

# 予期しない現象の原因同定に影響する要因の検討

## Understanding factors affecting cause identification of unexpected events

柴田 恭志<sup>1\*</sup>      寺井 仁<sup>2</sup>      三輪 和久<sup>1</sup>  
Hisashi SHIBATA      Hitoshi TERAJ      Kazuhisa MIWA

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院情報科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Information Science, Nagoya University

<sup>2</sup> 東京電機大学情報環境学部

<sup>2</sup> School of Information Environment, Tokyo Denki University

**Abstract:** When a system gives outputs that we do not predict, we regard those as unexpected events; and try to identify the causes affecting those events. Suppose that a complex system consists of multiple subsystems. Cause identification means: first identifying subsystems that perform irregular processing (called odd subsystem), and then find out the irregular processing. In this study, we used a card magic as an experimental material. Tricks involved in the card magic correspond to the odd subsystem's processing. We conducted two experiments. In these experiments, participants were required to find out the tricks by viewing the movie. The experimental results showed that the difficulty of the odd subsystem identification affected the performance of cause identification but that the possibility of using the system's output for reasoning did not. Analysis of the unpredicted result, i.e., no effect of the possibility of using the system's output, implied that the participants may perform the reasoning for cause identification based on hypothetical information not directly observed as system's output.

## 1 はじめに

日常生活において、我々はさまざまなシステムとインタラクションを行っている。ほとんどの場合、これらのシステムは我々の期待に沿った出力を返す。入出力を持つシステムの例として、電卓のソフトウェアを考える。このソフトウェアに数式を入力すると、ほとんどの場合、その計算結果が正しく出力されるだろう。しかし、システムが我々の期待通りの結果を返すことは、必ずしも保証されていない。例えば、電卓のプログラムにバグが含まれていたとしたら、その計算結果は我々の期待とは異なるものになる。

このようにシステムが期待と異なる出力を返したとき、我々はこれを**予期しない現象**と認識し、その原因同定を試みる。しかし、我々はこういった原因同定問題を解決することが苦手であり [1]、その過程で手詰まりに陥ることも少なくない。

本研究では、予期しない現象の原因同定に影響する要因について検討をすることを目的として 2 つの実験を行った。第 1 実験では、予期しない現象の原因が同定されていく過程の観察した。この中では、原因同定の過程とその成否の間にどのような関連があるのかを検討し、原因同定に影響を及ぼす要因の抽出を試みた。第 2 実験では、第 1 実験で抽出された要因を統制し、それらの要因が原因同定に対してどのような影響を持つかについて、より詳細

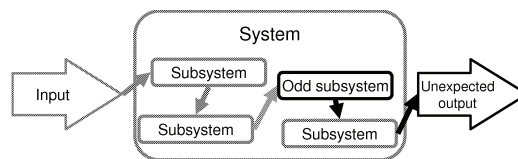


図 1: 予期しない現象を生じさせるシステムのモデル

な検討を加えた。

## 2 予期しない現象の原因同定

### 2.1 予期しない現象

複雑なシステムとインタラクションする際、そのシステムはより単純化されたサブシステムの集合とみなすことができる。予期しない現象を生じる入出力システムは、サブシステムの集合として、図 1 のように捉えることができる。入出力システムはより小さなサブシステムから構成され、それらサブシステムもそれぞれ入出力を持っている。なお、図中の矢印はシステムによって処理を受ける対象の状態を表す。

予期しない現象の原因がシステム自体に帰属する場合、そのシステムを構成する 1 つ以上のサブシステムがユーザーの予想と異なる動作をしているといえる。ユーザーの予想と異なる動作をするサブシステムを、本研究では **odd subsystem** と呼ぶ。Odd subsystem の存在により、それ以降の入出力関係が

\*柴田恭志：名古屋大学大学院情報科学研究科  
〒464-8601 愛知県名古屋市中種区不老町  
E-mail: shibata@cog.human.nagoya-u.ac.jp

ユーザーの意図と異なるものとなり、結果、予期しない現象が生じる。

## 2.2 原因同定

予期しない現象の原因を同定するとは、そのシステムが予期しない出力を返す主因となる **odd subsystem** を発見することといえる。このようなタスクはデバッグやトラブルシューティングといった作業に相当する。

