

# 変則的挙動に対する記憶ベース方略の ACT-R モデル検討

## ACT-R Modeling for Memory-based Strategy for Anomalous Behaviors

松林 翔太<sup>†</sup>, 三輪 和久<sup>†</sup>, 寺井 仁<sup>‡</sup>  
Shota Matsubayashi, Kazuhisa Miwa, Hitoshi Terai

<sup>†</sup>名古屋大学, <sup>‡</sup>近畿大学  
Nagoya University, Kindai University  
matsubayashi@cog.human.nagoya-u.ac.jp

### Abstract

We usually encounter various anomalous behaviors of systems, such as machine failures, unexpected behaviors of intelligent agents, and irregular natural phenomena. In order to predict those anomalous behaviors, it is a useful strategy to infer the causal structure of target domains (the inference-based strategy). However, we assume another strategy, the memory-based strategy, to memorize the anomalous behaviors for the precise predictions. In the present study, we analyze features and benefits of the memory-based strategy, compared to the inference-based strategy using the spatial movement prediction task in the experimental approach and the model simulation approach. The Experiment revealed that participants who were instructed to apply the memory-based strategy encoded only the anomalous instances, but did not the regular instances. Additionally, the inference-based strategy was more effective for identifying the anomalous instances in a low-complexity task, whereas the memory-based strategy is more effective in a high-complexity task. In order to reveal the detailed processes of those strategies, we simulated those processes with the model based on ACT-R.

**Keywords** — **Memory-based Handling Strategy, Inference-based Handling Strategy, Anomalous Instance, Regular Instance**

### 1. 導入

私たちが環境に適応して生きていくためには、身の回りにあるシステムの挙動を予測することが重要である。システムによる定常的な挙動はスキーマによって比較的簡単に予測可能である。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。システムの挙動を予測するために、私たちは変則的挙動に対して複雑な認知的処理を行わなければならない。想定外の出来事に対してはスキーマ処理が中断され、注意の再分配などが行われる [1].

変則的挙動を予測する困難さは、様々な領域に共通して生じる。例えば、コンピュータなどを使用する際に起こるシステム障害や機械故障に対峙した際、私たち

はシステム挙動の予測を行う。例えば、航空機事故のシナリオにおいて、訓練時と同じ状況で故障が発生する場合と異なる状況で発生する場合を比較すると、前者の対応では正則的挙動の予測が達成される。しかし一方、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れが困難であり、規範的ではない不適切な行動が多く見られたことが報告されている [2].

システム以外にも、人間などの自律的エージェントが変則的挙動を見せることもある。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において、目標に向かって直進する正則的挙動から逸脱する変則的挙動が観察された場合、推定される目標はその挙動に大きく影響されることが示されている [3].

#### 1.1. 変則的挙動の予測における方略

変則的挙動の予測は、人間の高度認知機能の重要な機能のひとつであると考えられる。本研究では、変則的挙動の予測を行うにあたり適用される2つの学習方略を考える。

##### 1.1.1. 推論ベース方略

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、変則的挙動を予測する。

先述した人工物の故障に対する理解行動として、要素を意味のある構造へ整理する診断が知られている [4]. 診断では、障害ログやケーブルなどの確認を通して障害の原因を特定し、その原因構造の理解が試みられる。

科学においても変則的挙動に対する推論が行われる。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であると言われている [5][6][7]. 科学的発見の主要な目的はデータの説明であり、変則的データが生じたその原因構造を説明することで、挙動を正確に予測することが望まれる。

人間は変則的挙動に直面すると、自然とその原因構造を推論しようと試みる。空間的運動の知覚においては、エージェントの移動特性によって、そのエージェントの目標が自然と喚起される [3][8]。また文章理解では、文脈から期待される結末とは異なる結末が提示された際に、弁明や正当化など、その結末を説明する推論が行われる [9]。

