

論考

問題解決としての論理的推論 — 条件文の方向性に関する実験的検討 —

服 部 雅 史

はじめに

条件文推論に関する様々な問題については、これまで、心理学のみならず、哲学、言語学、人工知能などの分野で議論が繰り広げられてきた（例えば、Traugott, ter Meulen, Reilly, & Ferguson, 1986）。その中で、「もし部屋を片付けたら、遊びに連れて行ってあげる」というような条件文が、しばしば「もし部屋を片付けたら、そのときだけ遊びに連れて行ってあげる」というように双条件的に解釈される傾向があることは、心理学や言語学において指摘されてきた（例えば、Taplin, 1971; Geis & Zwicky, 1971）。論理学においては、通常、「もし P ならば Q 」という条件文は、実質含意(material implication) $P \rightarrow Q$ に対応づけられ、「もし P ならばそのときだけ Q （もし Q ならば P ）」という双条件文は、実質等値(material equivalence) $P \leftrightarrow Q$ に対応づけられる。したがって、条件文の双条件解釈傾向は、論理学的観点から、実質含意の実質等値的解釈と捉えることができる。

しかし、人間にとって、前件(P)から後件(Q)を導く肯定式(modus ponens)の推論は容易だが、逆に、後件の否定($\neg Q$)から前件の否定($\neg P$)を導く否定式(modus tollens)の推論には若干の困難が伴うことは、多くの実験結果から知られている（例えば、Rips & Marcus, 1977）。論理学的にはこのような非対称性は存在しないことから、この事実は、条件文を論理学的（少なくとも古典論理学的）に捉えることの限界を端的に示していると言える。ここでは、この非対称性

を前件から後件への認知的方向性と呼ぶことにする。条件文の認知的方向性には、目的や価値などの様々な個人的要因も少なからず関係していると思われる。そうだとすると、単一の条件文における推論を見るだけではなく、目的のある文脈の中での推論を見ることが有用と考えられる。

人間の論理的推論に関する心理学的研究は古く、多くは、定言的または仮言的三段論法、Wason 選択課題、THOG 問題などを実験材料として用いて研究されてきた（レビューとしては、例えば、Evans, Newstead, & Byrne, 1993; Manktelow, 1999 など）しかし、そこで扱われる論理構造は比較的単純なものが多く、例えば、より複雑な論理的構造を持つ課題において、何らかの目的が全体の推論に及ぼす影響を調べるというような研究は、ほとんど見当たらない。仮に、人間の推論形態において、全体が部分を規定する関係が存在するとすれば、そのような観点は非常に重要であると考えられるにも関わらず、これまで扱われてこなかった。その1つの大きな理由として、被験者の推論過程同定の方法が確立していないことが挙げられるだろう。

そのような状況の中で、Hattori & Nakagawa (1996)は、論理的推論過程を同定するための客観性の高い方法を提案した。この方法は、一群の知識として相互に関連した条件文群（節集合）を扱うことが可能であることから、条件文の認知的方向性を調べるために最適な方法であると言える。しかし、この方法には方法論的な

限界があり、そのために被験者の推論過程が制約されてしまう可能性があった。そこで、本研究では、まず、この方法の問題点を解消する新たな方法を提案し、次に、その方法を用いて実験を行い、その結果から条件文の認知的方向性について考察する。

推論過程同定の方法論

これまでの方法の問題点

被験者の推論過程を探るための方法としては、現在のところ、発話思考法(Ericsson & Simon, 1984)が一般的かつ有用な方法であると言えるが、推論過程の客観的な同定方法としては、この方法には問題点が多い。考えられる問題点を列挙すると、分析において実験者の解釈が不可欠で主観の入り込む余地が大きい点、被験者に熟練が要求される点、叙述の信頼性が低い場合がある点、言語化可能な推論過程は全体の中のごく一部であると考えられる点、言語化の作業自体が推論過程に影響を及ぼす可能性がある点、などである。

Hattori & Nakagawa (1996)は、発話思考法に代わる推論過程の同定方法を提案した。この方法の基本的アイデアは、推論ステップを論理的問題解決事態におけるオペレータ(Newell & Simon, 1972)に対応づけることにより、推論過程をオペレータ適用系列として獲得するというものである。この方法により、人間が論理的な問題を解く際に行う推論過程を、反応から一意的かつ客観的に同定することが可能となった。ここで、Hattori & Nakagawa (1996)の方法について、ごく簡単に説明しておく。被験者に与えられる課題は、コンピュータ上で実現された化学の模擬の実験という設定で、目標は、与えられた数種類の薬品の中から指定された性質の薬品を見つけることであった。薬品の性質を調べるための手段として「テスト」が用意され、ま

た、薬品の性質の間に成り立っている「規則」が与えられた。薬品の性質は第一階述語論理の述語に、薬品は論理定項に、規則は節に、また、テストの実行はレゾリューション原理(Robinson, 1965)における導出にそれぞれ対応づけられた。テストは、初期段階では単位節に対応するものだけが実行可能であり、導出が進むに従い、各導出節に対応するテストが実行可能となった。以上の手続きにより、被験者の推論過程を「テスト」の実行系列として一意的に同定することが可能となった。以下では、簡単な例を挙げて説明する。