しかしながら、現実場面におけるトラブルシューティングやデバッグでは、単に **odd subsystem** を発見するだけでは問題は解決されない。一般的にはさらに一步踏み込んで、**odd subsystem** でどのような処理がなされ、その入出力関係を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、原因同定の最終的な目標を **odd subsystem** で実際に行われている処理を特定することとする。以上に基づき、本研究では、原因同定に至るプロセスを検討するために、以下の2点に着目する。

- 各サブシステムの処理の特定
- **Odd subsystem** の特定

実験では、これらの事柄が原因同定の過程においてどのように行われていくのかを検討する。

## 3 予期しない現象を生じる素材

### 3.1 スリーカードモンテ

本研究では、予期しない現象を生じる素材として、スリーカードモンテと呼ばれるカードマジックを用いる。

マジックでは、幅広い層の人々を対象に、予期しない現象を作り出すことが可能である。加えて、これらの現象は我々に非常に身近なもの（例えばカードなど）によって実現する事ができる。このため、マジックのトリックを推測する上では、特定の領域に固有の知識は必要にならない。このことは、予期しない現象の原因同定問題の素材として、本課題の重要な利点である。

スリーカードモンテは3枚のカードを用いたゲーム形式のマジックである。3枚の内訳は、同一のカード2枚と異なるカード1枚（例えば、白いカード2枚とジョーカー1枚など）である。以降、1枚だけ異なるカードをターゲットと呼ぶ。

このマジックでは、観客は、裏向きで混ぜられる3枚のカードの中から、ターゲットがどこにあるかを当てることを求められる。ここで行われるカードの混ぜ方は、一見するとターゲットの位置を追従することができそうな、非常に単純な操作である。しかし実際にはこれらの操作の中にトリックが含まれており、最終的にカードを開けると、観客が意図する位置とは異なる位置にターゲットが存在する。

スリーカードモンテを図1に当てはめてモデル化したものが図2である。マジシャンが行う操作はサブシステムでの処理に相当し、トリックは **odd subsystem** での処理に相当する。このマジックでは

flip change（以下 FL と表記）、frustration count（同 FR）、shuffle 1（SH1）、shuffle 2（SH2）、shuffle 3（SH3）という5つの操作がマジシャンによって行われる。このうち FL と FR がトリックであり、これらによってターゲットは観客の予期しない位置へ移動される。



図2: スリーカードモンテのモデル

### 3.2 トリック推測

本研究では **odd subsystem** で実際に行われる処理を特定することをもって、予期しない現象の原因同定に成功したとみなす。このことは、スリーカードモンテのトリックを推測する文脈では、**FL**、**FR** で実際に行われる操作を特定することと定義できる。以上に基づき、前節で示した原因同定に至るプロセスを明らかにする指標をスリーカードモンテのトリック推測の文脈で捉え直すと、以下のように定義できる。

- 各操作前後のターゲットカード位置の特定
- どの操作がトリックであるかの特定

本研究では、これらの要件が満たされていく過程を原因同定の過程と捉える。

実験ではこれらの点に着目し、原因同定の成否と原因同定の過程の関係についての検討を試みた。

## 4 第1実験: 原因同定過程の観察

スリーカードモンテを素材に、予期しない現象の原因同定がどのように行われるかを実験によって観察した。

### 4.1 手続き

実験では、トリック推測課題と手順再現課題が被験者に課された。被験者はまずトリック推測課題でスリーカードモンテのトリックを推測し、推測に成功した時点で手順再現課題へ移行した。被験者が手順再現課題に成功した場合、簡単なブリーフィングの後、実験を終了した。一方、再現に失敗した場合には、トリック推測課題に戻り推測を行った。以上の手続きを最大60分を限度に繰り返した。各課題の内容を以下に述べる。

#### 4.1.1 トリック推測課題

トリック推測課題では、被験者はスリーカードモンテの動画を繰り返し視聴し、そのトリックの推測を行った。なお、動画全体を1回視聴することをもって1試行とする。課題中、スリーカードモンテの各操作毎に動画が自動的に一時停止され、トリックの理解度を測定する2つのテストが行われた。

