

図・本館

仮説形成検証過程に関する
認知科学的研究

名古屋大学図書
和 1030370

三輪 和久

目 次

第1章 序論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の周辺	2
1.3 本研究の問題設定	4
1.4 認知科学的背景	5
1.4 本論文の概要	7
参考文献	10
第2章 仮説形成検証過程の推論展開モデルと情報量保存モデル	14
2.1 緒言	14
2.2 カード配置推定問題	15
2.2.1 カード配置推定問題の定式化	15
2.2.2 実験方法	17
2.2.3 実験結果	18
2.3 仮説形成検証過程に出現する推論の種類と推論展開モデル	18
2.3.1 3種の推論法（演繹・帰納・類推）の記述	20
2.3.1.1 演繹	20
2.3.1.2 帰納	20
2.3.1.3 類推	22
2.3.2 仮説形成検証過程における推論展開モデル	22
2.3.3 実験結果の推論展開モデル的考察	24
2.4 仮説形成検証過程の情報論的考察	27
2.4.1 未知情報量	27
2.4.2 既知情報量	28
2.4.3 仮説形成検証過程における情報量保存モデル	29
2.4.4 実験結果の情報量保存モデル的考察	30
2.5 結言	33
注釈	35
参考文献	36

第3章 仮説形成検証過程に関する情報論的考察	38
3.1 緒言	38
3.2 実験方法	38
3.2.1 実験システム	38
3.2.2 実験方法	40
3.2.3 テストパターンとその条件	42
3.2.4 最終推定が誤答の場合の取り扱い	42
3.3 仮説形成検証過程における情報量推移	44
3.3.1 準備	44
3.3.2 仮説形成検証過程に出現する4種類の情報量	45
3.3.3 4種類の情報量と情報量推移	48
3.4 実験結果の検討	53
3.4.1 テストパターンの複雑さと仮説形成検証過程	53
3.4.1.1 テストパターンの複雑度	53
3.4.1.2 テストパターンの複雑度と累積された情報量	53
3.4.2 仮説形成における類推的推論の効果	56
3.4.2.1 仮説の帰納的形成と類推的形成	56
3.4.2.2 帰納的前提率	56
3.4.2.3 純帰納確証仮説と類推・帰納確証仮説	57
3.4.2.4 類推・帰納確証仮説と類推効果領域	59
3.5 結言	63
注釈	64
参考文献	66
第4章 仮説形成検証過程に関する計算機シミュレーションモデル	67
4.1 緒言	67
4.2 4色カード配置推定問題とテストパターン	67
4.2.1 4色カード配置推定問題	67
4.2.2 22種類のテストパターン	68
4.3 仮説形成検証過程の計算機シミュレーションモデルの構成	68
4.3.1 記号の定義	68

4. 3. 2	推論法の概略	71
4.3.2.1	4つの仮説の段階的形成	71
4.3.2.2	仮説形成検証の7つのPhase	74
4.3.2.3	仮説の再構成	77
4. 3. 3	仮説形成における帰納と類推	77
4.3.3.1	概略	77
4.3.3.2	帰納によるカード配置候補群の生成	77
4.3.3.3	類推によるカード配置候補群の生成	79
4.3.3.4	帰納と類推の組み合わせ	83
4. 3. 4	試行方略と蓋然性評価方略	84
4.3.4.1	試行方略	84
4.3.4.2	蓋然性評価方略	84
4. 4	計算機シミュレーションとモデルの妥当性の検討	85
4. 4. 1	シミュレーションモデルの実現法と実験	85
4. 4. 2	提案モデルによる仮説形成検証過程の実行例	88
4. 4. 3	提案モデルの妥当性に関する検討	88
4. 4. 4	規則的試行と無作為的試行との検討	91
4. 5	結言	93
	注釈	94
	参考文献	95
第5章	正・負事例に基づく仮説検証過程に関する検討	96
5. 1	緒言	96
5. 2	仮説形成検証過程のシミュレーションモデル	97
5. 2. 1	仮説形成検証過程の概要	97
5. 2. 2	仮説形成検証過程の7つのPhase	100
5. 2. 3	帰納と類推の不整合による反証	101
5. 3	シミュレーションの条件設定と実行結果の予備的考察	101
5. 3. 1	シミュレーション条件	101
5. 3. 2	63個のシミュレーション群	105
5. 3. 3	必要枚数と十分枚数およびシミュレーション群の分類	105
5. 3. 4	5つのカテゴリーの心理学的意味付け	107

5. 4	正・負フィードバックの出現状況	107
5. 4. 1	正・負フィードバックの生起回数	111
5.4.1.1	考察の内容と方法	111
5.4.1.2	シミュレーション結果	111
5.4.1.3	検討	111
5. 4. 2	正・負フィードバックの生起順序	113
5.4.2.1	考察の内容と方法	113
5.4.2.2	シミュレーション結果	113
5.4.2.3	検討	113
5. 5	適応型シミュレーションモデルへの拡張	115
5. 5. 1	試行回数固定型の確証評価法	115
5. 5. 2	試行回数適応型の確証評価法	116
5. 5. 3	計算機シミュレーション	117
5. 5. 4	検討	117
5. 6	結言	120
	注釈	121
	参考文献	123
第 6 章	結論	125
	参考文献	129
	謝辞	130
	付録	131
	計算機シミュレーションモデルのプログラムリスト	132
	計算機シミュレーションにおける作業記憶の状態推移リストの 1 例	138

第1章 序論

1. 1 本研究の背景

近年、人間の「知」に関する関心が高まりつつある。

本研究では、人間の思考過程・探求過程の中でも、最も頻繁に出現するプロセスの一つである「仮説形成検証過程」を取り上げる。

仮説形成検証過程は、自然科学の方法論としても、最も一般的な問題解決方略であるとされている⁽¹⁾。

例えば、村上によれば、自然科学の手続きに関して、以下のように言及されている⁽²⁾。

自然科学は、伝統的な分け方に従えば、「経験科学」に属する。経験的事象、事実、データ間の規則性や秩序を見てとることからデータの法則化が起こり、その法則をさらに広範な説明体系に組上げるための理論系へと、科学における知的作業は進行する。・・・したがって、〈個別から普遍へ〉という表現は、今でも、帰納の本質を表す言葉として使われる。

もちろん、こうした帰納の目的は、「普遍」へ向かうことで達成されるわけではない。「普遍」へ向かう目的は、それを使って、未来についての予言、未知の領域についての予言を引出すことにもある。それゆえ、理論系や法則は、そこから観察可能な個別事象を演繹し予言する。その演繹された個別事象が、実際に経験的に観察されるか否かによって、当該の法則や理論は確証されたり、反証されたりする。・・・

いずれにせよ、われわれの自然認識は、このような帰納と演繹のサイクルを繰り返しながら、より確かなものへ、より普遍的なものへと進んで行くのだ、という伝統的な考え方は、もちろん、それなりのある説得力をもっていることは否定できない。

ここで言う「帰納と演繹のサイクル」とは、他ならぬ「仮説形成検証過程」のことである。

上述の「科学哲学」の領域における思弁的検討に加えて、仮説形成検証過程は、認知心

理学，人工知能など実証科学の領域においても，帰納学習，概念形成，知識獲得，問題解決，等のプロセスに出現する過程として研究されてきている⁽³⁾。

例えば，R.S.Michalski らは，帰納学習を，「知識の暗記学習」，「教示による学習」，「類推による学習」，「事例からの学習」，「観察からの学習と発見」に分類し，更に「事例からの学習」を，その情報源が，「教師の場合」，「学習者自身の場合」，「観測対象の場合」の3種類の場合に分けている⁽⁴⁾。そして，仮説形成検証過程を，「事例からの学習で，情報源が学習者自身の場合」に特徴的に出現するプロセスとして捉えている。すなわち，その過程において，学習者は，獲得概念の暫定的仮定を仮説として作り出し，その仮説に基づいて観測対象から組織的に事例を観察することにより，その仮説を棄却・修正し，その試行錯誤過程を通して，最終的に正しい概念を獲得するとされている。

本論文は，この仮説形成検証過程を，近年確立されつつある「認知科学」的な問題意識とその手続きに従って解明することを，その研究目的とする^{(5)~(19)}。

1. 2 本研究の周辺

帰納学習，そして仮説形成検証過程は，さまざまな領域から基礎的な検討が続けられている。

最初に，人工知能・計算機科学の領域からは，帰納学習を遂行する様々なプログラムが実現されてきた。

例えば，R.S.Michalski らは，これまで一貫して計算機による帰納学習についての検討を行なってきた。最近では，それらの一つであるINDUCEプログラムを用いて，人間と機械の帰納学習を比較検討している⁽²⁰⁾。また，P.Langley のBacon プログラムは，与えられた数値データを基に，様々なレベルで理論語を定義し，最終的にデータ間の法則性を発見する^{(21),(22)}。このプログラムは，ボイル・シャルルの法則，ケプラーの第3法則，クーロンの法則，振り子の法則，オームの法則，等を帰納的に学習することができる。更に，國藤らは，演繹・帰納・発想という人間の推論図式を説明する高次人工知能研究推進のための基礎研究として仮説推論を取り上げ，それらを，一階述語論理の枠組みの中で形式的に扱うことを試みている^{(23),(24)}。

次に，心理学的な立場からは，最も多くの，そしておそらく最も熱心な研究が続けられ

ている。

すなわち、古くは、J.S.Brunerらが、無意味記号セットの刺激対を用いて概念形成に用いられる方略を実験的に検討した⁽²⁵⁾。また、G.Polyaは、数学における発見を題材として、帰納や類推などの蓋然性推論や論証に関するいくつかのパターンを提示した⁽²⁶⁾、⁽²⁷⁾。また、P.C.Wasonは、仮説形成・仮説評価において、人間が正の情報しか利用しない傾向、すなわち負の情報を探そうとしない傾向を指摘した⁽²⁸⁾。この現象は、Confirmation biasと呼ばれ、それ以降の仮説形成・仮説評価の研究に多大な影響を与えている^{(29)~(32)}。

また、新しい傾向として、より現実に近い状況で遂行される人間の仮説形成検証過程の研究が行なわれつつある。例えば、C.R.Mynattらは、計算機上に仮想の環境を用意し、被験者が数時間から数日間をかけて、計算機のディスプレイ上の光点の運動を支配する法則を発見する過程を検討している⁽³³⁾、⁽³⁴⁾。この研究では、被験者は、与えられた仮想世界において、自由に実験を遂行できる。すなわち、ディスプレイ上の任意の位置から、任意の方向へ光点を打ち出し、その軌跡を観察することができる。

最近では、J.Klaymanらが、仮説集合と観察事実集合（ターゲット集合）との関係をいくつかに分類して、それぞれの場合における正の事例、負の事例に基づく仮説検証方略に関する検討を行なっている⁽³⁵⁾。それらを通して、ある条件下では、Confirmation biasが効率的な方略となり得ることを示した。

更に、科学哲学の領域からは、科学者が理論を確立してゆく過程において従うべき科学的方法の手続きと構造についての考察が行なわれてきた^{(36)~(38)}。近年、この科学哲学の領域で得られた知見が、上述の実証科学の研究に対して、多くのヒントと問題設定の枠組みを提供するに至っている。例えば、C.S.Peirceの記号学⁽³⁹⁾は、計算機科学に対して、またK.R.Popperの反証主義⁽⁴⁰⁾、⁽⁴¹⁾は、Confirmation biasと共に心理学に対して、その研究に多大な影響を与えてきている。

また最近では、科学的発見の過程に用いられるいくつかの方略をプロダクションルールとして構築し、生化学の分野の歴史的発見の一つであるurea cycleの発見における科学者Krebsの探求過程を計算機シミュレーションする研究なども行なわれており、これらは、このような科学哲学と実証科学との急速な接近を示す一つの事例である⁽⁴²⁾。

1. 3 本研究の問題設定

本研究では、この仮説形成検証過程を実証的に検討するために、実験課題として、「カード配置推定問題」を取り上げた^{(43)~(47)}。カード配置推定問題とは、次のものをいう。すなわち、カードが、4行×8列の2次元領域にある種の規則性をもって配置されている（第2章の検討では、4行×13列のものが用いられている）。配置されるカードとしては、本論文の第2章と第3章ではトランプカードが用いられており、第4章と第5章では4色カードが用いられている。初期状態では、すべてのカードが裏返しにされているものとする。この初期状態から、表にするカードをできる限り少なくするように工夫しながら、カードを1枚ずつ表にしてゆき、2次元領域のすべてのカード配置を推定する問題を、カード配置推定問題とよぶ。

カード配置推定問題は、一種の帰納学習課題と考えられる。すなわち、カード配置推定問題において、「帰納学習」とは、表にされた数枚のカードを基に、2次元領域のカード配置規則を学習することに対応し、また「観測対象」とはカードの2次元配置に、「観測事例」とは、カードの2次元配置において表にされたカードに、「獲得概念」とはカード配置規則に、「仮説」とはカード配置推定過程において、推定されたカード配置に関する暫定的仮定に、それぞれ対応している（2.2.1参照）。

帰納学習課題としてカード配置推定問題をとらえた時、その特徴をまとめれば、以下のごとくとなる。

(1)J.S.Brunerらは、概念の学習を、連言的概念の学習、選言的概念の学習、関係概念の学習の3種に分類した⁽²⁵⁾が、この観点からすれば、本帰納学習課題は、この中の関係概念の学習に相当する。

(2)R.S.Michalski は、事例からの帰納学習を、その情報源が、「教師の場合」、「学習者自身の場合」、「観測対象の場合」の3種類に分類した（1.1参照）⁽⁴⁾。それぞれの帰納学習において、学習者の学習の負担は以下のごとくとなる。

すなわち、「情報源が教師の場合」には、学習者は、教示すべき概念を既に知っている教師が生成する最適な一連の事例から学習を行なう。従って、学習者は、最も有利な条件のもとで学習を行なうこととなる（最も負担が少ない）。逆に、情報源が「観測対象の場合」、生成される事例はランダムであり、学習者は観察を制御できない。従って、学習者は、最も不利な条件のもとで学習を行なうこととなる（最も負担が大き

い)。情報源が「学習者自身の場合」は、上述の2つの例の中間にあたると考えられる。すなわち、学習者は、獲得すべき概念を知らない。ただし、学習者は獲得する概念を同定するために、計画的に制御された事例を自ら生成し、その自ら生成した事例が正事例であるか負事例であるかを、観測対象に対して確かめることができる。

本帰納学習課題、すなわちカード配置推定問題では、被験者は、カードの2次元配置において表にされたカードから直接情報を獲得するので、学習における情報源は「観測対象」である。一方、カードを表にする位置を自由に選定できる、すなわち観測を制御することができるという意味において、情報源が「学習者自身の場合」の特徴も有している。

1.4 認知科学的背景

本研究は、仮説形成検証過程を、認知科学的な問題意識とその手法に従って解明することを試みたものである。

認知科学に関しては、様々な定義づけがなされてきている^{(48)~(53)}が、例えば、H.Gardner は、認知科学の重要な特徴として次の5項目を上げ、その中でも、特に重要な項目として、前半の2項目を取り上げている⁽⁴⁸⁾。5項目を要約すれば、以下のごとくとなる。

- (1)認知科学は、人間の思考過程を、シンボル、イメージ、ルールなどの「表象のレベル」において解明することを試みる。
- (2)認知科学では、人間を情報処理システムとして捉え、コンピュータを思考のモデルやモデルの検証手段として用いる。
- (3)認知科学はその研究対象を、思考や行動に限定し、感情、文脈、文化、等の要因をできるかぎり排除する。(この項目については多くの反論があり、例えば、D.A.Normanは、認知科学の取り組む12のテーマの中に「感情」を取り上げている⁽⁴⁹⁾し、戸田は、「知」は「感情」のサブシステムであるとの思想の基に「アージ理論」を展開し、更にアージ理論の第1次検証手段として、計算機シミュレーションモデル「NENE-HIE」を構築中である^{(54),(55)}。)
- (4)認知科学は、既存の学問領域の研究者たちが、他の学問領域の研究者と生産的な相互作用を行なうことにより推進される。(H.Gardner は、認知諸科学として、哲学、心理

学，人工知能，言語学，人類学，神経科学の6領域を上げている。）

(5)認知科学は，古典哲学の諸問題をその研究の理論的な出発点としている。

本研究は，カード配置推定問題を取り上げることにより，人間の仮説形成検証過程を記号やルールのレベルで記述したことや，また，そのモデルを計算機上に実現し，実際に計算機シミュレーションを実行することによりモデルの検討を行なったという意味において，認知科学的な研究として位置付けられるものである。

加えて，研究の展開手順に関しても，近年確立されつつある認知科学的な方法論を忠実にフォローした。

すなわち，佐伯らは，計算機シミュレーションを用いた認知研究の探求方法として，次のような手順を提示している⁽⁵⁶⁾。〔以下の手順は，文献(56)の図を要約したものである。〕

- (a1)人間被験者に対し，心理学的実験を実行して，人間被験者の行動を観測する。この場合の行動とは，プロトコル，眼球運動，反応時間，自由再生，等を示す。
- (a2)観測されたデータに基づいて，人間の基本的な認知方略を理論化する。この際，理論化されたモデルを検証できる目じるし（インジケータ）を用意しておく。
- (a3)理論化されたモデルに基づき，計算機シミュレーションモデルを構築する。
- (a4)(a2)の段階において用意されたインジケータと，計算機シミュレーションにおいて観測されたインジケータを比較検討して，モデルの妥当性を検証する。
- (a5)以上を通して，更に新しい実験を模索する。

本研究では，上述の手順に対応して，以下のごとく研究が展開されている。

- (b1)第2章と第3章において，人間被験者に対する心理学的実験を実行し，実際に表にされたカード配置の状態と，思考上で推定されたカード配置の状態に基づいて，被験者の行動を観測する。
- (b2)そこで得られた行動を，第2章で「推論展開モデル」と「情報量保存モデル」として理論化する。（第3章では，「推論展開モデル」が情報論的に解釈される。）
- (b3)第4章では，第2章で提案された「推論展開モデル」を更に精緻化して計算機上に実現し，計算機シミュレーションを実行する。
- (b4)現実のT. F. と思考上のT. F. の状態推移過程，解決可能な課題（カード配置）の数，推定の効率（以上第4章），更に課題の解決に必要な試行回数（第5章）などを評価のインジケータとして，モデルの妥当性を検討する。

(b5)第5章では、妥当性が確認されたモデルを用いて、これまで心理学的に研究されてきた正・負事例に基づく仮説検証過程を検討する。

1. 5 本論文の概要

本論文の概要を以下に記す。

第2章「仮説形成検証過程の推論展開モデルと情報論保存モデル」では、本論文で提案されたモデルの基本型として、以下に言及する2つのモデルを構成する。

最初に、本研究で取り上げられた実験課題である「カード配置推定問題」を説明し、その帰納学習的定式化を行う。そして、実験方法に言及した後、実験結果の一例を示す(2.2節)。

続いて、仮説形成検証過程を推論展開に着目してモデル化した「推論展開モデル」を提案する。すなわち、カード配置推定問題において出現する3種類の推論(演繹・帰納・類推)を記述し、その3種類の推論の組み合わせ・展開過程として、仮説形成検証過程をモデル化する。また、そのモデルに従って、実験結果を解釈する(2.3節)。

更に、仮説形成検証過程を情報量の推移に着目してモデル化した「情報量保存モデル」を提案する。すなわち、仮説形成検証過程において、観測対象が持つ情報量(エントロピー)を、未知情報量として情報論的に定義し、また被験者が獲得する情報量を、既知情報量として情報論的に定義する。ここで、仮説形成検証過程における二種の情報量の保存関係を理論的に示す。最後に、実験結果を情報量保存モデル的に解釈する(2.4節)。

第3章「仮説形成検証過程に関する情報論的考察」では、仮説形成検証過程を情報論的に解釈する。

最初に、実験方法について記述する。すなわち、実験システム、実験手順、実験に用いられたカード配置に言及する。更に、被験者の示した実験結果が誤答であった場合の取り扱いについて、理論的検討を行なう(3.2節)。

続いて、仮説形成検証過程における情報量の推移を検討する。すなわち、最初に情報量を定義するにあたって、情報論的な準備を行なう。それに従って、仮説形成検証過程に出現する4種類の情報量(孤立事実量、前提量、推定量、検証量)を定義する。更に、複数の仮説が出現する場合の4種類の情報量和を求める方法を示し、実験結果における4種類の情報量和の推移過程を具体的に示す(3.3節)。

上述の情報量の定義に従って、実験結果を検討する。すなわち、最初に、課題の複雑さと、仮説形成検証過程において最終的に累積される4種の情報量との関係に関する検討を行なう。続いて、仮説形成における類推的推論の効果を、情報論的に定量化する（3.4節）。

第4章「仮説形成検証過程に関する計算機シミュレーションモデル」では、2章で推論展開モデルとして提案され、3章で情報論的に解釈された仮説形成検証過程のモデルを、更に精緻化して計算機上に実現し、計算機シミュレーションを通して、その妥当性を実証的に示す。

最初に、4色カード配置推定問題を示し、シミュレーションに用いられた22種類のカード配置に言及する（4.2節）。

続いて、仮説形成検証過程の計算機シミュレーションモデルを構成する。すなわち、最初に、シミュレーションモデルの記述に用いる記号をまとめ、本モデルを直観的に理解しやすいように、推論法の概略を示す。続いて、仮説形成における帰納と類推の機構について説明し、またカードを表にする場所に関する試行方略と、仮説の確からしさの評価に関する蓋然性評価方略を定義する（4.3節）。

最後に、実際に計算機シミュレーションを実行して、心理学的妥当性を検討する。更に、シミュレーションにおいて観察された「規則的試行に対する無作為的試行の優越性」に関して検討を加える（4.4節）。

第5章「正・負事例に基づく仮説検証過程に関する考察」では、4章で提案された仮説形成検証過程に関する計算機シミュレーションモデルを用いて、正・負事例に基づく仮説検証過程に関する実証的な検討を行なう。

最初に、4章で提案された仮説形成検証過程の計算機シミュレーションモデルの概要を振り返る（5.2節）。

続いて、シミュレーションの条件設定を行ない、4要因による3528回のシミュレーションが実行される。シミュレーション結果を、正答に達するための必要枚数と十分枚数により5つのカテゴリーに分類し、更に5つのカテゴリーの心理学的意味付けを行なう（5.3節）。

更に、仮説検証過程を、正フィードバック（正事例の観測による仮説の蓋然性強化）と負フィードバック（負事例の観測による仮説の棄却）の出現状況、すなわち生起回数と生起順序に着目して検討する（5.4節）。

最後に、2種のフィードバックの出現状況を観察することにより得られた知見に基づいて、試行回数固定型モデルを試行回数適応型モデルへと拡張し、その拡張の心理学的妥当性を検討する（5.5節）。

第6章「結論」では、本研究より得られた知見を鳥瞰的に振り返り、その研究成果、及びその意義をまとめる。また、今後の研究課題についても言及する。

なお、各章間の照合を円滑に行なうために、各章末に注釈を加えた。各章において、他の章を参照する必要がある場合には、印を付し、その都度章末の注釈を明示した。また、参考文献は、各章ごとにその章末に列挙した。

参考文献

- (1) 近藤, 好並: 論理学概論, 岩波書店 (昭39)
- (2) 村上陽一郎: 動的世界像としての科学, 新曜社 (昭55)
- (3) アンダーソン (富田他訳): 認知心理学概論, 誠信書房 (昭57)
- (4) ミカルスキー他編 (電総研訳): 知識獲得入門 —— 帰納学習と応用 ——, 知識獲得と学習シリーズ1, 共立出版 (昭62)
- (5) 三輪, 織田, 日江井: 思考過程の推論展開モデルと情報量保存モデルおよびその実証的考察, 信学論 (A), Vol.69-A, No. 5, pp. 612-619 (昭61-05)
- (6) 三輪, 織田, 福村: 仮説形成検証過程の情報論的考察, 信学論 (A), Vol.70-A, No. 6, pp. 911-920(昭62-06)
- (7) 三輪, 織田, 福村: 人間の思考過程における仮説形成検証法のモデル化 —— 4色カードの2次元配置におけるパターン推定 ——, 信学論 (A), Vol.71-A, No. 6, pp. 1309-1317(昭63-06)
- (8) 三輪, 織田, 杉江: プロダクションシステムを用いた正・負事例に基づく仮説群検証過程のシミュレーション実験, 信学論 (A) (投稿中)
- (10) 三輪, 織田, 日江井: 思考過程における推論モデルと情報量保存モデル, 信学技報, ET85-3 (昭60-06)
- (11) 三輪, 織田, 日江井: 探索過程における推論展開の基本構造, 昭60電気関係学会東海連大, 398 (昭60-10)
- (12) 三輪, 織田, 福村: 仮説の形成・検証・強化のプロセスに関する研究, 信学技報, ET86-3 (昭61-06)
- (13) 三輪, 織田, 福村: 仮説群形成過程における事実情報と思考情報の役割変化, 昭61電気関係学会東海連大, 466 (昭61-10)
- (14) 三輪, 織田, 福村: カード配置推定問題における推論モデルとその計算機シミュレーション, 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集, Vol.10, pp. 25-27 (昭62)
- (15) 三輪, 織田, 福村: 計算機シミュレーションによる帰納と類推過程の考察, 信学技報, ET87-3 (昭62-06)
- (16) 三輪, 織田, 福村: 仮説形成検証過程の計算機シミュレーションモデル, 昭62電気関係学会東海連大, 437 (昭62-10)

- (17)三輪，織田，福村：仮説検証方略に関するシミュレーション研究，計測自動制御学会中部支部教育工学論文集，Vol.1 1（昭63）
- (18)三輪，織田，杉江：仮説検証過程における確証と反証の生起状況，信学技報，ET8 8 - 3（昭63-06）
- (19)三輪，織田，杉江：正・負事例による仮説の強化・棄却過程に関する研究，昭63電気関係学会東海連大，533（昭63-09）
- (20)D.L.Medin, W.D.Wattenmaker, R.S.Michalski : Constraints and preferences in inductive learning: an experimental study of human and machine performance, Cognitive Science , Vol.1 1, pp. 299-339(1987)
- (21)ミカルスキー他編（電総研訳）：発見的学習，知識獲得と学習シリーズ6，共立出版（昭62）
- (22)P.Langly : Data-driven discovery of physical laws, Cognitive Science , Vol.5, pp. 31-54(1981)
- (23)國藤，鶴巻，古川：仮説選定機構の一実現法，人工知能学会誌，Vol.1, No. 2, pp. 228-237（昭61）
- (24)國藤 進：仮説推論，人工知能学会誌，Vol.2, No. 1, pp. 22-29（昭62）
- (25)ブルーナー他（岸本他訳）：思考の研究，明治図書（昭44）
- (26)ポリア（柴垣訳）：帰納と類比 —— 数学における発見はいかになされるか1 —— 丸善株式会社（昭34）
- (27)ポリア（柴垣訳）：発見的推論そのパターン —— 数学における発見はいかになされるか2 —— ，丸善株式会社（昭34）
- (28)P.C.Wason : On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task , Quarterly journal of Experimental Psychology, Vol.1 2, pp. 129-140 (1960)
- (29)M.Levine: Hypothesis behavior by humans during discrimination learning , Journal of Experimental Psychology , Vol.7 1, pp. 331-338(1966)
- (30)L.E.Bourne,Jr., D.E.Guy: Learning conceptual rules II: The role of positive and negative instances, Journal of Experimental Psychology, Vol.7 7, pp. 488-494(1968)
- (31)L.E.Taplin: Evaluation of hypotheses in concept identification , Memory & Cognition , Vol.3, pp. 85-96(1975)

- (32) R.D. Tweney, et al.: Strategies of rule discovery in an inference task ,
Quarterly Journal of Experimental Psychology , Vol. 3 2, pp. 109-123 (1980)
- (33) C.R. Mynatt, M.E. Doherty, R.D. Tweney: Confirmation bias in a simulated
research environment: an experimental study of scientific inference ,
Quarterly Journal of Experimental Psychology, Vol. 2 9, pp. 85-95 (1977)
- (34) C.R. Mynatt, M.E. Doherty, R.D. Tweney: Consequences of confirmation and dis-
confirmation in a simulated research environment, Quarterly Journal of
Experimental Psychology , Vol. 3 0, pp. 395-406(1978)
- (35) J. Klayman, Y.-W. Ha: Confirmation, disconfirmation, and information in
hypothesis testing, Psychological Review, Vol. 9 4, No. 2, pp. 211-228
(1987)
- (36) シュトレカー (常俊他訳) : 科学哲学の根本問題, 現代哲学の根本問題 6, 晃洋書
房 (昭52)
- (37) ロゼー (常石訳) : 科学哲学の歴史 —— 科学的認識とは何か —— , 紀伊國屋書店
(昭49)
- (38) ポアンカレ (河野訳) : 科学と仮説, 岩波書店 (昭13)
- (39) 米盛裕二 : パースの記号学, 勁草書房 (昭56)
- (40) ブラウン (野家他訳) : 科学論序説 —— 新パラダイムへのアプローチ —— , 培風
館 (昭60)
- (41) K.R. Popper: The logic of scientific discovery , New York: Basic Books
(1959)
- (42) D. Kulkarni, H.A. Simon: The processes of scientific discovery: the strategy
of experimentation, Cognitive Science , Vol. 1 2, pp. 139-175(1988)
- (43) 古河, 中村, 織田: 記憶および推測に関するFuzzy 論的実験とその概念形成的考察,
信学論 (D) , Vol. 5 7 - D, No. 8, pp. 487-493 (昭49)
- (44) 古河, 中村, 織田: 決定過程におけるヒントの効果と論理飛躍の事例研究, 信学論
(D) , Vol. 5 8 - D, No. 5, pp. 256-263 (昭50)
- (45) 古河, 織田, 中村: 多次元のFuzzy 論的1次元化手法, 計測自動制御学会論文集,
Vol. 1 1, No. 5, pp. 508-514 (昭50)

- (46)古河, 織田, 中村: あいまいデータ処理の一研究, 信学論 (A), Vol.6 2-A, No. 1, pp. 97-102 (昭54)
- (47)M.kokawa, K.Nakamura, M.Oda: Fuzzy-theoretic and concept-formational approaches to hint-effect experiments in human decision processes, Fuzzy sets and systems 2, North-Holland Publishing Company (1979)
- (48)ガードナー (佐伯他訳): 認知革命 —— 知の科学の誕生と展開 ——, 産業図書 (昭62)
- (49)ノーマン編 (佐伯監訳): 認知科学の展望, 産業図書 (昭59)
- (50)ピリシン (佐伯監訳): 認知科学の計算理論, 産業図書 (昭63)
- (51)佐伯 胖: 認知科学の方法, 認知科学選書10, 東京大学出版会 (昭61)
- (52)渕 一博編: 認知科学への招待 —— 第5世代コンピュータの周辺 ——, NHKブックス446, 日本放送出版協会 (昭58)
- (53)ジョンソン=レアード (海保監訳): メンタルモデル —— 言語・推論・意識の認知科学 ——, 産業図書 (昭63)
- (54)戸田正直: 感情と情報, 数理科学6 (1987), pp. 5-11 (昭62)
- (55)戸田正直: 心をもった機械 —— ソフトウェアとしての「感情」システム ——, ダイアモンド社 (昭62)
- (56)安西, 佐伯, 武藤: LISPで学ぶ認知心理学1 —— 学習 ——, 東京大学出版会 (昭56)

第2章 仮説形成検証過程の推論展開モデルと情報量保存モデル

2. 1 緒言

本章では、人間の仮説形成検証過程に関する2種類のモデル、すなわち「推論展開モデル」と「情報量保存モデル」を提案する^{(1)~(7)}。これらは、3章で情報論的に解釈されるモデルと、4章で計算機上に実現される計算機シミュレーションモデルとの基本モデルとなる。

これら2種類のモデルとは、

- (1)人間の仮説形成検証過程を、演繹・帰納・類推なる3種の推論法の組み合わせ・展開過程としてモデル化した「推論展開モデル」(Inference model of formation and verification process of hypothesis)と、
- (2)人間被験者がその思考過程において獲得する情報量と、人間には未知な情報量との和の保存過程としてモデル化した「情報量保存モデル」(Preservation model of information amount in formation and verification process of hypothesis)である。

本章では更に、実験課題に「トランプカード配置推定問題」を取り上げ⁽⁸⁾、その実験結果を、推論展開モデルと情報量保存モデルの枠組みにおいて解釈し、提案された2種類のモデルを実証的に検討する。

実験材料にトランプカードを用いたのは、主に以下の理由からである。

- (a)心理工学的実験におけるトランプカードの汎用性が実証されている^{(8)~(11)}。
- (b)カード記号の属性を構成する次元(後述)の分離性がよいので、思考過程を分析的にとらえることができる。
- (c)カード記号は、数・種類・色など、多次元の要素(2.2.1参照)からなるため、思考過程を複合的にとらえることが可能である。
- (d)比較的簡単に推定実験が行なえる上に、被験者の協力も容易である。

2. 2 カード配置推定問題

「トランプカード（以下、カード）配置推定問題」を定式化し、その実験方法、および実験結果を述べる。

2. 2. 1 カード配置推定問題の定式化

ある種の規則性をもって配置されたカードの2次元配置（4行×13列）を作る。この2次元カード配置を「テストパターン」（以下、「T. P.」と略す）と呼ぶ。

初めは全てのカードが裏返しにされている（初期状態と呼ぶ）。この状態から、表にするカードの枚数をなるべく少なくして、全てのカード配置を推定する問題を「カード配置推定問題」と呼ぶ。

ここで、被験者がカード配置を推定して行く過程、すなわち初めにT. P. の全てのカードが裏返しにされている状態から、数枚のカードが表にされて、それらの表にされたカードを基に、思考上で全てのカード配置が推定される状態に至までの過程において、以下の2種類のカード配置状態の存在を考えることができる。すなわち、

- (1)実際に表にされたカードによるT. P. 領域のカード配置状態と、
- (2)実際に表にされたカードに加えて、実際には表にされていないが、カード配置規則に関する仮説が形成されることにより、思考上で推定されているカードも含めたカード配置状態

以下では、前者を「現実のT. F.」（Test Field；テストフィールド）、後者を「思考上のT. F.」と呼ぶ（2. 2. 3の図2-2参照）。両者を区別せず、合わせてT. F. と呼ぶ場合もある。

ここで、T. P. は実験刺激（実験材料）としての静的なカード配置であるのに対し、T. F. は、T. P. を実験材料に用いた実験において、人間被験者の思考過程の各段階を表現する動的なカード配置状態である。被験者の思考過程に関する観測は、T. F. において行なわれる。従って、両者の区別は重要である。

さて、T. F. 上の1枚のカードCの特性は、図2-1に示されるように、T. F. 上の位置を示す横座標（horizontal axis）X，縦座標（vertical axis）Y，およびその位置におけるカード記号（symbol of card）Z（数，種類，色，等）の3次元により与え

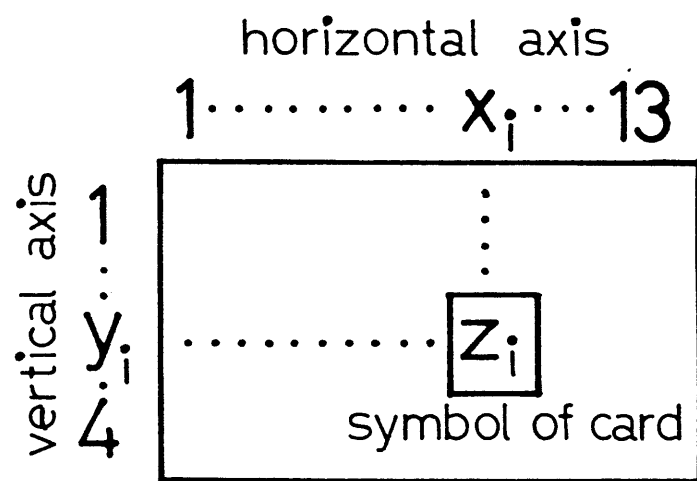


図2-1 テストフィールドとカードの次元 x_i , y_i , z_i
 Fig.2-1 Test field and dimensions of a card : x_i , y_i , z_i .

られる^{(12), (13)}。すなわち、

$$C = (X, Y, Z)$$

実際の各カード C_i ($i=1,2,\dots$)は、3次元がそれぞれ具体的な値、すなわち X の値 x_i 、 Y の値 y_i 、 Z の値 z_i をとることにより与えられる。すなわち、

$$C_i = (x_i, y_i, z_i)$$

また、カード配置の規則性を推定する仮説（以下、「配列仮説」） H_j ($j=1,2,\dots$)は、テストフィールド上の位置 (X, Y) から、カードの値 Z への規則的写像関係 f_j として表すことができる。

$$H_j : Z = f_j (X, Y)$$

ここで、「カード配置推定問題」は、できるかぎり少ない枚数のカード $\{C_i\}$ [(x_i, y_i, z_i) の値の組]をもとに、T. F. 上の位置 (X, Y) とカード記号の値 Z との関係を帰納的に学習し、T. F. 上の任意の位置 (x_i, y_i) に対応するカード記号 Z の値 z_i を求める問題」として定式化される。

2. 2. 2 実験方法

カード配置推定問題における人間の仮説形成検証過程を考察するために、以下の実験を実施した。なお、被験者は、19歳から26歳の男女合わせて8名である。また、実験は、各被験者ごとに実験者（1名）が対一面接形式で実施した。

以下に、実験手順について記す。

- (1) T. F. を、全てのカードが裏返しにされている初期状態に設定する。（実験が実施される机の上に、T. F. を全て裏返しにして配置する。）
- (2) 被験者（カード配置規則についてはもちろん何も知らされていない）は表にするカードを決め、そのT. F. 上の位置を実験者に伝えた後、そのカード C_i を表にする（なお、表にしたカードは、裏に戻さない）。
- (3) その時点で、被験者は、配列仮説 H_j を言語化し、実験者に伝える。このとき、配列仮説は、不完全なものであることもある（例えば、カードの数についてのみの配列仮説や、ある1行についてだけの配列仮説などである）。
- (4) 上記(2)、(3)を繰り返し、被験者がT. F. 上の全てのカード配置を正しく推定したと確信するまで継続し、その時点で実験を終了する。

2. 2. 3 実験結果

実験結果の一例として、被験者K. Y. (26歳男性)の場合を図2-2に示す。図2-2において、左側は「現実のT. F.」(actual T.F.; 実際に表にされたカードによるカード配置状態)を示し、右側は「思考上のT. F.」(guessed T.F.; 実際に表にされたカードのほかに、配列仮説に従って推定されたカードも含めたカード配置状態)を示している。なお、現実のT. F. は、実験進行中の机の上のカード配置状態であり、思考上のT. F. は、被験者の言語報告に基づき、実験者が実験用紙に記入したものである。

図2-2において、被験者K. Y. が表にしたカードと、形成した配列仮説は以下のようである。

$$C_1 = (1, 13, \spadesuit 13)$$

$$C_2 = (1, 1, \spadesuit 1)$$

$$C_3 = (1, 12, \heartsuit 12)$$

$$C_4 = (2, 12, \spadesuit 12)$$

$$C_5 = (1, 11, \spadesuit 11)$$

$$C_6 = (3, 13, \clubsuit 13)$$

$$C_7 = (4, 12, \clubsuit 12)$$

$$C_8 = (4, 11, \diamond 11)$$

$$C_9 = (4, 7, \diamond 7)$$

H₁ : 1行目は数字が左から右へ1から13の順。

H₂ : 2行目は数字が左から右へ1から13の順。

H₃ : 1行目は種類が左から右へ♠♥♠♥…の順。






H₄ : 3行目は数字が左から右へ13から1の順。

H₅ : 1・2行目は♠と♥が~~◇◇◇◇~~状に配列(図2-9(b)参照)。




























H₆ : 3・4行目は数字が左から右へ1から13の順。種類は♣と◆が~~◇◇◇◇~~状に配列。

2. 3 仮説形成検証過程に出現する推論の種類と推論展開モデル










ここでは、カード配置推定問題における推論の出現形式を記述し、カード配置推定にお















































(a) Actual T.F. after 5th searching trial

												
A	2	3	4	5	6	7	8	9	10	J		K
												
K	Q	J	10	9	8	7	6	5	4	3	2	A

(b) Gussed T.F. after 5th searching trial

(c) Actual T.F. after 9th searching trial

(d) Gussed T.F. after 9th searching trial

図 2 - 2 実験結果の例 (被験者 K. Y. の場合)

Fig.2-2 An experimental result by Subject K.Y.

