

マジック課題を用いた予期しない現象の原因同定過程の分析

寺井 仁・三輪 和久・柴田 恭志

When a system gives outputs that you do not predict, you regard those as unexpected events and try to identify the causes affecting those events. In this study, we try to understand how people identify the causes affecting unexpected events by using a card magic called the three card monte as an experimental material. In our experiments, the participants were required to find out the tricks by watching a video in which a magician plays the magic. We focused on two clues related to cause identification. The first is distinctiveness of events; and the second is availability of feedback information. The results of the experiments showed that the distinctiveness of events affected the performance of cause identification, whereas the availability of feedback information did not. The process analyses revealed that even if feedback information was not directly given, the participants could perform reasoning for cause identification based on hypothetical information not observed.

Keywords: cause identification (原因同定), troubleshooting (トラブルシューティング), magic trick (マジック), unexpected events (予期しない現象)

1. はじめに

1.1 マジックにおける問題解決

本研究では、マジック（手品）のトリックを解決するプロセスを題材に、予期しない現象の原因を同定する過程を実験的に検討する。

マジックがマジシャンにより実演されると、多くの観客は常識に反する結果を目の当たりにし、その結果を生み出した原因を探り出そうと試みることになる。一見自明だと思われていた現象に対して期待通りの結果が得られず、問題解決が求められる状況は、マジックという非日常的な状況に限られるものではない。トラブルシューティングや診断課題等を内包する日常的な問題解決の多くは、（1）常識的に考へて自明だと思われていた予測が覆され、（2）予期しない現象としてそれが認識され、（3）その解決が求められる、といった一連の段階から構成される。

このようなマジックのトリックを明らかにしようとするプロセスには、様々な問題解決のプロセスが関与していることが予想される。具体的には、観察された証拠に基づくトリックの推測や、逆にトリックを仮定した上で、それに基づく証拠の探索など、帰納推論や仮説演繹的推論をはじめとする多様な推論を通して、原因の同定が進められると考えられる。

そこで、本研究では、マジックの解決プロセスの理解を通して、人が予期しない現象の原因をどのように同定していくのかについて、実験的に明らかにすることを目指す。

1.2 マジック課題

1.2.1 スリーカードモンテ

マジックは「常識に反する不思議な現象を人工的に作り出して見せるわざ」であり（中村, 1997），

An Experimental Study on Process of Identifying of Unexpected Events by Using a Magic Trick Task, by Hitoshi Terai (Graduate School of Information Science, Nagoya University / CREST, JST), Kazuhisa Miwa (Graduate School of Information Science, Nagoya University), and Hisashi Shibata (Graduate School of Information Science, Nagoya University).

TV番組をはじめ目にする機会も多く、多くの人になじみのある娯楽である。マジックでは、マジシャンは観客にとって身近なモノ（カードやコイン等）を用い、常識に反する現象を作り出すためにトリックに代表される様々なテクニックを用いる。トリックの存在により、観客は、一見自明に思われる予測が的外れであることを知ると共に、結果を目の当たりにした後も、その原因について見当がつかないという状況を体験することになる。

本研究では、古くから親しまれており、多くの人にとってなじみの深いカードマジックを対象とした。実験で用いたカードマジックは、「スリーカードモンテ」と呼ばれる、3枚のカードの中から目的のカードの位置を当てるゲーム形式のマジックである。

3枚のカードの内訳は、同一のカード2枚（「ディストラクタ」と呼ぶ）と異なるカード1枚（「ターゲット」と呼ぶ）である（例えば、ディストラクタとして白いカード2枚とターゲットとしてスペードのエース1枚を用いる）。観客は、マジシャンによって混ぜられ、そして、最後に裏返しで並べられたこれら3枚のカードの中から、ターゲットの場所を指し示すことが求められる。ここで行われるカードの入れ替えは、一見するとターゲットの位置を容易に追従することができそうな、簡単な操作の組み合わせである。しかし実際には、これらの複数の操作の一部にトリックが含まれている。このため、観客はここ以外にありようがないという場所を指し示すが、カードが開かれると、指し示した位置とは異なる位置からターゲットが現れ、その予想は裏切られる（具体的なスリーカードモンテのカード操作に関しては、Appendix Aを参照）。

スリーカードモンテの流れを図1に示す。マジシャンのカード操作は5つの操作からなり、最初の操作（TR1）におけるトリックの存在が容易に認識されないように、予想通りのカードの移動がなされていると錯覚させるため、続く操作（TR2）においても異なるトリックが用いられている。その結果、最終的にカードが開かれたとき、観客が予想した場所とは異なる場所にターゲットが現れる結果となる。このように、本研究で用いたスリーカードモンテでは、前半に行われる2つのトリックの存在により、予期しない現象の原因同定が困難になる状況が再現されている。一方、後半の3回の操作（SH1～SH3）は単純なカードの入れ替え操作（シャッフル）

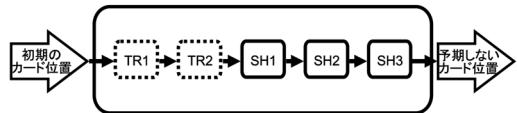


図1 スリーカードモンテの流れ

スリーカードモンテは5つのカード操作からなる。この内、TR1およびTR2にはトリックが含まれており、SH1～SH3では単純なカードの移動のみが行われる。

となっている。なお、以降では、TR1～SH3の5つの操作それぞれを、「区間」と呼ぶ。

1.2.2 原因同定を支える手がかり情報

問題解決における推論のプロセスでは、知覚的な手がかり情報の重要性が指摘されている (Besnard & Cacitti, 2001)。例えば、Chi, Feltovich, and Glaser (1981) では、物理学の問題解決を対象に、専門家は物理法則に基づいて問題を構成化するのに対して、初学者である学生は、問題に含まれる対象それ自身やその物理的な配置に焦点を当てる傾向にあることが示されている。また、Zajchowski and Martin (1993) による初等物理学を対象にした、既存知識と問題解決の関係を検討した研究においても、学習が進んでいない初学者の知識は、明確に認識できる知覚的な問題の特徴をもとに、構造化され、利用されていることが示されている。

一方、知覚的な手がかり情報に加え、問題からフィードバックされる情報もまた、推論を進める上で重要な鍵となる。例えば、トラブルシューティングにおいては、結果として表れた症状を起点として、そこから欠陥に向かって推論が進められることが知られている (Besnard & Cacitti, 2001)。また、ヒューマンエラーの研究においても、エラーによって生じた結果をもとに以前の行動をたどることでエラーを同定していることが知られている (Rizzo, Ferrante, & Bagnara, 1994)。

これらの先行研究から、予期しない現象を経験する状況では、(1) 知覚的な手がかり情報と(2) 予期しない現象の結果としてフィードバックされる情報が、原因同定において本質的な情報であると考えられる。本研究が予期しない現象を経験する状況として取り上げた、マジックを観察する状況においても、実際に、観客はこれら2つに対応する情報を得ている。一方は、マジシャンが行う操作の知覚的な弁別性であり（以降、「弁別性」と呼ぶ）、他方は、

マジシャンからフィードバックされる確定された情報である（以降、「確定情報」と呼ぶ）。

本研究で用いるスリーカードモンテでは、カード操作の見た目によって、トリックの有無についての識別の容易さが変化し、これが「弁別性」に対応する。一方、「確定情報」は、スリーカードモンテの最初と最後にマジシャンから示されるカードの位置情報に対応する。

1.3 目的

本研究では、マジックの解決プロセスを実験的に扱うことにより、予期しない現象の原因同定における推論のプロセスに対して、手がかり情報としての「弁別性」および「確定情報」が与える影響について検討を行う。

2. 実験 1

本実験では、以下の 2 つの仮説のもと、「弁別性」および「確定情報」が原因同定に与える影響について検討を行った。

仮説 1 「弁別性」をもとに、どの操作にトリックが含まれているのかについて見当を付けつつ（以降、これを「原因の絞込」と呼ぶ）、原因同定が進められる

仮説 2 「確定情報」を起点として、ターゲットの追跡を行い（以降、これを「確定情報に基づく推論」と呼ぶ）、原因同定が進められる

2.1 方法

2.1.1 実験参加者

大学生 64 名が実験に参加した。

2.1.2 要因操作

参加者には、マジシャンが演じるスリーカードモンテの映像が実験刺激（後述）として提示され、その映像内で、「弁別性」の高/低、および「確定情報」の有/無のそれぞれ 2 水準の操作が行われた。

各要因の具体的な操作方法を以下に示す。

「弁別性」の操作

「弁別性」は SH1 から SH3 の見た目によって操作した。「弁別性」が高い水準では、トリックではないことが明白な、単純な方法で SH の操作が行われた（弁別性高水準）。一方、「弁別性」が低い水準では、実際にはトリックは行われないが、トリックが

