

# 創造過程の機能構造

三重野 博司・石鍋 雅男・池上 裕夫

## 1. はじめに

人間の思考には知能と創造があり、前者は論理的思考で収束的であるのに対して後者は情動的思考で発散的であるという[1]。後者はむしろ発想といえるもので創造の機能としては両者とも必要なものであろう。たとえば発想した後論理的に推論評価しなければ意味がないからである。芸術における創作は発想が死命を制し、工業製品の設計では後者が不可欠であるから、それぞれの立場で創造の機能の重みづけが異なろう。いずれにしてもここでは発想と知能を含めて創造という。知能の人工化が緒についたので創造の人工化(Artificial Creation)をはかる。人工知能の1つであるパターン認識や連想の思考機能を基礎機能に分解し再構成して創造機能構造とした一案を示そう。人工知能の究極が創造という観方もあるのは人間をも含めて造った造物主への畏敬のあらわれであろうか。生命科学もあらわれた昨今、このようなチャレンジをあえて試みることにする。

以下2節で認識と学習の機能構造をまず示した後、3節では連想の機能構造と認識・学習・連想を制御する機能構造について示す。2節3節の機能の要素を再構成して4節に創造の機能構造を示す。

なお次の事柄に留意して本文は記述した。脳内

の数学モデルはどんな位相構造か不明であるので説明上都合のよい種々のベクトル空間を設定しておいた。そして数学的に表現する整理上のため用語を定義してある。

機能についてオートマトン理論における列機械の表現をして計算機化したときのアルゴリズムに便なるようにしてある。

## 2. 認識と学習の機能構造

K. Levin [3] は人が社会環境・生活環境に対して感じる抵抗感に着目し、抵抗感をもつ箇所を境とする部分集合に環境に関する知識を分類した。さらにその部分集合族は位相的性質を満たすと仮定した。位相構造は知覚の発達とともにより細かい位相になるものとしている。E. C. Zeeman は知覚をより具体的に示した。それによると視覚立体でとらえた外界の像を思考立体のベクトルとして把握し、不動点となれば認識したものと仮定していた。これら古典による認識の数学(位相)モデルは興味ある話とされていたにすぎなかったが、今日の脳生理学・視覚心理のモデル化・連想の回路網のモデル化により数学的表現が試みられつつある。他方数学的モデル化の夢を捨ててより実際的な認知行動にもとづく認知地図を知識データベースの中に設定して認識の機械化に進む人々も表われている。これらは現在発達しつつある認知科学(Cognitive Science)の中に包含されるもので、計算機の発達に支援されたこの領域は急

みえの ひろし 東京理科大学 いしなべ まさお、い  
けがみ ひろお 東洋製罐グループ総合研究所

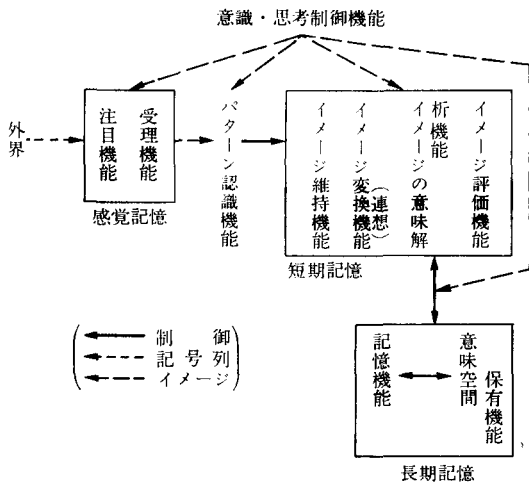


図 1 認識のモデル

速に発達するであろうから、認識の数学モデルも仮空ではなくなる日も近いと信ずる。学習は認識の裏側であるといえるから学習の数学モデルも同様である。

最近の認知科学での認知・学習のモデルには Atkinson & Shiffrine や L. E. Bourne, Jr. [2] などのものがある。ここでは後者の考え方をもとに新しいモデルを作ってみた。その中の感覚記憶は外界からの記号列を受理する機能を持ち、関心のあるところを注目することができる。記号列はパターン認識されて明確に意識できるイメージとなって短期記憶に記憶される。その記憶時間は約20秒で、現時点のイメージ処理に用いられている。暗唱すれば20秒以上でも同じイメージを持続できるし、別なイメージを連想しつづけることもできる。ここでの長期記憶も次第に忘却するものとし、記憶容量は事実上有限とする。ここにおけるイメージはその上位・下位の概念をも抽出可能とする。そのためには関連ある記憶事項や前提条件を抽出することが可能なメモリーである。

