

ルール修正に及ぼす反例遭遇経験の役割

— 理論の節約性に関するメタ知識の教授の効果 —

中 島 伸 子¹

THE ROLE OF COUNTEREVIDENCE IN RULE REVISION

— The effects of instructing metaknowledge concerning non adhocness of theory —

Nobuko NAKASHIMA

It is said that types of rule revision triggered by counterevidence depend on various factors. The current research examined whether activating a metaknowledge, "theories involving fewer principles and non-ad hoc explanation of certain phenomena are better," promoted revising prior rules into more generalized rules after encountering counterevidence. In Exp.1, it was confirmed that revising prior rules to more generalized knowledge was too difficult, even when a subject had specified knowledge about counterevidence and other instances. In Exp.2, before conducting a rule generation task, above-mentioned metaknowledge was instructed explicitly to experimental group subjects, while not to control group subjects. It was found that subjects of an experimental group, significantly more than a control group, revised to more generalized rules after encountering counterevidence. This finding indicated that using the metaknowledge affected the type of rule revision and promoted revision to more generalized rules. A general discussion found out how this metaknowledge affected processes of rule revision, and its application to education was offered.

Key words : generalized rules, metaknowledge, counterevidence, rule revision, non-ad hocness of theory.

問 題

一般に、手持ちのルールと一致しない情報、すなわち反例と遭遇するという経験は、元のルールと、それが組み込まれているルールシステム全体に何らかの修正をもたらす可能性がある (Chinn & Brewer, 1992, 1993a, b; Holland, Holyoak, Nisbett & Thagard, 1986)。反例と遭遇することによって、自分の今まで使用してきたルールやルールシステムの正しさに疑問を感じるからであ

る。しかし、どのような修正がなされるかは、様々な要因によって変わりうる。本研究は、個人の持つ、知識やルールに関しての規範的なメタ知識が、反例に遭遇したときのルール修正の仕方に影響を与えていることを示す。

手持ちのルールに対する反例と遭遇した際、多くの場合、人は古いルールを捨てることなく、元のルールの適用範囲を狭め(特殊化)、かつ、反例を説明する例外ルールをルールシステムの中に組み入れることが多い (Gopnik & Wellman, 1994; Holland et al., 1986; Karmiloff-Smith, 1992; 金野, 1990)。例えば、「もしXが翼を持つ動物ならば、Xは飛べる。Xが翼を持っていない動物ならば、Xは飛べない。」というルールを持っている人に

¹ 旧、お茶の水女子大学人間文化研究科(The doctoral research course in human culture, Ochanomizu University) 現、新潟大学教育学部(Faculty of Education, Niigata University)

とって、ペンギンは反例となる。このときに、ペンギンに独特の特性(他の鳥が持たないような)に注目して、ペンギンの場合のみに適用可能な特殊なルールをつけ加えることによって、最初のルールを保持することが多いのではないかと考えられる。例えば、「もしXが翼を持つ動物ならば、Xは飛べる。Xが翼を持っていない動物ならば、Xは飛べない。ただし、ずんぐり太ってよたよた歩きをする場合は翼を持っていても飛べない」というように。

しかしながら、古いルールシステムで説明されてきたいくつかの事例と反例を包括するような、単一の汎用ルールに置き換え可能な場合がある。しかし、一般にこのようなことは非常に生じにくいといわれている。上記の例でいえば、ペンギンという反例を認識したときに、「もしXが翼を持つ動物ならば、Xは飛べる。Xが翼を持っていない動物ならば、Xは飛べない。」という従来のルールを捨て、「もしXが 1 g/cm^2 以上の翼を持つ動物ならば、Xは飛べる。Xが 1 g/cm^2 より小さい翼を持っている動物ならば、Xは飛べない。」というような新しいルールに変更するということはまれである²。

もちろん、時間をかければ、個別の学習領域において、より包括的で汎用性の高いルールを1つずつ教え込むことは可能かもしれない。しかし、自発的に、より包括的な汎用ルールへと自らのルールを変更していくような力を培うことができれば、様々な場面で役立つと考えられる。では、どのような条件が整えば、包括的な汎用ルールへの変更が可能になるのだろうか。

まず反例が少なくとも受け入れるに値する重要な意味を持つものとして認識されねばならない。反例が信頼でき、明瞭であり、様々な源から得られると認識される時、反例を受け入れやすくなり、反例の解釈は歪曲を受けにくいことが報告されている (Chinn & Brewer, 1993b)。

さらに、今までのルールで説明されてきた事例群(旧事例群)と反例との間に共通次元を見いだすことが必要である。そのためには、旧事例群や反例に関する既存知識が明細化されること、すなわち事例における様々な次元や属性が明示的に理解されている必要があると考えられる。例えば、Kotovskiy & Gentner (in press) は、事物間の構造上の共通性を認識するためには、個々の事物に含まれている、より具体的な属性を明示的に

認識している必要があることを示している。また、Karmiloff-Smith(1992)も、表象がより抽象的な形式に書き換えられる前に、表象が明細化していることが必要であると主張している。さらに進藤(1995)は、直観に反する科学的知識を教授する際に、誤法則を明確化しておく、その理解が促進されることを示している。

それでは、反例が十分受け入れるに足る特性を持ち、反例や旧事例についての既存知識が十分明細化されているならば、包括的で汎用性の高いルールは生成可能なのであろうか。

今までの研究からは、残念ながらそれは十分には明らかにされていない。しかし、少なくとも、反例を受け入れたとしても、元のルールの適用範囲を狭め、反例のみを説明するルールをつけ加える場合が多いということは、様々な研究で示されている (Karmiloff-Smith, 1992; 金野, 1990; 中島, 1995; 落合, 1990; Vosniadou & Brewer, 1992)。しかし、反例受け入れにおける知識の明細化の要因を直接検討した研究はほとんどない。Karmiloff-Smith (1992) の観察的研究にかいま見られる程度である。