行われているかのように見える方法で SH の操作が行われた（弁別性低水準）。両水準では SH の見た目は異なるが、その操作がもたらすカード位置の入れ替わりの結果は同一である。しかし、弁別性低水準では、5 つの操作の中からトリックが行われた箇所を絞り込むことが困難になることが予想される。

「確定情報」の操作

「確定情報」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」が有る水準では、動画終端で 3 枚すべてのカードが開かれ、ターゲットの位置がフィードバックされた（確定情報有水準）。一方、「確定情報」が無い水準では、「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 1 枚だけを開くこととした（確定情報無水準）。そこで観察されるカードは、ディストラクタである。確定情報無水準でも、予想した位置にターゲットが存在しないため、当初の予測とは異なる不合理な現象を体験することができる。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、推論を進めることが困難になると予想される。

以上のように、本実験では、実験参加者間で、「弁別性」2 水準および「確定情報」2 水準の要因操作を行い、計 4 条件を設け、参加者 64 名を均等に配置した。

2.1.3 実験刺激

以下で述べるように、スリーカードモンテの手順再現を原因同定パフォーマンスの指標として用いるため、手順再現時に左右方向の混乱が生じないように、スリーカードモンテの映像刺激は、マジシャン側から撮影されたものが使用された。

ターゲットにスペードのエース、ディストラクタにブランクカード（表に何も印刷されていないカード）を用いて、スリーカードモンテの映像刺激が作成された。条件毎の映像刺激を作成するため、各条件に共通の TR1～TR2 の区間、弁別性高水準に対応する SH1～SH3 の区間、弁別性低水準に対応する SH1～SH3 の区間の 3 つ映像が用意された。加えて、確定情報有/無水準に対応するように、前述の SH1～SH3 の終端部分をカットした映像が用意された。これらのを組み合わせることにより、4 つの実験条件に対応した映像刺激が作成された（表 1）。

表1 実験刺激

実験条件		動画の流れ					
弁別性	確定情報	TR1	TR2	SH1	SH2	SH3	フィードバック
高	有	同一	同一	単純	単純	単純	すべてのカードを開く
	無						一般的な解釈に従うと、そこにターゲットカードがあると思われるカードのみ開く
低	有			複雑	複雑	複雑	すべてのカードを開く
	無						一般的な解釈に従うと、そこにターゲットカードがあると思われるカードのみ開く

2.1.4 手続き

実験は参加者毎に個別に行われ、実験の様子は全てビデオカメラで記録された。実験開始前に、実験課題の内容、およびプロセス分析のために課題中で行われる各質問（2.1.5 節に示す）に対する回答方法についての説明が、参加者に対して行われた。この中で、課題の内容として以下の 2 点が伝えられた。

- マジックが実演されている動画を見て、そのトリックを推測すること
 - ターゲットがどこにあるかを当てること
- なお、マジックの中にいくつトリックが含まれた箇所が存在するのかについては、参加者には明示されておらず、それも含めて、明らかにする事が求められた。

説明後、実験課題が実施された。実験刺激の提示にはデスクトップ型 PC (DELL PRECISION 360) および 18 インチ液晶ディスプレイ (DELL 1800FP) を使用した。実験が開始されると、以下の手順で課題が進められた。なお、実験の所要時間は最短約 40 分、最長約 80 分だった。

- (1) 1 区間のカードの入れ替え操作の映像刺激を提示。
- (2) 区間の最後でマジシャンの両手が一旦テーブルの下におろされ、映像刺激が一時停止。
- (3) プロセス分析のための 2 つのテストを実施 (2.1.5 節に示す)。
- (4) 5 つの区間にに対して、(1)～(3) を繰り返す。
- (5) 5 つの区間が終了すると、裏向きの 3 枚のカードの内、実験条件毎に対応するカードが開けられ、参加者に結果がフィードバックされる。
- (6) (1)～(5) を 1 試行として、4 試行繰り返す。
- (7) 4 試行終了後にパフォーマンス測定のためのテストを実施し、一定の基準を満たした場合に実験を終了する (2.1.6 節に示す)。基準を満

たしていない場合は、(1) に戻り、最大 12 試行繰り返す。

2.1.5 プロセス分析の指標

本実験では、プロセス分析の指標として、「トリック有無評定テスト」と「ターゲット位置テスト」が参加者に課せられた。両テストは、前述の通り、区間毎の映像刺激が一時停止された後に実施された。

トリック有無評定テスト

トリック有無評定テストを実施することにより、トリックが含まれている区間の特定がどのように進められていたかが明らかとなる。

参加者は、直前に再生された区間にに対して、トリックが含まれていたか否かについての確信度を 9 段階で評定した (1: “絶対にトリックは行われなかつた” ~ 9: “絶対にトリックが行われた”)。具体的には、画面上に質問文及び上記の選択肢が表示され、参加者は該当するボタンをマウスでクリックすることにより回答を入力した。

ターゲット位置テスト

トリック有無評定テストと同時に、ターゲット位置テストを実施することにより、各区間においてターゲットの推定がどのように進められていたのかが明らかとなる。

このテストでは、参加者はターゲットの位置を「左側」、「中央」、「右側」、「わからない」の選択肢から回答した。この質問もトリック有無評定テストと同様、画面上に質問文および選択肢が表示され、参加者は該当するボタンをクリックすることで回答を入力した。

両テストが終わると、画面に再生ボタンが表示され、参加者がこれをクリックすることで動画の継続が再生された。なお、両テストが行われる間、一時停止状態の動画は常に画面上に表示されていた。

2.1.6 パフォーマンス測定の指標

原因同定のパフォーマンスを測定するため、4 試行終了する毎に「手順再現テスト」が実施された。手順再現テストでは、参加者に再度刺激映像が提示され、1 区間終了する毎に、動画と同じカードを用いてカード操作の手順を再現することを求めた。なお、刺激映像が再生されている間、参加者がカードに触ることは許可されなかった。

手順再現の評価は、それぞれの区間の操作について、一定の基準を設け (Appendix B を参照)、実験者がその場で判定を行った。なお、マジシャンが片手で行っている操作を両手を用いて再現した場合も、基準が満たされていれば成功と見なした。すべての区間でその基準を満たす操作を行った場合に再現成功と判定し、実験を終了した。手順再現が失敗した場合には、引き続き、実験が続行された。

2.2 結 果

2.2.1 手順再現テスト

手順再現テストに成功するまでに要した試行数を図 2 に示す。図から、「弁別性」が大きく影響している一方で、「確定情報」の影響はほとんど見られないことが確認される。

以上の結果をもとに、「弁別性」(高、低)、「確定情報」(有、無)、および「試行数」(序盤 4 試行、中盤 4 試行、終盤 4 試行) と手順再現テストの正答と未正答の関係について、対数線形モデルによる分析を行った (表 2)。正答・未正答に対する各要因の主効果および要因間の交互作用を仮定したモデルを検討したところ、 χ^2 乗統計量および AIC から「弁別性」と「試行数」の 2 つの主効果からなるモデル (表 2 のハイライト部分) が、正答者・未正答者の分布をよく表すモデルであることが確認された。この結果から、仮説 1 が支持される一方、仮説 2 が棄却された。

仮説 1 が支持された一方、仮説 2 が棄却された原因について、以下では、トリックの絞込およびターゲットの確定のプロセスから検討を行う。

2.2.2 トリック有無評定テスト

各条件間でのトリックの絞込のプロセスの差異を明らかにするため、手順再現テストを行うまでの 4 試行ずつを序盤 (1~4 試行)、中盤 (5~8 試行)、終盤 (9~12 試行) に分け、各区間におけるトリック

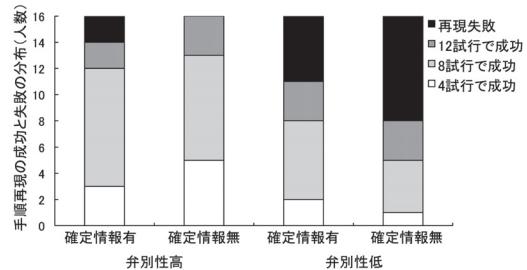


図 2 手順再現テストのパフォーマンス

表 2 対数線形モデルによる分析結果

モデル	χ^2 乗統計量	自由度	p	AIC
飽和モデル	0	0	1	0
弁別 × 確定、試行	8.40	12	0.59	-15.60
弁別 × 試行、確定	5.57	10	0.79	-14.43
確定 × 試行、弁別	10.66	10	0.21	-9.34
弁別 × 確定	55.61	14	0.00	27.61
弁別 × 試行	5.65	11	0.85	-16.35
確定 × 試行	26.06	11	0.00	4.06
弁別、確定、試行	11.43	14	0.48	-16.57
弁別、試行	11.59	15	0.55	-18.41
確定、試行	27.07	15	0.01	-2.93
弁別、確定	58.18	16	0.00	26.18
弁別	58.26	17	0.00	24.18
確定	69.36	17	0.00	24.18
試行	27.24	16	0.02	26.18