いま、例えば「薬品は、P性ならばQ性である」という規則を与えられ、目標が「Q性の薬品を見つけ出すこと」であるとする。また、「テスト」によりP性の薬品を見つけられるとする。このとき、規則は $\forall x[P(x) \rightarrow Q(x)]$ 、証明すべき結論は $\exists xQ(x)$ となる。あらゆる一階述語論理式は、充足不可能性を保存したまま節集合(set of clauses)に書き直すことができる(Chang & Lee, 1973, Chapter 4)。仮に、規則、結論の否定、およびP性の薬品の存在することを節集合で表すと、 $\{\neg P(x) \vee Q(x), \neg Q(a), P(a)\}$ となる(x は変項、 a は定項を表す)。ここで、被験者がPテストを実行しP性であることを確認したとすると、節 $P(a)$ と $\neg P(x) \vee Q(x)$ から $Q(a)$ を導出したと見なすことができ、次にQテストを実行すると、 $Q(a)$ と $\neg Q(x)$ から矛盾を導いたと見なすことができる。

Hattori & Nakagawa (1996)の方法には、ボトムアップ証明手続き(例えば、Kowalski, 1979)に対応する反応しか許されないという方法上の制約があった。ボトムアップ証明手続きとは、論理定項を含む単位節(unit clause)から開始する証明方法のことをいう。上記の節集合に関して、ボトムアップ証明手続きでは、まず、 $P(a)$ と $\neg P(x) \vee Q(x)$ から $Q(a)$ を導き出し、次に、 $Q(a)$ と $\neg Q(x)$ から充足不可能性を導出する。ちなみ

にトップダウン証明手続きとは、目標節(goal clause)から開始する証明方法で、まず、 $\neg Q(x)$ と $\neg P(x) \vee Q(x)$ から $\neg P(x)$ を導出してから $\neg P(x)$ と $P(a)$ から充足不可能性を導出する。実際、節集合に対する証明手続きは他にも多数存在し、理論的にその数は無限である。しかし、Hattori & Nakagawa (1996)においては、ボトムアップ証明手続きに対応しない反応をしようとした場合、そのままでは次のステップに進めなくなっていた。この方法上の制約により、被験者の本来の推論過程が実験結果に正確に反映されない可能性があった。次節では、この問題を解消する方法を提案する。

問題を解消する新たな方法

Hattori & Nakagawa (1996)の方法において、テストは、ある性質を持つ個体の発見のための手段であると同時に、推論過程の特定のための手段でもあった。このようにテストが二重の役割を持っていたため、論理定項ベースのボトムアップ証明手続きしか扱えなかった。例えば、 $P(x)$ と $\neg P(x) \vee Q(x)$ という2つの節から $Q(x)$ という節を導く場合のように、変項を含む節どうしのレゾリューションに直接的に対応させるためには、テストとは全く異なる手段を用意する必要があるだろう。しかし、本研究では、次のような方法により、テストという枠組みを残したままこの問題の擬似的解決を図った。

まず第一に、すべてのテストに実行可能性を持たせた。その結果、目標節に対応するテストだけを実施することによって、全く推論をせずに課題が終了となってしまうため、テストが実行可能かどうかは実際にやってみるまでわからないという設定にした。第二に、節の導出に一对一に対応するオペレータとして、「認定申請」という新たな手続きを導入した。薬品の性質は、ある仮想的機関に「認定申請」をして認定されて初めて意味を持つものとされ、認定されるの

は、実際のテスト結果、および規則を用いた論理的に正しい推論結果とされた。認定されない限り薬品の性質を発見したことにはならないので、課題が終了しない仕組みになっていた。被験者は、推論結果の認定の際、どのテスト結果とどの規則からどういう結論（性質）を導くことが可能と思うかについて、ひとつひとつコンピュータ画面において対話的に回答する。例えば、ある薬品がP性であったというテスト結果と、「すべての薬品はP性ならばQ性である」という規則から、その薬品がQ性であることを認定申請する場合、(1)対象とする薬品、(2)申請する性質（Q性）、(3)根拠となる規則番号、(4)根拠となる性質（P性）について、一つ一つ画面上に提示される質問に答えていく。この場合、 $P(a)$ と $\neg P(x) \vee Q(x)$ という2つの節から $Q(a)$ を導出したと見なすことができる。

以上の設定により、被験者の推論過程を認定申請というオペレータの実行系列として得ることができる。この方法では、認定申請の内容から誤推論の同定も可能となり、Hattori & Nakagawa (1996)の方法では期待できなかったきめ細かい分析が可能となる。また、後述のように、被験者が本来どのような証明方略を意図していたかを、テストを実行しようとした反応系列から推測することも可能であり、証明方略の同定も可能となる。以下では、この方法を用いて人間の条件文推論の方向性について調べるために行った実験について述べる。

