた場合でも、課題の複雑さに合わせて適応的に方略を選択することができるなら、実験1の結果から、易課題では推論ベース方略を志向する人数が多く、難課題では記憶ベース方略を志向する人数が多くなるだろう。

##### 予測成績に関する予想

参加者自身に方略を選択させても、記憶ベース方略と推論ベース方略それぞれの優位性が現れるだろうか。もし現れるなら、実験1の結果から、易課題では推論ベース方略志向の参加者は変則事例の予測成績が高く、難課題では記憶ベース方略志向の参加者の成績が高くなるだろう。



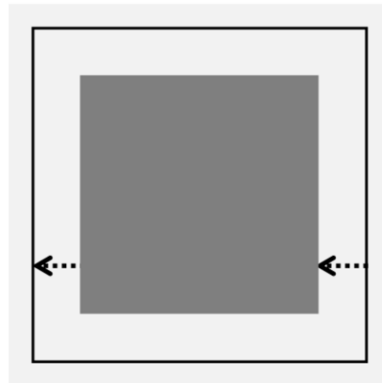


図 3.2 観察フェーズにおける確認画面（実験3）。実験1の記憶条件で提示された矢印と、推論条件で提示された点線の両者を同時に提示した。

### 3.3.2 方法

実験1とほぼ同じ課題および手続きを用いて実施した。ただし、参加者は易課題と難課題の片方のみを行うように変更した。大学生53名が実験に参加し、易課題に27名、難課題に26名が無作為に割り当てられた。

実験1の教示から方略に関する教示を削除し、テストフェーズでできる限り多くのボールをキャッチするために、観察フェーズで事例を注意深く観察する点を強調した。また、記憶ベース方略と推論ベース方略のいずれも選択されるよう、観察フェーズの確認画面では、実験1の記憶条件に提示された矢印と、推論条件に提示された点線の両方を同時に表示させた（図3.2）。

ブロック5を終了した後に、その時点で使用していた方略の志向性に関するアンケートを、7件法で実施した。設問の文言は、実験1の方略教示をそのまま用いた。すなわち、設問1「2つの矢印に着目していた」は記憶ベース方略志向を確認するため、設問2「点線の軌跡に着目していた」および設問3「見えない領域の構造を特定しようと試みた」は推論ベース方略志向を確認するために提示され、それぞれ参加者に回答を求めた。

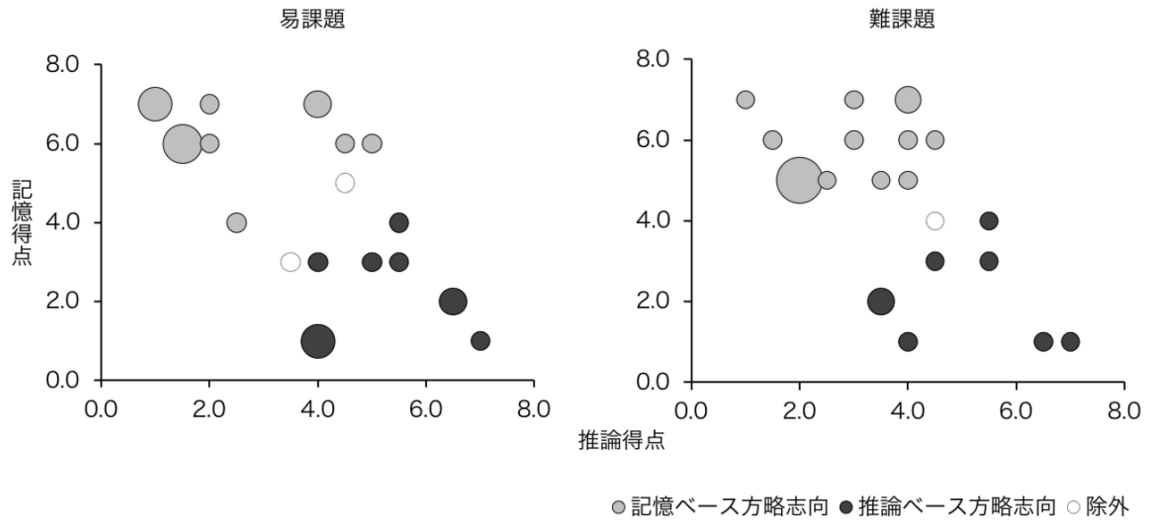


図 3.3 記憶得点と推論得点の分布（実験 3）。各ポイントは各参加者の記憶得点と推論得点の組み合わせを表す。円の大きさは同一座標にプロットされた参加者の人数に対応し、円が大きいほどその座標にプロットされた参加者が多いことを示す。

### 3.3.3 結果

#### 方略の選択志向

まず、記憶ベース方略と推論ベース方略それぞれに関する参加者の志向性を検討するため、ブロック 5 を終了した後の方略志向のアンケートについて検証した。設問 1 の得点を記憶得点、設問 2 と 3 を平均した得点を推論得点とし、各参加者に記憶得点と推論得点を算出し、易課題と難課題それぞれにおいて、記憶得点と推論得点の相関を分析した（図 3.3）。その結果、両課題において、両得点間に有意な負の相関が見られた（ $r = -.65, p < .001$ ;  $r = -.53, p < .01$ ）。以上に基づき、推論得点より記憶得点が高い参加者を記憶ベース方略志向者、記憶得点より推論得点が高い参加者を推論ベース方略志向者と見なした。なお、記憶得点と推論得点の差分が 1 点未満であった易課題の参加者 3 名および難課題の参加者 1 名は以降の分析から除外した。

続いて、各方略を志向した人数の分布を検証した。易課題では、推論ベース方略志向者が 10 名に対し、記憶ベース方略志向者が 14 名であった。難課題

表 3.4 変則事例に対する予測成績（実験3）。括弧内は標準誤差を示す。

課題	種類	記憶ベース方略志向	推論ベース方略志向
易課題	未知事例	0.64 (0.13)	1.20 (0.19)
	既知事例	1.79 (0.27)	2.10 (0.36)
難課題	未知事例	0.12 (0.08)	0.00 (0.00)
	既知事例	0.71 (0.22)	0.50 (0.25)

では、推論ベース方略志向者8名に対し、記憶ベース方略志向者が17名で割合が大きくなるが、フィッシャーの正確確率検定を行った結果、統計的には有意ではなかった ( $p = .56$ ,  $n.s.$ )。以上より、課題の複雑さに応じて優位性の高い方略が志向されることは確認できなかった。

### 予測成績

ブロック5における変則事例の予測成功試行数について、方略志向×種類の2要因分散分析を実施した（表3.4）。その結果、易課題では、志向の主効果が有意傾向で ( $F(1,22) = 3.31$ ,  $p = .09$ ,  $\eta^2 = .16$ )、記憶ベース方略志向者より推論ベース方略志向者の成績が高い傾向が見られた。また交互作用は有意ではなかった ( $F(1,22) = 0.2$ ,  $n.s.$ )。一方、難課題では、志向の主効果と交互作用ともに有意ではなかった ( $F(1,23) = 0.7$ ,  $n.s.$ ;  $F(1,23) = 0.04$ ,  $n.s.$ )。

まとめると、変則事例の予測成績において、易課題では、実験1と同様に、推論ベース方略志向者の成績が、記憶ベース方略志向者に比して高かった。しかし難課題では、実験1と異なり、両方略の間に成績の差は見られなかった。以上より、参加者自身に方略を選択させた場合、易課題では推論ベース方略の優位性が見られたが、難課題では記憶ベース方略の優位性を確認することはできなかった。

### 3.4 心理実験の考察

心理実験アプローチでは、変則事例の挙動を予測するために用いられる記憶ベース方略の特性と、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性について、3つの実験を通して検証した。

#### 3.4.1 記憶ベース方略の特性

実験課題において挙動予測を行うための方略を教示で誘導した実験1・2の結果から、記憶ベース方略では、正則的な挙動から逸脱した変則事例のみ記銘が行われ、正則事例はデフォルト値と認識されて記銘が行われないという記憶ベース方略の特性に関する仮説が支持される結果が得られた。もし正則事例を記銘していたなら、テストフェーズの正則-既知事例でパドル移動は行わないため、正則-既知事例のパドル移動試行数が正則-未知事例より少なくなるはずである。しかし実験1で両者のパドル移動試行数に差がなく、特に易課題においては両者が等価であった点、さらには実験2で正則事例を有意に正確に再認ができなかった点、記銘内容に関する主観評定を通して、記憶ベース方略適用時に正則事例は記銘されなかったことが示された。

このことから、記憶ベース方略を使用した参加者は、以下に示すようにして正則事例を予測していたと考えられる。すなわち、ブロック1を通して「直進する事例については記銘を行わずとも予測を成功できる」という正則事例に対する初期表象を獲得し、以降は観察フェーズで正則事例の記銘を行わなかった。テストフェーズにおいては、記銘されていない事例が現れた際、それを正則事例とみなし、「パドルを動かさずにボールをキャッチできる」と考え、パドルを移動しなかった。それにより、正則事例に対しては未知・既知問わず、高い予測成績が得られたと推測される。

### 3.4.2 記憶ベース方略の優位性

記憶ベース方略と推論ベース方略の予測成績を比較した実験1では、変則事例に対する予測において、構造が単純な課題に対しては推論ベース方略のほうが有効であるが、複雑な課題に対しては記憶ベース方略のほうが有効であった。これは、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説を支持する結果である。この優位性は、正則事例をデフォルト値と認識して記録しないことで発現した可能性がある。先行研究では、回路設計課題において事例に着目させた条件では、構造に着目させた条件に比べて認知的負荷が低く、成績において優位であることが示されている (Kalyuga et al., 2001)。先行研究における事例への着目が、本研究における記憶ベース方略と対応づけられるとすると、本実験の難課題において、推論ベース方略に対して記憶ベース方略の優位性が現れた背景には、認知的負荷を低減させようとする過程が関わっていることが示唆される。

一方、参加者自身に方略を選択させた実験3では、単純な構造の課題において推論ベース方略の優位性は見られたが、複雑な構造の課題において記憶ベース方略の優位性は確認することができなかった。この結果については以下で考察する。

記憶ベース方略と推論ベース方略の使用傾向には負の相関が見られたことから、片方の方略が用いられるとき、他方の方略は用いられにくいことが分かった。そのため規範的には、課題構造の複雑さに合わせた方略選択が期待される。しかし本実験では、課題構造の複雑さに依拠した適応的な方略選択は見られなかった。

また、記憶ベース方略に対する志向性を有した参加者は一定数観察されたが、方略教示のあった実験1の易課題で見られていた記憶ベース方略の優位性が、実験3では見られなくなった。つまりこの結果は、意図的に記憶ベース方略が選択されない場合、構造の複雑な課題においてその優位性が現れない

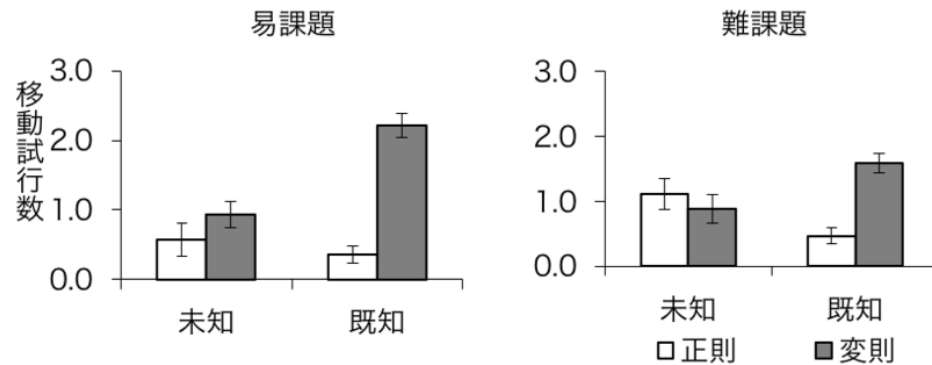


図 3.4 パドル移動試行数 (実験 3)。エラーバーは標準誤差を示す。

可能性を示唆している。

その点を検証するため、記憶ベース方略志向の参加者のパドル移動試行数に関して、実験 1 と同様の分散分析を実施した (図 3.4)。その結果、易課題においては交互作用が有意で ( $F(1,13) = 21.0, p < .001, \eta^2 = .14$ )、実験 1 同様、正則事例において正則-未知事例と正則-既知事例の間に有意な差は見られなかった ( $F(1,26) = 0.7, n.s.$ )。一方、難課題は交互作用が有意で ( $F(1,16) = 12.4, p < .005, \eta^2 = .15$ )、実験 1 と異なり、正則事例において正則-既知事例よりも正則-未知事例のパドル移動試行数が有意に多かった ( $F(1,32) = 6.8, p < .05$ )。つまり、実験 3 における記憶ベース方略志向の参加者は、易課題においては正則事例を記憶していなかったが、難課題では、変則事例に加えて正則事例も記憶を試みていた可能性がある。つまり、正則事例に対しても注意が割り当てられ、注意が向けられた正則事例のいくつかに対して記憶処理が行われたと考えられる。その結果、認知的負荷が高まり、本来難課題で現れるはずの記憶ベース方略の優位性が見られなくなった可能性がある。

したがって、正則事例と変則事例を生じさせる原因構造が複雑な場合、推論ベース方略に対して記憶ベース方略が優位であるという仮説は、条件付きで支持されたとと言える。つまり、記憶ベース方略の方略使用が教示により誘

導された場合には支持される一方で、参加者自身に方略を選択させた場合は支持されなかった。

### 3.4.3 心理実験アプローチの限界

3つの心理実験を通して、記憶ベース方略では、変則事例のみ記銘が行われ、正則事例はデフォルト値と認識されて記銘が行われないことを示した。しかしながら、この心理実験アプローチには以下に述べる2つの限界がある。

第一に、変則事例に対する「記銘する」という行動に対して、正則事例に対する「記銘しない」という行動を、心理実験で客観的に示すことは困難である。実験1および3で採用したパドル移動試行数は、本来テストフェーズの参加者の行動を示す指標であり、そこから観察フェーズの参加者の行動を間接的に推測したにすぎない。すなわち、観察フェーズにおいて、ある事例を記銘するか否かを決定する心的過程を直接的に検証できていない。

第二に、3.4.2節にて正則事例を記銘することによる損失について言及しているが、心理実験を通してこのことを立証することは困難である。実験手続き上、参加者は予測を正確に行うことを最優先に求められており、どの事例を記銘するかは参加者に委ねられている。もし参加者の記銘内容を確認する手続きを挿入した場合、それはその後の予測成績に強く干渉する可能性が高い。したがって、観察フェーズにおける記銘行動によって、テストフェーズの行動や成績がどのように変化するのか、またその成績の変化はどのような過程で生じるのかは、心理実験のみを通して明らかにすることは困難である。

そこで第4章では、これらの問題点を解消すべく、モデルシミュレーションを通じた検証を実施する。





## 第4章

# 記憶ベース方略に関するモデルシミュレーション

第3章では心理実験により、記憶ベース方略の特性に関する仮説、すなわち、変則事例のみ記銘が行われ、正則事例はデフォルト値と認識されて記銘が行われないことを支持する結果を得た。しかしながらその論拠はいずれも間接的であり、記憶ベース方略の詳細な過程を直接的に検証できていない。また、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説、すなわち、構造の複雑な課題においては推論ベース方略に対して記憶ベース方略が優位であることを支持する結果は得られたものの、その優位性がどのような過程を経て発現するのかについて十分に明らかになったとは言い難い。そこで本章では、認知モデルを用いたモデルシミュレーションを通して、より直接的な検証を行う (e.g., Baker et al., 2009; Pantelis et al., 2014)。