彼女は、子どもが物体のバランスをとる際の方略の発達を観察している。その観察に基づいて、個人が既有理論に対する反証と遭遇したとしても、必ずしも、理論がより抽象的なものに変化するとは限らないこと、既有理論や反証についての理論がそれぞれに明細化することが重要であると主張している。しかし、すべての知識が明細化されれば、自動的に、汎用性の高い統合的なルールが出来上がるのだろうか。そのプロセスについては言及されていない。人は反例のみを説明するようなアドホックなルールをつけ加える傾向が強いことを考えると、既存知識が明細化していても汎用性の高いルールに変更することは容易ではないことが推測される。

そこで、まず第1に反例が受け入れるに足る特性を持っており、反例、旧事例についての知識が明細化しているという状況において、反例と旧事例を包括的に説明するような汎用ルールを生成するのは困難であるかどうかを検討する必要がある。

そして第2に、包括的な汎用ルールを生成するためには、さらにどのような働きかけが有効かを検討する必要がある。どのような働きかけが効果を持つかは以下のように予測される。

包括的な汎用ルールを生成するためには旧事例と反例とを説明する共通の基盤や次元を探索することが促される必要があることは既に述べた。しかし、既知の

² なお、この例は説明をわかりやすくするために筆者が創作したものである。

現象を説明するためには、アドホックなルールをどんどん作って使用していけば十分対処できる。従って共通の基盤や次元を探索するという行動は、実用上の必要性に迫られて生じるものではない。では、何によって促されるのか。その1つとして、ルールや知識、理論自体についての規範的なメタ知識が挙げられるだろう (Chinn & Brewer, 1992, 1993a,b)

科学的概念や数学理論を学ぶことの面白さの1つは、少ないルールで関連のある現象を説明できるということを知ることであろう。従って科学概念や数学概念を学校で学習すると、「ある現象を少ないルールで説明をする理論の方が好ましい」という、教科内容の知識に依存しないメタ知識が形成されていく可能性がある。

このような認識論に関わるメタ知識の獲得過程を調べた研究は、Samarapungavan (1992) のものが唯一である。彼女は、「ある現象のセットをなるべく少ないルールで非アドホックに説明をする理論の方が好ましい」という、理論の節約性に関するメタ知識の使用について調べている。それによると、小5になると、2つの理論の間の善し悪しを比較評価する際に、このようなメタ知識に基づいて判断することができるようになるという。従って、少なくとも小5以降では、理論の節約性に関するメタ知識は獲得されていると推測される。

しかし、理論の節約性に関するメタ知識が、自発的な理論構築やルール生成時に働くかどうかということは、まだ明らかになっていない。単に理論の善し悪しの判断の際にのみ働く暗黙的なものにとどまっているのでうまく働かないという可能性がある。また、その他のメタ知識(「理論の内的整合性」,「理論の外的整合性」,「理論の説明範囲の広さ」)は、小1で既に獲得されること (Samarapungavan, 1992) に照らすと、理論の節約性に関するメタ知識の獲得は比較的遅い。これらのことから、理論の節約性に関するメタ知識はルール生成の際には働きにくいものであると推測される。

以上のことから、「ある現象を少ないルールで説明をする理論の方が好ましい」という理論の節約性に関するメタ知識を活性化するような働きかけを行えば、反例と遭遇した際のルール修正において、より包括的な汎用ルールを作るようになる可能性があると考えられる。

本研究は、実験1では、反例が受け入れるに足るものと認識され、反例や旧事例に関する知識が明細化されているという条件が整ったとしても、包括的な汎用ルールへの変更はなされにくいのかどうかということを検討し、さらにそのような条件下でどの様なタイプ

のルール変化が見られるかを検討する。実験2では、反例が受け入れるに足るものと判断され、旧事例や反例についての知識が明細化している場合に、「ある現象のセットをなるべく少ないルールで非アドホックに説明をする理論の方が好ましい」という理論の節約性に関するメタ知識を活性化することによって包括的で汎用性の高いルールへと変更しやすくなるかどうかを検討する。

実験 1

目的

反例が受け入れるに足るものと認識され、反例や旧事例に関する知識が明細化されているという条件が整ったとしても、包括的な汎用ルールへの変更はなされにくいのかどうかということを検討し、さらにそのような条件下でどの様なタイプのルール変化が見られるかを検討することが目的である。

方法

実験1の目的を遂行するために、以下のような条件を満たす実験状況を設定した。第1に被験者がいくつかの事例に基づいてルールやルール集合を作っているところに、それらのルール集合では説明できない反例を提示するという事態を作った。第2に、被験者が、反例と遭遇した後に、次の2タイプのルール変更の仕方のどちらかが可能であるような状況を設定した。1つは、全事例を説明可能な包括的な汎用ルールを作るというタイプの変更方法である。もう1つは、先行のルール集合の適用範囲を縮小し、反例のみを説明するルールをつけ加えるというタイプの変更方法である。第3に、各事例が持っている属性を被験者にとって明確なものにするために、数字と形という2属性からなる単純な記号を作り、ルール生成のベースとなる事例として使用した。このことによって、被験者の反例や旧事例に関する知識が明細化していることを保証する。第4に、被験者が反例と遭遇する前につくるルール集合を安定させるために、同種類の事例を反復して提示した。第5に、反例を無視したり、誤って解釈することを避け、反例を受け入れるに足るものとして認識することを促すために、曖昧さの全くない刺激を作り使用した。具体的には以下のような手続で実験を行った。

手続と課題 個別面接によって下記の課題を実施した。時間制限はなく、所要時間は約30分～1時間であった。(a)課題 数字(1から10までの整数)と、数字を囲む枠(三角か四角)という2つの属性から成る記号どうしの優劣関係を決定するルールを推測していく課題である。

FIGURE 1-1 には全部で68個、34組の記号が示されている。1つの記号が1枚のカードに記入されており、実験者は、1度に2つの記号を被験者に対して提示した。被験者には、2つの記号間の勝敗(引き分けの場合もある)を予測し、実験者に対して示すことを求めた。その後、正解をフィードバックした。さらにこの後、被験者には、以下のような質問に答えさせた。

(1) (問2)³生成したルールと、ルールに対する信頼度；正解を見て、これから課題に正答するためにはどのようなルールを使用すればよいと思いますか？あなたが思いついたルールを記述して下さい。複数ある場合は1番もっともらしいと思うルールに○をつけておいて下さい。そして、正しいと思う確率を1つ選んで○をつけて下さい(0%から100%まで10%きざみで提示)。