ターゲット位置テストはその時点でターゲットがどこにあるかを回答するものである。このテストは各操作の入出力関係についての理解がどのように進んでいくのかを検討するために行われた。

トリック有無評定は直前に再生された操作がトリックであるか否かを評定するものである。直前に再生された操作が絶対にトリックだったと思う場合は 9、絶対にトリックではなかったと思う場合は 1 というように 9 段階で回答する。このテストは odd subsystem を特定していく過程を検討するために行われた。

#### 4.1.2 手順再現課題

この課題は原因同定の成否を判定するために行われた。この課題では、被験者は、動画を視聴しながら実際にカードを用いてスリーカードモンテの手順を再現した。

### 4.2 被験者

大学生 20 名が本実験に参加した。

### 4.3 結果と考察

#### 4.3.1 ターゲット位置テスト

トリックを推測する過程でターゲットの位置の特定がどのように進むのかを明らかにするため、ターゲット位置テストの結果を基に、ターゲット位置特定試行を以下のように定義した。

**ターゲット位置特定試行:** ある操作直後のターゲット位置テストに対して、それ以降の試行で全て正解の位置を選択した最初の試行

この定義に基づき、最終的に全てのターゲット位置テストに正解することができた 18 名の被験者について、ターゲット位置特定試行を求めた。各被験者のターゲット位置特定試行を区間毎に平均し、比較したものが図 3 である。分散分析を行った結果、各区間でのターゲット位置特定試行の差が有意だった ( $F(4,68) = 5.13; p < .005$ )。多重比較を行ったところ、FL 直後のターゲット位置特定試行のみが他の 4 区間に比べて有意に遅かった。また、FR から SH3 の区間のターゲット位置特定試行の差はいずれも有意ではなかった。

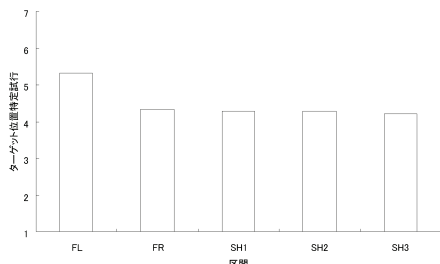


図 3: ターゲット位置特定試行

この結果から、ターゲット位置の推測がマジックの手順を後ろから遡る形で行われたことが示唆される。本実験で用いたスリーカードモンテの場合、被

験者は動画の最初と最後でターゲットの位置を知ることができる。動画の最初で得られるターゲットの位置を基にして、手順に沿って推測が行われる場合、FL 直後のターゲット位置を特定しなければ FR 以降のターゲット位置を特定することはできない。この場合、手順後半のターゲット位置特定試行は FL と同じか、それより遅くなる。一方、手順の最後で提示される予期しないターゲットの位置を基に推測を行う場合、FL 直後のターゲット位置を特定することができなくても、FR 以降のターゲット位置を特定することが可能になる。

このような、ターゲットの最終的な位置を基に手順を遡って推論を行う方略を、本研究では**確定情報に基づく推論方略**と呼ぶ。予期しない現象の結果を基に推論を行うという点で、確定情報に基づく推論はヒューマンエラーからの回復時に見られる backward analysis [2] と同形の方略であるといえる。この方略を用いることで、FL 直後のターゲット位置を特定できなくても、他の多くのサブシステム入出力関係を特定できる。このことから、確定情報に基づく推論はスリーカードモンテのトリックを推測する上でクリティカルな方略であると考えられる。

#### 4.3.2 トリック有無評定

続いて、トリック推測の過程で odd subsystem の特定がどのように行われるのかについて検討する。

FL, FR についてのトリック有無評定値の履歴を比較したものが図 4 である。このグラフから、FL, FR におけるトリック有無評定値が試行が進むとともに増大していることが確認される。これは試行とともにトリックが行われた箇所が徐々に絞り込まれていく過程を示すものである。これより、トリックが行われた箇所（すなわち odd subsystem）の絞込みの難易度が原因同定に関わる要因であることが示唆される。