記号集合  $Y$  の要素が感覚記憶に入力され、パターン認識の前処理がなされて記号列  $y \in Y^*$  ( $Y^*$  は  $Y$  の要素の列の集合) として受理される。  $y$  は長期記憶のプロトタイプないしはその上位概念と比較されてパターン認識される。その結果、それが

入力となって心の状態が特定のイメージを画く。その認識をする場合は短期記憶で計算機のアクセムレータに相当するものである。イメージ集合  $I$ 、時刻集合  $T$  において  $(i_t, y_t) \rightarrow i_{t+1}$  となる写像が存在する。ただし  $t \in T, i_t, i_{t+1} \in I \times T, y_t \in Y^* \times T$  とする。生じたイメージ  $j_t$  は長期記憶に入る。  $j_t$  は  $j_t \in J \times T$  とし  $J$  は生じたイメージの集合とする。このことは列機械  $M_1 = (I, Y, J, \Delta, \Delta')$  で表現できる。ただし  $Y$  を入力集合、  $I$  を状態集合、  $\Delta$  を状態遷移写像  $I \times Y \rightarrow I$ 、  $J$  を出力集合、  $\Delta'$  を出力写像  $I \rightarrow J$  とする。  $M_1$  は外界の記号列を入力する一連の機能を示すものである。

前述のように K. Levin は人は外界を位相空間として把握するとした。そこで著者も外界の図形の各部に視点をつぎつぎとあてることによって図形のイメージを把握する位相モデルを構成した [4] ことがある。この考え方を文字も含めた記号列に拡張してみる。

長期記憶に入ったイメージ  $j$  は意味空間の点  $x$  と照合することによって納得することができる。意味空間は特徴・属性といった抽象化された意味の要素  $x$  子を基底とし、その基底の要素の一次従属である意味空間上の点  $x$  に写像された原像  $j$  は、それらの特徴・属性をそなえたものとして認知されたことになる。機械  $M_2$  は  $\exists j \exists x ((j \rightarrow x) \in \sigma, x = \sum_i \alpha_i x_i)$  であるような意味の確認をする機能を持ち、  $M_2 = (J, X, Z, \{\alpha\} \sigma)$  で表現される。ただし  $X$  は意味空間、  $Z$  は特徴・属性集合、  $\alpha$  は任意のスカラー、  $\sigma$  は  $J \rightarrow X$  とする。もし  $\exists j, \text{not } \exists x ((j \rightarrow x) \in \sigma, x = \sum_i \alpha_i x_i)$  となると未確認情報として再度外界の情報採取に努力するように制御機能が動作することになる。

また、  $\exists j_1 \exists j_2 ((j_1 \rightarrow x_1) \in \sigma, x_2 \in U(x_1, \epsilon), x_2 \rightarrow j_2 \in \sigma^{-1}) \Rightarrow j_1 = j_2$  で示されるように  $j_1$  と  $j_2$  が同じ意味をもつことのチェックも  $M_2$  はする。ただし  $U(x_1, \epsilon)$  は  $x_1$  の  $\epsilon$  近傍とする。この同値性の判定機能は  $M_3 = (J, X, Z, \{\alpha\}, \sigma, \{\epsilon\})$  がもつものとする。