## 4.1 シミュレーション方針

本論文では，ACT-R(Anderson, 2007)を用いた認知モデルによるシミュレーションを実施する。ACT-Rには人間の認知特性に基づいた視覚，聴覚，運動などの各種モジュールが実装されており，モデラーはそれらに加えて，人間の手続き記憶に相当するIf-Thenルール形式のプロダクショナルルールを持つモデルを構築することができる。その後，人間参加者と同じようにモデルに課題を解かせることで，課題遂行中の心的過程に関するシミュレーションを行うことができる。そして構築された複数のモデルのうち，心理実験データと最も近いデータを示したモデルは，その尤度が高く，そのモデル上に構築されたプロダクショナルルールが尤もらしいとすることができる。その際，心理実験では表面化しづらく測定が困難な心的過程，例えばどの手続き記憶が用いられたか，宣言的記憶内に貯蔵された事例がどの程度活性化していたか，宣言的記憶からどの事例が想起されたのかなどのデータも，ACT-Rでは取得することができる。

ACT-Rに実装されたモジュールの中でも，特に記憶モジュールに関しては様々なパラメータを設定することができる。例えば，事例同士がどの程度似ているかを示す類似度パラメータを用いることで，類似した別の事例を誤って想起する現象を再現したり，宣言的記憶に貯蔵された事例の活性度の減衰を決めるパラメータを用いることで，時間経過によって記銘した事例を想起できなくなる現象を検証することが可能である。

本研究の実験課題では，記憶ベース方略を用いた参加者が観察フェーズでどの事例を記銘し，テストフェーズでどの事例を想起したかを直接的に確かめることができなかった。そこで本章では，記憶ベース方略適用時に経たると考えられるそれらの心的過程を詳細に検証するために，ACT-R上に記憶ベース方略のモデルを構築し，そのモデルを用いてシミュレーションを実施した。特に，記憶ベース方略において重要だと考えられる記憶に関する2つ

のエラーに焦点を当てた。それらは、本来想起すべき事例とは異なる事例を誤って想起してしまうコミッションエラーと、本来想起すべき事例が忘却され想起できないオミッションエラーである。ACT-R シミュレーションでは、どの事例が想起されていたかをそのログデータから確認できるため、予測が失敗した場合にどちらの想起エラーが生じていたかを知ることができる。

本章では、以下の2つのシミュレーションを実施する。

第一には、変則事例と正則事例それぞれの記銘処理を規定するパラメータを設定したシミュレーションを実施し、記憶ベース方略の特性を明らかにする。具体的には、記銘に関する複数のパラメータの組み合わせたモデルのうち、変則事例は記銘を行い正則事例は記銘を行わないモデルのデータが、心理実験のデータに最も適合するかを検証する。もしそのモデルが心理実験データに最もよく適合したならば、記憶ベース方略では正則事例は記銘されていないという特性に関する仮説がより強く支持される。

第二のシミュレーションでは、記憶ベース方略において、正則事例を記銘しないことによる優位性がなぜ現れるのかを明らかにする。具体的には、変則事例と同様に正則事例の記銘を行うモデルに実験課題を解かせたとき、正則事例を記銘しないモデルと比べて、正則-未知、正則-既知、変則-未知、変則-既知のどの種類の事例に対する予測成績が低下するかを確かめる。またその予測成績低下の原因がコミッションエラーとオミッションエラーのいずれであるか、さらにコミッションエラーで誤って想起された事例が変則事例と正則事例のいずれであるかを検証する。これにより、推論ベース方略に対して記憶ベース方略が変則-既知事例において有する優位性がどのような過程を経て生じるのか、その根拠を示せると期待される。

## 4.2 シミュレーション設定

ACT-R 上に構築した記憶ベース方略モデルのプロダクションルールを以下に示す。

このモデルはまず、観察フェーズの確認画面で提示される入力矢印と出力矢印それぞれについて、その位置と角度を読み取り、1つの事例として宣言的記憶に貯蔵する（図4.1）。この際に記銘される事例は、初期位置、初期角度、到達位置の3スロットで構成されるものとした。その後、記銘した事例を記憶に定着させるため、当該事例の想起を繰り返すリハーサルを行う。規範的には、リハーサル回数が増えるほどその事例の活性度が高くなり、後の想起時にその事例が想起されやすくなる。リハーサルを継続するか中止するかは、あらかじめ設定されたリハーサル確率に従って、リハーサル1回ごとに決定される。

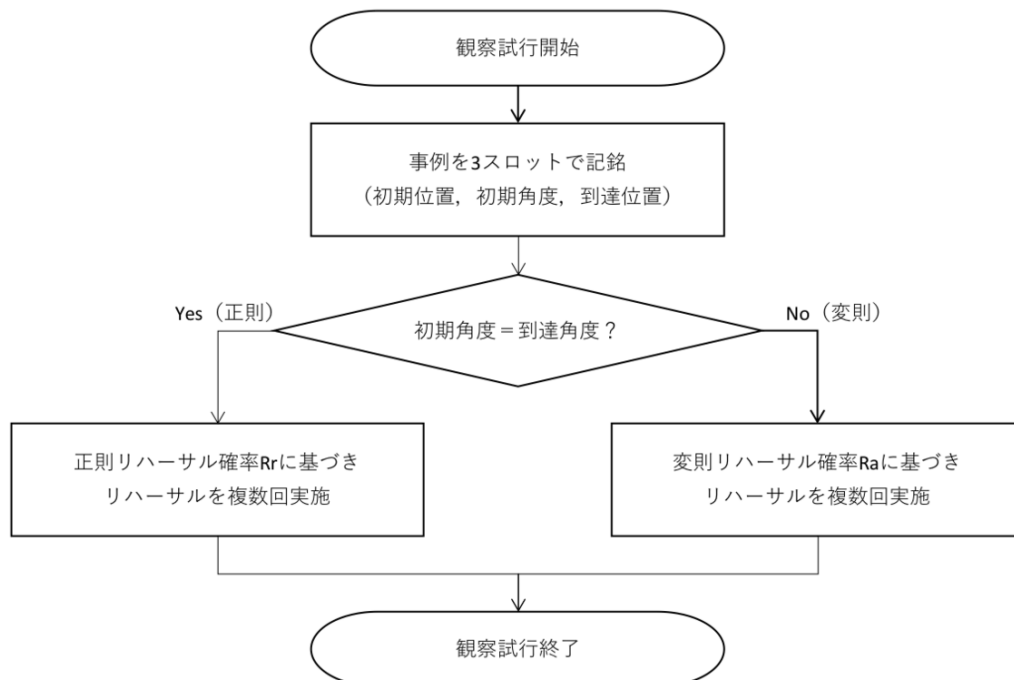


図 4.1 観察フェーズにおけるモデルのプロダクションルール。

リハーサル確率は以下の2種類が設定された。すなわち、モデルが2つの矢印の角度を同じと認識した場合は、それを直進軌道、つまり正則事例とみなし、正則リハーサル確率（以下、 $R_r$ と呼ぶ）に従ってリハーサルを行う。一方、モデルが2つの矢印の角度を異なるものと認識した場合は、それを屈折軌道、つまり変則事例とみなし、変則リハーサル確率（以下、 $R_a$ と呼ぶ）に従ってリハーサルを行う。シミュレーションでは、 $R_r$ を5水準、 $R_a$ を5水準の全25通りの組み合わせでモデルを構築した。今回のシミュレーションにおいて、リハーサル確率はそれぞれ0%, 20%, 40%, 60%, 80%に設定されており、これは1事例につき、そのリハーサル回数の期待値がそれぞれ0.00回、0.25回、0.67回、1.50回、4.00回であることを意味する。つまり、リハーサル確率が高いほどその事例のリハーサルが多く行われ、活性度が高まり、後の想起時に思い出されやすくなる。

テストフェーズでは、提示される入力矢印の位置と角度を読み取り、その初期位置と初期角度を手がかりに宣言的記憶から事例を想起する（図4.2）。具体的には、初期位置と初期角度のスロットに、現在提示されている入力矢印の位置と角度と同じ値が含まれる事例を宣言的記憶から検索する。

事例の想起に失敗した場合、つまり、該当する事例が存在しなかった、もしくは該当する事例の活性度が想起閾値を下回った場合、モデルはパドルを移動せずに、右クリックを押してその試行を終了する。また、想起に成功した場合であっても、その想起した事例の到達位置がすでに現在のパドルの範囲に含まれている場合は、パドルを移動せずとも予測が成功するため、パドルを移動せずに試行を終了する。一方、想起した事例の到達位置が現在のパドルの範囲に含まれていない場合、つまり予測を成功するためにパドル移動が必要だとモデルが判断した場合は、その想起した到達位置にマウスを移動させて左クリックを押してパドルを移動し、最後に右クリックを押して試行を終了する。観察フェーズにおけるリハーサル確率のような可変パラメータは、テストフェーズのプロダクションルールには設定しなかった。

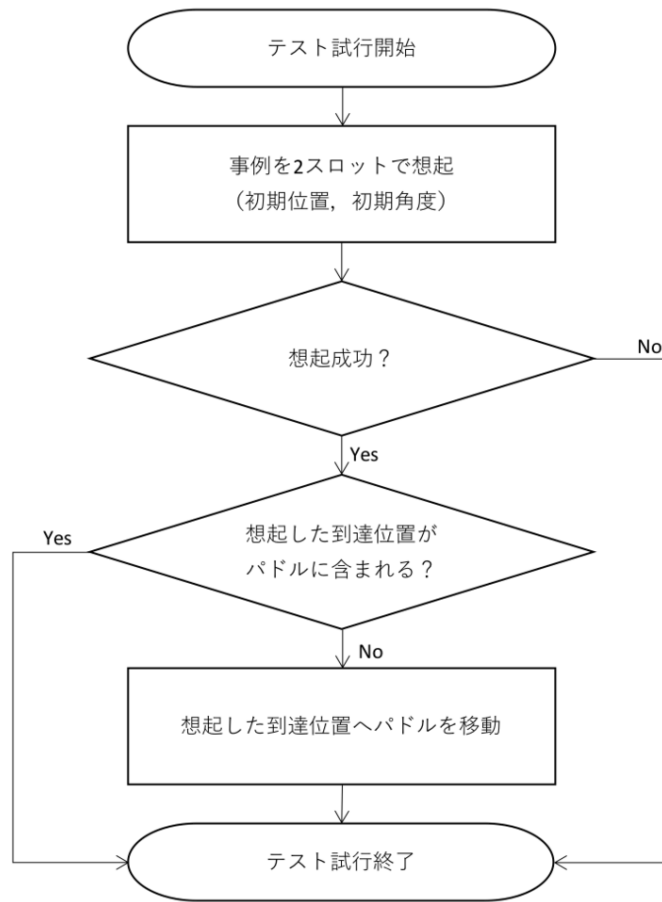


図 4.2 テストフェーズにおけるモデルのプロダクションルール。

本実験課題で予測を成功させるためには、テストフェーズで提示された入力矢印の初期位置と初期角度と同一の値を持つ事例を正しく想起することが必要である。しかしながら、その位置に関して、近接する位置同士は類似性が高く、想起エラーが生じやすいと考えられる。そこで、ACT-Rの Partial matching 機能を用いて、外枠1辺につき9つの候補が初期位置に関して、隣接する座標同士の類似度を  $-0.5$  に設定した。これにより、モデルはテストフェーズにおける事例の想起時に、本来想起すべき事例ではなく、近接する別の事例を誤って想起し得るように設定された。なお、近接しない座標同士の類似度はすべて初期値の  $-1.0$  が設定されていた。これは、座標の近い事例同士を誤って想起する可能性に対して、それ以外の事例同士を混同する可能

性が相対的に低いことを意味する。なお、初期角度については、外枠に対して垂直と、垂直から $\pm 15$ 度の3つのいずれかであり、その違いは顕著であると考えられるため、類似度を設定しなかった。

その他、ACT-Rの各種パラメータについては、事例活性度のノイズの程度を表す:ansを0.5、想起の成否を決定する活性度閾値:rtを $-2$ 、事例活性度のベースレベル学習パラメータ:blを0.1に設定した。1つのRr-Raの組み合わせを1つのモデルと捉え、25通りのモデルそれぞれにおいて実験課題を100回ずつ解かせた。

ここで構築されたACT-Rモデルは、上記のプロダクションルールに従って、人間参加者と同じように実験課題を遂行することができる。そのため、心理実験で取得したデータと同一形式のデータを、シミュレーションから取得することができる。具体的には、実験1で指標として用いた観察時間、パドル移動試行数、予測成績を、25通りのモデルに対してそれぞれ100回分、つまりのべ25000回分のデータを取得した。

さらに本シミュレーションでは、心理実験では取得できなかったデータ、すなわちテストフェーズにおいて実際にどの事例が想起されたかのデータを取得した。これをもとに、予測に失敗した原因がどのようなコミッションエラーまたはオミッションエラーであるのかを明らかにし、そこから記憶ベース方略の優位性について検証した。

## 4.3 シミュレーション結果

### 4.3.1 リハーサル確率に関するシミュレーション

#### モデル選出

記憶ベース方略の特性を明らかにするため、2つのリハーサル確率の組み合わせに関して25通りのモデルの中から、心理実験1の記憶条件のデータに最もよく適合するモデルを選出した。その指標として、実験1で用いた観察時間と予測成績を用いた。なお、パドル移動試行数については、より粒度の高いデータを用いて4.3.2節で検証するため、モデル選出の指標としては使用しなかった。

モデル選出の基準として、心理実験-シミュレーション間の決定係数  $R^2$  を

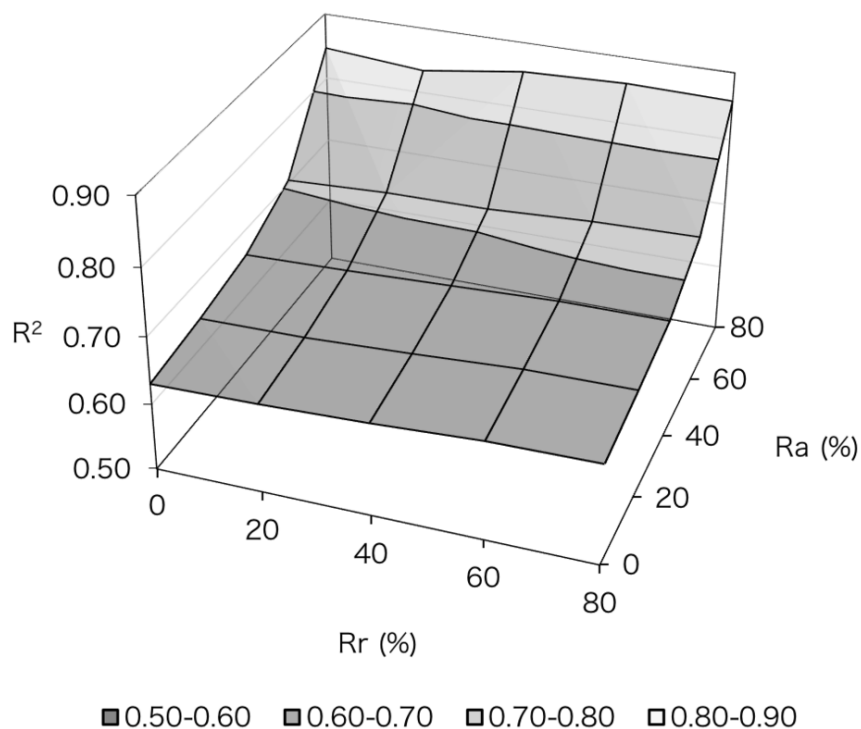


図 4.3 易課題・難課題におけるブロック5の正則事例・変則事例の観察時間4項目の平均値に関する、心理実験データ-シミュレーションデータ間の決定係数。 $R_r$  はシミュレーションモデルの正則リハーサル確率、 $R_a$  は変則リハーサル確率、 $R^2$  は観察時間4項目の平均値に関する心理実験-シミュレーション間の決定係数を示す。