※弁別:弁別性、確定:確定情報、試行:試行数

※※上記モデルの列において、単独での表記はその主効果を、 $A \times B$ の表記は交互作用を含んだモデルであることを表している。

ク有無評定テストの評定平均値の比較を行った (図 3)。なお、第 4 試行後または第 8 試行後に実験を終了した (手順再現に成功した) 参加者のデータは正解評定値 (TR1, TR2 においては 9, SH1 から SH3 においては 1) によって外挿した。

各区間にに対して、トリック有無評定値について、3 要因混合 (弁別性: 高/低、確定情報: 有/無、試行数: 序盤/中盤/終盤) の分散分析を行った。分散分析の結果を表 3 に示す。すべての区間において、「弁別性」と「試行数」の主効果が有意であり、「確定情報」の主効果は有意ではなかった。これに加えて、SH1~SH3 において、「弁別性」と「試行数」の交互作用が有意だった。SH1~SH3 の区間においては、弁別性高水準のトリック有無評定値は、試行数に関係なく一貫して低く、一方、弁別性低水準では、課題開始時の高いトリック有無評定値が試行数の増加と共に徐々に減少していた。

以上の結果から、トリックの絞込のプロセスに「弁別性」が影響を与えている一方、「確定情報」の

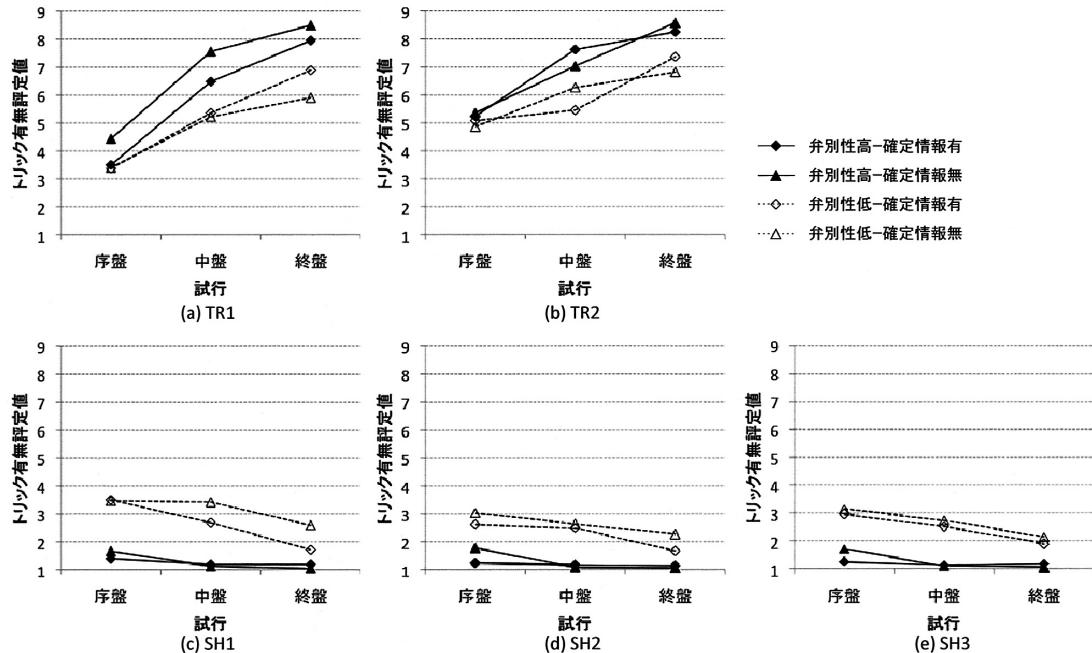


図 3 トリック有無評定値の推移

表 3 トリック有無評定値の分散分析の結果

主効果	弁別性		試行数
	確定情報		
TR1	$F(1, 60) = 5.79, p < .05$	$F(1, 60) = 0.18, ns$	$F(2, 120) = 77.33, p < .01$
TR2	$F(1, 60) = 7.89, p < .01$	$F(1, 60) = 0.00, ns$	$F(2, 120) = 44.40, p < .01$
SH1	$F(1, 60) = 58.15, p < .01$	$F(1, 60) = 1.67, ns$	$F(2, 120) = 15.66, p < .01$
SH2	$F(1, 60) = 46.12, p < .01$	$F(1, 60) = 2.06, ns$	$F(2, 120) = 14.53, p < .01$
SH3	$F(1, 60) = 38.50, p < .01$	$F(1, 60) = 0.54, ns$	$F(2, 120) = 16.13, p < .01$

2次の交互作用	1次の交互作用			
	弁別性 × 確定情報	弁別性 × 試行数	確定情報 × 試行数	
TR1	$F(1, 60) = 1.13, ns$	$F(2, 120) = 2.72, ns$	$F(2, 120) = 0.91, ns$	$F(2, 120) = 0.14, ns$
TR2	$F(1, 60) = 0.00, ns$	$F(2, 120) = 2.50, ns$	$F(2, 120) = 0.08, ns$	$F(2, 120) = 2.30, ns$
SH1	$F(1, 60) = 1.37, ns$	$F(2, 120) = 5.41, p < .01$	$F(2, 120) = 0.36, ns$	$F(2, 120) = 2.61, ns$
SH2	$F(1, 60) = 0.54, ns$	$F(2, 120) = 3.29, p < .05$	$F(2, 120) = 1.80, ns$	$F(2, 120) = 1.50, ns$
SH3	$F(1, 60) = 0.07, ns$	$F(2, 120) = 4.46, p < .05$	$F(2, 120) = 0.62, ns$	$F(2, 120) = 0.98, ns$

影響は認められないことが確認された。

2.2.3 ターゲット位置テスト

次に、序盤、中盤、終盤において、ターゲット位置の特定ができた参加者の割合の変化を図 4 に示す。各要因がターゲット位置特定に及ぼす影響について、前述と同様、3 要因混合（弁別性：高/低、確定情報：有/無、試行数：序盤/中盤/終盤）の分散分析を行った（表 4）。

すべての区間において、「弁別性」と「試行数」の主効果が有意であり、TR1, TR2 および SH3 にお

いて「弁別性」と「試行数」ととの間に交互作用が認められた。これに加えて、SH3 において、「確定情報」の主効果、および「弁別性」と「確定情報」の間の交互作用が認められた。

「確定情報」が与えられる場合に比べ、与えられない場合において、ターゲット位置の特定が阻害されることが予想されたが、「確定情報」の影響が認められたのは SH3 のみであり、その影響は限定的であった。一方、すべての区間において、ターゲット位置の特定に対する「弁別性」の影響が認められた。

