

発見における心的制約の緩和過程

三輪和久, 松下正法

We investigated the processes of mental constraints relaxation as a key factor for gaining insight, using a discovery task. In our experiments, we set up four kinds of experimental conditions. First, we introduced three conditions while controlling mental blocking factors: (1) a condition in which subjects searched an incorrect hypothesis space, (2) subjects clung a blocking hypothesis in an incorrect hypothesis space, and (3) subjects gained no constraints as above. Second, based on feedback factors, the condition (2) was subdivided into the following two cases: (2a) a case in which a prediction from a subject's hypothesis missed largely from an experimental result, and (2b) a case in which a prediction and an experimental result were separating gradually. The experimental results showed that finding the target was disturbed more remarkably as stronger blocking factors were given. Especially, when subjects who formed an invalid blocking hypothesis were given only gradual feedback, the subjects' performance of finding the target extremely declined.

Keywords: discovery (発見), insight (洞察), constraint relaxation (制約緩和)

1. はじめに

近年, 創造性に関するいくつかの総括的研究成果が報告されてきている (Ward, Smith, & Vaid, 1997; Sternberg, 1999)。洞察は, 創造性に深く関与するプロセスであり, 「どのように問題を解決してよいのかわからない状況から, あたかも突然解決方法を知るに至る過程」などと言われる。

洞察を特徴づける要因として, 視覚的情報の再構成, 問題の再定式化, 心的制約の除去, 類推関係の発見などがあげられている (Sternberg & Davidson, 1995)。本論文では, これらの要因の中から, 心的制約の除去という要因を取り上げる。

事前の経験が, 新たな問題解決の場面において, 負の要因としての心的制約を与えるということは, 古くより, 機能的固着 (Duncker, 1945), 心的態度 (Luchins, 1942), 負の転移 (Bartlett, 1958) といった観点から指摘されてきている。

Processes of mental constraints relaxation using a discovery problem by Kazuhisa Miwa and Masanori Matsushita (Graduate School of Human Informatics, Nagoya University).

さて, 洞察に関するこれまでの認知心理学的研究は, 以下に述べるように, 主に問題解決課題が用いられてきた。洞察のプロセスを観察するために使われてきた多くの課題, 例えば, 9点問題 (Weisberg & Alba, 1981), チェッカーボード問題 (Kaplan & Simon, 1990), Tパズル (開・鈴木, 1998) 等, すべてこれに属する課題である。この状況において, 心的制約のために初期的インパスに陥った被験者は, 解の存在しない, もしくは解に到達するために不合理な問題空間を繰り返し探索し, そのため, 的外れな不当な解をいくつも産出する様子が観察される。

本研究では, 発見課題を用いる。発見課題においても, 心的制約の緩和という要因は重要である。例えば, Klahrらは, 計算機上に実現されたマイクロワールド環境の上で, BigTrakというロボットの動作を制御するプログラムの文法の学習を行なわせている (Klahr, Fay, & Dunbar, 1993; Phrager & Klahr, 1986)。被験者は, コントローラ上にある RPT というキーの機能を発見することが求められる。RPT キーの機能は, 大きく, counter と selector という二種類に分類することができる。実験において, 被験者は, counterパラダイム, selec-

tor パラダイムという一種の心的制約を課される・counter パラダイムを持った被験者が selector 機能に属する解を発見するためには, counter パラダイムの心的制約を緩和しなければならない・逆も同様である・

問題解決の過程において, 心的制約を課された被験者は, 誤った「問題空間」を繰り返し探索する・一方, Klahr らの用いたような「発見課題」において心的制約を持った被験者は, いわば誤った「仮説空間」の探索を繰り返すと考えられる (Klahr & Dunbar, 1988)・発見に至るためには, この制約を緩和しなければならない・

ここで, 本研究の関心は, 以下のようにまとめられる・

(a) ブロック要因

本研究では, 第一に, 発見における「仮説空間への固着」という心的制約を取り上げる・さらに, 第二の要因として, 人間はしばしば「ある特定の仮説自体に固着」してしまう傾向がある・特定の仮説に固着することにより, 被験者は, 仮説の正事例ばかりを用いて実験を行なったり (Wason, 1960; Klayman & Ha, 1987), 仮説の反証材料を無視したり (Penner & Klahr, 1996), データの改竄や, 補助仮説を継ぎ足すことにより仮説の変更を最小限に留めようとしたりする (Chinn & Brewer, 1992)・

仮説空間への固着, 仮説自体への固着は, これまで別々の文脈で研究が重ねられてきた・しかし, 不当な仮説空間の中にある特定の仮説に固着したような場合, 後者は前者よりも, 二重に拘束を受けているという意味において, より強い心的制約に束縛されていると捉えられる・いわば, 前者が「面」(もしくは空間)に対する固着であるのに対して, 後者は「点」への固着である・このように考えると, 二つの要因は, 一つの軸の上で検討することが可能である・

本論文では, このような心的制約を与える要因を「ブロック要因」と呼ぶ・本研究では, 実験的にブロック要因の段階を設定し, 被験者が陥る心的制約の強弱を操作して, それぞれの状況での発見のプロセスを観察する・

(b) フィードバック要因

心的制約から離脱するためには, 「失敗」という形で負のフィードバックを繰り返し受け取り, 徐々に心的制約が緩和されてゆくことが重要であるとき

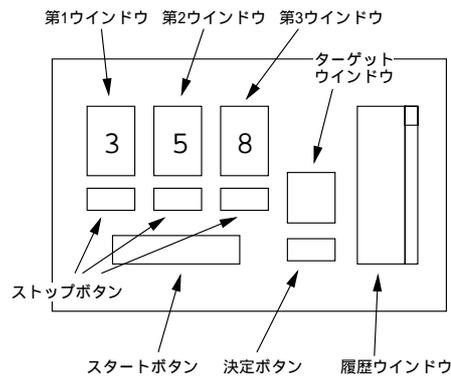


図1 実験システム

れる (開・鈴木, 1998)・

発見課題においては, 予測に反した実験結果という形で, この負フィードバックが生じる・すなわち, 人間は仮説を形成することにより, 実験という手段を用いて世界にはたらきかけることができるようになる・この場合, 人間は, 実験によって得られるであろう実験結果をあらかじめ予測し, その予測と実際に観察された世界からの反応との差異を検出して, 仮説を確認したり反証したりする・本研究では, この実験結果の与えられ方を「フィードバック要因」と呼び, フィードバック要因と心的制約からの離脱との関係についても着目する・