用いた（数式 4.1）。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i^N (x_{pi} - x_{si})^2}{N} / \frac{\sum_i^N (x_{pi} - \bar{x}_p)^2}{N} \quad (4.1)$$

なお、 $x_{pi}$  は項目  $i$  に関する心理実験の実測値、 $x_{si}$  は項目  $i$  に関するシミュレーションの値、 $N$  は項目数、 $\bar{x}_p$  は心理実験における  $N$  項目の実測値の平均を表す。 $R^2$  は 0 から 1 までの値を取り、決定係数が高い Rr-Ra の組み合わせのモデルほど、心理実験データをより再現していると解釈する。

まず、易課題のブロック 5 における正則事例、変則事例の観察時間と、難課題のブロック 5 における正則事例、変則事例の観察時間の計 4 項目について、心理実験データとシミュレーションデータそれぞれで平均値を算出し、その 4 項目（易課題における正則事例、変則事例、および難課題における正則事例、変則事例）について、心理実験-シミュレーション間の決定係数  $R^2$  を算出した。観察時間に関する決定係数を、Rr 5 水準と Ra 5 水準の計 25 通りのモデルそれぞれに対して算出し、プロットしたものを図 4.3 に示す。

グラフから、Ra の値が高いモデルは決定係数は大きく、低いモデルはその係数が小さいことが明らかである。その一方、Rr に関しては、その値が低いモデルは決定係数がわずかに大きいものの、Ra ほど顕著な傾向は見られな

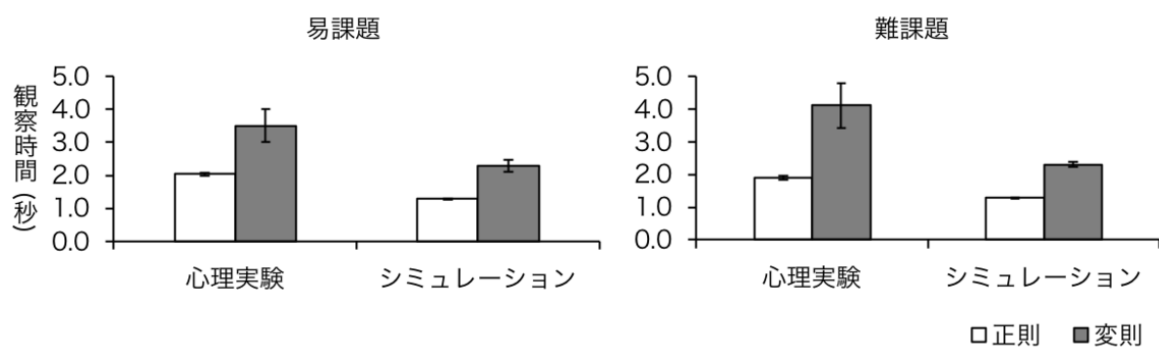


図 4.4 ブロック 5 における観察時間についての心理実験データとシミュレーションデータの比較。シミュレーションデータは Rr 0%-Ra 80% のモデルが課題を 100 回行ったその平均値を表す。エラーバーは標準誤差を示す。

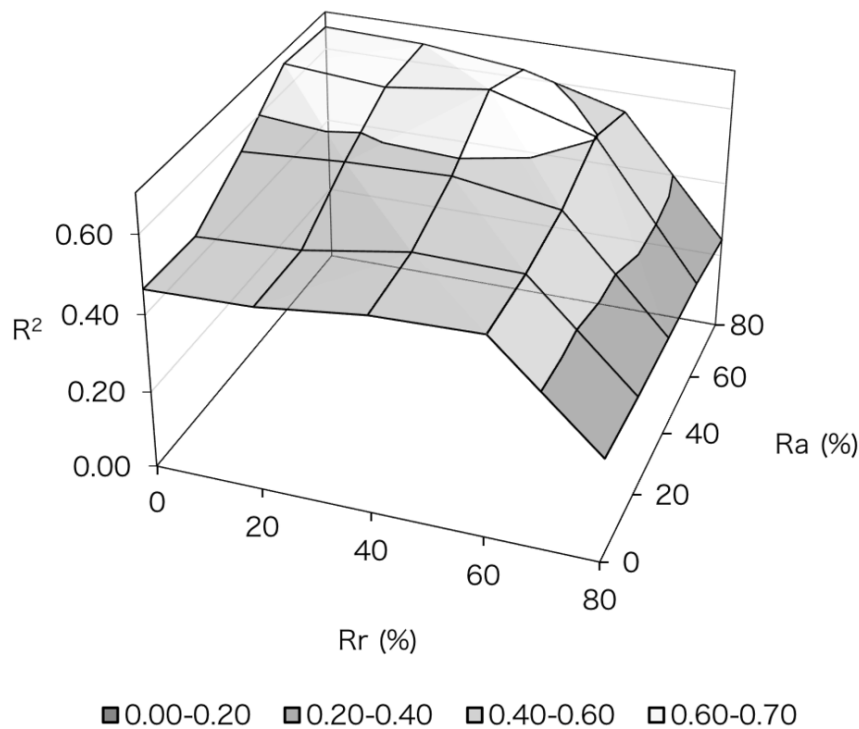


図 4.5 易課題・難課題におけるブロック 5 の正則事例・変則事例の予測成績 8 項目の平均値に関する、心理実験データ-シミュレーションデータ間の決定係数。Rr はシミュレーションモデルの正則リハーサル確率，Ra は変則リハーサル確率， $R^2$  は予測成績 8 項目の平均値に関する心理実験-シミュレーション間の決定係数を示す。

かった。したがって，Ra の値が高いモデル，つまり変則事例については十分なリハーサルを行うモデルが，心理実験における記憶条件の観察時間をよく再現した（図 4.4）。

続いて，予測成績についても同様の分析を行った。易課題のブロック 5 における正則-未知，正則-既知，変則-未知，変則-既知の各事例の予測成績と，難課題のブロック 5 における正則-未知，正則-既知，変則-未知，変則-既知の各事例の予測成績の計 8 項目（易課題における正則-未知事例，正則-既知事例，変則-未知事例，変則-既知事例，および難課題における正則-未知事例，正則-既知事例，変則-未知事例，変則-既知事例）について，心理実験-シミュレーション間の決定係数  $R^2$  を，25 通りのモデルそれぞれに対して算出しプロットした（図 4.5）。

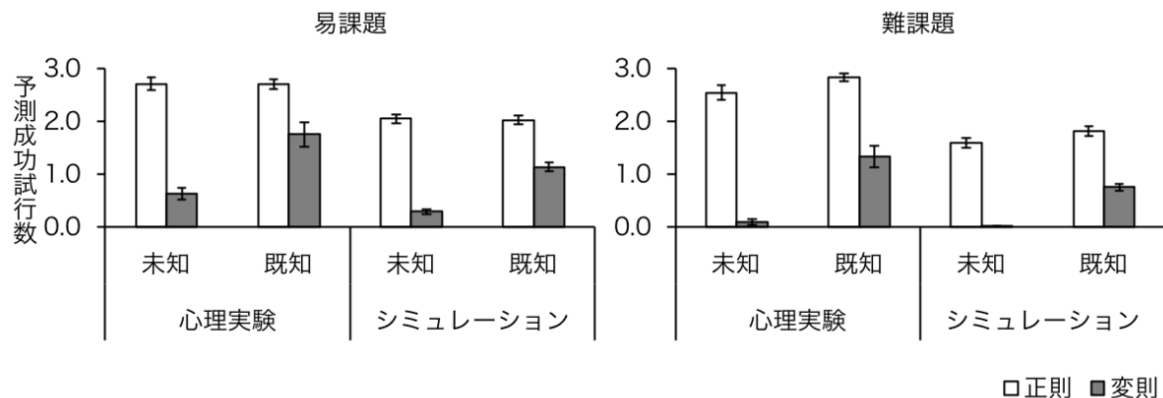


図 4.6 ブロック 5 における予測成績についての心理実験データとシミュレーションデータの比較。シミュレーションデータは Rr 0%-Ra 80% のモデルが課題を 100 回行ったその平均値を表す。エラーバーは標準誤差を示す。

グラフから、Rr の値が低いモデルは決定係数が大きいことが明らかである。その一方、Rr ほど顕著な傾向ではないものの、Ra の値が高いモデルはその決定係数が大きいことが分かる。したがって、Rr の値が低く Ra の値が高いモデル、つまり変則事例については十分なりハーサルを行う一方、正則事例に対してはそのようなりハーサルを実施しないモデルが、心理実験 1 における記憶条件の予測成績をよく再現した (図 4.6)。

まとめると、25 通りのモデルのうち、観察時間に関する決定係数の結果からは Ra の値が高いモデルが、予測成績に関する決定係数の結果からは Rr の値が低く Ra の値が高いモデルが、記憶ベース方略を適用した参加者の実験データに適合した。実際、観察時間と予測成績それぞれにおいて、Rr 0%-Ra 80% のモデルが最も高い決定係数を示したが (観察時間:  $R^2 = .862$ ; 予測成績:  $R^2 = .683$ )、Rr 20%-Ra 80% などのモデルとの間に明確な差は見られなかった。ただし、全体の傾向として、相対的に Rr の値が低く Ra の値が高いモデルが決定係数が高かった。このことは、変則事例を記録し正則事例を記録しないモデルが記憶ベース方略を適用した参加者の行動に最も近く、変則事例は記録され正則事例は記録されないという記憶ベース方略の処理に関する仮説が支持されたことを意味する。

### 心理実験データとの比較

心理実験データに最も適合した  $R_a$  80%- $R_r$  0% のモデルに関して、その観察時間と予測成績を心理実験のデータと直接的に比較した。まずブロック5における観察時間を確認すると、シミュレーションの値は心理実験の値に比べて全体的に小さいが、変則事例よりも正則事例の観察時間が短い点は心理実験と同じ傾向を示していた（図4.4）。また、ブロック5の予測成績に関して、変則-未知事例、変則-既知事例、正則事例の順に値が大きくなる点と、正則-未知事例と正則-既知事例に差がない点は、心理実験と同様の傾向を示していた（図4.6）。

以上より、 $R_r$  0%- $R_a$  80% のモデルは、心理実験で記憶ベース方略を用いた参加者の観察時間と予測成績のパターンを再現した。一方で、観察時間と予測成績はともに、シミュレーションの値が心理実験の値より全体的に低くなっていた。この点は4.4.1節で考察する。

### 4.3.2 正則事例の記録に関するシミュレーション

#### 正則事例の記録が予測成績に与える影響

3.4.2節では、構造が複雑な課題では推論ベース方略に対して記憶ベース方略が優位であった点に関して、正則事例が記録されなかったことがその要因ではないかとの考察を行なった。また、変則事例を記録し正則事例を記録しないモデルが、記憶ベース方略を用いた参加者のデータを最もよく再現したことも、この主張を支持する結果である。しかしここで論拠とした心理実験データは、心理実験2の結果が示す通り、意図的に正則事例を記録していなかった参加者のデータであり、記憶ベース方略の適用中に実際に正則事例を記録した場合に、予測成績にどのような影響があるのかは明らかではない。さらには、実際に正則事例を記録することで記憶ベース方略が有する優位性が消失するかも不明である。

そこで本節では、記憶ベース方略において、変則事例とともに正則事例も

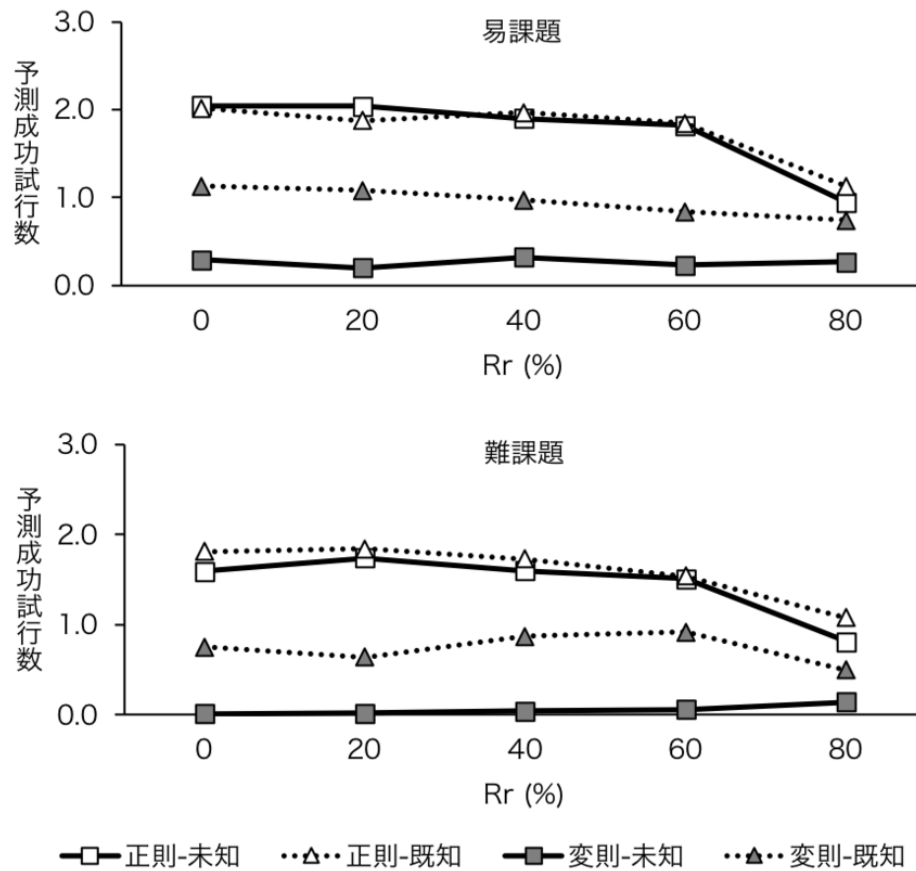


図 4.7 正則リハーサル確率に対するブロック 5 における予測成績の推移。上段は易課題，下段は難課題の推移を表し，Rr はモデルの正則リハーサル確率を示す。図中 Rr 0% の予測成績は，4.3.1 にて選出された Rr 0%-Ra 80% のモデルの成績を示している。

記銘した場合，予測成績がどのように変化するか，シミュレーションを通して検証する。具体的には，選出された Rr 0%-Ra 80% のモデルから，Rr の値を 20%，40% と順に上げた場合に，正則-未知，正則-既知，変則-未知，変則-既知の各事例の予測成績はどのように推移するかを確かめる。

Rr 0%-Ra 80% のモデルを基準に，Rr を順に上げた場合の予測成績の推移を図 4.7 に示す。図の左端の Rr 0% の予測成績は，選出された Rr 0%-Ra 80% のモデルの成績，つまり図 4.6 のシミュレーションの項目で示した値と同一である。

グラフから，Rr 0% から 60% にかけては易課題・難課題に一貫した傾向は見

られないが、Rr 60%から80%にかけては、両課題ともに、変則-既知事例と正則事例の成績が低下する傾向が確認できた。これは、観察フェーズで正則事例を変則事例と同じ程度のリハーサルを実施した場合、正則事例を記録しない場合と比べて、変則-既知事例と正則事例の予測が低下したことを意味している。つまり、心理実験1やRr 0%-Ra 80%のモデルで見られていた記憶ベース方略の優位性が消失したと解釈できる。