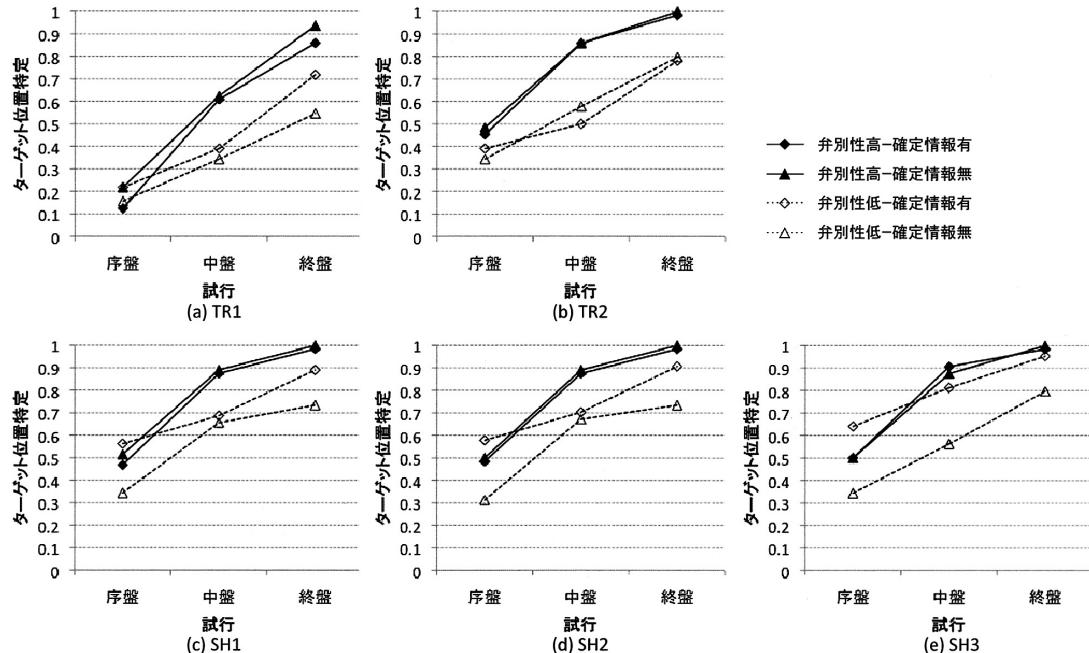


図 4 ターゲット位置特定の推移

表 4 ターゲット位置特定の分散分析の結果

主効果 弁別性	主効果 確定情報		試行数
	F(1, 60) = 4.89, p < .05	F(1, 60) = 0.04, ns	
TR1	F(1, 60) = 4.89, p < .05	F(1, 60) = 0.04, ns	F(2, 120) = 78.70, p < .01
TR2	F(1, 60) = 11.97, p < .01	F(1, 60) = 0.07, ns	F(2, 120) = 60.73, p < .01
SH1	F(1, 60) = 9.91, p < .01	F(1, 60) = 1.45, ns	F(2, 120) = 57.39, p < .01
SH2	F(1, 60) = 9.32, p < .01	F(1, 60) = 2.42, ns	F(2, 120) = 61.08, p < .01
SH3	F(1, 60) = 4.89, p < .05	F(1, 60) = 5.87, p < .05	F(2, 120) = 65.98, p < .01

2次の交互作用 弁別性 × 確定情報	1次の交互作用 弁別性 × 試行数		2次の交互作用 弁別性 × 確定情報 × 試行数
	弁別性 × 確定情報	試行数	
TR1	F(1, 60) = 1.07, ns	F(2, 120) = 5.72, p < .01	F(2, 120) = 0.22, ns
TR2	F(1, 60) = 0.00, ns	F(2, 120) = 3.22, p < .05	F(2, 120) = 0.15, ns
SH1	F(1, 60) = 3.15, ns	F(2, 120) = 2.46, ns	F(2, 120) = 0.50, ns
SH2	F(1, 60) = 3.62, ns	F(2, 120) = 1.91, ns	F(2, 120) = 1.04, ns
SH3	F(1, 60) = 5.37, p < .05	F(2, 120) = 3.18, p < .05	F(2, 120) = 0.62, ns

2.2.4 ターゲット位置特定とトリックの絞込の関連

これまでの分析を通して、「弁別性」の要因がトリックの絞込およびターゲットの位置特定に対して影響を与えてることが明らかとなった。一方、トリックの絞込とターゲット位置の特定がどのように関連しながら原因同定に至ったのかについては、明らかにされていない。

そこで、「ターゲット位置特定試行」を以下のように定義し、ターゲット位置の特定とトリック有無評定値の変化の関係について、条件間での比較を行っ

た（図 5）。

ターゲット位置特定試行：ある区間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。

本分析では、ターゲット位置特定試行とその直前の試行におけるトリック有無評定値を参加者毎に算出し、3要因分散分析（弁別性：高/低、確定情報：有/無、試行数：ターゲット位置特定前/後）を実施した（表 5）。その結果、トリックの存在しない SH1～SH3において、「弁別性」の主効果が確認された。また、「確定情報」の主効果は確認されず、

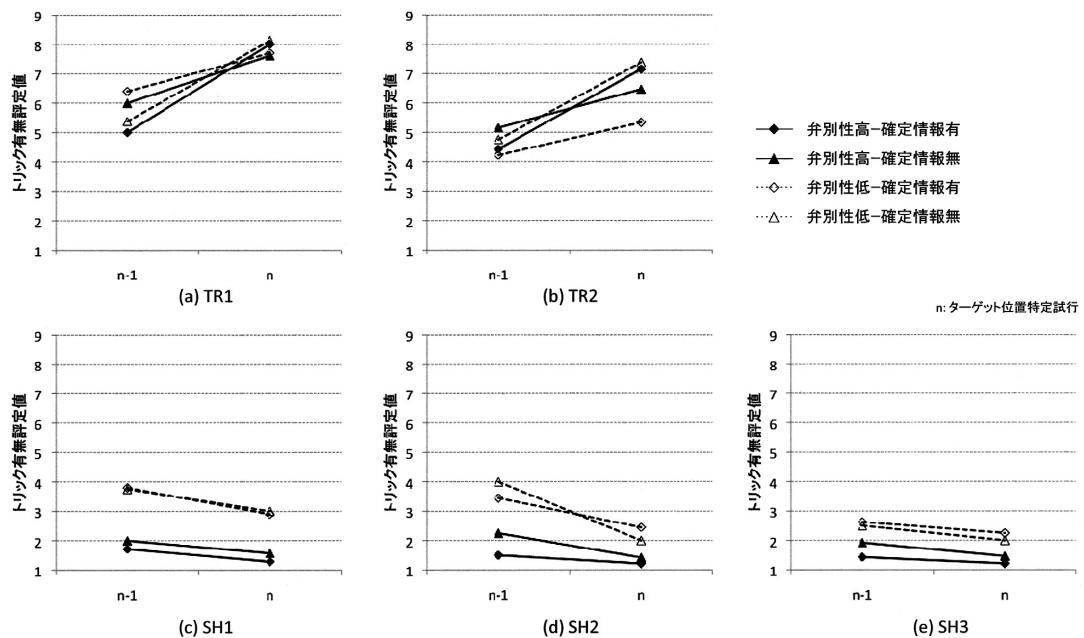


図5 ターゲット位置特定とトリック有無評定の関係

表5 ターゲット位置特定とトリック有無評定の関係に対する分散分析の結果

主効果		試行数	
弁別性	確定情報		
TR1	$F(1, 41) = 0.18, ns$	$F(1, 41) = 0.00, ns$	$F(1, 41) = 26.04, p < .01$
TR2	$F(1, 40) = 0.43, ns$	$F(1, 40) = 1.30, ns$	$F(1, 40) = 15.64, p < .01$
SH1	$F(1, 42) = 19.09, p < .01$	$F(1, 42) = 0.15, ns$	$F(1, 42) = 9.06, p < .01$
SH2	$F(1, 39) = 17.56, p < .01$	$F(1, 39) = 0.65, ns$	$F(1, 39) = 15.32, p < .01$
SH3	$F(1, 39) = 7.16, p < .05$	$F(1, 39) = 0.08, ns$	$F(1, 39) = 3.39, ns$

1次の交互作用		2次の交互作用	
弁別性 × 確定情報	弁別性 × 試行数	確定情報 × 試行数	弁別性 × 確定情報 × 試行数
TR1	$F(1, 41) = 0.28, ns$	$F(1, 41) = 0.11, ns$	$F(1, 41) = 0.00, ns$
TR2	$F(1, 40) = 1.22, ns$	$F(1, 40) = 0.02, ns$	$F(1, 40) = 0.00, ns$
SH1	$F(1, 42) = 0.10, ns$	$F(1, 42) = 0.90, ns$	$F(1, 42) = 0.03, ns$
SH2	$F(1, 39) = 0.40, ns$	$F(1, 39) = 3.19, ns$	$F(1, 39) = 2.16, ns$
SH3	$F(1, 39) = 0.79, ns$	$F(1, 39) = 0.05, ns$	$F(1, 39) = 0.19, ns$

「試行数」の主効果は SH3 を除くすべての区間で認められた。1 次および 2 次の交互作用は認められなかった。

図5の結果から、特にトリックが存在するTR2の区間において、ターゲット位置を特定した時点(n試行目)においても、依然トリック有無評定値は十分に上昇していないことが分かる。これに加えて、トリックが存在しないSH1～SH3の区間において、「弁別性」が低い条件では、ターゲット位置を特定する前後(n-1からn試行目)で、トリック有無評定値が十分に低下せず、トリックの存在を棄

却しきれていないことが明らかとなった。これらの結果は、(1) ターゲットの位置の特定が、トリック有無の確定に先んじて進んでいること、また、(2) 「弁別性」の低下が、その傾向をより大きくすることを示唆している。

2.3 考察

本実験では、「弁別性」の高低と「確定情報」の有無を実験的に操作し、原因同定のパフォーマンスおよびプロセスに与える影響について検討を進めた。トリックが存在しない SH1～SH3 においても、ト

リックが行われているかのように見た目を操作することにより、トリックの「弁別性」を操作した。その結果、弁別性低水準において、「原因の絞込」の阻害とパフォーマンスの低下が認められ、仮説1が支持された。