以上をまとめて, 本研究の目的を整理する・本研究では, 発見課題を用いて, 洞察が生じるためのキー概念の一つである, 心的制約の緩和過程を検討する・具体的には, ブロック要因とフィードバック要因の二つを操作可能な実験状況を設定し, 主に被験者の仮説空間の探索の状況を観察することにより, 被験者が陥る心的制約の状況, およびその制約が緩和されてゆく過程を実証的に検討する・

2. 実験方法

2.1 実験システム

本研究で用いた発見課題の概要と, 実験システムについて説明する・

図1は, 実験システムの画面である・本システムは, 一種のスロットマシンの形態をしている・

本システムは, 一回の試行を開始するための「スタートボタン」, 数字が提示される三つの「ウインドウ」, その三つのウインドウのそれぞれに対応する三つの「ストップボタン」を持つ・

3番目のウインドウに現われる数字は、以下に述べる規則性に基づいて制御されている。被験者の課題は、その規則を発見することにより、3番目のウインドウに現われる数字を正しく予測することである。

スタートボタンを押すことにより、一回の試行が始まる。被験者には、いわゆるスロットマシンのように、ウインドウに提示される数字が、次々と変わってゆくように見える。ただし、変化のスピードが速いので、刻々に表示される数字が何であるかはわからない。ストップボタンを押すことにより、各々のウインドウの数字を止めることができる。実際のスロットマシンと同様に、ボタンを押してから数字が停止するまでには遅延がある。被験者には、ボタンを押してから徐々に数字の変化が遅くなり、それに伴って数字が一つずつ増加しながら変化して行くように見えるようになり、最終的に一つの数字のところで変化が止まるというように認識される。

被験者は、3番目のウインドウの数字を止める前に「ターゲットウインドウ」に予測した数字を入力する。ターゲットウインドウには、入力の確定を行なうための「決定ボタン」がついている。

被験者は、ターゲットウインドウに予測した数字を入力する時点で、自分もっている第3ウインドウの数字の規則性に関する仮説を、あらかじめ与えられた「仮説記入シート」に記入する。各試行ごとに、仮説は一つだけ記入するように教示されているので、複数の仮説を思いついた場合も、その中からもっとも重要な仮説が記入されたものと考えられる。さらに、その仮説の確からしさを、5段階で評定する。

スタートボタンを押して実験を開始した時点から、仮説記入シートに仮説が記入され、ターゲットウインドウに被験者の予測が入力されて、実際に3番目のウインドウの数字が確認されるまでの一連の操作を一試行とし、合計30試行が繰り返される。

被験者は、過去の試行によって得られた三つの数字の組を「履歴ウインドウ」によって参照することができる。履歴ウインドウには、8組の記録が一度に提示されるが、スクロールにより、全ての記録を見ることが可能になっている。

すべての操作は、マウスの操作と、キーボードのテンキーからの数字の入力によって行なうことができる。

2.2 ブロック要因の操作

被験者が発見すべきルールを「ターゲット」と呼ぶ。本課題におけるターゲットは、次のようなものである。3番目のウインドウに提示される数字は、一試行ごとに3ずつ増加する。値が10を超える場合は、1桁目の数字が表示される。具体的には、3番目のウインドウの数字は、実験開始時点から、4, 7, 0, 3, 6, 9, 2, 5, 8, 1, 4(以下繰り返し)と変化してゆく。

すなわち、ターゲットは、

$$w(3, n) = (w(3, n-1) + 3) \bmod 10$$

と記述できる。ここで、 $w(m, n)$ は、第 n 試行における m 番目のウインドウの数字の値を示す。このターゲットは、すべての実験条件において同一である。

さて、実験においては、次のような手続きに基づいて、ブロック要因の操作を行なった。

(1) 仮説空間への固着

まずは、不当な「仮説空間への固着」を行なわせる実験条件である。この実験条件では、被験者は、1番目と2番目のウインドウの数字を確定した後、仮説を形成し、3番目のウインドウの数字を予測する。

この場合、被験者は、1番目、2番目の数字に基づいて、3番目の数字を予想しようとする。

すなわち、被験者は、

$$w(3, n) = F(w(1, n), w(2, n))$$

となるような、関数 F を探そうとする。

実際には、第1、第2ウインドウの数字はランダムに現われるので、第3ウインドウの数字は、第1ウインドウ、第2ウインドウによっては規定されていない。従って、この $\{F\}$ の探索によって解に到達することはできない。すなわち、この F の集合、 $\{F\}$ が、解の存在する仮説空間の探索を妨げる、心的制約としての仮説空間と考えることができる。以下では、これを BHS (Blocking Hypothesis Space) と呼ぶ。

被験者が発見すべき解、 $w(3, n) = (w(3, n-1) + 3) \bmod 10$ は、

$$w(3, n) = G(w(3, n-1))$$

という仮説 G の集合 $\{G\}$ により作られる仮説空間の中に存在する。被験者が解に到達するためには、BHS である仮説空間 $\{F\}$ という心的制約を解消し、解の存在する仮説空間 $\{G\}$ の探索を行なわなければ