### 正則事例記録による想起エラー

4.3.2 正則事例に対するリハーサル確率を決める Rr を、変則事例に対するリハーサル確率 Ra と同じく 80% 設定した結果、変則-既知事例と正則事例の予測成績が低下することが確認できた。以下では、これらの成績低下がどの種類の想起エラーに起因していたかを、ACT-R のシミュレーションログデータから検証する。

本実験課題において、変則事例の予測成績が低下する要因は、本来想起すべき事例とは別の誤った事例を想起することによるコミッションエラーと、本来想起すべき事例を含めたいずれの事例も想起できないことによるオミッションエラーの2つに大別できる。さらに、変則事例に対するコミッションエラーには、誤って正則事例を想起するエラーと、本来想起すべきではない別の変則事例を誤って想起するエラーが存在する。したがって、変則事例に対する想起エラーは、誤って正則事例を想起するコミッションエラー、誤って別の変則事例を想起するコミッションエラー、事例の想起に失敗するオミッションエラーの3つのいずれかに分類される。

同様に、正則事例に対する想起エラーとして、誤って別の正則事例を想起するコミッションエラー、誤って変則事例を想起するコミッションエラー、事例の想起に失敗するオミッションエラーの3種類のエラーが考えられる。ただし、正則事例に対してはパドルを移動しなくてもボールの到達位置がその範囲内に含まれ、事例想起に失敗した試行は予測成功試行と見なされるた

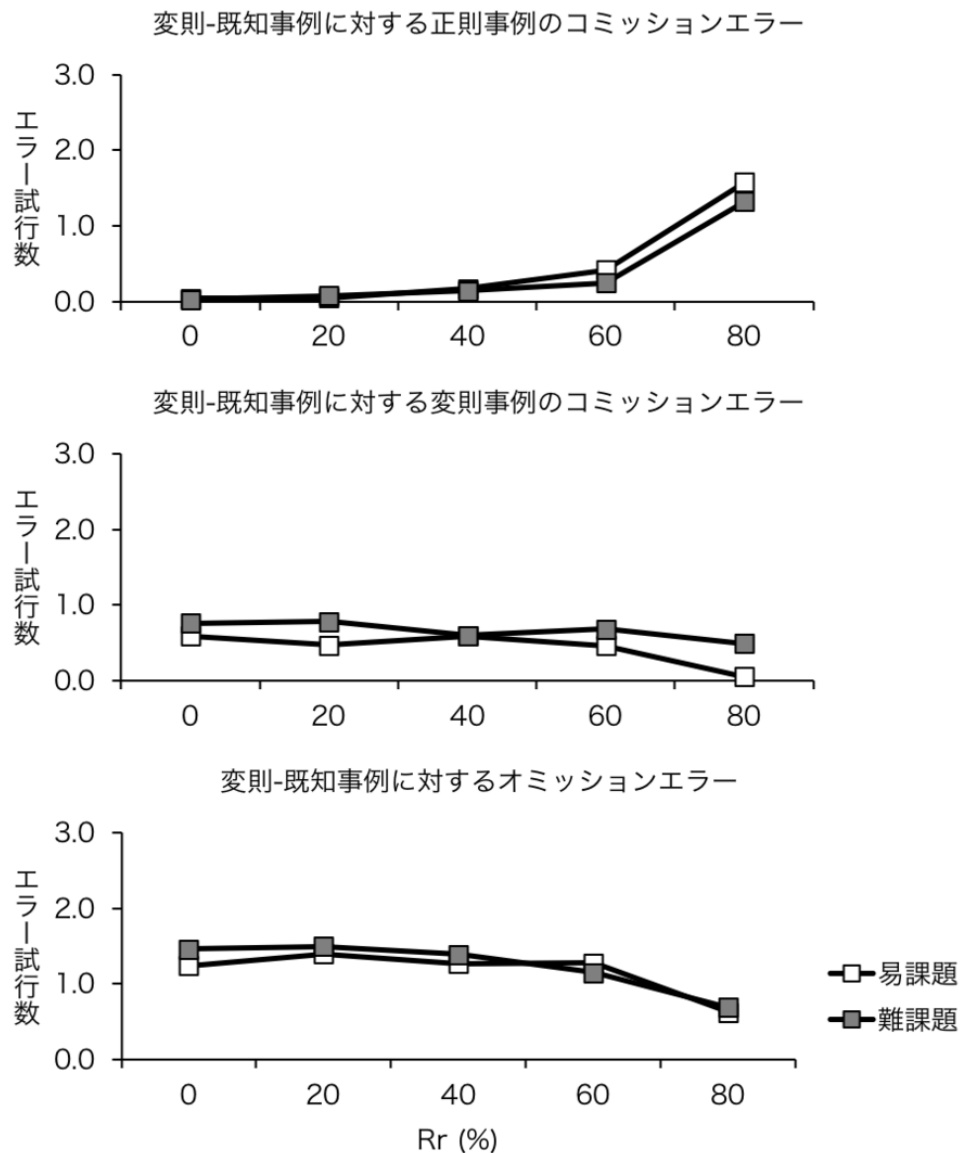


図 4.8 ブロック 5 における変則 - 既知事例に対する想起エラーの推移。Rr は正則リハーサル確率を示す。

め、オMISSIONエラーは成績低下の要因にはなり得ない。したがって、正則事例の成績低下の要因は2つのコミッションエラーのいずれかである。

以下では、Rr 80%-Ra 80%における変則-既知事例の予測成績低下の要因が、2つのコミッションエラーとオMISSIONエラーのいずれであるか、また正則事例の予測成績低下の要因が、2つのコミッションエラーのいずれであるかを検証する。もし Rr 60% から 80% にかけて特定の種類のエラーが増加して

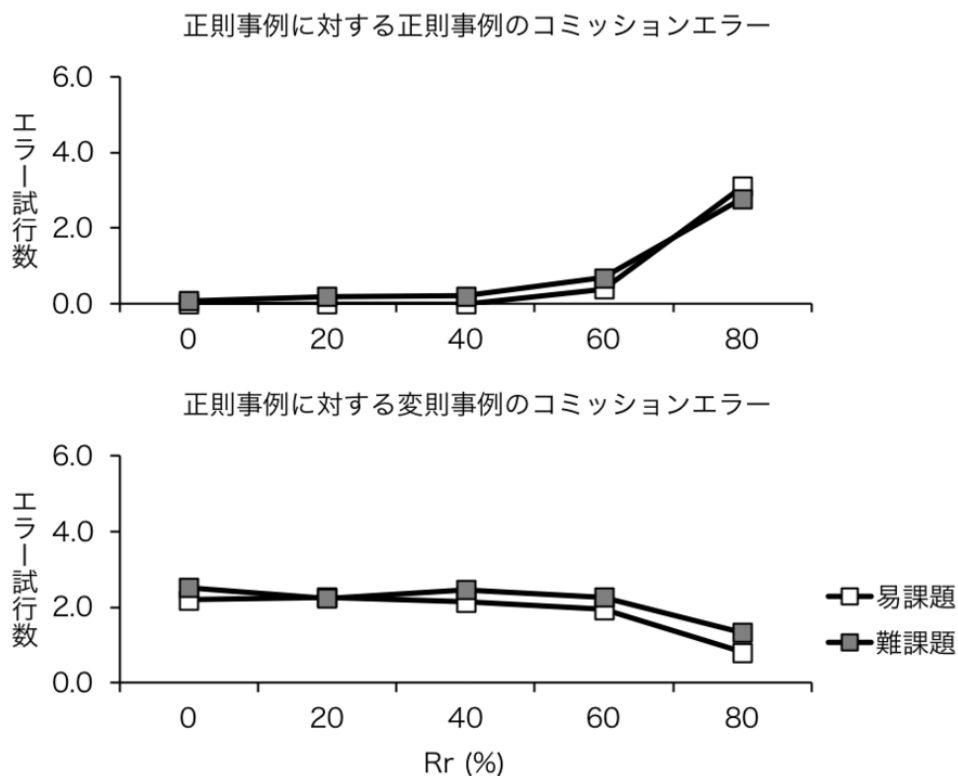


図 4.9 ブロック 5 における正則事例に対する想起エラーの推移。Rr は正則リハーサル確率を示す。

いれば、そのエラーが予測成績を低下させた要因であると特定できる。

まず変則-既知事例に対する各種想起エラー数の推移を図 4.8 に示す。ここから、易課題・難課題を問わず、Rr が高くなるにつれて正則事例のコミッションエラーが増加し、特に Rr 60% から 80% にかけてはそれが急増する傾向が確認できる。一方、変則事例のコミッションエラーとオミッションエラーは、Rr 0% から 60% にかけて易課題と難課題両者に共通した傾向は見られず、また Rr 60% から 80% にかけてはむしろエラーが減少していた。以上より、正則事例の記銘によって変則-既知事例の予測成績が低下する要因は、本来想起すべき変則事例に対して、誤って正則事例を想起するコミッションエラーの増加であることが明らかになった。

続いて、正則事例に対する各種想起エラーの推移を図 4.9 に示す。変則-既知事例における推移と同様、両課題において、Rr が高くなるにつれて正則事



例のコミッションエラーが徐々に増加し、特に 60% から 80% にかけてそれが急増していた。また、変則事例のコミッションエラーは Rr 60% から 80% にかけてむしろ減少していることが確認できた。つまり、Rr 80% における正則事例に対する予測成績の低下は、正則事例のコミッションエラーがその要因であることが示された。

結果をまとめると、Rr の値が高い場合の変則-既知事例と正則事例の成績低下はいずれも、誤って正則事例を想起するコミッションエラーがその原因となっていることが明らかになった。つまり、記憶ベース方略において、変則事例と同程度のリハーサルを正則事例に対しても実行すると、不適切な正則事例の想起が増加することが示された。このことは、記憶ベース方略は正則事例の記銘は行わないことにより、不適切に正則事例を想起してしまうコミッションエラーの発生を抑えて、それにより記憶ベース方略の優位性が生じていたと解釈することもできる。一方、変則-既知事例と正則事例の予測成績の推移において、変則事例のコミッションエラーやオミッションエラーの増加はいずれも確認できず、むしろ Rr 60% から Rr 80% においてそれらのエラーが減少していた。このことは、正則事例記銘による成績低下は、変則事例のコミッションエラーやオミッションエラーが原因ではないことを示している。また、なぜこれらの想起エラーが減少したかについては 4.4.2 で考察する。

## 4.4 シミュレーションの考察

本章では、提示される事例の挙動予測の観点から、記憶ベース方略の特性と優位性について、認知モデルによるシミュレーションを実施した。その結果、以下の2点を明らかにした。

第一に、心理実験データの再現を通して、記憶ベース方略の特性に関する仮説、すなわち、記憶ベース方略を適用する場合、変則事例に対する記銘のみが行われ、正則事例はデフォルト値として記銘が行われないことを支持する結果が得られた。

第二に、正則事例の記銘に関するパラメータを操作したシミュレーションを通して、記憶ベース方略の優位性は、正則事例を記銘しないことによって、正則事例を不適切に想起する2つのコミッションエラーの発生を抑えることから生じることが明らかになった。

それぞれについて以下で詳細に考察する。

### 4.4.1 記憶ベース方略の特性

ACT-Rを通したシミュレーションの結果、変則事例を記銘し正則事例の記銘しないモデルのデータが、心理実験データを最も良く再現した。これは、記憶ベース方略の特性に関する仮説、つまり正則事例の記銘は実施されないことを支持する結果である。このシミュレーションの結果は、心理実験2における記憶ベース方略を適用した参加者の再認課題や事後的な方略主観アンケートの結果とも一致する。

観察時間と予測成績のシミュレーションデータとともに、心理実験の値の傾向はよく再現した一方、参加者のデータに比べると全体的に低い値を示した。これは、記憶ベース方略を適用した参加者が、今回のモデルで想定した記銘処理以外にも、事例観察時に別の処理を追加で行っていた可能性を示唆している。例えば、記銘した事例の数が増えてきた際に類似した事例を統

合する処理，変則事例のパターンからその原因構造を推論する処理，関連スキーマの更新 (Meyer et al., 1997) などを行なっていたことが考えられる。

記憶ベース方略を使用した参加者が記銘処理以外の処理を行っていた可能性に関しては，そのような具体的な方略教示を行わなかった実験3のデータからも推察できる。実験3において参加者は，具体的な教示がなくても自ら記憶ベース方略もしくは推論ベース方略を使用することが示されている。実験1・2のデータは，教示によって記憶ベース方略の使用を促した参加者のデータであったが，実験3の結果を見る限り，記憶ベース方略を促す教示があった場合でも，推論ベース方略が副次的に適用されていた可能性は完全には否定できない。ただし一方で，推論ベース方略の適用には多くの認知資源が必要であり (Darabi et al., 2007)，両方略を同時に使用することは認知的負荷が高く，予測成績に悪影響を及ぼすと考えられる。両方略を併用するコストや，そのトレードオフに関しては，推論ベース方略を適用するモデルのシミュレーションなどを通して更なる検討が必要である。

#### 4.4.2 記憶ベース方略の優位性

正則事例の記銘を実施しない記憶ベース方略の優位性は，不適切な正則事例の想起エラーの発生を抑えることで現れていた。シミュレーションの結果，正則事例を記銘しないことにより，変則事例に対して誤って正則事例を想起してしまうコミッションエラーと，本来想起されるべき正則事例に対して別の正則事例を想起してしまうコミッションエラーの両者の発生を抑えることができていた。つまり，記憶ベース方略において正則事例をデフォルト値として記銘しないことによる優位性は，記銘時における認知資源の節約のみならず，想起時における事例の混同を防ぐという重要な役目があることが明らかになった。シミュレーションでは変則事例に対して行うリハーサルと同程度のリハーサルを正則事例に対しても行うと，それらのコミッションエラーが多く起こる傾向が見られたことから，記憶ベース方略を適用する上で

は正則事例を一切記録しないことが肝要であると言える。

一方、正則事例を記録しても、変則事例のコミッションエラーやオミッションエラーが増加することは確認できなかった。特に、記録する事例が増えれば時間経過による事例活性の減衰も大きくなり、それによるオミッションエラーが起こることが期待されたが、シミュレーションではそれを確認することはできなかった。

さらに特筆すべきこととして、変則事例のコミッションエラーやオミッションエラーは、正則事例を変則事例と同程度のリハーサルを通して記録した場合、むしろ減少することが明らかになった。この減少傾向は以下の過程で生じたと考えられる。それは、正則事例が誤って多く想起されることで、相対的に変則事例が想起されることが少なくなり、変則事例のコミッションエラーが減少したというものである。また、正則事例が多く想起されることで、想起閾値を下回りどの事例も想起されない場合が少なくなり、その結果、オミッションエラーが減少したと解釈できる。今回のモデルでは、正則事例を変則事例と同様に記録した場合、1ブロックあたり正則9事例と変則3事例が、すべて同程度の活性度で宣言的記憶に格納される。そのため、想起時には数の多い正則事例が選択される可能性が高く、誤った変則事例が想起されるコミッションエラーや想起に失敗するオミッションエラーは相対的に少なくなったと考えられる。ただしこれらの2つのエラーが減少しても、予測成績全体としては低下しており、正則事例を記録することによって記憶ベース方略の優位性は消失した。

まとめると、正則事例の記録に関するシミュレーション結果から、予測成績に関する推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性は、正則事例を記録しないことを通して、正則事例が不適切に想起されるコミッションエラーの発生を抑えることにより生じていたことが示された。また、もし記憶ベース方略において正則事例の記録を行うと、正則事例が不適切に想起されるコミッションエラーが増加し、変則-既知事例と正則事例両者に対する予測