一方、「確定情報」の有無を、マジシャンからフィードバックされる最終的なターゲットの位置により操作した。その結果、「確定情報」が得られない状況であっても、「確定情報」が得られた場合と同様のパフォーマンスが示され、仮説2は棄却された。

以下では、仮説2が棄却された原因を、ターゲットを特定するプロセスに着目し考察を行う。

2.3.1 ターゲット位置の特定プロセス

ターゲット位置を推定する上で、「確定情報」が大きな役割を果たすことが予想されたが、2.2.3節の結果からは、「確定情報」はほとんど影響を及ぼさないことが明らかとなった。そこで、ターゲット位置の特定が各条件においてどのように進められていたのかを検討するため、2.2.4節で定義した「ターゲット位置特定試行」をもとに検討を行った。

区間毎のターゲット位置特定試行の結果を図6に示す。なお、本分析では、各条件において、最終的に全区間のターゲット位置テストに正解することができた参加者を対象とした（弁別性高-確定情報有：14名、弁別性高-確定情報無：13名、弁別性低-確定情報有：11名、弁別性低-確定情報無：8名）。

ターゲット位置特定試行について3要因混合（弁別性：高/低、確定情報：有/無、区間：TR1～SH3）の分散分析を行ったところ、2次の交互作用が有意だった（ $F(4, 168) = 2.59, p < .05$ ）。

2次の交互作用が有意であったため、条件毎に区間の単純・単純主効果の検定を行った。その結果、弁別性高-確定情報有、弁別性高-確定情報無、弁別性低-確定情報有の条件で、区間の単純・単純主効果が有意であり（ $F(4, 168) = 7.22, p < .01$ ； $F(4, 168) = 3.16, p < .05$ ； $F(4, 168) = 11.51, p < .01$ ），弁別性低-確定情報無条件では有意ではなかった（ $F(4, 168) = 0.64, n.s.$ ）。

Ryan法を用いた多重比較の結果、弁別性高-確定情報有条件では、TR1直後のターゲット位置特定が他の4区間よりも有意に遅く、またTR2以降のターゲット位置特定試行には差が認められなかった（ $MSe = 1.57, p < .05$ ）。また、弁別性

低-確定情報有条件においても、TR1直後のターゲット位置特定が他の区間よりも有意に遅く、これに加えて、TR2直後とSH3直後の差も有意だった（ $MSe = 1.57, p < .05$ ）。一方、確定情報が得られない、弁別性高-確定情報無条件においても、TR1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いことが確認された（ $MSe = 1.57, p < .05$ ）。

以上の結果から、確定情報有水準では、最後に示されるターゲット位置に関する「確定情報」に基づいてターゲット位置の推測が進められる「確定情報に基づく推論」が行われていたことが示唆された。

一方、確定情報無水準では、最終的なターゲット位置を用いた「確定情報に基づく推論」を行うことができない。実際に、弁別性低-確定情報無条件では、ターゲット位置の確定を後ろ向きに進めることができていなかった。しかしながら、弁別性高-確定情報無条件では、予想に反して、確定情報有水準と同様のターゲット位置特定パターンを示していた。これは、「確定情報」が得られない状況であっても、TR2以降のターゲット位置特定が進んでいたことを意味している。2.2.1節で示されたように、絞込容易-確定情報なし条件における手順再現テストのパフォーマンスが低下しない原因として、「確定情報」が得られない状況において進められるターゲット位置の特定が寄与していたと考えられる。

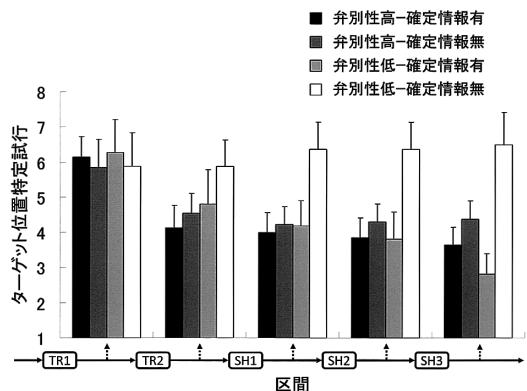


図6 ターゲット位置特定試行

2.3.2 確定情報が得られない状況での原因同定プロセス

区間毎のターゲット位置特定の結果から、「確定情

報」が得られない場合であっても、トリックの「弁別性」が高い状況では、ターゲット位置の確定が進められていたことから、代替的な推論方略が発現していた可能性が示唆された。

ここでの代替的推論とは、仮説演繹的な推論である。「確定情報」が得られない条件で提示される動画では、ターゲットの最終的な位置情報はフィードバックされない。しかし、図3(c)~(e)の結果で明らかなように、弁別性高-確定情報無条件では、SH1~SH3の区間にトリックが存在していないことが明確であったことが分かる。したがって、TR2直後のターゲット位置を仮定できれば、そこを基点とした前向き推論によって、それ以降の区間でも、ターゲットを追従することが可能になる。

実際に、弁別性高-確定情報無条件の参加者が、TR2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、TR2直後のターゲットの位置を仮定して、ターゲットに関する複数の仮説に対して評価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（事例1）。

この事例では、(1)仮説A、(2)仮説B、(3)仮説Bの演繹、(4)仮説Bの帰結および矛盾検出、(5)仮説Bの否定・仮説Aの採用、という仮説演繹過程が確認される。なお、TR2直後ではターゲットは中央の位置にある。

事例1:

“真ん中ですか₍₁₎ … 左に持っていくと₍₂₎
その後の操作をずっと順々にやってく
と₍₃₎、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₍₄₎ から、逆説
的に考えて、真ん中しかありえないだろう
と₍₅₎”

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、矛盾のある仮説を消去した結果として、最終的な仮説を採用する方略を、本研究では「候補仮説の消去法に基づく推論」と呼ぶこととする。

3. 実験2

実験1では、「弁別性」および「確定情報」の実験的な操作を通して、各要因が原因同定に与える影響とそのプロセスについて検討を行った。その結果、「原因の絞込」、「確定情報に基づく推論」、および「候補仮説の消去法に基づく推論」により、予期しない現象の原因同定が進められていたことが確認

された。しかしながら、原因同定のプロセスにおいて、実際に、「確定情報に基づく推論」と「候補仮説の消去法に基づく推論」が行われていたのかについては、より直接的な証拠が求められる。

そこで、本実験では、「確定情報に基づく推論」と「候補仮説の消去法に基づく推論」が実際に用いられ、予期しない現象の原因同定が進められていることを事例分析（実験2-A、実験2-B）を通して検証する。

3.1 実験2-A:「確定情報に基づく推論」の事例分析

3.1.1 実験参加者

大学生5名が実験に参加した。

3.1.2 方法

「確定情報に基づく推論」が実施されている状況を事例を用いて検証するため、実験手続きは実験1を踏襲し、最後にターゲットの位置が示される弁別性高-確定情報有条件で実験を実施した。試行数は全9試行とし、手順再現テストは行わず、代わりに、3試行終了する毎に「インタビュー」を実施した（計3回）。

なお、予備調査の段階で、課題遂行中の発話プロトコルを試みたが、本課題では十分な発話データが得られないことが判明したため、試行後のインタビューが用いられた。インタビューでは、直前の試行で予測した5つの区間直後のターゲット位置を記録した用紙を渡した上で、「どのようにしてその位置にターゲットがあると予想したのか？」について質問を行った。また、これに加えて、実験終了後に、再度どのようにターゲット位置の予測を行っていたのかについての「事後インタビュー」を行った。

3.1.3 結果

実験の結果、5名中2名から、動画終端で示されるターゲットの位置をもとに、TR2直後のターゲット位置を後ろ向きに推測していたことを明確に示す回答が得られた。インタビューに対する回答結果を事例2および事例3として以下に示す。なお、事例2は3試行後の、事例3は6試行後におけるインタビューへの回答である。

事例2:

“…今、こういうふう（TR2直後のターゲットの位置を真ん中と選択）にしたのは、前

の映像（1 試行前）を見て 3, 4, 5 (SH1 ~3) では明らかにトリックは無いなどいうのを感じたので⁽¹⁾。なんか行われているとしたら、ここ (TR2) で、さっき（1 試行前）は左側というふうに選んで最後が間違っていたので。⁽²⁾ だったら、真ん中を選択すれば合っていると考えて、そういうふうにしていました⁽³⁾。”

事例 3:

“…2 (TR2 直後) でもどうやって置いてるのかはちょっとまだ予想つかないんですけど、真ん中になきやいけないなってことで、ターゲットカードの位置は決められたんですけど、タネがあるかどうかはわからないですね。あるだろうという予測です。次の 3 番目 (SH1) で、真ん中と左を入れ替えて、その後 (SH2) 真ん中と右を入れ替えて、その後 (SH3) また真ん中と左を入れ替えてるんで、こうなるだろうと、最後の方にタネはないんだろうと思ったんでこうしました⁽¹⁾。見たとおりに移動させていくと、2 の時点 (TR2 直後) で、真ん中になきやいけないです⁽²⁾。”