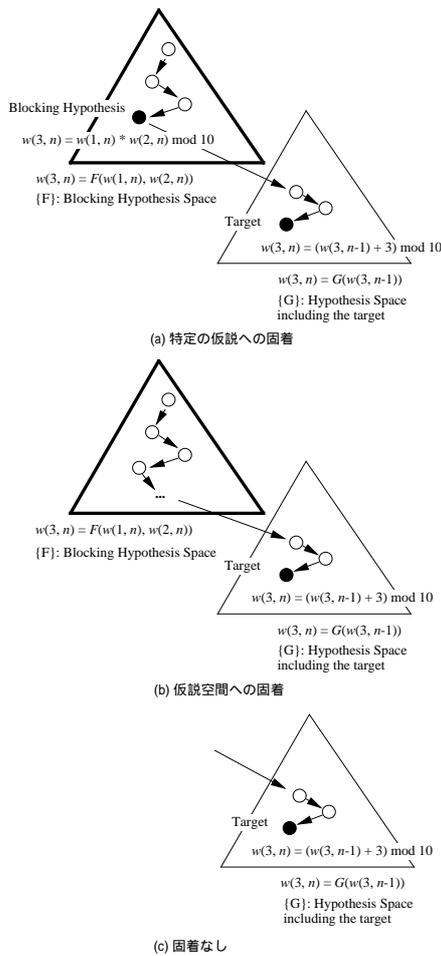


図2 ブロック要因の程度

ばならない(図2(b)参照)。

(2) 特定の仮説への固着

この実験条件では、被験者は、BHS 中にある特定の仮説への固着という二重の心的制約を導かれる。

この条件では、実験の手続きは前者と同様である。ただし、三つのウインドウに提示する数字を、次のように操作する。

すなわち、はじめの8回の試行では、1番目と2番目のウインドウの数字の積の1桁目の数字が、3番目のウインドウの数字となる。すなわち、真の解である $w(3, n) = (w(3, n-1) + 3) \bmod 10$ を満たしながら、同時に、見かけの解である

$$w(3, n) = w(1, n) \times w(2, n) \bmod 10$$

という関係が保たれるように、1番目と2番目のウ

インドウの数字を操作する(もちろん、被験者はこのような操作が行なわれていることを知らない)。この見かけの仮説を、BH (Blocking Hypothesis) と呼ぶ。被験者は、最初の8回の試行によつて、上記の誤った仮説、BH に固着する。

9回目以降の試行では、BH である $w(3, n) = w(1, n) \times w(2, n) \bmod 10$ の規則性は保証されず、発見すべきターゲットである $w(3, n) = (w(3, n-1) + 3) \bmod 10$ だけが3番目のウインドウの数字を規定している。

被験者が解に達するためには、BHS 中に存在する、この見かけの仮説、BH への固着という心的制約を解消しなければならない(図2(a)参照)。

(3) 固着なし

不当な仮説空間への固着(BHS条件)、不当な特定の仮説への固着(BH条件)というブロック要因の操作について述べたが、ここでの実験状況は、これらのブロック要因が存在しない。

そのような状況を作るために、この実験条件では、被験者は、1番目、2番目のウインドウの数字の値を確定する以前に、すなわち1番目、2番目のウインドウのストップボタンを押す前に、第3ウインドウの数字の規則性に関する仮説を形成し、3番目のウインドウの数字を予測する。

この場合、上記のBHSである仮説空間 $\{F\}$ への固着は起こらないと考えられる(もちろん、BHは作らない)。被験者は、上記の二つのブロック要因から作られる心的制約なしに、仮説空間の探索を行なうことになる(図2(c)参照)。

2.3 フィードバック要因の操作

次に、特定の仮説への固着が生じた状態(BH条件)におけるフィードバック要因の操作について述べる。ここでは、BHが形成された第9試行以降において、BHに基づく第3ウインドウの数字の予測と、実際に観察される3番目のウインドウの数字の値の差異を制御する。

(1) 漸進的負フィードバック

この条件では、第9試行以降の第3ウインドウの数字の値が、BHの予想に対して、徐々にずれてゆく状況を設定する。具体的には、ターゲットによつて規定されている第3ウインドウの数字の値(これが、実際に観察される第3ウインドウの数字の値)と、第1、第2ウインドウの数字に基づき、BHが

予想する第3 ウィンドウの数字との差異が、以下の値となるように、1番目と2番目の数字を操作している。すなわち、第9 試行から第14 試行では0~1, 第15 試行から第19 試行では1~2, 第20 試行から第25 試行では2~4, 第26 試行から第30 試行では3~5 の範囲内に両者の差異が収まるように、第1, 第2 ウィンドウの数字を調整している。

BH を形成した被験者は、仮説からの予測が少しずつずれてゆくように見える。

以上を、漸進的フィードバック条件(以下「漸進的FB条件」と現わす)とする。

(2) 飛躍的負フィードバック

ここでは、負フィードバックの与えられ方の違いが、BH への固着緩和へどのような影響を与えるかを検討するために、前述の漸進的フィードバックと対比的に、飛躍的負フィードバック条件を設定する。

この条件では、第9 試行において、BH からの予測と、実際に観察された数字との差異が、最大の5 になるように第1 ウィンドウ、第2 ウィンドウの数字の値を設定する。それ以降、つまり第10 試行以降は、第1 ウィンドウ、第2 ウィンドウの数字の値はランダムに現われる。すなわち、被験者は、第9 試行以降、BH によっては第3 ウィンドウの数字を予測することが全くできなくなる。

以上を、飛躍的フィードバック条件(以下「飛躍的FB条件」と現わす)とする。

表1 は、以上の実験条件を整理したものである。

2.4 被験者

大学生83 名が実験に参加した。ただし、以下に述べる理由より、20 名は以下の分析から除外され、63 名の被験者の実験結果が検討されている。すなわち、BH に固着させる二つの条件(BH/漸進的FB条件, BH/飛躍的FB条件)において、実際には8 回目の試行までにBH を構成しなかつた被験者がいた。これらの被験者は、以下の分析から除外されている。