(2) (問3) 更なる課題遂行への動機づけ；あなたは他のカード対の場合の正解をどれくらい確かめてみたいですか。1つ選んで○をつけて下さい(0. 全然確かめてみたくない~6. 非常に確かめてみたい, の7段階で提示)。

以上の手続を、異なる記号対に対して繰り返し行っ

た。提示した記号対は全部で34組であった (FIGURE 1-1)。

34試行の試行系列が終了した後、被験者に対して以下のような最終質問を行った。

(3) (最終質問) 最終的に生成したルール；この時点でああなたが生成したルールを記述して下さい。

なお、上記の課題は冊子状にして実施した。被験者に提示するカード、質問は冊子に書き込んである。被験者は冊子に記述してある指示に従って自分のペースで課題を進めていった。また、既に終了した試行は好きなときに見直しても良いことにした。課題に関する質問には適宜、実験者が答えた。

(b)試行系列の構造

●提示した記号対のタイプ 記号対のタイプは次の5種類にわけることができる。〈記号対タイプ1〉数字も枠の形も同じもの。試行1, 2など。〈記号対タイプ2〉数字が同じで枠の形が異なるもの。試行3, 4など。〈記号対タイプ3〉枠の形が同じで数字が異なるもの。試行5, 6など。〈記号対タイプ4〉枠の形も数字も異なり、少ない数字の方が三角で囲まれているもの。試行7など。〈記号対タイプ5〉枠の形も数字も異なり、少ない数字の方が四角で囲まれているもの。試行8など。

●ルールと試行系列の関係 すべての記号対に適用可能な汎用ルールとして想定したのは、「数字の値+枠の得点(三角枠と四角枠では後者に1点多く重みづけするという制約を満たす得点化の仕方)」の値の大きい方が強い、というルールである。この汎用ルールは、次のような小ルールに分解することができる。〈ルール1〉数字はその数値が大きいものほど強い、〈ルール2〉枠は三角よりも四角の方が強い、〈ルール3〉四角枠は数値に換算すると三角枠より1だけ大きい。

記号対タイプ1から4の場合は、記号間の優劣をルール1及び2だけで判断することが出来る。問題は記号対タイプ5である。タイプ5の記号対のうち、数字の差が2以上あるもの(例えば試行8など)は、枠の得点に注意を払わなくても、数字の大小に注目して判断すれば正解となる。つまり記号対タイプ1から4の場合と同様に、ルール1及び2だけを考慮できれば良い。ところが、記号対タイプ5の中でも、数字の差が1である記号対(例えば試行17,30など)に対しては、ルール1及び2のみでなく、ルール3も考慮しないと正解できない。

このことを利用して、最初にルール3を考慮しなくても正解できる記号対のみを繰り返し提示することによって、ルール1及び2からなる先行ルールを生成さ

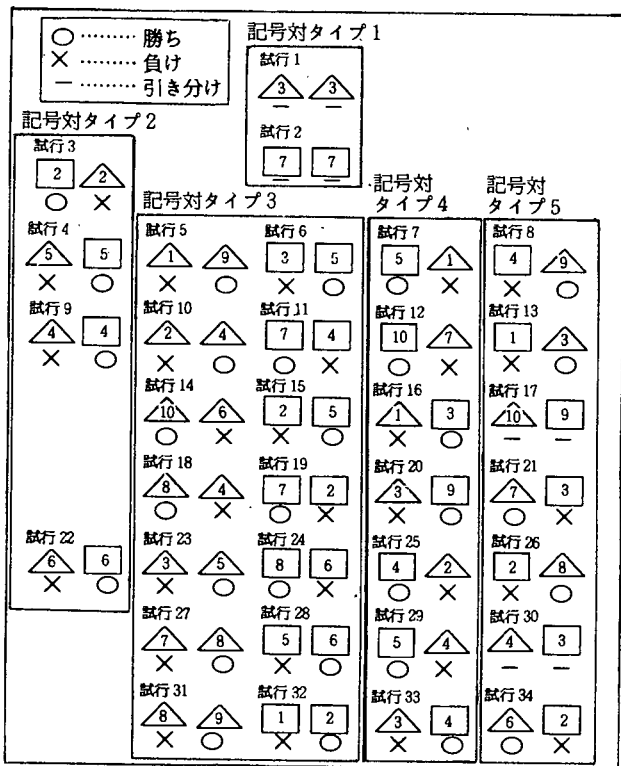


FIGURE 1-1 実験で使った記号と試行系列

³ このほか、問1(正解に対してどれくらい驚きを感じたか)を設けたが、分析対象にしなかったので本稿から省く。また問いの順序効果についても検討したがその影響はないと判定された。

せる。その後、ルール3を考慮しなければ正解できない記号対、つまり、記号対タイプ5のうち、数字の差が1の記号対を提示する。この記号対は先行ルールに対する反例となるはずである。このような反例記号対が提示されたとき、被験者が先行ルールをどのように変更するかを調べる。特にすべての記号対に適用可能な新しい汎用ルールを生成するのか、それとも先行のルール集合の適用範囲を縮小し、反例記号対のみを説明するルールをつけ加えるのかを調べる。

●反例の位置 試行1から試行16では反例記号対以外の記号対を繰り返し提示することで、被験者が十分に安定した先行ルール集合を作りやすいようにした。その後、試行17を反例記号対として提示した。さらにその後、試行29までは反例記号対以外の記号対を提示し、試行30で試行17と同じ種類の反例記号対を提示した。

反応の分類の手続 被験者が試行16までに安定して適用するようになったルールを、被験者が反例と遭遇する前に生成したルールとした。これは、試行16まで

の問2への答えを見て総合的に判断した。被験者が、最終質問において記述したルールを、被験者が反例と遭遇した後に生成したルールとした。

被験者 国立大学の学部生、大学院生21名、全員女性である。

結果と考察

被験者は反例と遭遇する前後でどのようなルール変更を示したか

反例試行の前後で、被験者はルールをどのように修正したのだろうか。ここでは試行17を行う直前、すなわち試行16直後に生成したルールと、全試行後に生成したルールとを比較することによって、ルール変更タイプを調べた。FIGURE 1-2にルールの変化の各パターンと、各パターンを示した被験者の人数、ルール変化の具体例を示した。