事例 2 では、SH1~3 にトリックが無いことが確信されていたことがわかる（下線（1））。そして、1 試行前に、TR2 直後で選択したターゲットの位置から予想される最後のターゲットの位置と、実際に最後に示されたそれとが一致しなかったことから（下線（2））、最後に示されたターゲットの位置の情報をもとに、TR2 直後のターゲットの位置を後ろ向きに推論していたことが確認される（下線（3））。

同様に、事例 3においても、SH1~3 にトリックが無いことが確信されていたことがわかる（下線（1））。そして、SH1~3 におけるカードの入替操作の結果と、最後に示されるターゲットの位置情報から TR2 直後のターゲットの位置を後ろ向きに推論していた事が確認される（下線（2））。

5 名中 3 名については、試行中のインテビューでは確定情報を基にした後ろ向き推論の適用を確認できなかった。しかしながら、実験終了後に行った事後インタビューにおいて、2 名からは、「確定情報」を基にした後ろ向き推論を行ったことの報告が得られた。なお、内 1 名は、以下の 3.2 節で検討される仮説演繹的な推論を示唆する回答を含んでいた。

以上のように、弁別性高-確定情報有条件において、実際に多くの参加者が最後に示されるターゲットの位置情報を利用し、それを基にした後ろ向き推論によって、ターゲットの位置の特定を行っていた事が確認された。

3.2 実験 2-B：「候補仮説の消去法に基づく推論」の事例分析

3.2.1 実験参加者

大学生 5 名（実験 2-A とは異なる）が実験に參加した。

3.2.2 方法

本実験では、「確定情報に基づく推論」が行えない状況にあっても、「候補仮説の消去法に基づく推論」が行われ得ることを事例的に検証した。

実験条件は、実験 1 で用いられた、「確定情報に基づく推論」が困難になる状況であったと考えられる、弁別性高-確定情報無条件とした。実験 2-A と同様の実験手続きにより、全 9 試行中 3 試行終了毎に、5 つの区間ににおいて予測したターゲットの位置についてのインタビューと、実験終了後の事後インタビューを実施した。

3.2.3 結 果

実験の結果、5 名中 2 名から、ターゲットの位置に関して、一方の仮説の棄却を通して、最終的な仮説が選択されていたことを明確に示す回答が得られた。

TR2 直後で中央のカードがターゲットだと答えた理由についてのインタビュー結果を以下に示す（事例 4、事例 5）。なお、事例 4 は 6 試行後の、事例 5 は 9 試行後におけるインタビューへの回答となっている。

事例 4:

“…左にしなくて真ん中だったのは⁽¹⁾、あのー、何だろ、その後のムービーを見てて、この先にトリックが無かった場合、その、普通に考えて左側だったら⁽²⁾、右（最後に開かれた右のカード）に来たはずのやつ⁽³⁾が白になってたんで⁽⁴⁾、左じゃなかったら、そのー、真ん中しかないかなと⁽⁵⁾。右はもう白確定だったので、そうすると真ん中に来るはずだと。”

事例 5:

“…二番目（TR2 直後）で左で₍₂₎、ずっと追っていたら₍₃₎、最終的に右で（最後に開かれたカード）、一番右（最後に開かれたカード）で、ターゲットカードがなかったので₍₄₎、…そうですね、真ん中だと₍₅₎。”

事例 4 と事例 5 から、実験 1 における事例 1 と同様に、(1) 仮説 A、(2) 仮説 B、(3) 仮説 B の演繹、(4) 仮説 B の帰結および矛盾検出、(5) 仮説 B の否定・仮説 A の採用、という仮説演繹過程が確認された。

なお、残り 3 名の内、1 名は実験後に実施した事後インタビューの中で、一方の仮説の棄却の結果として、他方の仮説を採用していたことを述べていた。また、もう 1 名についても、9 試行目直後のインタビューにおいて、仮説を特定するには至っていなかったが、同様に、反証が可能な仮説の棄却に基づいて推論を進めていたことが確認された。一方、最後の 1 名に関しては、終始、誤ったターゲットの追従を繰り返し、仮説演繹的な推論を行うことができていなかった。

以上のように、実際に多くの参加者が、推論の起点となる「確定情報」が得られない場合であっても、矛盾のある仮説を消去した結果として、最終的な仮説を採用する方略をとっていた、またはとろうとしていたことが確認された。

本課題では、候補となる仮説の数が 2 つに限定された場合を扱ってきたが、規範的には、(1) 解を含む n 個の仮説からなる仮説セットが構成でき、(2) $n-1$ 個の仮説の棄却が可能な場合において、「候補仮説の消去法に基づく推論」が漸進的に進められると考えられる。一方で、実際的には、候補となる仮説の数が非常に大きい場合や、棄却が困難な仮説が存在する場合には、この方法を適用することが不可能となる。しかしながら、多くの場合、対象領域に関する知識により候補仮説の数はある一定以内に抑えられ、また、仮説の棄却は確証に比べて容易に遂行可能である場合が多いと考えられるため、本推論が有効に機能する場面は少なくないと予想される。

4. 総合考察

4.1 手がかり情報が予期しない現象の原因同定に及ぼす影響

実験 1 および 2 を通して明らかになった、マジックの解決における「弁別性」と「確定情報」の影響と、原因同定のプロセスとの関係についてまとめる。

実験 1 の結果から、「確定情報」の有無は手順再現テストのパフォーマンスに影響しないことが明らかとなった。これは「候補仮説の消去法に基づく推論」によって説明される。確定情報が与えられない場合、「確定情報に基づく推論」を行うことができない。しかしながら、「候補仮説の消去法に基づく推論」を用いることにより、複数の候補仮説から、現在得られている情報をもとに、候補仮説を順次消去しながら、より妥当性の高い仮説を採用することが可能である。これにより、確定情報が得られなかつた弁別性高-確定情報無条件においても、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。

一方、確定情報が得られず、なおかつ弁別性が低い状況（弁別性低-確定情報無条件）では、ターゲット位置の特定が阻害されていた。このことから、「弁別性」が高く「原因の絞込」が容易であること、つまり、仮説の対象となる一連の操作の追従が容易であることが、「候補仮説の消去法に基づく推論」を進める上で重要であることが示唆される。

本研究の結果から、予期しない現象において問題解決者が得る情報（「弁別性」と「確定情報」）、そこでの推論プロセス（「原因の絞込」、「確定情報に基づく推論」および「候補仮説の消去法に基づく推論」）、および原因同定のパフォーマンスとの関係は、以下の様にまとめられる（図 7）。

- (1) 予期しない現象の原因同定は、「原因の絞込」と「確定情報に基づく推論」によって進められる
- (2) 「確定情報」が得られない状況であっても、「確定情報に基づく推論」の代わりに「候補仮説の消去法に基づく推論」により原因同定が進められる
- (3) 「弁別性」が低い状況では、「原因の絞込」だけでなく、「確定情報に基づく推論」および「候補仮説の消去法に基づく推論」が困難となり、原因同定のパフォーマンスが低下する

4.2 マジック課題の一般性

本研究では、マジック課題を、予期しない現象の原因同定プロセスを捉えるための一例として位置づけ、実験を進めてきた。ここでは、予期しない現象を生じるシステムとして、マジック課題を捉え直

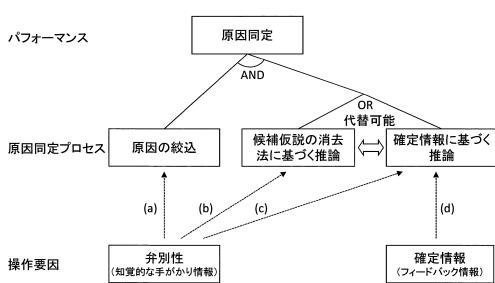


図 7 原因同定プロセスに
手がかり情報が与える影響

「確定情報に基づく推論」は、フィードバック情報である「確定情報」の有無によって影響を受けるが(d)。「確定情報に基づく推論」が困難な場合でも、「候補仮説の消去法に基づく推論」により原因同定が進められる。知覚的な手がかり情報としての「弁別性」は「原因の絞込」だけでなく、「確定情報に基づく推論」および「候補仮説の消去法に基づく推論」に対しても影響を与える(a, b, c)。