文字も1つの図形であり $y$ の綴りが入力されるとそれに相当するイメージが心に画かれる。外界の文字はユークリッド空間内にあって、ゆがみなく正確に感覚記憶に記憶されればそれもユークリッド空間となる。さらに短期記憶に記憶されたイメージはベクトル空間と仮定する。次に長期記憶の中にあるイメージは、意味空間と称する上位概念である特徴とか属性によって構成されている空間に、部分集合対点として写像されるものとする。

意味空間である点からある値 $\epsilon$ 以下の距離にある近傍を、その点と同値の意味とし、それから逆写像されるイメージの近傍は同値のイメージとみなす。

外界の記号列によって生じたイメージは長期記憶に記憶される。このイメージ集合を経験という。同じ長期記憶内にある意味空間の中に写像しうるか否かを確認し整理する操作は短期記憶のイメージ処理部分でなされる。経験中整理された部分集合は知識の一部である。こうして意味づけられたものは未整理のものよりも忘却しかたが少ない。知識は認知されたイメージ集合といえよう。

外界の記号列によって生じたイメージが知識と非同値であれば、意味空間内に新たにプロットして理解しようとする。これを経験学習といおう。本能的に意味空間の上位概念の存在を経験学習から自然に取得しうる能力も備えている。しかし人間は教育により経験より先に意味空間の存在を概念的に学んでいる。これを意味空間の未経験学習といおう。それは経験をともなわないから実感がない。これも知識に加えよう。

それらを数学的に表現すると、実は $J$ が経験したイメージ集合であり、 $\exists j \exists x((j \rightarrow x) \in \sigma, x = \sum_i \alpha_i z_i)$ で意味が確認された $j$ の集合 $N$ が知識である。そして $J - N$ は未確認の経験であり、 $N - J$ は未経験学習の知識である。 $J \cap N$ は意味の確認ができた経験である。

$Z$ はその人が必要とする程度に応じて学習して

次元を増加させるが、1次元の同値類も必要に応じて定められる。つまり知識豊かなことを必要とする人は分割して精度高く次元も多く意味空間を維持するわけで密な位相となる。

機械 $M_4 = (I, Y, J, A, A', X, Z, \{\alpha\}, \sigma, \{\xi_k\}, \eta)$ は学習機能をもつ。ただし $\xi_k$ は $X$ の分割を示し $K$ 細分の程度を示すサフィックスである。 $\eta$ は $Z \rightarrow ZUZ'$ で示され $Z'$ は未経験学習によって得た特徴・属性集合である。

### 3. 連合と制御の機能構造

ところで前節の $Z$ はヒルベルト空間とし、 $X$ はバナッハ空間としておこう。つまり $Z$ は直交していて、両者とも完備である。完備とは基本列が極限をもつことである。外界の入力された記号列を理解しようとしたり思索をめぐらすことで人 $I$ の中でイメージの変換を行なう。 $I \rightarrow I$ の操作をしながら生じたイメージを意味空間で確認する。 $i$ の連鎖が意味空間中のある点 $x$ に収束されれば目的を達する。その事柄を数学的に表現するには完備性を要求される。

推理とは知識・前提から新しい知識・結果に到達する過程をいう。推論は推理に含まれ内容が論理的なものをいう。計算機は推論を得意とするが人は論理を超越して直観により結果を推理できる。不完全な情報下で論理的思考が計算機を用いてできないとき人は論理の飛躍をして推理する。

論理の始点からの推論の中間結果と目的である終点からの逆推論の中間結果が論理的になかなか結びつかないときがよくある。こんなときふとしたことから推理の飛躍をみる。前者の中間結果が後者の中間結果の点の近傍におちこむときその点に引き込まれる現象の数学的表現がアトラクター概念である。

アトラクターとは位相力学[5]に於て意味づけられた吸収現象の数学的表現である。 $x \in X$ を通る時刻正の半軌道は $C^+(x) = \bigcup_{0 < t < \infty} \Pi(x, t)$ で示される。 $\Pi$ はイメージの変換にともなる意味空間内