### 1.1.2. 記憶ベース方略

システムが見せる挙動を事例として記憶することで、変則的挙動を予測する。

変則的挙動の原因を理解しようと試みる推論ベース方略に対し、記憶ベース方略ではそのような理解は伴わない。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、ナレッジベースが活用されている。このデータベースにはとりあえずの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場合が多い。しかし十分に原因構造が明らかになっていない事例であっても、私たちはそれを参照し、障害復旧に活用している。

また、科学的発見においては変則的事例が生じた原因構造の説明が求められるにもかかわらず、変則的事例に対して説明を行わない無視や除外などの反応を示すことが知られている [10]。これらの反応は、一見科学的発見を遠ざけるものと捉えられやすいが、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報告されている [11]。

## 1.2. 目的

変則的挙動の観察を通して自然と働く推論は、そのシステムの構造やエージェントの目標を理解する助けになる。しかしながら、その構造や目標を私たちが必ずしも正しく理解できるとは限らない。特に対象が複雑なシステムや高度なエージェントの場合には理解が困難になり、その結果、変則的挙動の予測精度が低くなる可能性もある。また、推論には知識と周囲の環境の統合過程が含まれるため [12]、多くの認知的資源を必要とし、その認知的負荷は大きいと考えられる。

一方、システムの構造を完全に理解せずとも、その挙動を事例として記憶することで得られる利点もあるだろう。動的環境で出力を統制する課題において、その入出力の対応を記憶した場合、学習時と同じ状況では成績が高いことが示されている [13]。以上より、変則的

挙動の予測を行う状況においても、事例の記憶を試みる方略は十分な効用があると期待される。

変則的挙動を扱う先行研究の多くは、推論ベース方略を用い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、推論による学習内容に主に着目されてきた。一方で、記憶ベース方略に関しては、その有用性が期待できる一方で、変則的挙動の予測という文脈でその機能について議論された研究は見当たらない。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、その特性と効用について検証を行う。

本研究では、心理実験および認知アーキテクチャによるモデルシミュレーションの2つのアプローチを用いる。まず心理実験では、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教示により誘導し、変則的挙動を予測するための十分な学習を行わせる。その後のテストにて、正則的挙動または変則的挙動を見せる事例を複数提示し、その反応の違いから、記憶ベース方略を適用した際の学習時の処理について検証を行う。

本研究の目的は、変則的挙動を予測するために行われる認知的処理を解明することであり、心理実験単独では、その詳細な処理を明らかにするには手続き上の限界がある。そこで、心理実験で得られたデータをもとにモデルシミュレーションを実施し、変則的挙動の予測において、記憶ベース方略で行われる処理について明らかにする。

## 1.3. 仮説

実験では、正則的挙動を見せる事例（以下、正則事例とする）と変則的挙動を見せる事例（以下、変則事例とする）がともに観察される状況において、それらの事例に対する方略を教示で誘導した。その後、事例の挙動を予測させるテストをもとに、記憶ベース方略の特性と効用について、以下の2つの仮説を検証した。

### 1.3.1. 仮説1

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処理が行われず、変則事例に対する処理のみが行われる。

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 [14]。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 [15]。正則事例はスキーマによって予測可能な事例であるため、記録する必要はない。一方、そのスキーマに従わない変則事例は予測のためには記録されると考えられる。

### 1.3.2. 仮説2

複雑さが低い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、複雑さの高い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。

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用であることが示されている [16]。またカテゴリ学習においては、初心者にとって、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 [17]。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。

## 2. 課題

空間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開発した (図 1)。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。そして不可視領域内に隠された物体を設置し、それによってまれに変則事例を生じる状況を設定した。ボールが移動中にその物体に接触し、その進行方向が変わる事例、すなわち屈折する事例を変則事例とし、接触せずに当初の進行方向から変わらない事例、すなわち直進する事例を正則事例とした。

