

発想支援システムの効果を議論するための一仮説

堀 浩 一†

本論文は、発想支援システムの効果を議論するための一仮説を与える。これまでに、創造的な概念形成を支援するための発想支援システムが作成されてきた。しかし、それらのシステムがどのような原理でどのような側面の支援を行うことができるかを説明する理論は存在しなかった。本論文は、そのような理論を作成するための出発点としてひとつの仮説を与える。この仮説は、発想支援の原理の一部を説明しようとするものであるが、この仮説により、将来の発想支援システム構築のための示唆が得られる。

A Hypothesis for Discussing the Effect of the Systems for Aiding Creative Concept Formation

KOICHI HORI†

This paper gives a hypothesis for discussing the effect of the systems for aiding creative concept formation. Several researchers have built systems for aiding creative concept formation, but they have not had theoretical background. The hypothesis presented in this paper explains why and how those systems can work effectively and moreover gives some suggestions on what are necessary for improving the systems.

1. ま え が き

本論文は、発想支援システム*の効果を議論するための理論作成の出発点として、ひとつの仮説を与えるものである。

近年、人間の創造的活動をコンピュータにより支援することを目的とした、さまざまな研究が行われるようになってきている。その背景には、人工知能の研究やメディア技術の進展により、創造性に関わるような領域にもコンピュータが進出しうることになったことや、あるいはまた、独創性のあふれる製品を生み出すことが企業の生存を左右することが認識されるようになり、創造性を支援するシステムへの要求が高まってきたことなどがある。創造活動というのは、芸術から技術、また個人から社会までを包含する複雑な活動であるので、コンピュータによる支援のあり方もきわめて多様である。本稿では、その中でも、製品開発や科学的研究における新しい概念の形成を支援することを目的としている発想支援システムをとりあげる。

もともと日本では、KJ 法⁸⁾をはじめとする発想法の研究が活発に行われてきており、また、それらの成果が実践にうつされてもきた。最近では、我が国のみならず世界中で、人工知能の技術やメディア技術を生かした発想支援システムの研究が数多く行われるようになってきている。それらは、杉山、折原、國藤などによる優れた解説記事^{15), 11), 9)}で広範に紹介されているとおりである。

ところが、それらの従来の発想支援システムの研究のほとんどは、残念ながら、明確な理論的背景をもつことなく、行われてきた。これは、創造や発想というものがいかなる過程であるかが十分に解明されていない現在においては仕方のないことかもしれない。ともかく役に立ちそうな道具を構築してみて、実際に役に立つかどうかを実証的に調べようとしている段階であるといってよいであろう。しかしながら、今後、さまざまな発想支援システムを構築し、実験を行っていくためには、発想のどのような側面を支援し、またどのような支援の効果をねらうのかを議論するための理論的枠組みが存在することが望ましい。筆者らによる研究^{3), 5), 12)~14), 16), 17)}をはじめとして、発想支援システムの利用の実験結果も集積されてきたので、それが可能になってきたと考えられる。本論文は、そのような理論的枠組みの構築を念頭において、ひとつの試案を提

† 東京大学工学部先端学際工学専攻
Interdisciplinary Course on Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

* 発想の英訳として何がふさわしいかは、難問とされている。本論文のタイトルでは、本論文で扱う内容にあわせて、creative concept formation とした。

案するものである。

詳細は本文中で述べるが、本論文で扱う発想支援とは、今まで存在しなかったような概念を新しく作成することを支援することを意味するものとする。また、概念とは、自然言語であらわされるひとつの語句と、メンタルワールド内のさまざまな情報との結合であるとしておく。

従来から、人工知能の研究においては、機械学習の枠の中で、概念形成に関するさまざまな研究が行われてきた。しかしながら、それらの研究をそのまま発想支援システム構築のための理論的枠組みとして援用することは困難である。その主たる理由は、それらの研究が取り扱っている対象が、特定の形式的言語の枠の中に限定されていることである。

いろいろな発想支援システムを比較するための、ひとつの枠組みとしては、Young の考えた三つのレベル分けがある¹⁹⁾。また、杉山らは、発想・創造支援の研究開発の分類やアイデア発想法の分類などを与えている¹⁰⁾。本論文で与えるモデルは、これらの従来の分類の枠組みの議論の一部を含む形で、もっと発想のメカニズムに踏み込んだ議論をめざしたものである。