成績が低下することも明らかになった。このことは、記憶ベース方略の適用においては、正則事例の記銘を明確に実施しないことが、その有用性を生じさせる要因であることを意味している。



## 第5章

# 総合考察

本研究では，変則的挙動の予測の観点から記憶ベース方略に着目し，その特性と推論ベース方略に対する優位性に関する2つの仮説を検証した。その結果，特性に関する仮説，優位性に関する仮説がともに，心理実験およびモデルシミュレーションの結果から概ね支持された。

## 5.1 記憶ベース方略に関して得られた知見

本研究では、正則的挙動と変則的挙動を見せる事例が混在する状況において、それらの挙動予測に際して用いられる記憶ベース方略の特性に関する仮説、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説を、心理実験とモデルシミュレーションの双方から検証した。3つの心理実験を通して、記憶ベース方略使用時の行動や成績、また記銘内容に関する主観評定を測定し、両仮説が概ね支持される結果を得た。また2つのシミュレーションを通して、構築したモデルが課題を解く際の内的処理に関するデータを取得し、記憶ベース方略の特性に関する仮説をさらに支持する結果を得た。また、記憶ベース方略の優位性が生じるその過程についても明らかにすることができた。

以下では、検証した2つの仮説について考察する。

### 5.1.1 記憶ベース方略の特性

まず、記憶ベース方略の特性に関する仮説、すなわち、記憶ベース方略を適用する場合、スキーマに従う正則事例はデフォルト値として認識され記銘が行われない一方、変則事例に対する記銘のみが行われるという仮説は、心理実験とモデルシミュレーションの双方から支持された。心理実験1では、課題遂行中の参加者の反応、すなわち事例の観察に要した時間と挙動予測時の行動を測定し、この仮説を支持する結果を得た。すなわち、正則事例の観察時間が変則事例よりも有意に短く、また、変則-未知事例と変則-既知事例の間にはパドル移動試行数に差がある一方、正則-未知事例と正則-既知事例には差は見られないことを示した。続く実験2では、課題遂行後に実施した記銘内容に関する主観アンケートおよび再認課題の結果から、参加者は正則事例を意図的に記銘していなかったことを示した。また、正則事例と変則事例それぞれの記銘の程度を決めるリハーサル確率を元にしたシミュレーションで



は、変則事例は十分に記銘し正則事例は記銘しない場合の観察時間と予測成績が、心理実験データを最も良く再現するという結果を得られた。これらはいずれも記憶ベース方略の特性に関する仮説を支持する結果である。

スキーマに一致しない変則事例に対する処理特性については、複数の先行研究で明らかにされている。例えば、視覚探索課題においては、シーンのスキーマに不一致な対象は、一致した対象よりも優先的に表象化されること (Hollingworth & Henderson, 2000) や、スキーマに不一致な対象はその特定に困難が生じ、注意が引き剥がしづらいこと (Mudrik, Deouell, & Lamy, 2011) が示されている。また、事例の特異な特徴に基づいたカテゴリ判断が行われることも示されている (McDaniel, Cahill, Robbins, & Wiener, 2014)。想定外の事例は記銘されて、同一または類似の事例を観察したときに再利用することで、認知的な節約を行なっているとされているが (Meyer et al., 1997) が、本実験の変則事例に関する結果はこれらの先行研究と矛盾しない。その上で、本実験では正則事例と変則事例を明確に区別する実験パラダイムを用いることで、記憶ベース方略適用時には正則事例の記銘が行なわれないことを明らかにした。ただし、本実験では先行研究の視覚探索課題と異なり、参加者がどの方略を用いるかがその成績に影響する実験課題を使用した。そのため、挙動の予測を行う上で、変則事例から注意を引き剥がしづらかったというより、正則事例には意図的に注意を割り当てず、それに伴い記銘処理も行われなかった可能性が高い。

また、特筆すべき点として、先行研究ではスキーマに一致しない変則事例に関する処理特性を明らかにしている一方、本論文ではスキーマに一致した正則事例に関する処理特性を明らかにした。モデルベースアプローチは例えばカテゴリ学習の領域でも盛んに行われており (Erickson & Kruschke, 1998; Nosofsky, Palmeri, & McKinley, 1994)、本研究もこれらのモデル研究と同様、心理実験では観察が困難な心的過程をシミュレーションを通して検証した。認知モデルによるシミュレーションによって、正則事例に対する特性に関する

知見を得ることができた点は、本論文の大きな意義である。

### 5.1.2 記憶ベース方略の優位性

続いて、推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関する仮説、すなわち、正則事例と変則事例を生じさせる原因構造が単純なシステムにおいては、変則事例の予測に関して、推論ベース方略のほうが有効であるが、複雑なシステムに対しては、記憶ベース方略のほうが有効であるという仮説は、参加者に方略教示を行った心理実験1においては支持する結果が得られた。しかし参加者に方略を選択させた実験3では、課題の複雑さに合わせた方略選択は見られなかった。また、その際、構造の単純な課題における推論ベース方略の優位性は見られた一方で、複雑な課題における記憶ベース方略の優位性は見られなかった。ここから、構造の複雑なシステムにおいて記憶ベース方略の優位性が現れるためには、その方略が意図的に適用される必要があることが分かる。

診断においては認知スタイルなどの個人差が成績に影響をすることが知られている (Cegarra & Hoc, 2006)。実験3では構造の複雑さに合わせた方略選択や、特に構造の複雑なシステムにおける記憶ベース方略の優位性は見られなかったが、先行研究で述べる故障を典型的な変則的挙動として捉えると、参加者自身で方略選択を行う場面で優位性が生じるか否かには認知スタイルなど他の要因が関わっていると推察される。

原因構造が複雑な課題で記憶ベース方略が選択された場合、その優位性が現れなかった原因に関して、パドル移動試行数の結果から、実験3の難課題における記憶ベース方略志向の参加者は、正則事例の記録も行っていた可能性があるとの考察を行った。この点については、正則事例の記録に関するシミュレーションの結果からさらに考察を行うことができる。正則事例を記録することでどのような影響があるかは、このシミュレーションにおいて正則リハーサル確率を上げた際の想起エラーを見れば明らかである。すなわ

ち、正則事例を変則事例と同様に記銘した場合、正則事例を誤って想起するコミッションエラーが急激な増加した。つまり、参加者自身が記憶ベース方略を選択しても、原因構造の複雑さにゆえに正則事例にも注意が向いてしまい、正則事例の記銘が行われたことにより、その優位性が現れなかったと考えられる。

このことは逆に言えば、変則事例は十分な記銘を行い正則事例の記銘は明確に実施しないことで、記憶ベース方略は正則事例が不適切に想起されてしまうコミッションエラーを防いでいたと考えられる。つまり、記憶ベース方略におけるこのような記銘方法は、記憶の混同を抑制する点で重要であることを示している。

## 5.2 科学的発見との関連

科学的発見では、自身の持つ仮説や予測にそぐわない変則的データの役割について、かねてより活発に議論されてきた (Chinn & Brewer, 2008; Hempel, 1965, 2001; Thagard, 2001)。この変則的データと本論文で扱った変則的挙動は、スキーマや知識に沿った正則的なデータや挙動が観察される中で、予期せず突然現れるという点で本質的に同じである。しかし、科学的発見はそれを現象の原因構造を説明するために使用する一方、本研究の課題では、次に現れる事例を正確に予測するためにそれが使用されている点が大きな違いである。本実験課題のように予測成績が重視される状況では、推論ベース方略のみならず、記憶ベース方略もまた有益だと考えられる。

科学的発見を中心とした変則的挙動に関する先行研究では、推論ベース方略を前提に進められてきた。その一方で、類似度の比較を促す事例を多く観察するほど数学的発見が促進することも知られている (J. A. Dixon & Bangert, 2004)。つまり、科学的発見の領域においても、推論ベース方略のみならず、記憶ベース方略が持つ役割にも着目することが重要であると考えられる。科学的発見の領域において、事例の蓄積や特定事例の記銘がどのような効力を持つかについては、今後さらなる検証が必要である。

## 5.3 本論文の問題点と今後の展望

以下では、本研究に残された問題点と今後の展望について述べる。

### 5.3.1 記憶ベース方略と推論ベース方略の関係性

本研究の最も大きな問題点として、実験やシミュレーションの条件設定や分析において、記憶ベース方略と推論ベース方略を対立的かつ排他的に二分していることが挙げられる。確かに、心理実験3の結果からは、記憶ベース方略と推論ベース方略の志向の間には負の相関が見られ、一方の方略が用いられるとき、他方の方略は用いられにくいことが分かった。しかしながら、参加者が記憶ベース方略と推論ベース方略のいずれかを排他的に一方の方略のみを用いていたとは考えにくい。これは方略教示を行なった実験1や2でも同様である。

実際、モデルシミュレーションによる記憶ベース方略使用時の予測成績の結果は、心理実験の成績に比べて全体的に低かった。これは、参加者が推論ベース方略を副次的に使用し、それによって観察時間が長くなり、また両方略を組み合わせで予測を行っていた可能性を示唆する。

さらに、本論文では課題遂行中は一貫して同一の方略を適用すると仮定して条件設定や分析を行ったが、その点についても疑義が残されている。つまり、1つの課題遂行中に、記憶ベース方略と推論ベース方略の両者を切り替えながら使用される可能性についても否定できない。Taatgen and Wallach (2002) では、スキル習得の初期段階と学習が進んだ後では異なる方略が用いられたことを報告している。本実験において参加者は1つの課題を遂行中に、事例を60試行観察するため、その途中で方略を切り替える可能性は十分にある。

これらの問題を解決するためには、記憶ベース方略と推論ベース方略の両者を取り入れたハイブリッドモデルを構築しシミュレーションを行う必要が

ある。先行研究では、事例観察時の認知的処理において、複数の処理を組み合わせたモデルを仮定したシミュレーションが行われている。例えばカテゴリ学習においては、従来別に議論されていた事例ベース処理と規則ベース処理を組み合わせたモデルが提案されている (Nosofsky et al., 1994)。これらのモデルを参考にして新たなモデル構築し、それらを比較することで、人間の変則的挙動に対する予測行動を深く考察できるだろう。

### 5.3.2 想定に関する指標の導入

驚くべき変則的挙動は、それを目にした人に対して興奮や没頭、覚醒をもたらすことが指摘されている (Loewenstein, 2019; Meyer et al., 1997)。しかし本研究では、課題遂行中に発生する変則的挙動に対して、参加者がどのように感じているかについての指標を扱うことができなかった。本実験では、その軌道が直進するか屈折するかの観点から、正則事例と変則事例を操作的に定義したが、本来ならばそこには参加者の想定が関わってくるはずである。つまり、たとえ屈折する軌道であっても、その屈折をもたらす原因構造を完全に理解していれば、それはその参加者にとっては想定内の挙動になる。逆に、屈折軌道を想定していたにも関わらず、実際には直進軌道が観察された場合、それはその参加者にとっては想定外の挙動になる。近年では、驚きは期待からどの程度離れているかや、観察された変則的挙動が期待の制約にどの程度簡単に統合できるかの関数で表現できるとされている (e.g., Maguire, Maguire, & Keane, 2011)。本実験課題で考えると、事例を観察する段階において、参加者がその事例を事前にどの程度想定していたかは、その後の予測に大きく関わってくるはずである。

関連する指標の1つとして、例えば事例ベース学習では *pInertia* が ACT-R モデルのシミュレーションに導入されている。*pInertia* は参加者が有する惰性確率を表し、前回と同じ選択を繰り返すか否かを確率的に決定するパラメータである (Gonzalez & Dutt, 2011)。また、*pInertia* は驚きの結果に対する

関数としても捉えられている (Nevo & Erev, 2012)。これらの指標をモデルに取り入れる試みは、本論文における記憶ベース方略のモデルを精緻化する上で非常に重要である。本研究で用いたモデルはすべての事例を画一的に扱って記銘を行っていたが、このような新たな指標を導入することも検討しなければならない。すなわち、参加者にとってより想定外の実例ほど注意が向けられ、記銘がより深く行われるなどの設定を組み込んだ状態でシミュレーションを行うべきだろう。





## 第6章

# 結論

私たちの周りに存在する様々なシステムは，スキーマに沿った定常的な正則的挙動を見せることもあれば，そこから逸脱した変則的挙動を見せることもある。それらの挙動を予測しようと試みるとき，その挙動を生じさせる原因構造に着目する推論ベース方略が用いられることは多くの先行研究で明らかにされてきた。一方，そのような原因構造には着目せず，事例を記録することで予測を試みる記憶ベース方略については，その心的過程，また優位性や特性の詳細が明らかではなかった。

そこで本論文では，正則的挙動と変則的挙動が混在する状況における予測行動について検証を行った。特に，その予測時に用いられる記憶ベース方略の特性と，推論ベース方略に対する記憶ベース方略の優位性に関して，心理実験とモデルシミュレーションの2つのアプローチを通して検討した。その結果，記憶ベース方略に関して以下の2点の知見が新たに得られた。第一に，記憶ベース方略を適用する場合，スキーマに沿わない変則事例に対する記録のみが行われ，スキーマに従う正則事例に対しては，これをデフォルト値として認識され記録が行われないことが明らかになった。第二に，正則事例と変則事例を生じさせる原因構造が単純なシステムにおいては，それらの事例の予測に関して，推論ベース方略が有効であるが，構造が複雑なシステムに対しては，方略教示が行われた場合に限り，記憶ベース方略のほうが無効で

あることが明らかになった。また、記憶ベース方略は正則事例を記録しないことで、正則事例が不適切に想起されてしまう2つのコミッションエラーを防ぎ、記憶の混同を抑制する点において有用性があることが分かった。

本研究においてこれらの知見が得られた背景には、正則事例と変則事例を明確に区別できる実験パラダイムを用いたこと、また、心理実験では観察が困難な指標を可視化し扱うことのできるモデルシミュレーションを用いたことが大きな役目を果たした。この両者を組み合わせて多角的に検証を行った点は、本研究の新規性として記すに値する。

本研究の今後の展望として、記憶ベース方略と推論ベース方略の両方略を統合した際の心的過程の検討、また事例観察前に構築される想定を表す指標の導入が考えられる。特に後者は、身の回りのシステムに対してどのような挙動を想定し、その想定と実際の挙動を比較し、自身の表象を更新するという人間の予測行動の根幹に関わる重要な要素であると考えられる。これらの検証を通して、正則的挙動と変則的挙動に対して私たちがどのような認知的処理を行っているかをより詳細に明らかにすることができる。

# 謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導，ご教授賜りました名古屋大学大学院 情報学研究科 心理・認知科学専攻 認知科学講座の三輪和久教授に心から感謝致します。

名古屋大学大学院 情報学研究科 心理・認知科学専攻 認知科学講座の川合伸幸教授，名古屋大学大学院 情報学研究科 知能システム学専攻 フィールド知能情報学講座の長尾確教授，名古屋大学大学院 情報学研究科 知能システム学専攻 基盤知能情報学講座の戸田智基教授，名古屋大学大学院 情報学研究科 知能システム学専攻 基盤知能情報学講座の井手一郎准教授には，博士論文執筆にあたり，大変貴重なご助言を賜りましたことを心より感謝致します。

近畿大学 産業理工学部 情報学科の寺井仁教授，名古屋大学大学院 情報学研究科 心理・認知科学専攻 認知科学講座の光松秀倫助教，名古屋大学大学院 情報学研究科 心理・認知科学専攻 認知科学講座の小林哲生客員准教授には，研究をまとめ上げていく上で多くのご指導いただきました。ここに謹んで御礼を申し上げます。