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。

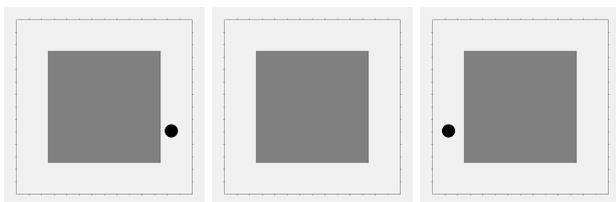


図1 観察フェーズの画面。

### 2.1. 観察フェーズとテストフェーズ

本課題は、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、ボールが射出されて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)。確認画面は参加者がマウスで左クリックするまで表示された。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的停止し、パドルが表示される (図 3)。参加者は、ボールが最終的に到達する位置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。パドルは、ボールが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、参加者が変則事例と判断した場合のみ、パドルを移動させる必要がある。その一方、正則事例と判断した場合はパドルを初期表示された位置から移動しなくても、ボールの到達位置がパドルに含まれる。なお、テストフェーズではこの到達位置の予測に関する正誤のフィードバックは参加者に与えられない。

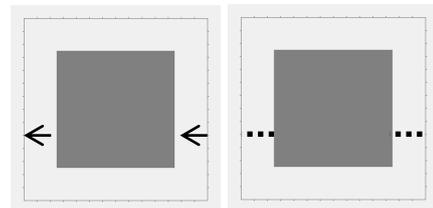


図2 観察フェーズの確認画面。記憶条件 (左) と推論条件 (右)。

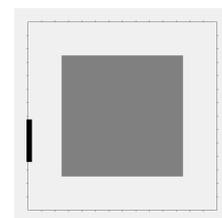


図3 テストフェーズの画面。

### 2.2. 方略

本課題の観察フェーズで提示される変則事例に対して適用される 2 つの学習方略は、以下のように定義される。

#### 2.2.1. 記憶ベース方略

観察フェーズにおける可視領域のボールの動きに着目し、入出力関係を事例として記憶することで、テスト

フェーズで変則事例を予測しようと試みる。初期位置・角度と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。

### 2.2.2. 推論ベース方略

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、屈折の原因を理解し、テストフェーズで変則事例を予測しようと試みる。事例が提示されるごとに物体に関する表象が逐次更新されることが期待される。

### 2.3. 課題の複雑さ

各方略適用時における、システムの複雑さによる影響を検討するため、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4)。易課題では四辺が外枠と平行な四角が設定されたため、変則事例の屈折角度パターンが少なく単純である。一方、難課題では円形の物体が設定されており、変則事例の屈折角度は複雑なパターンが存在する。

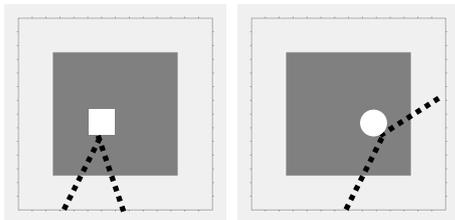


図4 課題の複雑さの設定。易課題(左)と難課題(右)。

## 3. 心理実験

### 3.1. 方法

#### 3.1.1. 参加者

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

#### 3.1.2. 手続き

参加者は、後のテストフェーズでボールの最終的な到達位置をできる限り正確に予測するため、観察フェーズでボールの動きを注意深く観察するように促された。また、観察フェーズの学習方略に関する教示で条件分けを行った。記憶条件では、確認画面で表示される2つの矢印(図2左)に着目し、それを記憶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右)に着目し、不可視領域に隠された物体について推論することが求められた。一続きの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。ただし、記憶条件で提示される矢印と、推論条件における点線が持つ情報の内容は同一である。

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。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は観察フェーズ・テストフェーズともにすべて正則事例を提示した。ブロック2から5の観察フェーズでは、12試行中9試行が正則事例、3試行が変則事例で構成された。テストフェーズでは、正則事例6事例、変則事例6事例が提示されたが、直前の観察フェーズで提示された既知事例、テストフェーズで新たに提示される未知事例が、それぞれ3事例ずつ含まれていた(表1)。以降それぞれを、正則-未知事例、正則-既知事例、変則-既知事例、変則-未知事例と示す。