の変換である。そして軌道の極限集合は  $L^+(x) = \bigcap_{0 \leq s < \infty} \bigcup_{s \leq t < \infty} \Pi(x, t)$  で示される。ただし——印は閉包を示している。今  $M$  をコンパクトな不変集合とし、 $M$  の漸近安定性の定義は  $M$  が正に安定で  $x \in V \Rightarrow \exists V(M) (L^+(x) \subset M)$  とする。ただし  $V$  は  $M$  の近傍である。そしてこのときの  $M$  をアトラクターという。つまり軌道の極限が  $M$  の近傍におちこめば  $M$  に引き込まれて不変になることを示している。これは常々関心のある事柄に近い外界の事柄をみるとアトラクターにより関心のあったこととして処理してしまうのは人間の通性である。認知地図を人間はもっていて機械的にその条件で処理してしまうことの数学的表現の1つともいえる。常識的な処理ともこれはいえる。

さきほど  $X$  をバナッハ空間としたが次のようなニーズがあったからである。イメージ  $i_1, i_2$  を評価してノルム  $\|i_1\|, \|i_2\|$  の大きさを比較することで人間は行動の助けとする。ノルム空間  $R$  への写像が可能なベクトル空間としてバナッハ空間を用いたのである。機械  $M_5$  を評価機能とする。  $M_5$  は  $M_5 = (I, R, \Psi)$  ただし  $\Psi$  は  $I \rightarrow R$  とする。

ベクトル空間である  $X, J, I$  は演算が可能である。したがってイメージの変換としてあげた  $I \rightarrow I$  は拡大して  $\mu: I \times I \rightarrow I$  とする。外界から生じたイメージ  $i^0$  から長期記憶の関連あるイメージ  $i^k$  が想起され  $i^0 \cdot i^k \rightarrow i$  となることもあろう。時刻の概念を入れれば  $i_0^0 \cdot i_1^k \rightarrow i_2^k, i_2^k \cdot i_3^k \rightarrow i_4^k, \dots$  となり  $i_2^k$  があるところに達すると思考は終了する。

連合・連想の機能は  $M_6 = (I, J, X, Z, \{\alpha\}, \alpha, \mathcal{A}', \Pi, V, M, \varepsilon, T, \mu)$

アソシアトロンにおける連合とは2つのイメージを同時発生（因果関係として後に利用するために）したものとして結合銘記したり、事象イメージと属性、上意概念との結合銘記をしたりすることであり、心理学的には2つのイメージの結合をいう。前者は前節の経験・知識構成上で必要であり、その結果知識ネットワーク・認知地図の作成におよぶ。そして論理演算による新しいイメージ

を想起しうるものでピアジェの群性体[6]に通じる。

前者での記憶してある経験・知識から想起したイメージ、あるいは外界からの記号列による入力によって、心の状態がつぎつぎと変遷することは、イメージの連合である組合せが行なわれていることで両者互いに関連する。それはイメージの時系列としての連続的連想を生ずる。

短期記憶内の現在のイメージによって経験・知識からの次に連想されるイメージの抽出がなされるものでその操作は思考の制御機能によってなされる。つまり関連する必要なイメージないしは上位概念（これもイメージの一種だが）を探索抽出する。

制御機能は思考プロセスを1つ1つ意識し、止まればそれを進行させたり、逆に目的を達成すれば思考停止をさせたりする。

以上は目的意識をもって連想する場合であるが、制御機能が機能せず記憶された経験からランダムに抽出するような、いわゆる夢想する場合がある。（ランダムといっても結合したものが抽出されやすい）白昼夢とは外界からの記号列と経験からのランダムな連合によるものであろう。

制御機能が正常に働いているときは、得た経験はただちに目的意識にもとづいて知識・意味空間に照らして認知知識と確認する。さらにイメージを評価して適切な行動をとる。

しかし人間は昼の多忙のときはすべてを納得して行動してはいない。特に本能的に心にひっかかる経験や感情的に許せない経験をもったままで夜床につくことがある。そんなとき夢の中で知識化し納得しようと試みる。夢の効用はここにあり、それができないときは精神病となるに違いない。こんな夢は潜在的に問題意識をもつことによって制御機能が正常に動作したものと著者は解釈する。