ける仮説形成検証過程をモデル化する。更に、それを実証的に考察する。

2.3.1 3種の推論法（演繹・帰納・類推）の記述

人間の思考過程に出現する推論法を、演繹・帰納・類推なる3種に大別し、カード配置推定問題における出現形式を記述する（図2-3参照）。なお、仮説発想推論である abduction に関しては、本論文においては、帰納的推論の一種として扱うこととする。

2.3.1.1 演繹

演繹 (deduction) は、一般原理を前提として、特殊事実を導く推論である（図2-3(a)参照）。

実験においては、採用された配列仮説 H_j （一般原理）から、次に表にするカード C_i (C_i の記号の値) (特殊事実) を導く場合に出現する。

演繹： $H_j \rightarrow C_i$

これは、発見された写像関係 $Z = f_j (X, Y)$ において、 $(X, Y) = (x_i, y_i)$ のときの $Z = z_i$ の値を求めることに相当する。

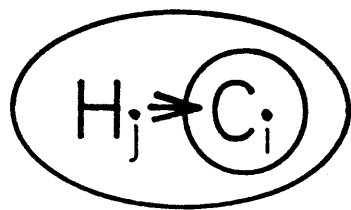
2.3.1.2 帰納

帰納 (induction) は、特殊事実を前提として、一般原理を導く推論である（図2-3(b)参照）。

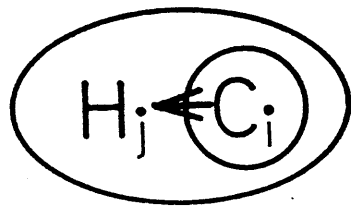
実験においては、数枚の表にされたカード $\{C_i\}$ ($i=1,2,\dots$) をもとに、配列仮説 H_j を形成する場合に出現する。

帰納： $\{C_i\} \rightarrow H_j$

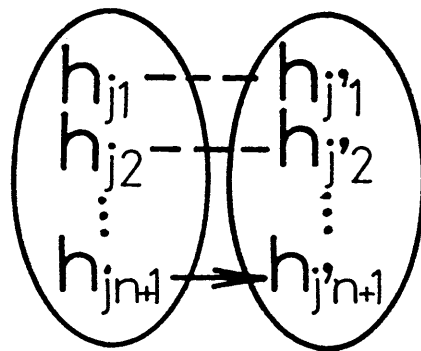
これは、各次元の値の組（表にされているカード） $(X, Y, Z) = \{(x_i, y_i, z_i)\}$ をもとに、位置 (X, Y) から、カード記号 Z への規則的写像関係（配列仮説） $Z = f_j (X, Y)$ を発見することに相当する。



(a) deduction



(b) induction



$$H_j \rightarrow H_{j'}$$

(c) analogy

図 2 - 3 3種の推論法 (演繹・帰納・類推) の図解

Fig.2-3 Illustration of three kinds of inferences: deduction, induction, and analogy.

2.3.1.3 類推

類推 (analogy) は、2つの事象間の共通性をもとに、1つの事象から他の事象を導く推論である (図2-3(c)参照)。

実験においては、それまでに形成された仮説 H_j をもとに、それと類似の新しい仮説 $H_{j'}$ を形成する場合に出現する。

類推： $H_j \rightarrow H_{j'}$

これは、仮説 H_j と $H_{j'}$ との幾つかの属性 h_{jk} と $h_{j'k}$ ($k=1,2,\dots,n$)との共通性 [例えば、カードの枚数が同じであること ($h_{j1}=h_{j'1}$)、一列に配置していること ($h_{j2}=h_{j'2}$)等]をもとに、仮説 H_j のもう1つの属性 h_{jn+1} [この例では、カードの位置からカード記号への写像関係]が、仮説 $H_{j'}$ の属性 $h_{j'n+1}$ でもある ($h_{jn+1}=h_{j'n+1}$)と推定することと考えられる。

2.3.2 仮説形成検証過程における推論展開モデル

カード配置推定問題において、上述の3種の推論法の展開過程を、仮説の形成・帰結・検証・強化 (棄却) の過程として次のようにモデル化する (以下、これを「推論展開モデル」と呼ぶ) (図2-4参照)。

(1) 仮説形成 (formation)

(1a) 表にされた数枚のカード $\{C_i\}$ ($i=1,2,\dots,m$) をもとに、配列仮説 H_j ($j=n$) を形成する (帰納)。

(1b) すでに形成された配列仮説 $\{H_j\}$ ($j=1,2,\dots,n-1$) をもとに、新しい配列仮説 H_j ($j=n$) を形成する (類推)。

なお、これら2つの推論は、別々に出現する場合と、同時に出現する場合がある (2.3.3参照)。

(2) 仮説からの帰結 (conclusion)

形成された配列仮説 H_j ($j=n$) に基づき、ある位置におけるカード C_i^* ($i=m+1,m+2,\dots$) を予想する (演繹) (ここで C_i^* は、思考上で推定されたカードの意)。

(3) 試行と観測 (trial)

前項(2)で推定したカード C_i^* を実際に表にして、その試行結果として、実際のカード

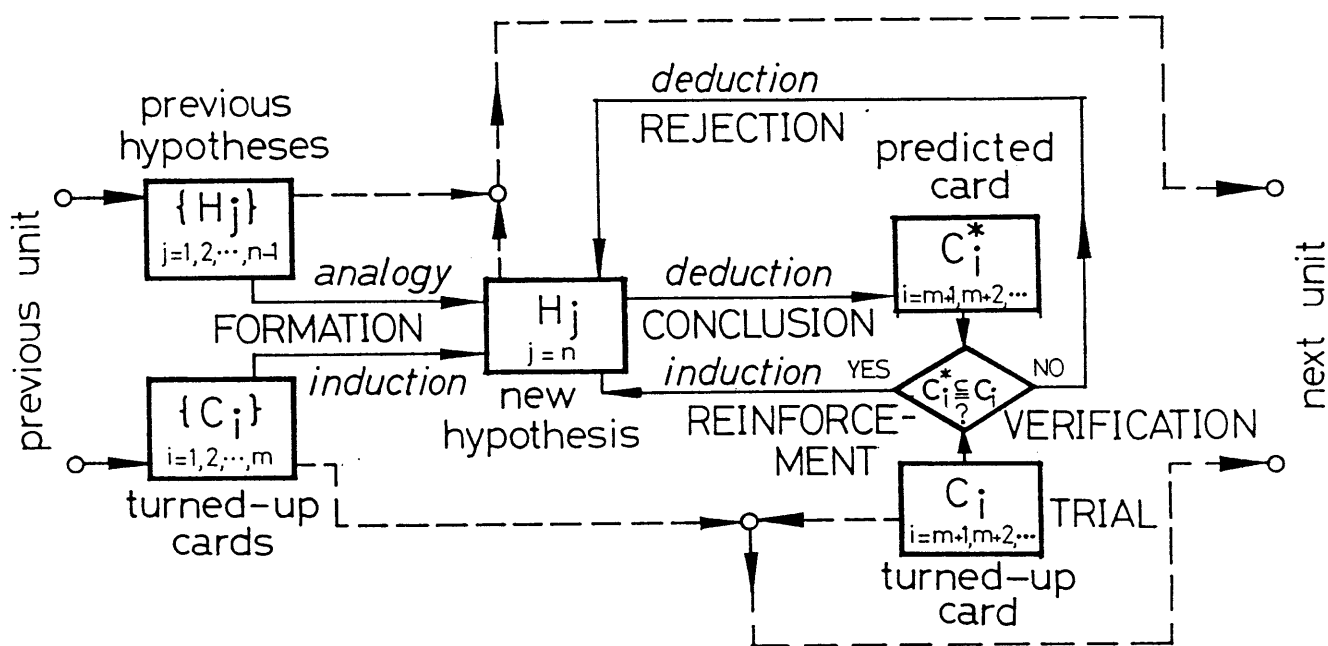


図 2 - 4 仮説形成検証過程の推論展開モデル

Fig.2-4 Inference Model of formation and verification process of hypothesis.

C_i ($i=m+1, m+2, \dots$) を得る.

(4) 仮説の検証 (verification)

推定されたカード C_i^* と、実際に表にされたカード C_i を比較する.

(5) 検証結果のフィードバック

(5a) 仮説の強化 (reinforcement) : $C_i = C_i^*$ ($i=m+1, m+2, \dots$) であれば, C_i^* の前提となっていた配列仮説 H_j ($j=n$) の蓋然性を強化する (正当性を確認し強化する: 帰納).

(5b) 仮説の棄却 (rejection) : $C_i \neq C_i^*$ ($i=m+1, m+2, \dots$) であれば, C_i^* の前提となっていた配列仮説 H_j ($j=n$) を偽として, これを棄却する (演繹: この推論は 2.3.1.1 で定義した演繹と「対偶」関係にあり, 一般的な演繹的推論の変形と考えられる).

2. 3. 3 実験結果の推論展開モデル的考察

それぞれの被験者の仮説形成検証過程の基本単位 (任意の1つの仮説に関する形成検証過程) は, 2. 3. 2の推論展開モデルの部分的変形 (省略・反復) として, とらえることができる.

例えば, 図2-2に示した被験者 K. Y. の仮説形成検証過程を推論展開モデル的に記述すると, 図2-5のようになる (図2-5については, 具体的には以下で順に説明する).

8名の被験者の実験結果を推論展開モデル的に解釈し, 次の知見が得られた.

(1) 仮説形成においては, 帰納と類推が単独で用いられるだけでなく, 2種の推論が相補的に混合して用いられることがある (帰納・類推混合型推論; 例えば, 図2-5において H_1 , H_3 , H_5 の形成には帰納的推論が, H_2 , H_4 の形成には類推的推論が, H_6 の形成には混合型推論が用いられている).

(2) 推定の初期においては, 帰納型の仮説形成が主として用いられるが, 推定の進行につれて, 類推型の仮説形成が主として用いられるようになる (図2-6参照). これは, 推定の進行につれて, 「実際に表にされたカード」に基づく仮説形成よりも, 「それまでに形成された仮説」に基づく類推的な仮説形成が, より多く (重要に) なることを示している.

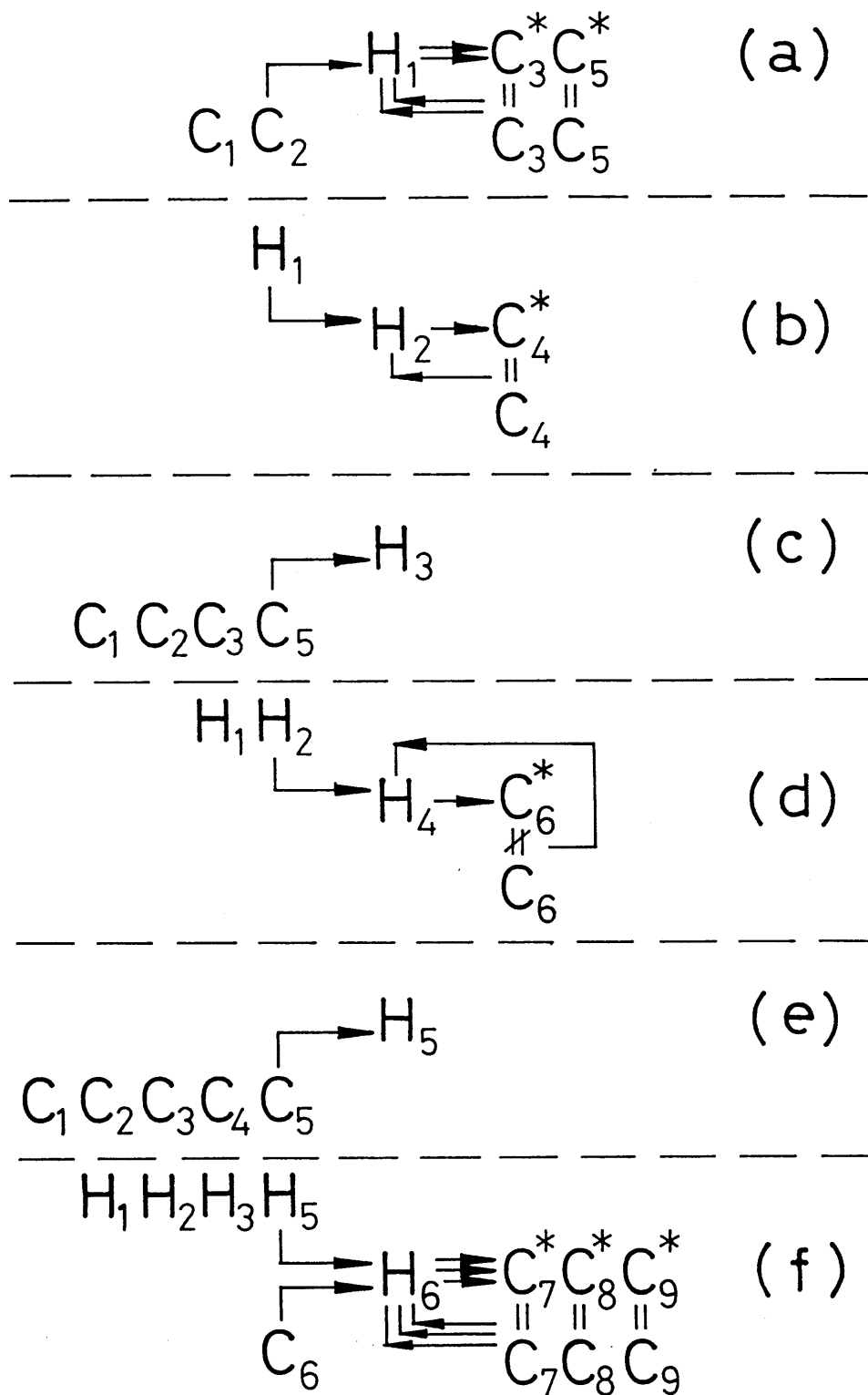


図 2 - 5 実験結果の推論展開モデル的解釈

Fig.2-5 Interpretation of experimental results by Subject K.Y. in terms of inference model.

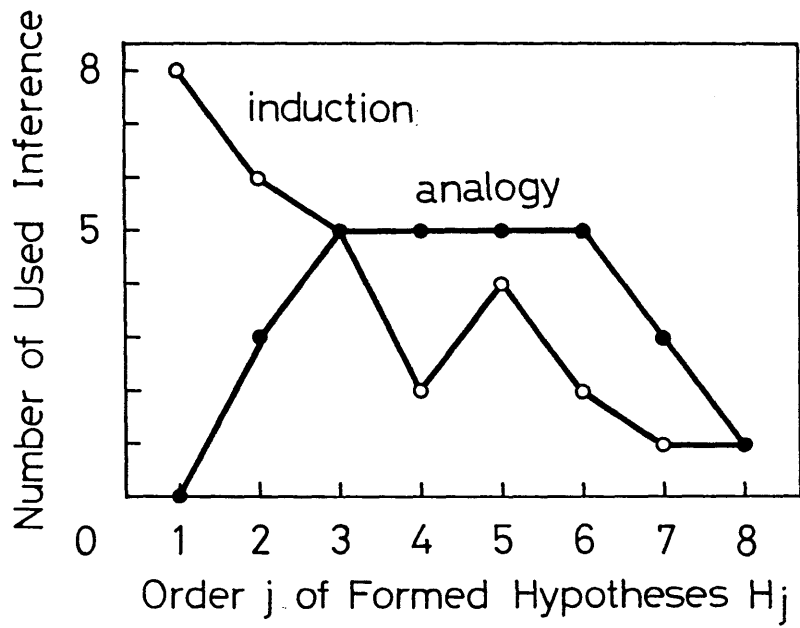


図 2 - 6 仮説形成における帰納と類推の出現状況

Fig.2-6. Occurrence frequencies of induction and analogy in hypothesis formation process.

- (3) 仮説の強化は一般に数回行なわれるが、省略される（一度も行なわれない）こともある（例えば、図2-5において、 H_1 には2回、 H_2 には1回、 H_6 には3回の仮説の強化が行なわれているのに対して、 H_3 と H_5 については、仮説の強化は省略されている）。
- (4) 一方、仮説の棄却は一度で行なわれる（完成する）ようである（図2-5での H_4 の棄却がこれにあたる）。
- (5) また、仮説の強化と仮説の棄却が、同時に出現することもある（これは、仮説の一部が強化され、別の一部は棄却される場合である）。
- (6) 探索試行（カードを表にすること）は、仮説検証のためのもの（仮説検証型）と、仮説形成のための手掛かり（前提）を得るためのもの（仮説形成型）の2側面を持っている。図2-5における C_1 、 C_2 、 C_5 の試行では、後者の側面が強い[1 (p. 35)]。

2. 4 仮説形成検証過程の情報論的考察

ここでは、仮説形成検証過程を情報論的に考察する。すなわち、T. F. を離散的情報源と考え、T. F. のもつエントロピーを、「未知情報量」として定義する。また、被験者が試行事実 $\{C_i\}$ （表にされているカード）と、それをもとに形成する配列仮説 $\{H_j\}$ より得る情報量を、「既知情報量」として定義する。また、両情報量の関係について言及し、その変化過程をモデル化し、更に実証的に考察する。

2. 4. 1 未知情報量

T. F. のもつエントロピー（平均情報量）を、「未知情報量」として定義する。情報理論において、事象 s_i ($i=1, 2, \dots, N$) を出力シンボルとする離散的情報源 $S = \{s_i\}$ のもつエントロピー $H(S)$ は、全ての事象 s_i が等確率で出現するとき、

$$H(S) = \log_2 N \quad (2.1)$$

で与えられる⁽¹⁴⁾。

ここで、T. F. において、「カード配置が未決定である」ということを、「カードが無作為に配置している状態」と考えると、T. F. は、「その時点で配置が

決定していないカード（カード記号の一部）の配置の仕方一つ一つを出力シンボルとする「離散的情報源」と考えることができる（例えば、推定開始時には、 $52!$ 通りの配置の仕方が存在する）。

未知情報量は、未決定カードのとり方により、以下の2種類が定義される。

(1) 現実のT. F. と事実未知情報量

「現実のT. F.」とは、探索試行により実際に表にされているカードの配置だけが決定していると考えられる場合のT. F. であり、この場合のエントロピーを「事実未知情報量」として定義する。n回の探索試行後における未決定カード（ $52 - n$ ）枚の作る配置の仕方の数は、 $(52 - n)!$ であるので、n回目の探索試行後における事実未知情報量 H_n は、

$$H_n = \log_2 (52 - n) ! \quad (2.2)$$

で与えられる。

(2) 思考上のT. F. と思考未知情報量

「思考上のT. F.」とは、実際には表にされていないが、仮説により推定されているカード（カード記号の一部のこともある）も配置が決定していると考えられる場合のT. F. であり、この場合のエントロピーを、「思考未知情報量」として、以下で定義する。ここで、n回探索試行後にm個目の仮説が形成された段階を、n, m段階と呼ぶ。n, m段階における未決定カード（カード記号の一部）の作る配置の仕方の数を $N_{n,m}$ とすると、n, m段階における思考未知情報量 $H_{n,m}$ は、

$$H_{n,m} = \log_2 N_{n,m} \quad (2.3)$$

ただし、 $N_{n,m}$: n, m段階において推定されていないカードの作る配置の仕方の数

で与えられる。

2.4.2 既知情報量

被験者の得る情報量を、「既知情報量」として定義する。

情報理論において、事象Eが生起したときに与えられる情報量 $I(E)$ は、

$$I(E) = -\log_2 p(E) \quad (2.4)$$

ただし、 $p(E)$: 事象Eの生起する確率

で与えられる。

次に既知情報量について、以下、2種類を定義する。

(1) 現実のT. F. と事実既知情報量

これは、実際の試行により表にされているカードだけが、被験者に与える情報量である。この情報量を「事実既知情報量」として、以下に定義する。

推定開始時には、52枚全てのカードが無作為に配置している状態に同義である。この状態からn回の探索試行により表にされたカードが、それぞれの位置に、それぞれの値をもって出現する確率は、 $(1/52) \times (1/51) \times \dots \times [1/(53-n)]$ である。よってn回の探索試行後における事実既知情報量 I_n は、

$$I_n = -\log_2 \prod_{i=1}^n \{1/(53-i)\} \quad (2.5)$$

で与えられる。

(2) 思考上のT. F. と思考既知情報量

これは、実際に表にされているカードをもとにして推定されたカードだけが被験者に与える情報量である（被験者が思考上で創り出す情報量とも考えられる）。この情報量を「思考既知情報量」として、以下で定義する。n, m段階において、表にされているカード以外は全て無作為に配置していると考え、その状態から仮説により推定されたカードがそれぞれの位置に推定された記号の値をもって出現する確率は $N_{n,m} / (52-n)!$ である。よってn, m段階における思考既知情報量 $I_{n,m}$ は、

$$I_{n,m} = -\log_2 N_{n,m} / (52-n)! \quad (2.6)$$

で与えられる。

2.4.3 仮説形成検証過程における情報量保存モデル

上述のように「事実未知情報量 H_n 」, 「思考未知情報量 $H_{n,m}$ 」, 「事実既知情報量 I_n 」, 「思考既知情報量 $I_{n,m}$ 」を定義すると、

$$I_n = -(H_n - H_0) \quad (2.7)$$

ただし、 H_0 : 推定開始時の事実未知情報量 ($= \log_2 52!$)

$$I_{n,m} = -(H_{n,m} - H_n) \quad (2.8)$$

である。また、

$$I_n + I_{n,m} + H_{n,m} = H_0 : \text{const} \quad (2.9)$$

となる。

よって、前述のようにそれぞれの情報量を定義すれば、仮説形成検証過程は、図2-7のようにモデル化できる。すなわち、

- (1) T. F. のエントロピーは、被験者が実際に n 枚のカードを表にすることにより、 H_0 から H_n に減少する。このときのエントロピーの減少量 $H_0 - H_n$ が、被験者が試行事実から受け取る情報量 I_n である。
- (2) さらに、T. F. のエントロピーは、被験者が配列仮説を形成し、実際には表にされていないカードの配置まで推定することにより、 H_n から $H_{n,m}$ まで減少する。このときのエントロピーの減少量 $H_n - H_{n,m}$ が、被験者が思考上で創った情報量 $I_{n,m}$ である。このことは、「情報量は負のエントロピーである」という立場⁽¹⁴⁾とも一致する。
- (3) 換言すれば、仮説形成検証過程は、T. F. のもつ情報量（エントロピー）と、被験者の得た情報量が、(2.9)式に示される保存関係を保ちながら進行する過程と考えることができる。
- (4) また、思考未知情報量 $H_{n,m}$ は、新しい仮説が形成されれば減少し、仮説が棄却されれば増加する。すなわち、思考未知情報量 $H_{n,m}$ は、推定の進行度合を示すと考えることができる。

以上をまとめると、仮説形成検証過程は上述の保存関係を保ちながら、推定開始時に $\log_2 52! \doteq 226 \text{ bit}$ であった思考未知情報量 $H_{n,m}$ が、最終的には 0 bit に収束する過程として、モデル化することができる。

このモデルを「情報量保存モデル」と呼ぶ。

2.4.4 実験結果の情報量保存モデル的考察

4人の被験者の仮説形成検証過程における情報量の典型的な変化過程を、図2-8に示す。図2-8において、事実未知情報量 H_n が、推定の進行とともに減少する過程は、各被験者とも同一であるが、思考未知情報量 $H_{n,m}$ の変化過程は、被験者ごとに異なっている。

ここでは、4人の被験者の思考未知情報量 $H_{n,m}$ の変化過程に相違（推定過程の進行の

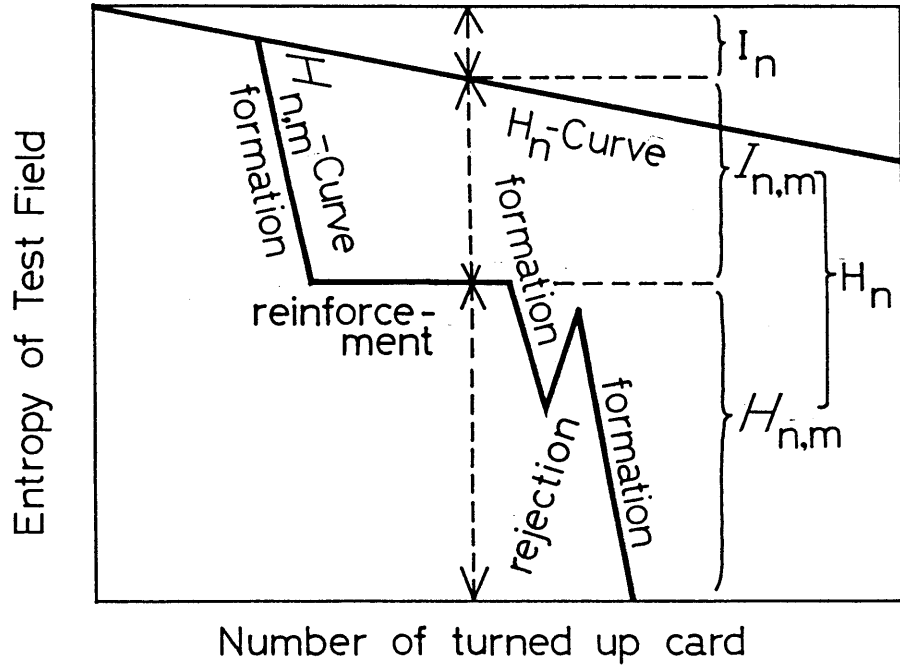


図 2 - 7 仮説形成検証過程の情報量保存モデル
 Fig.2-7 Preservation Model of information amount in formation and verification process of hypothesis.

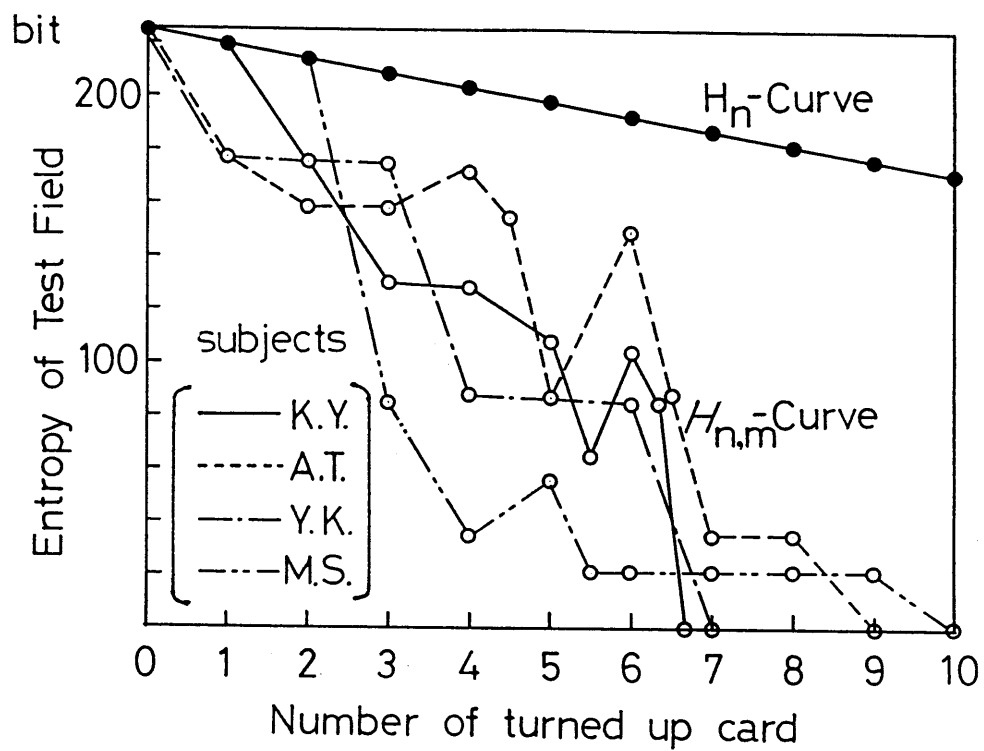


図 2 - 8 実験結果の情報量保存モデル的解釈

Fig.2-8 Interpretation of experimental results by four subjects in terms of preservation model of information amount.

早遅)が生じる原因について、形成された仮説の種類と効果との両側面から考えてみたい。

8人の被験者が最終的に推定したカード配置は、全て同じであった(図2-2(d)参照)。ところが、T・F・上の配置規則の認識は異なる場合があった。

図2-8に示した4人の被験者が認識した配置規則のT・F・上での形状を図2-9に示す。図2-9において、図2-9(a)、図2-9(b)の形状で配置規則を発見することに対し、図2-9(c)の形状で配置規則を発見することは、極めて困難であると考えられる。これを、被験者M・S・の推定が遅れた主要な原因のひとつとして考えることができる(被験者M・S・は、推定終了までに13回という多くの試行を行なっている)。

2.5 結言

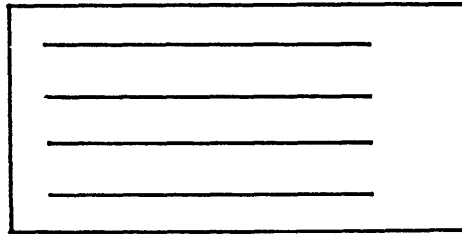
本章では、「推論展開モデル」、「情報量保存モデル」の両者について、理論的な考察を行ない、「カード配置推定問題」により実証的な検討を行なった。

すなわち、

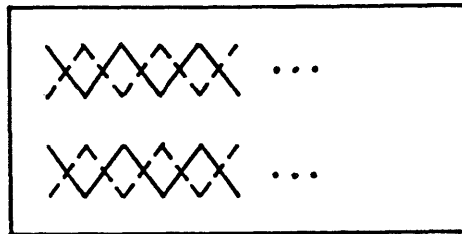
- (1)カード配置推定問題の定式化を行ない、
- (2)仮説形成検証過程に出現する推論法の種類を記述し、その展開過程を「推論展開モデル」としてモデル化した。また、
- (3)仮説形成検証過程を情報論の立場から考察し、T・F・のもつ情報量(被験者には未知な情報量)と被験者が獲得する情報量を、事実によるものと思考により創りだされたものにおいて定量化し、それぞれの変化過程を「情報量保存モデル」としてモデル化した。更に、
- (4)以上を、「カード配置推定問題」を通して実証的に考察した。

今後の課題は、被験者の年齢差・性差・初期条件の差が仮説形成検証過程に与える影響の考察、仮説の強化のメカニズムの解明、等である。なお、今回のトランプカードを使ったモデルは、非常に理想化された状況での検討結果であるが、このモデルを教育工学へ応用して、教材を「推論」の側面から構造化する手法についても一部検討を進めている⁽¹⁵⁾、⁽¹⁶⁾。

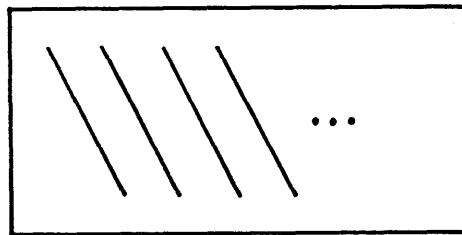
なお、本章における研究は一部、放送文化基金の援助を受けた。



(a) Regularity by Subject Y.K.



(b) Regularity by Subjects K.Y. & A.T.



(c) Regularity by Subject M.S.

図 2 - 9 仮説におけるカード配置の規則性

Fig.2-9 Regularity of card arrangement in hypothesis.

注釈

- ☞1 第3章では、仮説形成型のカードのもつ情報量が「前提量」として、仮説検証型のカードのもつ情報量が「検証量」として情報論的に定義され、検討されている。

—— 2. 3. 3 (p.27)

参考文献

- (1) 三輪, 織田, 日江井: 思考過程の推論展開モデルと情報量保存モデルおよびその実証的考察, 信学論 (A), Vol. 69-A, No. 5, pp. 612-619 (昭61-05)
- (2) 三輪, 織田, 日江井: 思考過程における推論モデルと情報量保存モデル, 信学技報, ET85-3 (昭60-06)
- (3) 三輪, 織田, 日江井: 探索過程における推論展開の基本構造, 昭60電気関係学会東海連大, 398 (昭60-10)
- (4) 近藤, 好並: 論理学概論, 岩波書店 (昭39)
- (5) G.Polya: Mathematics and Plausible Reasoning Vol.2, Patterns of Plausible Inference, Princeton Univ. Press (1953)
- (6) J.R.Anderson: Cognitive Psychology and Its Implications, Freeman (1980)
- (7) 小野茂: 心理学における数学的方法, 現代の心理学4, 培風館 (昭51)
- (8) 古河, 織田, 中村: 多次元量のFuzzy 論的1次元化手法, 計測自動制御学会論文集, Vol.11, No. 5, pp. 8-14 (昭50-10)
- (9) 古河, 織田, 中村: 記憶及び推測に関するFuzzy 論的実験と論理飛躍の事例研究, 信学論 (D), Vol.57-D, No. 8, pp. 487-493 (昭49-08)
- (10) 古河, 織田, 中村: 決定過程におけるヒントの効果と論理飛躍の事例研究, 信学論 (D), Vol.58-D, No. 5, pp. 256-263 (昭50-05)
- (11) M.Kokawa, N.Nakamura and M.Oda: Fuzzy-Theoretic and Concept-Formational Approaches to Hint-Effect Experiments in Human Decision Processes, Fuzzy Sets and Systems 2, pp. 25-36 (1973)
- (12) 織田, 長岡, 中村: 発見的探索と概念形成, 計測自動制御学会論文集, Vol.10, No. 4, pp. 389-394 (昭48-08)
- (13) M.Oda and T.Nagaoka: Formation Process of Upper Concept, Research Reports of Automatic Control Laboratory, Faculty of Engineering, Nagoya Univ., Vol.21, pp. 11-22 (1974)
- (14) 宮川洋: 情報理論, 電子通信学会大学講座39, コロナ社 (昭48)
- (15) 日江井, 織田, 三輪, 下村: ビデオ教材における推論法の生起状況, 信学技報, ET85-3 (昭60-06)

(16)日江井，織田，三輪，下村：授業過程における推論法の種類と生起度数，昭60
電気関係学会東海連大，397（昭60-10）

第3章 仮説形成検証過程に関する情報論的考察

3. 1 緒言

第2章では、思考過程における仮説形成・検証・強化（棄却）の過程を、「カード配置推定問題」における人間被験者の推定過程を通して検討してきた。ここで、カード配置推定問題とは、「ある種の規則性をもって配置されたトランプカードの2次元配置（テストパターン；以下T. P. と略す）を作り、すべてのカード配置が裏返しにされている状態から、表にするカードの枚数をできる限り少なくして、全てのカード配置を推定する問題」である。

本章では、第2章で提案した2つのモデル（「推論展開モデル」、および「情報量保存モデル」）を理論的背景として、以下の諸点を考察する^{(1)~(4)}。すなわち、

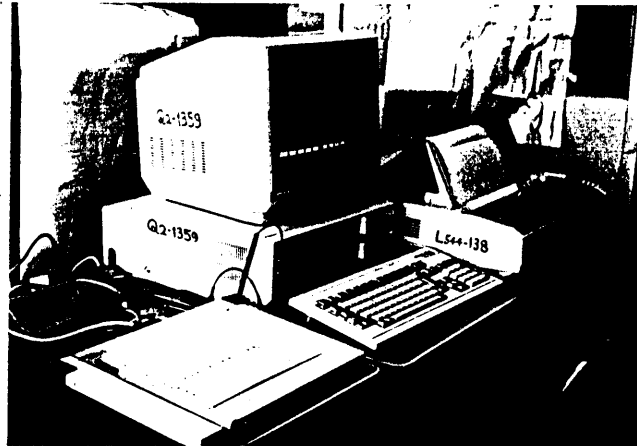
- (1) 仮説形成検証過程を情報理論の立場^{(5)~(7)}からモデル化し、被験者の思考過程における情報量推移について考察する。
- (2) 課題の複雑さが、仮説形成検証過程に与える影響、および仮説形成における類推的推論の効果について検討する。

3. 2 実験方法

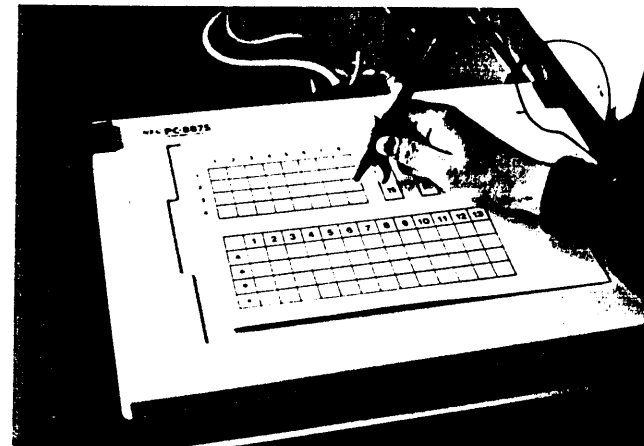
3. 2. 1 実験システム

パーソナルコンピュータとデジタイザ（入力装置）とを主要な構成要素とする「実験システム」を開発し、それを用いて実験を行なう（写真3-1参照）。

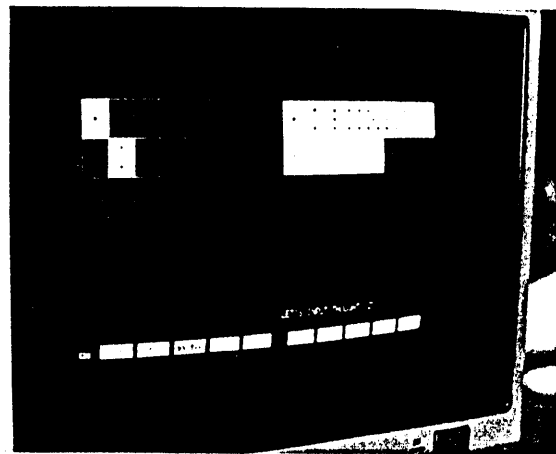
本実験システム（以下では、単に「システム」と呼ぶ）では、被験者が思考過程に関して報告するデータ（例えば、カードの位置、カードの値など）を、実験者がデジタイザ（パーソナルタブレット）からシステムに入力することにより、「実際に表にしたカード」や「思考上で推定したカード配置に関する仮説」（配列仮説；以下「仮説」と略す）がディスプレイ上に順次表示される。被験者は、自分の思考過程をディスプレイ上の表示で確認しながら、カード配置の推定を進行させることになる。



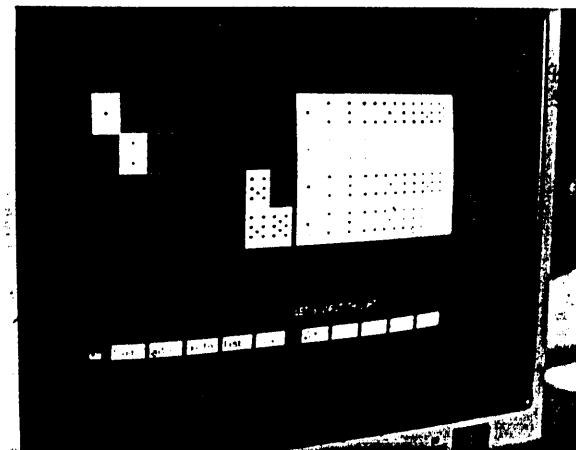
(a) システム全景



(b) 入力装置 (デジタイザ)



(c) ディスプレイ表示例 1



(d) ディスプレイ表示例 2

図3-1は、実験進行中のディスプレイの状況の一例を模式的に図示したものである。左側が「現実のT. F.」(actual T.F.; 実際に表にしたカードによるカード配置領域の状態)、右側が「思考上のT. F.」(guessed T.F.; 被験者が思考上で推定したカード(仮説)によるカード配置領域の状態)である[図1 (p.64)]。この例では、2枚のカードを表にした時点で、「2行目は、種類記号が◆で、数字記号が左から右へ1から8の順で配置されており、他の行については、種類記号は不明で、数字記号は左から右へ1から8の順で配置されている。」といった仮説を形成している。

本システムを用いて実験を行なうことにより、被験者は実験に集中し、その思考能力を最大限に発揮することができると共に、実験者は、被験者の思考過程を正確に測定することが可能となった[図2 (p.64)]。

3. 2. 2 実験方法

被験者は、大学生および大学院生(21歳~27歳)の6名である。実験手順は以下のようである。

- (1)実験者は、実験に用いるT. P. のカード配置を、あらかじめシステムに登録しておく。
- (2)ディスプレイ上の現実のT. F. と思考上のT. F. とを共に初期状態(カードがすべて裏返しの状態)に設定する。
- (3)被験者は表にするカードを決め、その位置を実験者に伝える。実験者がその位置をシステムに入力すると、あらかじめ登録されていたカード配置に従って、ディスプレイ上の現実のT. F. に表にされたカードが直ちに表示される。
- (4)その時点で被験者は、推定したカード(仮説)を言語化し実験者に伝える。それによって、実験者が推定されたカードをシステムに入力すると、思考上のT. F. には推定されたカードが直ちに表示される。
- (5)上記の(3)~(4)を繰り返して、被験者がT. F. 上の全てのカードを正しく推定したと確信するまで継続し、その時点で実験を終了する。

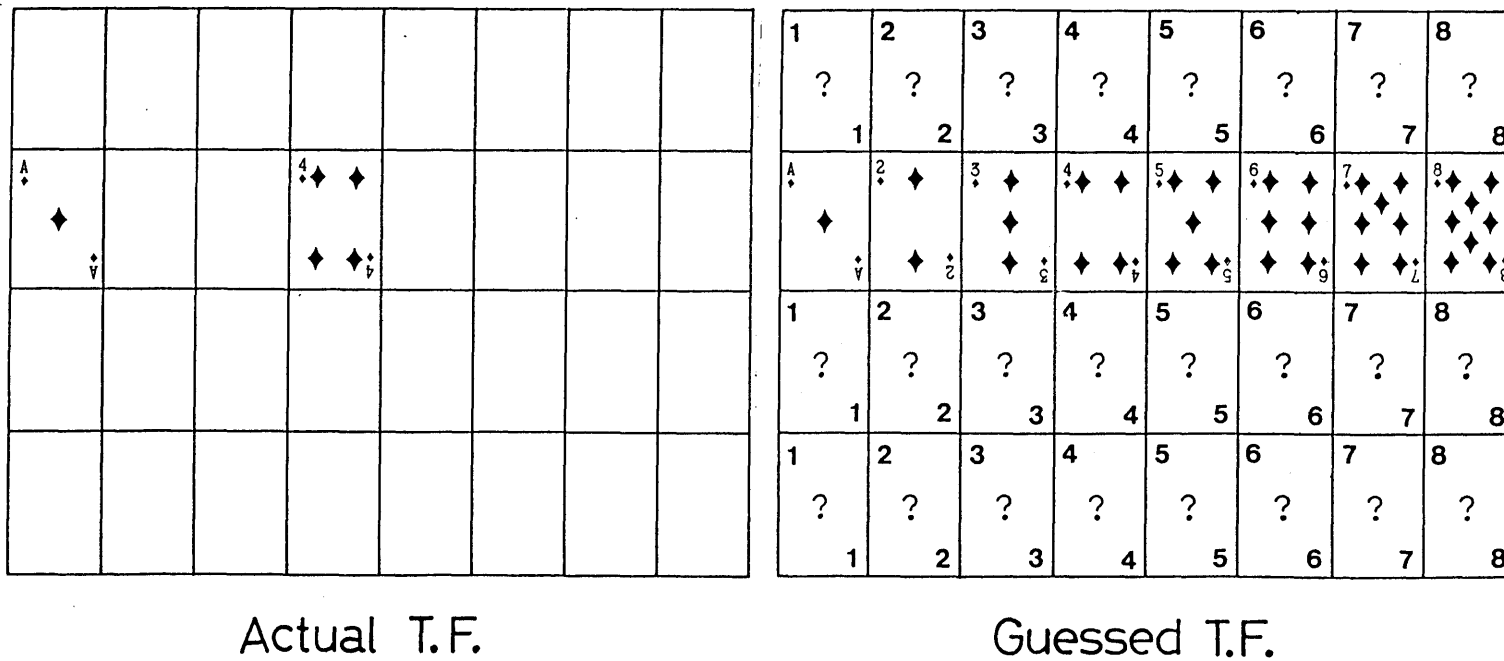


図3-1 実験システムにおけるディスプレイ表示例
 Fig.3-1 An example of display presentation of the experiment system.