本課題は、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。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た。

なお、これらの本課題に先立ち、画面の確認やマウス操作の練習を行った。このとき提示された事例はすべて正則事例であった。

表1 ブロック2~5の試行構成。

	事例	経験
観察フェーズ	正則 (9)	-
	変則 (3)	-
テストフェーズ	正則 (6)	未知 (3)
		既知 (3)
	変則 (6)	未知 (3)
		既知 (3)

### 3.2. 結果の予想

#### 3.2.1. 予想1

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時間(以後、観察時間とする)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。仮説1より、正則事例はデフォルト値として記録されないことから、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。

### 3.2.2. 予想2

仮説1より、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-既知事例でパドル移動試行数が多いだろう。一方、正則事例に関しては、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、テストフェーズで提示される変則-既知事例は正しく弁別できる。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、デフォルトとして記録されないと考えられる。そのため記憶条件では、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だろう。

### 3.2.3. 予想3

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は、易課題では推論条件が変則-未知事例において高くなるだろう。一方、難課題では記憶条件が変則-既知事例において高くなるだろう。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、推論条件は不十分な表象しか得られずにそれを適用できない。対して記憶条件は、観察フェーズで記録された既知事例なら、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いため、難課題では推論条件よりも変則-既知事例の予測成績が高くなるだろう。

## 3.3. 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、特に推論によ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。

### 3.3.1. 観察時間

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2)。その結果、記憶条件では、易課題・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、予想1が確認された。

また、推論条件においても、易課題・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:  $t(18) = 4.3, p < .001, r = .72$ ; 難課題:  $t(18) = 3.0, p < .01, r = .58$ )。

まとめると、課題の複雑さによらず、記憶条件・推論条件ともに、変則事例より正則事例の観察時間が短かった。以上は、仮説1を支持する結果がである。

表2 ブロック5における観察時間(秒)。

		正則	変則	
記憶	易課題	2.04 (0.18)	3.50 (0.50)	*
	難課題	1.89 (0.08)	4.11 (0.69)	**
推論	易課題	4.25 (0.75)	7.57 (1.17)	****
	難課題	2.05 (0.22)	5.12 (0.94)	**

\*\*\*\*:  $p < .001$ , \*\*\*:  $p < .005$ , \*\*:  $p < .01$ , \*:  $p < .05$

### 3.3.2. パドル移動試行数

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) × 2(事例: 正則/変則)の分散分析を実施した(図5)。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( $F(1, 46) = 0.5, n.s.$ )。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( $F(1, 46) = 2.2, n.s.$ )。以上より、予想2が確認された。

加えて、推論条件の易課題では、交互作用が有意であった( $F(1, 18) = 15.3, p < .001, \eta^2 = .06$ )。未知・既知事例ともに正則事例より変則事例が多かった( $F(1, 36) = 20.0, p < .001$ ;  $F(1, 36) = 85.2, p < .001$ )。さらに、推論条件の難課題では、交互作用は有意ではなく( $F(1, 23) = 2.1, n.s., \eta^2 = .02$ )、経験の主効果も有意ではなかったが( $F(1, 23) = 0.7, n.s., \eta^2 = .00$ )、事例の主効果が有意であった( $F(1, 23) = 69.9, p < .001, \eta^2 = .47$ )。これらの結果は、推論条件では、観察フェーズにおいて事例が記憶されたのではなく、隠された物体の推論を通して得た表象を、テストフェーズで活用していたこ

とを示している。

まとめると、記憶条件では、課題の複雑さによらず、変則事例のパドル移動試行数は変則-未知事例より変則-既知事例が多いが、正則事例では正則-未知事例と正則-既知事例に差がなかった。一方、推論条件では、課題の複雑さと未知・既知によらず、正則事例よりも変則事例においてパドル移動試行数が多かった。以上は、仮説1を支持する結果である。