し、課題の一般性について議論を行う。

複雑なシステムは、より単純なサブシステムの集まりとして表現することができる。このような観点から、予期しない現象を生じるシステムは図8のように表すことができる。入出力を持つシステムはより小さく単純なサブシステム群によって構成され、それらサブシステムもそれぞれ入出力を持つ。なお、図中の矢印はシステムに入力された情報の流れを示している。

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我々の予想と異なる動作を行っていると考えることができる。このような、予想と異なる動作をするサブシステムを、以下では「エラーを含むサブシステム」と呼ぶ。エラーを含むサブシステムの存在により、それ以降の入出力関係が観察者の意図と異なるものとなり、その結果、予期しない現象が生じる。

本研究で用いたスリーカードモンテの手続き(図1)は、個々の操作がサブシステムに、トリックを含む操作がエラーを含むサブシステムとして対応させて考えることができる。また、実験において操作を行った「弁別性」は、サブシステムを観察した際に、そこにエラーが含まれているか否かについての知覚的な手がかりであり、「確定情報」は、サブシステムによって構成されるシステムへの入出力情報に

対応する。

本課題におけるトリックの推測の過程では、カード操作における知覚的な特徴(怪しそうに“見える”操作、“見えない”操作)による「弁別性」を手がかりとした、「知覚処理」に基づくトリックの有無についての推測が進められていた。また、それと同時に、「確定情報」として得られる既知のカードの位置関係をもとに、“ある場所に特定のカードが無ければならない”といった「推論処理」も同時に進められていた。

仮説形成検証を通した発見プロセスでは、心的な「ルール空間(rule space)」と、外界に存在する「事例空間(instance space)」の相互の探索を通して問題解決が進むことが知られている(Simon & Lea, 1974)。心的な「ルール空間」の探索は、概念的な推論過程である。一方、「事例空間」の探索においては、外界の事例に対する認識(知覚)が求められる。X線写真やCT像を対象とした医療画像診断のような、より提示刺激に対する知覚的な特徴抽出が要求されるような状況においても、その診断プロセスは、知覚処理だけではなく、概念処理が大きく関与していることが知られている(Lesgold, Rubinsson, Feltovitch, Glaser, Klopfer, & Wang, 1988; Morita, Miwa, Kitasaka, Mori, Suenaga, Iwano, Ikeda, & Ishigaki, 2008)。

本研究におけるマジック課題も、これら先行研究における多くの課題と同様に知覚処理と概念処理が求められる推論課題であると位置づけられる。

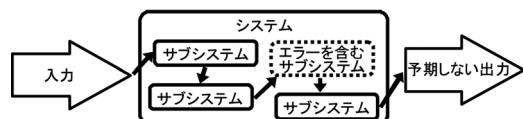


図 8 予期しない現象を生じるシステムのモデル

4.3 トラブルシューティング

4.3.1 領域知識との関係

領域知識は、問題解決において大きな影響を与える。先行研究において、問題解決における熟達者と初学者の推論プロセスの比較から、熟達者は問題構造の識別を行おうとするのに対して、初学者は知覚的な手がかりに頼ることが明らかにされてきた(Hardiman, Dufresne, & Mestre, 1989; Zaj-

chowski & Martin, 1993; Smith, 1992).

本研究で用いたマジック課題では、各操作、つまり各サブシステムが明確に区切られており、個々のサブシステムを判別することが可能であった。そのため、サブシステムとサブシステム間の処理の流れに対するメンタルモデルは、問題解決の初期状態で既に形成されており、課題解決において領域固有の知識は必要とされない。また、スリーカードモンティについての知識を持ち合わせていない参加者にとっては、本課題に対する初学者であり、課題から与えられるトリックの「弁別性」と「確定情報」に基づく推論が進められていたと考えられる。

しかしながら、一般的な状況においては、対象に対する領域固有の知識は、予期しない現象の原因同定においてクリティカルなものとなる。従来、このような予期しない現象は、ヒューマンエラーやトラブルシューティングに関する研究の中で取り扱われてきた。ヒューマンエラーに関する研究では、人がシステムを利用する際に犯す誤りの原因について、実験室研究を始め、日常生活や、ヒューマンエラーが深刻な被害を与える工業環境を対象として研究が進められてきた (Rasmussen, 1983; Reason, 1990; Rizzo, 1987; Rizzo et al., 1994; Norman, 1988; Besnard & Cacitti, 2001)。特に、トラブルシューティングに関する研究においては、熟達者と非熟達者の比較から、熟達者の原因同定における特性が明らかにされてきた (Besnard & Cacitti, 2001; van Gog, Paas, & van Merriënboer, 2005)。

例えば、van Gog et al. (2005) では、電気回路のトラブルシューティングを対象に、プロトコル分析と眼球運動の分析に基づき、熟達者と非熟達者の問題解決過程の比較を行っている。その結果から、熟達者は、(1) 問題解決時のメンタルモデル形成に多くの時間を費やし、(2) 電気回路のトラブルにおいて主要な欠陥に関わるサブシステムであるバッテリーに注目していることが明らかにされた。

これらの先行研究は、熟達化が、「原因の絞込」のプロセスに影響を与えることを示している。現実場面でのトラブルシューティングにおいては、本研究で示された原因同定を支える各プロセスが、領域知識の影響を受け、その成否に大きく関係することが示唆される。

4.3.2 現実場面との対応

実験1において要因操作を行った、手がかり情報である「弁別性」と「確定情報」は、現実場面において、以下のような状況に対応するものと考えられる。

「弁別性」は、各サブシステムの透過性や領域知識に関連する。つまり、内部処理を外部から推測することが困難なサブシステムが多数存在する場合、「弁別性」はより低くなり、「原因の絞込」が困難な状況となる。また、これは前述のように領域知識とも関連しており、システムを構成しているサブシステムの内部処理をどの程度把握できているかにも依存する。

例えば、コンピュータからプリンタへ印刷を行う状況を考えてみる。利用者が直接操作しているアプリケーションやOSの印刷プロパティの設定、そしてプリンタに至るまでのネットワークデバイスとプリンタそれ自身が個々のサブシステムに対応し、プリント出力時の不具合に対して、その内部処理の透過性や領域知識が「弁別性」に対応し、「原因の絞込」に影響を与えると考えられる。

一方、「確定情報」は、システムから得られる情報によって変化する。確定情報がない状況とは、システムへの入力情報やシステムからの出力（エラー）情報が制限されている状況であり、特に出力情報が制限されることによって、直接的な原因が示唆されない状況が生まれる。上記の例でいえば、印刷したはずのプリントがどこからも出力されない状況や、プログラミングにおけるデバッグなどで原因箇所が特定されないエラー出力などがこれにあたり、「確定情報に基づく推論」が阻害されることになる。しかしながら、「弁別性」がそれほど低い状況でなければ、「候補仮説の消去法に基づく推論」により、仮説演繹的な原因同定が可能になると考えられる。

5. まとめ

本研究では、マジック課題におけるトリックの解決プロセスの実験的検討を通して、予期しない現象の原因同定のプロセスについて議論を行った。

実験では、手がかり情報としての「弁別性」および「確定情報」に着目し、予期しない現象の原因同定に与える影響について検討を行った。その結果、「弁別性」の要因は原因同定のパフォーマンスに影響を与える一方、「確定情報」の要因は、予想に反して、原因同定のパフォーマンスに影響を与えた。

た。このような結果が得られた原因として、「確定情報」が与えられない場合であっても、反証が可能な仮説を消去しながら仮説を絞り込み、原因同定が進められていた。これを本研究では、「候補仮説の消去法に基づく推論」とよび議論を進めた。

本研究を通して、予期しない現象の原因同定を支えるプロセスとして、「原因の絞込」と「確定情報に基づく推論」、およびその推論が適用できない場合に用いられる「候補仮説の消去法に基づく推論」が確認された。今後は、「候補仮説の消去法に基づく推論」の適用が難しい状況においてどのように推論が進められるのかについて更なる検討を進めるとともに、予期しない現象の原因同定に対する協同の役割について考えていきたい。