3. 2. 3 テストパターンとその条件

実験に用いたT. P. は、4行×8列、32枚のカード配置からなる。カードは、種類は、♠、♥、♣、♦、数字は1～8の記号を持つもの限定して配置されており、同じ記号を持つカードが2枚以上配置されていることもある [図3 (p.64)]。

実験は、配置規則が異なる4種類のT. P. を用いて、T. P. 1からT. P. 4の順に実施した。なお、T. P. のカード配置は、T. P. 1からT. P. 4の順に複雑さを増す。図3-2に、T. P. のカード配置の例を示す。

3. 2. 4 最終推定が誤答の場合の取り扱い

実験の終了は被験者の判断によるが、実験終了時において、被験者の「最終推定が誤り」である場合 [このような事例は、実験結果24例 (被験者6名×T. P. 4種類) のうち4例存在した (3.4.1.1 の図3-6参照)] の取り扱いについて考える。この場合には、次の2種類の取り扱いが可能である。

- (a) 実験者が「被験者の推定が誤りである」ことを被験者に知らせ、その後も実験を継続し、正しい最終推定を得た段階で、それを実験結果とする。
- (b) そのまま実験を終了し、誤った最終推定 (この実験結果を後述のように拡大解釈する) を実験結果とする。

本論文では、(b)の方法が用いられている。以下に、その理由を示す。

- (1) 被験者と観測対象 (T. P.) を一つの系と考える。まず、(a)の方法を採用すると考えると、この系について情報が閉じている場合 (実験者から被験者に何も伝えられない場合) と、系について情報が開いている場合 (系の外に存在する実験者から被験者に「誤りである」と伝えられる場合) とをデータ処理上で同等に扱うこととなり、問題が生じる。従って、(a)の方法は用いない。
- (2) 一方、(b)の方法を採用した場合には、(1)における問題は存在しないが、被験者の最終推定が誤っている事例も実験結果としてデータ処理に組み込むこととなり問題が生じる。それゆえに、「被験者の最終推定が誤っていた場合、その実験には、被験者が推定したカード配置を持つT. P. (実際に用いられたT. P. とは異なる) が、その実験では最初から用いられていた」と拡大解釈する。このように解釈し直すと、最終推定はすべ

A♠ ♠	2♠ ♠	3♠ ♠	4♠ ♠	5♠ ♠	6♠ ♠	7♠ ♠	8♠ ♠
A♦ ♦	2♦ ♦	3♦ ♦	4♦ ♦	5♦ ♦	6♦ ♦	7♦ ♦	8♦ ♦
A♣ ♣	2♣ ♣	3♣ ♣	4♣ ♣	5♣ ♣	6♣ ♣	7♣ ♣	8♣ ♣
A♥ ♥	2♥ ♥	3♥ ♥	4♥ ♥	5♥ ♥	6♥ ♥	7♥ ♥	8♥ ♥

(a) T.P. 1

A♣ ♣	5♣ ♣	5♥ ♥	7♥ ♥	8♠ ♠	6♠ ♠	4♦ ♦	2♦ ♦
2♣ ♣	4♣ ♣	6♥ ♥	8♥ ♥	7♠ ♠	5♠ ♠	3♦ ♦	A♦ ♦
A♥ ♥	3♥ ♥	5♣ ♣	7♣ ♣	8♦ ♦	6♦ ♦	4♠ ♠	2♠ ♠
2♥ ♥	4♥ ♥	6♣ ♣	8♣ ♣	7♦ ♦	5♦ ♦	3♠ ♠	A♠ ♠

(b) T.P. 3

図 3-2 テストパターンの例
Fig.3-2 Examples of Test Pattern.

て正答として扱える。

(3)(2)の場合、一部の実験では、実際に用いられたT・P。(3・2・3の4種類)とは異なる特別なT・P.を用いたことになるが、これについては、以下の理由から問題はないと考えられる。すなわち、

(3a)系の中にいる被験者には、実際に表にされたカード、すなわち現実のT・F.の状態に基づいて、実際に用いられたT・P.と拡大解釈された特別なT・P.との判別は全く不可能である。

(3b)本論文では、実験結果の検討は、T・P.の種類に無関係に定義される「T・P.の複雑度」(3.4.1.1 参照)を用いて行なわれている。従って、使用されたT・P.の種類については、特に考慮される必要がない。

3. 3 仮説形成検証過程における情報量推移

ここでは、仮説形成検証過程において出現する情報量を4種に分け、それぞれ「孤立事度量」、「前提量」、「検証量」、「推定量」と定義し、被験者の思考過程における情報量推移を示す。

3. 3. 1 準備

「カード配置が推定されない状態」ということを「カードが無作為に配置されている状態」と考えると、3. 2. 3に示した条件のT・P.のもとで、n枚のカードがある値(数字記号と種類記号)をもって出現する確率は、 $(1/32)^n$ である。また、n個の数字記号と種類記号との出現する確率は、それぞれ $(1/8)^n$ と $(1/4)^n$ とである[図4 (p.65)]。

情報理論によれば、事象Eが与える情報量Iは、

$$I = -\log_2 p(E) \quad (3-1)$$

ただし、 $p(E)$ ：事象Eの生起する確率

で与えられる。よって、T・F.上のn枚のカードの記号が被験者に与える情報量Iは、

$$I = k n$$

(3-2)

ただし、 $k = 2$: 「種類記号」の場合

$k = 3$: 「数字記号」の場合

$k = 5$: 数字と種類の両方の記号の場合

である。

3. 3. 2 仮説形成検証過程に出現する4種類の情報量

n 枚のカードが、実際に表にされた時点を、「第 n 期」と呼ぶ。

n 期に実際に表にされた現実の T. F. 上のカードを C_n , n 期に形成された仮説を H_n [図 5 (p.65)] , またその仮説 H_n を構成する思考上の T. F. の r 枚のカード (カード記号の一部の場合もある: 以後単にカードと記す) を $\{C_{nj}\}$ ($j=1,2,\dots,r$) と表す。

次に、仮説 H_n の仮説形成検証の3つの期間 (事実収集期間, 仮説形成期, 仮説検証期間) と4種類の情報量 (孤立事実量, 前提量, 推定量, 検証量) について考える (図 3-3 参照)。

(1) 事実収集期間と孤立事実量 [図 3-3 (a1), (a2) 参照]

仮説 H_n の形成以前の第 x 期 ($x=1,2,\dots,n-1$) [これらの期間を仮説 H_n の「事実収集期間」と呼ぶ] において、現実の T. F. 上で配置規則が発見されていないカード [図 3-3 (a1) では C_{n-2} と C_{n-1}] の中で、後続の n 期に至って規則性が発見された (仮説 H_n の形成の前提として使われた) カード [図 3-3 (a1) では C_{n-1}] が持つ情報量を x 期における仮説 H_n の「孤立事実量」 (isolated fact amount) と呼び、 $S_x (H_n)$ と表す。

なお、 x 期 ($x=1,2,\dots,n-1$) における仮説 H_n の孤立事実量 $S_x (H_n)$ は、 x 期以降の n 期 (H_n の形成時) になってはじめて判明することに注意する必要がある。それは、仮説 H_n の形成以前の x 期においては、どのカードが仮説 H_n の前提として使われるかは確定していないからである。例えば図 3-3 において、 C_{n-2} は $n+1$ 期までには、どの仮説の孤立事実量であるかは判明していない。

さて、上述の $S_x (H_n)$ を次のように定義する。第 x 期までに実際に表にされている現実の T. F. 上のカード $\{C_i\}$ ($i=1,2,\dots,x$) [図 3-3 (a1) では C_{n-2} や C_{n-1}]]

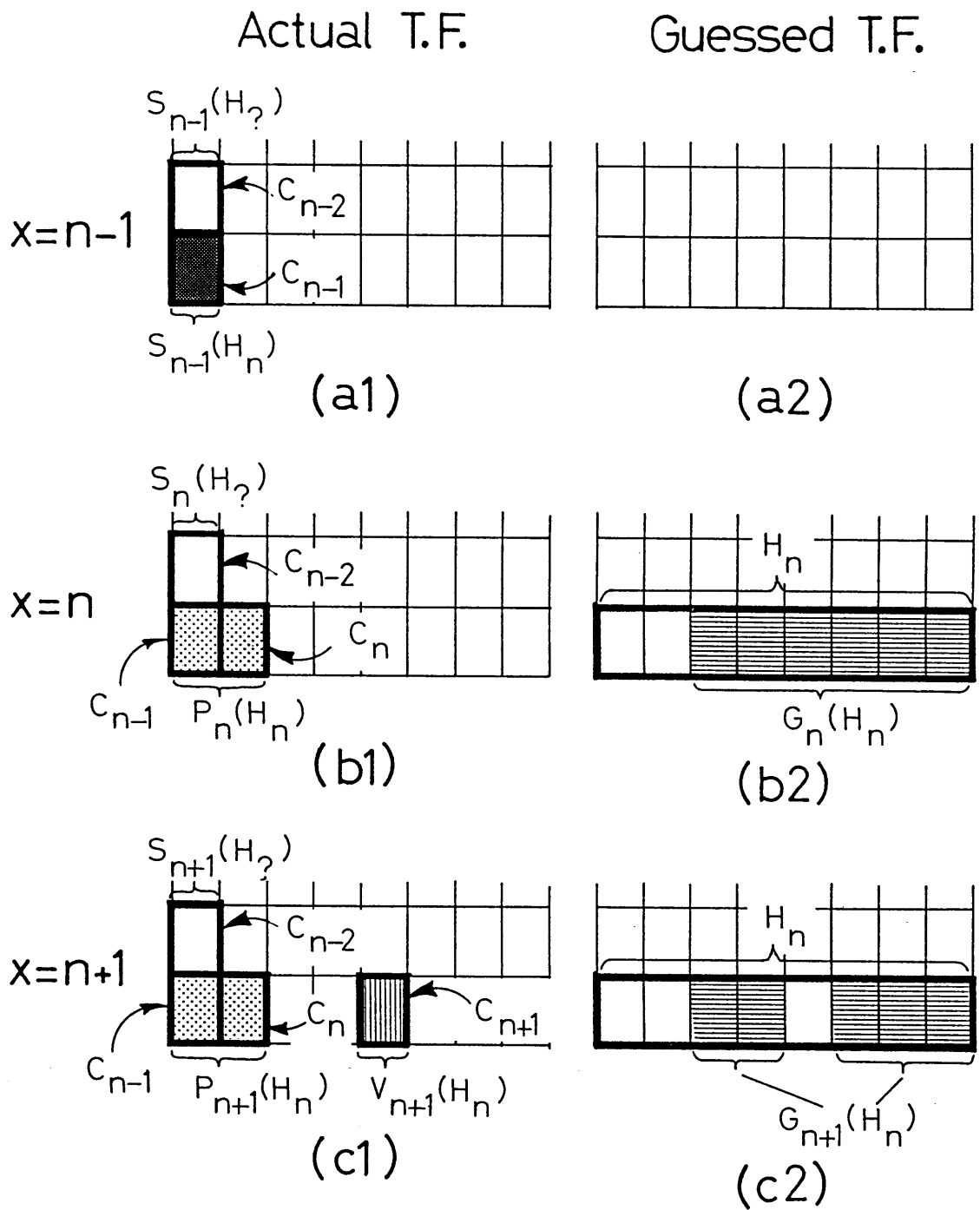


図3-3 孤立事実量，前提量，推定量，および検証量
 Fig.3-3 Isolated fact amount, premise amount, guess amount, and verification amount.

と、後続の n 期に形成された仮説 H_n を構成する思考上の T. F. 上のカード $\{C_{nj}\}$ ($j=1,2,\dots,r$) [図 3-3 (b2)の H_n を構成する 8 枚のカード] との共通なカードを、 $\{C_i\}$ ($i=1,2,\dots,x$) \cap $\{C_{nj}\}$ ($j=1,2,\dots,r$) [図 3-3 (a1)では C_{n-1}] と表す。この現実の T. F. のカードの持つ情報量は、第 x 期における仮説 H_n の孤立事実量 $S_x(H_n)$ である。ここで、 $\{C_i\}$ ($i=1,2,\dots,x$) \cap $\{C_{nj}\}$ ($j=1,2,\dots,r$) の枚数 m を、 $m[\{C_i\} (i=1,2,\dots,x) \cap \{C_{nj}\} (j=1,2,\dots,r)]$ と表すと、式 (3-2) より、

$$S_x(H_n) = k m [\{C_i\} (i=1,2,\dots,x) \cap \{C_{nj}\} (j=1,2,\dots,r)] \\ (x=1,2,\dots,n-1) \quad (3-3)$$

ただし、 $k=2$: H_n がカードの「種類記号」についての仮説の場合

$k=3$: H_n がカードの「数字記号」についての仮説の場合

$k=5$: H_n がカードの数字記号と種類記号の両方についての仮説の場合

と定義される。

(2) 仮説形成期と前提量・推定量 [図 3-3 (b1), (b2)参照]

x 期 ($x=1,2,\dots,n$) にわたって実際に表にされたカードが集められると、 n 期に至ってそれらのカード $\{C_i\}$ ($i=1,2,\dots,n$) の一部 [図 3-3 (b1)では C_{n-1} や C_n] に配置規則が発見され、それらのカードを前提として仮説 H_n が形成される (この n 期を仮説 H_n に関する「仮説形成期」と呼ぶ)。この配置規則の発見 (仮説 H_n の形成) の前提となった現実の T. F. のカードの持つ情報量を、仮説 H_n の「前提量」(premise amount) と呼び、一般に、第 x 期 ($x=n,n+1,n+2,\dots$) における仮説 H_n の前提量 $P_x(H_n)$ を次のように定義する。

$$P_x(H_n) = k m [\{C_i\} (i=1,2,\dots,n) \cap \{C_{nj}\} (j=1,2,\dots,r)] \\ (x=n,n+1,n+2,\dots) \quad (3-4)$$

ここで、孤立事実量 $S_x(H_n)$ は、仮説形成以前の第 x 期 ($x=1,2,\dots,n-1$) にて定義されるのに対し、前提量 $P_x(H_n)$ は、仮説形成以降の x 期 ($x=n,n+1,n+2,\dots$) にて定義されることに注意する必要がある。

更に、実際に表にされていないカードの配置が推定される。この思考上で推定された思考上の T. F. のカード [図 3-3 (b2)では H_n の一部を構成する 6 枚のカード] の持つ情報量を「推定量」(guess amount) と呼び、第 x 期 ($x=n,n+1,n+2,\dots$) における仮説 H_n の推定量 $G_x(H_n)$ を次のように定義する。

$$G_x (H_n) = k m [\overline{\{C_i\}} (i=1,2,\dots,x) \cap \{C_{nj}\} (j=1,2,\dots,r)]$$

$$(x=n,n+1,n+2,\dots) \quad (3-5)$$

ただし、 $\overline{\{C_i\}} (i=1,2,\dots,x)$: 第 x 期までに表にされていないカード

ここで、「仮説の形成」においては、事実収集期間には「孤立事実量」として存在していた情報量が、仮説形成期に至って「前提量」に転換され、同時に思考上で何枚かのカードが推定されることにより、それらのカードの持つ情報量（「推定量」）が発生すると考えられる。

(3) 仮説検証期間と検証量 [図 3-3 (c1), (c2) 参照]

仮説 H_n が形成された後の x 期 ($x=n+1,n+2,\dots$) [これらの期間を仮説 H_n の「仮説検証期間」と呼ぶ] において、その仮説 H_n を検証するために表にされた現実の T. F. 上のカード [図 3-3 (c1) では C_{n+1}] の持つ情報量を、仮説 H_n の「検証量」(verification amount) と呼び、第 x 期における仮説 H_n の検証量 $V_x (H_n)$ を次のように定義する。

$$V_x (H_n) = k m [\{C_i\} (n+1,\dots,x) \cap \{C_{nj}\} (j=1,2,\dots,r)]$$

$$(x=n+1,n+2,\dots) \quad (3-6)$$

ここで、「仮説の検証」においては、思考上で推定されていたカードの「推定量」の一部が、実際に表にされたカードの持つ情報量（「検証量」）に転換すると考えることができる。

3. 3. 3 4 種類の情報量と情報量推移

実際の実験では、被験者はその推定過程において複数の仮説を段階的に形成して行くので、ある x 期には、複数の仮説の孤立事実量、前提量、推定量、検証量が生じている。ここで、第 x 期に生じている 4 種の情報量の総和を、それぞれ「孤立事実量と」 S_x , 「前提量と」 P_x , 「推定量と」 G_x , 「検証量と」 V_x とし [図 6 (p.65)] , それぞれの情報量が定義されている期間に注意して [式 (3-3) , 式 (3-4) , 式 (3-5) , 式 (3-6) 参照] , 4 種の情報量とを求めると、

$$S_x = \sum_{i=x+1}^w S_x (H_i) \quad (x=1,2,\dots,w-1)$$

$$= 0 \quad (x=w) \quad (3-7)$$

$$P_x = \sum_{i=1}^x P_x (H_i) \quad (x=1,2,\dots,w) \quad (3-8)$$

$$G_x = \sum_{i=1}^x G_x (H_i) \quad (x=1,2,\dots,w) \quad (3-9)$$

$$V_x = 0 \quad (x=1)$$

$$\sum_{i=1}^{x-1} V_x (H_i) \quad (x=2,3,\dots,w) \quad (3-10)$$

ただし、 w ：推定終了までに表にしたカードの枚数

ここで、 $i = t$ における仮説 H_t が存在しない場合は、 $S_x (H_t) = 0$ 、 $P_x (H_t) = 0$ 、 $G_x (H_t) = 0$ 、 $V_x (H_t) = 0$ とする。また、 $S_x (H_i)$ については第 w 期までに、 $P_x (H_i)$ 、 $G_x (H_i)$ 、 $V_x (H_i)$ についてはそれぞれ x 期、 x 期、 $x-1$ 期までに棄却された仮説 H_u についても、 $S_x (H_u) = 0$ 、 $P_x (H_u) = 0$ 、 $G_x (H_u) = 0$ 、 $V_x (H_u) = 0$ とする。

図3-4は、被験者K. Y. がT. P. 1に対して行なった推定の実験結果を例として、4種類の情報量、および情報量和を具体的に求めたものである。

図3-4において、例えば、第3期($x=3$)に注目してみよう(図3-4(c)参照)。

まず、実際に表にされたカード(現実のT. F. : actual T.F.)について考える。

(1)種類記号「♠」、「♦」の配置規則はこの時点ではまだ発見されていない。そして、それらは後続の第5期に至って発見されている[図3-4(e)参照]。従ってこれらの種類記号の持つ情報量は、第3期における仮説 H_5 の孤立事実量 $S_3 (H_5)$ である。ここで、 $k=2$ 、 $m=3$ であるので、 $S_3 (H_5) = 2 \times 3 = 6 \text{ bit}$ となる[式(3-3)参照]。

(2)数字記号「8」と「2」は、仮説 H_1 と H_3 の形成期(1期と3期)までに、すでに表にされていたカードの数字記号である[図3-4(a),(c)参照]。従って、それぞれの数字記号の持つ情報量は、前提量 $P_3 (H_1) = 3 \times 1 = 3 \text{ bit}$ と $P_3 (H_3) = 3 \times 1 = 3 \text{ bit}$ である[式(3-4)参照]。

(3)数字記号「1」は、仮説 H_1 の形成後(2期)に表にされたカード記号である[図3-4(b)参照]。よって、その数字記号の持つ情報量は、検証量 $V_3 (H_1) = 3 \times 1 = 3 \text{ bit}$ である[式(3-6)参照]。

次に、思考上で推定されたカード(思考上のT. F. : guessed T.F.)について考える。

Actual T.F.

Guessed T.F.

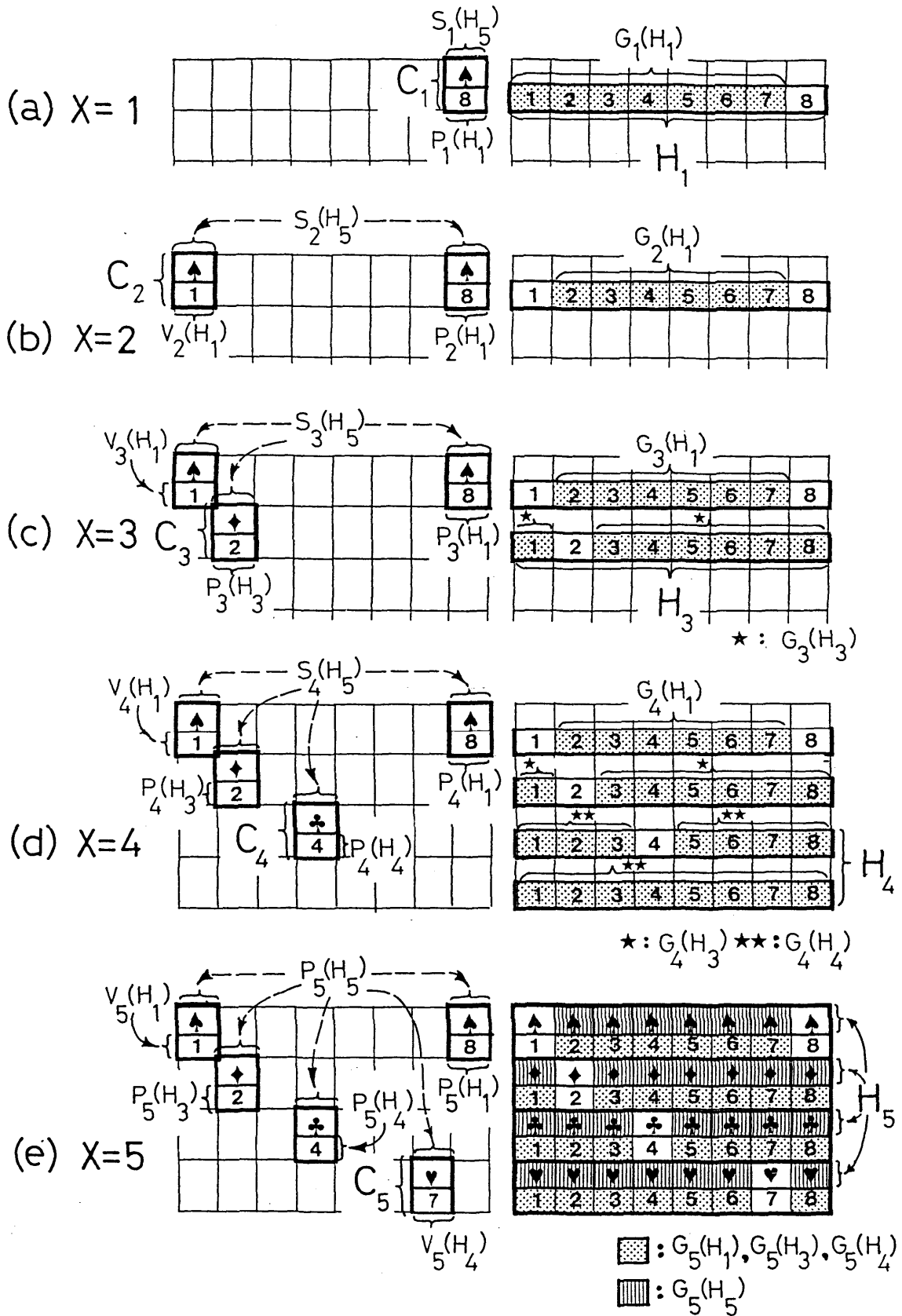


図3-4 実験結果の例 (被験者K. Y. , T. P. 1)

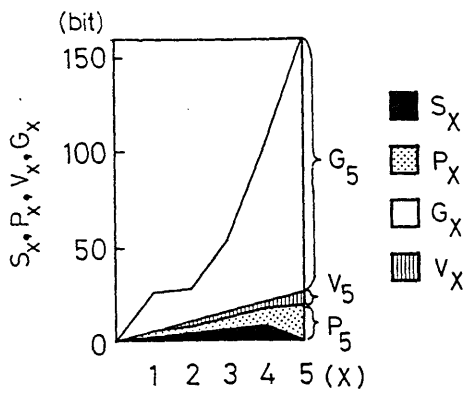
Fig.3-4 An example of experimental result (Subject K.Y. and T.P.1).

(4)図3-4(c)にて、1行目の数字2, 3, …, 7からなる6個の数字記号の持つ情報量は、第1期ですでに推定された数字記号である。従って、それらの数字記号の持つ情報量は、推定量 $G_3(H_1) = 3 \times 6 = 18 \text{ bit}$ である。同様に、2行目の7個の数字記号の持つ情報量は、 $G_3(H_2) = 3 \times 7 = 21 \text{ bit}$ である〔式(3-5)参照〕。

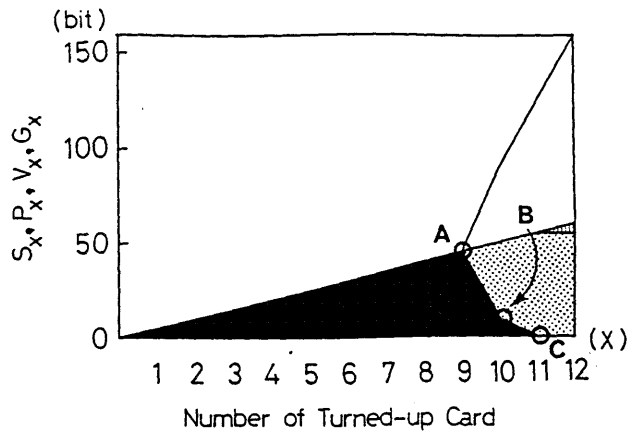
以上の4種の情報量から、式(3-7)~式(3-10)により、第3期における4種の情報量和を求めると、 $S_3 = S_3(H_4) + S_3(H_5) = 0 + 6 = 6 \text{ bit}$, $P_3 = P_3(H_1) + P_3(H_2) + P_3(H_3) = 3 + 0 + 3 = 6 \text{ bit}$, $V_3 = V_3(H_1) + V_3(H_2) = 3 + 0 = 3 \text{ bit}$, $G_3 = G_3(H_1) + G_3(H_2) + G_3(H_3) = 18 + 0 + 21 = 39 \text{ bit}$ である。

次に、これら4種の情報量和 S_x , P_x , G_x , V_x の推移過程を眺めてみよう。図3-5は、実験結果のうち4例について、その情報量和の推移過程を視覚的に把握し易いように図示したものである。すなわち、

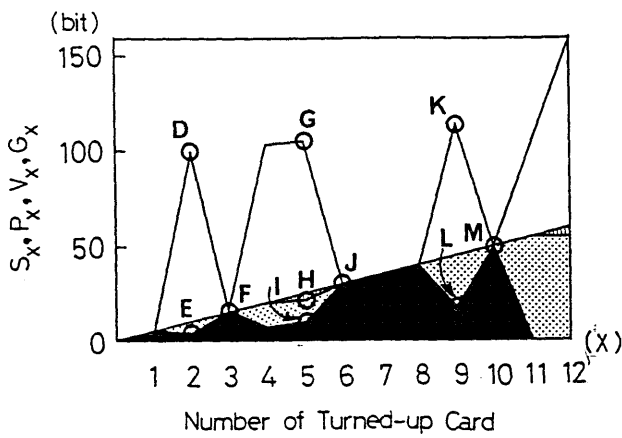
- (1)図3-5(a)は、図3-4に示された実験結果における4種の情報量和の推移過程である。これは、課題が単純な場合の代表例である。
- (2)図3-5(b)は、課題が複雑な場合の一例である。この例では、カード配置規則が推定の後期まで発見できず、そのため孤立事実量が、 $S_x = 0$ に収束する時期も遅れている〔図3-5(b), 点C〕。また、仮説形成の時点で、それまで配置規則が不明であった数多くのカードの配置規則が、一度に急に発見されることにより、孤立事実量から前提量への転換も、一時期に飛躍的に生じている〔図3-5(b), 点A→点B→点C〕。
- (3)図3-5(c)は、仮説の形成と棄却との試行錯誤を繰り返す「試行錯誤推定」の例である。仮説が棄却されると、前提量や検証量として存在していた情報量が、再び孤立事実量に転換し〔図3-5(c), 点E→点F, 点H・点I→点J, 点L→点Mなど〕, 同時に思考上で推定されていたカードが棄却され、そのカードの持っていた情報量(推定量)が消滅している〔図3-5(c), 点D→点F, 点G→点J, 点K→点Mなど〕。
- (4)図3-5(d)は、推定の前期に早々と仮説が形成され、その後の検証期が長くなった推定の例である。孤立事実量が推定の初期に消滅し〔図3-5(d), 点N〕, 推定終了までに多くの検証量 V_{10} が形成されている〔図3-5(d)参照〕。



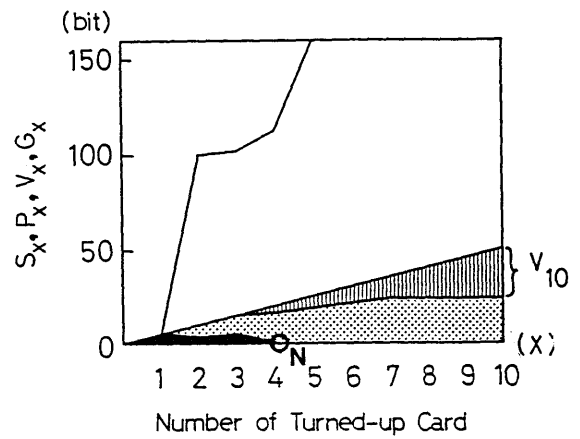
Number of Turned-up Card
 (a) Case of Subject K.Y. and T.P.1



Number of Turned-up Card
 (b) Case of Subject K.Y. and T.P.4



Number of Turned-up Card
 (c) Case of Subject Y.K. and T.P.4



Number of Turned-up Card
 (d) Case of Subject T.O. and T.P.3

図3-5 仮説形成検証過程における情報量の推移

Fig.3-5 Transition of information amounts in the formation and verification process of hypothesis.

3.4 実験結果の検討

ここでは、課題 (T. P.) の複雑さが仮説形成検証過程に与える影響と、仮説形成における類推的推論の効果との観点から、実験結果を検討する。

3.4.1 テストパターンの複雑さと仮説形成検証過程

3.4.1.1 テストパターンの複雑度

それぞれの被験者に対する T. P. の複雑度 (complexity degree of T.P.) D を、カード配置の相対エントロピー [推定終了までに実際に表にされた w 枚のカードのもつ情報量 $5w$ bit の、32枚のカードの持つ情報量 160 ($=5 \times 32$) bit に対する比率 $5w/160$] を用いて定義する。

$$D = w / 32 \quad (3-11)$$

ただし、 w : 推定終了までに表にしたカードの枚数

複雑度 D は、 $0 \leq D \leq 1$ の値をとり、値が 1 に近づくほど (すなわち w が大きいほど)、その被験者にとって、課題が複雑なことを示す。

図 3-6 は、4 種類の T. P. の複雑度を、6 人の被験者別に示してある。ただし、これらの 24 例の中で、被験者 A. T. での T. P. 2、被験者 Y. K. での T. P. 2、被験者 Y. K. での T. P. 3、および被験者 T. G. での T. P. 3 の 4 例では、拡大解釈された特別な T. P. (3.2.4 参照) が用いられている。

3.4.1.2 テストパターンの複雑度と累積された情報量

ある T. P. の推定において、そのときの T. P. の複雑度 D と、被験者により推定の終了までに累積された 3 種の情報量の和、すなわち前提量 P_w 、検証量 V_w 、推定量 G_w (w : 推定終了までに表にされたカードの枚数) との関係を図 3-7 に示す。例えば、図 3-4 の実験結果の例では、 $P_w = P_5 = 19$ bit、 $V_w = V_5 = 6$ bit、 $G_w = G_5 = 135$ bit [図 3-7 の ▲, ●, ■ 印参照] である。

図 3-7 より、次の知見が得られる。

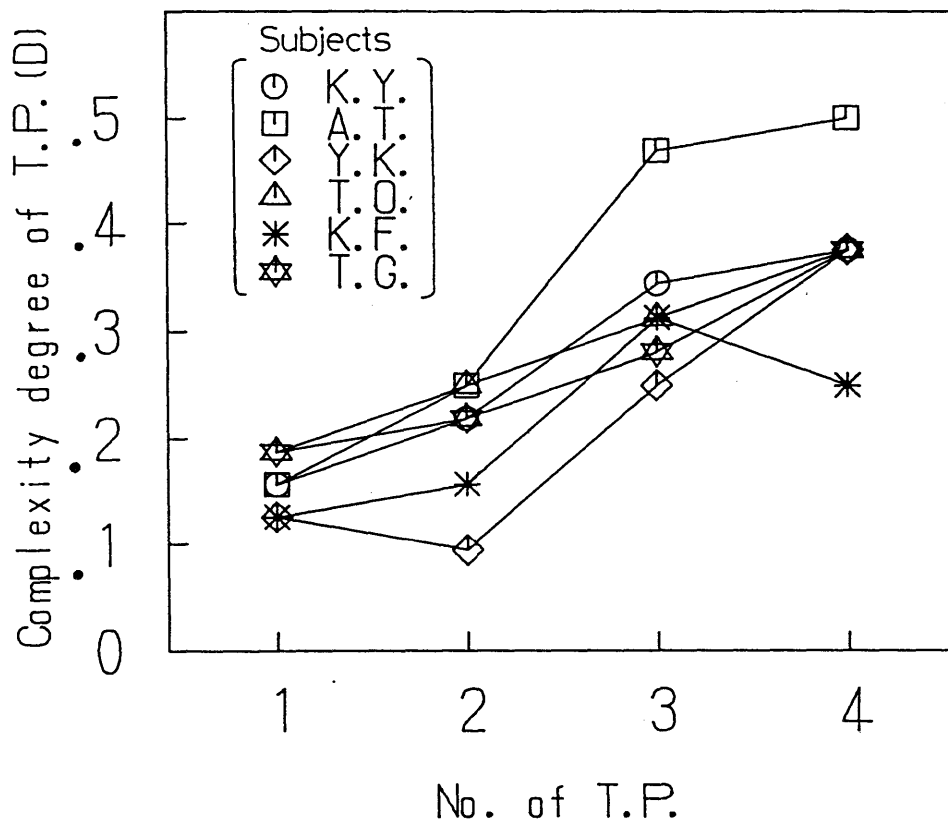
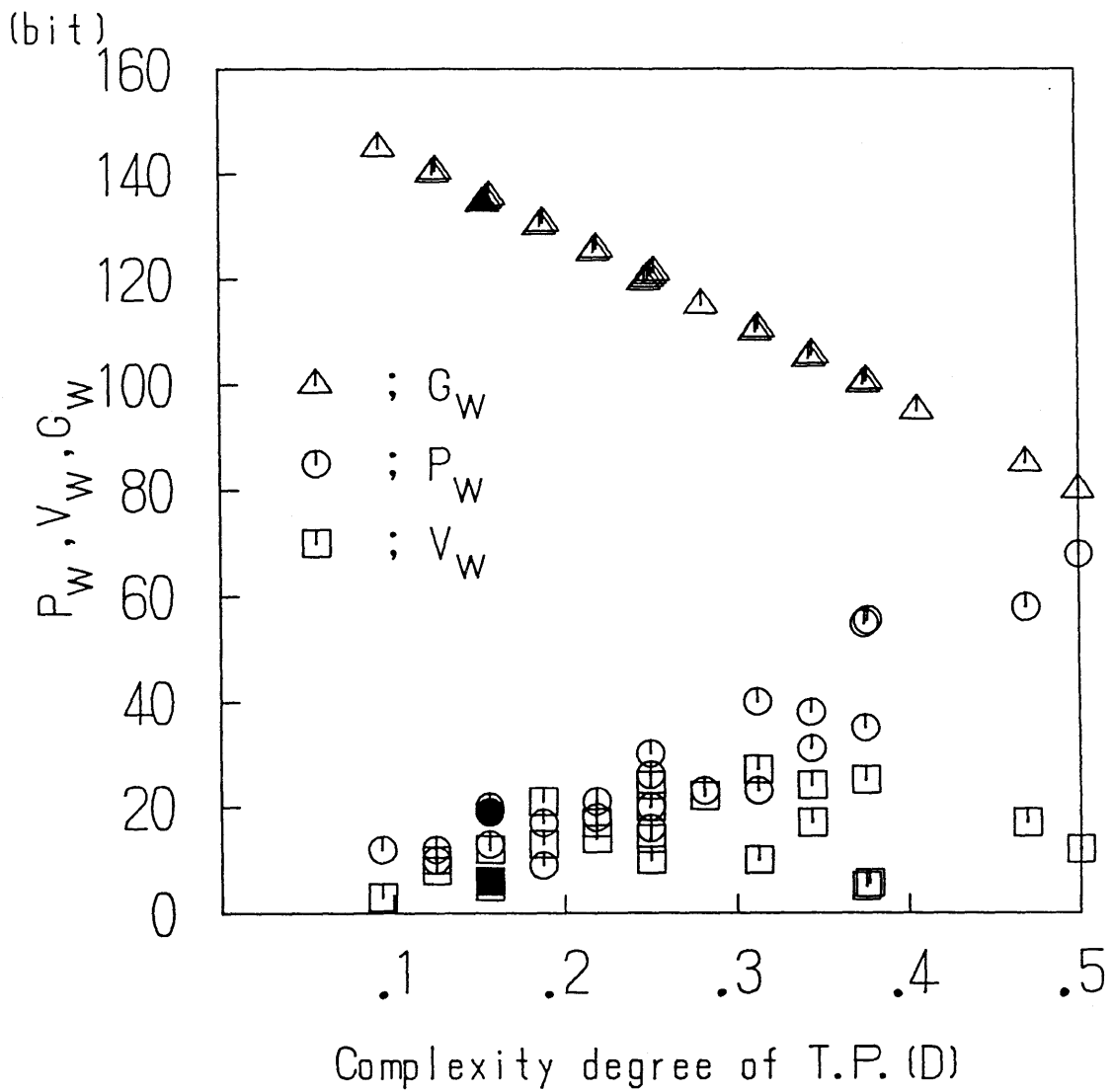


図3-6 テストパターンの複雑度

24例中4例(被験者A.T.でのT.P.2, 被験者Y.K.でのT.P.2, 被験者Y.K.でのT.P.3, 被験者T.G.でのT.P.3)を除き正しく推定された。

Fig.3-6 Complexity degree of T.P.

Most of the 24 test cases were finally guessed correctly by subjects except 4 cases: Sub. A.T. and T.P.2, Sub. Y.K. and T.P.2, Sub. Y.K. and T.P.3, and Sub. T.G. and T.P.3.



($\blacktriangle, \bullet, \blacksquare$; Examples of Sub.K.Y. and T.P.1)

図3-7 複雑度と前提量と、検証量と、および推定量と
 Fig.3-7 Complexity degree of T.P. vs. sums of premise amount, verification amount, and guess amount.