実験

条件文は、双条件的に解釈される一方で、前件から後件への認知的方向性を持つという、一見矛盾する性質を併せ持つ。一方、「もしPならばQ」という条件文に対応する $P \rightarrow Q$ という論理式は、古典論理を始めとする多くの論理系で $\neg P \vee Q$ と等価とされている。この論理式は、

自然言語では「 P でないか、または Q である」となるが、ここにはもはや認知的方向性は存在しないように思われる。例えば、「降伏か死か」と「降伏しなければ死ぬ」という2つの文は、論理的には同じことを主張しているが、後者には、論理では説明できない認知的方向性が存在していると考えられる。

このような認知的方向性について実験的に調べるために、前節で述べた方法を用いることにした。実験は、適度に複雑な論理構造の中において、課題の全体的目標と推論の方向性との関係を定量的に調べることによって、条件文の認知的方向性に関する推論の特徴を明らかにすることを目的として行われた。現時点において、この方法では第一階述語論理の範囲内の論理式しか扱うことができないが、そのことがむしろ、論理で汲み取れない部分を浮き彫りにするという意味で有効と考えた。

方法

課題 まず、「規則」の原型となる節集合を用意した。

これは、次の4つの節からなる。

$$(1) \neg A(x) \vee \neg B(x) \vee C(x)$$
$$(2) \neg D(x) \vee \neg E(x)$$

$$(3a) \neg D(x) \vee B(x)$$
$$(3b) \neg C(x) \vee E(x)$$

次に、推論の方向性について明らかにするために、次のような条件を設定した。第一に、この節集合について、目標節（結論の否定）だけを異にする2種類の課題AとBを用意した。課題Aでは、式(1), (2), (3a)を規則、式(3b)を結論（の否定）とし、課題Bでは、式(1), (2), (3b)を規則、式(3a)を結論（の否定）とした。すなわち、両課題は論理的には全く同じ構造であるが、課題の目的に相当する目標節の位置だけが異なる。ただし、被験者に手渡された「規則」に使用される単語（薬品の性質名）は、両課題で異なるものとした。課題Aにおいては、述語A, B, C, D, Eは、それぞれ、イソ族、重化性、パラ性、壊性、劇性と表現され、課題Bにおいては、メソ族、錯性、土基類、シス類、塩化性と表現された。いずれも、現実には存在しない仮想的な名称である。

第二に、規則の表現に2種類のものを用意し

1. メソ族であり、かつ錯性である薬品は、土基類である。

2. シス類の薬品は、塩化性でない。

3. 土基類の薬品は、塩化性である。

以上の規則を利用して、シス類で、かつ錯性でない薬品を見つけてください。

Figure 1: 「規則」の例（「課題B, 含意形式」の場合）。

Table 1: 実験における各薬品のテスト実行可能性およびテスト結果の設定

課題 A						課題 B					
対象 ID	A	B	C	D	E	対象 ID	A	B	C	D	E
1	N	?	?	Y	?	1	Y	?	Y	?	?
2	Y	Y	?	Y	?	2	Y	?	?	Y	?
3	Y	Y	?	Y	N	3	N	?	?	?	N
4	Y	?	?	Y	?	4	N	N	?	Y	N
5	Y	N	?	?	N	5	Y	?	?	N	N
6	Y	?	?	Y	N	6	Y	?	?	Y	N
7	Y	Y	Y	Y	N	7	Y	?	N	Y	N
8	Y	N	N	N	?	8	Y	N	N	Y	N

Note. Y: 陽性, N: 陰性, ?: テスト実行不可能.

た。一つは「 P ならば Q である（ P は Q である）」という形式（含意形式 [I form]と呼ぶ）の文、もう一つは、それと論理的に等価な「 P でないか Q である」という形式（選言形式 [D form]と呼ぶ）の文である。ただし、両課題とも式(1), (2)については、薬品の性質名の単語以外は全く同じ表現とした。課題B・含意形式の規則の例をFigure 1に示す。

以上ような設定により、次のような事態が生じる。含意形式については、目標節が異なることにより、課題Aでは、下記(1)のような条件文の方向性に順方向の推論だけが要求されるが、課題Bでは、(2)に示されるような方向性に逆らった推論が複合的に要求される。一方、選言形式では形式自体にこのような方向性が存在しない。

$$\begin{array}{ll}
 (1) \ A(x) \wedge B(x) \rightarrow C(x) & (2) \ A(x) \wedge B(x) \rightarrow C(x) \\
 \begin{array}{c} A(a) \\ B(a) \\ \hline C(a) \end{array} & \begin{array}{c} A(a) \\ \neg C(a) \\ \hline \neg B(a) \end{array}
 \end{array}$$