名古屋大学大学院 教育発達科学研究科 心理発達科学専攻 清河幸子教授，静岡大学 情報学部 行動情報学科の森田純哉准教授，静岡大学 学術院融合・グローバル領域 全学入試センターの前東晃礼准教授，立命館大学 情報理工学部 実世界情報コースの松室美紀特任助教には，本研究を行うにあたり，貴重なご助言を賜りましたことを心より御礼申し上げます。

Pennsylvania State University の Frank E. Ritter 教授，および同研究室のみな

さまにはモデルシミュレーションに関して多くのご指南をいただきました。  
合わせて御礼申し上げます。

名古屋大学大学院 情報学研究科 心理・認知科学専攻 認知科学講座のみなさまには、ゼミ活動などを通して、日頃より有益な討論および多数のご助言を頂きました。ここに謹んで御礼を申し上げます。また、研究を進めるにあたり、実験参加をご了承いただきました名古屋大学の学生のみなさまに御礼を申し上げます。

最後に、これまで全面的に支えてくださった家族および友人に、心より感謝致します。

# 文献

## 引用文献

- Anderson, J. R. (2007). *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?* New York: Oxford University Press.
- Baker, C. L., Saxe, R., & Tenenbaum, J. B. (2009). Action understanding as inverse planning. *Cognition*, 113(3), 329–349.
- Besnard, D., & Bastien-Toniazzo, M. (1999). Expert error in trouble-shooting: An exploratory study in electronics. *International Journal of Human Computer Studies*, 50(5), 391–405.
- Casner, S. M., Geven, R. W., & Williams, K. T. (2013). The effectiveness of airline pilot training for abnormal events. *Human Factors*, 55(3), 477–485.
- Cegarra, J., & Hoc, J. M. (2006). Cognitive styles as an explanation of experts' individual differences: A case study in computer-assisted troubleshooting diagnosis. *International Journal of Human Computer Studies*, 64(2), 123–136.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (2008). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1–49.
- Clary, E. G., & Tesser, A. (1983). Reactions to Unexpected Events: The Naive Scientist and Interpretive Activity. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 9(4), 609–620.
- Darabi, A. A., Nelson, D. W., & Palanki, S. (2007). Acquisition of troubleshooting skills in a computer simulation: Worked example vs. conventional problem solving instructional strategies. *Computers in Human Behavior*, 23(4), 1809–1819.
- Dixon, J. A., & Bangert, A. S. (2004). On the spontaneous discovery of a mathematical relation during problem solving. *Cognitive Science*, 28(3), 433–449.
- Dixon, J. E., & Byrne, R. M. (2011). "If only" counterfactual thoughts about exceptional actions. *Memory and Cognition*, 39(7), 1317–1331.

- Erickson, M. A., & Kruschke, J. K. (1998). Rules and Exemplars in Category Learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127(2), 107–140.
- Ferguson, H. J., & Sanford, A. J. (2008). Anomalies in real and counterfactual worlds: An eye-movement investigation. *Journal of Memory and Language*, 58(3), 609–626.
- Gonzalez, C., & Dutt, V. (2011). Instance-Based Learning: Integrating Sampling and Repeated Decisions From Experience. *Psychological Review*, 118(4), 523–551.
- Hempel, C. G. (1965). *Aspects of Scientific Explanation, and Other Essays in the Philosophy of Science*. New York: Free Press.
- Hempel, C. G. (2001). *The Philosophy of Carl G. Hempel: Studies in Science, Explanation, and Rationality*. New York: Oxford University Press.
- Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (2000). Semantic informativeness mediates the detection of changes in natural scenes. *Visual Cognition*, 7(1-3), 213–235.
- Howard, C. J., & Holcombe, A. O. (2010). Unexpected changes in direction of motion attract attention. *Attention, Perception & Psychophysics*, 72(8), 2087–2095.
- Jones, D. G., & Endsley, M. R. (2000). Overcoming Representational Errors in Complex Environments. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 42(3), 367–378.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579–588.
- Lakens, D. (2017). Equivalence Tests: A Practical Primer for t Tests, Correlations, and Meta-Analyses. *Social Psychological and Personality Science*, 8(4), 355–362.
- Lane, S. M., Mathews, R. C., Sallas, B., Prattini, R., & Sun, R. (2008). Facilitative interactions of model- and experience-based processes: Implications for type and flexibility of representation. *Memory & Cognition*, 36(1), 157–169.
- Latorella, K. A. (1998). Effects of modality on interrupted flight deck performance: Implications for data link. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1(May), 87–91.
- Little, J. L., & McDaniel, M. A. (2014). Individual differences in category learning: Memorization versus rule abstraction. *Memory and Cognition*, 43(2), 283–297.
- Loewenstein, J. (2019). Surprise, Recipes for Surprise, and Social Influence. *Topics in Cognitive Science*, 11(1), 178–193.
- Loewenstein, J., & Heath, C. (2009). The Repetition-Break plot structure: A cogni-

- tive influence on selection in the marketplace of ideas. *Cognitive Science*, 33(1), 1–19.
- Loftus, G. R., & Mackworth, N. H. (1978). Cognitive determinants of fixation location during picture viewing. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 4(4), 565–72.
- Maguire, R., Maguire, P., & Keane, M. T. (2011). Making Sense of Surprise: An Investigation of the Factors Influencing Surprise Judgments. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 37(1), 176–186.
- Mayr, U., & Bryck, R. L. (2005). Sticky rules: Integration between abstract rules and specific actions. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 31(2), 337–350.
- McDaniel, M. A., Cahill, M. J., Robbins, M., & Wiener, C. (2014). Individual differences in learning and transfer: Stable tendencies for learning exemplars versus abstracting rules. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(2), 668–693.
- McFarlane, D. (1998). Interruption of People in Human-Computer Interaction. *A Dissertation Submitted to the Faculty of The School of Engineering and Applied Science of The George Washington University*(May 1987), 308.
- McFarlane, D. C. (1999). Coordinating the interruption of people in human-computer interaction. *30th International Conference on Human-Computer Interaction*, 13(Ntsb 1988), 295–303.
- McFarlane, D. C. (2002). Comparison of Four Primary Methods for Coordinating the Interruption of People in Human-Computer Interaction Lockheed Martin Advanced Technology Laboratories. *Human-Computer Interaction*, 17(1), 63–139.
- McFarlane, D. C., & Latorella, K. A. (2002). The Scope and Importance of Human Interruption in Human-Computer Interaction Design. *Human-Computer Interaction*, 17(1), 1–61.
- Meyer, W.-U., Reisenzein, R., & Schützwohl, A. (1997). Toward a Process Analysis of Emotions: The Case of Surprise. *Motivation and Emotion*, 21(3), 251–274.
- Mudrik, L., Deouell, L. Y., & Lamy, D. (2011). Scene congruency biases Binocular Rivalry. *Consciousness and Cognition*, 20(3), 756–767.
- Nevo, I., & Erev, I. (2012). On surprise, change, and the effect of recent outcomes. *Frontiers in Psychology*, 3(24), 1–9.
- Nosofsky, R. M., Palmeri, T. J., & McKinley, S. C. (1994). Rule-plus-exception model

- of classification learning. *Psychological Review*, 101(1), 53–79.
- Pantelis, P. C., Baker, C. L., Cholewiak, S. A., Sanik, K., Weinstein, A., Wu, C. C., ... Feldman, J. (2014). Inferring the intentional states of autonomous virtual agents. *Cognition*, 130(3), 360–379.
- Reber, A. S., Kassin, S. M., Lewis, S., & Cantor, G. (1980). On the relationship between implicit and explicit modes in the learning of a complex rule structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6(5), 492–502.
- Rushby, J. (2002). Using model checking to help discover mode confusions and other automation surprises. *Reliability Engineering and System Safety*, 75(2), 167–177.
- Schützwohl, A. (1998). Surprise and schema strength. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(5), 1182–1199.
- Simon, H. A. (1998). Discovering Explanations. *Minds and Machines*, 8(1), 7–37.
- Stanley, W. B., Mathews, R. C., Buss, R. R., & Kotler-Cope, S. (1989). Insight Without Awareness: On the Interaction of Verbalization, Instruction and Practice in a Simulated Process Control Task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 41(3), 553–577.
- Sussman, A. B., Sharma, E., & Alter, A. L. (2015). Framing charitable donations as exceptional expenses increases giving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 21(2), 130–139.
- Taatgen, N. A., & Wallach, D. (2002). Whether skill acquisition is rule or instance based is determined by the structure of the task. *Cognitive Science Quarterly*, 2, 1–42.
- Thagard, P. (2001). *Conceptual Revolutions*. New Jersey: Princeton University Press.
- Thibaut, J. P., & Gelaes, S. (2006). Exemplar effects in the context of a categorization rule: Featural and holistic influences. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 32(6), 1403–1415.
- Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2000). Perception of Animacy from the Motion of a Single Object. *Perception*, 29(8), 943–951.
- Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2006). The influence of spatial context and the role of intentionality in the interpretation of animacy from motion. *Perception and Psychophysics*, 68(6), 1047–1058.



## 関連論文

### 学術誌掲載論文

- 松林翔太・三輪和久・寺井仁 (2019). 変則的挙動への認知的処理に関する記憶ベース方略の効用—ACT-Rによるモデルベースアプローチ. 『認知科学』, **26**(3), 332–342.
- 松林翔太・三輪和久・寺井仁 (2019). 変則的挙動に対する記憶ベース方略に関する実験的検討. 『心理学研究』, **90**(3), 274–283.
- 寺井仁・三輪和久・松林翔太 (2015). 説明転換における事実参照に関する実験的検討. 『認知科学』, **22**(2), 223–234.

### 国際会議

- Matsubayashi, S., Miwa, K., & Terai, H. (2019). Model-based Approach with ACT-R about Benefits of Memory-based Strategy on Anomalous Behaviors. *Proceedings of the 41th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 776–781.

### 国内会議・研究会

- 松林翔太・三輪和久・寺井仁 (2018). 変則的挙動に対する記憶ベース方略のACT-Rモデル検討. 『日本認知科学会第35回大会発表論文集』, 42–49.
- 松林翔太・三輪和久・寺井仁 (2017). 変則事例に対する記述的対処方略に関する実験的検討. 『日本認知科学会第34回大会発表論文集』, 733–739.
- 松林翔太・三輪和久・寺井仁 (2017). 想定外に生じる例外の対処行動に関する実験的検討. 『人工知能学会第79回先進的学習科学と工学研究会資料』, 51–54.
- 松林翔太・寺井仁・三輪和久 (2012). 文章洞察問題を用いた説明の再構築

- に関する実験的検討. 『第64回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会』, 13–18.
- 松林翔太・寺井仁・三輪和久 (2011). 文章洞察問題を用いた再解釈と説明に関する実験的検討. 『日本認知科学会第28回大会発表論文集』, 658–663.
  - 寺井仁・三輪和久・松林翔太・遠山直宏 (2015). 説明転換における事実参照に関する検討. 『日本認知科学会第32回大会発表論文集』, 908–912.

## その他論文

### 学術誌掲載論文

- 松林翔太・三輪和久・山口拓真・神谷貴文・鈴木達也・池浦良淳・早川聡一郎・伊藤隆文 (2018). 先進的運転支援システムにおける情報提示と行動介入の認知的・行動的影響に関する検討. 『認知科学』, **25**(3), 324–337.

### 国際会議

- Matsubayashi, S., Miwa, K., Yamaguchi, T., & Suzuki, T. (2019). Short- and Long-Term Effects of an Advanced Driving Assistance System on Driving Behavior and Usability Evaluation. *The Twelfth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2019)*, 1–6.
- Matsubayashi, S., Miwa, K., Yamaguchi, T., Kamiya, T., Suzuki, T., Ikeura, R., Hayakawa, S., & Ito, T. (2017). Empirical Investigation of Changes of Driving Behavior and Usability Evaluation Using an Advanced Driving Assistance System. *The Thirteenth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems (ICAS 2017)*, 36–39.

### 国内会議・研究会

- 松林翔太・三輪和久・山口拓真・神谷貴文・鈴木達也・池浦良淳・早川聡一郎・伊藤隆文・武藤健二 (2016). 運転支援方法とユーザビリティ・行動変容の関係に関する実験的検討, 『日本認知科学会第33回大会発表論文集』, 595–601.
- ヨウシン・松林翔太・三輪和久 (2019). アプリケーション使用時におけるメンタルモデルの修正の検討. 『日本認知科学会第36回大会発表論文集』, 125–129.

- 山口拓真・金田直輝・松林翔太・奥田裕之・鈴木達也・三輪和久 (2019). 指導員型運転支援の反復利用による運転行動特性変化の検証. 『自動車技術会 2019 年春季大会 学術講演会講演予稿集』, **84-19**, 1–6.
- 山口拓真・松林翔太・奥田裕之・鈴木達也・三輪和久 (2018). スーパーバイザ型運転支援による運転行動改善の検証. 『計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会講演論文集』, **SS09-35**.
- 山口拓真・神谷貴文・松林翔太・奥田裕之・鈴木達也・三輪和久 (2017). スーパーバイザ型運転支援による運転行動改善の検証. 『自動車技術会 2017 年春季大会 学術講演会講演予稿集』, **50-17**, 1345–1350.
- 二宮芳樹・竹内栄二郎・山口拓真・新村文郷・吉原佑器・赤木康宏・川西康友・松林翔太・三輪和久・出口大輔・早川聡一郎・鈴木達也・村瀬洋 (2016). 先読み運転を可能にするスーパーバイザ型運転支援の提案と実車実証. 『自動車技術会 2016 年秋季大会 学術講演会講演予稿集』, 634–637.
- 神谷貴文・山口拓真・奥田裕之・鈴木達也・松林翔太・三輪和久・武藤健二・伊藤隆文 (2016). スーパーバイザ型協調制御の実験的検証, 『自動車技術会 2016 年春季大会 学術講演会講演予稿集』, **65-16S**, 1599–1604.

## 受賞

- Best Paper Award  
Matsubayashi, S., Miwa, K., Yamaguchi, T., & Suzuki, T. (2019). Short- and Long-Term Effects of an Advanced Driving Assistance System on Driving Behavior and Usability Evaluation. *The Twelfth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2019)*, 1–6.
- Best Paper Award  
Matsubayashi, S., Miwa, K., Yamaguchi, T., Kamiya, T., Suzuki, T., Ikeura, R., Hayakawa, S., & Ito, T. (2017). Empirical Investigation of Changes of

---

Driving Behavior and Usability Evaluation Using an Advanced Driving Assistance System. *The Thirteenth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems (ICAS 2017)*, 36–39.