(1)推定終了までに累積された前提量 P_w （仮説形成の前提として使用された情報量の和）は、課題が複雑になるにつれて増加する。また、増加の割合は、複雑度に対してほぼ一定（1次線形的増加）である。

(2)一方、推定終了までに累積された検証量 V_w （仮説検証のために使用された情報量の和）は、課題が複雑になるにつれて増加する傾向は少ない。

以上をまとめると、「仮説形成のために必要とされる情報量は、課題が複雑になるにつれてより多くなるが、それに比して、仮説検証のために必要とされる情報量は、あまり増加しない」ことがわかる。

また、推定終了までに累積された推定量 G_w （仮説形成検証過程を通して思考上で形成された情報量の和）が、複雑度 D に対して正確に1次関数的に減少するのは、複雑度 D の定義〔式（3-11）〕に依存するものである。従って、この1次関数的減少は、実証的に得られた知見ではないが、複雑度 D が課題の複雑さを示すことと、最終的に思考上で推定できる情報量が減少することとは等価であるという意味で、複雑度 D の定義の妥当性（ P_x 、 V_x 、 G_x の定義との整合性）を支持していると考えられる。

3.4.2 仮説形成における類推的推論の効果

3.4.2.1 仮説の帰納的形成と類推的形成

第2章では、カード配置推定問題における仮説形成の2つの種類（帰納的仮説形成と類推的仮説形成）について考察した。すなわち、「帰納的仮説形成」とは、「実際に表にされたカードをもとに仮説を形成するもの」であり、「類推的仮説形成」とは、「その時点までに既に形成されている仮説をもとに、それと類似の新しい仮説を形成するもの」（例えば、1行目が1～8の順で配置していたから2行目も同様の配置であるとする仮説を導くものなど）である（2.3.2(1)参照）。ここでは、類推的推論の効果について考察する。

3.4.2.2 帰納的前提率

類推的仮説形成の効果について考察するために、まず「帰納的前提率」を定義する。

さて、3.3.2で定義した前提量 $P_x(H_n)$ は、仮説 H_n の形成において、帰納的推論の前提として使用された情報量であると考えられる。よって、 r 枚のカードから構成される仮説 H_n の情報量 k_r に対する前提量 $P_x(H_n)$ の比率を、仮説 H_n の「帰納的前提率」(ratio of inductive premise) $\overline{P}(H_n)$ と定義すれば、式(3-4)より

$$\overline{P}(H_n) = m [\{C_i\} (i=1,2,\dots,n) \cap \{C_{nj}\} (j=1,2,\dots,r)] / r \quad (3-12)$$

である。

ここで、帰納的前提率は、 $0 \leq \overline{P}(H_n) \leq 1$ の値をとり、値が1に近づくほど、より多くの前提量を前提とした帰納的推論により、仮説 H_n が形成されたことを示す。

例えば、図3-4の実験結果の例において形成された4つの仮説の帰納的前提率とは、それぞれ式(3-12)より、 $\overline{P}(H_1) = 1/8 = 0.125$ 、 $\overline{P}(H_3) = 1/8 = 0.125$ 、 $\overline{P}(H_4) = 1/16 \doteq 0.063$ 、 $\overline{P}(H_5) = 5/32 \doteq 0.156$ である。

3.4.2.3 純帰納確証仮説と類推・帰納確証仮説

図3-8は、仮説 H_n の形成された時期 x (x 枚のカードが表にされた時期) とその仮説形成における帰納的前提率 $\overline{P}(H_x)$ との関係を、数字記号の仮説について示したものである(以下に示す傾向は、種類記号の仮説についてのグラフ(割愛)でも同様にあてはまる)。ただし、推定終了までに棄却された仮説については除き、最終的に正しいと確信された仮説(以下、「確証された仮説」と呼ぶ)についてのみ示してある。また、ある被験者が、特定のT・Pの推定において形成した一連の仮説群(同一被験者が同一T・Pで段階的に仮説を形成したときの仮説群)を、形成の順に線で結んである。[図3-4の実験結果の例は、●印で示されている。]

図3-8より、以下の知見が得られる。

- (1) 全体的には、推定の後期に形成された仮説ほど、大きな帰納的前提率で仮説を形成する傾向がある。
- (2) 一方、被験者が連続的に仮説を形成する場合には、1番目に形成された仮説に比して、2番目以降に形成された仮説の帰納的前提率は小さくなっている。

この連続的に仮説が形成された場合の帰納的前提率の減少は、2番目以降に形成された

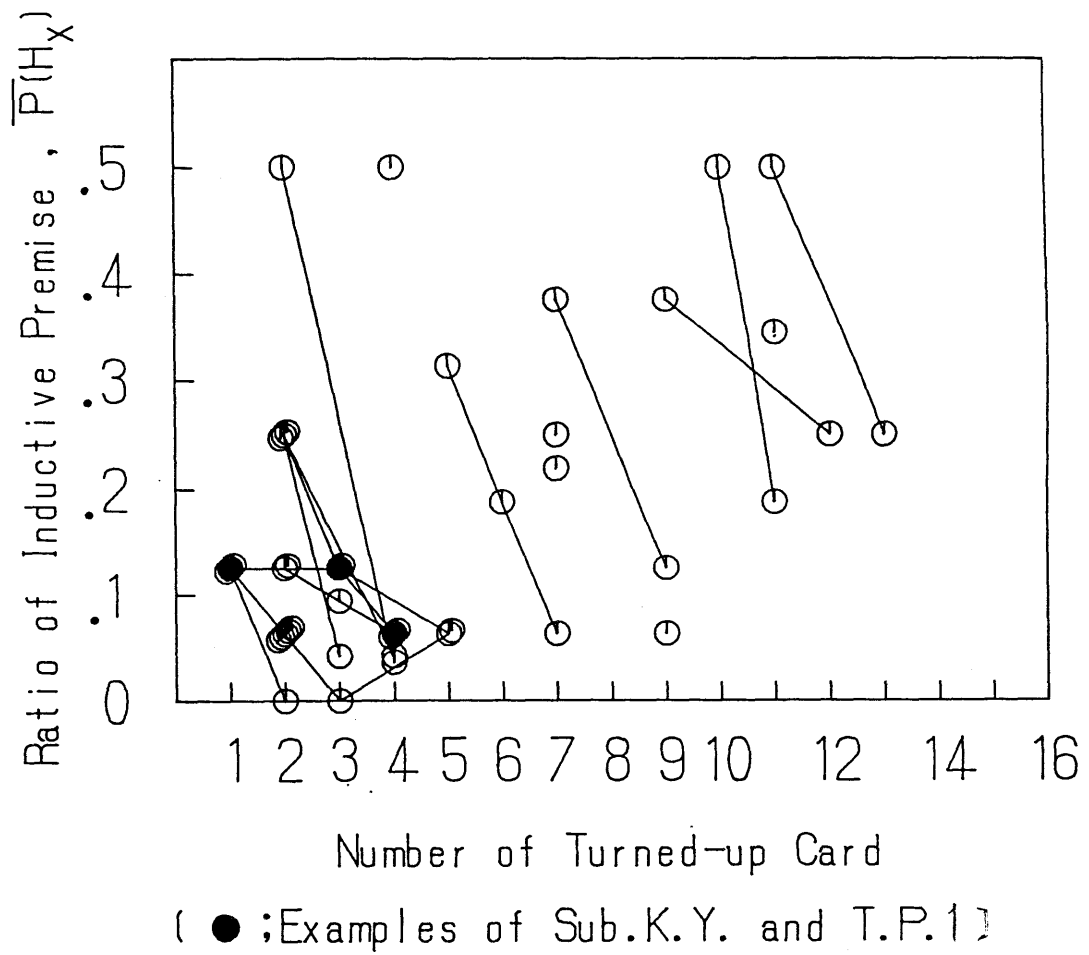


図3-8 帰納的前提率と類推的推論の効果
 Fig.3-8 Ratio of inductive premise and analogy effect.

仮説においては、実際に表にされたカード（帰納的前提）を前提として仮説を形成（帰納的仮説形成）するだけでなく、それ以前にすでに形成されている仮説（類推的前提）をも前提として、それに類似の仮説を形成（類推的仮説形成）したことによる効果と考えられる。

ここで、帰納的推論だけを用いて形成され確認されたと考えられる1番目に形成され確認された仮説を、「純帰納確認仮説」（hypothesis by induction only）と呼び、他方、帰納的推論に加えて類推的推論をも用いて形成され確認されたと考えられる2番目以降に形成された仮説を、「類推・帰納確認仮説」（hypothesis by analogy and induction）と呼ぶ。例えば、図3-4の実験結果において、 H_1 と H_5 は、それぞれ数字と種類についての純帰納確認仮説であり、 H_3 は H_1 を、 H_4 は H_1 と H_3 を前提として、類推的な推論も用いて形成された類推・帰納確認仮説である。

3.4.2.4 類推・帰納確認仮説と類推効果領域

図3-9は、ある被験者が行なった推定実験において、そのときのT・Pの複雑度Dと、そのT・Pの推定過程において形成された仮説の帰納的前提率との関係を示したものである（ここでは、種類記号についての仮説も示してある）。図3-9では、各仮説を、確認された仮説である「純帰納確認仮説」（図3-9の○印）と「類推・帰納確認仮説」（図3-9の△印）、および「棄却された仮説」（図3-9の□印）の3種類に分類してある。なお、棄却された仮説についても、純帰納棄却仮説と類推・帰納棄却仮説を考えることができるが、実際に行なった実験では、後者の場合が2例しか存在しなかった（共に $\overline{P}(H_n) = 0$ ）ので、ここではまとめて、棄却された仮説として扱う。3種類の仮説の分布領域は、一部の例外を無視すれば、図3-10のようになる。

最初に、純帰納確認仮説（図3-9の○印）と棄却仮説（図3-9の□印）の分布との対応に着目してみよう。

- (1) 課題が複雑さを増すにつれて、純帰納確認仮説の分布下限（図3-10における――線）は右上がりである。このことは、帰納的推論だけを用いて仮説が形成された場合、その仮説が確認されるためには、課題が複雑になるにつれてより大きな帰納的前提率で仮説を形成することが必要となることを示している。
- (2) 課題が複雑さを増すにつれて、棄却された仮説の分布上限（図3-10における――

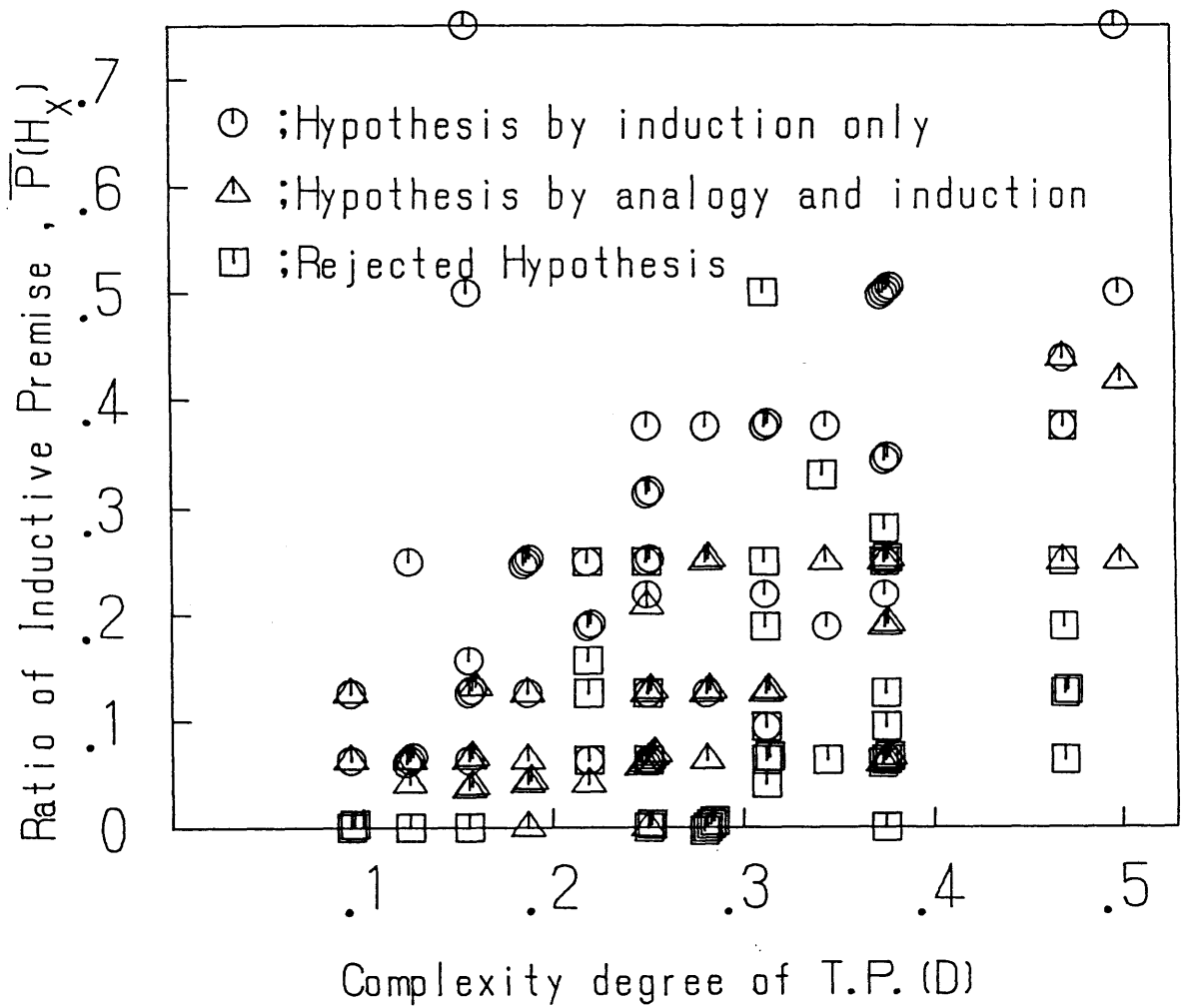


図3-9 3種類の仮説と帰納的前提率

Fig.3-9 Ratio of inductive premise of three kinds of hypotheses.

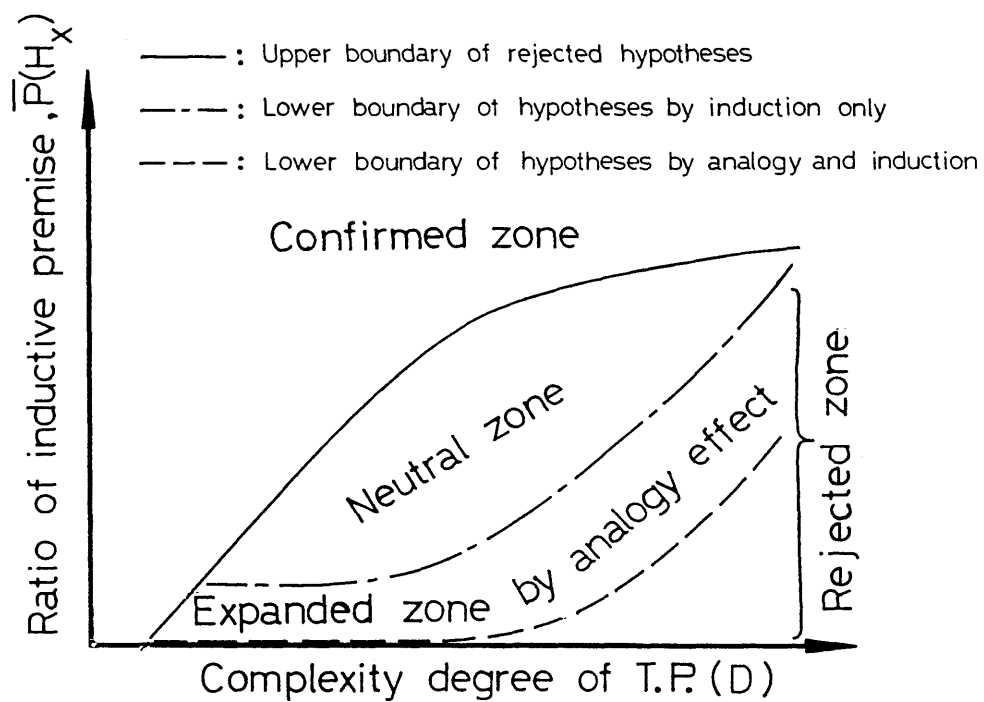


図3-10 確証領域，棄却領域，中立領域，および類推効果領域
 Fig.3-10 Confirmed zone, rejected zone, neutral zone, and expanded zone by analogy effect.

線)は右上がりである。このことは、課題が複雑になっても、小さな帰納的前提率で形成された仮説は、棄却される可能性が高いことを示している。

(3)また、純帰納確証仮説の分布する領域と、棄却仮説の分布する領域とは、かなり大きな範囲にわたって重複して存在している。

以上をまとめて、それぞれの仮説の分布する領域を以下の3つの領域に分類する(図3-10参照)。

(a)「確証領域」(confirmed zone)：棄却された仮説の存在しない領域(図3-10における——線の上側の領域)。この領域で形成された仮説は、すべて確証される。

(b)「棄却領域」(rejected zone)：純帰納確証仮説の存在しない領域(図3-10における---線の下側の領域)。この領域で帰納的推論だけを用いて形成された仮説は、すべて棄却される。

(c)「中立領域」(neutral zone)：純帰納確証仮説と棄却仮説の両方が存在する領域(図3-10における——線の下側で、かつ---線の上側の領域)。この領域で帰納的推論だけを用いて形成された仮説は、確証される可能性も、棄却される可能性もある。次に、類推・帰納確証仮説(図3-9の△印)の分布する領域を上述の3つの領域に重ねて検討する。

(4)類推・帰納確証仮説の分布下限(図3-10における---線)は、純帰納確証仮説のそれよりも下側に位置する。

(5)換言すれば、帰納的推論だけでなく、類推的推論をも用いて形成された仮説は、帰納的推論だけを用いて形成された仮説に比して、小さな帰納的前提率で仮説を形成しても確証される。

それゆえに、上述の3つの領域に加え、更に「類推効果領域」を以下のように設定することができる。

(d)「類推効果領域」(expanded zone by analogy effect)：棄却領域の中で、類推・帰納確証仮説の存在する領域(図3-10における---線の下側で、かつ---線の上側の領域)。この領域では、帰納的推論だけを用いて形成された仮説は棄却されるが、帰納的推論に加え、類推的推論をも用いて形成された仮説は確証される。

以上は、「被験者が、帰納的推論に加えて類推的推論をも用いるならば、実際に表にするカードを最小限に保ち、その推定を効率的に進め得ること」を実証するものである。

3.5 結言

本章では、情報理論の立場から、仮説形成検証過程を以下の3点に関して考察した。すなわち、

- (1) 孤立事実量，前提量，検証量，推定量を定義し，仮説形成検証過程を4種の情報量の推移過程として捉えた。また，それらの情報量が仮説形成検証過程で果たす機能を明確化した。
- (2) T. P. の複雑度と，被験者が推定終了までに累積した前提量，検証量，推定量とに着目することにより，仮説形成のために必要とされる情報量は，課題が複雑になるにつれてより多くなるが，それに比して，仮説検証のために必要とされる情報量は，あまり増加しないことを示した。
- (3) 確証された仮説を，「純帰納確証仮説」と「類推・帰納確証仮説」の2つに分け，後者が前者より小さな帰納的前提率でも確証されていることから，仮説形成における類推的推論の効果を「類推効果領域」に対応させて実証的に示した。

今後の課題は，仮説形成検証過程における仮説の蓋然性変化について考察を行なうこと，また本章の知見を，教育工学等の分野へ応用することなどである⁽⁸⁾。

注 釈

- ☞1 第2章では、「思考上のT. F.」は、「推定されたカード」と「実際に表にされたカード」によるカード配置状態として定義された。しかし、本章以降では、「推定されたカードだけ」（ただし、推定されている仮説を構成する「表にされたカード」はこれに含まれる）によるカード配置状態を「思考上のT. F.」と呼ぶので、区別が必要である。 ——— 3. 2. 1 (p.40)
- ☞2 第2章の実験（2. 2. 2参照）では、実際にトランプカードが机の上に裏返しに配置され、それらのカードが順次表にされることにより実験が進行する。この方法では、机の上のカード配置状態が「現実のT. F.」に相当する。「思考上のT. F.」は、被験者の言語報告に基づいて、実験者が実験用紙に順次記入した。従って、実際に被験者の思考上に存在している「思考上のT. F.」と、実験用紙に記入された「思考上のT. F.」とが、言語報告に伴うあいまいさから、正確に一致しないことが懸念された。
本実験システムでは、実際にディスプレイ上に「現実のT. F.」と「思考上のT. F.」とを表示して、被験者に確認を求めつつ実験が進行することにより、思考過程の正確な測定が可能となった。 ——— 3. 2. 1 (p.40)
- ☞3 第2章の実験に用いられたT. P. と、本章の実験で用いられたT. P. の条件の差異は以下のごとくである。
- (1)第2章の実験では、4行×13列のT. P. が用いられたのに対して、本章の実験では、4行×8列のT. P. が用いられている。
 - (2)第2章のT. P. では、種類は♠, ♥, ♣, ♦, 数字は1から13までのカードが配置されている（1セット52枚のカードが全て配置されている）のに対して、本章のT. P. では、種類は♠, ♥, ♣, ♦, 数字は1から8までのカードに限定して配置されている。
 - (3)第2章では52枚のカードは全て異なる記号を持つものが配置されているが、本章では、同じ記号を持つものが2枚以上配置されている場合もある。
- 3. 2. 3 (p.42)

☞4 最初の n 枚のカードが出現する確率は、第2章の T. P. の条件では、 $1/5^2 \times 1/5^1 \times \dots \times 1/(5^3 - n)$ となるのに対して、第3章の T. P. の条件では、 $(1/3^2)^n$ となる [3. 2. 3の注釈☞3 (p.64) 参照].

———— 3. 3. 1 (p.44)

☞5 第2章では、 j 番目に形成された仮説を H_j と表したのに対して、本章では、第 n 期に形成された仮説を H_n と表すので注意が必要である.

———— 3. 3. 2 (p.45)

☞6 本章で定義された第 n 期における孤立事実量 S_n と、前提量 P_n と、および検証量 V_n との合計 $S_n + P_n + V_n$ は、第2章で定義された n 回探索試行後の事実既知情報量 I_n と等価である. また、本章で定義された第 n 期における推定量 G_n は、第2章で定義された第 n, m 段階における思考既知情報量 $I_{n,m}$ に等価である.

———— 3. 3. 3 (p.48)

参考文献

- (1) 三輪, 織田, 福村: 仮説形成検証過程の情報論的考察, 信学論 (A), Vol. 70 - A, No. 6, pp. 911-920 (昭62-06)
- (2) 三輪, 織田, 日江井: 思考過程の推論展開モデルと情報量保存モデルおよびその実証的考察, 信学論 (A), Vol. 69 - A, No. 5, pp. 612-619 (昭61-05)
- (3) 三輪, 織田, 福村: 仮説の形成・検証・強化のプロセスに関する研究, 信学技報, ET8 6 - 3 (昭61-06)
- (4) 三輪, 織田, 福村: 仮説群形成過程における事実情報と思考情報の役割変化, 昭61 電気関係学会東海連大, 4 6 6 (昭61-10)
- (5) 宮川洋: 情報理論, 電子通信学会大学講座39, コロナ社 (昭54)
- (6) S.Watanabe: Knowing and Guessing —— A formal and quantitative study, John Wiley & Son (1969)
- (7) 渡辺慧: 知ること ——— 認識学序説, 認知科学業績選書8, 東京大学出版会 (昭61)
- (8) 日江井, 織田, 三輪, 下村: ビデオ教材における推論法の生起状況, 信学技報, ET8 5 - 3 (昭60-06)

第4章 仮説形成検証過程に関する計算機シミュレーションモデル

4.1 緒言

「ばらばらで一見無秩序な部分的観測事実に基づいて、その事象の正確な一般化を行なう人間の能力」の解明は、科学的な興味にとどまらず、実用的な意味からも、ますますその重要性を増しつつある。このテーマは、近年、認知科学や人工知能の分野においても、問題解決、帰納学習、概念形成、知識獲得の問題として基礎的な研究が続けられている^{(1),(2)}。

本章では、上述の課題を、仮説形成検証過程の枠組みの中で考察する^{(3)~(8)}。仮説形成・仮説評価に関しては、既に、計算機科学的な立場から、國藤らの研究が報告されている⁽⁹⁾。また、本研究の第2章、第3章では、主に心理学的実験に基づいて、推論や情報論の立場からこの課題に関する実証的な検討を行ってきた。

本章では、更に、認知科学的な立場から、仮説形成検証過程を考察する。すなわち、課題として「4色カード配置推定問題」を取り上げ、3種の推論「演繹・帰納・類推」の組み合わせ・展開過程に着目した仮説形成検証過程に関するモデルを提案する。特に、このモデルでは、「帰納」⁽¹⁰⁾と「類推」⁽¹¹⁾の結合により、効果的な仮説形成が実現されている。このモデルは、第2章で提案され、第3章で情報論的に解釈された「推論展開モデル」を、更に拡張し、精緻化したものである。提案されたモデルは、プロダクションシステム⁽¹²⁾に則して実現され、その計算機シミュレーション結果を人間の場合の実験結果と比較することにより、その妥当性が検討されている。

4.2 4色カード配置推定問題とテストパターン

4.2.1 4色カード配置推定問題

課題に用いられた「4色カード配置推定問題」とは、次のものをいう。すなわち、Y (Yellow), B (Blue), R (Red), W (White) なる4色のカードが、4行×8列の2次元領域に、ある種の規則性をもって配置されており、初期状態では、全てのカードが

裏返しにされているものとする。なお、このカードの2次元配置を、T. P. (テストパターン) と呼ぶ [図1 (p.94)]。この初期状態から、表にするカードができる限り少なくなるように工夫しながら、カードを1枚ずつ表にしていき、T. P. のすべてのカード配置を推定する問題を、4色カード配置推定問題と呼ぶ。

4. 2. 2 22種類のテストパターン

本章で用いたT. P. は、大学生97名を対象としたアンケート結果から選出した。選出に用いたアンケート用紙を、図4-1に示す。選出されたT. P. は、計22種類であり、その一部の例が図4-2に示されている。22種類のT. P. の選出方法は、以下のごとくである。

まず各人に、5枚程度と10枚程度のカードを表にすることによって配置が推定される程度の規則性をもったカード配置2種類を作成するように依頼し、合計194 (=97×2) 例のカード配置を得た。なお、4色のカードは同じ枚数(すなわち、8枚ずつ)を用いるように指示した。次に、同じカード配置を1種類としてまとめたところ、62種類のカード配置に分類された。62種類のカード配置の中で、2例以上の度数を含むカード配置、すなわち2人以上から作成されたカード配置22種類を、最終的にT. P. として採用した。なお、この22種類の中に、全体の194例のうちの79%にあたる、154例のカード配置が含まれている。

これらの22種類のT. P. は、計算機上に実現された仮説形成検証過程のモデルと、人間被験者の両方によって解かれている。ただし、後者においては、22種類のT. P. は4グループに分けられ、それぞれ1人の被験者(計4名)によって解かれている [図2 (p.94)]。

両者の実験結果が比較され、モデルの妥当性が検討されている。

4. 3 仮説形成検証過程の計算機シミュレーションモデルの構成

4. 3. 1 記号の定義

最初に、本章全般で用いる記号の定義を行なう。

アンケート (3)

*** 回答欄 ***

学科 _____ 番号 _____ 名前 _____ (年齢 _____ : 男・女)
 198__年__月__日

	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2								
3								
4								

上図のように、4種類の記号 (○、□、◇、△) が書かれたカード32枚が裏返しに配置されています。(カード配置には何らかの規則性があります。)すべてが裏返しにされている状態から、自分の好きなカードを一枚ずつ表にし(ただし、表にするカードの枚数をできる限り少なくして)、全部のカードの配置を推定するゲームを考えます。
 さて、あなたがこのゲームを出題すると考えて下さい。あなた(出題者)は、事前にカードを規則的に配置しておく必要があります(下記、例参照)。このカード配置を2種類考えて、右に記入して下さい。
 ただし、
 (A) 4種類のカード(○、□、◇、△)は、それぞれ同じ枚数の8枚ずつを使して下さい。
 (B) また、2種類のうちの1つは、ゲームに取り進む相手(回答者)が、5枚程度のカードを表にすることで解けると思われる配置(やや易しい配置)、もう1つは、10枚程度のカードを表にすることで解けると思われる配置(やや難しい配置)として下さい。

(1) 5枚程度で解ける配置(やや易しい配置)

(2) 10枚程度で解ける配置(やや難しい配置)

回答例

○	○	○	○	□	□	□	□
□	□	□	□	○	○	○	○
◇	◇	◇	◇	△	△	△	△
△	△	△	△	◇	◇	◇	◇

(ありがとうございました。)

図4-1 2種類のテストパターン作成のためのアンケート用紙
 Fig.4-1 Questionnaire sheet for producing two kinds of T.P.

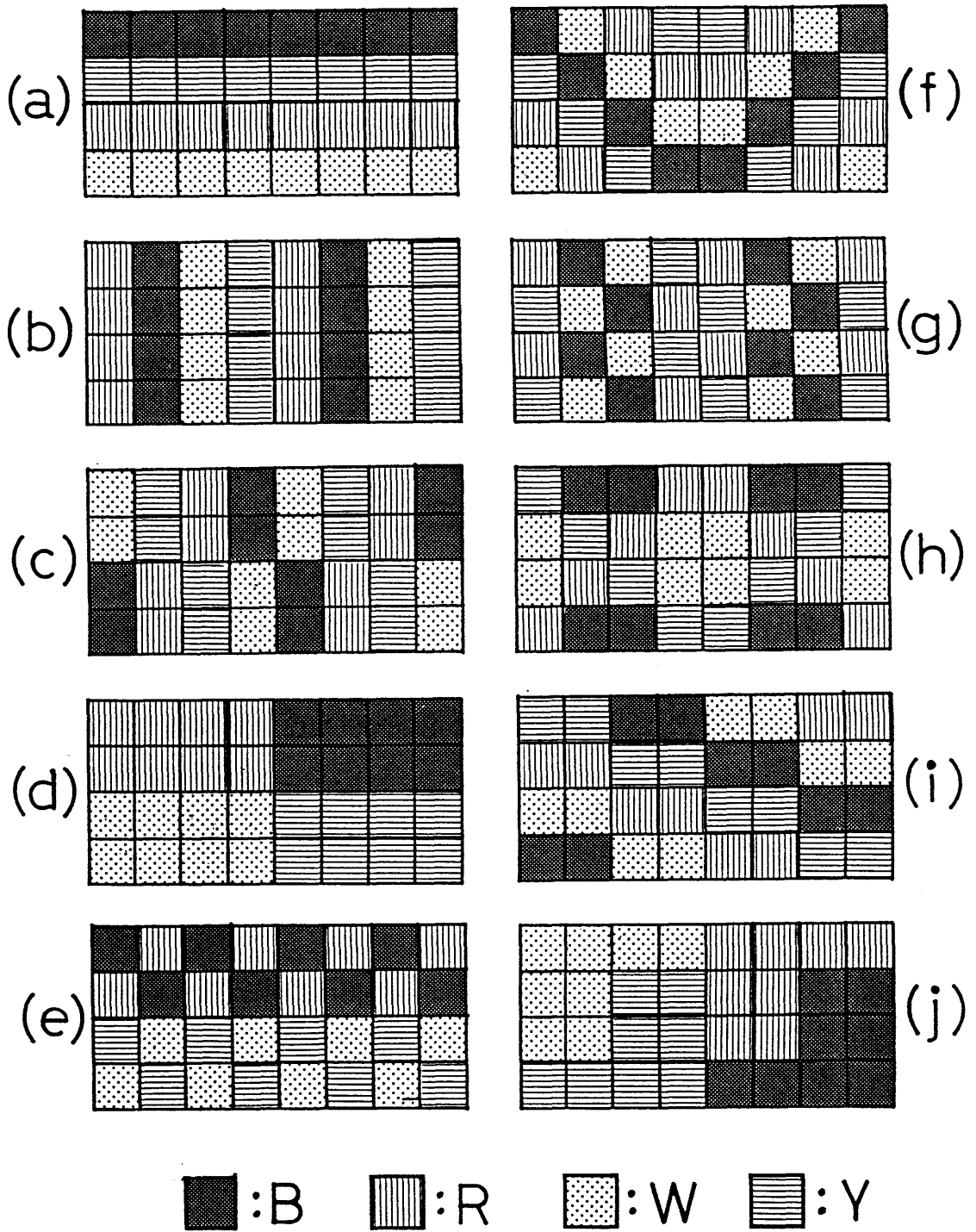


図4-2 テストパターンの例

Fig.4-2 Examples of Test Pattern.

(a)T. P. 1, (b)T. P. 2, (c)T. P. 8, (d)T. P. 7, (e)T. P. 10,
 (f)T. P. 11, (g)T. P. 18, (h)T. P. 19, (i)T. P. 21, (j)T. P. 22.

(1)ユニット U_i : 図4-3に示されたように、4行×8列のT.F. (推定過程に出現する「実際に表にしたカード」や、「思考上で推定されたカード」によるカード配置領域)を8つの単位領域に分割し、その各単位を、ユニット U_i ($i=1,2,\dots,8$)と表す。更に、一つのユニット U_i 内の4つの場所を、図4-3のごとく、それぞれ j 番地 ($j=1,2,3,4$)と表す。

(2)カード $C(i, j, k)$: ユニット U_i 内の j 番地の色 k ($k=Y,B,R,W$)であるカード C を、 $C(i, j, k)$ と表す。

(3)仮説 H_x : 8つのユニット U_i を以下のように構造化し、各ユニット群 $\{U_i\}$ のカード配置に関する仮説を、次のように仮説 H_x ($x=1,2,3,4$)と表す [図3 (p.94)]。

仮説 H_1 : U_1 のカード配置に関する仮説

仮説 H_2 : U_2 のカード配置に関する仮説

仮説 H_3 : U_3 と U_4 のカード配置に関する仮説

仮説 H_4 : U_5 から U_8 までのカード配置に関する仮説

仮説 H_x が1回修正された仮説を $\overline{H_x}$ 、2回修正された仮説を $\overline{\overline{H_x}}$ ・・・と表す。

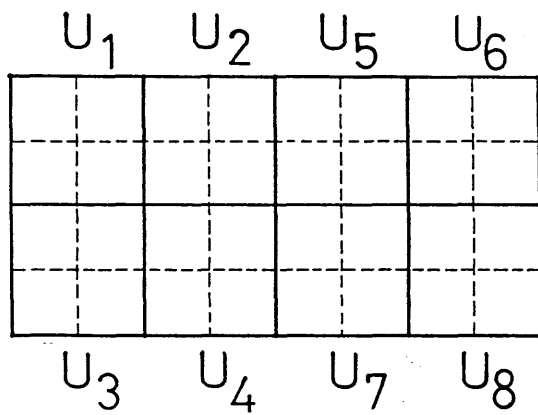
各仮説をこのような構成とした理由は、前章までの検討を通して得られた次のような知見による。すなわち、人間は、最初に数枚のカードから構成されるカードの基本配置を推定し、続いて、より広い領域のカード配置に関する仮説を段階的に形成して、最終的にすべてのカード配置を推定する。

4.3.2 推定法の概略

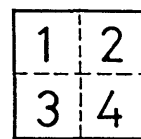
4.3.2.1 4つの仮説の段階的形成

T.P.のカード配置の推定過程は、以下のようである(図4-4参照)。すなわち、まず最初に、 H_1 が4.3.2.2に示される7つのPhaseを通して形成検証される。続いて同様の過程を通して、 H_2 、 H_3 、 H_4 の順に仮説が形成検証される。それに従って、 U_1 、続いて U_2 、更に U_3 と U_4 、最後に $U_5 \sim U_8$ のカード配置が段階的に推定されていく。

各仮説 H_x の形成にあたっては、次のように「帰納」(induction)と「類推」(analogy)が組み合わされる。ただし、仮説 H_1 の形成では、帰納だけが用いられる。



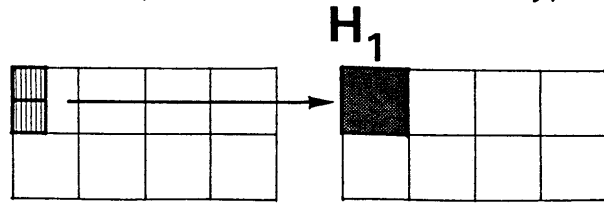
(a) Basic unit U_i



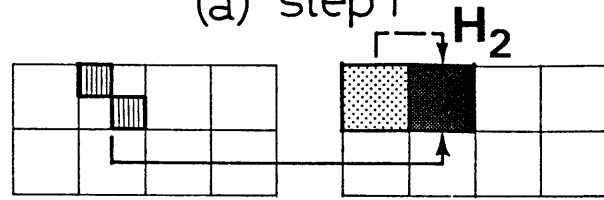
(b) Address j of U_i

図4-3 カード配置のユニットと番地
 Fig.4-3 Basic unit U_i and address j of U_i .

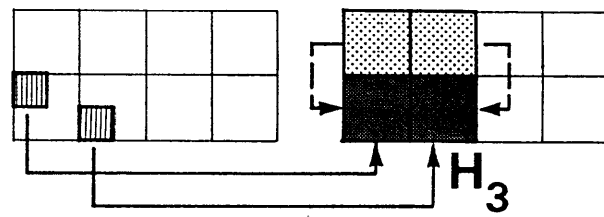
Turned-up cards Guessed Hypotheses



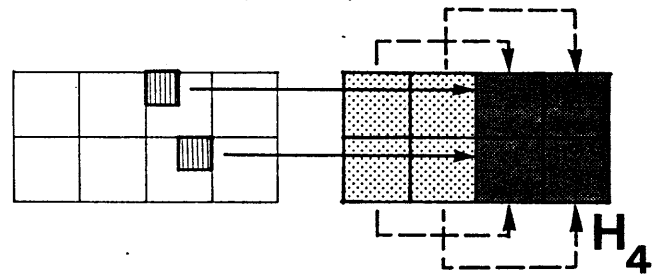
(a) step 1



(b) step 2



(c) step 3



(d) step 4




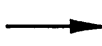
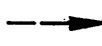
-  Formed hypothesis
-  Inductive premise
-  Analogical premise
-  induction
-  analogy

図4-4 4つの仮説形成における帰納と類推の関係

Fig.4-4 Induction and analogy in formation of four hypotheses

$H_1 \sim H_4$.

ここでいう帰納とは、「実際に表にされているカードC (i, j, k) という『事例』を前提として、『仮説H_x』を形成する推論」である。類推とは、「既に形成されている『仮説H_x』のカード配置を前提として、それと類似のカード配置を持つ『仮説H_x』を形成する推論」である。なお、帰納の前提となるカードC (i, j, k) を帰納的前提 (inductive premise) , 類推の前提となる仮説H_x を類推的前提 (analogical premise) と呼ぶ。

各仮説H_x の形成における帰納と類推の関係を図4-4に示す。例えば、H₃ の形成 (図4-4(c)参照) においては、U₃ とU₄ で表にされているカードを帰納的前提とする帰納と、それ以前に形成されたH₁ とH₂ のカード配置を類推的前提とする類推が組み合わされている。

4.3.2.2 仮説形成検証の7つのPhase

それぞれの仮説H_x の形成検証は、次の7つのPhase を通して行なわれる。以下では、後述4.4.2で紹介されるシミュレーションの結果を取り上げて、そこで観察されたU₂ のカード配置に関する仮説H₂ の形成検証過程を図4-5に例示しながら、この7つのPhase を説明する [図4 (p.94)] 。

(1)Phase 1 「試行と観測」 (turn-up) : これから仮説H_x を形成するユニット群 {U_i} 内のカードを1枚選び、それを表にして、そのカードの色を観測する。図4-5の例では、U₂ の4番地のカードを表にした結果、色Bが観測されて、このカードは、カードC (2, 4, B) と確定する (図4-5(1)) 。

なお、カードを表にする番地の順序に関する試行方略については、4.3.4.1 に言及する。

(2)Phase 2 「仮説形成」 (formation) : ユニット群 {U_i} のカード配置に関する仮説H_x が、帰納と類推の組合せにより形成される。図4-5の例では、Phase 1で表にされたカードC (2, 4, B) を帰納的前提 (inductive premise) とする帰納 (induction) と、既に形成されている仮説H₁ のカード配置を類推的前提 (analogical premise) とする類推 (analogy) が組み合わされて、仮説H₂ が形成されている (図4-5(2)) 。

(3)Phase 3 「仮説の蓋然性の評価」 (estimation of probability) : 仮説H_x が形成さ

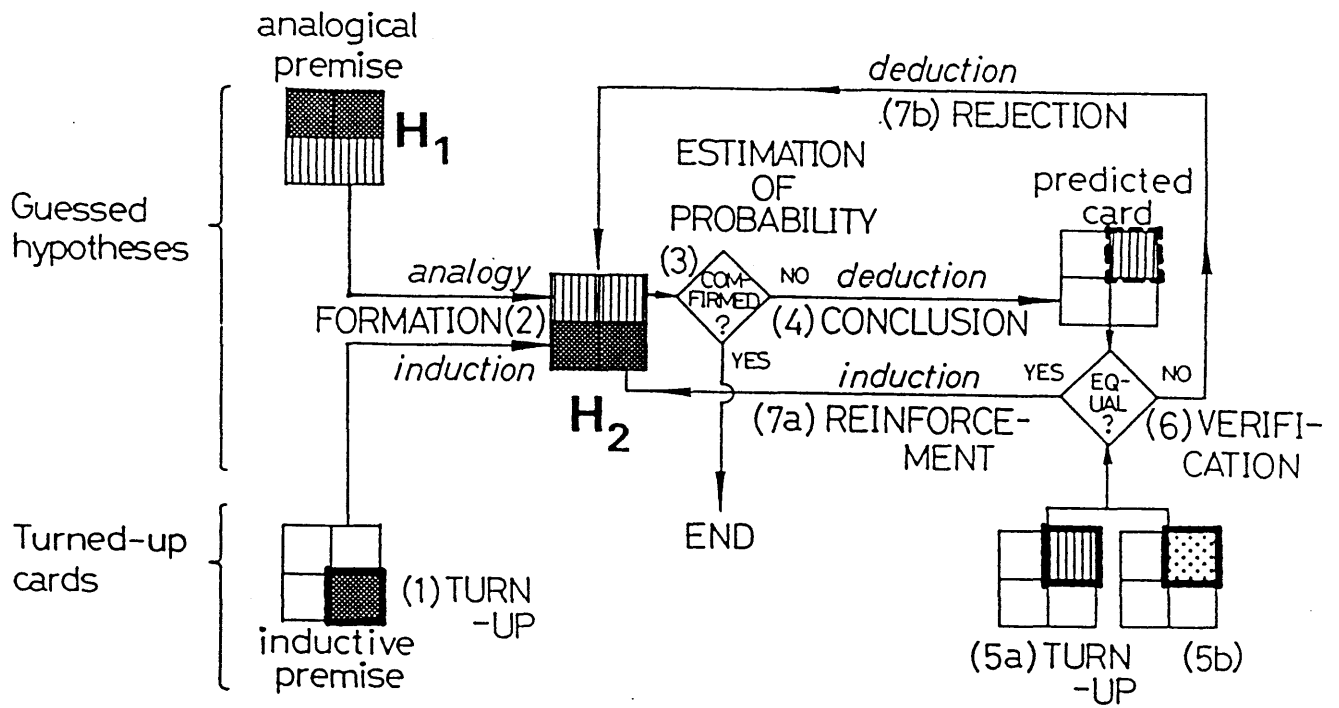


図4-5 仮説形成検証の7つのPhase

Fig.4-5 Seven Phase of formation and verification of hypothesis.