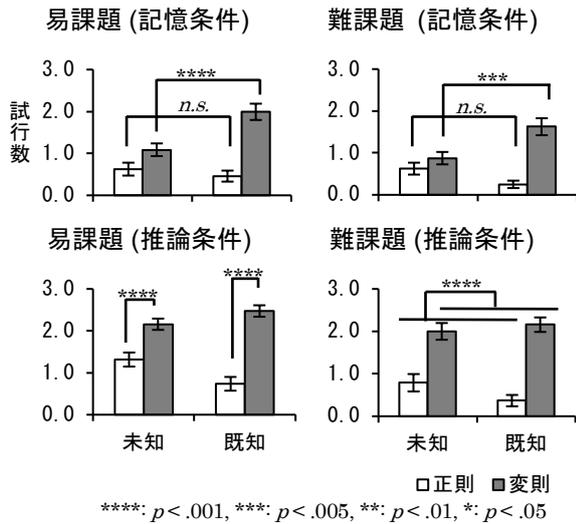


図5 パドル移動試行数.

### 3.3.3 変則事例の予測成績

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、記憶条件と推論条件の間においてt検定を実施した(表3)。その結果、易課題の変則-未知事例では記憶条件より推論条件の予測成績が高かったが( $t(35) = 3.7, p < .001, r = .54$ )、変則-既知事例では有意な差は見られなかった( $t(41) = 0.9, n.s., r = .15$ )。一方、難課題の変則-未知事例では記憶条件より推論条件の予測成績が高い傾向が見られ( $t(24) = 1.9, p < .10, r = .36$ )、変則-既知事例では推論条件より記憶条件の予測成績が高かった( $t(40) = 3.5, p < .005, r = .49$ )。以上より、予想3が確認された。

まとめると、変則事例の予測成績において、易課題では推論条件が変則-未知事例の成績が高く、難課題では記憶条件が変則-既知事例の成績が高かった。以上は、仮説2を支持する結果である。

表3 ブロック5における変則事例の予測成績.

		記憶	推論	
易課題	未知	0.63 (0.12)	1.37 (0.15)	****
	既知	1.75 (0.23)	2.05 (0.20)	
難課題	未知	0.08 (0.06)	0.37 (0.13)	
	既知	1.33 (0.20)	0.42 (0.15)	***

\*\*\*\*:  $p < .001$ , \*\*\*:  $p < .005$ , \*\*:  $p < .01$ , \*:  $p < .05$

### 3.4 考察

心理実験では、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処理と効用について検証を行った。その結果から、以下の2点が明らかになった。

第一に、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憶が行われ、正則事例はデフォルト値と認識されて記憶が行われなかった。もし正則事例を記憶していたなら、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。しかし両者に差がなかったことから、正則事例は記憶されなかったと推察される。

第二に、変則事例に対する対処として、複雑さが低い課題では、推論ベース方略のほうが有効であるが、複雑さの高い課題では、記憶ベース方略のほうが有効であった。記憶ベース方略は、変則事例のみを記憶し、同一の変則事例が現れたときに、正確な同定を行なった。教示では記憶する事例について特に指定していないにも関わらず、正則事例は記憶が行われなかった。これは、記憶ベース対処方略が、正則事例をデフォルト値と認識して記憶しないことで、認知的負荷を軽減している可能性を示唆している。

### 4 モデルシミュレーション

心理実験を通して、記憶ベース方略では、正則事例を記憶しないことで認知的負荷を軽減し、その結果、複雑さの高い課題において有用である可能性が示唆された。しかしこの可能性は、主にテストフェーズにおける両条件間の反応の差異から推察されたものであり、観察フェーズの認知的処理を直接的に確かめたものではない。つまり、記憶ベース方略において、正則事例と変則事例は異なる処理が行われていたのか、また、推論ベース方略よりも認知的負荷が軽減されていたのかについては、厳密な意味では確認されていない。心理実験単独による検証では、その詳細な処理を明らかにする上では多くの限界が存在する。

そこで本研究では、Adaptive Control of Thought-Rational (ACT-R) モデルによるシミュレーションを通して検証を行う [18]. 構築されたモデルが心理実験の結果を再現することができれば、各方略の認知的処理の検証が可能になる。エージェントの目標推定の領域では、計算モデルを用いたアプローチが多く用いられている [3][19].