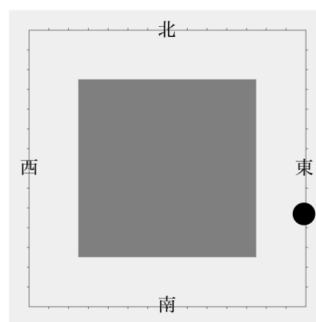
## 付録 A

# 実験課題教示

## A.1 実験 1 記憶条件・実験 2

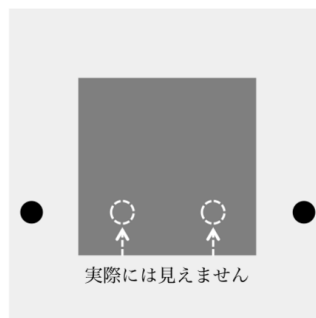
### 記憶実験

#### 画面の説明



画面は灰色の屋根と、黒色の囲いを真上から見た状態を示しています

また、左右は西と東を、上下は北と南を示しています



ボールは囲いのいずれかからスタートします

ボールは屋根の下を通るため、その間はボールの動きを見ることができません

屋根の下を通り、ふたたび囲いのどこかに到達した時点でゴールになります

#### 実験の内容

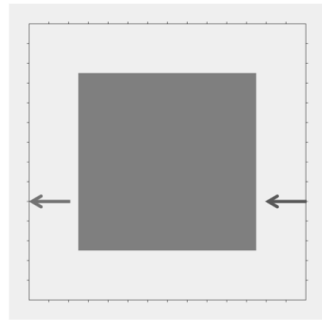
- ボールの動きを覚えて、その後の記憶テストに回答してください
- 実験は動きの記憶を行う「学習フェーズ」と、動きをどれくらい記憶しているかを確かめる「テストフェーズ」に分かれています

図 A.1 実験 1 記憶条件・実験 2 の教示（1 枚目）。



ここから先は実際に画面を見ながら、操作の練習を行います

#### 学習フェーズ

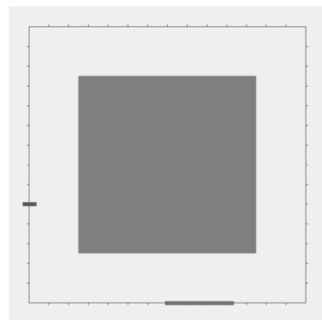


ボタンをクリックするとボールがスタートし、しばらくするとゴールします

その後、スタート時のボールの位置と角度が青色の矢印で、ゴール時の位置と角度が赤色の矢印で表示されます

ふたつの矢印を記憶し、確認が終わったらボタンをクリックしてください

#### テストフェーズ



ボタンをクリックするとボールがスタートし、屋根の下に入ったところで停止します

囲いの外側を左クリック(またはドラッグ)すると赤色のパドルを移動できます

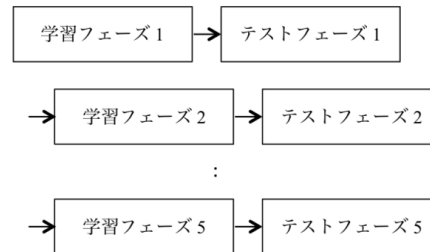
ゴール位置を予測し、パドルでボールをキャッチできるように位置に動かしてください

パドルの位置が決まったら、囲いの外側で右クリックしてください

- 初期状態のパドルの位置で問題なければ、動かさずに右クリックで確定することもできます
- 初期状態のパドルの中央は青色の線で表示されます

図 A.2 実験 1 記憶条件・実験 2 の教示 (2 枚目)。

## 実験の流れ



- 学習フェーズ・テストフェーズともに、12 問ずつ行います

## 注意事項

- テストフェーズでは、ボールがゴールする様子は提示されません
- 学習フェーズ・テストフェーズともに、時間制限はありません
- 学習フェーズで提示されるふたつの矢印を記憶することを心がけてください

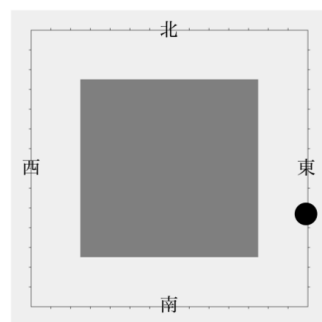
質問・不安がある場合はお気軽にお声がけください

図 A.3 実験 1 記憶条件・実験 2 の教示（3 枚目）。

## A.2 実験 1 推論条件

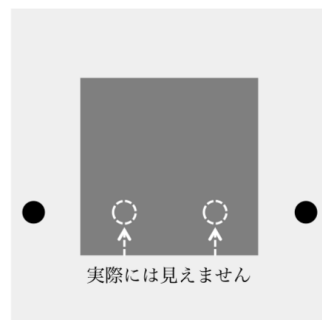
### 推論実験

#### 画面の説明



画面は灰色の屋根と、黒色の囲いを真上から見た状態を示しています

また、左右は西と東を、上下は北と南を示しています



ボールは囲いのいずれかからスタートします

ボールは屋根の下を通るため、その間はボールの動きを見ることができません

屋根の下を通り、ふたたび囲いのどこかに到達した時点でゴールになります

また、屋根の下にはある物体が隠れています

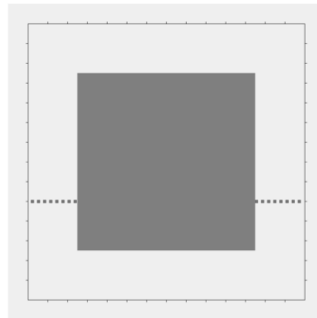
#### 実験の内容

- ボールの動きを観察して、屋根の下に隠れている物体を推論してください
- 実験は動きの観察を行う「学習フェーズ」と、隠れている物体をどれくらい理解しているかを確かめる「テストフェーズ」に分かれています

図 A.4 実験 1 推論条件の教示 (1 枚目)。

ここから先は実際に画面を見ながら、操作の練習を行います

#### 学習フェーズ

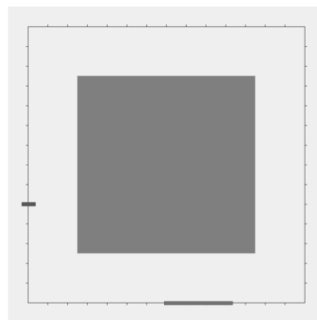


ボタンをクリックするとボールがスタートし、しばらくするとゴールします

その後、スタートからゴールまでの動きが赤色の点線で表示されます

点線を観察し、確認が終わったらボタンをクリックしてください

#### テストフェーズ



ボタンをクリックするとボールがスタートし、屋根の下に入ったところで停止し、パドルが表示されます

囲いの外側を左クリック(またはドラッグ)すると赤色のパドルを移動できます

ゴール位置を予測し、パドルでボールをキャッチできるように位置に動かしてください

パドルの位置が決まったら、囲いの外側で右クリックしてください

- 初期状態のパドルの位置で問題なければ、動かさずに右クリックで確定することもできます
- 初期状態のパドルの中央は青色の線で表示されます

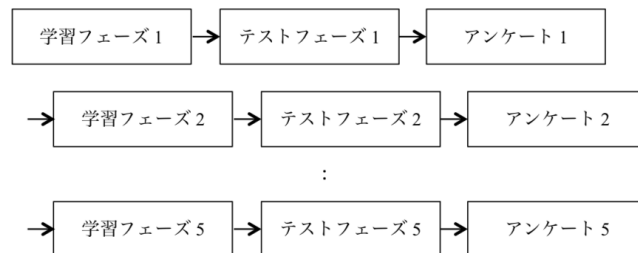
図 A.5 実験 1 推論条件の教示 (2 枚目)。

#### アンケート

テストフェーズの後に、隠れた物体について分かったことを、図または文章でアンケート用紙に記入してください

- 記入後、用紙とペンは回収します

#### 実験の流れ



- 学習フェーズ・テストフェーズともに、12 問ずつ行います

#### 注意事項

- テストフェーズでは、ボールがゴールする様子は提示されません
- 学習フェーズ・テストフェーズともに、時間制限はありません
- 学習フェーズで提示される点線を観察して、屋根の下に隠れている物体を推論することを心がけてください

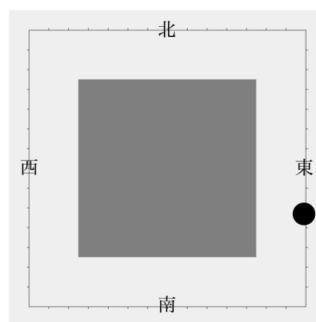
質問・不安がある場合はお気軽にお声がけください

図 A.6 実験 1 推論条件の教示 (3 枚目)。

## A.3 実験 3

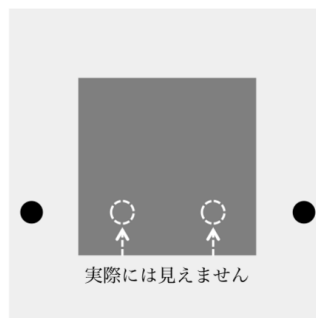
### 実験

#### 画面の説明



画面は灰色の屋根と、黒色の囲いを真上から見た状態を示しています

また、左右は西と東を、上下は北と南を示しています



ボールは囲いのいずれかからスタートします

ボールは屋根の下を通るため、その間はボールの動きを見ることができません

屋根の下を通り、ふたたび囲いのどこかに到達した時点でゴールになります

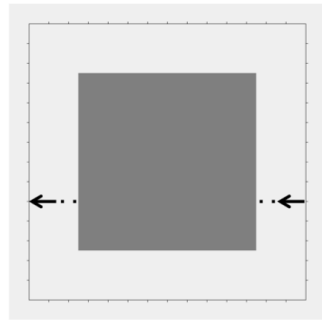
#### 実験の内容

- ボールの動きを学習し、その後のテストに回答してください
- 実験は動きを学習する「学習フェーズ」と、どれくらい予測が当たるかを確かめる「テストフェーズ」に分かれています

図 A.7 実験 3 の教示 (1 枚目)。

ここから先は実際に画面を見ながら、操作の練習を行います

#### 学習フェーズ

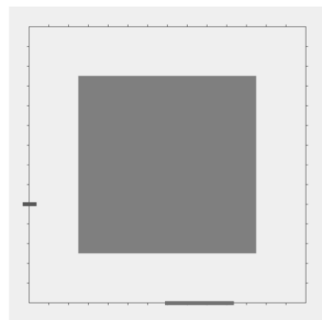


ボタンをクリックするとボールがスタートし、しばらくするとゴールします

その後、スタート・ゴール時のボールの位置と角度が矢印で、スタートからゴールまでの動きが点線が表示されます

確認が終わったらボタンをクリックしてください

#### テストフェーズ



ボタンをクリックするとボールがスタートし、屋根の下に入ったところで停止します

囲いの外側を左クリック（またはドラッグ）すると赤色のパドルを移動できます

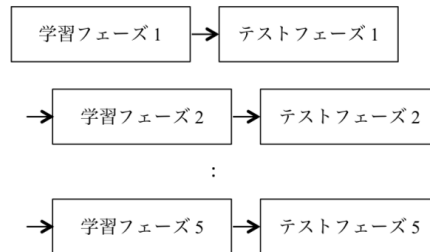
ゴール位置を予測し、パドルでボールをキャッチできるように位置に動かしてください

パドルの位置が決まったら、囲いの外側で右クリックしてください

- 初期状態のパドルの位置で問題なければ、動かさずに右クリックで確定することもできます
- 初期状態のパドルの中央は青色の線で表示されます

図 A.8 実験 3 の教示（2 枚目）。

## 実験の流れ



- 学習フェーズ・テストフェーズそれぞれ、12問ずつ行います

## 注意事項

- テストフェーズでは、ボールがゴールする様子は提示されません
- 学習フェーズ・テストフェーズともに、時間制限はありません
- テストフェーズでできる限り多くボールをキャッチすることを心がけてください

質問・不安がある場合はお気軽にお声がけください

図 A.9 実験 3 の教示（3 枚目）。



## 付録 B

# リハーサル確率に関するシミュレーション 決定係数一覧

### B.1 観察時間

表 B.1 易課題・難課題におけるブロック 5 の正則事例・変則事例の観察時間 4 項目（易課題における変則事例，正則事例，難課題における正則事例，変則事例）の平均値に関する，心理実験データ-シミュレーションデータ間の決定係数の一覧。Rr はシミュレーションモデルの正則リハーサル確率，Ra は変則リハーサル確率を示す。

		Rr				
		0	20	40	60	80
Ra	0	.631	.633	.639	.647	.649
	20	.643	.645	.652	.660	.662
	40	.662	.666	.671	.677	.678
	60	.705	.711	.713	.720	.724
	80	.862	.834	.856	.861	.858

## B.2 予測成績

表 B.2 易課題・難課題におけるブロック 5 の正則事例・変則事例の予測成績 8 項目（易課題における変則-未知，変則-既知，正則-未知，正則-既知，難課題における変則-未知，変則-既知，正則-未知，正則-既知）の平均値に関する，心理実験データ-シミュレーションデータ間の決定係数の一覧。Rr はシミュレーションモデルの正則リハーサル確率，Ra は変則リハーサル確率を示す。

		Rr				
		0	20	40	60	80
Ra	0	.464	.473	.505	.513	.266
	20	.460	.474	.519	.515	.260
	40	.553	.571	.580	.540	.260
	60	.668	.647	.682	.603	.260
	80	.683	.651	.622	.550	.244

## 付録 C

# シミュレーションソースコード

記憶ベース方略のモデル定義部を以下に示す。

---

```

1 (define-model memory-condition
2
3   (sgp :v nil :trace-detail low :act nil)
4   (sgp :ncnar nil :dcnn nil)
5   (sgp :declarative-num-finsts 20 :declarative-finst-span 20)
6   (sgp :esc t)
7   (sgp :rt 1.75)
8   (sgp :ans 0.5)
9   (sgp :bll 0.75)
10  (sgp :mp 0.5)
11
12  (chunk-type (stimuli (:include visual-object)) angle)
13  (chunk-type goal state)
14  (chunk-type arrow
15      arrowX1 arrowY1 arrowA1
16      equA1 equB1
17      arrowX2 arrowY2 arrowA2
18      equA2 equB2
19      rehearsal
20      arrowX1Y1
21      )
22
23  (chunk-type instance startX startY startA
24      endX endY

```

```
25         startXY
26     )
27
28     (chunk-type predictedPoint screen-x screen-y paddle)
29
30     (chunk-type numsym number symbol)
31
32     (add-dm
33         (goal isa goal state com_attend-red)
34
35         (stimuli)
36         (end)
37
38         (com_attend-red)
39         (com_find-red)
40         (com_read-red)
41         (com_attend-blue)
42         (com_move-button)
43         (com_click-button)
44
45         (obs_read-blue)
46         (obs_judge)
47         (obs_rehearsal-reg)
48         (obs_rehearsal-ano)
49
50         (tst_recall)
51         (tst_compare-paddle)
52         (tst_move-point)
53         (tst_click-point)
54
55         (terminate)
56
57         (\sx50 isa chunk)(\sx200 isa chunk)(\sx250 isa chunk)(\sx300 isa
58             chunk)(\sx350 isa chunk)(\sx400 isa chunk)(\sx450 isa chunk)(\
59             sx500 isa chunk)(\sx550 isa chunk)(\sx600 isa chunk)(\sx750
60             isa chunk)
61
62         (\sy50 isa chunk)(\sy200 isa chunk)(\sy250 isa chunk)(\sy300 isa
63             chunk)(\sy350 isa chunk)(\sy400 isa chunk)(\sy450 isa chunk)(\
64             sy500 isa chunk)(\sy550 isa chunk)(\sy600 isa chunk)(\sy750
```

```

        isa chunk)
60
61    (\sa0.0 isa chunk)(\sa1.0 isa chunk)(\sa2.0 isa chunk)(\sa3.0 isa
        chunk)(\sa4.0 isa chunk)(\sa5.0 isa chunk)(\sa6.0 isa chunk)
        (\sa7.0 isa chunk)(\sa8.0 isa chunk)(\sa9.0 isa chunk)(\sa10
        .0 isa chunk)(\sa11.0 isa chunk)(\sa12.0 isa chunk)(\sa13.0
        isa chunk)(\sa14.0 isa chunk)(\sa15.0 isa chunk)(\sa16.0 isa
        chunk)(\sa17.0 isa chunk)(\sa18.0 isa chunk)(\sa19.0 isa
        chunk)(\sa20.0 isa chunk)(\sa21.0 isa chunk)(\sa22.0 isa
        chunk)(\sa23.0 isa chunk)
62
63    (\sx50sy200 isa chunk)(\sx50sy250 isa chunk)(\sx50sy300 isa chunk)
        (\sx50sy350 isa chunk)(\sx50sy400 isa chunk)(\sx50sy450 isa
        chunk)(\sx50sy500 isa chunk)(\sx50sy550 isa chunk)(\sx50sy600
        isa chunk)
64
65    (\sx750sy200 isa chunk)(\sx750sy250 isa chunk)(\sx750sy300 isa
        chunk)(\sx750sy350 isa chunk)(\sx750sy400 isa chunk)(\
        sx750sy450 isa chunk)(\sx750sy500 isa chunk)(\sx750sy550 isa
        chunk)(\sx750sy600 isa chunk)
66
67    (\sx200sy50 isa chunk)(\sx250sy50 isa chunk)(\sx300sy50 isa chunk)
        (\sx350sy50 isa chunk)(\sx400sy50 isa chunk)(\sx450sy50 isa
        chunk)(\sx500sy50 isa chunk)(\sx550sy50 isa chunk)(\sx600sy50
        isa chunk)
68
69    (\sx200sy750 isa chunk)(\sx250sy750 isa chunk)(\sx300sy750 isa
        chunk)(\sx350sy750 isa chunk)(\sx400sy750 isa chunk)(\
        sx450sy750 isa chunk)(\sx500sy750 isa chunk)(\sx550sy750 isa
        chunk)(\sx600sy750 isa chunk)
70    )
71
72    (set-similarities
73
74    (\sx50sy200 \sx50sy250 -0.5)(\sx50sy250 \sx50sy300 -0.5)(\
        sx50sy300 \sx50sy350 -0.5)(\sx50sy350 \sx50sy400 -0.5)(\
        sx50sy400 \sx50sy450 -0.5)(\sx50sy450 \sx50sy500 -0.5)(\
        sx50sy500 \sx50sy550 -0.5)(\sx50sy550 \sx50sy600 -0.5)
75
76    (\sx750sy200 \sx750sy250 -0.5)(\sx750sy250 \sx750sy300 -0.5)(\