論理定項に相当する薬品は8種類用意された。各薬品のテスト実行可能性およびその結果は、Table 1に示す通り定められた。表中、「?」はテスト実行不可能なことを、「Y」はテスト結果が陽性である（X性である）ことを、「N」はテスト結果が陰性である（X性でない）ことを、それぞれ表している。対象ID（薬品識別番号）の若い順に画面上左から一列に並べられていた。なお、「目的の薬品」に相当するもの（充足不可能性を具体化する論理定項）は、課題Aでは対象ID 2, 3, 4, 6, 7, 課題Bでは2, 4, 6, 7, 8である。被験者にとっての課題の目的は、テストと認定申請というオペレータを使用して、これらのすべての対象を確認することであった。

課題におけるすべての操作は、パーソナル・コンピュータ上でグラフィカル・ユーザ・インターフェースを用いて実施された。テストや認

定申請などにおける反応時間は1/10秒単位で測定され、その実行過程と共に記録された。

練習課題 実験に先立って、簡単な練習課題を実施した。練習課題では、 $\forall x[A(x) \rightarrow B(x)]$ という1つの規則が用いられ、B性の薬品を見つけるという目標であった。薬品としては目的のものとそうでないものの2種類が用意され、テストはすべて実行可能であった。規則の表現形式（含意／選言）は、各被験者の実験条件に一致させた。練習は、実験者がそばについて操作方法を説明しながら行った。被験者の納得が行くまで、同じ課題を繰り返し実施した。

被験者および実験計画 被験者には24名の学生を使用し、実験は1人ずつ個別に行われた。各被験者は、課題A, Bの両方を実行した。実験は、規則の表現形式（含意／選言）、および2課題の実行順序に関して、 2×2 の4条件に各6名ずつの被験者を無作為に割り当てて実施された。

結果および考察

推論過程の典型例とその特徴 Figure 2は、課題Aにおける異なる被験者の推論過程の一部を示す。これらの推論過程は、対象ID 1（Table 1参照）に相当する同一の薬品に対するもので、左は規則の表現形式が含意形式、右は選言形式の結果を示す。最上段の数字は規則の番号、アルファベットは述語、右側の3桁の数字は課題全体を通したステップ（通し番号）を示す。述語の下に並ぶ記号のうち、?はテストが実行不可能であったことを、Yはテスト結果が陽性であったことを、Nは陰性であったことを、それぞれ表す。また実線は正しい推論を、破線は誤った推論を表す。以下では、選言形式の場合を例にとって図の読み方を説明する。

まず、ステップ013でCテストを実行しようとしたが実行不可能であった。次に、ステップ

016でEテストも実行不可能であった。以下、ステップ017でDテストを実行し陽性、018でEテスト実行不可能、019でD性であるという以前(017)のテスト結果と規則(2)からE性でないと正しく推論（認定申請の実行）、020でA性でないことをテストで確認、021、048でB性テスト実行不可能、049でD性であるという結果(017)と規則(3a)からB性と正しく推論、050でA性でないという結果(020)とB性であるという推論結果(049)から規則(1)を用いてC性であると誤って推論、と続く。

Figure 2の2つの推論過程を比較すると、ID

1という同一対象に対して、条件の違いによって非常に異なった推論がなされていることがわかる。実は、この対象は充足不可能性を示すことができないものである（すなわち、目的の薬品ではない）ため、できるだけ早く見切りをつける方がより効率のよい方法となる。左の含意形式の被験者11の場合、必要最小限のテストを実行することにより、充足不可能性をいち早く明らかにしており、論理構造をよく理解して無駄のない効率的な推論をしていることがわかる。一方、右の選言形式の被験者35には、やや冗長な導出が見られる。ステップ050の導出は