63 名の被験者は、表1 にまとめられた実験条件に可能なかぎり均等に割り当てられた。

実験は、2 名から4 名の被験者ごとに行なわれた。被験者は、実験システムが実現された計算機に向かい、個別的に実験システムと対話的に課題に取り組んだ。

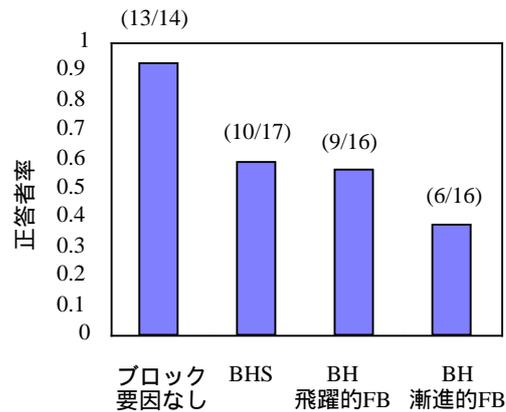


図3 30 試行後の正答率

仮説の記録に関して、一部の被験者(63 名中14 名)は、仮説シートへの記入ではなく、発話による仮説の確認が行なわれた。ここでも、各実験条件に対する被験者の割り当ては、均等に行なわれた。この場合、実験は一人ひとり個別に行なわれた。用いられた実験システムは、仮説シートへの記入を促すメッセージが除かれていること等、軽微な変更を除いて同一のものである。なお、両者の実験結果は同じ傾向を示したので区別せずに扱っている。

3. 実験結果と考察

3.1 パフォーマンスの検討

最終的に(30 試行までに)解を発見した被験者の割合を示したものが、図3 である。() 内は、「割り当てられた被験者数」に対する「解を発見した被験者の数」である。

図3 より、以下がわかる。BH 条件で、フィードバックが漸進的である場合のパフォーマンスがもっとも悪く、BH 条件で飛躍的フィードバックが与えられた場合とBHS 条件が同程度で次に続き、ブロック要因が存在しない場合には、顕著に高いパフォーマンスを示している。

χ^2 検定の結果、実験条件に対するパフォーマンス(正答率)の偏りは有意であった($\chi^2(3) = 9.80, p < .05$)。そこで、残差分析をおこなった結果、「ブロック要因なし条件」は、有意に高いパフォーマンス($p < .01$)を示し、逆に「BH/漸進的FB条件」は、有意に低いパフォーマンス($p < .05$)を示していることがわかった。

ここで、BH 条件では、前半の8 回の試行におい

表1 実験条件

	ブロック要因		フィードバック要因
	BHSの固着	BHの固着	
BH (Blocking Hypothesis) 漸進的FB			漸進的
BH (Blocking Hypothesis) 飛躍的FB			飛躍的
BHS (Blocking Hypo. Space)		x	-
ブロック要因なし	x	x	-

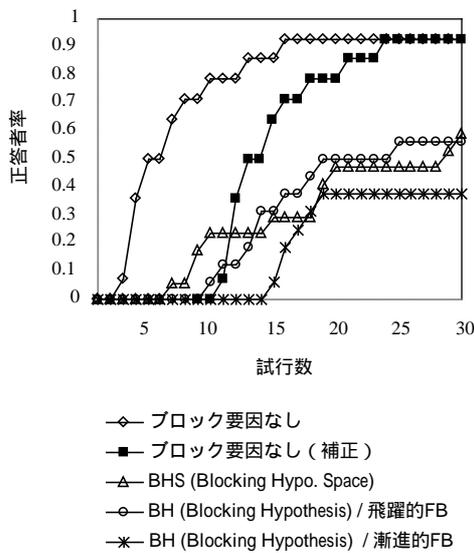


図4 試行数に対する正答率の推移

て、BHによっても第3ウインドウの数字を正しく予測できる。その意味では、実質的なターゲットの探索は、第9試行から始まると考えることもできる。従って、単純にBH条件とブロック要因なし条件のパフォーマンスを、30試行時の正答率により比較することは不当であるという見方もある。そこで、ブロックなし条件の8回分の試行のアドバンテージを補正して、両者の正答率を比較したものが図4である。

図4は、試行数(横軸)に対して、その時点までにターゲットを発見した被験者の割合(縦軸)の推移を示したものである。図4では、四つの実験条件に加えて、ブロック要因なし条件の推移を横軸に8試行分ずらしたものを「ブロック要因なし(補正)」として示してある。図4より、最初の8試行のアド

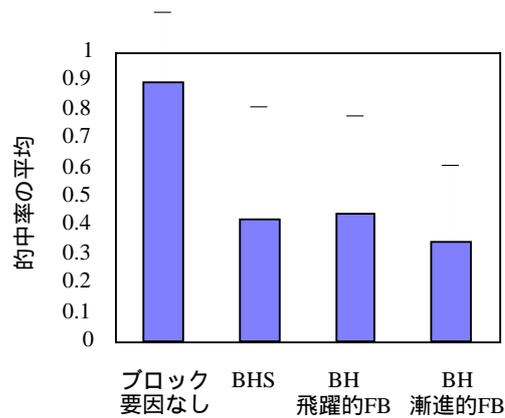


図5 仮説に基づく予測的中率

バンテージを補正しても、ブロック要因なし条件では、他の条件に比べて顕著に高い正答率の立ち上がりを示していることがわかる。

さらに、図5には、ターゲットウインドウに入力した予測が正しかった割合の、全被験者の平均、および標準偏差(SD)を示している。ただし、ここに示された割合は、第9試行から第30試行の間の的中率である。第1試行から第8試行は、BHS条件では、正当な解に達しなくても、見かけの仮説、BHSにより第3ウインドウの数字の値が予測できることを考慮して除外してある。

分散分析の結果、的中率に関する実験条件の効果は有意であった($F(3, 59)=8.91, p < .01$)。LSD法を用いた多重比較によれば、ブロックなし条件と、他の3条件のそれぞれの間に有意差があった($MSe=49.41, 5\%$ 水準)。