まず、ルールを全く変化させない被験者 (1)無変更) が2名見られた。このような被験者は、反例試行の前に、すでに、全記号対に適用できるような汎用ルール

	反例試行前	反例試行後
(1) 無変更 2名	汎用ルール (「数字+枠の得点」ルール) 2つの記号において、数字と枠の角の数を足し合わせ、その値の大きい方の記号が勝ち	汎用ルール (「数字+枠の得点」ルール) 2つの記号において、数字と枠の角の数を足し合わせ、その値の大きい方の記号が勝ち
(2) 汎用化型変化 3名	組合わせタイプ別ルール ・数字が同じ時、四角枠の方が三角枠に勝つ ・数字が異なる時、数字の大小で勝負が決まる	汎用ルール (「数字+枠の得点」ルール) 2つの記号において、数字と枠の角の数を足し合わせ、その値の大きい方の記号が勝ち
(3) 累加型変化 12名	組合わせタイプ別ルール ・枠の形が同じ場合は数字の大きい方が勝ち ・枠の形が異なる場合で、数字が同じか、あるいは四角枠で囲まれた数字の方が大きい場合は四角の付随している記号の方が勝ち ・枠の形が異なる場合で、三角枠で囲まれた数字の方が大きいときは三角の付随している記号の方が勝ち	組合わせタイプ別ルール ・数字が同じで枠の形が異なる場合は、数字の大きい方が勝ち ・枠の形が同じで数字の大きさが異なる場合は数字の大きい方が勝ち ・数字も枠の形も異なる場合は数字の大きい方が勝ち ・ただし、三角枠の囲まれた数が四角枠に囲まれた数字より1大きい数字の場合は例外的に引き分けになる
(4) 中間型変化 4名	組合わせタイプ別ルール ・枠の形が同じときは数字の大きい方が勝ち ・枠の形が異なるときは数字の大きい方が勝ち ・枠の形が異なり、数字が同じならば四角枠の付随する記号が勝ち	汎用ルール (「数字+枠の得点」ルール) + α ・枠の形が同じ時は数字の大きい方が勝ち ・枠の形が異なるときは、四角枠で囲まれた数字に1を足して、その数値の大小を比較して勝敗を決める

FIGURE 1-2 反例試行前後でのルール変更のタイプとその具体例

を生成していた。従って、反例試行後にルールを変更する必要がなかったのである。2名とも「数字+枠の得点(三角枠と四角枠では後者に1点多く重みづけするという制約を満たす得点化の仕方)」の値の大きさを勝敗が決まるというルール(以後「数字+枠の得点」ルール)を生成した。

残り19名は、反例試行の後に、何らかの変更を行った。これらの被験者は、反例試行前には、被験者なりの基準で記号の組合わせをタイプ分けし、組合わせタイプ別に小ルールを作っていた。その具体的ないくつかの例は、FIGURE 1-2 に示してある。

これらの被験者を反例試行後に生成したルールにもとづいて分類すると以下のような3タイプが見られた(FIGURE 1-2)。

第1のタイプは、すべての記号対に適用可能な新しい汎用ルールを作り、すべての記号対に適用するという被験者である((2)汎用化型変化)。このような被験者は「数字+枠の得点」ルールを生成し、適用していた。第2のタイプは、先行のルール集合の適用範囲を縮小し、反例記号対のみを説明するルールをつけ加えるという被験者である((3)累加型変化)。第3のタイプは、すべての記号対に適用可能な新しい汎用ルールを作るが、特定のタイプの記号対にのみそれを適用するという被験者であった((4)中間型変化)。このような被験者は、「数字+枠の得点」ルールを生成するが、特定の記号対にのみ適用し、残りの記号対には別の小ルールを適用していた。

以上の結果をまとめると、反例試行前後でのルールの変更タイプには3種類が見られるということがあきらかになった。第1に、反例試行前には、複数の小ルールからなっていたルールシステムが、単一の汎用ルールに変更するという「汎用化型変化」が見られた。第2に、反例試行前には、複数の小ルールからなっていたルールシステムの適用範囲が縮小され(時には組み替えが起こり)、反例を説明するためだけのルールがつけ加えられるという「累加型変化」が見られた。第3に、反例試行前には、複数の小ルールからなっていたルールシステムの一部のみを、全記号対に適用可能な単一の汎用ルールに置き換えるという変更の仕方が見られた。反例試行前のルールシステムの名残を残しているが、一部でより汎用性の高いルールへの置き換えが生じていることから、第1と第2のタイプの中間型だといえる。故にこのような変更タイプを「中間型変化」と呼ぶ。

「汎用化型変化」を示した被験者は、19名中3名のみであったことから、反例が受け入れるに足るものと認

識され、反例や旧事例に関する知識が明細化されているという条件が整ったとしても、汎用性の高いルールへの変更は起こりにくいことが明らかになった。

信頼度・動機づけ得点の変遷とルール変更タイプとの関連性

FIGURE 1-3 に、ルール変更タイプ別の信頼度および動機づけ得点の変遷過程を示した。まず、無変更型の2人の信頼度、動機づけ得点の変遷過程について見てみる。これらの被験者は他の被験者に比べて、信頼度、動機づけともに、比較的変動が少ない。これらの被験者の信頼度は試行17や試行30において急激な変化は見られない。また、動機づけ得点においても、試行17や試行30において、急激な上昇が見られるわけでもない。これらの被験者は、反例試行の前に、既に反例をも含む全記号対を説明できるルールを生成していたので、実験者の設定した反例である試行17や試行30を反例として認識していなかったといえる。