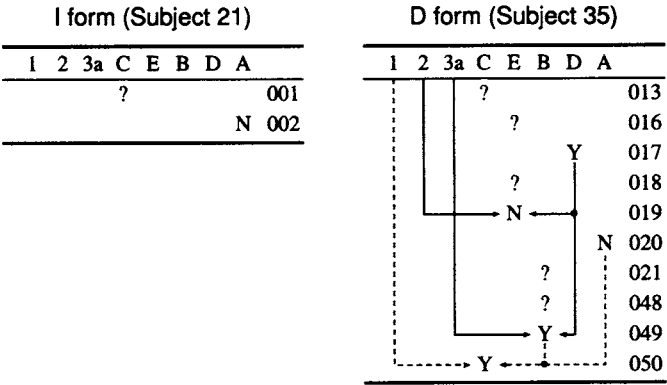


Figure 2: 課題Aにおける推論過程の典型例。

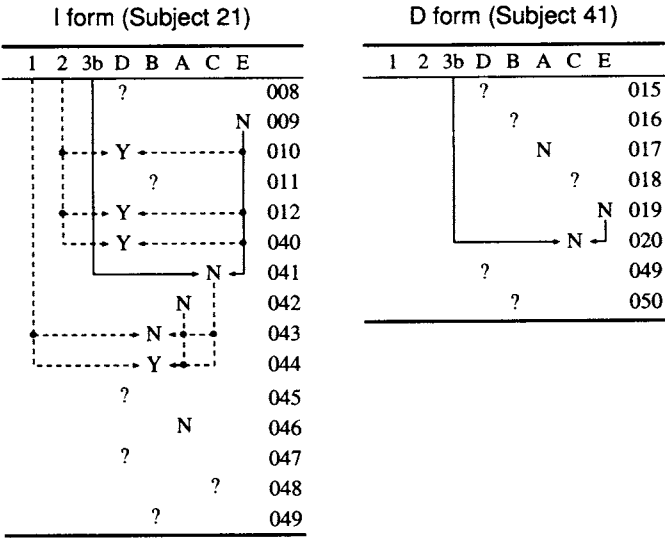


Figure 3: 課題Bにおける推論過程の典型例。

誤推論であるため冗長であると同時に、この前提となった049の導出も目的のためには必要のない冗長な導出である。こうしてみると、含意形式が選言形式に比べ、いかに効率のよい推論を促す形式であるかが明らかとなる。

Figure3は、課題Bにおける結果の一部を示す。この図は、対象ID 3（Table 1参照）に相当する薬品に関する結果で、Figure 2と同様、充足可能性を示すことができない対象である。左が含意形式、右が選言形式であるが、この課題の場合、含意形式では含意の方向性に逆らった推論が要求される。含意形式では誤推論が目立ち、ステップ数も多く費やされていることがわかる。課題Bの含意形式の特徴としては、同一の誤推論が繰り返されていること（ステップ010, 012, 040）、ある性質である／ないという全く逆の結論を導く推論がなされていること（043, 044）などが挙げられる。同様の傾向は、他の多くの被験者の推論過程にも見られた。このようなパフォーマンスの悪さの原因は、課題AとBは論理的には全く同じ構造であることから、論理形式によるものではないことがわかる。また、この被験者(21)は、Figure 2の含意形式に示したものと同一の被験者である。このことから、この結果は、被験者の論理的推論能力の個人差などに帰することができるものではないことが

わかる。したがって、ここでの推論パフォーマンスの違いは含意の方向性によると結論づけられる。

Figure 2とFigure 3を比較することにより、含意形式と選言形式の特徴が明らかになる。含意形式は、認知的方向性を伴う形式であり、ある意味で目的に特化した形式であると言えるだろう。したがって、その方向性が目的に合致している場合（Figure 2左）は、非常に効率的な推論が可能となる代わりに、方向性が目的に合致しない場合（Figure 3左）は、そこでのパフォーマンスはかなり低いものとなる。一方、選言形式は、認知的方向性を伴わない形式であり、目的に特化しない一般的な形式であると言える。一般的であるがゆえに、特定の場面における効率性は期待できないが、常にある程度のパフォーマンスが保証される。以降では、課題（含意の方向性）や規則の表現形式による推論パフォーマンスの違いについて、個別例を離れ全体的傾向を見ていく。

誤推論の頻度とパタン まず、各課題実行中になされた全誤推論数に関して、含意形式においては、課題A ($M=0.67$)と課題B ($M=4.67$)の間に有意な差が見られた、 $t(11)=4.16$, $P<.01$ 。一方、選言形式においては、課題A ($M=0.83$)と課

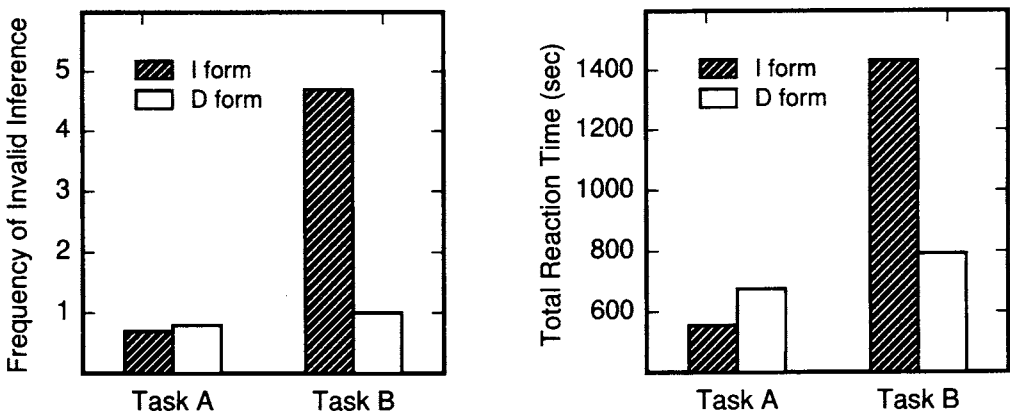


Figure 4: 課題A, Bにおける課題実行中の誤推論頻度（左）、および総反応時間（右）。規則の表現形式（含意形式[I form]と選言形式[D form]）別に示されている。