筆者らは、すでに、発想のはまりこみとはまりこみからの脱出に関する定量的なモデルを作成し、発想支援システムがコントロールすべき発想プロセスのパラメタを与えた⁴⁾が、このモデルは発想のはまりこみしか説明できなかった。本論文で与える仮説では、発想支援の刺激をもっと詳細に分析し、概念の中身に関わる刺激、発想のプロセスに関わる刺激の2種類の刺激を区別することを提案し、発想支援システムの役割を人間の概念形成過程との関わりにおいて明確にすることをめざす。これにより発想支援システムの効果を議論するためのひとつの根拠を与えることが可能となり、また、将来の発想支援システムの構築のための指針が得られると期待している。発想という作業は支援システムがなくても人間は行えるのに何故支援システムを作成するのか、そして支援システムがあると何が有り難いのか、などといった議論は工学的視点から当然なされていなければならないのに、従来は十分になされていなかった。本論文で与える仮説は、そのような議論を明確に行っていくための、ひとつの枠組みとなりえよう。

以下、まず第2章では、発想支援システムに支援されながら概念を形成する過程について、これまでに明らかにになっていることをまとめる。これをふまえて、

第3章では、概念の形成過程のモデルを与え、発想支援システムの果たす役割について、できるだけ理論的な仮説を与える。第4章では、この仮説に基づいて、将来の発想支援システムを構築するための示唆を与える。第5章はむすびである。

2. 概念の形成過程と発想支援システム

概念とは何かという問題は、哲学者や心理学者が古くから問題にしてきた大きな問題であり、一口でそれを述べることは容易ではないが、ここでは、考慮の対象を工学的分野における新製品開発のような状況に限って考えることにする。たとえば、自動車の新製品の開発において、「地球に優しい車」を開発のターゲットにすることになったとすれば、この「地球に優しい車」というのは、ひとつの新しい概念ということになろう。この時、ここで、「地球に優しい車」ということばそのものが概念なのではなく、その新しい車の形や、構造や、機能や、性質のいくつかの側面と、「地球に優しい車」ということばの結合の総体を、概念と考えるのが自然であろう。

創造活動に関するいくつかの分析が明らかにしているように、たとえば「地球に優しい車」という概念が形成されるまでには、大きく言ってふたつの過程が存在する。まず最初の過程においては、「地球に優しい車」ということばが存在しないところから出発する。そこでは、さまざまな画像の断片や、単語や文章の断片などを集め、つなぎあわせ、捨てる、という作業が繰り返される。その作業の中から、いくつかの概念が浮かびあがってくる。次の過程としては、その概念を詳細に形づくっていくことになる。たとえば、「地球に優しい車」のエンジンはどのようなエンジンでなければならないか、スピードメータはどのようなメータでなければならないか、などということが決められなければならないであろう。

前者のようにいろいろな可能解の空間を広げながら解をさがしていく過程は発散的思考、後者のように的をしぼって解を定めていく過程は収束的思考と呼ばれることが多い⁹⁾。

上記のふたつの過程は独立ではなく相互に関係しており、またそれらのふたつの過程は実際には入り組んで現れるので、発想支援システムは、これらのふたつの過程の両方を支援する必要がある。これらの過程の支援をめざして発想支援システムが構築されてきたが、これまでの研究を通して、定性的に明らかになっ

ていることは次のようなことである⁵⁾。

- 人は、新しい概念を形成しようとしても、しばしば行き詰まり、何もできない状態になる。
- ことばを空間に並べて表示すると、ことばとことばの間の隙間の空間が、発想促進に有効な刺激となることがある。
- 別の領域のことばが刺激となって発想が促進されることがある。
- 概念の形成には、形成の方向のようなものがあった、ひとつの概念形成の流れにはまってしまうと、そこから脱出できなくなる。つくりかけの概念をいったん壊してみると、ひとつの方向から脱出し、新しい視点から同じ世界を見直して、新しい概念を形成できることがある。

これらの現象には、いろいろな要素が混じっていると考えられるが、以下、このような現象をできるだけ発想のメカニズムに踏み込んで説明するためのモデルを作成し、発想支援システムの果たす役割を説明することを試みる。

3. 概念形成過程における発想支援の役割

3.1 概念形成過程のモデル

概念が人間の頭の中でどのように蓄えられ、利用されるかについては、これまでに、主として認知科学の領域において、さまざまな研究がなされてきた。たとえば、代表的なものとして、Johnson-Laird らによる研究^{6),7)}などを挙げることができよう。ここでは、発想支援システムからの外部刺激が概念形成にどのような影響を与えるかを説明することを目標にして、概念形成過程のモデルをひとつ考える。このモデルは、ひとつの作業仮説であり、心理学的実在性を主張できる段階には至っていない。認知科学でこれまでにほぼ認められていることを援用して、発想支援システムの役割を説明できるようなモデルをひとつ仮定してみようとするものである。その正当性は、発想支援システムの使用においてみられる現象との一致により検証されることになり、その有用性は、今後の発想支援システム構築の設計指針を与えることにより主張されることになる。