制御機能構造は前記の認識・学習にも動作していて、すべての思考機能の上位の階層である。

K. E. Boulding [7] は、「意識したイメージをそなえている最も簡単な機械すら作れない。このような機械を作りあげたときには、ほんとうにわれわれは、新しい型の知恵を創り出すことになるであろう。」といているが、この制御機能を人工化すればそれに1歩近づくことができよう。

制御機能をもつ機械  $M_7$  は  $M_7 = (S, \Sigma, \lambda, S_0, S_f, \Omega)$ ,  $S$  は全体の状態,  $\Sigma$  はイメージの評価値,  $\lambda$  は  $\lambda: S \times Z \rightarrow S$ ,  $S_0$  は初期状態,  $S_f$  は終局状態,  $\Omega$  は各機械への制御出力である。

$S$  は制御目的が認識か学習かあるいは次に述べる創造かによって異なる。もちろんそれにより全体システムに  $M_1 \sim M_6$  が適当に選択され配列される。

#### 4. 創造の機能構造

前記の機械をあげると,  $M_1$ : 外界の記号列入力処理の機能  $M_2$ : 意味づけの機能  $M_3$ : 同値性の判定機能  $M_4$ : 学習機能  $M_5$ : 評価機能  $M_6$ : 連合連想機能  $M_7$ : 制御機能 であった。

そこでこれらの機能を再構成すると創造の機能とすることができる。なぜならば創造は経験あるいは外界からのイメージの組合せによって生ずるものと考えられる。つまり連合によってえられたイメージが新しいと判断され、かつ価値あると判断されればイメージが創造されたことになると考えられるからである。

図2のブロックダイアグラムは創造に必要な機能の構造である。そしてこれはブレンストーミングの思考プロセス[8]にも一致している。前半は発想展開段階であり、後半は論理的な推論・評価の収束段階である。それらは連想の  $T_0$  型と From 型[9]に相当する。ここで型とは1つのイメージから多くのイメージを連想することであり、これによって議論が発散しがちになるが面白い話題が提供される。これに反し  $F_0$  型は多くのイメージを1つにまとめようとするもので、議論が収束するが発展性がなくてつまらない。

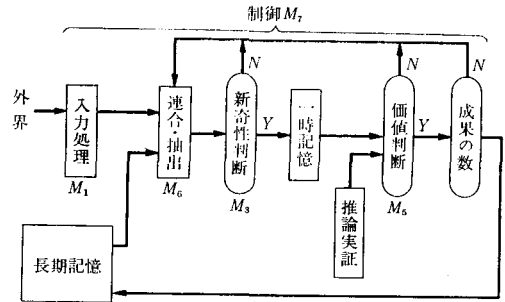


図2 創造の機能構造

図2の大部分が人工化可能でComputer Based Design のよりどころ[10]になっている。

芸術分野の創造(創作という)はひらめきのような発想と主観的な評価で直観が大きく寄与しているので図2以上に細かいブロックダイアグラムは作成しにくい。これに反して日常の仕事の計画、工業製品の設計における創造は問題解決の段階(概略のアイデア・工程手順、材料の組合せ、技法の組合せ、等々)に応じて詳細なブロックが作られる。その中には論理的制約(環境的、自然科学的、法的)が大きく左右することも多い。発想の後に推論をすると前述したが論理的追究の末に発想の飛躍が効を奏することも少なくなく、評価も論理的・実証的検証を行なわねばならない。いずれにしても設計・計画の分野では、発想、論理、発想…とくり返されてはじめて成功する。

他方発想には非常識とも目される思考のゆらぎが不可欠であり、制御機能のゆるみにより非常識的イメージの抽出をして前記のアトラクターという常識的なプロトタイプに引き込まれない工夫や、非論理的推理、夢想的理想などが効果がある。数学モデルとしてはファジー化によることも表現可能である。ファジー知識データベースよりのゆらぎのある人工長期記憶は創造の支援システムとして人間の発想に強力なものとなる。