題B ($M=1.00$)の間に差は見られなかった, $t(11) = .33, P=.75$ 。これらの結果は, Figure 4の左側に示されている。なお, 課題Aについて, 含意形式と選言形式の間に差は見られなかった, $t(22) = 0.37, P=.71$ 。このような全体的傾向は, Figure 2およびFigure 3で見た典型例の傾向に一致するものである。すなわち, 含意形式は, 課題Aにおいては課題目的に一致する認知的方向性を有していたため, 誤推論をする可能性が低かったが, 課題Bにおいては一致していなかったため, 誤推論が増大した。選言形式においては方向性が存在しないため, 両課題で全く同様のパフォーマンスを示した。ただし, 課題Aにおいて両形式の間に差が見られなかったことから, 誤推論数の観点からは, 選言形式のパフォーマンスは概して優秀であったと言える。

次に, 各課題において見られた誤推論のパターン別の内訳は, Table 2に示される通りであった。表の上部は二項関係規則 (規則2, 3a, 3b) に関する誤推論, 下部は三項関係規則 (規則1) に関する誤推論を示す。二項関係規則は3つあるが, ここでは論理的パタンの分類が目的なので, 各規則の述語を置換し $P \rightarrow Q$ (選言形式では $\neg P \vee Q$) の形に直して分類・集計されている。

表の第1列は, 推論を三段論法として捉えたときの第二前提文にあたる部分であり, 第2列は結論に相当する部分である。例えば, 三項関係規則の最初の誤推論は, $\forall x [A(x) \wedge B(x) \rightarrow C(x)]$ という規則と, $A(a)$ および $\neg B(a)$ という2つの事実 ($A \wedge \neg B$ と表記) から, $C(a)$ を (C と表記) 誤って導いた推論を表している。

Table 2において, 各課題における含意形式と選言形式の間の誤推論パタンの分布の違いは歴然としている。特に課題Bにおいては, 二項関係規則の上から2番目は, いわゆる後件肯定の虚偽という古典的に有名な誤りであり, また三項関係規則の上から5番目は, その三項拡張版と言えるものであるが, これらの頻度が含意形式において突出していることがわかる。これらは, いずれも従来の双条件解釈によって説明可能な誤りであるが, 本研究の観点からは, いわば含意形式の効率の代償として表出した誤推論と捉えることができる。

課題AとBは, その論理構造は同じであったが, 目標節が異なったため, 課題の終了のために必要とされる証明内容 (テストおよび認定申請) は異なっていた。したがって, 課題A, B間の誤推論頻度の単純な比較にはあまり意味が

Table 2: 課題ABにおいて見られた誤推論パターンとその頻度

2nd premise	conclusion	Task A		Task B	
		I form	D form	I form	D form
		$P \rightarrow Q$	$\neg P \vee Q$	$P \rightarrow Q$	$\neg P \vee Q$
P	$\neg Q$	0	4	0	1
Q	P	1	0	24	1
Q	$\neg P$	0	0	2	0
$\neg Q$	P	0	2	2	6
		$A \wedge B \rightarrow C$	$\neg A \vee \neg B \vee C$	$A \wedge B \rightarrow C$	$\neg A \vee \neg B \vee C$
$A \wedge \neg B$	C	0	1	0	0
$A \wedge \neg B$	$\neg C$	4	0	0	0
$\neg A \wedge B$	C	0	3	0	0
$\neg A \wedge \neg B$	$\neg C$	3	0	0	0
$A \wedge C$	B	0	0	12	0
$A \wedge C$	$\neg B$	0	0	2	1
$A \wedge \neg C$	B	0	0	2	2
$\neg A \wedge \neg C$	B	0	0	5	1
$\neg A \wedge \neg C$	$\neg B$	0	0	7	0

ない。特に三項関係規則において、上部4つのパタンは課題Bの頻度がすべて0で、残りは課題Aの頻度が0となっているが、このような差は、結論の違い（否定を含めてBかCか）、つまり、課題目的として必要とされた性質が異なっていたことによると考えられる。しかし、この結果は、推論が目的志向的になされたことの証拠になっていると捉えることができる。すなわち、目的があつてこそ、その目的に一致した、あるいは正反対の結論を導こうとするために誤推論が発生したと考えられる。

反応時間 総反応時間（秒）に関して、正規近似のため対数をとって平均値を比較したところ、誤推論頻度と同様の傾向が見られた。含意形式においては、課題A ($M=524.5$, 逆変換値, 以降同)と課題B ($M=1259.4$)の間に有意な差が見られた, $t(11)=4.81, P<.01$ 。一方、選言形式においては、課題A ($M=618.4$)と課題B ($M=741.9$)の間に差は見られなかった, $t(11)=.99, P=.34$ 。なお、課題Aにおける含意形式と選言形式の間の差は有意ではなかった, $t(22)=1.02, P=.32$ 。これらの結果は、Figure 4の右側に示されている。

Table 3: 各課題における証明方略の分類

		Bottom-up	Top-down	Others
I form	Task A	1	2	9
	Task B	0	4	8
D form	Task A	1	6	5
	Task B	0	6	6