れると、その仮説 H_x の蓋然性（確からしさ）が評価される。

ここで、仮説 H_x が十分に正しいと確信されれば、仮説 H_x を真として、仮説 H_x の「確証」が成立する。その場合には、仮説 H_x の形成検証過程は終了し、次の仮説 H_{x+1} の形成検証へと移行する。逆に、確信に達しなければ、Phase 4以降に進む。図4-5の例では、Phase 4以降に進んでいる（図4-5(3)参照）。

(4)Phase 4「仮説からの帰結」(conclusion)：仮説 H_x に基づいて、ユニット群 $\{U_i\}$ 内でまだ表にされていない番地のカードの色を予測する。この場合に用いられた推論は、『仮説 H_x 』から表にされるべきカード $C(i, j, k)$ という『事例』を推論したという意味から「演繹」(deduction)である。図4-5の例では、 U_2 の2番地のカードが色Rであること、すなわち $C(2, 2, R)$ を予測している（図4-5(4)参照）。

(5)Phase 5「試行と観測」(turn-up)：Phase 4で予測されたカードを実際に表にして、そのカードを観測する。図4-5の例では、ここでの試行結果として、2つの場合を考えている。すなわち、

(5a)カード $C(2, 2, R)$ が観測された場合（図4-5(5a)）

(5b)カード $C(2, 2, W)$ が観測された場合（図4-5(5b)）

(6)Phase 6「仮説の検証」(verification)：Phase 4で予測されたカードと、Phase 5で実際に観測されたカードとを比較する（図4-5(6)）。その結果、両者が一致する場合（図4-5(5a)の場合）には、次のPhase 7aへと進む。逆に、一致しない場合（図4-5(5b)の場合）には、Phase 7bへと進む。

(7)Phase 7「仮説の強化と棄却」

(7a)Phase 7a「仮説の強化（正フィードバック）」(reinforcement)：仮説 H_x の確からしさである蓋然性が増す（図4-5(7a)）。この場合に用いられる推論は「帰納」である。仮説の強化が行なわれた後にはPhase 3に戻り、それ以降を繰り返す。

(7b)Phase 7b「仮説の棄却（負フィードバック）」(rejection)：仮説 H_x が棄却され、仮説 H_x の「反証」が成立する（図4-5(7b)）。この場合に用いられる推論は、Phase 4で用いられた「仮説 H_x が真ならば、カード $C(i, j, k)$ は真」の対偶「カード $C(i, j, k)$ が偽ならば、仮説 H_x は偽」に該当し、一般的な「演繹」の変形と考えられる。仮説の反証が成立した場合には、仮説 H_x が棄却されることにより仮説 H_x の仮説形成検証過程は終了し、同じ領域 $\{U_i\}$ における次の仮説

\overline{H}_x の形成検証へと移行する。なおこの場合、仮説 \overline{H}_x の形成検証は、Phase 1 が省略され、Phase 2 から始められる（Phase 1 においてカードが表にされることなく、Phase 2 に進行する）。

4.3.2.3 仮説の再構成

ある仮説 H_x の形成の段階において、いかなる帰納と類推の組合せによっても妥当な仮説 H_x が形成できない場合（4.3.3.4 参照）には、それまでに形成されたすべての仮説を棄却して、仮説 H_1 の形成の段階に戻る。これを、「帰納・類推の不整合による反証」と呼ぶ。そしてまず、 H_1 を形成し直し、続いて、 H_2 以降を再形成し、「仮説の再構成」が行なわれる。

4. 3. 3 仮説形成における帰納と類推

4.3.3.1 概略

仮説 H_x の形成において、その仮説 H_x を構成するユニット群 $\{U_i\}$ の中のある一つのユニット U_i のカード配置は、次のように生成される。すなわち、まず、ユニット U_i のカード配置候補群が、帰納と類推とにより、別々に生成される。その2種類のカード配置候補群が組み合わされることにより、最終的にユニット U_i のカード配置が1種類に決定される。

4.3.3.2 帰納によるカード配置候補群の生成

まず、最初に一つのユニットに配置される4枚のカード $C(i, j, k)$ のパターン P_t ($t=1, 2, \dots, 7$) を、図4-6の7種類に限定する。図4-6において、4種類の変数 k_r ($r=1, 2, 3, 4$) のそれぞれは、カードの色の4種類の値 Y, B, R, W の中のいずれか1つに束縛される。すなわち、同じ変数 k_r の位置には、同じ色のカードが配置されるものとする。

ここで、ユニット U_i で表にされているカード $C(i, j, k)$ を帰納的前提として、

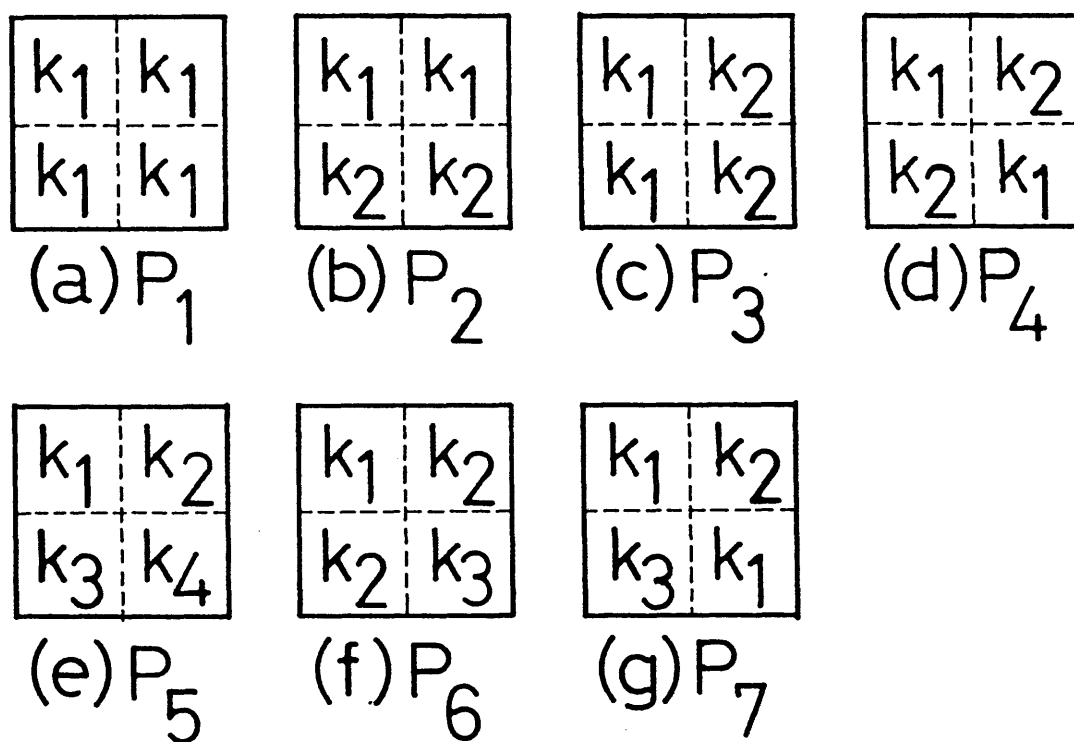


図4-6 カード配置の7種類のパターン P_t
 Fig.4-6 Seven kinds of patterns P_t of card arrangements.

ユニット U_i のカード配置候補は次のように生成される。すなわち、図4-6におけるカード配置パターン P_t と、帰納的前提となるユニット U_i のカード配置とをマッチングさせ、マッチングに成功したカード配置パターン P_t が、ユニット U_i のカード配置候補群として生成される。なお、このマッチングにおいて、変数 k_r がカードの色に直接照合された場合（変数 k_r の位置に表にされたカードが存在する場合）には、その変数 k_r は、その照合されたカードの色に束縛される。逆に、直接照合されなかった場合には、変数 k_r は、すでに別の変数 k_r を束縛した色以外の色に束縛されることとなる。

例として、図4-7(b)には、図4-7(a)に示された2枚のカードを帰納的前提として、帰納的に生成されるユニット U_i のカード配置候補群が示されている。

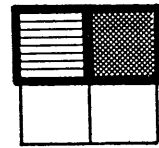
4.3.3.3 類推によるカード配置候補群の生成

ユニット $U_{i'}$ のカード配置を類推的前提として、ユニット U_i のカード配置候補は次のように生成される。すなわち、類推的前提となるユニット $U_{i'}$ の4枚のカード $C(i', j, k)$ の番地 j と色 k とを、4種類の関数 f_m ($m=1,2,3,4$)と6種類の関数 g_n ($n=1,2,\dots,6$)とにより、それぞれ $f_m(j)$ と $g_n(k)$ とに変換する。それらの変換された4枚のカード $C[i, f_m(j), g_n(k)]$ が、ユニット U_i のカード配置候補として生成される。表4-1に、 $f_m(j)$ と $g_n(k)$ とを、具体的に示す。4種類の $f_m(j)$ と6種類の $g_n(k)$ とを組み合わせることにより、24種類の類推が存在する。

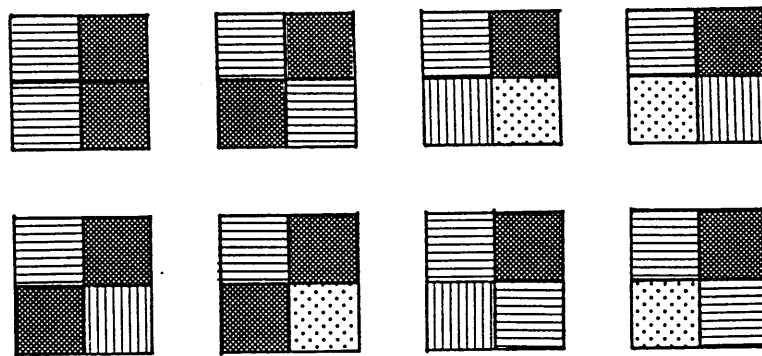
ここで、関数 f_m について、 f_1 は配置を換えない変換、 f_2 は左右対称に配置を折り返す変換、 f_3 は上下対称に配置を折り返す変換、 f_4 は中心から点対称に配置を折り返す変換に相当する。また、関数 g_n による色の値の変換は、その色に束縛された変数 k_r の変換を介して行なわれる。

なお、 U_2 のカード配置候補は、 U_1 を類推的前提として生成される。同様に、 U_3 は U_1 を、 U_4 は U_2 を、 U_5 から U_8 まではそれぞれ U_1 から U_4 までを、それぞれの類推的前提とする（図4-4参照）。

例として、図4-8(b)には、図4-8(a)に示されたカード配置を類推的前提として、関数 $f_m(j)$ と関数 $g_n(k)$ の組み合わせにより、類推的に生成されるユニット U_i のカード配置候補群が示されている。図4-8では、変数 k_1 は色Rに、 k_2 は色Bに、 k_3 は色Yに、また k_4 は色Wにそれぞれ束縛されているものとする。



(a) Inductive premise



(b) Candidates of card arrangement of U_i formed by induction

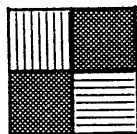
図4-7 帰納的前提とそれから帰納により生成されるユニット U_i のカード配置候補群

Fig.4-7 Inductive premise and candidates of card arrangement of U_i formed by induction.

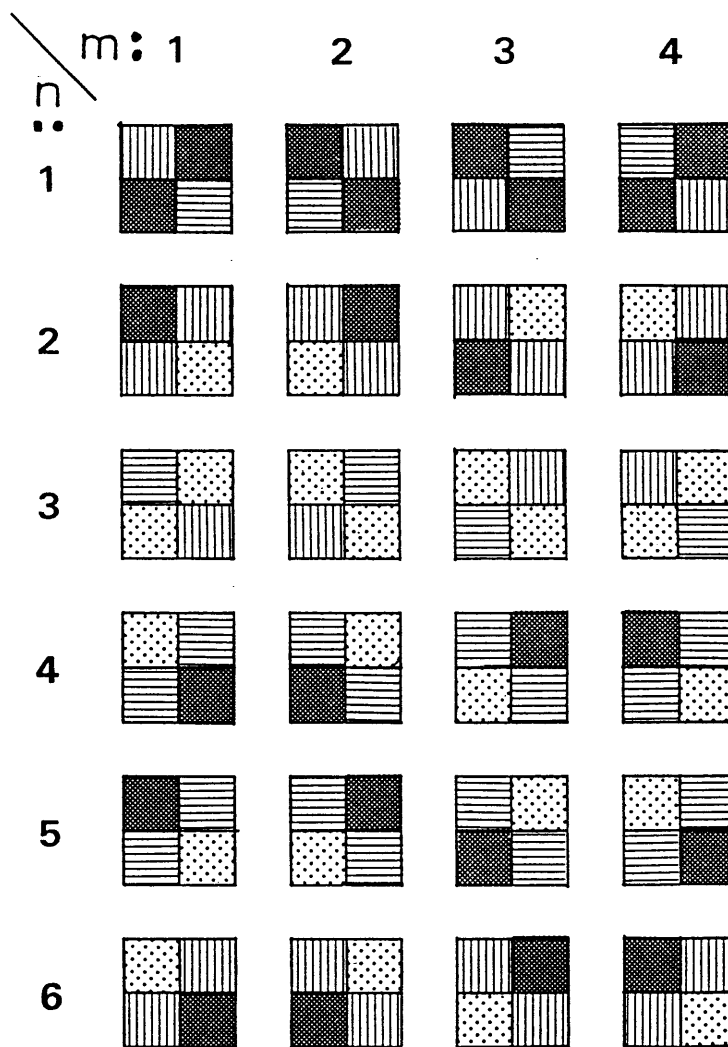
表4-1 番地変換関数 f_m と色変換関数 g_n

j	$f_1(j)$	$f_2(j)$	$f_3(j)$	$f_4(j)$
1	1	2	3	4
2	2	1	4	3
3	3	4	1	2
4	4	3	2	1

k	$g_1(k)$	$g_2(k)$	$g_3(k)$	$g_4(k)$	$g_5(k)$	$g_6(k)$
k_1	k_1	k_2	k_3	k_4	k_2	k_4
k_2	k_2	k_1	k_4	k_3	k_3	k_1
k_3	k_3	k_4	k_1	k_2	k_4	k_2
k_4	k_4	k_3	k_2	k_1	k_1	k_3



(a) Analogical premise



(b) Candidates of card arrangement of U_i formed by analogy

図4-8 類推的前提とそれから類推により生成されるユニット U_i のカード配置候補群

Fig.4-8 Analogical premise and candidates of card arrangement of U_i formed by analogy.

なお、この例では、24種類のカード配置の内、 $m=1$ と $n=2$ 、 $m=4$ と $n=6$ の組み合わせなどにより生成される8種類のカード配置は、同じものが重複しているので、実質的には16(=24-8)種類の異なったカード配置が類推されたことになる。

4.3.3.4 帰納と類推の組み合わせ

帰納と類推により生成されたカード配置候補群より、最終的に1つのカード配置がユニット U_i のカード配置として取り上げられる。その方式について、図4-7と図4-8に示されたカード配置候補群を具体例に用いて、以下に説明する。

まず、類推により、ユニット U_i のカード配置候補が1つずつ生成される。生成の順序は、図4-8(b)では1行目の左から右へ、次には2行目の左から右へ、 \dots 、の順である。類推により一つのカード配置候補が生成されると、そのカード配置候補が、帰納から生成されるカード配置候補群の中に存在するか否か、換言すれば、図4-7(b)のカード配置候補群の中に存在するか否かが確かめられる。存在すれば、そのカード配置が最終的にユニット U_i のカード配置として取り上げられる。逆に存在しなければ、次のカード配置候補が類推により生成され、同様に確かめられる。

類推と帰納の条件を満たすカード配置が一つも存在しない場合には、「帰納と類推の不整合による反証」が成立し、仮説の再構成(4.3.2.3参照)が行なわれる。

図4-8(b)の例では、上述の順序に従って類推により仮説のカード配置候補が作られていき、 $m=4$ 、 $n=1$ により生成された1段目の右端のカード配置が、図4-7(b)の2段目左端に存在するので、これが最終的にユニット U_i のカード配置として取り上げられる。

なお、複数のユニット $\{U_i\}$ のカード配置が同時に推定される仮説 H_3 と仮説 H_4 の形成においては、各ユニットのカード配置候補が、同じ種類の $f_m(j)$ と $g_n(k)$ の組み合わせによる類推により同時に生成され、それらすべてのカード配置候補が、それぞれ上述の帰納の条件を満たす場合に、そのユニット群の仮説として取り上げられるものとする。

4.3.4 試行方略と蓋然性評価方略

シミュレーションモデルのパラメータとして、試行方略と蓋然性評価方略の2種類を定義した。

4.3.4.1 試行方略

4.3.2.2 に示した7つのPhaseのPhase 1とPhase 5において、カードが表にされる j 番地の順序に関する「試行方略」として、以下の3種類を考える。すなわち、

- (1)単純方略 (Regular strategy) :すべてのユニット U_i において、1番地から順にカードを表にする方略。
- (2)循環方略 (Circular strategy) :ユニット U_1 は1番地から、 U_2 は2番地から、 \dots 、 U_5 は1番地から \dots というように、各ユニット U_i 内で最初に表にするカードの番地を循環的に移動させる方略。
- (3)ランダム方略 (Random strategy) :カードを表にする番地を無作為に選ぶ方略。

なお、以上の(1)と(2)の方略では、各ユニット U_i において2枚目以降に表にされるカードの番地は、すべて右まわりに選定される。

更に、これら3種類の試行方略は、複数のユニット群 $\{U_i\}$ のカードが同時に推定される仮説 H_3 と H_4 の形成検証時には、それぞれ次の2つの場合に分けられる。すなわち、

- (a)Case 1:単一のユニットだけのカードを表にする場合。仮説 H_3 の形成検証時には U_3 だけ、仮説 H_4 の形成検証時には U_5 だけのカードを表にする。
- (b)Case 2:全てのユニットのカードを順に表にする場合。仮説 H_3 の形成検証時には、 U_3 から U_4 まで、仮説 H_4 の形成検証時には、 U_5 から U_8 までのカードを順次表にする。

4.3.4.2 蓋然性評価方略

仮説 H_x の蓋然性を、 $P(H_x)$ と表す。 $P(H_x)$ は、 $0 \leq P(H_x) \leq 1$ の値を取り、 $P(H_x) = 1$ となった時点で、その仮説 H_x は十分正しいものとして確認されるも

のとする。

さて、4.3.2.2 に示された7つのPhase におけるPhase 3において、仮説の確からしさを評価する「蓋然性評価方略」として、以下の2種類を考える。

(1) 試行回数依存型方略： H_x の蓋然性 $P(H_x)$ が、その仮説 H_x を構成するユニット群 $\{U_i\}$ で表にされているカードの枚数 y ，換言すれば、仮説形成検証の7つのPhaseのうち、Phase 1とPhase 5の「試行と観測」のPhase（図4-5の(1)と(5)）を通った回数 y に依存する方略。

$$P(H_x) = a y \quad (a y \leq 1) \\ = 1 \quad (a y > 1)$$

ここで、 $a = 1$ ， $a = 1/2$ ， $a = 1/3$ ， $a = 1/4$ の場合を、それぞれ $TU1$ ， $TU2$ ， $TU3$ ， $TU4$ と表す。例えば、 $TU3$ は、仮説 H_x を構成するユニット群 $\{U_i\}$ で3枚以上のカードが表にされれば仮説 H_x の確証に至る方略である。

(2) 強化回数依存型方略： H_x の蓋然性 $P(H_x)$ が、その仮説 H_x が強化された回数 z ，換言すれば、仮説形成検証の7つのPhaseのうち、Phase 7aの「仮説の強化」のPhase（図4-5の(7a)）を通った回数 z に依存する方略。

$$P(H_x) = b z \quad (b z \leq 1) \\ = 1 \quad (b z > 1)$$

ここで、 $b = 1$ ， $b = 1/2$ の場合を、それぞれ $RE1$ ， $RE2$ と表す。また、強化を1回も受けることなく確証に至る場合を、 $RE0$ と表す。

試行回数依存型方略は、仮説の棄却により試行回数（表にされるカードの枚数）が変動しない方略であり、一方、強化回数依存型方略は、その仮説 H_x が棄却された回数だけ、余分にカードが表にされる方略である。特に、仮説が一度も棄却されなかった場合には、 $TU1 = RE0$ ， $TU2 = RE1$ ， $TU3 = RE2$ となる。

4.4 計算機シミュレーションとモデルの妥当性の検討

4.4.1 シミュレーションモデルの実現法と実験

4.3で提案されたモデルは、名古屋大学大型計算機センターFACOM-M780/20上に実現されている（付録1参照）。このモデルは、プロダクションシステムの形式

で構築され、その思考過程は、作業記憶の推移として表現される。なお、プロダクションシステムのインタプリタ⁽¹³⁾は、Uti-LISP⁽¹⁴⁾により記述されている。

本モデルは、プロダクションルール25個から構成されている。

また、作業記憶は、以下の6つの要素から構成されている。

- (1)目標状態 (GOAL <goal-item>) :ある時点の仮説形成検証過程におけるPhase において、次に遷移すべきPhase を貯蔵する。 <goal-item> の値は、Phase 1からPhase 7までの7つの値、および、帰納・類推の不整合による反証のPhase を示す値のいずれかをとる。すなわち、turn-up(Phase 1), formation(Phase 2), estimation-of-prob (Phase 3) , conclusion(Phase 4) , turn-up(Phase 5), verificatioin(Phase 6), reinforcement(Phase 7a) , rejection(Phase 7b) , uncoordination (disconfirmation by uncoordination of induction and analogy) のいずれかである。
 - (2)仮説番号 (NO-OF-H <no-of-H-item>) :ある時点で形成検証されている仮説 H_x の番号 x の値を貯蔵する。 <no-of-H-item>の値は、1~4のいずれかである。
 - (3)表にされているカード、現実のT. F. (TU-CARD <tu-card-item>) :ある時点で表にされているカードを貯蔵する。 <tu-card-item> は、ある時点で表にされているカードのリストである。各カードは、4.3.1の記号の定義に従って記述される。
 - (4)予想されたカード (PR-CARD <pr-card-item>) :Phase 4にて仮説から次に表にされることが演繹的に帰結されたカードを貯蔵する。
 - (5)推定されているカード、思考上のT. F. (GU-HYPO <gu-hypo-item>) :ある時点で形成されている仮説の状態を貯蔵する。 <gu-hypo-item> は、ある時点で推定されているカードのリストである。
 - (6)仮説の強化の回数 (L-OF-RE <l-of-re-item>) :4つの各仮説 H_x が受けた仮説の強化の回数を貯蔵する。 <l-of-re-item>は、4つの要素から構成されるリストである。
- 22種類のT. P. (4.2.2.参照)に対して、前述の試行方略の6種類(4.3.4.1参照)と蓋然性評価方略の7種類(4.3.4.2参照)とを組み合わせるシミュレーションを実行して、合計924(=22×6×7)種類の推定実験結果を得た。シミュレーション結果を、表4-2に示す。

表4-2 シミュレーション結果
(試行方略のRはRegular, CはCircular, DはRandom, 1はCase1, 2はCase2を示す。また、○は正答, ×は誤答, /はマッチするプロダクションが存在せずシミュレーションが停止した場合を示し、横の数字は表にされたカードの枚数を示す。)

I.P.No. 試行方略		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
T ₀	R1	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	R2	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	C1	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	C2	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	D1	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
D2	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
T ₂	R1	×8	○8	×8	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8
	R2	×8	○8	×8	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8
	C1	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	×8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8
	C2	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	×8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8
	D1	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	×8	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	○8	○8
D2	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	×8	○8	○8	×8
T ₃	R1	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	/-
	R2	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	/-
	C1	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	/-
	C2	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	×12	○12	/-
	D1	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	/-
D2	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	×12	○12	/-	
T ₄	R1	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	/-
	R2	○16	○16	×16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	/-
	C1	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	/-
	C2	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	×16	○16	/-
	D1	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	/-
D2	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	/-	
RE ₀	R1	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	R2	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	C1	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	C2	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	D1	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
D2	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
RE ₁	R1	×8	○9	○14	○8	○9	×8	○8	○9	○9	○10	○16	○10	○10	×8	×8	×8	×8	○10	×14	×8	×8	×8
	R2	×8	○9	×12	○8	○9	×8	○8	○9	○9	○10	○16	○10	○10	×8	×8	×8	×8	○10	○16	×8	×8	/-
	C1	○9	○9	×12	○8	○9	○9	○8	○9	○9	○10	×14	○10	○10	○9	×9	○9	○9	○10	×12	×9	×9	×9
	C2	○9	○9	×10	○8	○9	○9	○8	○9	○9	○10	×10	○10	○10	○9	×10	○9	○9	○10	×14	×9	×9	×9
	D1	○9	○9	×12	○8	○9	○9	○8	○9	○10	○9	○14	○10	○10	○9	×9	○9	○9	○10	○15	×9	×9	/-
D2	○9	○10	○14	○8	○9	○9	○8	○9	○9	○10	×13	○12	○10	○10	○9	×10	○9	○9	○10	×12	○10	×9	/-
RE ₂	R1	○13	○13	○15	○12	○13	○13	○12	○13	○13	○13	○16	○13	○13	○13	○14	○13	○13	○13	○16	○14	○14	/-
	R2	○13	○13	○18	○12	○13	○13	○12	○13	○13	○13	○16	○13	○13	○13	○14	○13	○13	○13	○18	×13	○14	/-
	C1	○13	○13	○16	○12	○13	○13	○12	○13	○13	○13	○16	○13	○13	○13	○14	○13	○13	○13	○16	○14	○14	/-
	C2	○13	○13	○17	○12	○13	○13	○12	○13	○13	○13	○19	○13	○13	○13	○14	○13	○13	○13	×16	○15	○14	/-
	D1	○13	○13	○15	○12	○13	○13	○12	○13	○13	○13	○13	○13	○13	○13	○14	○13	○13	○13	○16	○14	○14	/-
D2	○13	○13	○15	○12	○13	○13	○12	○13	○13	○13	○13	○13	○13	○13	○14	○13	○13	○13	○16	○14	○14	/-	

4.4.2 提案モデルによる仮説形成検証過程の実行例

最初に一例として、図4-2(e)のT. P. 10に関して、試行方略にはランダム方略 (Case2) を用いて、また蓋然性評価方略にはTU2を用いて行なわれたシミュレーションで観察された仮説形成検証過程を、図4-9に示す。ここでは、実際に表にされたカード (現実のT. F.) は図4-9の左側 (Turned-up cards) に、また思考上で推定されたカード (思考上のT. F.) は右側 (Guessed hypotheses) に、それぞれ示されている。図4-9で、 \overline{H}_x は H_x が1回、 $\overline{\overline{H}}_x$ は H_x が2回、それぞれ修正された仮説を示す。

ここでは、任意の1つの仮説 H_x の形成検証は、それぞれ4.3.2.2にて記述した7つのPhaseを通して行なわれている。例えば、仮説 H_2 (図4-9の★印) が形成検証される7つのPhase (図4-9の(1)~(7)) は、図4-5で取り上げた例に一致している。また、仮説形成検証の中期 (図4-9の★★) には、一度全ての仮説が棄却され (帰納・類推の不整合による反証)、仮説の再構成 (4.3.2.3参照) が行なわれている (付録2参照)。

4.4.3 提案モデルの妥当性に関する検討

図4-10には、それぞれの試行方略と蓋然性方略との組み合わせによってT. P. の推定を行なった場合に、「表にされたカードの枚数 (平均)」と「22種類のT. P. の中で正しく推定されたT. P. の数」との関係が示されている。人間の場合は、図中の実線——で示されている。

図4-10より、次の諸項を読み取ることができる。

- (1)シミュレーションモデルは、最終的には22種類中21種類のT. P. のカード配置を正しく推定した。なお、このモデルが正答できなかったT. P. と、人間被験者が、16枚のカードを表にすることによっては正答できなかったT. P. とは、共に図4-2(j)のT. P. 22であり、一致している。なお、人間の場合には、19枚のカードを表にすることにより正答に至っている。
- (2)「蓋然性評価方略」が、TU1→TU4、RE0→RE2と、より注意深いものになるにつれて、表にされたカードの枚数も増加するが、それに伴い正答率が上昇する様子は、人間の場合 (図4-10の——) とよく一致している。

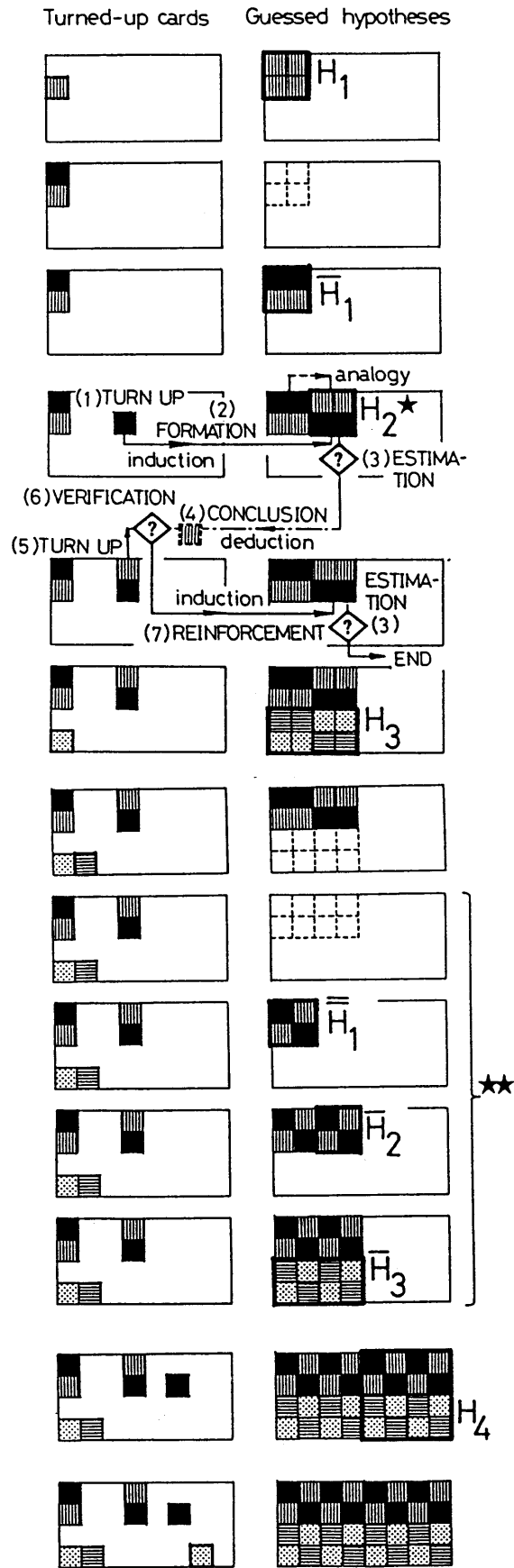


図4-9 シミュレーション結果の1例
 Fig.4-9 An example of the computer simulations.

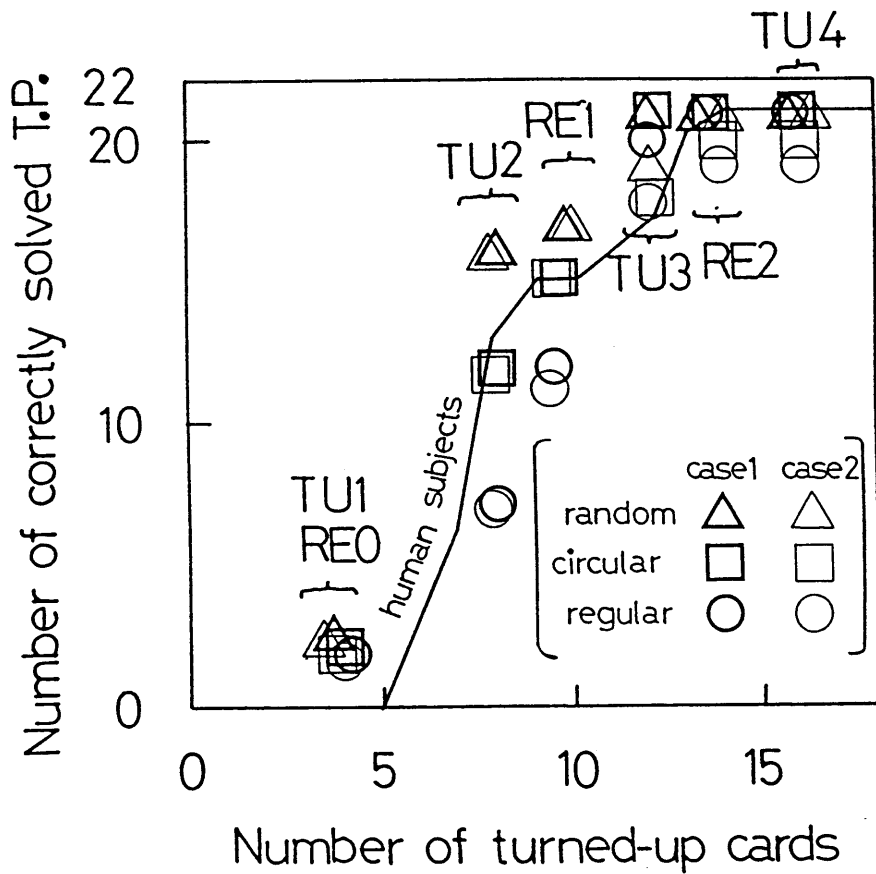


図4-10 試行方略および蓋然性評価方略と推定の効率

Fig.4-10 Turning-up strategy and estimation-of-probability strategy v s. guessing efficiency.

(3)図4-10の実線——より左上の領域は、人間より推定の効率がよい状態を示し、逆に右下の領域は、推定の効率が悪い状態を示していると考えられる。ここで、「推定の効率がよい」とは、表にされたカードの枚数が少なく、かつ正しく推定されたT. P. の数が多いことをいう。従って、このモデルは、試行方略の変更により、人間よりも推定の効率がよい場合も悪い場合も共にシミュレートしていることがわかる。

以上の検討は、提案されたモデルの行動が、人間の仮説形成検証過程によく一致していることを示しており、これは、提案された仮説形成検証過程のモデルの妥当性を支持するものである。

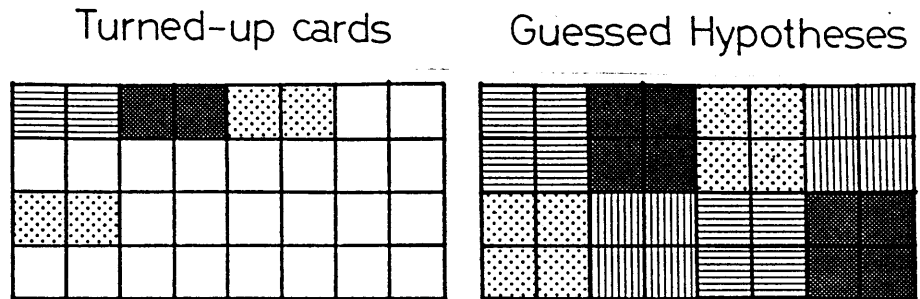
4.4.4 規則的試行と無作為的試行との検討

最も推定の効率がよかった試行方略は、カードを表にする番地を無作為に選ぶ「ランダム方略」（図4-10の△印）であり、続いて、「循環方略」（図4-10の□印）、「単純方略」（図4-10の○印）の順であった。

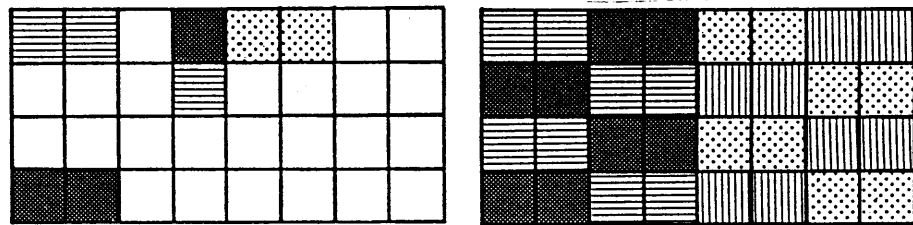
ここで上述のように、でたらめ的試行である無作為な試行が、計画的試行である規則的な試行よりも推定の効率がよいという結果は、一般的な通念に反するものである。この原因を考えるために、一例として、図4-2(i)のT. P. 21に対し、3種の試行方略（全てCase1）を用いて行なわれたシミュレーションの結果、表にされたカードと最終的に推定されたカード配置を図4-11に示す。この例では、単純方略（図4-11(a)）と循環方略（図4-11(b)）により推定された結果は誤答であり、ランダム方略（図4-11(c)）により推定された結果が正答である。なお、蓋然性評価方略はそれぞれTU2に設定されている。

図4-11から次のような解釈ができる。すなわち、規則的な試行を行なう場合（図4-11の(a)や(b)の場合）には、観測対象（T. P.）から規則的に、T. P.の部分的構造に重なって観測事例（表にされたカード）が入手されている。この片寄った観測事例をもとに推定を行なうことにより、正しい構造よりも、より単純な誤った別の構造が発見されてしまう。逆に、無作為な試行を行なう場合には、観測対象から満遍なく観測事例が入手されており、正しい構造が発見されている。

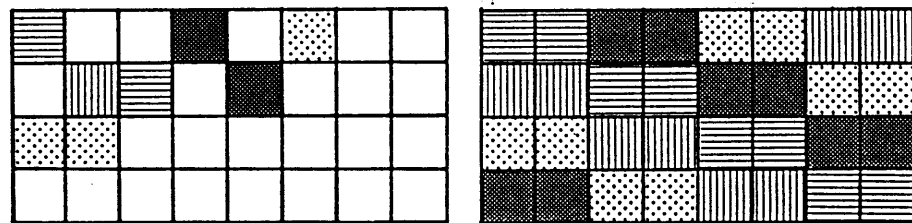
この結果は、複雑で規則的な構造の推定に関しては、規則的な試行よりも無作為な試行が有効な場合が存在することを示唆するものである。統計的な分析を行なう場合の無作為



(a) Case of regular strategy



(b) Case of circular strategy



(c) Case of random strategy

図4-11 3種の試行方略により表にされたカードと推定されたカード配置
 Fig.4-11 Turned-up cards and guessed card arrangements by three kinds of turning-up strategy.