謝 辞

本論文の執筆にあたり、担当編集委員ならびに匿名査読者より貴重なコメントをいただきました。ここに記して感謝致します。

文 献

- Besnard, D. & Cacitti, L. (2001). Troubleshooting in Mechanics: A Heuristic Matching Process. *Cognition, Technology & Work*, **3**, 150–160.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science*, **5**, 121–152.
- Hardiman, P. T., Dufresne, R., & Mestre, J. P. (1989). The relation between problem categorization and problem solving among experts and novices. *Memory & Cognition*, **17** (5), 627–638.
- Lesgold, A., Robinson, H., Feltovitch, P., Glaser, R., Klopfer, D., & Wang, Y. (1988). *Expertise in a complex skill: Diagnosing x-ray pictures*. Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Morita, J., Miwa, K., Kitasaka, T., Mori, K., Sue-naga, Y., Iwano, S., Ikeda, M., & Ishigaki, T. (2008). Interactions of Perceptual and Conceptual Processing: Expertise in Medical Image Diagnosis. *International Journal of Human Computer Studies*, **66**, 370–390.
- 中村弘 (1997). 『マジックは科学 「ありえないこと」を合理的に起こす方法』. ブルーバックス B-991. 講談社.
- Norman, D. A. (1988). *THE PSYCHOLOGY OF EVERYDAY THINGS*. New York: Basic Books Inc. (野島久雄 訳 (1994). 『誰のためのデザイン? 認知科学者のデザイン原論』. 新曜社認知科学選書.)
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signs and symbols, and other distinctions in human performance model. *IEEE Trans.*, **SMC-13** (3), 257–266.
- Reason, J. (1990). *Human Error*. New York: Cambridge University Press. (林喜男 監訳 (1994). 『ヒューマンエラー — 認知科学的アプローチ』. 海文堂出版.)
- Rizzo, A. (1987). Human error detection processes. *Man-Machine Studies*, **27**, 555–570.
- Rizzo, A., Ferrante, D., & Bagnara, S. (1994). Handling Human Error. In P. C. Cacciabue, J.-M. Hoc, & E. Hollnagel (Eds.), *Expertise and Technology: Issues in Cognition and Human-Computer Cooperation*, chap. 14, 195–223. Lawrence Erlbaum.
- Simon, H. A. & Lea, G. (1974). *Problem solving and rule induction: A unified view*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Smith, M. U. (1992). Expertise and the organization of knowledge: unexpected differences among genetic counselors, faculty, and students on problem categorization task. *Journal of Research in Science Teaching*, **29**, 179–205.
- van Gog, T., Paas, F., & van Merriënboer, G. J. J. (2005). Uncovering expertise-related differences in troubleshooting performance: combining eye movement and concurrent verbal protocol data. *Applied Cognitive Psychology*, **19**, 205–221.
- Zajchowski, R. & Martin, J. (1993). Differences in the Problem Solving of Stronger and Weaker Novices in Physics: Knowledge, Strategies, or Knowledge Structure? *Journal of Research in Science Teaching*, **30** (5), 459–470.
- 高木重朗 (編) (1999). 『カードマジック事典』. 東京堂出版.

(Received 23 Feb. 2011)

(Accepted 27 Oct. 2011)



寺井 仁 (正会員)

2006 年名古屋大学大学院情報科学研究科博士課程修了(メディア科学専攻). 博士(情報科学). 2006 年名古屋大学附属図書館研究開発室助教, 2008 年東京電機大学情報環境学部助教を経て,

2010 年より名古屋大学大学院情報科学研究科/JST CRST 特任准教授. 洞察や科学的発見など驚きや表象の転換を伴う高次思考過程に興味を持っており, 心理実験および計算機モデルを用いたシミュレーションの両面から研究を進めている.



三輪 和久 (正会員)

1984 年名古屋大学工学部卒業. 1989 年同大学大学院工学研究科博士課程修了(情報工学専攻). 工学博士. 1989 年同大学情報処理教育センター助手, 1993 年同大学大学院人間情報学研究科助教授を経て, 2004 年より名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻教授. 1991 年から 1992 年, 米国 Carnegie Mellon University, Dept. of Psychology, visiting assistant professor. 認知科学, 人工知能, 教育工学の研究に従事. とりわけ, 発見, 創造, 洞察, 協同など, 人間の高次思考過程に興味がある.



柴田 恒志

2006 年名古屋工業大学工学部卒業. 2008 年名古屋大学大学院情報科学研究科修士過程修了(メディア科学専攻). 修士(情報科学). 現在, 株式会社オリエンタルランド勤務. 誤認や勘違いといった錯誤の発生や, それら錯誤から回復する際の認知的プロセスに興味がある.

付 錄

A. スリーカードモンテ

本実験で使用したスリーカードモンテの手続きを図 9 に示す.

マジシャンが最初にカードを表にした状態からマジックが始まり, カードの操作が行われる. 最後にカードが開かれターゲットがどこにあるかが分かるまでに 5 回のカード操作が行われる(図 9 の TR1, TR2, SH1, SH2, SH3). ターゲットが観客の予想と異なる位置に存在する原因是, 手順の前半部分で行われる 2 つのトリック(TR1 および TR2)にある.

最初のトリックはカードを 3 枚同時に裏返す際に行われる(図 9 (2) から (3)). ここでは, *flip change* と呼ばれる技法によって, カードを裏返す動作とともに, マジシャンは親指, 人差し指および中指を用いてカードを滑らせることにより図 9 の (2) から (3) において, (2) の真ん中に位置するターゲットとその左側のディストラクタの位置の入れ替えを行う. これにより, 一般的な解釈に従えば中央にあるはずのターゲットが, 実際にはターゲットの右側(図 9 (3) の上側)に存在することとなる.

第 2 のトリックはディストラクタを見せながら, 3 枚のカードを並べなおす操作にある(図 9 (10) ~ (12)). この操作は *frustration count* と呼ばれる技法を用いたものであり, 以下の手順により行われる. 最初のトリックである *flip change* 直後, ターゲットは右側の位置に存在する(図 9 (6)). この状態から, 3 枚のカードを重ねると, ターゲットは最も上の位置する(図 9 (7)~(9)). 次に, 一番下のディストラクタ(*flip change* に対して一般的な解釈に従ってカードを追いかけると, このカードはターゲットであると思われている)を左側の位置に置く(図 9 (10)). ここで右手を返してカードの表面を見ると, 右手に残っているディストラクタの表面が見える(図 9 (10)). 続けて右手を戻し, 今見せたディストラクタを中央に置くと見せかけ, 実際には一番上にあるターゲットを中央の位置に置く(観客には, 今見せられたディストラクタが中央の位置に置かれたと解釈される)(図 9 (11)). 前回同様右手を返すと, 前回右手を返したときと同じディストラクタが再び見える(図 9 (11)). 最後に, このディストラクタを右側の位置に裏向きに置



図9 実験で使用したスリーカードモンテの手続き

く（図9(12)）。このようにして、同一のディストラクタを2回見せることで、中央と右側のカードがディストラクタカードであるとの錯覚を誘発する（高木, 1999）。

手順の後半の3つの操作（図9のSH1～3）で3回カードの入れ替えを行っているが、ここでは単に2枚のカードの位置を入れ替えているだけで、トリックは行われていない。

最後に最終状態（図9(22)）が示されるが、観客は右側にターゲットがあると思い込んでいるにもかかわらず、真ん中からターゲットが現れることがある。

なお、実験1では、「絞込要因」を操作するため、手順後半の3つの操作（SH1～3）の見た目を変化させた。具体的には、TR1およびTR2以外の操作についてもトリックの存在の可能性を示唆し、「原因の絞込」が困難になる状況を作るため、SH1～3においてトリックの存在を疑わせる手つきを加えた。図10にSH1の操作例を示す。前述のSH1との違

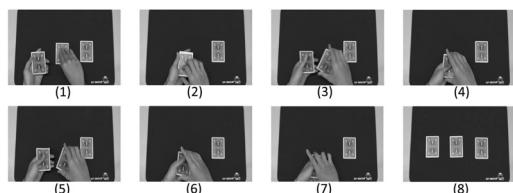


図10 絞込困難水準で使用されたSH1のカード操作

いは、左と中央のカードの入れ換えるにおいて、カードを一旦重ねた上で（図10(1)～(2)）、シャッフルを行っている（図10(3)～(6)）。加えて、シャッフルが終わった後、一瞬カード全体を手で覆っている（図10(7)）。なお、これらの操作の違いにはよらず、SH1～3におけるカード位置の変化は図9に示したものと同等である。

B. 実験 1 におけるスリーカードモンテの再現判定基準

実験 1 における手順再現テストでは、実験者が評定者となり、すべての区間の操作について、下記の基準を満たす操作を行った場合に、再現成功と判定し、実験を終了した。なお、実際には片手で行われている操作を両手を用いて再現した場合も成功と見なした。

• TR1

- カード 3 枚を扇形に持ち、手首を返して裏返すとき、ターゲットを滑らせて右側に移動させる。
- その後、ターゲットが右側になるように 3

枚のカードをテーブルに裏向きに並べる。

- TR2
 - ターゲットが一番上になるように 3 枚のカードを重ねる
 - 最初に一番下のディストラクタを抜き出し左側に置く
 - 次に右手に残っているディストラクタを見せた後、ディストラクタの上のターゲットを中央に置く
 - 最後に右手に残ったディストラクタを右側に置く
- SH1, SH2, および SH3
 - 2 枚のカードの位置を入れ替える。