証明方略 節集合における代表的な証明方法として、ボトムアップとトップダウンの証明手続きが存在することは前述したが、ここではまず、これらの証明方略の同定方法について説明する。ボトムアップ手続きの場合、単位節から証明を開始することから、課題Aを例にとると、テストはAとDだけを実行し、残りは認定申請により、目標節に向かって順に性質を明らかにしていくことになる。

認定申請の実行順序は次の2つを満たす。(1) BとEのいずれもDの後、(2) CはAとBのいずれよりも後。以上の条件を満たす実行手順をとったものをボトムアップ方略と呼ぶことにする。トップダウンの場合は、 $\neg C(x) \vee E(x)$ が目標節であることから、CテストまたはEテストが最初に実行され、その後、目標節から反駁可能な節を逆順に辿っていくようにテストが実行されていく。テスト実行系列（実際には実行しようとした系列）における出現順序は、次の2つを満たす。(1) CがA, Bのいずれよりも前、(2) BまたはEの少なくとも一方がDよりも前。テスト実行系列がこれらの条件を満たすものを、トップダウン方略と呼ぶことにする。

ところが、実際には、目的の性質を満たさない薬品や、トップダウンに関しては非単位節の述語に対応するテスト（課題AにおけるテストB, C, E）が実行可能となっている場合には、上記の手順は途中で中断されることになる。そこで、厳密に方略を同定可能なのは、課題Aの対象ID 4、および課題Bの対象ID 2の2つに限られる（Table 1参照）。被験者が対象毎に方略を変える可能性は否定できないが、この課題の場合、被験者の方略はある程度一貫していると考えの方が妥当と思われるので、方略の同定にはこれらの対象のみを利用する。以上の方針に基づいて各被験者の証明方略を同定し、課題および規則の表現形式別に集計した結果をTable 3に示す。

課題および規則の表現形式が、証明方略の選択に影響を与えたかどうかを見るため、Table 3の独立性を調べた。分析は、課題(A/B)、規則表現（含意／選言）、方略（トップダウン／それ以外）の3要因について、対数線形分析（例えば、Agresti, 1990を参照）によって行われた。ボトムアップ方略は、セル頻度が少ないためその他の方略に含めた。有意水準5%とし逆向変数減少法により階層モデルの選択を行ったとこ

ろ、データは、要因なしの定数モデルによって十分説明されることが示された、 $G^2(7) = 7.18$, $P = .41$ 。このことから、課題や規則表現は、被験者の方略の選択に影響を与えなかったと言える。

各方略として認められるテスト・認定申請の実行系列の組み合わせの数を考えると、先の定義に従うと、ボトムアップ手続きは課題Aで14種類、課題Bで4種類存在し、トップダウン手続きは課題Aで18種類、課題Bで12種類存在する。このように方略間で若干の自由度の差はあるが、Table 3の方略採用数の差をこの数の違いだけで説明するのは困難である。むしろ、被験者は、課題実行時のコスト利得の観点から、自分が最適と思う方略を選択したと考えるのが妥当であろう。この方法の性質上、ボトムアップ方略は、証明可能な対象については必ず目的に辿り着くことができる確実な方法であるのに対して、トップダウン方略は、たまたまテストが実行可能であれば、その下位の部分の証明を省くことができるという意味で、ショートカットを実現し得る方法になっていた。被験者は、このことを見越した上で、操作上の手間とショートカットの可能性を考慮にいて、トップダウン方略を選択したものと考えられる。このことに関しては、総合的考察において発展的に論ずる。

総合的考察

証明が失敗に終わる対象における推論過程の同定が可能となったのは、本研究による成果である。本研究の方法によって同定された推論過程のうち、課題・規則表現形式による特徴的な違いが明確に見られた部分をFigure 2およびFigure 3に示したが、興味深いことに、このような特徴的な違いの表出は、被験者が探すべき目的の性質を満たす（証明が成功する）対象よ

り、むしろそうでない対象においてより際立っていた。含意の方向性に逆らった推論が要求された課題Bでパフォーマンスが低下したことは、前述した通り、方向性に逆行する推論の困難さを明確に示している。しかし、それと同時に、そこには目的が推論に先行する様子も伺われる。証明が失敗する対象に対しては、正しい推論が不可能であることを悟って何もしないのが正解で、目的の性質を導き出したいという意図があるからといって、誤った推論を持ち出しではいけない。日常生活において、時としてひとは、目的とする結論がその人にとってあまりにも強力な場合、他人から見ると明らかに強引な推論過程や理由づけによって、その結論を支持するような場合があるが、このような例は、目的と推論の複雑な関係を示唆していると言える。もちろん、人間の推論とは常に目的に沿った結論を導くように行われるものだと単純に結論づけられるようなものでは決してないが、その反対の、目的を一切持たない純粋な推論というものが果たして存在するのかどうかは甚だ疑問である。少なくとも、条件文の認知的方向性は、このような目的志向性と密接に関わっているように思われる。