本研究では、正則事例と変則事例が混在する状況において、変則的挙動の予測のために行われている認知的処理をモデル上に再現し、その詳細について検証を行う。これらは心理実験ではその手続き上、直接的に計測することは困難であり、モデルシミュレーションによる検証が有効であると言える。

#### 4.1. プロダクショナルルール

ACT-R モデルシミュレーションを行うために、記憶ベース方略および推論ベース方略それぞれのプロダクショナルルールを作成する。そのプロダクショナルルールはさらに、観察フェーズおよびテストフェーズに分けて実装される。

##### 4.1.1. 記憶ベース方略

観察フェーズではまず、確認画面で提示される2つの矢印の検出から行われる。すなわち、2つの矢印それぞれを Visual-location buffer 上で検出し、初期位置と角度、到達位置と角度を Visual buffer に格納する。もし2つの矢印の角度が異なるなら、変則事例として記録を行う。すなわち、2つの矢印それぞれの位置・角度を, Imaginal buffer 上で1つのチャンクとして統合し、Declarative memory に格納する。一方、2つの矢印の角度が同じなら、正則事例として記録は行わない。

テストフェーズでは、提示された初期位置と角度をもとに、記憶の検索が行われる。すなわち、入力として与えられた初期位置と角度を Visual buffer に格納し、それと一致するチャンクを Declarative memory から検索する。もし一致するチャンクを想起することができれば、それをもとにパドルを移動する。すなわち、一致したチャンクを Retrieval buffer に呼び出し、そのチャンクに書かれた到達位置を想起し、Motor を介してパドルをその位置まで移動する。一方、一致するチャンクがなければ、パドル移動は行わない。

したがって、記憶ベース方略では、観察フェーズにおいて、変則事例に対して正則事例では発火するプロダクショナルルールの数が少ないと想定される。

##### 4.1.2. 推論ベース方略

観察フェーズで行う点線の検出までのプロダクショナルルールは、記憶ベース方略とほぼ同じである。点線の検出後、もし2つの点線の角度が異なるなら、それを変則事例として、隠された物体の位置と形状を推定する。すなわち、Imaginal buffer 上で2つの点線を伸ばし、その交点周辺は物体が存在する確率を高く推定する。また、2つの点線の角度差分から物体の形状を推定する。一方、2つの点線の角度が同じなら、その軌跡上は物体が存在しない領域として推定される。すなわち、その軌跡上は、物体が存在する確率を低く推定する。推定された物体の位置と形状は、最終的に Declarative memory に格納される。

テストフェーズでは、提示された初期位置と角度から線を延伸させ、それが推定した物体と接触するかの判断を行う。すなわち、Imaginal buffer 上の入力から延伸した線と、Retrieval buffer に呼び出された物体表象とを照合する。もし接触するなら、物体形状をもとに到達位置を予測する。すなわち、Retrieval buffer 内に呼び出された物体形状から屈折角度を算出し、Motor を介してパドルをその位置まで移動する。一方、接触しなければ、パドル移動は行わない。

推論ベース方略は、観察フェーズでは変則事例のみならず、正則事例についてもプロダクショナルルールが発火する。また、推論ベース方略ではプロダクショナルルールの数が多く、さらに複雑な処理を行うことから、記憶ベース方略よりも実行に時間を要し、処理エラーも起こりやすいことが想定される。