この指標を用いても、四つの実験条件におけるパフォーマンスの傾向は、図3に示されたものと同様である。最終的な正答率の場合に比して、BH/

漸進的 FB 条件での正答率の落ち込みが小さいのは、この条件では、真のターゲットが発見できていなくても、BH に適当な補助仮説を付け足すことによつて（以下の 3.2(2) の修正ブロック仮説によつて）、第 3 ウィンドウの値を予測することができることによるものと考えられる。

以上の結果をまとめれば、被験者は、心的固着なし、誤った仮説空間への心的固着、誤った特定仮説への心的固着の順に、正しい解に到達することが困難になっていることがわかる。ただし、BHS 条件と BH/飛躍的 FB 条件との間に明確なパフォーマンスの差異は認められず、BHS 条件と BH 条件の差異は、主に BH 条件において、漸進的フォードバックが与えられた場合に顕著になる。BH 条件と BHS 条件の差異については、3.3.4 でより詳しく検討する。

先にも述べたように、四つの実験条件において、被験者が発見すべきターゲットは同一である。にもかかわらず、ブロック要因、フィードバック要因が変わることによつて、被験者のパフォーマンスはどのように大きく変動する。

3.2 仮説の種類

次に、それぞれの条件において、被験者が探索した仮説空間を分析する。

まず、被験者が形成した仮説を次の 7 種類のカテゴリに分類した。以下の記述において、 $w(m)$ は、第 m ウィンドウの数字を示す。

(1) ターゲット

発見すべき解である。具体的には「 $w(3)$ は、一つ前の試行の $w(3)$ に 3 を足した数字の 1 桁目」がこれにあたる。

(2) ブロック仮説

BH 条件における BH である。具体的には「 $w(3)$ は、 $w(1)$ と $w(2)$ の積の 1 桁目の数字」がこれにあたる。

(3) 修正ブロック仮説

BH の主要な属性を保持したまま、その一部を修正したような仮説。この仮説の出現は、強固な主仮説に対し、補助仮説を追加して、その主仮説を保護するような状況に対応する。「 $w(3)$ は、 $w(1)$ の数字が偶数の時には、 $w(1)$ と $w(2)$ の積の 1 桁目に 1 を加えた数字」などがこの例である。修正ブロック仮説の中には、第 1、第 2 ウィンドウの数字の色に

よつて、第 3 ウィンドウの数字の揺れを説明する努力がなされる場合もあつた。例えば、「第 1 ウィンドウの数字の色が青のときには、 $w(3)$ は、 $w(1)$ と $w(2)$ の積の 1 桁目の数字」などがこれにあたる。

(4) ブロック仮説空間内の仮説

もつとも多く観察された仮説は、BHS 内に属する仮説である。以下にいくつかの例を示す。「 $w(3)$ は $w(1)$ と $w(2)$ の和」「 $w(3)$ は $w(1)$ と同じ数字」「 $w(1)$ 、 $w(2)$ 、 $w(3)$ の和が 10」「もし $w(1)$ と $w(2)$ が同じならば、 $w(1)$ 、 $w(2)$ 、 $w(3)$ は同じ数字」「 $w(1)$ と $w(3)$ が同じ数字かもしくは $w(2)$ と $w(3)$ が同じ数字」「 $w(3)$ は $w(1)$ と $w(2)$ の大きい方の数字」「 $w(3)$ は $w(1)$ から $w(1)$ の最小の約数を引いた数字」などがその例である。

この中には、より抽象的な仮説も含まれている。例えば、「 $w(3)$ は $w(1)$ によつて決まる」「 $w(3)$ は $w(1)$ と $w(2)$ の差によつて規定されている」など。

(5) 色の属性を含んだブロック仮説空間内の仮説

上記のブロック仮説空間内の仮説で、さらに色の属性が含まれている仮説である。例えば、「もし $w(1)$ の色が青、 $w(2)$ の色が緑ならば、 $w(1)$ と $w(3)$ は同じ数字」「 $w(1)$ と $w(2)$ の色が同じならば、 $w(3)$ は $w(1)$ と $w(2)$ の差」などがこれにあたる。

(6) 前試行の参照

履歴ウィンドウに記録された、以前の試行の結果を参照して、それと類似の繰り返しによつて $w(3)$ の値を推定しようとする仮説である。例えば、「前の試行で $w(1) = 5$ 、 $w(2) = 3$ 、 $w(3) = 4$ だつた。今回の試行でも $w(1) = 5$ 、 $w(2) = 3$ だから、 $w(3)$ は 4 になる」といったような例がこれにあたる。この場合、参照される試行は、一試行前に限らない。これは、仮説による値の予測というよりも、一種の類推的な推論による値の予測と考えることもできる。

(7) その他の仮説

以上のカテゴリに含まれない仮説である。例えば、「 $w(1)$ 、 $w(2)$ 、 $w(3)$ のいずれかが 3 の倍数」といったものから、「9 が何回か現われているので今度も $w(3) = 9$ 」といった漠然とした予測まで含めて、このカテゴリに含まれている。

それぞれのカテゴリの中に含まれた異つた仮説の種類数（延べ出現数ではないので注意）を、四つの実験条件ごとに、ターゲットを発見した場合（成功）、発見できなかった場合（失敗）に分けて示したものが表 2 である。縦列方向の値の和が、合計に

表 2 形成された仮説の種類

		ターゲット	BH	修正 BH	仮説 in BHS	色仮説 in BHS	前試行 参照	その他	合計
BH (Blocking Hypothesis)	成功	1	1	3	8	1	1	1	16
	漸進的FB 失敗	0	1	8	22	2	6	3	42
BH (Blocking Hypothesis)	成功	1	1	1	16	0	0	3	22
	飛躍的FB 失敗	0	1	4	9	3	1	3	21
BHS (Blocking Hypo. Space)	成功	1	1	0	13	6	6	6	33
	失敗	0	0	1	7	1	5	5	19
ブロック要因なし	成功	1	0	0	0	0	1	5	7
	失敗	0	0	0	0	0	0	2	2
合計		1	1	16	53	12	21	28	138