ここで、ひとつの概念は、いくつかの概念要素が集まって構成されるというモデルを考えよう。これには異論もありうるが、多くの認知科学研究が採用してきた考えであり¹⁾、少なくとも、発想支援システムが対象とするような概念形成においては、妥当な仮説の出

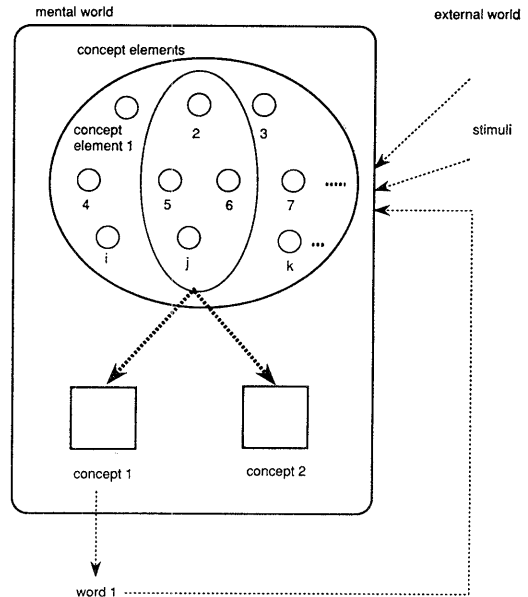


図1 概念形成過程のモデル
Fig. 1 A model of concept formation process.

発点であると思われる。すなわち、たとえば、「地球環境に優しい車」という概念が形成されるにあたっては、その概念を構成する概念要素が離合集散を繰り返すということを仮定しようというものである。ただし、概念要素の集合は、固定的なものとは限らない。それらは、人間と外界とのやりとりの中でダイナミックに構成されるものであってよい。このモデルを図1に示す。

例を考えながら、図1に示したモデルの数式化を試みよう。今、新しい自動車の概念を形成しようとしているとする。最近の自動車会社においては、デザイナーやマーケティング担当者や車体の開発担当者がチームを組んで、新しい概念を形成する作業を行うが、それらの担当者の頭の中には、まだ形をもたない概念の要素がたくさん浮かんでいるであろう。それらは、意識にのぼっているかもしれないしのぼっていないかもしれない。そのような概念要素の実体が何であるかは、認知科学者が徐々に明らかにしつつあるところであるが¹⁾、たとえば、イメージの断片、ことばの断片などを想定すればよい。それらの概念要素に1, 2, 3 という番号をつけよう。今、概念形成の過程で、概念要素1と概念要素2と概念要素3が、強く意識されたとしよう。これを概念要素1, 2, 3の活性度があがったということにし、それぞれの活性度を $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ で表すことにする。すると、この組み合わせにより、

たとえば、「地球に優しい車」という概念—この概念の活性度を q_1 としよう—,あるいは「人に優しい車」という概念—この概念の活性度を q_2 としよう—が次第に活性化されるかもしれない。これは,

$$\dot{q}_1 = g_{11}\alpha_1 + g_{21}\alpha_2 + g_{31}\alpha_3$$

$$\dot{q}_2 = g_{12}\alpha_1 + g_{22}\alpha_2 + g_{32}\alpha_3$$

と表せるであろう。ただし、ここで、概念の活性度があがるというのは、いくつかの概念要素の組み合わせから構成されるであろう概念の可能性への注意が高まったということであるとする。

さらに、 q_1 が変化することにより、他の要素の活性度、たとえば α_5 が、変化するかもしれない。これは,

$$\dot{\alpha}_5 = h_{15}q_1$$

のように書けよう。

これらをまとめると,

$$\dot{q}_\lambda = -k_\lambda q_\lambda + \sum_\mu g_{\mu\lambda} \alpha_\mu + F_\lambda$$

$$\dot{\alpha}_\mu = -\gamma \alpha_\mu + \sum_\lambda h_{\lambda\mu} q_\lambda + \Gamma_\mu$$