### 4.4 第 1 実験のまとめ

予期しない現象の原因同定過程において、以下の活動が見られた。

- 確定情報に基づく推論
- Odd subsystem の絞込み

これらを容易に行うことができれば原因同定のパフォーマンスは向上し、逆に、困難であればパフォーマンスは低下することが予想される。

## 5 第 2 実験: 原因同定に影響する要因の検討

第 1 実験の結果から抽出された原因同定に影響する 2 要因について、これらを行う際の難易度を操作することで、各要因が原因同定に与える影響を検討した。

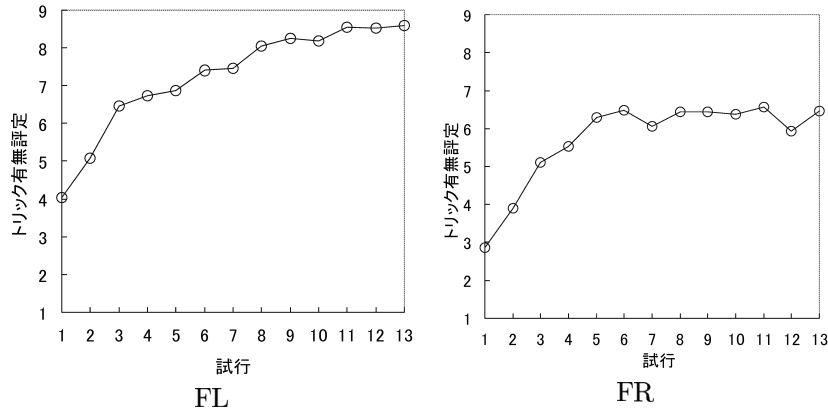


図 4: トリック有無評価値の履歴

## 5.1 要因操作

提示する動画の内容により、確定情報に基づく推論と odd subsystem の絞込みを行う際の難易度をそれぞれ容易/困難の 2 水準で操作し、 $2 \times 2$  の 4 条件を設けた。各要因の具体的な操作方法を以下に述べる。

### 5.1.1 確定情報に基づく推論の難易度

確定情報に基づく推論の難易度は動画終端におけるターゲット位置のフィードバックの有無によって操作した。確定情報に基づく推論が容易な水準では、動画終端ですべてのカードが開かれ、ターゲットの位置が被験者にフィードバックされる（確定情報あり水準）。一方、困難な水準では、「一般的な解釈に従うと、そこにターゲットがあるように思われる位置」のカードだけを開くこととした（確定情報なし水準）。確定情報なし水準でも、予想した位置にターゲットが存在しないため、被験者は予期しない現象を確認することはできない。しかし、推論の起点になる確定情報（ターゲットの最終的な位置）を得ることができないため、確定情報に基づく推論を行うことは困難になると予想される。

### 5.1.2 Odd subsystem の絞込みの難易度

Odd subsystem の絞込みの難易度は SH1 から SH3 の見た目によって操作する。絞込みが容易な水準では、トリックではないことが明白な、非常に単純な方法で shuffle を行う（絞込容易水準）。困難な水準では、実際にはトリックは行わないが、いかにもトリックが行われているかのように見える方法で shuffle を行う（絞込困難水準）。両水準では、shuffle の見た目は全く異なるが、その操作がもたらす結果は同一（カードの左右位置が入れ替わる）である。しかし絞込困難水準では、トリックが行われた箇所を FL と FR に絞り込むことが困難になると予想される。

## 5.2 手続き

トリック推測課題と手順再現課題が被験者に課された。各課題の内容は第 1 実験と同様である。

ただし、第 1 実験ではトリックの推測に成功した場合にのみ手順再現課題が行われたが、本実験で

はトリック推測課題 4 試行毎に手順再現課題が実施された。ここで再現に成功した場合は実験を終了した。一方再現に失敗した場合にはトリック推測課題に戻り、4 試行後に再度手順再現課題を実施した。トリック推測課題は最大 12 試行を限度に繰り返された。