条件文の目的志向性は、論理的に等価な書き換えによって浮き彫りになる。「彼女は、友人に会い、かつお金を持っていれば、遊びに行く」という文は、彼女が友人に会うをA、お金を持っているをB、遊びに行くをCとすると、 $A \wedge B \rightarrow C$ という論理形式になるが、これと論理的に等価な $\neg C \wedge A \rightarrow \neg B$ は、「彼女は、遊びに行かず、かつ友人に会うならば、お金を持っていない」という極めて不自然で理解しにくい表現となる。論理的な等価変換（書き換え）は各命題の同等性を前提としているにも関わらず、ここでの命題A, B, Cは、目的志向的観点から同等ではないため、このようなことが起こると考えられる。すなわち、A, B（前件）は、広い

意味での目的としてのC（後件）を予測，説明，理解するための材料，前提であり，この文脈においてA, BとCとは水準が異なると思われるべきである。

本実験において，目的に対して順方向の場合の含意形式の優位性と，選言形式の汎用性が示されたが，今後この議論は，人間の知識一般にまで拡張していく必要がある。つまり，知識には，論理的には同じ内容であっても，知識獲得の経緯や日常生活における知識利用のされ方に依存して，方向性を持った目的知識と方向性を持たない汎用的知識の2つが存在する可能性がある。特に，強い目的を持って形成された知識は，強い方向性を有するとも言えるかもしれない。このことを明らかにするためには，学習時における目的と獲得された知識の内容の関係を調べる必要があるだろう。この問題は，いわゆる目的教育と教養教育の教育効果に関する議論につながる。すなわち，強い目的をもった教育によって獲得された知識とそうでない知識とでは，知識構造自体が異なる可能性があり，そうだとすると，そのことを踏まえた上での教育効果を論ずる必要があるだろう。今後，このような観点から研究を進めていく必要があると思われる。

本研究の方法は，推論ステップを問題解決のオペレータに対応づけたことにより，推論過程の同定が可能になった反面，前述のように，証明方略がショートカットの可能性というオペレータのコスト利得構造に影響されるという結果を招いた。しかし，このことは，この方法を用いることによって，課題におけるコスト利得構造の操作が可能になることを意味し，それを利用して被験者のコスト利得観と方略の関係を探る可能性を示していると言うことができる。さらに言えば，コスト利得構造や期待効用に無関係の，ある意味で純粋な（論理的）推論というものが存在するかどうかについては議論の多い

ところであり（Cosmides, 1989; Cheng & Holyoak, 1985），そのような観点も含めて課題の枠組み拡張していく必要があるだろう。さらに，今後は推論自体のコストの違いについても研究を進めていく必要があるが，オペレータに付加したコストと推論コストの均衡点を探るという方法によって，本研究の方法を応用的に利用することが可能と思われる。

その他に考えられる今後の方法論的發展方向としては，まず，前述のように，テストのような論理定項ベースの方法以外の枠組みの開発が期待される。さらには，論理の枠組みを，第一階述語論理から不確実性を許容する確率的推論に拡張することが望まれる。その際，コストに関する上述のアイデアと同様，オペレータにリスクを付加することによって，推論のリスク（確信度）との関係を探ることが可能となるであろう。

謝 辞

本研究を行うにあたり，東京工業大学大学院の中川正宣先生には，細部にわたって有意義な助言を頂き，研究を進める上で大変助けになった。この場を借りて心から謝意を表したい。

引用文献

- Agresti, A. (1990). *Categorical data analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Chang, C.-L., & Lee, R. C.-T. (1973). *Symbolic logic and mechanical theorem proving*. London: Academic Press.
- Cheng, P. W., & Holyoak, K. J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- Cosmides, L. (1989). The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? Studies with the Wason selection task. *Cognition*, 31, 187-276.

- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1984). *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Evans, J. St. B. T., Newstead, S. E., & Byrne, R. M. J. (1993). *Human reasoning: The psychology of deduction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Geis, M. L., & Zwicky, A. M. (1971). On invited inferences. *Linguistic Inquiry*, 2, 561-566.
- Hattori, M., & Nakagawa, M. (1996). A new experimental method to identify the process of logical reasoning. *Japanese Psychological Research*, 38, 74-84.
- Kowalsky, R. A. (1979). *Logic for problem solving*. North-Holland: Elsevier Scientific.
- Manktelow, K. (1999). *Reasoning and thinking*. Hove, UK: Psychology Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Rips, L. J., & Marcus, S. L. (1977). Supposition and the analysis of conditional sentences. In M. A. Just, & P. A. Carpenter (Eds.), *Cognitive processes in comprehension* (pp. 185-220). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Robinson, J. A. (1965). A machine-oriented logic based on the resolution principle. *Journal of the ACM*, 12, 23-41.
- Taplin, J. E. (1971). Reasoning with conditional sentences. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 10, 219-225.
- Traugott, E. C., ter Meulen, A., Reilly, J. S., & Ferguson, C. A. (1986). *On conditionals*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.