と書くことができる。ただし、ここで、 $-k_\lambda q_\lambda$ および $-\gamma \alpha_\mu$ は自然な減衰を表すための項、 F_λ および Γ_μ は外部からの強制的活性化を考えるための項である。この方程式は、自己組織化に関する方程式としてよく知られているものにほかならない²⁾。

ここで、 $\dot{q}_1$ は、 q_1 の時間微分であるが、なぜ、 q_1 の変化を時間微分でモデル化してよいのか、また、活性度 q_1 をどうやって測定するのか、そもそも概念の活性度というような量が頭の中に存在するのか、さらには、 q_1 の変化が本当にそのような方程式に従って頭のなかで起こっているのか、などという疑問に正確に答えることができないければ、通常の自然科学的な意味での理論とはいえないであろう。しかし、残念ながら、現段階では、これらの疑問に正確に答えることはできない。発想のメカニズムに関する制御された実験が容易ではないからである。頭の中にだんだん浮かんできた概念の活性度を量としてとらえて測るという実験はなされていないし、それが可能かどうかはわからない。ただし、上のモデル化は、少なくとも、Finke ら¹⁾による実験結果¹⁾と矛盾はしていない。また、筆者らによる実験¹³⁾においても、被験者が車のいろいろな銘柄を空間上で配置する試行錯誤を行ううちに、車の属性の組み合わせがいろいろと変化して、だんだんはっきりとなんらかの概念が被験者の頭の中に浮かんでくるといふ現象が観察されており、上の式は、その過程をそ

のまま素直に数式化してみたものといってよい。

実験による正確な裏付けがないものの、このような仮説を設定してみることは、少なくとも工学的には有用であると考えられる。なぜならば、仮にこのような方程式であらわされる系が頭の中で成立していることを仮定した時に予測されることの一部と実際の現象との一致が確認されたならば、その他の予測が、今後のシステム作成にとって重要な示唆を与えるかもしれないからである。本論文で以下に述べることは、まさにその点である。

ここでもうひとつ注意しておかなければならないことは、概念要素の集合も概念の集合も g , h などの係数も未知であるということである。もし、発想過程のシミュレーションをしたいのであれば、それらを予め与えてやらなければならないが、それは、これから生成されたり変化したりするかもしれないものを予め与えることになり、不可能なこととなる。しかし、発想の支援のための説明を行うためには、概念要素の集合、概念の集合、および g , h などの係数が未知のまま、このような方程式の構造を仮定するだけで、十分にいろいろなことがわかる。たとえば、概念1が活性化されている人に対して、どういう刺激を発想支援システムが与えれば、誰も知らない未知の概念2も活性化することができるかなどということが議論できることになる。次節にそれを詳細に述べる。

3.2 プロセス刺激と内容刺激

発想支援システムにできることは、一口で言うと、 g , h , F , Γ などのパラメータを変化させることでであると説明できそうである。では、どれをどう変化させると何が起こると考えられるであろうか。ここでは、2章で挙げた現象との一致を確認しながら、数学的に調べてみる。それを実際に、発想支援システムとして、どう実現できるかを、次節と次章で考える。

まず、人は、新しい概念を形成しようとしても、しばしば行き詰まり、何もできない状態になる、あるいはまた、概念の形成には、形成の方向のようなものがあって、ひとつの概念形成の流れにはまってしまうと、そこから脱出できなくなる、という現象をとりあげてみる。

今、概念要素 $1, 2, \dots, N$ から、概念1を形成することも概念2を形成することも可能であるという場合を考えてみよう。これは、ちょうど Finke らが、被験者に構成要素を与えておいて新概念を構成させる実験を行ったのと同様の状況であるが¹⁾、新しい概念を

形成するひとつの基本ステップであると考えることができる*。複雑な概念は、この基本ステップを繰り返すことにより形成されると考えてよいであろう。さて、ここでまず調べるのは、ある人（あるいはあるグループ）が、概念要素 $1, 2, \dots, N$ から、概念 1 も概念 2 も構成する能力をもっている場合である。（ここで、その能力がないというのは、 $g_{\mu 1}, g_{\mu 2}, h_{1\mu}, h_{2\mu}$ のすべてが 0 であることと考えることができ、その場合は、 q_1 も q_2 も 0 のままである。）この時、何らかのきっかけがない限り、人間は、概念 1 か概念 2 のどちらかだけを形成して、そこにはまりこんでしまい、他方の概念を形成することができないという現象が観察される⁴⁾ わけだが、これは、 $g_{\mu\lambda}$ が q_λ の関数であるとモデル化することにより、説明できる。すなわち、たとえば、

$$\dot{q}_1 = -k_1 q_1 + \sum_{\mu=1}^N (a q_1)_{\alpha\mu} + F_1$$

$$\dot{q}_2 = -k_2 q_2 + \sum_{\mu=1}^N (a q_2)_{\alpha\mu} + F_2$$

$$\dot{\alpha}_\mu = -\gamma \alpha_\mu + \sum_{\lambda=1}^2 h_{\lambda\mu} q_\lambda + \Gamma_\mu$$