抽出も、上述と同じような意義を有するものと考えられる。

4.5 結言

4色カード配置推定問題を取り上げることにより、人間の仮説形成検証過程に関するモデルを提案し、計算機上に実現した。次に、このモデルによるシミュレーション結果を、人間の場合と比較検討することにより、ここで提案したモデルは、人間の思考過程を極めて適切に実現していることを検証した。

本章では、4色カード配置推定問題という非常に特殊化された問題設定下で検討が進められたが、演繹・帰納・類推の組み合わせ・展開プロセスとして提案された仮説形成検証過程のモデルや、帰納と類推の組み合わせによる仮説形成といった思想は、より一般的な問題に対しても有用な視点を提供できたものと考えられる。

今後の課題としては、本章で提案したモデルを拡張し、別な問題への適応を試みたい。例えば、エキスパートシステム⁽¹⁵⁾における推論過程においても、仮説形成検証過程は極めて頻繁に出現するプロセスでもあるので、これら実用的なシステムの構築にも本モデルの応用を試みたい。

注釈

- ☞ 1 第2章, 第3章のT. P. で用いられたトランプカードでは, そのカード記号の次元の値は, 数字 (1, 2, … 13), 種類 (♠, ♥, ♣, ♦), 色 (赤, 黒) 等, 複数の属性を持つものであった. 本章のT. P. で用いられたカードでは, カード記号の次元の値は, 色 (黄, 青, 赤, 白) の属性しか持たない.
———— 4. 2. 1 (p.68)
- ☞ 2 この実験には, 第3章で紹介された実験システム (3. 2. 1参照) を, 4色のカードが表示されるタイプに変更したシステムが用いられた.
———— 4. 2. 2 (p.68)
- ☞ 3 第2章では, j 番目に形成された仮説を H_j , 第3章では, 第 n 期に形成された仮説を H_n と表した. 本章では, T. F. の4区画の各領域ごとに, それぞれの仮説が H_x ($x=1, 2, 3, 4$) と表されるので, 注意が必要である.
———— 4. 3. 1 (p.71)
- ☞ 4 第2章で提案された推論展開モデルは, 5つの段階から構成されたが, 本章で提案される計算機シミュレーションモデルでは, 更にPhase 1の「試行と観測」と, Phase 3の「仮説の蓋然性の評価」の段階が付け加えられ, 合計7つのPhase (段階) から構成されている.
———— 4.3.2.2 (p.74)

参考文献

- (1) J. R. アンダーソン, 富田他訳: 認知心理学概論, 誠信書房 (昭57)
- (2) Y. Anzai : Cognitive control of real-time event-driven systems, *Cognitive Science* , Vol. 8 , pp. 221-254(1984)
- (3) 三輪, 織田, 福村: 人間の思考過程における仮説形成検証法のモデル化 —— 4色カードの2次元配置におけるパターン推定 —— , *信学論 (A)* , Vol. 71-A , No. 6 , pp. 1309-1317 (昭63-06)
- (4) 三輪, 織田, 日江井: 思考過程の推論展開モデルと情報量保存モデルおよびその実証的考察, *信学論 (A)* , Vol. 69-A , No. 5 , pp. 612-619 (昭61-05)
- (5) 三輪, 織田, 福村: 仮説形成検証過程の情報論的考察, *信学論 (A)* , Vol. 70-A , No. 6 , pp. 911-920 (昭62-06)
- (6) 三輪, 織田, 福村: カード配置推定問題における推論モデルとその計算機シミュレーション, *計測自動制御学会中部支部教育工学論文集* , Vol. 10 , pp. 25-27 (昭62)
- (7) 三輪, 織田, 福村: 計算機シミュレーションによる帰納と類推過程の考察, *信学技報* , ET87-3 (昭62-06)
- (8) 三輪, 織田, 福村: 仮説形成検証過程の計算機シミュレーションモデル, 昭62電気関係学会東海連大, 437 (昭62-10)
- (9) 國藤 進: 仮説推論, *人工知能学会誌* , Vol. 2 , No. 1 , pp. 22-29 (昭62-03)
- (10) R. S. ミカルスキー他編, 電総研訳: 知識獲得入門 —— 帰納学習と応用, 共立出版 (昭和62)
- (11) D. Gentner and C. Toupin: Systematicity and surface similarity in the development of analogy , *Cognitive Science* , Vol. 10 , pp. 277-300(1986)
- (12) 小林重信: 知識工学, 昭晃堂 (昭61)
- (13) 安西, 佐伯, 難波: LISPで学ぶ認知心理学2 —— 問題解決, 東京大学出版会 (昭57)
- (14) 寺田, 岩崎: Uti-Listの使い方, 東京大学計算機センターニュース, Vol. 18 , No. 3 (昭61-03)
- (15) 上野晴樹: エキスパート・システム —— 研究動向と技術的課題, *人工知能学会誌* , Vol. 1 , No. 1 , pp. 48-56 (昭61-09)

第5章 正・負事例に基づく仮説検証過程に関する検討

5. 1 緒言

前章では、事例からの帰納学習課題に「4色カード配置推定問題」を取り上げ、獲得概念が帰納的に学習されるまでに出現する人間の仮説形成・仮説検証の過程に関する検討を行なった^{(1)~(7)}。

ここで、4色カード配置推定問題とは、次のものを言う。すなわち、黄、青、赤、白なる4色のカードが、4行×8列の2次元領域に、ある種の規則性を持って配置されており、初期状態では、全てのカードが裏返しに配置されているものとする。なお、このカードの2次元配置を、T. P. (テストパターン) と呼ぶ。この初期状態から、表にするカードをできる限り少なくするように工夫しながら、カードを1枚ずつ表にしてゆき、T. P. のカード配置規則を学習することにより、全てのカード配置を推定する問題を、「4色カード配置推定問題」と呼ぶ。

この4色カード配置問題において、「帰納学習」とは、数枚の表にされたカードを前提としてカード配置規則を発見し、T. P. の全てのカード配置を推定することに対応し、また「獲得概念」とは獲得されるT. P. のカード配置規則に、「仮説」とは獲得概念が学習される過程において出現するカード配置に関する暫定的仮定に、それぞれ対応している。

さて、仮説検証過程に関してこれまでに得られてきた知見^{(8)~(9)}によれば、仮説は、その仮説の正しさを支持する正事例が複数回観察されることにより、徐々にその蓋然性が強化されてゆき、最終的に真であると「確証」される。逆に、仮説は、その仮説の間違いを支持する負事例が1回でも観察されることにより棄却され、偽であると「反証」される。本章では、正事例による「仮説の蓋然性強化」を「正フィードバック」、負事例による「仮説の棄却」を「負フィードバック」と呼び、この正フィードバックと負フィードバックに基づく仮説検証過程に関する実証的な検討を行うことにする [図1 (p.121)]。

これまでの仮説検証過程に関する実証的な研究^{(10)~(14)}は、人間被験者を対象とした実験を実施し、そこでの人間の行動を詳細に観察することにより行なわれてきたが、本章で用いられたアプローチは、これらの従来手法とは異なるものである。すなわち、近

年，人間の思考過程の研究において，計算機シミュレーションを用いることの有効性が認められつつある⁽¹⁵⁾，⁽¹⁶⁾．これらは，認知科学的なアプローチと呼ばれており，本章における検討も，この立場から，人間の仮説検証過程を，実証的に解明することを研究目的とする．

すなわち，以下では，最初に，本章で用いられた計算機シミュレーションモデルを概説する．続いて，獲得概念が学習されるまでの仮説検証過程に出現する正・負フィードバックの生起回数と生起順序を観察し，検討する．最後に，それらの検討を通して得られた知見に基づいて，仮説の確証評価法を提案し，その評価法を組み込むことにより，シミュレーションモデルを試行回数固定型から試行回数適応型に拡張して，その有効性を実証的に示す．

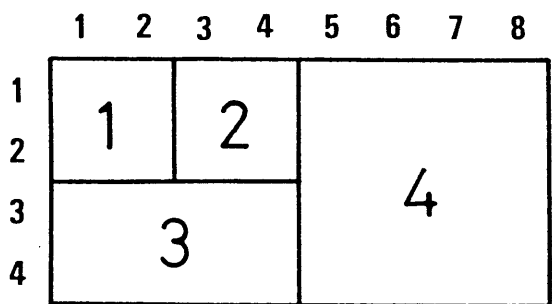
5. 2 仮説形成検証過程のシミュレーションモデル

最初に，本章で用いられた仮説形成・仮説検証の過程に関する計算機シミュレーションモデルの概要を記述する．このモデルは，名古屋大学大型計算機センターFACOM-M780/20上に，プロダクションシステムの形式で実現されている．なお，本モデルは，第4章にて詳述されたものがそのまま用いられている．ただし，シミュレーション条件に関して，第4章におけるモデルからの拡張が行なわれている[5. 3. 1参照]．

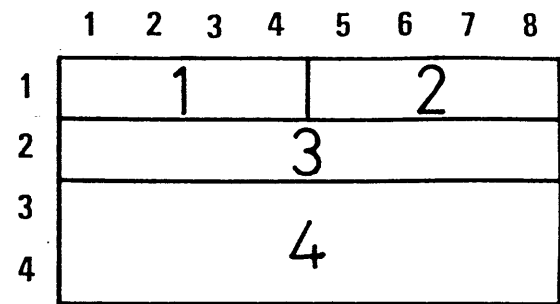
5. 2. 1 仮説形成検証過程の概要

最初に，4行×8列の探索領域を4つの領域に分割する．その分割方法としては，図5-1に示されたように，タイプAからタイプCまでの3つのタイプを設定した．なお，各探索領域を，領域 D_i ($i=1,2,3,4$)と表わす[図2 (p.121)]．T. P. のカード配置は，領域 D_1 から領域 D_4 の順に推定されてゆくものとする．

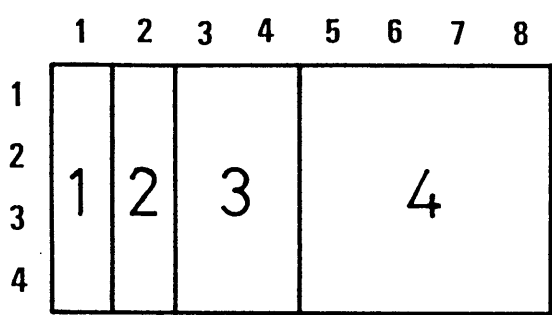
図5-2は，実際の計算機シミュレーションにおけるカード配置の推定の一例を，具体的に示したものである．図5-2において，実際に表にされたカード（現実のT. F.）は左側（turned-up cards）に，また思考上で推定されたカード（思考上のT. F.）は右側（guessed hypotheses）に，それぞれ示されている．



(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C

図5-1 探索領域の分割タイプ
 Fig.5-1 Division types of a searching domain.

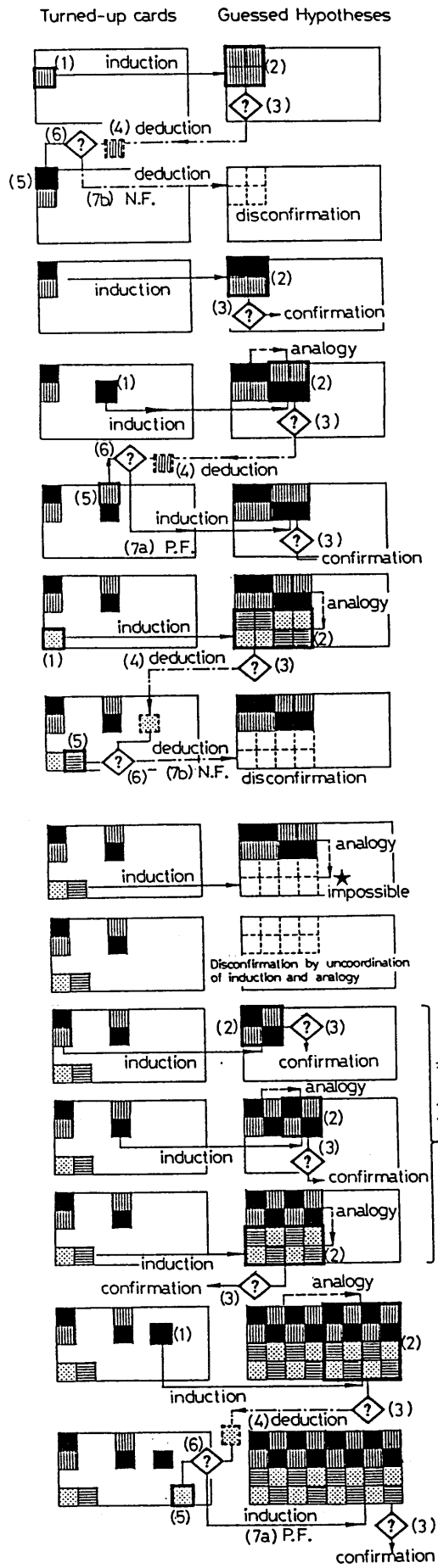


図5-2 シミュレーション結果の1例
 Fig.5-2 An example of computer simulations.

5. 2. 2 仮説形成検証の7つのPhase

4つの探索領域 D_i のそれぞれにおいて、その領域のカード配置に関する仮説が、以下の(1)~(7)の7つのPhaseを通して形成・検証される。この仮説形成・仮説検証の過程は、演繹 (deduction, 図5-2の---線)・帰納 (induction, 図5-2の——線)・類推 (analogy, 図5-2の——線)なる3種の推論の組み合わせ・展開過程としてモデル化されている。

- (1)Phase 1：最初に、これから仮説が形成される領域の中のカードが1枚表にされる。
- (2)Phase 2：「帰納」 (induction) と「類推」 (analogy) の組み合わせにより、カード配置規則に関する仮説が形成される。ただし、領域 D_i の仮説形成は、帰納だけが単独に用いられる。
- (3)Phase 3：その仮説の蓋然性が評価される。ここで、その仮説が十分に正しいと判断されると、その仮説の「確証」 (confirmation) が成立して、次の探索領域の仮説形成・仮説検証へと進行する。この仮説の確証評価法は、5. 5. 1に後述する。逆に、確証に至らなければ、Phase 4以降に進む。
- (4)Phase 4：その仮説を前提として、次に表にされるカードの色が「演繹」により予想される。
- (5)Phase 5：予想されたカードが実際に表にされる。
- (6)Phase 6：Phase 4にて予想されたカードと、Phase 5にて実際に表にされたカードが比較される。そして、それらが一致する場合、すなわち正事例が観測された場合は(7a)、一致しない場合、すなわち負事例が観測された場合には(7b)へ進む。
- (7a)Phase 7a：「帰納」による「正フィードバック」 (positive feedback : P.F.) が出現し、仮説の蓋然性が強化される。正フィードバックが出現した場合には、Phase 3に戻り、それ以降が繰り返される。
- (7b)Phase 7b：「演繹」による「負フィードバック」 (negative feedback : N.F.) が出現し、仮説が棄却される。負フィードバックが出現した場合には、その仮説の「反証」 (disconfirmation) が成立し、Phase 2に戻って、仮説形成・仮説検証の過程がやり直される [図3 (p.121)] 。

5. 2. 3 帰納と類推の不整合による反証

探索領域 D_2 , D_3 , D_4 での仮説形成において、いかなる「帰納」と「類推」の組み合わせによっても妥当な仮説が形成できない場合(図5-2の★印)には、それまでに形成された全ての領域の仮説が一度に棄却される。これを、前述の「負フィードバックによる反証」に対して、「帰納・類推の不整合による反証」(disconfirmation by uncoordination of induction and analogy)と呼ぶ。この反証が生じた場合には、全ての領域の仮説の棄却の後、探索領域 D_1 の仮説を再形成し、続いて探索領域 D_2 以降の仮説を形成し直すことにより、各探索領域 $\{D_i\}$ の仮説が再構成(reconstruction of hypothesis)される。

5. 3 シミュレーションの条件設定と実行結果の予備的考察

ここでは、シミュレーション条件の設定を行ない、実際に計算機シミュレーションを実行して、その実行結果の検討に関する予備的考察を行なう。

5. 3. 1 シミュレーション条件

4要因で、計3528(=21×3×7×8)回のシミュレーションを実行した[図4(p.121)]。

- (1)要因1「テストパターンの種類」：21種類のT. P. が用いられた。これらは、大学生97名を対象としたアンケート結果から選出した。
- (2)要因2「探索領域の分割タイプ」：図5-1に示されるタイプAからタイプCまでの3種類の分割タイプが用いられた。
- (3)要因3「蓋然性評価方略・表にされるカードの枚数に関する方略」：最終的に表にされるカードの枚数は、4枚、6枚、8枚、10枚、12枚、14枚、16枚の7種類の場合一が設定された。
- (4)要因4「試行方略・表にされるカードの場所に関する方略」：表にされるカードの場所の選択に関する方略として、8種類が設定された。

表5-1(a)~表5-1(c)に、以上4要因からなる3528回のシミュレーション結果を

(試行方略のRはRegular, CはCircular, GはDiagonal, DはRandom, 1はCase1, 2はCase2を, また, Oは正答, ×は誤答, 横の数字は表にされたカードの枚数を表す.)

T.P.No. 試行方略 蓋然性		1 A	2 A	3 A	4 A	5 A	6 A	7 A	8 A	9 A	10A	11A	12A	13A	14A	15A	16A	17A	18A	19A	20A	21A	
CASE I	R1	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	
	R2	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	
	C1	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	
	C2	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	G1	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
	D2	×4	×4	×4	○4	×4	×4	○4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4	×4
CASE II	R1	×6	○6	×6	○6	○6	×6	○6	○6	○6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	
	R2	×6	○6	×6	○6	○6	×6	○6	○6	○6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	×6	
	C1	○6	○6	×6	○6	○6	○6	○6	○6	○6	○6	×6	×6	×6	×6	○6	×6	○6	○6	×6	×6	×6	
	C2	○6	○6	×6	○6	○6	○6	○6	○6	○6	○6	×6	×6	×6	×6	○6	×6	○6	○6	×6	×6	×6	
	G1	○6	○6	×6	○6	○6	○6	○6	○6	○6	○6	×6	×6	×6	×6	○6	×6	○6	○6	×6	×6	×6	
	D2	○6	○6	×6	○6	○6	○6	○6	○6	○6	○6	×6	×6	×6	×6	○6	×6	○6	○6	×6	×6	×6	
CASE III	R1	×8	○8	×8	○8	○8	×8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	
	R2	×8	○8	×8	○8	○8	×8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	×8	
	C1	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	
	C2	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	
	G1	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	
	D2	○8	○8	×8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	×8	○8	○8	○8	○8	×8	×8	×8	
CASE IV	R1	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	
	R2	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	
	C1	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	
	C2	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	
	G1	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	
	D2	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	○10	×10	○10	
CASE V	R1	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	
	R2	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	
	C1	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	
	C2	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	
	G1	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	
	D2	○12	○12	×12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	○12	
CASE VI	R1	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	
	R2	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	
	C1	○14	○14	×14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	
	C2	○14	○14	×14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	
	G1	○14	○14	×14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	
	D2	○14	○14	×14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	○14	
CASE VII	R1	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	
	R2	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	
	C1	○16	○16	×16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	
	C2	○16	○16	×16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	
	G1	○16	○16	×16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	
	D2	○16	○16	×16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	○16	

(試行方略のRはRegular, CはCircular, GはDiagonal, DはRandom, 1はCase1, 2はCase2を, また, Oは正答, xは誤答, 横の数字は表にされたカードの枚数を表す.)

I.P.No. 試行方略 蓋然性		1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B	11B	12B	13B	14B	15B	16B	17B	18B	19B	20B	21B
CASE I	R1	O4	x4	x4	x4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4	x4	x4	O4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4
	R2	O4	x4	x4	x4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4	x4	x4	O4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4
	C1	O4	x4	x4	x4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4	x4	x4	O4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4
	C2	O4	x4	x4	x4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4	x4	x4	O4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4
	G1	O4	x4	x4	x4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4	x4	x4	O4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4
	G2	O4	x4	x4	x4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4	x4	x4	O4	x4	O4	O4	x4	x4	x4	x4
CASE II	R1	O6	x6	x6	x6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	x6	x6	x6
	R2	O6	x6	x6	x6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	x6	x6	x6
	C1	O6	x6	x6	x6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	x6	x6	x6
	C2	O6	x6	x6	x6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	x6	x6	x6
	G1	O6	x6	x6	x6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	x6	x6	x6
	G2	O6	x6	x6	x6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	O6	O6	O6	x6	O6	O6	x6	x6	x6	x6
CASE III	R1	O8	x8	x8	x8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	x8	x8	x8
	R2	O8	x8	x8	x8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	x8	x8	x8
	C1	O8	x8	x8	x8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	x8	x8	x8
	C2	O8	x8	x8	x8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	x8	x8	x8
	G1	O8	x8	x8	x8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	x8	x8	x8
	G2	O8	x8	x8	x8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	O8	O8	O8	x8	O8	O8	x8	x8	x8	x8
CASE IV	R1	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	x10	O10	O10	O10	x10	x10	x10
	R2	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	x10	O10	O10	O10	x10	x10	x10
	C1	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	x10	O10	O10	O10	x10	x10	x10
	C2	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	x10	O10	O10	O10	x10	x10	x10
	G1	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	x10	O10	O10	O10	x10	x10	x10
	G2	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	x10	O10	O10	O10	x10	x10	x10
CASE V	R1	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	x12	O12
	R2	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	x12	O12
	C1	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	x12	O12
	C2	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	x12	O12
	G1	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	x12	O12
	G2	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	x12	O12
CASE VI	R1	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
	R2	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
	C1	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
	C2	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
	G1	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
	G2	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
CASE VII	R1	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16
	R2	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16
	C1	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16
	C2	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16
	G1	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16
	G2	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16

(試行方略のRはRegular, CはCircular, GはDiagonal, DはRandom, 1はCase1, 2はCase2を, また, Oは正答, Xは誤答, 横の数字は表にされたカードの枚数を表す.)

I.P.No. 試行 蓋然性		1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	10C	11C	12C	13C	14C	15C	16C	17C	18C	19C	20C	21C	
CASE I	R1	X4	O4	X4	O4	O4	X4	X4	X4	O4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	
	R2	X4	O4	X4	O4	O4	X4	X4	X4	O4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	
	C1	X4	O4	X4	O4	O4	X4	X4	X4	O4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	
	C2	X4	O4	X4	O4	O4	X4	X4	X4	O4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4
	G1	X4	O4	X4	O4	O4	X4	X4	X4	O4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4
	G2	X4	O4	X4	O4	O4	X4	X4	X4	O4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4
	D1	X4	O4	X4	O4	O4	X4	X4	X4	O4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4
	D2	X4	O4	X4	O4	O4	X4	X4	X4	O4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X4
CASE II	R1	X6	O6	X6	O6	O6	X6	X6	X6	O6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	
	R2	X6	O6	X6	O6	O6	X6	X6	X6	O6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	
	C1	X6	O6	X6	O6	O6	X6	X6	X6	O6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	
	C2	X6	O6	X6	O6	O6	X6	X6	X6	O6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6
	G1	X6	O6	X6	O6	O6	X6	X6	X6	O6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6
	G2	X6	O6	X6	O6	O6	X6	X6	X6	O6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6
	D1	X6	O6	X6	O6	O6	X6	X6	X6	O6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6
	D2	X6	O6	X6	O6	O6	X6	X6	X6	O6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6	X6
CASE III	R1	X8	O8	X8	O8	O8	X8	X8	X8	O8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	
	R2	X8	O8	X8	O8	O8	X8	X8	X8	O8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	
	C1	X8	O8	X8	O8	O8	X8	X8	X8	O8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	
	C2	X8	O8	X8	O8	O8	X8	X8	X8	O8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8
	G1	X8	O8	X8	O8	O8	X8	X8	X8	O8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8
	G2	X8	O8	X8	O8	O8	X8	X8	X8	O8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8
	D1	X8	O8	X8	O8	O8	X8	X8	X8	O8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8
	D2	X8	O8	X8	O8	O8	X8	X8	X8	O8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8	X8
CASE IV	R1	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	X10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	
	R2	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	X10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	
	C1	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	X10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	
	C2	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	X10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10
	G1	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	X10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10
	G2	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	X10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10
	D1	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	X10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10
	D2	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	X10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10	O10
CASE V	R1	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	X12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	
	R2	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	X12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	
	C1	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	X12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	
	C2	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	X12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12
	G1	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	X12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12
	G2	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	X12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12
	D1	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	X12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12
	D2	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	X12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12	O12
CASE VI	R1	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	X14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	
	R2	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	X14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	
	C1	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	X14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	
	C2	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	X14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
	G1	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	X14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
	G2	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	X14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
	D1	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	X14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
	D2	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	X14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14	O14
CASE VII	R1	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	X16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	
	R2	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	X16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	
	C1	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	X16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	
	C2	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	X16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16
	G1	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	X16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16
	G2	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	X16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16
	D1	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	X16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16
	D2	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	X16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16	O16

示す。

5. 3. 2 63個のシミュレーション群

上述の4要因からなる3528回のシミュレーションは、要因1のT. P. 1~T. P. 21のそれぞれに対し、要因2の探索領域の分割タイプA~タイプCのそれぞれを用いて行なわれたシミュレーション計63 (= 21 × 3) の群ごとにまとめられた。以下では、これらのシミュレーション群を、1A, 1B, 1C, 2A, …, 21Cと表わす。

それぞれのシミュレーション群には、蓋然性評価方略(要因3)の7種類と試行方略(要因4)の8種類の組み合わせによる56 (= 7 × 8) 例の推定結果が含まれている。56例の中で、正しいカード配置を推定することに成功した推定結果を「正答」と呼び、誤ったカード配置を推定した結果を「誤答」と呼ぶ [図5 (p.122)] 。

5. 3. 3 必要枚数と十分枚数およびシミュレーション群の分類

各シミュレーション群1A, 1B, …, 21Cの正答に至るための試行回数(表にされるカードの枚数)を評価するために、必要枚数(necessary number) N_n と十分枚数(sufficient number) N_s なる2種類の評価基準値を定義する(図5-3参照)。

- (1)必要枚数 N_n : 1つのシミュレーション群に含まれる56例の推定結果のうちの正答群の中で、表にされたカードの枚数の最小値を必要枚数 N_n として定義する。
- (2)十分枚数 N_s : 誤答群の中で、表にされたカードの枚数の最大値に2を足したものを十分枚数 N_s として定義する。

このように N_n と N_s を定義すると、 N_n より少ない枚数での推定結果は「全て誤答」となり、 N_n 以上で N_s より少ない枚数での推定結果には、「誤答と正答が混在」し、 N_s 以上の枚数での推定結果は、「全て正答」となる。換言すれば、あるシミュレーション群の帰納学習において、必要枚数 N_n 以上のカードが表にされることは、正答に至るための「必要条件」であり、十分枚数 N_s 以上のカードが表にされることは、正答に至るための「十分条件」である。

シミュレーションを実行した結果、シミュレーション群1A, 1B, …, 21Cは、必要枚数 N_n と十分枚数 N_s により、5つのカテゴリー1~カテゴリー5に分類される(表

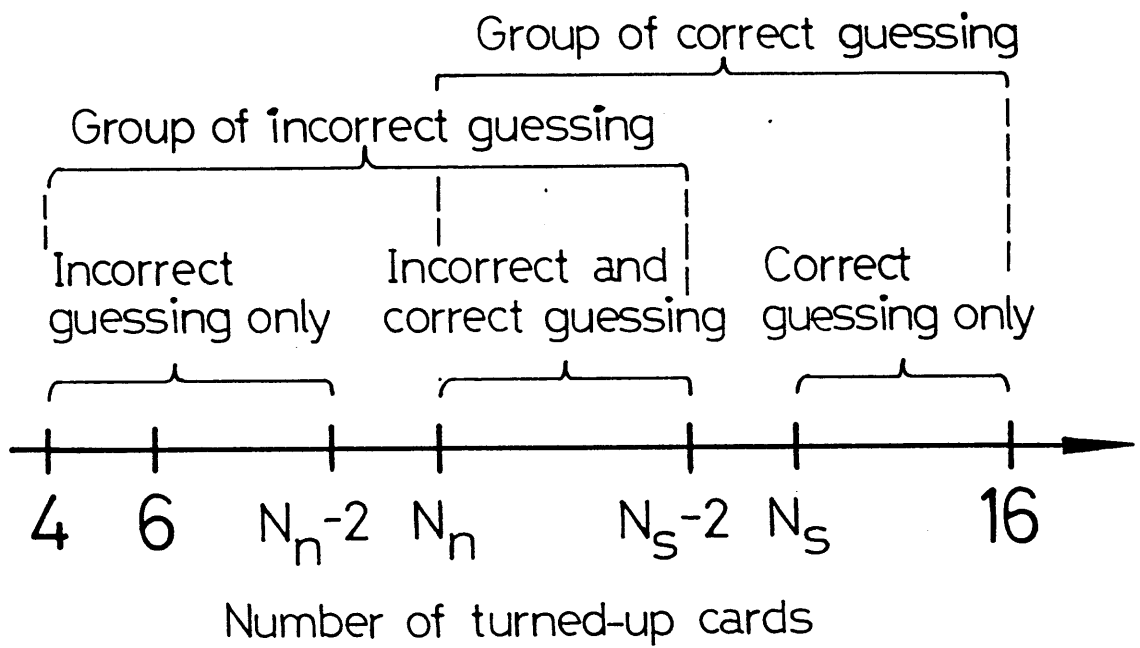


図5-3 必要枚数 N_n と十分枚数 N_s

Fig.5-3 Necessary number N_n and sufficient number N_s .

5-2 参照)。

5.3.4 5つのカテゴリーの心理学的意味付け

必要枚数 N_n と十分枚数 N_s により分類された5つのカテゴリーの心理学的意味付けを行ない、その妥当性を実証するために、以下の予備的実験を、被験者の協力を得て実施した。

最初に、5つのカテゴリーを代表する T・P. として、表5-3の5種類を取り上げた。

次に、5種の各 T・P. のそれぞれについて、7ページから構成される実験冊子を作成した(図5-4参照)。実験冊子の各ページの左側には、1ページから順に、4枚、6枚、…、16枚のカードが表にされた状態の T・P. が示され、また右側には、その時点で被験者が推定したカード配置を記入する回答欄が用意されている。各ページは上から順に開かれるものとする。すなわち、あるページの回答に際して、それ以降のページが被験者に参照されないように工夫されている。

実験では、正しいカード配置が推定された時点までに表にされているカードの枚数を測定し、その平均値を算出した。なお、16枚のカードを表にしても正答に至らない場合には、18枚のカードを表にすれば正答に至るものとして、平均値は算出してある。被験者111名に対して、5種の T・P. の実験冊子を、可能な限り均等に配布して、回答実験は一斉テスト形式で実施された。実験結果を、表5-3に示す。

ここで、正答に至るためにより多くの試行回数を必要とする課題がより困難な課題であると考えられる(3.4.1.1参照)。そして、人間被験者は、カテゴリー1からカテゴリー5に分類された T・P. の推定の順に、より多くの枚数のカードを表にした(表5-3参照)ことから、5つのカテゴリーは、カテゴリー1からカテゴリー5の順により困難な課題が分類されていることがわかる。

5.4 正・負フィードバックの出現状況

5.3の予備的考察を基に、獲得概念が帰納的に学習されるまでの仮説検証過程を、特に正・負のフィードバックの生起回数と生起順序とに着目することにより検討する。

表5-2 シミュレーション結果の分類

		必要枚数 N_n					
		*1	4	6	8	10	12
+ 分 枚 数 N_s	*2		4A 7B 2C 7A 14B 4C 1B 16B 5C 6B 17B 9C	カテゴリ-1			
	6			9A 10B 12B			
	8		カテゴリ-2	2A 9B 13C 8A 13B 14C		カテゴリ-3	
	10			1A 16A 18C 5A 17A 6A 4B 10A 7C 14A 8C	2B 12A 5B 6C 17C 13A 8B 10C 15A 18B 12C 18A 1C 16C 21A 3C		
	12				3B 21C 15C		
	14					カテゴリ-4	
	16					11B	カテゴリ-5
	18	11C				20A 21B 15B 20C 20B	3A 19B 11A 19C 19A

*1：正答例が存在しないため未定義

*2：誤答例が存在しないため未定義

表5-3 心理学的妥当性評価のための実験結果

カテゴリー No.	T. P. No.	資料数	表にされた カード枚数 の平均
1	4	22	7.5
2	10	23	8.4
3	18	23	10.3
4	20	23	10.7
5	19	20	16.7

アンケート

	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2								
3								
4								

上図のような32区画(4行×8列)からなる領域に、4種類のカード(おもて面に、○、□、◇、△の記号が書いてある)が、何らかの規則性をもって裏返しに配置されています。ただし、全ての種類のカードが配置されているとは限らない——すなわち、例えば2種類のカードだけが配置されている場合もあるものとします。

さて、最初全てのカードが裏返しにされている状態から、4枚、6枚、8枚…とカードを表にしていき、できる限り少なく表にされたカードをもとに、全てのカード配置を推定する問題を考えます。

右図の例を参照して、別冊(8枚綴り)に用意した問題に取り組んで下さい。

	【表にされているカード】	【あなたが推定したカード配置】																																																																	
1ページ	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>○</td><td></td><td>○</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>◇</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	○		○	△						◇																							<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>																																	
○		○	△																																																																
	◇																																																																		
2ページ	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>○</td><td>○</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>◇</td><td>◇</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	○	○	△							◇	◇	△								△													<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>△</td><td>△</td><td>△</td><td>△</td><td>△</td></tr> <tr><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td></tr> <tr><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>△</td><td>△</td><td>△</td><td>△</td><td>△</td></tr> <tr><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td><td>◇</td></tr> </table>	○	○	○	△	△	△	△	△	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	○	○	○	△	△	△	△	△	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	カード配置が推定された時点で、右側の領域に記入する。
○	○	△																																																																	
	◇	◇	△																																																																
			△																																																																
○	○	○	△	△	△	△	△																																																												
◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇																																																												
○	○	○	△	△	△	△	△																																																												
◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇																																																												
3ページ	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>○</td><td>○</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>◇</td><td>◇</td><td>□</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	○	○	△							◇	◇	□								△													<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>同上</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>														同上																			推定カードが、前ページと同じ場合は、「同上」と記入する。
○	○	△																																																																	
	◇	◇	□																																																																
			△																																																																
					同上																																																														
4ページ	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>○</td><td>◇</td><td>○</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>◇</td><td>◇</td><td>□</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>◇</td><td></td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	○	◇	○	△						◇	◇	□						◇		△													<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>○</td><td>◇</td><td>◇</td><td>△</td><td>□</td><td>□</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td>◇</td><td>◇</td><td>△</td><td>□</td><td>□</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td>◇</td><td>◇</td><td>△</td><td>□</td><td>□</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td>◇</td><td>◇</td><td>△</td><td>□</td><td>□</td><td></td><td></td></tr> </table>	○	◇	◇	△	□	□			○	◇	◇	△	□	□			○	◇	◇	△	□	□			○	◇	◇	△	□	□			推定カードが、前の段階から修正された場合は、「修正された新しいカード配置」を記入する。
○	◇	○	△																																																																
	◇	◇	□																																																																
	◇		△																																																																
○	◇	◇	△	□	□																																																														
○	◇	◇	△	□	□																																																														
○	◇	◇	△	□	□																																																														
○	◇	◇	△	□	□																																																														
5ページ	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>○</td><td>◇</td><td>○</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td>◇</td><td>◇</td><td>△</td><td>□</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>◇</td><td></td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	○	◇	○	△					○	◇	◇	△	□					◇		△													<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>同上</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>														同上																			★ 前ページから新しく表にされたカードは、太枠で囲まれている。
○	◇	○	△																																																																
○	◇	◇	△	□																																																															
	◇		△																																																																
					同上																																																														
6ページ	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>○</td><td>◇</td><td>○</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td>◇</td><td></td><td>◇</td><td>△</td><td>□</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>◇</td><td></td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td>◇</td><td></td><td></td><td></td><td>□</td><td></td><td></td></tr> </table>	○	◇	○	△					○	◇		◇	△	□				◇		△					○	◇				□			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>同上</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>														同上																			
○	◇	○	△																																																																
○	◇		◇	△	□																																																														
	◇		△																																																																
○	◇				□																																																														
					同上																																																														
7ページ	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>○</td><td>◇</td><td>○</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td>◇</td><td></td><td>◇</td><td>△</td><td>□</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td>◇</td><td></td><td>◇</td><td>△</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>○</td><td>◇</td><td></td><td></td><td></td><td>□</td><td></td><td></td></tr> </table>	○	◇	○	△					○	◇		◇	△	□			○	◇		◇	△				○	◇				□			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>同上</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>														同上																			
○	◇	○	△																																																																
○	◇		◇	△	□																																																														
○	◇		◇	△																																																															
○	◇				□																																																														
					同上																																																														

図5-4 テストパターンの5つのカテゴリーの心理学的妥当性評価のためのアンケート用紙
Fig.5-4 Questionnaire sheet to estimate a psychological propriety of five categories of T.P

5.4.1 正・負フィードバックの生起回数

5.4.1.1 考察の内容と方法

獲得概念が帰納的に学習されるまでの仮説検証過程にて出現する「正・負フィードバックの生起回数」と、「獲得概念の正誤」の関係について検討する。

そのため、63個のシミュレーション群ごとに、そこに含まれる56例の各推定に出現した正フィードバックと負フィードバックの生起回数を測定した。その測定結果を、正答、誤答ごとに、横軸には正フィードバックの回数が、縦軸には負フィードバックの回数が目盛りされた2次元平面上にプロットし、56例の正・負フィードバックの生起回数の分布状況を検討した（図5-5参照）。なお、「帰納・類推の不整合による反証」も、負事例からの負フィードバックと同様に1回の仮説の棄却を伴うことから、1回の負フィードバックに加えて数えられている。

5.4.1.2 シミュレーション結果

図5-5(a)~(e)には、5つのカテゴリーごとに、「正・負フィードバックの生起回数の分布状況」の代表例が示されている。

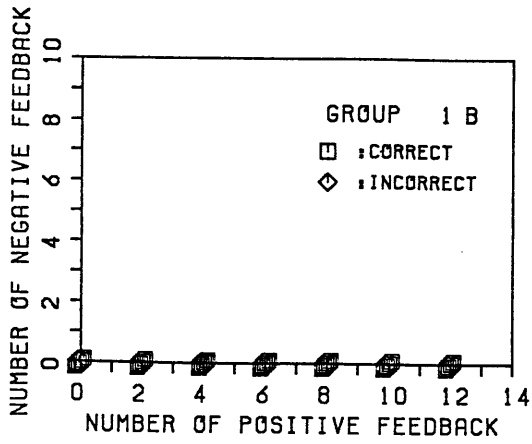
なお、同一カテゴリーに分類された他のシミュレーション群における分布状況は、各カテゴリーの代表例に類似したものであった。図5-5(a)~(e)のように、正・負フィードバックの生起回数の分布状況は、各カテゴリーで著しい特長が認められた。

5.4.1.3 検討

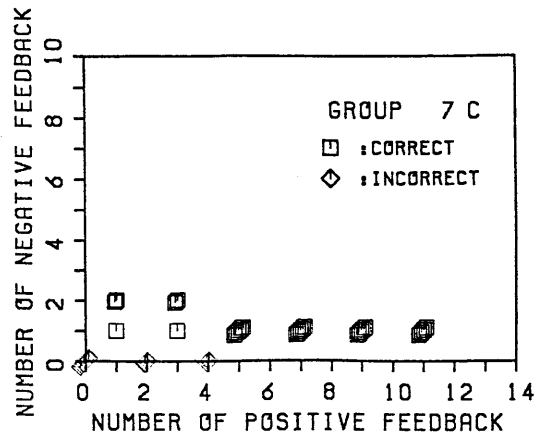
5つのカテゴリーごとで、正しい獲得概念、すなわち正答に至るために必要とされる正・負フィードバックの回数は大きく異なっている。

このことは、「正しい獲得概念が学習されるまでに必要な正・負フィードバックの回数は、課題の難易に依存して大きく変動する」ことを示すものである。

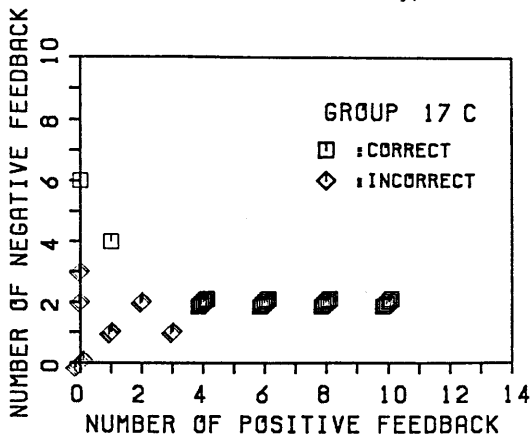
次に、正しい獲得概念の学習の条件が、正フィードバックの回数に依存する場合には、正答群と誤答群の分布は、ある正フィードバックの回数をしきい値として、図5-5の左



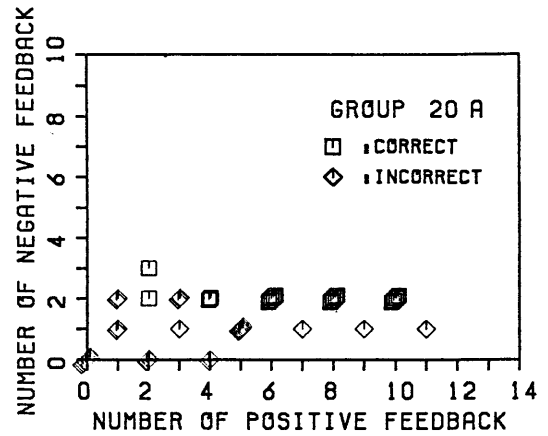
(a) An example of Category 1
(Case of T.P.1 and Type B)



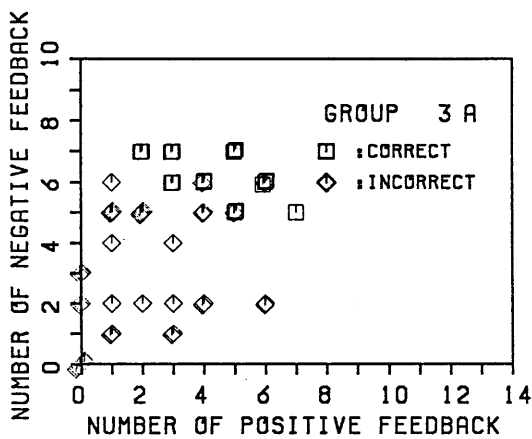
(b) An example of Category 2
(Case of T.P.7 and Type C)



(c) An example of Category 3
(Case of T.P.17 and Type C)



(d) An example of Category 4
(Case of T.P.20 and Type A)



(e) An example of Category 5
(Case of T.P.3 and Type A)

図5-5 正・負フィードバックの生起回数の分布状況

Fig.5-5 Distribution of occurring numbers of positive and negative feedbacks.

と右に分離することが予測され、逆に、負フィードバックの回数に依存する場合には、図5-5の上と下に分離することが予測される。

以上の検討に基づいて、図5-5(a)~(e)における実際に測定された分布状況を観察すると、「正しい獲得概念の学習の条件は、正フィードバックの回数よりも、負フィードバックの回数に依存する傾向を示している」ことがわかる。ただし、カテゴリ-3の分布状況は、どちらにも属さず例外的である。

5.4.2 正・負フィードバックの生起順序

5.4.2.1 考察の内容と方法

ここでは、正しい獲得概念が帰納的に学習されるまでの仮説検証過程に出現する「正・負フィードバックの生起順序」に関する検討を行なう。

そのために、63個のシミュレーション群1A, 1B, …, 21Cごとに、そこに含まれる56例の推定の中より、蓋然性評価方略に関して、16枚のカードが表にされる設定で行なわれた推定8例と、8枚のカードが表にされる設定で行なわれた推定8例とにおいて、正・負フィードバックの生起順序を測定した。ここで、前者の設定は、観測対象に対して十分多くの試行を行なう場合に、後者の設定は、十分多くの試行を行なわない場合に、それぞれ対応している。

5.4.2.2 シミュレーション結果

図5-6(a)~(e)の左側には、5つのカテゴリごとに、16枚のカードが表にされる設定の下で測定された「正・負フィードバックの生起順序」の代表例が示されている。同様に、図5-6(a)~(e)の右側には、8枚のカードが表にされる設定の下で測定された生起順序の代表例が示されている。

5.4.2.3 検討

16枚のカードが表にされる設定の下では、一部の例外を除いて、負フィードバックは

```

C : OOOOOOOOOOOO      C : OOOO
C : OOOOOOOOOOOO      C : OOOO
C : OOOOOOOOOOOO      C : OOOO
C : OOOOOOOOOOOO      C : OOOO
C : OOOOOOOOOOOO      C : OOOO
C : OOOOOOOOOOOO      C : OOOO
C : OOOOOOOOOOOO      C : OOOO
C : OOOOOOOOOOOO      C : OOOO

```

(a) An example of Category 1
(Case of T.P.1 and Type B)

```

C : x x O O O O O O O O      I : x O O O
C : x x O O O O O O O O      C : x x ★ O O
C : O x O O O O O O O O      C : O x ★ O O
C : x x O O O O O O O O      I : x O O O
C : x x O O O O O O O O      C : x x ★ O O
C : O x O O O O O O O O      C : x x ★ O O
C : x x O O O O O O O O      C : x O x ★ O
C : x x O O O O O O O O      I : x O O O

```

(b) An example of Category 2
(Case of T.P.10 and Type A)

```

C : x x O x O O O O O O O O      I : x x ★ O O
C : x x O x O O O O O O O O      I : x O O O
C : x x O x O O O O O O O O      C : x O x ★ O
C : x x O x O O O O O O O O      I : x x ★ O
C : x x O x O O O O O O O O      I : x O O O
C : x x O x O O O O O O O O      I : x x ★ O O
C : x x O x O O O O O O O O      I : x x x O
C : x x O x O O O O O O O O      I : x x O O

```

(c) An example of Category 3
(Case of T.P. 3 and Type C)

```

C : O x O O O O O O O O x O      I : O O O O
C : O x O O O O O O O O x O      I : O x ★ O O
C : x O O O O O O O O O x O O      I : O O O x ★
I : O x O O O O O O O O O O      I : O O O O
C : O x O O O O O O O O x O      I : O x ★ O O
C : x O O O O O O O O O O x      I : O O O x ★
C : O x O O O O O O O O x O      I : O O x ★ O
C : O x O O O O O O O O x O      I : O O O x

```

(d) An example of Category 4
(Case of T.P. 20 and Type A)

```

C : x x x x x O x x O x x O      I : x O O O
C : x x x O x O x x O x x O      I : x x ★ x ★ x
C : O x x x O O x O O O x O      I : O x ★ O O
I : x x x x x O O x O O x O      I : x O O O
C : x x x O x O x O x x x O      I : x x ★ x ★ O
C : O x x x O O x x O x x O      I : x O O x ★
C : x x x x x O O x O x x O      I : x x x ★ x
C : x x x x x O x x O x x O      I : x x O O

```

(e) An example of Category 5
(Case of T.P.11 and Type A)

C : Correct guessing , I : Incorrect guessing
O : Positive feedback , x : Negative feedback
★ : Disconfirmation by uncoordination
of induction and analogy

図5-6 正・負フィードバックの生起順序
Fig.5-6 Occurring order of positive and negative feedbacks.