次になんらかの変更を示した被験者(累加型変化、汎用化型変化、中間型変化)19名の変遷過程の分析結果を示す。FIGURE 1-3 では「その他」として示されている被験者である。各被験者の信頼度について、3ルール変更タイプ(累加型変化・汎用化型変化・中間型変化)×34試行の乱塊法による2要因の分散分析を行ったところ、試行の主効果のみが有意であった($F(33, 645)=5.33, p<.01$)。試行の対間比較を行ったところ、以下の試行間にそれぞれ5%水準で有意な差が見られた。(その他全ての試行)17), (6, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 31, 32, 33, 34>21), (10, 11, 14, 15, 16, 32, 34>26), (14, 15>20), (15>18, 22)。これらの結果から、ルールを変化させた被験者においては、ルール変更のタイプによって信頼度の変遷の過程に相違はないということが示された。また、初期の試行から、試行16までは徐々に信頼度が増加していき、実験者が反例試行として設定した試行17において、大幅に減少し、それ以後、反例試行と同型の試行(枠の次元と数字の次元が拮抗する試行)の場合には、若干、信頼度が低下するものの、再び、後半試行に向かって上昇していくという傾向が見られた。

各被験者の動機づけ得点について、3ルール変更タイプ(累加型変化、汎用化型変化、中間型変化)×34試行の乱塊法による2要因の分散分析を行ったところ、試行の主効果($F(33, 645)=3.17, p<.01$)のみが有意であった。そこで、試行の対間比較を行ったところ、以下の試行間にそれぞれ5%水準で有意な差が見られた。(20, 21>9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 32, 33, 34), (17>10, 11, 12, 14, 15, 16, 34), (26>10, 11, 12, 14, 15, 16), (18, 19, 22, 23>11, 12, 14, 15, 16),

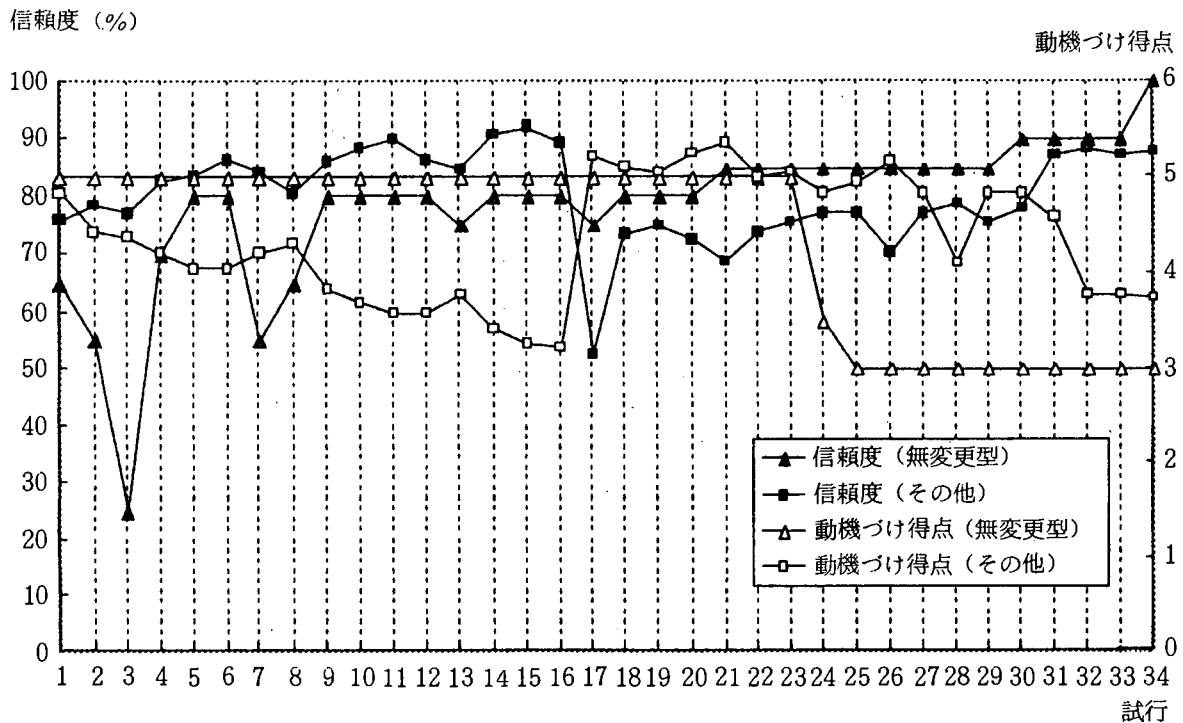


FIGURE 1-3 信頼度・動機づけ得点の変遷とルール変更タイプとの関連

(1, 24, 25, 27, 29>14, 15, 16)。これらの結果から、ルールを変化させた被験者においては、ルール変更のタイプによって動機づけ得点の変遷の過程に相違はないということが示された。また、実験者が設定した反例試行である試行17や、それ以降の試行17との同型問題などでは動機づけが増加する傾向があるものの、再び後半試行に向けて下降していくという傾向が見られた。

最後に、信頼度と動機づけ得点の関連性について述べる。全試行系列における信頼度の変化と動機づけ得点の変化の関連性を調べるために、各試行の信頼度の平均値と、動機づけ得点の平均値の相関係数を算出したところ、 $-0.86 (p<.01)$ というかなり強い負の相関が見られた。このことから、一般に信頼度が下がると動機づけが高まる傾向があるといえる。

以上の結果から、おおまかな傾向として、試行1から試行16までは信頼度は、徐々に上昇し、反対に動機づけ得点は下降し、試行17において信頼度は急激に低下し、動機づけは上昇し、その後、信頼度は徐々に上昇していき、動機づけは徐々に下降していくという変遷をたどる。そして実験者の設定した反例である試行17は反例として認識されており、試行30は、ルール変更後に行うので確認事例として認識されていたと推測される。

実験 2

目的

実験2では、反例が受け入れるに足るものと判断され、旧事例や反例についての知識が明細化している場合に、「ある現象のセットをなるべく少ないルールで非アドホックに説明をする理論の方が好ましい」という理論の節約性に関するメタ知識が活性化した場合の方が、そうでない場合よりも、反例に遭遇した際に、汎用性の高いルールが生成されやすいかどうかを検討することが目的である。