表 3 形成された仮説数の平均

		ターゲット	BH	修正 BH	仮説 in BHS	色仮説 in BHS	前試行 参照	その他	合計
BH (Blocking Hypothesis)	成功	1.0	1.0	0.8	1.3	0.2	0.2	0.2	4.7
	漸進的FB 失敗	0	1.0	1.9	2.4	0.2	0.7	0.3	6.5
BH (Blocking Hypothesis)	成功	1.0	1.0	0.1	1.8	0	0	0.3	4.2
	飛躍的FB 失敗	0	1.0	0.6	1.3	0.4	0.1	0.4	4.0
BHS (Blocking Hypo. Space)	成功	1.0	0.1	0	1.4	0.6	0.6	0.6	4.2
	失敗	0	0	0.1	1.0	0.1	0.7	0.7	2.7
ブロック要因なし	成功	1.0	0	0	0	0	0.1	0.4	1.5
	失敗	0	0	0	0	0	0	2.0	2.0

示された値と一致しないのは、各条件間で、同じ種類の仮説が含まれているからである。合計 63 名の被験者は、計 138 種類の異なった仮説を形成した。

3.3 仮説空間の探索状況

次に、被験者が 30 回の試行を通して形成した平均仮説数を、それぞれの実験条件、および各仮説のカテゴリごとに示したものが表 3 である。

表 3 より次のことがわかる。まず、ブロック要因なし条件では、被験者は段階的な仮説形成を経ることなく、ほとんど一気に解に到達していることがわかる。

次に、ブロック要因が存在する場合について見てみよう。表 2 において、BHS に含まれる仮説は、ブロック仮説 (BH)、修正ブロック仮説 (修正 BH)、ブロック仮説空間内の仮説 (仮説 in BHS)、色の属性を含んだブロック仮説空間内の仮説 (色仮説 in BHS) である。ブロック要因が存在する場合には、BHS 条件、BH 条件ともに、被験者は BHS の中を頻繁に探索している状況がわかる。

特徴的なのが、BH 条件において、漸進的フィードバックが与えられる場合 (BH/漸進的 FB 条件)

の、多数の修正ブロック仮説の出現である。とりわけ、この条件においてターゲットを発見できなかった被験者は、非常に多くの修正ブロック仮説を形成していることがわかる。

3.4 BHS 条件と BH 条件の差異

3.1 の結果では、BHS 条件と BH 条件の差異は、BH 条件におけるフィードバックの与えられ方に依存しており、パフォーマンス (正答率) の観点からみると、両者の差異は明確ではなかった。そこで、次には、3.3 の仮説空間の探索状況に基づいて、両者の間の心的固着の程度を検討する。

図 6 は、BHS 条件と BH 条件において生成された BHS 内の仮説の合計数の平均 (具体的には、表 3 における、修正ブロック仮説、ブロック仮説空間内の仮説、色の属性を含んだブロック仮説空間内の仮説の合計数の平均) を、ターゲット発見の成功と失敗に分けて示したものである。

図 6 より、特にターゲット発見に失敗した場合において、BHS 条件、BH/飛躍的 FB 条件、BH/漸進的 FB 条件の順に、BHS 内の仮説の数が増加してゆく様子がわかる。以上は、特にターゲット発見

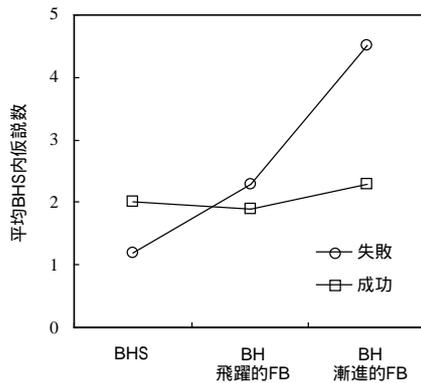


図6 BHS内仮説平均探索数

に失敗した場合に、BH条件においては、一度BHを棄却しても、繰り返しBHS内の仮説を探索する傾向が、BHS条件に比してより強く存在すること、すなわち、より強くBHS内の仮説探索に対する固執が生じていることを支持するものである。以上をまとめれば、BH条件とBHS条件の間には、連続的なものであるにせよ、何らかの心的制約の実質的な差異が存在することを示唆している。

3.の実験結果をまとめれば、被験者は、ブロック要因が存在することによって、解が存在しない誤った仮説空間を探索し、それが心的制約となつて、ターゲット発見のパフォーマンス低下を導いていると考えられる。とりわけ、特定の仮説に固着し、フィードバックが漸進的である場合には、被験者は修正ブロック仮説を多数生成し、それが心的固着を解消することをより著しく妨げていることが示唆される。

4. 検討

ここでは、以上の結果を、他の研究と対比的に検討する。

(1) 制約緩和理論

制約緩和理論(開・鈴木, 1998)によると、洞察が生じるためには、不適切な問題空間の探索を行なわせるオペレータの適用を強制している「制約」が「緩和」されることが必要であるとされる。先にも述べたように、本研究で用いられた課題は、開らが用いた問題解決課題ではなく、発見課題である。しかし、見当違いな問題空間の探索を、誤った仮説空間の探索と置き換えて考えれば、ここでも同様の議論が可能である。

本発見課題においては、ブロック要因が存在しない場合には、試行錯誤の過程をほとんど経ることなく直接解に到達することが可能であったことから、ターゲットを発見するためには、心的制約を緩和ということが非常に重要な要因であることがわかる。本実験の結果は、この「制約」に関して、探索される仮説空間に対する固着(BHS条件)、仮説空間の中の特定の仮説への固着(BH条件)の順で、より大きな制約が生じていることを示している。

さて、ターゲットを発見するためには、その制約を緩和しなければならない。制約緩和理論によれば、「緩和」は、基本的に「失敗の繰り返し」と、おのおの「失敗の程度」に依存して生じる「失敗の程度」が大きければ大きいほど、緩和は促進される。一般に、発見課題における失敗とは、仮説に基づく実験結果の予測の失敗であり、本課題においては、BHによる第3ウインドウの数字の予測がはずれた場合がこの状況に対応する。また、そこでの失敗の程度とは、「仮説からの予測と実際の観察結果の差異」であると考えられる。