仮説検証過程の初期から出現しており、過程の後半だけに、負フィードバックが集中的に表れるパターンは存在しない。

これは、「観測対象に対して十分多くの試行を行なうことが可能な場合には、正しい獲得概念が学習されるまでに必要な負フィードバックは、仮説検証過程の初期から出現する」ことを示している。

次に、8枚のカードが表にされる設定の下では、推定の途中で、「帰納・類推の不整合による反証」が生起している。これは、16枚のカードが表にされる設定では観察されない現象であった。

この現象は、次のように解釈される。すなわち、十分多くの試行が行なわれない設定では、初期に形成された仮説が「偽」であることが発見されないまま生き残り、推定が進行してゆく。そして、中期以降での仮説形成で、その誤った仮説が類推的前提に用いられたために、帰納・類推の不整合が生起したものと考えられる。

それ故に、この現象は、「観測対象に対して、十分多くの試行が行なわれず、従って負事例による直接的な反証が行なわれない場合にも、例えば仮説形成時における帰納・類推の不整合などにより、仮説が『偽』であることが間接的に支持されて、反証が補償されることがある」ことを示すものである。

5.5 適応型シミュレーションモデルへの拡張

仮説検証過程において、「反証」の成立は、1度の負フィードバックにより決定的であるが、「確証」の成立は、複数の正フィードバックに対しても、なお蓋然的である。従って、仮説検証過程においては、仮説の「確証評価法」が重要な問題となる。

本節では、5.4節での正・負フィードバックの出現状況から得られた知見をもとに、まず仮説の確証評価法を提案する。次に、前節までの検討で用いられた試行回数固定型モデルを、試行回数適応型モデルへと拡張し [図6 (p.122)]、その計算機シミュレーションも実行して、提案された確証評価法の有効性を実証的に示すことにする。

5.5.1 試行回数固定型の確証評価法

これまでの検討で用いられたモデルにおいては、仮説の確証は、単純に、各探索領域

D_i ($i=1,2,3,4$)での試行回数，すなわち表にされたカードの枚数に依存して評価された [図 7 (p.122)] . 従って，課題の難易 (T. P. のカード配置の複雑さ) に対して，試行回数は固定的であった．すなわち，これまでのモデルにおいて用いられていた試行回数固定型の確証評価法は，次のようである．

試行回数固定型確証評価法：探索領域 D_i ($i=1,2,3,4$; 5. 2. 1 参照) において，試行枚数 a 枚以上のカードが表にされていれば，その仮説を「真」として確証が成立する．

例えば， $i = 1, 2, 3, 4$ のそれぞれに対して $a = 1$ と設定されれば，最終的に 4 枚のカードが表にされ， $i = 1, 2$ のとき $a = 2$ ， $i = 3, 4$ のとき $a = 1$ と設定されれば，最終的に 6 枚のカードが表にされることとなる (5. 3. 1 の要因 3 参照) .

上述の試行回数が固定的な確証評価法に比して，人間は，課題の難易に応じて，試行回数を適応的に変化させる．それを具体的に調べるために，これまでの検討で用いられた 21 種類の T. P. を 4 グループに分けて，それぞれを一人ずつの被験者，合計 4 名に推定させる実験を実施したところ，平均 8. 8 枚で，最低 6 枚から最大 14 枚までのカードが適応的に表にされた．また，この場合に誤ったカード配置が推定されたのは，21 種類中 1 種類だけであった [図 8 (p.122)] .

5. 5. 2 試行回数適応型の確証評価法

本節で提案する試行回数適応型モデルの仮説の確証評価法は，5. 4 節で得られた知見の中から，特に「正しい獲得概念の学習のための負フィードバックは，仮説検証過程の初期から出現する」ことに着目して構成された．この知見は，一連の仮説の形成検証過程において，負フィードバックが生起しなくなった以降は，正しい仮説しか形成されないことを示している．従って，この試行回数適応型の確証評価法では，最初には，十分多くの試行を行なって仮説形成検証を進行させ，負フィードバックが生起しなくなった以降は，1 枚目のカードが表にされ仮説が形成されると，2 枚目以降のカードを表にして仮説を検証する過程を省略して，その仮説を真とし「確証」が成立するものとする．すなわち，試行回数適応型の確証評価法は，次のようである．

試行回数適応型確証評価法：試行回数固定型確証評価法と同様に，探索領域 D_i において，試行枚数 a 枚以上のカードが表にされていれば，その仮説を「真」として確証が成

立する。

ここで、初期値として、試行枚数 $a = 3$ が設定される。続いて、ある探索領域 D_i のカード配置推定で一度も負フィードバックが出現しなければ、探索領域 D_{i+1} 以降のカード配置推定では、 $a = 1$ に設定を変更する。

5.5.3 計算機シミュレーション

ここでの計算機シミュレーションでは、要因2：探索領域の分割タイプはタイプAに、要因4：試行方略はランダムにカードが表にされる試行方略に設定されて、21種類のT.P.（要因1）の推定が行なわれた。ここで、試行回数固定型モデル（fixed model）では、要因3：蓋然性評価方略の7種類の設定に従って、4枚～16枚までのカードが、固定的に表にされることとなる。一方、試行回数適応型モデル（adaptive model）では、T.P.の種類によって、表にされるカードが適応的に変化する。

試行回数固定型モデルと試行回数適応型モデルとによる計算機シミュレーション結果、および5.5.1に言及した人間による推定の結果を、表5-4に示す（表5-4には、探索領域分割タイプが、タイプB、タイプCにおけるシミュレーション結果も表示してある）。更に、推定の効率を把握しやすいように、図5-7を示す。図5-7では、横軸には、表にされたカードの枚数の範囲とその平均が示されており、縦軸には、21種類中で正答に至ったT.P.の数が示されている。

5.5.4 検討

図5-7から、試行回数固定型モデルに対して、試行回数適応型モデルは、試行回数に適応的になったので、推定の効率（「表にされたカードの枚数の平均」に対する「正しく推定されたT.P.の数」の比率）が改善されていることがわかる。また、この推定の効率は、人間による推定の効率とほぼ同様である。これらは、この試行回数適応型モデルにおける確証評価法の妥当性を支持するものである。

ただし、この確証評価法の一般性については、以下のような制限があるものと考えられる。

最初に、人間は、正・負フィードバックの生起状況だけから、その仮説の確証の成立を

表5-4 適応型モデルによるシミュレーション結果
 (○は正答, ×は誤答, 横の数字は表にされたカードの枚数を示す.)

T. P. No.	計算機シミュレーションモデル			人間 被験者
	タイプA	タイプB	タイプC	
1	○8	○6	○8	○6
2	○8	○8	○6	○8
3	○12	×8	○10	○6
4	○6	○8	○6	○9
5	○8	○8	○6	○12
6	○8	○6	○8	○8
7	○6	○6	○8	○8
8	○8	○8	○8	○8
9	○8	○8	○6	○11
10	○8	○8	○8	○7
11	○12	×8	×10	○14
12	○8	○8	○8	○7
13	○8	○8	○8	○8
14	○8	○6	○8	○7
15	○10	×8	×8	○13
16	○8	○6	○8	○6
17	○8	○6	○8	○13
18	○8	○8	○8	○8
19	○12	○12	○12	×8
20	×8	×6	×8	○8
21	○10	×8	×8	○9
正答率%	95	76	81	95
枚数平均	8.6	7.5	8.0	8.8

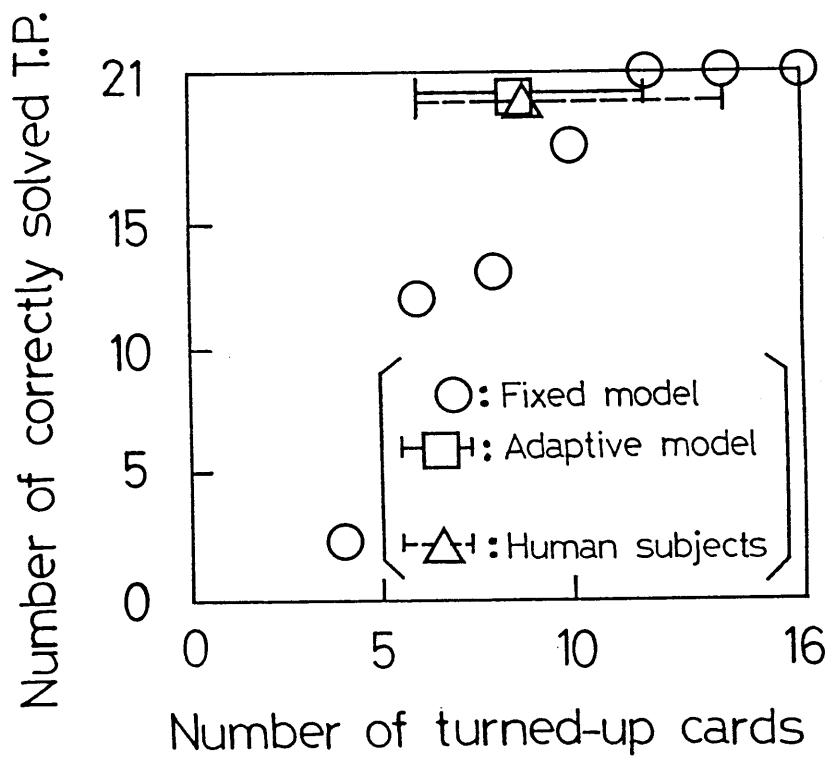


図5-7 2種のシミュレーションモデルと人間被験者による推定の効率
 Fig.5-7 Guessing efficiency by two types of the simulation model and human subjects.

評価しているとは考え難い。従って、提案された確証評価法は、正・負フィードバックの生起情報をもとに仮説の確証を評価する場合の一例であって、他にも様々なモデルを考えることが可能であるように思われる。

また、この確証評価法は、一定期間にわたって正フィードバックが続いた後に負フィードバックが出現するというような生起順序となる場合の推定（図5-6(d)の左側部分参照）には無力である。図5-7において、試行回数適応型モデルでは正答に至らないT・P. が1種類存在したが、それは、上述の原因によるものである。また、同様のシミュレーションを、探索領域の分割タイプB、分割タイプCを用いて行なうと、上述のような生起順序となる場合がより多く出現し、従って同様な理由から、タイプBでは5種類、タイプCでは4種類のT・P. が正答に至らなかった。

5.6 結言

本章では、仮説形成・仮説検証の過程に関する計算機シミュレーションモデルを用いて、「正・負事例からの仮説検証過程」に関する認知科学的検討を行なった。

本章の検討を通して得られた知見の多くは、仮説検証過程に出現する反証の積極的な役割を示している。これらは、反証は「仮説の棄却」といった消極的な意味だけではなく、「仮説の再形成機会の提供」といった積極的な意味を持つものとして解釈されるべきことを示唆するものである。以上は、科学哲学の立場から論じられた「反証主義」とも一致している⁽¹⁷⁾。

ただし、本章において得られた知見の中には、これらの主張とは不整合なものもある。例えば、「反証を求める推論技法は、望ましい最終目標に達しつつある時、すなわち仮説検証過程の後期において最も効果的である」といった主張は、本章で得られた知見に矛盾しているように見える。これらの解釈は、今後の課題である。

注 釈

- ㊦ 1 前章までは、「仮説形成検証過程」と表現した過程を、本章では、「仮説検証過程」と表現している。これは、本章では、仮説形成検証過程の中の、特に正・負フィードバックによる仮説検証の過程を研究対象としたことによる。
———— 5. 1 (p.96)
- ㊦ 2 本章では、第4章における仮説 H_1 が形成される領域(ユニット U_1)を領域 D_1 、仮説 H_2 が形成される領域(ユニット U_2)を領域 D_2 、仮説 H_3 が形成される領域(U_3 と U_4)を領域 D_3 、仮説 H_4 が形成される領域(U_5 から U_8 まで)を領域 D_4 と呼んでいる。
———— 5. 2. 1 (p.97)
- ㊦ 3 第4章まででは、仮説の強化、仮説の棄却と呼ばれていたPhaseを、本章では特に、正フィードバック、負フィードバックのPhaseと呼ぶ。
———— 5. 2. 2 (p.100)
- ㊦ 4 本章のシミュレーション条件において、第4章の条件から拡張(制限)されたものは以下のごとくである。
- (1) 要因1に関しては、本シミュレーションモデルでは正答に至らなかった1種類のT. P. (4. 2. 2の図4-2(j)のT. P. 22)が除かれた。
 - (2) 要因2に関しては、第4章ではタイプAだけが用いられている。本章では、更にタイプBとタイプCにおけるシミュレーションが加えられた。
 - (3) 要因3に関しては、強化回数依存型の蓋然性評価方略(RE0, RE1, RE2)が除かれ、試行回数依存型の蓋然性評価方略が、更に3種類加えられた。
 - (4) 要因4に関しては、4章における3つの試行方略(単純方略、循環方略、ランダム方略)に、最初にカードが表にされる番地jが対角線上に移動する「対角方略」が付け加えられ、8種類となった。[上述の4種類のそれぞれに対して、Case 1とCase 2の2つの場合が存在する。] ———— 5. 3. 1 (p.121)

- ☞5 3. 2. 4 「最終推定が誤答の場合の取り扱い」において検討されたように、正答・誤答は、実験系の中にいる被験者には判断できないので、これらの正答・誤答の判断は、全て実験者が行なうものとする。 —— 5. 3. 2 (p.105)
- ☞6 第4章で実行された強化回数依存型の蓋然性評価方略 (4.3.4.2 参照) は、試行回数変動型であるが、この方略における推定の効率は、後に検討される人間被験者の示した推定の効率に比して、かなり低いものであった。従って、強化回数依存型の蓋然性評価方略は、試行回数適応型の確証評価方略とはなり得ない。 —— 5. 5 (p.115)
- ☞7 これらの評価は、仮説形成検証の7つのPhase 中のPhase 3 「仮説の蓋然性の評価」で行なわれる (4.3.2.2 参照)。すなわち、本章において「確証評価法」と表現された方略は、第4章における「蓋然性評価法」でもある。 —— 5. 5. 1 (p.116)
- ☞8 この実験結果は、第4章における人間被験者の実験結果から、本シミュレーションモデルでは正答に至らなかったT. P. 22を除いたものである。 —— 5. 5. 1 (p.116)

参考文献

- (1) 三輪, 織田, 杉江: プロダクションシステムを用いた正・負事例に基づく仮説群検証過程のシミュレーション実験, 信学論 (A) (投稿中)
- (2) 三輪, 織田, 日江井: 思考過程の推論展開モデルと情報保存モデルおよびその実証的考察, 信学論 (A), Vol. 69-A, No. 5, pp. 612-619 (昭61-05)
- (3) 三輪, 織田, 福村: 仮説形成検証過程の情報論的考察, 信学論 (A), Vol. 70-A, No. 6, pp. 911-920 (昭62-06)
- (4) 三輪, 織田, 福村: 人間の思考過程における仮説形成検証法のモデル化 —— 4色カードの2次元配置におけるパターン推定 ——, 信学論 (A), Vol. 71-A, No. 6, pp. 1309-1317 (昭63-06)
- (5) 三輪, 織田, 福村: 仮説検証方略に関するシミュレーション研究, 計測自動制御学会中部支部教育工学論文集, Vol. 11 (昭63)
- (6) 三輪, 織田, 杉江: 仮説検証過程における確証と反証の生起状況, 信学技報, ET88-3 (昭63-06)
- (7) 三輪, 織田, 杉江: 正・負事例による仮説の強化・棄却過程に関する研究, 昭63電気関係学会東海連大, 533 (昭63-09)
- (8) J.S.Bruner, J.Goodnow, G.A.Austin: A study of thinking, New York: Wiley (1956)
- (9) J.Klayman, Y.-W. Ha: Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing, Psychological Review, Vol. 94, No. 2, pp.211-228 (1987)
- (10) M.Levine: Hypothesis behavior by humans during discrimination learning, Journal of Experimental Psychology, Vol. 71, pp.331-338(1966)
- (11) L.E.Bourne, Jr., D.E.Guy: Learning conceptual rules II: The role of positive and negative instances, Journal of Experimental Psychology, Vol. 77, pp.488-494 (1968)
- (12) L.E.Taplin: Evaluation of hypotheses in concept identification, Memory & Cognition, Vol. 3, pp.85-96 (1975)

- (13)C.R.Mynatt, M.E.Doherty, R.D.Tweney : Consequences of confirmation and dis-confirmation in a simulated research environment, Quarterly Journal of Experimental Psychology , Vol.30, pp.395-406 (1978)
- (14)R.D.Tweney, et al.: Strategies of rule discovery in an inference task , Quarterly Journal of Experimental Psychology , Vol.32, pp.109-123 (1980)
- (15)安西, 佐伯, 難波 : L I S P で学ぶ認知心理学1 —— 学習, 東京大学出版会 (昭57)
- (16)Y.Anzai: Cognitive control of real-time event-driven systems, Cognitive Science , Vol.8, pp.221-254 (1984)
- (17)K.R.Popper: The logic of scientific discovery , New York: Basic Books (1959)

第6章 結論

本論文では、帰納学習や概念形成の過程に出現する仮説形成検証過程に関する認知科学的な検討を行なった。

すなわち、第1章では、本研究の背景、本研究の周辺を概観し、それらに基づいて、本研究の問題設定を行なった。また、本研究の枠組みを提供した認知科学に関して言及し、本研究が「いかなる意味において認知科学的であるか」に関する検討を行なった。

また、第2章では、本研究において提案された仮説形成検証過程に関するモデルの基本型として、「推論展開モデル」と「情報量保存モデル」を記述し、カード配置推定問題を用いた心理学的実験を行なって、それらのモデルを実証的に検討した⁽¹⁾。第3章では、それらのモデルを情報論的に解釈した⁽²⁾。

更に、第4章では、第2章で提案された「推論展開モデル」を、より精緻化して計算機上に構築し、計算機シミュレーションを実行して、提案されたモデルの妥当性を検討した⁽³⁾。最後に、第5章では、第4章で妥当性が確認された計算機シミュレーションモデルを用いて、これまで心理学的に検討されてきた「正・負事例に基づく仮説検証過程」を、認知科学的に検討した⁽⁴⁾。

各章ごとに得られた知見は、各章の結言にまとめられているが、本研究全体を総括すれば、以下の事項にまとめられる。

(1)本研究では、事例からの帰納学習において、その情報源が観測対象である場合（ただし、観測対象からの事例の観察を計画的に制御できる場合）に関する仮説形成検証過程のモデルを提案した。

ここで、従来の仮説形成検証過程の研究においては、仮説形成と仮説検証の2つの過程は、それぞれ独立して扱われてきた。本研究においては、この仮説形成・仮説検証を、一連の過程としてモデル化した。その一連の過程は、演繹・帰納・類推なる3種の推論の組み合わせ・展開過程としてモデル化された。

また、従来の研究では、単独の仮説に着目した仮説形成検証過程しか扱われてこなかった。本研究においては、複数の仮説が段階的に形成検証されてゆき、最終的に獲得概念が帰納的に学習される過程をモデル化した。このような過程における仮説形成では、観測事例を前提とする「帰納」に加えて、それ以前に暫定的に仮定された仮説を前

提とする「類推」が重要な役割を持つことが確認された。

(2) 上述のモデルを、情報理論の立場から解釈した。すなわち、仮説形成検証過程を、事例間に規則性が発見されていない、すなわち仮説化されていない「孤立事実量」、仮説形成の前提に使われた「前提量」、仮説検証に使われた「検証量」、思考上で創られた「推定量」なる4種類の情報量の推移過程として解釈した。また、仮説形成検証過程において、観測対象のエントロピーと、被験者が獲得した情報量とが保存関係にあることを理論的に示し、更に実証的に考察した。

(3) 以上のモデルを計算機上に実現し、その妥当性を検討した。計算機シミュレーションの結果、以下の諸点が確認された。すなわち、

① シミュレーションモデルは、与えられた22種類のT・F.のうち、21種類までを正しく推定することに成功した。

② 人間被験者による比較実験を行なった結果、現実のT・F.と思考上のT・F.の状態推移、推定の効率、正答に達するための試行回数、等に関して、本シミュレーションモデルと人間との強い類似性が認められた。

以上より、本シミュレーションモデルの心理学的妥当性が支持されたものと考えられる。

(4) 正・負事例に基づく仮説検証過程に関する認知科学的検討を行ない、正・負フィードバックの生起状況に関する検討を行なった。更に、そこで得られた知見に基づいて、試行回数固定型モデルを試行回数適応型モデルに拡張し、仮説の確証評価法に関する方略の一つを提案した。

それらを通して、複数の仮説が段階的に形成検証されて行く過程における仮説検証では、その仮説自体の検証に関する情報（その仮説を支持する正事例の数や正フィードバックの回数、等）だけではなく、それ以前の一連の過程に出現した仮説の形成検証過程に関する情報が重要であることが認められた。

加えて、仮説の反証の役割に関して、積極的な意味付けを行なった。

次に、今後の研究課題をまとめると以下のごとくとなる。

(a) 従来の研究において中心的に扱われていたconfirmation biasに関する問題⁽⁵⁾、⁽⁶⁾は、本研究では扱われていない。ここで、confirmation biasとは、仮説検証の過程において、自分の形成した仮説の正しさを支持する情報、すなわち正事例のみを集めよう

する傾向、換言すれば、負事例を利用しようとしないう傾向のことをいう（1. 2参照）。

本モデルでは、仮説から生成され観測対象に確かめられる事例は、全て正事例であった。すなわち、完全なconfirmation biasの状態における仮説形成検証過程であると言える。

この理由は以下のごとくである。すなわち、この状態は、カード配置推定問題なる本研究で用いられた帰納学習課題の次のような性質から生じているものである。本帰納学習課題においては、正事例の出現と負事例の出現は排他的であり、従って、正事例の観察は、複数の負事例の同定を伴う。例えば、ある位置 (x_i, y_i) のカード記号 z_i の値が色Yである時、すなわちカード (x_i, y_i, Y) が正事例である時、その位置には、色Y以外の値をもったカードは出現しない、すなわち、 (x_i, y_i, Y) が正事例であることの観測は、同時に、 (x_i, y_i, B) 、 (x_i, y_i, R) 、 (x_i, y_i, W) は負事例であることの同定を伴う。

以上の性質から、本帰納学習課題においては、積極的に負事例を生成する必要がないこととなり、これが本シミュレーションモデルにおいては、完全なconfirmation biasにおける仮説検証過程となった原因である。

さて、本シミュレーションモデルは、若干の修正により、これまでの研究において用いられてきた課題、例えば3つの数字の配列規則を発見する課題⁽⁵⁾を解決することが可能になる。今後は、本研究で用いられたモデルに修正を加え、confirmation biasに関する認知科学的な検討も行なってみたい。

(b)本研究で得られた知見を、エキスパートシステムや、ICA Iシステム等へも適応してみたい。

例えば、本モデルで記述された仮説形成検証過程を一つの枠組みとして、被験者の思考過程のバグを診断するシステム⁽⁷⁾や、視聴覚教材の概念構造や論理構造を分析するシステム⁽⁸⁾、更に仮説形成検証過程を一般的に教示するシステム等も、今後検討して行きたいと考えている。

本研究が行なわれた1980年後半は、認知科学会が1984年に、人工知能学会が1987年に発足するなど、日本でも多くの研究者が、この「今世紀最後で最大の挑戦」と呼ばれる人間の「知」の探求に参入しようとしていた頃である。

「認知科学は人間をおもしろがることから始まる」⁽⁹⁾と言われるように、この研究も非常に自由闊達な雰囲気の中で進めさせて頂くことができた。本研究が、創設期にあたる認知科学の研究に多少なりとも貢献できることを願って、本論文の結びとする。

参考文献

- (1) 三輪, 織田, 日江井: 思考過程の推論展開モデルと情報量保存モデルおよびその実証的考察, 信学論 (A), Vol. 69-A, No. 5, pp. 612-619 (昭61-05)
- (2) 三輪, 織田, 福村: 仮説形成検証過程の情報論的考察, 信学論 (A), Vol. 70-A, No. 6, pp. 911-920(昭62-06)
- (3) 三輪, 織田, 福村: 人間の思考過程における仮説形成検証法のモデル化 —— 4色カードの2次元配置におけるパターン推定 ——, 信学論 (A), Vol. 71-A, No. 6, pp. 1309-1317(昭63-06)
- (4) 三輪, 織田, 杉江: プロダクションシステムを用いた正・負事例に基づく仮説群検証過程のシミュレーション実験, 信学論 (A) (投稿中)
- (5) P.C.Wason: On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task, Quarterly journal of Experimental Psychology, Vol. 12, pp. 129-140 (1960)
- (6) J.Klayman, Y.-W. Ha: Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing, Psychological Review, Vol. 94, No. 2, pp. 211-228 (1987)
- (7) J.S.Brown, R.R.Burton: Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills, Cognitive Science, Vol. 2, pp. 155-192(1978)
- (8) 日江井, 織田, 三輪, 下村: ビデオ教材における推論法の生起状況, 信学技報, ET85-3 (昭60-06)
- (9) 佐伯 胖: 認知科学の方法, 認知科学選書10, 東京大学出版会 (昭61)
- (10) ガードナー (佐伯他訳): 認知革命 —— 知の科学の誕生と展開 ——, 産業図書 (昭62)

謝 辞

名古屋大学工学部電気工学第二学科杉江 昇教授には、筆者の指導教官として、終始変わらぬ暖かい御指導・御鞭撻を賜わり、筆者は幸運にも、名古屋大学大学院の最終学年にて学位論文を完成することができました。ここに、心から謝意を表します。同情報工学科稲垣康善教授および同情報工学科吉田雄二教授には、本論文の仕上げの段階において、多くの御指導をいただきました。ここに深く感謝致します。

また、同情報工学科主任伊藤正美教授には、暖かい励ましと御指導をいただきました。中京大学社会学部福村晃夫教授には、先生が名古屋大学に在職されていた最後の2年間に亘り指導教官として、特に人工知能に関する多くの重要な御示唆や御助言をいただき、暖かい御指導をいただきました。両先生に、心からの感謝を表します。

更に、中部大学工学部織田守矢教授には、先生が名古屋大学に在職されていて筆者が卒業研究の学生であった頃より今日まで、一貫して御指導いただきました。筆者が、それまでまったく縁の無かったこの新しい分野に関心を持ち、未完ながらも一応の研究成果として本論文をまとめることができたのは、ひとえに同先生の御指導の賜物であります。ここに、心からの感謝の意を表します。

加えて、元名古屋大学工学部電子工学科教授川又 晃先生には、特に本研究の前半にて、貴重な御指導をいただきました。また、三重大学教育学部下村 勉助教授には、研究展開の局面ごとに幾多の励ましと御指導をいただきました。両先生に深く感謝致します。

最後になりますが、本研究を進めるにあたっては、多くの被験者の方々にご協力いただきました。ここに、合わせて感謝の意を表します。

付 録

付録1 計算機シミュレーションモデルのプログラムリスト p.132-137

付録2 計算機シミュレーションにおける作業記憶の推移リストの1例 p.138-141

<設定> 使用したT. P. : T. P. 11
探索領域分割タイプ: タイプA
蓋然性評価方略 : TU3
試行方略 : 循環方略 (Case 1)


```

(COMMENT '*****
*
* -----
* THE SIMULATION MEDEL OF
* FORMATION AND VERIFICATION PROCESS OF
* HYPOTHESIS
* -----
* NORMAL TYPE PROGRAM
* -----
*
* by KAZUHISA MIWA
* 1987
*
* *****
)
)
(COMMENT' -----
INTERPRETER
-----
)
)
(DEFUN FIRE1 NIL
(LET ((PROMPT "SET="))
(SETQ SEWMS (READ)))
(LET ((PROMPT "TF="))
(SETQ TF (READ)))
(LET ((PROMPT "ZU="))
(SETQ ZU (READ)))
(LET ((PROMPT "ZF="))
(SETQ ZF (READ)))
(LET ((PROMPT "ZV="))
(SETQ ZV (READ)))
(LET ((PROMPT "XC="))
(SETQ XC (READ)))
(SETQ WMS A)
(SETQ PRINTLEVEL 0 PRINTLENGTH 0 OUTPUT-STREAM STANDARD-OUTPUT)
(START))
(DEFUN FIRE2 NIL
(LET ((PROMPT "OUTFILE="))
(SETQ OUTFILE (READ))
(SETQ OUTPUT-STREAM (OUTOPEN (STREAM (ALLOC OUTFILE)))))
(LET ((PROMPT "SET="))
(SETQ SEWMS (READ)))
(LET ((PROMPT "TF="))
(SETQ TF (READ)))
(LET ((PROMPT "ZU="))
(SETQ ZU (READ)))
(LET ((PROMPT "ZF="))
(SETQ ZF (READ)))
(LET ((PROMPT "ZV="))
(SETQ ZV (READ)))
(LET ((PROMPT "XC="))
(SETQ XC (READ)))
(SETQ WMS A)
(SETQ PRINTLEVEL 0 PRINTLENGTH 0)
(START)
(MAPC OPENFILES (FUNCTION CLOSE)))
(DEFUN FIRE3 NIL
(LET ((PROMPT "OUTFILE="))
(SETQ OUTFILE (READ))
(SETQ OUTPUT-STREAM (OUTOPEN (STREAM (ALLOC OUTFILE)))))
(LET ((PROMPT "TF="))
(SETQ TFA (READ)))
(LET ((PROMPT "ZU="))
(SETQ ZU (READ)))
(SETQ PRINTLEVEL 0 PRINTLENGTH 0 SEWMS 0)
(LET ((ZF 0) (ZV 1)) (FIRE31))
(LET ((ZF 0) (ZV 2)) (FIRE31))
(LET ((ZF 0) (ZV 3)) (FIRE31))
(LET ((ZF 0) (ZV 4)) (FIRE31))
(LET ((ZF 1) (ZV 0)) (FIRE31))
(LET ((ZF 1) (ZV 1)) (FIRE31))
(LET ((ZF 1) (ZV 2)) (FIRE31))
(LET ((ZF 1) (ZV 3)) (FIRE31))
(MAPC OPENFILES (FUNCTION CLOSE)))
(DEFUN FIRE31 NIL
(SETQ WMS A XC 1 TF TFA) (START) (SETQ WMS A XC 2 TF TFA) (START)
(SETQ WMS A XC 3 TF TFA) (START) (SETQ WMS A XC 4 TF TFA) (START)
(SETQ WMS A XC 5 TF TFA) (START) (SETQ WMS A XC 6 TF TFA) (START))
(DEFUN START NIL
(PRINT1 'TF= OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 TF OUTPUT-STREAM)
(SETQ TF (EVAL TF))
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 'ZU= OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 ZU OUTPUT-STREAM)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 'ZF= OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 ZF OUTPUT-STREAM)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 'ZV= OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 ZV OUTPUT-STREAM)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 'XC= OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 XC OUTPUT-STREAM)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(SETQ RULENUM
'(0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0))
(PROG (ENVIRONMENT)
(SETQ HALTFRAG NIL)
CYCLE
(SETQ NUM 1)
(COND
(HALTFRAG
(RETURN (PRINT '***HALT OUTPUT-STREAM)
(PRINT 'RULE= OUTPUT-STREAM)
(PRINT RULENUM OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 'TOTAL= OUTPUT-STREAM)
(PRINT (RULEPLUS RULENUM) OUTPUT-STREAM)
(COND
((EQ SEWMS 0)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)

```

```

(PRINT (FINDWMS WMS 'GOAL) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'NO-OF-H) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'TU-CARD) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'PR-CARD) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'GU-HYPO) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'L-OF-RE) OUTPUT-STREAM)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(PRINT (LASTLIST 1) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (LASTLIST 2) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (LASTLIST 3) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (LASTLIST 4) OUTPUT-STREAM)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(COND
(EQUAL TF
(APPEND (LASTLIST 1) (APPEND (LASTLIST 2)
(APPEND (LASTLIST 3) (LASTLIST 4))))))
(PRINT 'T OUTPUT-STREAM)
(T
(PRINT 'F OUTPUT-STREAM)))
(COND ((> (LENGTH =ACT) 15) T)
(T (TERPRI OUTPUT-STREAM)))
(TERPRI OUTPUT-STREAM)))
((EXECUTE PRO)
(GO CYCLE))
(T (RETURN (PRINT1 '***NO=PRODUCTION OUTPUT-STREAM)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(PRINT 'RULE= OUTPUT-STREAM)
(PRINT RULENUM OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 'TOTAL= OUTPUT-STREAM)
(PRINT (RULEPLUS RULENUM) OUTPUT-STREAM)
(COND
((EQ SEWMS 0)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'GOAL) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'NO-OF-H) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'TU-CARD) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'PR-CARD) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'GU-HYPO) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'L-OF-RE) OUTPUT-STREAM))))))
(DEFUN HALT NIL (SETQ HALTFRAG T))
(DEFUN LASTLIST (X)
(COND ((EQ XU 1)
(COND
((EQ X 1)
(LIST (LASTLIST1 =THT 1 1) (LASTLIST1 =THT 1 2)
(LASTLIST1 =THT 2 1) (LASTLIST1 =THT 2 2)
(LASTLIST1 =THT 5 1) (LASTLIST1 =THT 5 2)
(LASTLIST1 =THT 6 1) (LASTLIST1 =THT 6 2))))
((EQ X 2)
(LIST (LASTLIST1 =THT 1 3) (LASTLIST1 =THT 1 4)
(LASTLIST1 =THT 2 3) (LASTLIST1 =THT 2 4)
(LASTLIST1 =THT 5 3) (LASTLIST1 =THT 5 4)
(LASTLIST1 =THT 6 3) (LASTLIST1 =THT 6 4))))
((EQ X 3)
(LIST (LASTLIST1 =THT 3 1) (LASTLIST1 =THT 3 2)
(LASTLIST1 =THT 4 1) (LASTLIST1 =THT 4 2)
(LASTLIST1 =THT 7 1) (LASTLIST1 =THT 7 2)
(LASTLIST1 =THT 8 1) (LASTLIST1 =THT 8 2))))
((EQ X 4)
(LIST (LASTLIST1 =THT 3 3) (LASTLIST1 =THT 3 4)
(LASTLIST1 =THT 4 3) (LASTLIST1 =THT 4 4)
(LASTLIST1 =THT 7 3) (LASTLIST1 =THT 7 4)
(LASTLIST1 =THT 8 3) (LASTLIST1 =THT 8 4))))))
((EQ XU 2)
(COND
((EQ X 1)
(APPEND (LASTLIST2 =THT 1) (LASTLIST2 =THT 2)))
((EQ X 2)
(APPEND (LASTLIST2 =THT 3) (LASTLIST2 =THT 4)))
((EQ X 3)
(APPEND (LASTLIST2 =THT 5) (LASTLIST2 =THT 6)))
((EQ X 4)
(APPEND (LASTLIST2 =THT 7) (LASTLIST2 =THT 8))))))
((EQ XU 3)
(COND
((EQ X 1)
(LASTLIST3 =THT 1))
((EQ X 2)
(LASTLIST3 =THT 2))
((EQ X 3)
(LASTLIST3 =THT 3))
((EQ X 4)
(LASTLIST3 =THT 4))))))
(DEFUN LASTLIST1 (X Y Z)
(COND ((AND (EQ (CAAR X) Y)
(EQ (SECOND (CAR X)) Z))
(THIRD (CAR X))
(T (LASTLIST1 (CDR X) Y Z))))))
(DEFUN LASTLIST2 (X Y)
(LASTLIST21 X Y 1))
(DEFUN LASTLIST21 (X Y Z)
(COND ((EQ Z 5) NIL)
((AND (EQ (CAAR X) Y)
(EQ (SECOND (CAR X)) Z))
(CONS (THIRD (CAR X))
(LASTLIST21 =THT Y (ADD1 Z))))
(T (LASTLIST21 (CDR X) Y Z))))))
(DEFUN LASTLIST3 (X Y)
(LASTLIST31 X Y 1))
(DEFUN LASTLIST31 (X Y Z)
(COND ((EQ Z 9) NIL)
((AND (EQ (CAAR X) Z)
(EQ (SECOND (CAR X)) Y))
(CONS (THIRD (CAR X))
(LASTLIST31 =THT Y (ADD1 Z))))
(T (LASTLIST31 (CDR X) Y Z))))))
(DEFUN EXECUTE (PDS)
(COND ((NULL PDS) NIL)
((ALL=SATISFIED (EXTRA=CONDITIONS (CDAR PDS)) NIL)
(COND ((EQ SEWMS 1)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(PRINT1 '***FIRE= OUTPUT-STREAM)

```

```

(PRINT (CAAR PDS) OUTPUT-STREAM)
(TERPRI OUTPUT-STREAM))
(EXECUTE=ACTIONS (EXTRA=ACTIONS (CAR PDS)))
(COND ((EQ SEMS 1)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'GOAL) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'MO-OF-H) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'TU-CARD) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'PR-CARD) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'GU-HYPO) OUTPUT-STREAM)
(PRINT (FINDWMS WMS 'L-OF-RE) OUTPUT-STREAM)
(TERPRI OUTPUT-STREAM)))
(SETQ RULENUM (RULECHECK NUM))
T)
(T (SETQ NUM (ADD1 NUM)) (EXECUTE (CDR PDS))))
DEFUN RULEPLUS (X)
(COND ((NULL X) 0)
(T (PLUS (CAR X) (RULEPLUS (CDR X)))))
DEFUN FINDWMS (X Y)
(COND ((EQ (CAAR X) Y)
(CAR X))
(T (FINDWMS (CDR X) Y)))
DEFUN EXTRA=CONDITIONS (L)
(COND ((NULL L) NIL)
((EQ '==> (CAR L)) NIL)
(T (,(CAR L) . ,(EXTRA=CONDITIONS (CDR L)))))
DEFUN ALL=SATISFIED (CONDITIONS BINDLIST)
(COND ((NULL CONDITIONS) (SETQ ENVIRONMENT BINDLIST) T)
((IFFUNCTION (CAAR CONDITIONS)
(PRED=SATISFIED (CAR CONDITIONS) BINDLIST))
(T (PAT=SATISFIED (CAR CONDITIONS) WMS BINDLIST))))
DEFUN PAT=SATISFIED (PAT WMELEMENTS BINDS)
(COND ((NULL WMELEMENTS) NIL)
((AND (MATIN PAT (CAR WMELEMENTS))
(ALL=SATISFIED (CDR CONDITIONS) BINDS))
T)
(T (PAT=SATISFIED PAT (CDR WMELEMENTS) BINDLIST)))
DEFUN PRED=SATISFIED (PRED BINDS)
(COND ((EVAL (EVAL=ABLE PRED))
(ALL=SATISFIED (CDR CONDITIONS) BINDS))
(T NIL))
DEFUN EVAL=ABLE (X)
(COND ((NULL X) NIL)
((ATOM (CAR X))
(COND ((IFFUNCTION (CAR X))
(,(CADR X) . ,(EVAL=ABLE (CDDR X)))
((IFVARIABLE (CAR X))
(,(CAR X) . ,(EVAL=ABLE (CDR X))))
(T (,(CAR X) . ,(EVAL=ABLE (CDR X)))))
(T (,(COND ((IFFUNCTION (CAAR X)) (EVAL=ABLE (CAR X)))
(T (CONS 'LIST (EVAL=ABLE (CAR X)))) .
,(EVAL=ABLE (CDR X)))))
DEFUN EXTRA=ACTIONS (L)
(COND ((EQ '==> (CAR L)) (CDR L)) (T (EXTRA=ACTIONS (CDR L))))
DEFUN EXECUTE=ACTIONS (ACTIONS)
(MAP ACTIONS (FUNCTION (LAMBDA (ACT) (EVAL (EVAL=ABLE (CAR ACT)))))
DEFUN MATIN (PAT1 PAT2)
(COND ((NULL PAT1) (NULL PAT2))
((ATOM PAT1)
(COND ((EQ PAT1 PAT2) T)
((IFVARIABLE PAT1) (CONSISTENT (,(PAT1 . ,PAT2))
(T NIL)))
((ATOM PAT2) NIL)
(T (AND (MATIN (CAR PAT1) (CAR PAT2))
(MATIN (CDR PAT1) (CDR PAT2)))))
DEFUN CONSISTENT (PAIR)
(COND ((MEMBER PAIR BINDS) T)
((ASSOC (CAR PAIR) BINDS) NIL)
(T (SETQ BINDS (,(PAIR . ,BINDS)) (ENVIRON PAIR))))
DEFUN IFFUNCTION (X) (AND (ATOM X) (EQ X '*)))
DEFUN IFVARIABLE (X)
(AND (ATOM X)
(OR (EQ X '=ACT) (EQ X '=THT) (EQ X '=STEP) (EQ X '=PROB)
(EQ X '=PRE) (EQ X '=UTILIST) (EQ X '=XV) (EQ X '=XF)
(EQ X '=XC) (EQ X '=XU)))
DEFUN ENVIRON (X)
(COND ((EQ (CAR X) '=ACT) (SETQ =ACT (CDR X)) T)
((EQ (CAR X) '=THT) (SETQ =THT (CDR X)) T)
((EQ (CAR X) '=PRE) (SETQ =PRE (CDR X)) T)
((EQ (CAR X) '=STEP) (SETQ =STEP (CDR X)) T)
((EQ (CAR X) '=PROB) (SETQ =PROB (CDR X)) T)
(T T))
COMMENT '