方法

被験者 国立大学の学部生、大学院生42名。全員女性である。実験群を21名と統制群を21名。

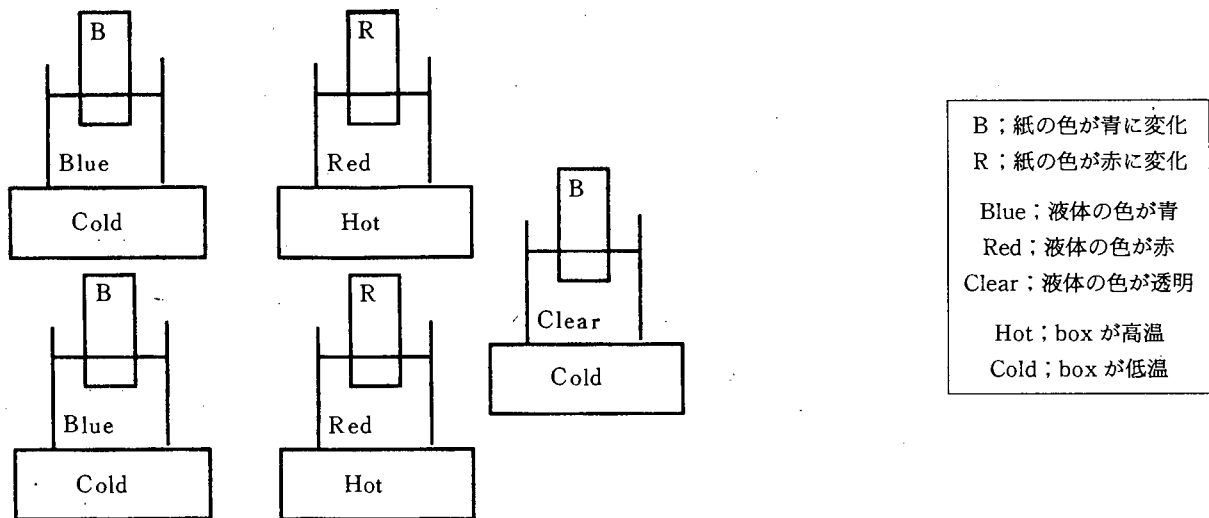
手続と課題 実験群にのみ、課題をはじめる前に、アドホックなルールを含む複数のルールで現象を説明するよりも、単一のルールで現象を説明する方が好ましいことを説明し、なるべく単純なルールになるように留意しながら課題を進めていくよう促した。それ以外の点は全て実験1の手続、課題と同じである。なお、実験群に与えた教示は以下の通りである。

教示 FIGURE 2-1 に示すとおりである。このような用紙を用いて被験者に説明し、課題実施中に被験者の目の前に置いておいた。

実験群の被験者に対して以下のようなような教示を行った。

<教示内容>

下図の現象を説明する次の2つの理論、理論1、理論2のうち、どちらが望ましいと思いますか？ 各理論を読んで考えてみてください。



理論1 ; 紙の色が変化するのは、容器の中に入っているのは染料で、それが紙にしみこむからである。従って、紙を赤い染料の中に入れると赤くなり、青い染料の中に入れると青くなる。しかし、紙が古く、酸化してしまっていると、透明な液体につけても青くなることもある。

理論2 ; 紙の色の変化は温度（熱いか、冷たいか）を表わしていると考え。従って、容器の中の液体が hot box によって暖められている場合は、紙は赤くなる。液体に色がついてなくても容器の中の液体が冷たい場合は、紙は青くなるのである。

どちらの理論も、全ての事例を矛盾なく説明しているといえますが、理論の「単純性・経済性」という点で考えれば、理論2の方が好ましいと言えます。つまり理論1より理論2の方が単純で経済的なルールと言うことができます。理論2は全ての事例を説明する単一の理論になっているのに対し、理論1は2つの理論、すなわち大多数の事例を説明する理論と、液体が透明の場合のみの紙の色の変化を説明するための例外的、補助的な理論とを含んでいるからです。これから、あなたに、ある「ルール発見課題」を行っていただきますが「単純・経済的なルール」になるように常に留意して進めて下さい。

FIGURE 2-1 実験群に与えた教示

注) 図が表わす現象は、Samarapungavan (1992) から引用し、この現象を説明する2つの理論はSamarapungavan (1992) の研究を参考にして修正し作成した。

得点化の手続、および、課題 実験1に準ずる。

仮説 (1)統制群より実験群の方が反例と遭遇する前後で汎用化型変化を示す被験者が多く、累加型変化を示す被験者が少ないだろう。

(2)反例に遭遇する前においても、統制群より実験群の方が汎用ルール(「数字+枠の得点」ルール)を生成する被験者が多いだろう。

結果と考察

4 教示で使用した現象の構造は、課題におけるルール構造とは異なるものである。わざわざ構造を変えた意図は、教示を類推してルールを作ることができないようにするためである。

反例と遭遇する前に生成されるルールは条件により異なるか 反例と遭遇する前に生成したルールによって被験者を以下の3種類に分類することができた。第1に、反例出現以前の全ての記号対に対して汎用ルール(「数字+枠の得点」ルール)を適用する被験者(実験群4名、統制群1名)、第2に特定の記号対のみに汎用ルールを適用し、残りの記号対には別の小ルールを適用する被験者(実験群1名、統制群1名)、第3に組み合わせタイプ別ルールを生成する被験者(実験群16名、統制群19名)である。条件と生成ルールのタイプの間に関連は見られなかった($\chi^2(1, N=42)=1.54, p>.10$) が、実験群の

方が若干、汎用ルールを生成する被験者が多く、組合わせタイプ別ルールを生成する被験者が少ない。

被験者は反例と遭遇する前後でどのようなルール変更を示したか。ここでは、反例試行前に、既に汎用ルール（「数字+枠の得点」ルール）を生成していた被験者7名を除いて分析した。なぜならば、ここでは反例と遭遇することによるルールの変化に焦点を当てており、これらの被験者にとっては、こちらが設定した反例が反例とはなっていないからである。

FIGURE 2-2 は条件別に各ルール変更タイプを示した被験者の割合を示したものである。ここでは、汎用化型変化を示した被験者と中間型変化を示した被験者とをまとめてカイ2乗分析を行う。この理由としては、中間型変化を示した被験者の内観プロトコルを分析すると、汎用ルール（「数字+枠の得点」ルール）を全ての記号対に適用できることを分かった上で、ある特定の記号対にのみ適用していることが、示唆されたからである。カイ2乗分析を行ったところ、有意な連関 ($\chi^2(1, N=35)=5.1, p<.05$) が見られた。このことから、反例試行後に累加型変化を示す被験者の割合は、統制群の方が実験群より高いのに対し、中間型変化や汎用化型変化を示す被験者の割合は、実験群が高いことが明らかになった。