BH条件で、漸進的フィードバックが与えられる場合に対して、飛躍的フィードバックが与えられた方が正答率が高かったことは、飛躍的フィードバックがより大きな程度の「失敗」をもたらし、それによって被験者の解消すべき心的制約が、より速く緩和されたことによるものと考えられる。

(2) surprising experimental results

Kulkarni & Simonは、KAKEDAというプロダクションシステムモデルを用いて、生化学分野におけるクレブスのオルニシン回路の発見過程をシミュレートしている(Kulkarni & Simon, 1988)。KAKEDAは、実験を行なう前に、予想される値の範囲を予測する。実験の結果が、その範囲を外れた場合、その実験結果に、surprising というタグがつけられる。そのようなタグが張られた実験結果は、その後の仮説形成において重要な役割を果たすことになる。

本実験において飛躍的フィードバックを伴う実験結果は、Kulkarniらのシステムにおけるsurprisingのタグがつけられた実験結果に対応すると考えられる。KAKEDAがシミュレートした課題は、洞察課題ではないが、古い仮説を修正して新しい仮説を形成する際におけるsurprising resultの重要性という意味では、両者の主張するところは一致して

いる。

(3) 負事例に対する反応

Chinn らは、歴史的データに基づいて、人間が例外的データを観察した時の反応を整理している (Chinn & Brewer, 1992)。Chinn らの分類は、以下の7種類である。(a) データを無視する。(b) データを排除する。(c) データを例外とする。(d) データを保留にする。(e) データを再解釈して仮説は保持する。(f) 仮説の微修正を行なう。(g) 仮説の修正を行なう。

本実験において、BH を形成した被験者が、第9試行以降において観察するするのがこの例外的データであると考えられる。実験の課題は、すべてのデータを説明する規則性を発見するものであったにもかかわらず、被験者が生成した132種類の仮説(表2参照)を調べると、その多くは、ある一部のデータ(極端な場合には、その時点で観察された1試行だけのデータ)を説明するにすぎなかった。すなわち、発見のプロセスにおける仮説生成では、Chinn らが言うところの、データの無視、データの排除、データの例外化、データの保留等が頻繁に生じていることがわかる。

一方、仮説に関する対応についてはどうだろうか。漸進的フィードバックの場合も、飛躍的フィードバックの場合も、BH が形成された後、第9試行において例外的データを観察した被験者の仮説の確からしさの評価を見てみると、ほとんどの場合で5段階評価の1、もしくは0に落ち込んでいた。すなわち、両条件ともに「仮説の保持」は行なわれていないことがわかる。さて、「仮説の微修正」が、本実験における「修正ブロック仮説」に対応すると考えられる。漸進的フィードバックの場合には顕著にこの反応が現われた。このように考えると、飛躍的フィードバックの場合には、仮説の微修正が抑制された分、むしろ「仮説の修正」の方が優性になり、それがBHへの固着という心的制約の緩和へつながったと考えられる。

(4) 情報理論より

Cheesman は、もつともらしい仮説の選択に関して、情報理論の立場から次のような基準を与えている (Cheesman, 1990)。

$$-\log p(H_i|D) = -\log p(H_i) - \log p(D|H_i) + \text{constant}$$

ここで、 H_i はある仮説空間 $\{H_i\}$ 内の i 番目の仮

説、 D は観察されたデータの集合を示す。左辺は、データの組 D が観察された時の仮説 H_i のもつともらしさ(値が小さいほどもつともらしい)であり、Cheesman は、この $-\log p(H_i|D)$ の値が小さくなるように、仮説 H_i が選択されるべきであると述べている。

さて、右辺に着目してみよう。

- 第1項、 $-\log p(H_i)$ は、データの組 D が観察される以前にわかっている H_i のもつともらしさ、つまり単純性や一貫性などの要因によって決まる仮説 H_i の「仮説としてのよさ」の程度を示す。
- 第2項、 $-\log p(D|H_i)$ は仮説 H_i を前提とした時に観察されたデータの組が観察されるもつともらしさであり、仮説がすべてのデータを説明する場合にはその値は0である。説明できないデータのばらつきが存在する場合には、その度合いに応じてこの項の値が大きくなる。

この第1項と第2項は、トレードオフの関係にあるとされる。

さて、本実験のBH条件において、第9試行以降にBHによって観察データが説明できなくなった状況について考えてみよう。

この場合、先に述べたデータの無視、データの排除、データの例外化、データの保留等が生じた場合には、第2項、 $-\log p(D|H_i)$ が値を持つことになる。漸進的フィードバックの場合、当初はデータのズレが小さく、その値はあまり大きくなる。ここで、被験者は、例外的データを説明するために、 $\{H_i\}$ 内を探索して、仮説 H_i を H_j に修正したとしよう。典型的には、仮説 H_j は、仮説 H_i (BH) を軽微に修正した仮説(修正BH)となる。その場合、第2項の値は0になるが、そのトレードオフとして、修正された仮説 H_j (修正BH)の unnatural さの分だけ、第1項、 $-\log p(H_j)$ の値が大きくなる。

さらに観察が続けられる中で、例外的データの数が増えてゆき、BHである H_i に対して、第2項 $-\log p(D|H_i)$ の値は徐々に大きくなる。第2項の値を抑えるために、仮説 H_k を形成しても、この仮説は非常に奇妙なものとなり、第1項、 $-\log p(H_k)$ の値が大きくなり、いずれにせよ(1)式は大きな値を持つことになる。

先に述べたように、観察されたデータの組、 D に対して、(1)式の値が小さくなるように、特定の仮

説空間 $\{H_i\}$ 内の仮説が選択される。しかし、被験者は、この式の値がある閾値を超えた時点で、仮説空間 $\{H_i\}$ 内からの仮説選択をあきらめ、別の仮説空間 $\{G_i\}$ から仮説を選ぶことを考えるようになる。