```

DEFINITION OF FUNCTIONS

```

DEFUN DEPOSIT (PAT) (SETQ WMS (,(PAT . ,(REMOVE PAT WMS))))
DEFUN DELETE (PAT) (SETQ WMS (REMOVE PAT WMS))
DEFUN REMOVE (L FROM)
(COND ((NULL FROM) NIL)
((EQUAL (CAR FROM) L) (CDR FROM))
(T (,(CAR FROM) . ,(REMOVE L (CDR FROM)))))
DEFUN REV (X Y Z)
(COND ((NULL X) NIL)
((EQ Z 0)
(CONS (LIST Y (SECOND (CAR X)) (THIRD (CAR X)))
(REV (CDR X) Y Z)))
((EQ Z 1)
(CONS (LIST Y (COND ((EQ (SECOND (CAR X)) 1) 2)
((EQ (SECOND (CAR X)) 2) 1)
((EQ (SECOND (CAR X)) 3) 4)
((EQ (SECOND (CAR X)) 4) 3))
(THIRD (CAR X)))
(REV (CDR X) Y Z)))
((EQ Z 2)
(CONS (LIST Y (COND ((EQ (SECOND (CAR X)) 1) 3)
((EQ (SECOND (CAR X)) 2) 4)
((EQ (SECOND (CAR X)) 3) 1)
((EQ (SECOND (CAR X)) 4) 2))
(THIRD (CAR X)))
(REV (CDR X) Y Z)))

```

```

((EQ Z 3)
(CONS (LIST Y (COND ((EQ (SECOND (CAR X)) 1) 4)
((EQ (SECOND (CAR X)) 2) 3)
((EQ (SECOND (CAR X)) 3) 2)
((EQ (SECOND (CAR X)) 4) 1))
(THIRD (CAR X)))
(REV (CDR X) Y Z))))
(DEFUN REP (X Y Z)
(COND ((NULL X) NIL)
(T (CONS (LIST Y (SECOND (CAR X)) (OTHER Z (THIRD (CAR X))))
(REP (CDR X) Y Z))))
(DEFUN OTHER (Z X)
(COND ((EQ Z 0)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT1)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT2)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT3)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT4)))
((EQ Z 1)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT2)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT1)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT4)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT3)))
((EQ Z 2)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT3)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT4)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT1)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT2)))
((EQ Z 3)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT4)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT3)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT2)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT1)))
((EQ Z 4)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT2)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT3)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT4)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT1)))
((EQ Z 5)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT4)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT1)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT2)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT3)))
((EQ Z 6)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT2)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT4)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT1)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT3)))
((EQ Z 7)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT3)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT1)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT4)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT2)))
((EQ Z 8)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT3)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT4)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT2)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT1)))
((EQ Z 9)
(COND ((EQUAL X '=UNIT1) '=UNIT4)
((EQUAL X '=UNIT2) '=UNIT3)
((EQUAL X '=UNIT3) '=UNIT1)
((EQUAL X '=UNIT4) '=UNIT2))))
(DEFUN UNITMATCH (X Y)
(COND ((NULL X) T)
((MEMBER (CAR X) Y) (UNITMATCH (CDR X) Y))
(T NIL))
(DEFUN TAKEUNITLIST (X Y)
(COND ((NULL X) NIL)
((EQ Y (SECOND (CAR X))) (CAR X))
(T (TAKEUNITLIST (CDR X) Y)))
(DEFUN MATCHPUT (X Y VAL1)
(COND ((NULL X) (SETQ VALLIST=1 VAL1) T)
((EQ 1 (SECOND (CAR X)))
(AND (MATCHPUT1 (THIRD (CAR X)) (THIRD (TAKEUNITLIST Y 1)))
(MATCHPUT (CDR X) Y VAL1)))
((EQ 2 (SECOND (CAR X)))
(AND (MATCHPUT1 (THIRD (CAR X)) (THIRD (TAKEUNITLIST Y 2)))
(MATCHPUT (CDR X) Y VAL1)))
((EQ 3 (SECOND (CAR X)))
(AND (MATCHPUT1 (THIRD (CAR X)) (THIRD (TAKEUNITLIST Y 3)))
(MATCHPUT (CDR X) Y VAL1)))
((EQ 4 (SECOND (CAR X)))
(AND (MATCHPUT1 (THIRD (CAR X)) (THIRD (TAKEUNITLIST Y 4)))
(MATCHPUT (CDR X) Y VAL1))))
(DEFUN MATCHPUT1 (X Y)
(COND ((MEMBER (CONS Y X) VAL1) T)
((ASSOC Y VAL1) NIL)
((ASSOCDR X VAL1) NIL)
(T (SETQ VAL1 (CONS (CONS Y X) VAL1))
(OTHERUNIT VAL1)
(ENVIRON1 (CONS Y X))))
(DEFUN ASSOCDR (Y X)
(COND ((NULL X) NIL)
(T (COND ((EQUAL Y (CDR (CAR X))) T)
(T (ASSOCDR Y (CDR X)))))
(DEFUN OTHERUNIT (X)
(COND ((EQ (LENGTH X) 3)
(SETQ VAL1 (CONS (CONS (OTHERUNIT1 X)
(OTHERUNIT2 X))
VAL1))
(ENVIRON1 (CONS (OTHERUNIT1 X) (OTHERUNIT2 X)))
(T T))
(DEFUN OTHERUNIT1 (X)
(COND ((NULL (ASSOC '=UNIT1 X)) '=UNIT1)
((NULL (ASSOC '=UNIT2 X)) '=UNIT2)
((NULL (ASSOC '=UNIT3 X)) '=UNIT3)
((NULL (ASSOC '=UNIT4 X)) '=UNIT4)))
(DEFUN OTHERUNIT2 (X)
(COND ((NULL (ASSOCDR 'Y X)) 'Y)
((NULL (ASSOCDR 'B X)) 'B)
((NULL (ASSOCDR 'R X)) 'R)
((NULL (ASSOCDR 'W X)) 'W))

```

```

(DEFUN INDUCTION=CK (X Y)
  (COND ((EQ Y 1)
    (SETQ =UNITLIST
      '((1 1 =UNIT1)(1 2 =UNIT1)(1 3 =UNIT1)(1 4 =UNIT1))))
    ((EQ Y 2)
      (SETQ =UNITLIST
        '((1 1 =UNIT1)(1 2 =UNIT1)(1 3 =UNIT2)(1 4 =UNIT2))))
    ((EQ Y 3)
      (SETQ =UNITLIST
        '((1 1 =UNIT1)(1 2 =UNIT2)(1 3 =UNIT1)(1 4 =UNIT2))))
    ((EQ Y 4)
      (SETQ =UNITLIST
        '((1 1 =UNIT1)(1 2 =UNIT2)(1 3 =UNIT2)(1 4 =UNIT1))))
    ((EQ Y 5)
      (SETQ =UNITLIST
        '((1 1 =UNIT1)(1 2 =UNIT2)(1 3 =UNIT3)(1 4 =UNIT4))))
    ((EQ Y 6)
      (SETQ =UNITLIST
        '((1 1 =UNIT1)(1 2 =UNIT2)(1 3 =UNIT2)(1 4 =UNIT3))))
    ((EQ Y 7)
      (SETQ =UNITLIST
        '((1 1 =UNIT1)(1 2 =UNIT2)(1 3 =UNIT3)(1 4 =UNIT1))))))
  (INDUCTION=CK1 X NIL =UNITLIST))
(DEFUN INDUCTION=CK1 (ACTLIST VALLIST UNITLIST)
  (COND ((AND (PUTCHECK0 ACTLIST 0 0 VALLIST UNITLIST)
    (CHECK1 ACTLIST 0 0 VALLIST UNITLIST))
    (SETQ =UNITLIST UNITLIST))
    (T NIL)))
(DEFUN PUTCHECK0 (X Y Z VALLIST=1 UNITLIST=1)
  (LET ((LIS1 (REV (REP (TAKELIST UNITLIST=1 1) 1 Y) 1 Z)))
    (COND ((MATCHPUT (TAKECARD1 X 1)
      LIS1 VALLIST=1)
      (SETQ VALLIST VALLIST=1))))))
(DEFUN ANALOGY&INDUCTION=CK2 (X)
  (COND ((CHECK1 X 0 0 =VALLIST =UNITLIST)
    T)
    (T NIL)))
(DEFUN ANALOGY&INDUCTION=CK3 (X)
  (COND ((CHECK2 X 0 0 =VALLIST =UNITLIST)
    T)
    (T NIL)))
(DEFUN ANALOGY&INDUCTION=CK4 (X)
  (COND ((CHECK3 X 0 0 =VALLIST =UNITLIST)
    T)
    (T NIL)))
(DEFUN INDUCTION NIL
  (FROMUNITLIST =UNITLIST 1))
(DEFUN ANALOGY&INDUCTION2 NIL
  (FROMUNITLIST =UNITLIST 2))
(DEFUN ANALOGY&INDUCTION3 NIL
  (APPEND (FROMUNITLIST =UNITLIST 3)
    (FROMUNITLIST =UNITLIST 4)))
(DEFUN ANALOGY&INDUCTION4 NIL
  (APPEND (APPEND (FROMUNITLIST =UNITLIST 5)
    (FROMUNITLIST =UNITLIST 6))
    (APPEND (FROMUNITLIST =UNITLIST 7)
      (FROMUNITLIST =UNITLIST 8))))
(DEFUN CHECK1 (ACTLIST1 VAL11 VAL12 VALLIST1 UNITLIST1)
  (COND ((EQ VAL11 6) NIL)
    ((EQ VAL12 4)
      (CHECK1 ACTLIST1 (ADD1 VAL11) 0 VALLIST1 UNITLIST1))
    ((PUTCHECK1 ACTLIST1 VAL11 VAL12 VALLIST1 UNITLIST1)
      T)
    (T (CHECK1 ACTLIST1 VAL11 (ADD1 VAL12) VALLIST1 UNITLIST1))))
(DEFUN PUTCHECK1 (X Y Z VALLIST=1 UNITLIST=1)
  (LET ((LIS1 (REV (REP (TAKELIST UNITLIST=1 1) 2 Y) 2 Z)))
    (COND ((AND (MATCHPUT (TAKECARD1 X 2)
      LIS1 VALLIST=1)
      (CHECK2 X 0 0 VALLIST=1 (APPEND UNITLIST=1 LIS1)))
      (SETQ =UNITLIST (APPEND UNITLIST=1 LIS1))))))
(DEFUN UNITCHECK1 (X Y Z P Q)
  (CHECK1 X Y Z P Q 0))
(DEFUN CHECK2 (ACTLIST2 VAL21 VAL22 VALLIST2 UNITLIST2)
  (COND ((EQ VAL21 6) NIL)
    ((EQ VAL22 4)
      (CHECK2 ACTLIST2 (ADD1 VAL21) 0 VALLIST2 UNITLIST2))
    ((PUTCHECK2 ACTLIST2 VAL21 VAL22 VALLIST2 UNITLIST2)
      T)
    (T (CHECK2 ACTLIST2 VAL21 (ADD1 VAL22) VALLIST2 UNITLIST2))))
(DEFUN PUTCHECK2 (X Y Z VALLIST=1 UNITLIST=1)
  (LET ((LIS1 (REV (REP (TAKELIST UNITLIST=1 1) 3 Y) 3 Z))
    (LIS2 (REV (REP (TAKELIST UNITLIST=1 2) 4 Y) 4 Z)))
    (COND ((AND (MATCHPUT (TAKECARD1 X 3)
      LIS1 VALLIST=1)
      (MATCHPUT (TAKECARD1 X 4)
        LIS2 VALLIST=1)
      (CHECK3 X 0 0 VALLIST=1)
      (APPEND (APPEND UNITLIST=1 LIS1)
        LIS2))))
      (SETQ =UNITLIST (APPEND (APPEND UNITLIST=1 LIS1)
        LIS2))))))
(DEFUN UNITCHECK2 (X Y Z P Q R S T U)
  (CHECK2 X Y Z P Q R S T U 0))
(DEFUN CHECK3 (ACTLIST3 VAL31 VAL32 VALLIST3 UNITLIST3)
  (COND ((EQ VAL31 6) NIL)
    ((EQ VAL32 4)
      (CHECK3 ACTLIST3 (ADD1 VAL31) 0 VALLIST3 UNITLIST3))
    ((PUTCHECK3 ACTLIST3 VAL31 VAL32 VALLIST3 UNITLIST3)
      T)
    (T (CHECK3 ACTLIST3 VAL31 (ADD1 VAL32) VALLIST3 UNITLIST3))))
(DEFUN PUTCHECK3 (X Y Z VALLIST=1 UNITLIST=1)
  (LET ((LIS1 (REV (REP (TAKELIST UNITLIST=1 1) 5 Y) 5 Z))
    (LIS2 (REV (REP (TAKELIST UNITLIST=1 2) 6 Y) 6 Z))
    (LIS3 (REV (REP (TAKELIST UNITLIST=1 3) 7 Y) 7 Z))
    (LIS4 (REV (REP (TAKELIST UNITLIST=1 4) 8 Y) 8 Z)))
    (COND ((AND (MATCHPUT (TAKECARD1 X 5)
      LIS1 VALLIST=1)
      (MATCHPUT (TAKECARD1 X 6)
        LIS2 VALLIST=1)
      (MATCHPUT (TAKECARD1 X 7)
        LIS3 VALLIST=1)
      (MATCHPUT (TAKECARD1 X 8)
        LIS4 VALLIST=1))))
      (SETQ =UNITLIST (APPEND (APPEND UNITLIST=1 LIS1)
        (APPEND (APPEND UNITLIST=1 LIS2)
          (APPEND (APPEND UNITLIST=1 LIS3)
            (APPEND (APPEND UNITLIST=1 LIS4)
              (APPEND UNITLIST=1 LIS4))))))))))

```

```

LIS4 VALLIST=1))
(SETQ =VALLIST VALLIST=1
  =UNITLIST
  (APPEND (APPEND (APPEND (APPEND UNITLIST=1 LIS1)
    LIS2) LIS3) LIS4))))))
(DEFUN TAKELIST (X Y)
  (COND ((EQ Y (CAAR X))
    (LIST (FIRST X) (SECOND X) (THIRD X) (FOURTH X)))
    (T (TAKELIST (CDR X) Y))))
(DEFUN ENVIRON1 (X)
  (COND ((EQ (CAR X) '=UNIT1) (SETQ =UNIT1 (CDR X)) T)
    ((EQ (CAR X) '=UNIT2) (SETQ =UNIT2 (CDR X)) T)
    ((EQ (CAR X) '=UNIT3) (SETQ =UNIT3 (CDR X)) T)
    ((EQ (CAR X) '=UNIT4) (SETQ =UNIT4 (CDR X)) T)))
(DEFUN DELECARD (X Y)
  (COND ((NULL X) NIL)
    ((EQ (CAAR X) Y)
      (DELECARD (CDR X) Y))
    (T (CONS (CAR X) (DELECARD (CDR X) Y))))))
(DEFUN FROMUNITLIST (X Y)
  (COND ((NULL X) NIL)
    ((EQ (CAAR X) Y)
      (FROMUNITLIST1 (LIST (FIRST X)
        (SECOND X)
        (THIRD X)
        (FOURTH X))))
    (T (FROMUNITLIST (CDR X) Y))))
(DEFUN FROMUNITLIST1 (X)
  (COND ((NULL X) NIL)
    (T (CONS (FROMUNITLIST2 (CAR X)) (FROMUNITLIST1 (CDR X))))))
(DEFUN FROMUNITLIST2 (X)
  (COND ((NULL X) NIL)
    (T (LIST (CAR X) (SECOND X)
      (CDR (ASSOC (THIRD X) =VALLIST))))))
(DEFUN TAKECARD1 (X Y)
  (COND ((NULL X) NIL)
    ((EQ Y (CAAR X))
      (CONS (CAR X) (TAKECARD1 (CDR X) Y)))
    (T (TAKECARD1 (CDR X) Y))))
(DEFUN TAKECARD2 (X Y)
  (COND ((OR (EQ Y 1) (EQ Y 2))
    (COND ((NULL X) NIL)
      ((EQ Y (CAAR X)) (CONS (CAR X) (TAKECARD2 (CDR X) Y)))
      (T (TAKECARD2 (CDR X) Y))))
    ((EQ Y 3)
      (COND ((NULL X) NIL)
        ((OR (EQ 3 (CAAR X)) (EQ 4 (CAAR X)))
          (CONS (CAR X) (TAKECARD2 (CDR X) Y)))
        (T (TAKECARD2 (CDR X) Y))))
    ((EQ Y 4)
      (COND ((NULL X) NIL)
        ((OR (EQ 5 (CAAR X)) (EQ 6 (CAAR X))
          (EQ 7 (CAAR X)) (EQ 8 (CAAR X)))
          (CONS (CAR X) (TAKECARD2 (CDR X) Y)))
        (T (TAKECARD2 (CDR X) Y))))))
(DEFUN TAKEPROB (X Y)
  (NTH (SUB1 Y) X))
(DEFUN NEXTSTEP (X)
  (COND ((EQ 9 (ADD1 (QUOTIENT (LENGTH X) 4)))
    NIL)
    ((EQ 5 (ADD1 (QUOTIENT (LENGTH X) 4)))
      4)
    (T (ADD1 (QUOTIENT (LENGTH X) 4))))))
(DEFUN REJPROB (X Y)
  (COND ((EQ Y 2)
    (SETQ =UNITLIST (DELECARD =UNITLIST 2)))
    ((EQ Y 3)
      (SETQ =UNITLIST
        (DELECARD (DELECARD =UNITLIST 3) 4)))
    ((EQ Y 4)
      (SETQ =UNITLIST
        (DELECARD (DELECARD
          (DELECARD (DELECARD =UNITLIST 5)
            6) 7) 8))))))
  (REJPROB1 X Y 1))
(DEFUN REJPROB1 (X Y Z)
  (COND ((EQ Y 2)
    (CONS 0 (CDR X)))
    (T (CONS (CAR X)
      (REJPROB1 (CDR X) Y (ADD1 Z))))))
(DEFUN REINFORCE (X Y)
  (REINFORCE1 X Y 1))
(DEFUN REINFORCE1 (X Y Z)
  (COND ((EQ Y 2)
    (CONS (ADD1 (CAR X)) (CDR X)))
    (T (CONS (CAR X)
      (REINFORCE1 (CDR X) Y (ADD1 Z))))))
(DEFUN UPCARD1 (X Y Z P)
  (COND ((OR (EQ Z 3) (EQ Z 6))
    (LET ((CARDLIST (UPCARDR X Y Z P)))
      (APPEND CARDLIST
        (LIST (NTH (SUB1 (TAKETF1 (CAR CARDLIST)
          (CADR CARDLIST))) TF))))))
    (T (LIST
      (UPCARD1 X Y Z P) (UPCARDJ X (UPCARD1 X Y Z P) Z P)
      (NTH (SUB1 (TAKETF1 (UPCARD1 X Y Z P)
        (UPCARDJ X (UPCARD1 X Y Z P) Z P))) TF))))))
(DEFUN UPCARD2 (X Y Q Z P)
  (APPEND (CONS (CAAR Q) (LIST (CADR (CAR Q)))
    (LIST (NTH (SUB1 (TAKETF1 (CAAR Q) (CADR (CAR Q)))
      TF))))))
(DEFUN PRECARD (X Y Q Z P)
  (COND ((OR (EQ Z 3) (EQ Z 6))
    (LET ((CARDLIST (UPCARDR X Y Z P)))
      (TAKEUNITLIST (TAKELIST Q (CAR CARDLIST))
        (CADR CARDLIST))))
    (T
      (TAKEUNITLIST (TAKELIST Q (UPCARD1 X Y Z P))
        (UPCARDJ X (UPCARD1 X Y Z P) Z P))))))
(DEFUN UPCARDI (X Y Z P)
  (COND ((OR (EQ Z 1) (EQ Z 2))
    (COND ((EQ Y 4) 5)

```

```

(T Y)))
((OR (EQ Z 4) (EQ Z 5))
 (COND ((OR (EQ Y 1) (EQ Y 2))
 Y)
 ((EQ Y 3)
 (COND ((OR (EQ 0 (LENGTH (TAKECARD2 X 3)))
 (EQ 2 (LENGTH (TAKECARD2 X 3)))
 (EQ 4 (LENGTH (TAKECARD2 X 3)))
 (EQ 6 (LENGTH (TAKECARD2 X 3))))
 3)
 (T 4)))
 ((EQ Y 4)
 (COND
 (> 4 (LENGTH (TAKECARD2 X 4)))
 (PLUS 5 (LENGTH (TAKECARD2 X 4))))
 (T
 (PLUS 1 (LENGTH (TAKECARD2 X 4)))))))))
(DEFUN UPCARDJ (X Y Z P)
 (COND ((OR (EQ Z 1) (EQ Z 4))
 (ADD1 (LENGTH (TAKECARD1 X Y))))
 ((OR (EQ Z 2) (EQ Z 5))
 (COND ((OR (EQ Y 1) (EQ Y 5))
 (ADD1 (LENGTH (TAKECARD1 X Y))))
 ((OR (EQ Y 2) (EQ Y 6))
 (ADD1 (COND ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 0)
 1)
 ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 1)
 2)
 ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 2)
 3)
 ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 3)
 0))))))
 ((OR (EQ Y 3) (EQ Y 7))
 (ADD1 (COND ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 0)
 2)
 ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 1)
 3)
 ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 2)
 0)
 ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 3)
 1))))))
 ((OR (EQ Y 4) (EQ Y 8))
 (ADD1 (COND ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 0)
 3)
 ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 1)
 0)
 ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 2)
 1)
 ((EQ (LENGTH (TAKECARD1 X Y)) 3)
 2)))))))))
(DEFUN UPCARDR (X Y Z P)
 (COND ((OR (EQ Y 1) (EQ Y 2))
 (LET ((RX (RAND1)))
 (COND ((ACTTEST Y RX X)
 (LIST Y RX))
 (T (UPCARDR X Y Z P))))))
 ((EQ Y 3)
 (LET ((RX (RAND1)) (RY (RAND2)))
 (COND ((EQ Z 3) (SETQ RY 3))
 (T T))
 (COND ((ACTTEST RY RX X)
 (LIST RY RX))
 (T (UPCARDR X Y Z P))))))
 ((EQ Y 4)
 (LET ((RX (RAND1)) (RY (RAND3)))
 (COND ((EQ Z 3) (SETQ RY 5))
 (T T))
 (COND ((ACTTEST RY RX X)
 (LIST RY RX))
 (T (UPCARDR X Y Z P)))))))))
(DEFUN TAKETF (X Y)
 (LIST X (ADD1 Y) (NTH (SUB1 (TAKETF1 X (ADD1 Y))) TF)))
(DEFUN TAKETF1 (X Y)
 (COND ((EQ XU 1)
 (COND ((EQ X 1)
 (COND ((EQ Y 1) 1) ((EQ Y 2) 2)
 ((EQ Y 3) 9) ((EQ Y 4) 10)))
 ((EQ X 2)
 (COND ((EQ Y 1) 3) ((EQ Y 2) 4)
 ((EQ Y 3) 11) ((EQ Y 4) 12)))
 ((EQ X 3)
 (COND ((EQ Y 1) 17) ((EQ Y 2) 18)
 ((EQ Y 3) 25) ((EQ Y 4) 26)))
 ((EQ X 4)
 (COND ((EQ Y 1) 19) ((EQ Y 2) 20)
 ((EQ Y 3) 27) ((EQ Y 4) 28)))
 (T (PLUS 4 (TAKETF1 (PLUS (MINUS 4) X) Y))))))
 ((EQ XU 2)
 (PLUS (TIMES 4 (SUB1 X)) Y))
 ((EQ XU 3)
 (PLUS (TIMES 8 (SUB1 Y)) X))))))
(DEFUN ACTTEST (X Y Z)
 (COND ((NULL Z) T)
 ((AND (EQ X (FIRST (CAR Z)))
 (EQ Y (SECOND (CAR Z)))) NIL)
 (T (ACTTEST X Y (CDR Z))))))
(DEFUN RAND1 NIL
 (ADD1 (REMAINDER (TIME) 4)))
(DEFUN RAND2 NIL
 (PLUS 3 (REMAINDER (TIME) 2)))
(DEFUN RAND3 NIL
 (PLUS 5 (REMAINDER (TIME) 4)))
(DEFUN RULECHECK (Y)
 (RULECHECK1 RULENUM Y 1))
(DEFUN RULECHECK1 (X Y Z)
 (COND ((EQ Y Z)
 (CONS (ADD1 (CAR X)) (CDR X)))
 (T (CONS (CAR X)
 (RULECHECK1 (CDR X) Y (ADD1 Z)))))))))
(COMMENT '
-----
FIRST STATE OF WORKING MEMORY

```

```

)
(SETQ A '((GOAL TURN-UP) (NO-OF-H 1) (TU-CARD NIL) (PR-CARD NIL)
(GU-HYPO NIL) (L-OF-RE (0 0 0))))
(COMMENT '
-----
PRODUCTION RULES
-----
)
(SETQ PRO '((RULE1 (GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H =STEP)
(TU-CARD =ACT)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
(* OR
(* AND
(* EQ XF 1)
(* >= (* TAKEPROB =PROB =STEP) XV))
(* AND
(* EQ XF 0)
(* >= (* LENGTH (* TAKECARD2 =ACT =STEP) XV))
(* AND
(* OR
(* EQ XC 1) (* EQ XC 2) (* EQ XC 3)
(* EQ 4 (* LENGTH (* TAKECARD2 =ACT =STEP))))
(* TAKECARD2 =THT =STEP)
(* NULL (* NEXTSTEP =THT)
==>
(* HALT)))
(RULE2 (GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H =STEP)
(TU-CARD =ACT)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
(* OR
(* AND
(* EQ XF 1)
(* OR
(* >= (* TAKEPROB =PROB =STEP) XV)
(* TAKECARD2 =ACT (* NEXTSTEP =THT))))
(* AND
(* EQ XF 0)
(* >= (* LENGTH (* TAKECARD2 =ACT =STEP) XV))
(* AND
(* OR
(* EQ XC 1) (* EQ XC 2) (* EQ XC 3)
(* EQ =STEP 1) (* EQ =STEP 2))
(* EQ 4 (* LENGTH (* TAKECARD2 =ACT =STEP))))
(* TAKECARD2 =THT =STEP)
==>
(* DELETE (GOAL ESTIMATION-OF-PROB))
(* DEPOSIT (GOAL TURN-UP))
(* DELETE (NO-OF-H =STEP)
(* DEPOSIT (NO-OF-H (* NEXTSTEP =THT))))))
(RULE3 (GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
==>
(* DELETE (GOAL ESTIMATION-OF-PROB))
(* DEPOSIT (GOAL CONCLUSION)))
(RULE4 (GOAL CONCLUSION)
(NO-OF-H =STEP)
(TU-CARD =ACT)
(PR-CARD =PRE)
(GU-HYPO =THT)
==>
(* DELETE (GOAL CONCLUSION))
(* DEPOSIT (GOAL TURN-UP))
(* DELETE (PR-CARD =PRE))
(* DEPOSIT (PR-CARD
((* PRECARD =ACT =STEP =THT XC XU))))))
(RULE5 (GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H =STEP)
(TU-CARD =ACT)
(GU-HYPO =THT)
(* NULL (* TAKECARD2 =THT =STEP))
(* NULL (* TAKECARD2 =ACT =STEP))
==>
(* DELETE (GOAL TURN-UP))
(* DEPOSIT (GOAL FORMATION))
(* DELETE (TU-CARD =ACT))
(* DEPOSIT (TU-CARD
(* CONS (* UPCARD1 =ACT =STEP XC XU)
=ACT))))))
(RULE6 (GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H =STEP)
(TU-CARD =ACT)
(GU-HYPO =THT)
(* NULL (* TAKECARD2 =THT =STEP))
(* TAKECARD2 =ACT =STEP)
==>
(* DELETE (GOAL TURN-UP))
(* DEPOSIT (GOAL FORMATION)))
(RULE7 (GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H =STEP)
(TU-CARD =ACT)
(PR-CARD =PRE)
(GU-HYPO =THT)
(* TAKECARD2 =THT =STEP)
==>
(* DELETE (GOAL TURN-UP))
(* DEPOSIT (GOAL VERIFICATION))
(* DELETE (TU-CARD =ACT))
(* DEPOSIT (TU-CARD
(* CONS (* UPCARD2 =ACT =STEP =PRE XC XU)
=ACT))))))
(RULE8 (GOAL VERIFICATION)
(GU-HYPO =THT)
(TU-CARD =ACT)
(PR-CARD =PRE)
(NO-OF-H =STEP)
(* UNITHATCH =PRE =ACT)
==>

```

```

(* DELETE (GOAL VERIFICATION))
(* DEPOSIT (GOAL REINFORCEMENT))
(* DELETE (PR-CARD =PRE))
(* DEPOSIT (PR-CARD NIL)))
(RULE9 (GOAL VERIFICATION)
(PR-CARD =PRE)
==>
(* DELETE (GOAL VERIFICATION))
(* DEPOSIT (GOAL REJECTION))
(* DELETE (PR-CARD =PRE))
(* DEPOSIT (PR-CARD NIL)))
(RULE10 (GOAL REINFORCEMENT)
(NO-OF-H 1)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL REINFORCEMENT))
(* DEPOSIT (GOAL ESTIMATION-OF-PROB))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE (* REINFORCE =PROB 1))))
(RULE11 (GOAL REINFORCEMENT)
(NO-OF-H 2)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL REINFORCEMENT))
(* DEPOSIT (GOAL ESTIMATION-OF-PROB))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE (* REINFORCE =PROB 2))))
(RULE12 (GOAL REINFORCEMENT)
(NO-OF-H 3)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL REINFORCEMENT))
(* DEPOSIT (GOAL ESTIMATION-OF-PROB))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE (* REINFORCE =PROB 3))))
(RULE13 (GOAL REINFORCEMENT)
(NO-OF-H 4)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL REINFORCEMENT))
(* DEPOSIT (GOAL ESTIMATION-OF-PROB))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE (* REINFORCE =PROB 4))))
(RULE14 (GOAL REJECTION)
(NO-OF-H 1)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL REJECTION))
(* DEPOSIT (GOAL TURN-UP))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO
(* DELECARD =THT 1)))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE
(* REJPROB =PROB 1))))
(RULE15 (GOAL REJECTION)
(NO-OF-H 2)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL REJECTION))
(* DEPOSIT (GOAL TURN-UP))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO
(* DELECARD =THT 2)))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE
(* REJPROB =PROB 2))))
(RULE16 (GOAL REJECTION)
(NO-OF-H 3)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL REJECTION))
(* DEPOSIT (GOAL TURN-UP))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO
(* DELECARD (* DELECARD =THT 3) 4)))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE
(* REJPROB =PROB 3))))
(RULE17 (GOAL REJECTION)
(NO-OF-H 4)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL REJECTION))
(* DEPOSIT (GOAL TURN-UP))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO
(* DELECARD (* DELECARD
(* DELECARD =THT 5)
6) 7) 8)))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE
(* REJPROB =PROB 4))))
(RULE18 (GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD =ACT)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
(* OR
(* INDUCTION=CK =ACT 1)
(* INDUCTION=CK =ACT 2)
(* INDUCTION=CK =ACT 3)
(* INDUCTION=CK =ACT 4)
(* INDUCTION=CK =ACT 5)
(* INDUCTION=CK =ACT 6)
(* INDUCTION=CK =ACT 7))
==>
(* DELETE (GU-HYPO =THT))

```

```

(* DEPOSIT (GU-HYPO (* INDUCTION)))
(* DELETE (GOAL FORMATION))
(* DEPOSIT (GOAL ESTIMATION-OF-PROB)))
(RULE19 (GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD =ACT)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
(* ANALOGY&INDUCTION=CK2 =ACT)
==>
(* DELETE (GOAL FORMATION))
(* DEPOSIT (GOAL ESTIMATION-OF-PROB))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO
(* APPEND =THT
(* ANALOGY&INDUCTION2))))
(RULE20 (GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 3)
(TU-CARD =ACT)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
(* ANALOGY&INDUCTION=CK3 =ACT)
==>
(* DELETE (GOAL FORMATION))
(* DEPOSIT (GOAL ESTIMATION-OF-PROB))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO
(* APPEND =THT
(* ANALOGY&INDUCTION3))))
(RULE21 (GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 4)
(TU-CARD =ACT)
(GU-HYPO =THT)
(L-OF-RE =PROB)
(* ANALOGY&INDUCTION=CK4 =ACT)
==>
(* DELETE (GOAL FORMATION))
(* DEPOSIT (GOAL ESTIMATION-OF-PROB))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO
(* APPEND =THT
(* ANALOGY&INDUCTION4))))
(RULE22 (GOAL FORMATION)
==>
(* DELETE (GOAL FORMATION))
(* DEPOSIT (GOAL UNCOORDINATION)))
(RULE23 (GOAL UNCOORDINATION)
(NO-OF-H 2)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL UNCOORDINATION))
(* DEPOSIT (GOAL TURN-UP))
(* DELETE (NO-OF-H 2))
(* DEPOSIT (NO-OF-H 1))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE (0 0 0 0)))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO NIL)))
(RULE24 (GOAL UNCOORDINATION)
(NO-OF-H 3)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL UNCOORDINATION))
(* DEPOSIT (GOAL TURN-UP))
(* DELETE (NO-OF-H 3))
(* DEPOSIT (NO-OF-H 1))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE (0 0 0 0)))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO NIL)))
(RULE25 (GOAL UNCOORDINATION)
(NO-OF-H 4)
(L-OF-RE =PROB)
==>
(* DELETE (GOAL UNCOORDINATION))
(* DEPOSIT (GOAL TURN-UP))
(* DELETE (L-OF-RE =PROB))
(* DEPOSIT (L-OF-RE (0 0 0 0)))
(* DELETE (NO-OF-H 4))
(* DEPOSIT (NO-OF-H 1))
(* DELETE (GU-HYPO =THT))
(* DEPOSIT (GU-HYPO NIL)))

```

```

(COMMENT '
-----
TEST PATTERNS
-----
)
(SETQ TF1 '(B B B B B B B B
Y Y Y Y Y Y Y Y
R R R R R R R R
W W W W W W W W))
(SETQ TF2 '(R B W Y R B W Y
R B W Y R B W Y
R B W Y R B W Y
R B W Y R B W Y))
(SETQ TF3 '(Y B R W Y B R W
W Y B R W Y B R
R W Y B R W Y B
B R W Y B R W Y))
(SETQ TF4 '(Y Y B B R R W W
Y Y B B R R W W
Y Y B B R R W W
Y Y B B R R W W))
(SETQ TF5 '(Y B R W W R B Y
Y B R W W R B Y
Y B R W W R B Y
Y B R W W R B Y))
(SETQ TF6 '(Y Y Y Y B B B B
B B B B Y Y Y Y
R R R R W W W W
W W W W R R R R))
(SETQ TF7 '(R R R R B B B B

```

```

R R R R B B B B
W W W W Y Y Y Y
W W W W Y Y Y Y)
(SETQ TF8 '(W Y R B W Y R B
W Y R B W Y R B
B R Y W B R Y W)
(SETQ TF9 '(Y B Y B R W R W
Y B Y B R W R W
Y B Y B R W R W)
(SETQ TF10 '(B R B R B R B R
R B R B R B R B
Y W Y W Y W Y W
W Y W Y W Y W Y)
(SETQ TF11 '(B W R Y Y R W B
Y B W R R W B Y
R Y B W W B Y R
W R Y B B Y R W)
(SETQ TF12 '(B Y B Y B Y B Y
R W R W R W R W
Y B Y B Y B Y B
W R W R W R W R)
(SETQ TF13 '(B Y B Y B Y B Y
R W R W R W R W
B Y B Y B Y B Y
R W R W R W R W)
(SETQ TF14 '(B B B B R R R R
Y Y Y Y W W W W
B B B B R R R R
Y Y Y Y W W W W)
(SETQ TF15 '(B B Y Y W W R R
Y Y W W R R B B
W W R R B B Y Y
R R B B Y Y W W)
(SETQ TF16 '(B B B B W W W W
Y Y Y Y R R R R
R R R R Y Y Y Y
W W W W B B B B)
(SETQ TF17 '(R R R R Y Y Y Y
B B B B W W W W
Y Y Y Y R R R R
W W W W B B B B)
(SETQ TF18 '(R B W Y R B W Y
Y W B R Y W B R
R B W Y R B W Y
Y W B R Y W B R)
(SETQ TF19 '(Y B B R R B B Y
W Y R W W R Y W
W R Y W W Y R W
R B B Y Y B B R)
(SETQ TF20 '(Y Y Y Y R R R R
W W W W Y Y Y Y
B B B B W W W W
R R R R B B B B)
(SETQ TF21 '(Y Y B B W W R R
R R Y Y B B W W
W W R R Y Y B B
B B W W R R Y Y)
(SETQ TF22 '(W W W W R R R R
W W Y Y R R B B
W W Y Y R R B B
Y Y Y Y B B B B)

```

TP=TP11
DIVISION TYPE = TYPE A
ESTIMATION OF PROBABILITY STRATEGY = TU3
TURNING-UP STRATEGY = CIRCULAR (CASE1)

FIRST STATE OF WORKING MEMORY

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD NIL)
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO NIL)
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE5

(GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO NIL)
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE18

(GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 B) (1 3 B) (1 4 B)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE3

(GOAL CONCLUSION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 B) (1 3 B) (1 4 B)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE4

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 1 B)))
(PR-CARD ((1 2 B)))
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 B) (1 3 B) (1 4 B)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE7

(GOAL VERIFICATION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD ((1 2 B)))
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 B) (1 3 B) (1 4 B)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE9

(GOAL REJECTION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 B) (1 3 B) (1 4 B)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE14

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO NIL)
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE6

(GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO NIL)
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE18

(GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 B) (1 4 W)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE3

(GOAL CONCLUSION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 2 W) (1 1 B)))

(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 B) (1 4 W)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE4

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD ((1 3 B)))
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 B) (1 4 W)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE7

(GOAL VERIFICATION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD ((1 3 B)))
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 B) (1 4 W)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE9

(GOAL REJECTION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 B) (1 4 W)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE14

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO NIL)
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE6

(GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO NIL)
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE18

(GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE2

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE5

(GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE19

(GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE3

(GOAL CONCLUSION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE4

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))

```

PR-CARD ((2 3 W)))
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
L-OF-RE (0 0 0 0))

*FIRE=RULE7

GOAL VERIFICATION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD ((2 3 W)))
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
L-OF-RE (0 0 0 0))

*FIRE=RULE8

GOAL REINFORCEMENT)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE11

(GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
(L-OF-RE (0 1 0 0))

**FIRE=RULE3

(GOAL CONCLUSION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
(L-OF-RE (0 1 0 0))

**FIRE=RULE4

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD ((2 4 B)))
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
(L-OF-RE (0 1 0 0))

**FIRE=RULE7

(GOAL VERIFICATION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD ((2 4 B)))
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
(L-OF-RE (0 1 0 0))

**FIRE=RULE9

(GOAL REJECTION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R) (2 4 B) (2 3 W) (2 2 Y)
(2 1 R)))
(L-OF-RE (0 1 0 0))

**FIRE=RULE15

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE6

(GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE22

(GOAL UNCOORDINATION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

```

```

**FIRE=RULE23

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO NIL)
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE6

(GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
(GU-HYPO NIL)
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE18

(GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H 1)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 B)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE2

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 B)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE6

(GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 B)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE19

(GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H 2)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 B) (2 1 R) (2 2 Y) (2 3 W)
(2 4 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE2

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 3)
(TU-CARD ((2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 B) (2 1 R) (2 2 Y) (2 3 W)
(2 4 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE5

(GOAL FORMATION)
(NO-OF-H 3)
(TU-CARD ((3 3 W) (2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 B) (2 1 R) (2 2 Y) (2 3 W)
(2 4 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE20

(GOAL ESTIMATION-OF-PROB)
(NO-OF-H 3)
(TU-CARD ((3 3 W) (2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 B) (2 1 R) (2 2 Y) (2 3 W)
(2 4 R) (3 4 B) (3 3 W) (3 2 Y) (3 1 B) (4 4 R) (4 3 Y)
(4 2 W) (4 1 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE3

(GOAL CONCLUSION)
(NO-OF-H 3)
(TU-CARD ((3 3 W) (2 4 R) (2 3 W) (2 2 Y) (1 3 Y) (1 2 W) (1 1 B)))
(PR-CARD NIL)
GU-HYPO ((1 1 B) (1 2 W) (1 3 Y) (1 4 B) (2 1 R) (2 2 Y) (2 3 W)
(2 4 R) (3 4 B) (3 3 W) (3 2 Y) (3 1 B) (4 4 R) (4 3 Y)
(4 2 W) (4 1 R)))
(L-OF-RE (0 0 0 0))

**FIRE=RULE4

(GOAL TURN-UP)
(NO-OF-H 3)

```