他方位相空間でのイメージの組合せの中で演算的思考があれば位相群、位相体として表現される。2つの創造システム[11]の経験の和集合が位相群をなし、1つのシステムのそれが部分位相群

をなすとき、そのシステム単独ではその経験・知識の閉包のイメージしか生ぜず新規性に欠ける。しかし他のシステムからの入力があれば連合による新しい（そのシステムにとって）イメージが生ずることになる。評価を初めから意識してイメージの連合を組合せ最適化理論にもとづく探索は有効な手段である。創造は“新しさ”を不可欠とする。新しいとは主体・時刻によって左右され、誰にとって何時の時点で新しいと言えるのが問題となる。つまり新しさは主体が決まれば時刻の経過性と非同値性で表現される。 $(\exists i_t \forall i(i_t \neq i, i \in J_1, \dots, i_{t-1})) \wedge (\exists i_t (\|i_t\| > \theta))$  で創造の条件が示される。ただし  $J_1, \dots, i_{t-1}$  は時刻 1 から  $t-1$  までのイメージ集合であり、後から生ずるイメージ  $i_t$  はそれとは非同値でなくてはならない。 $\theta$  は価値の閾値である。

$V(M)$  の近傍の半径  $\varepsilon$  を増大させ非常識的な  $M$  に引き込むアトラクターモデルも創造に有効である。

また、知識の学習・分析に相当する意味空間を再分割することで、新しく非同値なものを増加させることができ創造が結果としてなされることもある。これは新しさの再発見とでもいえよう。自然言語の同値の語・文は何かを研究することはこの事柄に通じる。ここでは単に単語と単語をランダムに組合せて新しい意味づけをした。

## 5. おわりに

紙面の都合上数学モデルの一端しか示しえなかったが、創造の思考過程を機能面からとらえてみた一案である。もとよりわれわれの目的が人間の脳の研究ではなく、創造の人工化であるからマン・マシン化したときに結果として創造成果があれば目的を達するものである。その意味でモデルの良否は Computer Based Design System の実現にかかっている。パターン認識の理論と現実とのギャップが間もなく埋まるように、このような創造モデルを現実のものとすることも可能であ

り、発想の動機にしたりするような手段的なものだけではなく、ある条件下で人が同値な意味をもつ語・文はいかなるものかを調べ、群化し、知識の分割とのかかわりあいをさぐるようとするものである。

なお、脳内の位相空間がどのようなものか実証しがい現在の、説明しやすいという立場から種々のベクトル空間を仮定した。しかし単純な色彩の混色ぐらいならあてはまるが一般の概念処理にはベクトル空間はシビアすぎると考える。せめて有界なハウスドルフ空間位でないを実証できないであろう。それらの実証は後日の部会の研究とする。

## 参考文献

- [1] 恩田 彰：創造性の基礎理論，明治図書（1971）
- [2] L. E. Bourne, Jr. 他：Cognitive Processes, Prentice-Hall, (1979) p.2~27
- [3] K. Levin 著 猪股訳：社会科学における場の理論，誠信書房，（昭49.2）
- [4] 三重野，他：位相空間における1つのオートマトン，電子通信学会A L76-22（1976.10）
- [5] 三重野，他：アトラクター機能をもつオートマトンとその応用，電子通信学会 A L76-60（1976.2）
- [6] 波多野誼余夫，他：思考の論理モデル，群性体，群，東，ピアジェの認識心理学，波多野著，国土社（1969.2）p.211~251
- [7] K. E. ボールディング著 大川信明訳：ザ・イメージ，誠信書房（昭54.10）p.56
- [8] 三重野：情報システムの設計，ダイヤモンド社，（昭44.5）p.114~129
- [9] 清水他：連想の機構，日本心理学会，（昭41）p.20~21
- [10] 三重野：創造性を有する Computer Based Design のための知識データベース，電子通信学会 A L80-56（1980.12）
- [11] 三重野：互いに情報交換することによって開発される2つの知識のオートマトンモデル，電子通信学会A L80-56（1979）