教示及びルール変更タイプとメタ知識の活性化との関連性についての補足的分析。ここでは、メタ知識活

性化のための教示によって、実験群の被験者のメタ知識が実際に活性化されたかどうか、あるいは、汎用ルールを生成した被験者においては、メタ知識の活性化が生じていたかどうかの補足的な分析結果について述べる。

全試行終了後に「まとめられるルールはまとめるよう（なるべく少ないルールで説明しよう）」という意識を持っていましたか？という質問を行った（この質問を行えなかった被験者もいる）。その結果、この質問を受けた実験群17名のうち14名（約82%）が、統制群20名のうち8名（40%）が、「はい」と答えた。さらに、両条件をまとめると、汎用化型の被験者8名のうち8名（100%）が、中間型の被験者10名のうち、7名（70%）が、累加型の被験者16名のうち6名（約43%）が、「はい」と答えた。

以上の結果から、メタ知識活性化のための教示は、実験群の被験者のメタ知識を活性化させる効果があること、さらに、汎用ルールを思いつく被験者（汎用化型、中間型）はメタ知識を活性化していた被験者が多く、思いつかない累加型の被験者では少ないということが推測される。

実験2のまとめ。以上の結果から、仮説1が支持され、仮説2も支持される方向にあると言える。

すなわち「ある現象のセットをなるべく少ないルールで非アドホックに説明をする理論の方が好ましい」という理論の節約性に関するメタ知識が活性化した場合の方が、そうでない場合よりも、反例と遭遇した際に、汎用性の高いルールへの変更がなされやすい。さらに、反例と遭遇する前は、上記のメタ知識が活性化している場合の方が、汎用ルールを作る被験者が若干多くなる。

総括的討論

本研究は、知識やルールに関するメタ知識が、反例と遭遇したときのルール修正の仕方に影響を与える可能性を示した。

実験1の結果から、反例が受け入れるに足るものと認識され、反例や旧事例に関する知識が明細化されているという場合でさえも、反例を取り入れるために、反例のみを説明するためのルールを元のルールシステムにつけ加えることが多く、全事例に適用可能な汎用ルールへと変更することは希だということが明らかになった。

実験2の結果から、「ある現象のセットをなるべく少ないルールで非アドホックに説明をする理論の方が好ましい」という理論の節約性に関するメタ知識が活性

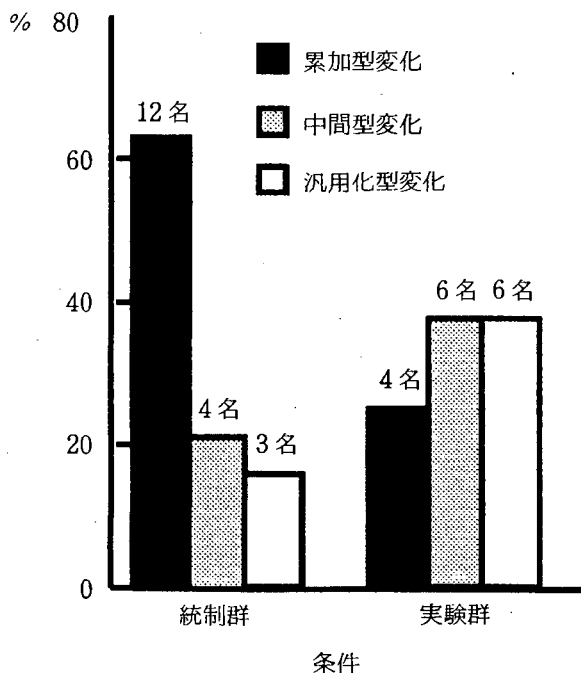


FIGURE 2-2 反例試行前後でのルール変更のタイプ

化し使用しやすい場合の方が、そうでない場合よりも反例を取り込む際に、より汎用性の高いルールへと変更しやすいことが明らかになった。

ここでは第1に「ある現象のセットをなるべく少ないルールで非アドホックに説明をする理論の方が好ましい」という理論の節約性に関するメタ知識が活性化した場合に、具体的にはどのようなプロセスを経て汎用ルールへの修正がなされるのかを考察する。本研究の結果を踏まえると次のように想定される。

反例を取り込み、汎用ルールである「数字+枠の得点」ルールへと変更するためには、「枠にも数的な重み付けをする」、あるいは、「枠の次元を数字の次元に変換する」などの発想を思いつき、適用することが必要である。実験2において「数字+枠の得点」ルールを生成しなかった被験者15名に課題終了後インタビューを行ったところ、11名(約70%)は、このような発想を全く思いついていなかった。残り4名(約30%)は、発想を思いつくのであるが、適用はしなかった被験者になる。このことから、2つの可能性が推測される。第1の可能性は、理論の節約性のメタ知識の活性化は、「枠にも数的な重み付けをする」、あるいは、「枠の次元を数字の次元に変換する」などの発想の想起を促すというものである。第2の可能性は、上記のような発想を既に想起している被験者に対して、その適用を促すというものである。2つの可能性のうち、どちらが正しいのか、あるいはどちらもあり得るのかを明らかにするためには、今後、被験者のルール生成プロセスを細かく検討していく必要がある。しかし、第1の可能性を支持する補足的な証拠として、以下のことが挙げられる。実験2において理論の節約性のメタ知識の教示を与えられなかった統制群の被験者20名に対し、課題終了後にインタビューをしたところ、11名(約60%)しか上記の発想を想起できなかったのに対して、教示を与えられた実験群の被験者20名のうち18名(約92%)が、このような発想を想起していた、という結果である。

第2に、本研究が教育実践に与える示唆について述べる。本研究から、知識や概念についての規範的なメタ知識を活性化することによって、知識修正の仕方が変化することが示された。特に、理論の節約性に関するメタ知識を明示的に与えることによって、より汎用性の高い知識への変更が促されると考えられる。Samarapungavan (1992)の研究結果から、このようなメタ知識は児童期にすでに獲得されていると推測される。しかし実験1の結果から、ルール生成の際には働