## 5.3 被験者

大学生 64 名が実験に参加した。参加者は  $2 \times 2$  の 4 条件に均等に配置された。

## 5.4 結果と考察

### 5.4.1 手順再現課題

手順再現課題に成功するまでに要した試行数を基に、各被験者のパフォーマンスを比較したものが図 5 である。

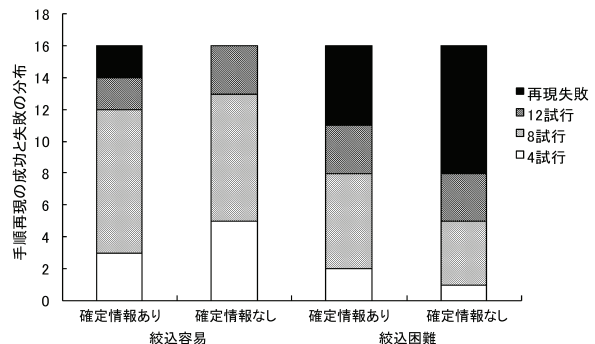


図 5: 手順再現課題のパフォーマンス

ある時点で、既に手順再現課題に正答している参加者を既正答者とし、同じく、正答していない参加者を未正答者とする。

第 4 試行、第 8 試行、第 12 試行の手順再現課題後における、絞込容易水準と絞込困難水準それぞれの既正答者数および未正答者数を表 1 に示す。

直接確率計算によって、各試行における絞り込みの難易度と手順再現課題の成否との独立性を検定した。この結果、両者の関連は第 4 試行においては有意ではなかったが ( $p = .18$ )、第 8 試行および第 12 試行においては有意だった ( $p < .005$ ;  $p < .005$ )。

同様に、確定情報あり水準と確定情報なし水準それぞれの既正答者数と未正答者数を表 2 に示す。

表 1: 手順再現課題のパフォーマンスと絞込みの難易度の関係

	第 4 試行		第 8 試行		第 12 試行	
	既正答者	未正答者	既正答者	未正答者	既正答者	未正答者
絞込容易	8	24	25	7	30	2
絞込困難	3	29	13	19	19	13

表 2: 手順再現課題のパフォーマンスと確定情報の関係

	第 4 試行		第 8 試行		第 12 試行	
	既正答者	未正答者	既正答者	未正答者	既正答者	未正答者
確定情報あり	5	27	20	12	25	7
確定情報なし	6	26	18	14	24	8

直接確率計算によって、各試行における確定情報の有無と手順再現課題の成否との独立性を検定した。この結果、両者の関連は第 4, 第 8, 第 12 試行のいずれにおいても有意ではなかった ( $p = 1.0; p = .80; p = 1.0$ )。

以上の結果は、原因同定の成否には絞込みの難易度は影響するが、確定情報に基づく推論の難易度は、予測に反して、影響しないことを意味する。

#### 5.4.2 ターゲット位置特定試行

確定情報に基づく推論の難易度が原因同定パフォーマンスに影響しなかった原因について、ターゲット位置特定試行に着目して考察する。第 1 実験と同じ方法でターゲット位置特定試行を計算し、各条件のパターンを比較したものが図 7 である。

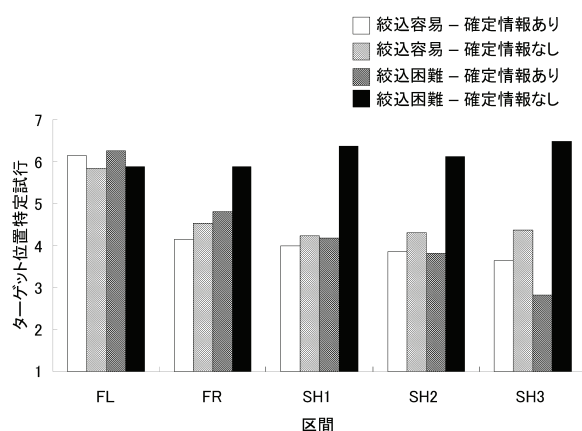


図 7: ターゲット位置特定試行

ターゲット位置特定試行について確定情報に基づく推論の難易度、odd subsystem の絞込みの難易度、区間の 3 要因分散分析を行ったところ、2 次の交互作用が有意だった ( $F(4, 168) = 2.47, p < .05$ )。