```

```

      sx750sy300 \sx750sy350 -0.5)(\sx750sy350 \sx750sy400 -0.5)(\
      sx750sy400 \sx750sy450 -0.5)(\sx750sy450 \sx750sy500 -0.5)(\
      sx750sy500 \sx750sy550 -0.5)(\sx750sy550 \sx750sy600 -0.5)
77
78  (\sx200sy50 \sx250sy50 -0.5)(\sx250sy50 \sx300sy50 -0.5)(\
      sx300sy50 \sx350sy50 -0.5)(\sx350sy50 \sx400sy50 -0.5)(\
      sx400sy50 \sx450sy50 -0.5)(\sx450sy50 \sx500sy50 -0.5)(\
      sx500sy50 \sx550sy50 -0.5)(\sx550sy50 \sx600sy50 -0.5)
79
80  (\sx200sy750 \sx250sy750 -0.5)(\sx250sy750 \sx300sy750 -0.5)(\
      sx300sy750 \sx350sy750 -0.5)(\sx350sy750 \sx400sy750 -0.5)(\
      sx400sy750 \sx450sy750 -0.5)(\sx450sy750 \sx500sy750 -0.5)(\
      sx500sy750 \sx550sy750 -0.5)(\sx550sy750 \sx600sy750 -0.5)
81  )
82
83  (p com_attend-red
84
85      =goal>
86      isa goal
87      state com_attend-red
88
89      ?manual>
90      state free
91
92      ==>
93
94      =goal>
95      isa goal
96      state com_find-red
97
98      +visual-location>
99      kind stimuli
100     color red
101     )
102
103  (p com_find-red
104
105     =goal>
106     isa goal
107     state com_find-red

```

```
108
109     =visual-location>
110     color red
111     screen-x =X1
112     screen-y =Y1
113
114     ?visual>
115     state free
116
117     ?imaginal>
118     state free
119
120     ==>
121
122     =goal>
123     isa goal
124     state com_read-red
125
126     +visual>
127     cmd move-attention
128     screen-pos =visual-location
129
130     +imaginal>
131     isa arrow
132     arrowX1 =X1
133     arrowY1 =Y1
134     )
135
136 (p com_read-red
137
138     =goal>
139     isa goal
140     state com_read-red
141
142     =imaginal>
143     isa arrow
144     arrowX1 =X1
145     arrowY1 =Y1
146     arrowA1 nil
147
```

```
148     =visual>
149     angle =A1
150
151     ?imaginal>
152     state free
153
154     ==>
155
156     =goal>
157     isa goal
158     state com_attend-blue
159
160     !eval! (calc-slope =X1 =Y1 =A1)
161     !bind! =eA1 *equA*
162     !bind! =eB1 *equB*
163
164     =imaginal>
165     arrowA1 =A1
166     equA1 =eA1
167     equB1 =eB1
168
169     +visual-location>
170     kind stimuli
171     color blue
172     )
173
174 (p obs_find-blue
175
176     =goal>
177     isa goal
178     state com_attend-blue
179
180     =visual-location>
181     kind stimuli
182     color blue
183     screen-x =X2
184     screen-y =Y2
185
186     =imaginal>
187     isa arrow
```



---

```
188     equA1 =eA1
189     equB1 =eB1
190
191     ?imaginal>
192     state free
193
194     ?visual>
195     state free
196
197     ==>
198
199     =goal>
200     isa goal
201     state obs_judge
202
203     =imaginal>
204     arrowX2 =X2
205     arrowY2 =Y2
206
207     +visual>
208     cmd move-attention
209     screen-pos =visual-location
210     )
211
212 (p obs_judge-reg
213
214     =goal>
215     isa goal
216     state obs_judge
217
218     =imaginal>
219     isa arrow
220     arrowX1 =X1
221     arrowY1 =Y1
222     arrowA1 =A1
223     arrowX2 =X2
224     arrowY2 =Y2
225
226     =visual>
227     angle =A1
```

```
228
229     ?imaginal>
230     state free
231
232     ==>
233
234     =goal>
235     isa goal
236     state obs_rehearsal-reg
237
238     !eval! (convert-to-symbol-XY =X1 =Y1)
239     !bind! =sX1Y1 *sym*
240
241     !eval! (convert-to-symbol-A =A1)
242     !bind! =sA1 *sym*
243
244     +imaginal>
245     isa instance
246     startXY =sX1Y1
247     startA =sA1
248     endX =X2
249     endY =Y2
250     )
251
252     (p obs_start-rehearsal-reg
253
254     =goal>
255     isa goal
256     state obs_rehearsal-reg
257
258     =imaginal>
259     isa instance
260     startXY =sX1Y1
261     startA =sA1
262     endX =X2
263     endY =Y2
264
265     ?imaginal>
266     state free
267
```

```
268      ==>
269
270      !eval! (rehearsal-random-ano)
271      !bind! =reh *reh*
272
273      +imaginal>
274      isa arrow
275      arrowX1Y1 =sX1Y1
276      arrowA1 =sA1
277      arrowX2 =X2
278      arrowY2 =Y2
279      rehearsal =reh
280      )
281
282      (p obs_carry-on-rehearsal-reg
283
284      =goal>
285      isa goal
286      state obs_rehearsal-reg
287
288      !bind! =rr *rr*
289
290      =imaginal>
291      isa arrow
292      arrowX1Y1 =sX1Y1
293      arrowA1 =sA1
294      arrowX2 =X2
295      arrowY2 =Y2
296      <= rehearsal =rr
297
298      ?retrieval>
299      state free
300
301      ==>
302
303      +retrieval>
304      isa instance
305      startXY =sX1Y1
306      startA =sA1
307      endX =X2
```

```
308     endY =Y2
309
310     -retrieval>
311
312     !eval! (rehearsal-random-reg)
313     !bind! =reh *reh*
314
315     =imaginal>
316     rehearsal =reh
317 )
318
319 (p obs_stop-rehearsal-reg
320
321     =goal>
322     isa goal
323     state obs_rehearsal-reg
324
325     !bind! =rr *rr*
326
327     =imaginal>
328     > rehearsal =rr
329
330     ?retrieval>
331     state free
332
333     ==>
334
335     +goal>
336     isa goal
337     state com_move-button
338
339     +visual-location>
340     kind oval
341 )
342
343 (p obs_judge-ano
344
345     =goal>
346     isa goal
347     state obs_judge
```

```
348
349   =imaginal>
350   isa arrow
351   arrowX1 =X1
352   arrowY1 =Y1
353   arrowA1 =A1
354   arrowX2 =X2
355   arrowY2 =Y2
356
357   =visual>
358   angle =A2
359   - angle =A1
360
361   ?imaginal>
362   state free
363
364   ==>
365
366   =goal>
367   isa goal
368   state obs_rehearsal-ano
369
370   !eval! (convert-to-symbol-XY =X1 =Y1)
371   !bind! =sX1Y1 *sym*
372
373   !eval! (convert-to-symbol-A =A1)
374   !bind! =sA1 *sym*
375
376   +imaginal>
377   isa instance
378   startXY =sX1Y1
379   startA =sA1
380   endX =X2
381   endY =Y2
382   )
383
384   (p obs_start-rehearsal-ano
385
386   =goal>
387   isa goal
```

```
388     state obs_rehearsal-ano
389
390     =imaginal>
391     isa instance
392     startXY =sX1Y1
393     startA =sA1
394     endX =X2
395     endY =Y2
396
397     ?imaginal>
398     state free
399
400     ==>
401
402     !eval! (rehearsal-random-ano)
403     !bind! =reh *reh*
404
405     +imaginal>
406     isa arrow
407     arrowX1Y1 =sX1Y1
408     arrowA1 =sA1
409     arrowX2 =X2
410     arrowY2 =Y2
411     rehearsal =reh
412     )
413
414 (p obs_carry-on-rehearsal-ano
415
416     =goal>
417     isa goal
418     state obs_rehearsal-ano
419
420     !bind! =ra *ra*
421
422     =imaginal>
423     isa arrow
424     arrowX1Y1 =sX1Y1
425     arrowA1 =sA1
426     arrowX2 =X2
427     arrowY2 =Y2
```

---

```

428      <= rehearsal =ra
429
430      ?retrieval>
431      state free
432
433      ==>
434
435      +retrieval>
436      isa instance
437      startXY =sX1Y1
438      startA =sA1
439      endX =X2
440      endY =Y2
441
442      -retrieval>
443
444      !eval! (rehearsal-random-ano)
445      !bind! =reh *reh*
446
447      =imaginal>
448      rehearsal =reh
449      )
450
451      (p obs_stop-rehearsal-ano
452
453      =goal>
454      isa goal
455      state obs_rehearsal-ano
456
457      !bind! =ra *ra*
458
459      =imaginal>
460      > rehearsal =ra
461
462      ?retrieval>
463      state free
464
465      ==>
466
467      +goal>

```

```
468     isa goal
469     state com_move-button
470
471     +visual-location>
472     kind oval
473     )
474
475 (p tst_recall
476
477     =goal>
478     isa goal
479     state com_attend-blue
480
481     ?visual-location>
482     buffer failure
483
484     =imaginal>
485     isa arrow
486     arrowX1 =X1
487     arrowY1 =Y1
488     arrowA1 =A1
489
490     ?retrieval>
491     state free
492
493     ==>
494
495     =goal>
496     isa goal
497     state tst_recall
498
499     !eval! (convert-to-symbol-XY =X1 =Y1)
500     !bind! =sX1Y1 *sym*
501
502     !eval! (convert-to-symbol-A =A1)
503     !bind! =sA1 *sym*
504
505     +retrieval>
506     isa instance
507     startXY =sX1Y1
```



---

```
508      startA =sA1
509
510      =imaginal>
511    )
512
513  (p tst_recall-failure
514
515      =goal>
516      isa goal
517      state tst_recall
518
519      ?retrieval>
520      buffer failure
521
522      ==>
523
524      =goal>
525      isa goal
526      state com_move-button
527
528      +visual-location>
529      kind oval
530    )
531
532  (p tst_recall-success
533
534      =goal>
535      isa goal
536      state tst_recall
537
538      =retrieval>
539      isa instance
540      endX =X2
541      endY =Y2
542
543      ==>
544
545      =goal>
546      isa goal
547      state tst_compare-paddle
```

```
548
549     +visual-location>
550     kind stimuli
551     color black
552
553     =retrieval>
554     )
555
556 (p tst_compare-paddle
557
558     =goal>
559     isa goal
560     state tst_compare-paddle
561
562     =visual-location>
563     color black
564     screen-x =pX
565     screen-y =pY
566
567     =retrieval>
568     endX =X2
569     endY =Y2
570
571     ?imaginal>
572     state free
573
574     ==>
575
576     !eval! (paddle-in =X2 =Y2 =pX =pY)
577     !bind! =inPaddle *inPaddle*
578
579     +imaginal>
580     isa predictedPoint
581     paddle =inPaddle
582
583     =retrieval>
584     )
585
586 (p tst_paddle-in
587
```

---

```
588     =goal>
589     isa goal
590     state tst_compare-paddle
591
592     =imaginal>
593     isa predictedPoint
594     paddle 1
595
596     ==>
597
598     =goal>
599     isa goal
600     state com_move-button
601
602     +visual-location>
603     kind oval
604     )
605
606 (p tst_paddle-out
607
608     =goal>
609     isa goal
610     state tst_compare-paddle
611
612     =imaginal>
613     isa predictedPoint
614     paddle 0
615
616     =retrieval>
617     endX =X2
618     endY =Y2
619
620     ==>
621
622     =goal>
623     isa goal
624     state tst_move-point
625
626     =imaginal>
627     screen-x =X2
```

```
628     screen-y =Y2
629   )
630
631   (p tst_move-point
632
633     =goal>
634     isa goal
635     state tst_move-point
636
637     =imaginal>
638     isa predictedPoint
639     screen-x =X
640     screen-y =Y
641
642     ?visual>
643     state free
644
645     ?manual>
646     state free
647
648     ==>
649
650     =goal>
651     isa goal
652     state tst_click-point
653
654     +visual>
655     cmd move-attention
656     screen-pos =imaginal
657
658     +manual>
659     cmd move-cursor
660     loc =imaginal
661
662     !eval! (write-xy =X =Y)
663   )
664
665   (p tst_click-point
666
667     =goal>
```

---

```
668     isa goal
669     state tst_click-point
670
671     ?manual>
672     state free
673
674     ==>
675
676     =goal>
677     isa goal
678     state com_move-button
679
680     +manual>
681     cmd click-mouse
682
683     +visual-location>
684     kind oval
685     )
686
687 (p com_move-button
688
689     =goal>
690     isa goal
691     state com_move-button
692
693     =visual-location>
694     kind oval
695     screen-x =X
696     screen-y =Y
697
698     ?visual>
699     state free
700
701     ?manual>
702     state free
703
704     ==>
705
706     =goal>
707     isa goal
```

```
708     state com_click-button
709
710     +visual>
711     cmd move-attention
712     screen-pos =visual-location
713
714     +manual>
715     isa move-cursor
716     loc =visual-location
717
718     !eval! (write-xy =X =Y)
719     )
720
721 (p com_click-button
722
723     =goal>
724     isa goal
725     state com_click-button
726
727     ?manual>
728     state free
729
730     ==>
731
732     =goal>
733     isa goal
734     state com_attend-red
735
736     +manual>
737     cmd click-mouse
738     )
739
740 (p terminate
741
742     =goal>
743     isa goal
744     state com_read-red
745
746     ?visual-location>
747     buffer failure
```

```
748
749     ==>
750
751     +goal>
752     isa goal
753     state terminate
754     )
755
756     (goal-focus goal)
757     (start-hand-at-mouse)
758 )
```

---