きににくいものであることが推測される。実験2から、既に獲得されていると考えられるメタ知識を活性化することによってルールの修正方法が変化することが明らかになった。これらのことから理論の節約性に関するメタ知識は、本来暗黙的なものであると考えられるが、教授介入によって明示化してやれば反例を取り込む際に働くようになると考えられる。

従来の学校教育には、知識や概念に関するメタ知識の育成を直接の目的とするカリキュラムは含まれておらず、生徒の中で暗黙的な知識のままになっているのではないかとと思われる。従って、このような教育を受けた者には、複数の理論の善し悪しを判断するというような状況では、このメタ知識は使用できるが、自分でルールや知識を構築せねばならないときには使用が難しいのではないかとと思われる。本研究の結果は、知識や概念自体の性質について、もっと直接に学習する機会を、教育の中に導入することの有効性を示唆するものと思われる。

第3に、知識獲得研究における本研究の意義について述べる。知識獲得の過程を扱った研究は数多くあるが、知識や概念の内容に関わる影響因を取り上げているものがほとんどである。本研究は、知識の内容に依存しない領域普遍の知識が、知識の修正の仕方に影響を与えることを示した点に意義があると考えられる。Chinn & Brewer (1993a)は、既存の理論に対する反例が示されたときの対処の仕方に影響を及ぼす要因を、個人の持つ信念の性質、入手可能な他の理論の性質、反例の性質、の3カテゴリーに分けて論じている。そして、個人の持つ信念の性質の1つのサブカテゴリーとして、「認識論的コミットメント(良い科学理論とは何かという判断に関わるメタ概念的な基準)」の性質を挙げている。この中に理論の節約性のメタ知識も含まれると考えられる。しかし、反例の処理において認識論的コミットメントが影響因になりうるかを実証的に検討した研究はいままでになかった。理論の節約性に関するメタ知識を活性化することが、反例遭遇時に汎用的な理論形成を促進するというを示した本研究の知見は、この点で新しいといえる。しかし、当然、様々な影響因間の関連性や優先性が存在すると考えられる。考えられうる要因は網羅されているものの、これらの関連性については全く論じられていない。従って、本研究で明らかにした理論節約性のメタ知識が、理論変化のプロセスにおいてどの程度の重要性や影響を持ちうるかを現時点で論じるのは困難である。様々な要因間の関連性や優先性を明らかにすることが、この研究領域

における、今後の検討課題となるだろう。

最後に、本研究で用いた図形刺激の特殊性について述べておく。第1の特殊性は、あらかじめ、焦点化すべき属性と属性値が明瞭だということである。日常的な概念や知識を学習する際には、事物の属性は無限にあるので、適切な属性への焦点化は自動的に生じるものではない。第2の特殊性は、全ての刺激を何度でも見直すことができるということである。日常場面ではこのようなことはなかなか生じにくいし、個人の記憶容量にも限界がある。第3の特殊性は反例を例外として無視することができないようになってきているということである。日常場面では反例はしばしば無視される。以上の特殊性があることから、本研究で再現されたルール修正プロセスが日常的な概念学習を完全に正しくシミュレートするとは言い切れない。しかし、日常的概念においても、最終的には様々な属性が明示化されるに至り、それにとまって、反例も反例として認識されるようになる (Karmiloff-Smith, 1992)。本研究で使用した人工的刺激は、日常的概念学習のこのような最終的段階をシミュレートすると考えられる。本研究では、被験者の知識が十分明細化し、既有知識内の探索が柔軟にでき、反例を反例として認識できるという状況において、汎用ルールを生成するために必要な条件を検討することを目的としているので、本研究の刺激の持つ特殊性は非常に都合の良いものであると考えられる。

引用文献

- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. 1992 Psychological responses to anomalous data. *Proceedings of the fourteenth annual conference of the cognitive science society*, 165—170.
- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. 1993a Factors that influence how people respond to anomalous data. *Proceedings of the fifteenth annual conference of the cognitive science society*, 318—323.
- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. 1993b The role of anomalous data in knowledge acquisition : A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of educational research*, Spring, 63, 1—49.
- Gopnik, A., & Wellman, H.M. 1994 The theory theory. In L.A.Hirschfeld & S.A. Gelman

(Eds.), *Mapping the mind : Domain specificity in cognition and culture*. Lawrence Erlbaum Associates.

Holland, J.H., Holyoak, K.J., Nisbett, R.E., & Thagard, P.R. 1986 *Induction : Process of inference, learning, and discovery*. MIT press. (邦訳 市川伸一他訳 「インダクション：推論・学習・発見の統合理論に向けて」新曜社)

Karmiloff-Smith, A. 1992 *Beyond modularities : Developmental perspectives on Cognitive Science*, Cambridge MA, MIT press / Bradfordbooks.

金野祥子 1990 一見矛盾する課題の解決過程における知識の役割 *教育心理学研究*, 38, (2), 126—134.

Kotovsky, L., & Gentner, D. (in press). Comparison and categorization in the development of relational similarity. *Child Development*.

中島伸子 1995 「観察によって得た知識」と「科学的情報から得た知識」をいかに関連づけるか—地球の形の概念の場合— *教育心理学研究*, 43, 113—124.

落合正行 1990 概念的変化のメカニズム—反例を取り入れることは理論の変化、概念的変化をもたらすか?— *追手門学院大学文学部紀要*, 24, 49—71.

Samarapungavan, A. 1992 Children's judgment in theory choice task : Scientific rationality in childhood. *Cognition*, 45, 1—32.

進藤聡彦 1995 誤法則を明確化する先行課題が法則の修正に及ぼす効果 *教育心理学研究*, 43, 266—276.

Vosniadou, S., & Brewer, W.F. 1992 Mental models of the earth : A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535—583.

謝 辞

本論文の実験に協力して下さったお茶の水女子大学の学生の皆様、また、本論文を作成するに当たり御指導いただきました、お茶の水女子大学文教育学部教授内田伸子先生に、心よりお礼申し上げます。

なお、本研究は平成8年度文部省科学研究費補助金・特別研究員奨励費の援助を受けた。

(1996.11.13 受稿, '97.4.21 受理)