2 次交互作用が有意だったため、各条件毎に区間の単純・単純主効果の検定を行った。この結果、絞込容易 - 確定情報あり、絞込容易 - 確定情報なし、絞込困難 - 確定情報ありの各条件では、区間の単純・単純主効果が有意だった ( $F(4, 168) = 7.17, p < .001; F(4, 168) = 3.14, p < .05; F(4, 168) = 11.43, p < .001$ )。一方、絞込困難 - 確定情報なし条件では、区間の単純・単純主効果は有意ではなかった ( $F(4, 168) = 0.57, p > .6$ )。

区間の単純・単純主効果が有意だった 3 条件について、多重比較を行った。絞込容易 - 確定情報あり条件では、FL 直後のターゲット位置特定試行が他

の 4 区間よりも有意に遅く、また FR 以降のターゲット位置特定試行には差はなかった。これは、実験 1 の結果を追認する結果である。同様に、絞込容易 - 確定情報なし条件においても、FL 直後が他よりも有意に遅く、FL を除く 4 区間では差はなかった。絞込困難 - 確定情報あり条件でも、FL 直後の確信試行が他の区間よりも有意に遅かった点は上の 2 条件と同じであった。またこれに加えて、この条件では、FR 直後と SH3 直後のターゲット位置特定試行の差も有意だった。

確定情報あり水準内ではいずれの条件も、FL 直後のターゲット位置特定試行よりも他の区間のそれらのほうが有意に早かった。この結果は、第 1 実験同様、ターゲット位置の推測がターゲットの最終的な位置の情報に基づいて行われたことを示唆するものである。

一方、絞込み困難 - 確定情報なし条件では、各区間のターゲット位置特定試行に有意な差はなかった。この条件では、動画終端においてターゲットの位置がフィードバックされない。このため手順を後ろから遡る推論方略を採ることができず、その結果、動画の最初に提示されるターゲット位置を基にした推論方略が採用されたと考えられる。

しかし、絞込容易 - 確定情報なし条件では、ターゲットの最終的な位置がフィードバックされなかったにもかかわらず、確定情報あり水準と非常に良く似た傾向が見られた。すなわち、動画の終端で確定情報が得られないにもかかわらず、FL 直後のターゲット位置確信試行より他の区間のそれらの方が有意に早かった。

このような結果が得られた原因として、仮説演繹的な推論が行われたことが考えられる。絞込容易 - 確定情報なし条件で提示される動画では、ターゲットの最終的な位置はフィードバックされないが、絞込困難 - 確定情報なし条件とは異なり、SH1 から SH3 の区間にトリックが無いことが明白である。したがって、FR 直後のターゲット位置を仮定できれば、以降の区間でもターゲットを追従することが可能になる。

実際に、絞込容易 - 確定情報なし条件の被験者が、FR 直後で中央のカードがターゲットだと答えた理由として、ターゲット位置の仮定と仮定に基づく推論を行っていたことを事後インタビューの中で明らかにしている。以下にその一例を示す。この事例では、(1) 対立仮定、(2) 仮定、(3) 推論 (演繹)、(4) 帰結および矛盾検出、(5) 仮定の否定・対立仮定の採用、という推論過程が確認される。なお、FR 直

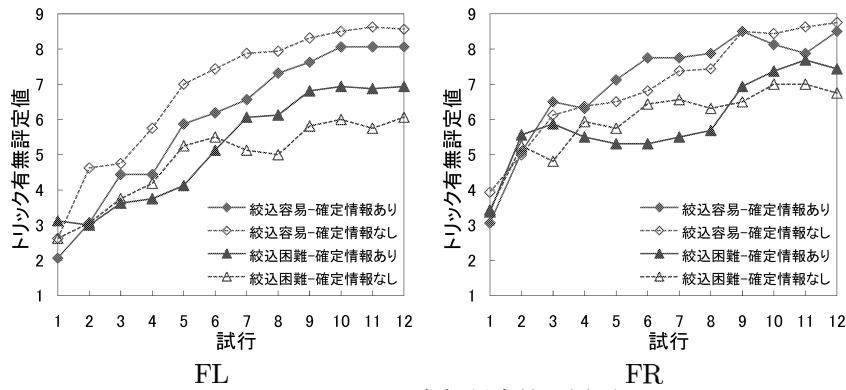


図 6: トリック有無評定値の履歴

後は中央のカードがターゲットである。

“真ん中ですか<sup>(1)</sup>……左に持ってくと<sup>(2)</sup>  
 その後の操作をずーっと順々にやってくと<sup>(3)</sup>、  
 絶対的に、めくるカードが、ターゲットカード  
 になっちゃう<sup>(4)</sup> から、逆説的に考えて、  
 真ん中しかありえないだろうと<sup>(5)</sup>。”