一方、飛躍的フィードバックが与えられた場合には、はじめから第2項、 $-\log p(D|H_i)$ が前述の閾値を超えることになり、例外的データが観察された初期から、仮説空間 $\{H_i\}$ 内からの仮説選択に対する固執が小さくなっていると考えられる。

このように考えると、(1) 式の値は、特定の仮説空間 $\{H_i\}$ への制約の緩和の促進を示す評価値として捉えることができる。

5. むすび

本論文では、発見課題を用いて、心的制約が緩和されてゆく過程を実証的に検討した。

以下に、得られた知見を整理する。

(1) 問題解決課題同様、発見課題においても、ターゲットの発見をブロックする仮説空間 (BHS) への心的固着、ターゲットの発見をブロックする特定仮説 (BH) への心的固着が存在することにより、被験者のパフォーマンスは著しく低下した。

(2) 被験者は、上述のブロック要因が存在することによって、実際に解が存在しない誤った仮説空間を繰り返し探索し、それが前述のパフォーマンスの低下を導いた。

(3) 特に、BHS 中の特定の BH に固着し、かつフィードバックが漸進的である場合、単に BHS が存在する場合に比して、より顕著に発見が妨げられた。この場合、被験者は修正ブロック仮説を多数生成し、それが心的固着を解消することを著しく妨げていることが観察された。

(4) 一方、パフォーマンスに着目する限り、BH 条件においてもフィードバックが飛躍的である場合には、BHS 条件との間に差異は認められなかった。しかし、特にターゲット発見に失敗した場合には、前者において、BHS 内の仮説探索により強く固執している傾向が認められた。

(5) 以上の結果を総合的に判断すると、本実験結果は、BHS 条件、BH/飛躍的 FB 条件、BH/漸進的 FB 条件の順に、より大きな心的制約が生じていることを示唆しており、被験者は、その心的制約を緩和することによって、ターゲットを発見することができるようになる。

以上の知見は、これまでも直感的には知られるところであつたと考えられるが、認知心理学的な実験手続きを用いて、実証的に確認されたことは重要であると考えられる。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

(a) 本実験からは、BHS 条件と BH 条件に生じている心的制約の差異に関して、十分な知見を与えることができなかった。より詳細な検討は、今後の課題となる。

(b) 本論文では、仮説空間の探索状況に基づいて、心的制約の緩和プロセスをとらえた。今後は、例えば、アイトラッカによる被験者の注意の遷移等に注目するなどして、より複合的な視点から同過程を分析してゆきたい。

(c) データにノイズが含まれているといったような状況で同様の実験を行なうことが考えられる (Gorman, 1989)。これにより、例外的データに対する被験者の反応はより複雑になり、より複合的な洞察のプロセスを観察することができるようになると思われる。

文 献

- Bartlett, F. C. (1958). *Thinking*. London: Allen & Unwin.
- Cheesman, P. (1990). On finding the most probable model. In Shrager, J & Langley P. (Ed.), *Computational models of scientific discovery and theory formation*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc. 73-95
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1992). Psychological responses to anomalous data. *Proceedings of the 14th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duncker, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographs*, 58:5, Whole No. 270.
- Gorman, M. E. (1989). Error, falsification and scientific inference: An experimental investigation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41A, 385-412.
- 開一夫・鈴木宏昭 (1998). 表象変化の動的緩和理論: 洞察メカニズムの解明に向けて. *認知科学*, 5, 69-79.
- Kaplan, C.A. & Simon, H.A. (1990). In search of insight. *Cognitive Psychology*, 22, 374-419.
- Klayman, J. & Ha, Y.-W. (1987). Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis

- esis testing. *Psychological Review*, 94, 211-228.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Psychology*, 12, 1-55.
- Klahr, D., Fay, A., & Dunbar, K. (1993). Deuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 25, 111-146.
- Kulkarni, D. & Simon, H. A. (1988). The processes of scientific discovery: The strategy of experimentation. *Cognitive Science*, 12, 139-175.
- Luchins, A. S. (1942). Mechanization in problem solving. *Psychological Monographs*, 54:6, Whole No. 248.
- Penner, D. E. & Klahr, D. (1996). When to trust the data: Further investigations of system error in a scientific reasoning task. *Memory & Cognition*, 24, 655-668.
- Shrager, J. & Klahr, D. (1986). Instructionless learning about a complex device. *International Journal of Man-Machine Studies*, 25, 153-189.
- Sternberg, R.J. & Davidson, J.E. (Ed.). (1995). *The nature of insight*. Cambridge, MA : The MIT Press.
- Sternberg, R. J. (Ed.). (1999). *Handbook of creativity*. Cambridge University Press.
- Ward, T.B., Smith, S.M., & Vaid, J. (Ed.). (1997). *Creative thought: An investigation of conceptual structures and processes*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Wason, P. C. (1960). On the failure of eliminate hypothesis in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129-140.
- Weisberg, R. W. & Alba, J. W. (1981). An examination of the alleged role of fixation in the solution of several insight problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 110, 169-192.

(1999年7月6日受付)

(1999年7月6日採録)



三輪和久 (正会員)

1984年名古屋大学工学部卒業・1989年同大学院工学研究科博士課程修了(情報工学専攻)・工学博士・名古屋大学情報処理教育センターを経て、1993年より名古屋大学大学院人間情報学研究科認知情報論講座助教授・1991年～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・とりわけ問題解決, 理解, 発見といった人間の high-order 思考過程に興味がある。



松下正法

1993年, 東北大学大学院理学部数学科卒業。1993年, オリンパス光学工業株式会社(技術開発本部諸限研究室)入社。1994年, 同退社。1997年, ECC コンピュータ学院(情報システム学科システム開発コース)卒業。2000年, 名古屋大学大学院人間情報学研究科修了予定。在学中, 発見における洞察過程についての研究を行う。