#### 4.2. データ再現

上記のプロダクショナルルールによるシミュレーションを通して、心理実験で得られた3つのデータの再現を行う。すなわち、観察フェーズにおける観察時間、テストフェーズにおけるパドル移動試行数、予測成績である。

これらのデータをより精度よく再現するためには、記憶ベース方略における事例の記録時および想起時におこるエラーや、推論ベース方略における確率推定エラーの考慮が必須である。各プロダクションやパラメータの調整を行い、再現精度を高めることで、各方略における詳細な認知的処理を明らかにすることができるだろう。

## 5. まとめ

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、その特性と効用について検証を行った。そのアプローチとして、心理実験と ACT-R によるモデルシミュレーションの2つを組み合わせて実施した。両アプローチを効果的に用いることで、記憶ベース方略の認知的処理について、引き続きより詳細に検証を行っていききたい。

## 参考文献

- [1] Meyer, W.-U., Reisenzein, R., & Schützwohl, A. (1997) "Toward a Process Analysis of Emotions: The Case of Surprise" *Motivation and Emotion*, Vol. 21, No. 3, pp. 251-274.
- [2] Casner, S. M., Geven, R. W., & Williams, K. T. (2012) "The Effectiveness of Airline Pilot Training for Abnormal Events" *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 55, No. 3, pp. 477-485.
- [3] Baker, C. L., Saxe, R., & Tenenbaum, J. B. (2009) "Action understanding as inverse planning" *Cognition*, Vol. 113, No. 3, pp. 329-349.
- [4] 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*, Vol. 64, No. 2, pp. 123-136.
- [5] Hempel, C. G. (1965) "Aspects of Scientific Explanation, and Other Essays in the Philosophy of Science". Free Press.
- [6] Hempel, C. G. (2001) "The philosophy of Carl G. Hempel: studies in science, explanation, and rationality", Oxford University Press.
- [7] Thagard, P., (1992) "Conceptual revolutions", Princeton University Press.
- [8] Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2000) "Perception of animacy from the motion of a single object" *Perception*, Vol. 29, No. 8, pp. 943-951.
- [9] Clary, E. G., & Tesser, A. (1983) "Reactions to Unexpected Events: The Naive Scientist and Interpretive Activity" *Personality and Social Psychology Bulletin*, Vol. 9, No. 4, pp. 609-620.
- [10] Chinn, C. A., & Brewer, W. E. (1998) "An Empirical Test of a Taxonomy of Responses to Anomalous Data in Science" *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 35, No. 6, pp. 623-654.
- [11] Simon, H. A. (1998) "Discovering Explanations" *Minds and Machines*, Vol. 8, No. 1, pp. 7-37.
- [12] 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*, Vol. 23, No. 4, pp. 1809-1819.
- [13] 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 and Cognition*, Vol. 36, No. 1, pp. 157-169.
- [14] Loftus, G. R., & Mackworth, N. H. (1978) "Cognitive determinants of fixation location during picture viewing" *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 4, No. 4, pp. 565-572.
- [15] Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (2000) "Semantic informativeness mediates the detection of changes in natural scenes" *Visual Cognition*, Vol. 7, No. 1-3, pp. 213-235.
- [16] Reber, A. S., Kassin, A. 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*, Vol. 6, No. 5, pp. 492-502.
- [17] Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001) "When problem solving is superior to studying worked examples" *Journal of Educational Psychology*, Vol. 93, No. 3, pp. 579-588.
- [18] Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004) "An integrated theory of the mind" *Psychological Review*, Vol. 111, No. 4, pp. 1036-1060.
- [19] Pantelis, P. C., Baker, C. L., Cholewiak, S. A., Sanik, K., Weinstein, A., Wu, C. C., Tenenbaum, J. B., Feldman, J. (2014) "Inferring the intentional states of autonomous virtual agents" *Cognition*, Vol. 130, No. 3, pp. 360-379.