このような、推論の起点となる確定情報が得られない場合に起点情報を仮定して推論を行う方略を**仮定情報に基づく推論**と呼ぶ。

### 5.4.3 トリック有無評定

続いて、トリック推論の過程で odd subsystem の特定がどのように行われるかについて検討する。

各条件毎の FL, FR についてのトリック有無評定値の履歴を比較したものが図 6 である。なお、第 4 試行、または第 8 試行で実験を終了した被験者については、それ以降の試行におけるトリック有無評定値は正解値によって第 12 試行まで外挿した(評定値: 9)。各区分において、第 4 試行、第 8 試行、第 12 試行の平均トリック有無評定値について、3 要因(確定情報に基づく推論, odd subsystem の絞込み, 試行)の分散分析を行った。FL の区分では、odd subsystem の絞込み難易度の主効果と試行の主効果が有意だった ( $F(1, 60) = 7.03, p < .05$ ;  $F(2, 120) = 36.44, p < .001$ )。また、FR の区分でも、FL と同様に、絞込みの難易度の主効果と試行の主効果が有意だった ( $F(1, 60) = 9.92, p < .005$ ;  $F(2, 120) = 11.87, p < .001$ )。

この結果からも、odd subsystem の絞込みの難易度がトリックの有無評定に影響を及ぼす一方で、確定情報に基づく推論の難易度は影響を与えていないことが確認された。

## 5.5 第 2 実験のまとめ

本実験では、予測に反して、確定情報に基づく推論の難易度は再現課題のパフォーマンスに影響しなかった。これは仮定情報に基づく推論方略を考えることで説明される。

当初、確定情報に基づく推論が困難になる確定情報なし水準では、確定情報あり水準より再現課題のパフォーマンスが低くなると予想された。これは、確定情報なし水準では、システム内部の中間状態を

推測する起点となる確定情報が得られないためである。このため、各サブシステムの入出力関係を確定することができず、結果、サブシステム内で行われる処理を同定することが困難になると予想した。

しかし実際には、上で述べたように、我々はある時点のシステム内部の状態を仮定することにより、仮説演繹的にサブシステムの入出力を仮定することが可能である。これにより、確定的な情報が得られなくても、システムの中間状態を推測するための推論の起点を得ることができる。このような仮定情報に基づく推論方略を用いることで、確定情報が得られなかった絞込容易 - 確定情報なし条件でも、高い再現パフォーマンスを達成できたものと考えられる。

## 6 まとめ

本研究では、予期しない現象の原因同定に影響する要因について、実験的な検討を加えた。

第 1 実験では、原因同定の過程を観察することで、原因同定に影響する要因を抽出することを試みた。その結果、原因同定に影響する要因として、以下の 2 点が抽出された。

- 確定情報に基づく推論
- Odd subsystem の絞込み

第 2 実験では、これらの要因を統制し、各要因が原因同定に影響する要因についてより詳細な検討を加えた。その結果、Odd subsystem の絞込みの難易度は原因同定パフォーマンスに影響するが、確定情報に基づく推論の難易度は、予想に反して、原因同定に影響しなかった。このような結果が得られた原因として、仮定情報に基づく推論が行われた可能性が示唆される。

今後の課題としては、仮定情報に基づく推論を取り出せるような状況を作り、この方略についてさらなる検討を加えることが考えられる。

## 参考文献

- [1] Reason, J.: Human Error, 林喜男監訳, ヒューマンエラー — 認知科学的アプローチ, 海文堂出版, (1994)
- [2] Rizzo, A., Ferrante, D., and Bagnara, S.: Handling Human Error. In P. C. Cacciabue, J.-M. Hoc, and E. Hollnagel (Eds.), Expertise and Technology: Issues in Cognition and Human-Computer Cooperation, chap. 14, pp. 195-223, Lawrence Erlbaum, (1994)