（ただし、 a は定数）

がその人の頭の中で成立している時、この連立微分方程式を付録に示すようにシナジェティクスの枠組みを利用して解くと²⁾、確かに、 q_1 または q_2 のどちらか一方は 0 になり、どちらか一方は増大しつづける。ある概念にはまりこんでしまって抜けられない人は、このような連立方程式が頭の中で成立しているのだとモデル化できそうである。

では、発想支援システムの刺激により、どのパラメタがどう変わると、「はまりこみ」がなくなるであろうか。

式を見ると明らかだが、「はまりこみ」が起きるのは、 q_1 が大きくなればなるほどますます q_1 が大きくなるという、正のフィードバックがあるからにはほかならない。ひとつの概念にはまりこまずに、他の概念も共存できるようにするためには、ある人の頭の中で、 $g_{\mu\lambda}$ が $a q_\lambda$ であったのを、

$$g_{\mu\lambda} = b \quad (b \text{ は定数})$$

となるように、発想支援システムが働きかけて変更できればよい。すなわち、正の帰還を消し、「はまりこみ」のプロセスから、「複数概念共存」のプロセスに発

想プロセスを変更してやるということになる。実際、「はまりこみやすい人」および「複数の概念の間を渡り歩いてばかりで、いつまでもはまらない人」は、研究室の仲間を見渡しても存在する。発想支援システムは、はまりこんで抜けられなくなった人には、複数概念共存モードに変更するための刺激を、渡り歩いてばかりいる人には、はまりこむための刺激を、それぞれ適切な時に、適切な方法で、与えることができるべきであろう。その具体的方法は次節以降で考察する。

さて、ここまでの議論は、概念の中身に関係ない。すなわち、発想支援システムとしては、もし $g_{\mu\lambda}$ を変えることができれば、対象領域に依存せずに、発想のプロセスを変更できる、ということになる。そのような、発想のプロセスを変えるための、発想支援システムからの刺激をプロセス刺激と呼ぶことにしたい。これに対して、対象領域に関わる、内容刺激と呼ぶべきものも考えることができる。

上では、ある人が概念 1 と概念 2 を形成する能力をもっている時に、発想支援システムからの刺激により、はまりこみモードにしたり、複数概念共存モードにしたりできるであろう、ということ考えた。今度は、ことばを空間に並べて表示すると、ことばとことばの間の隙間の空間が、発想促進に有効な刺激となったり、別の領域のことばが刺激となって発想が促進されることがある、などという現象をとりあげてみよう。すなわち、概念 1 と概念 2 しか思いつけなかった人が、その人だけでは思いつけない概念 3 も、別の人や発想支援システムの援助があれば発想することができる、という状況のモデル化を考えることになる。

まず、内容刺激として考えられるのは、ある人の頭の中で 0 であった $g_{\mu\lambda}$ を 0 でなくするような刺激である。たとえば、発想支援システムが、概念要素 $1, 2, \dots, N$ から、概念 1 と概念 2 だけでなく、概念 3 も構成しているのではないかという推論をしたならば、ユーザの頭の中の $g_{\mu 3} (\mu=1, 2, \dots, N)$ が 0 であったのを、正の数に変更するような刺激を与えればよい。ことばとことばの間の隙間の空間や別の領域のことばなどという刺激はこれに相当すると考えられるが、詳しくは次節で考察する。あるいは、 F_3 を大きくして、概念 3 をむりやり活性化するという方法もある。逆に、概念 1 を思い付くには思い付いたけれども、よく考えるとあまり良い概念ではないというように、負の評価をフィードバックするには、 F_1 を負の値にして、概念 1 の活性度を下げれば良い。これらについても、それぞれが、

* 同一の要素の集合から別の概念が生成されるのは、要素の組み合わせ方の構造が異なるためである。その構造そのものは、本論文のモデルでは扱っていない。

実際にどういう刺激であるかは、次節以降で考える。

あるいはまた、概念1という概念を考えついた時に、その構成要素に抜けがあるかもしれないが、その抜けている構成要素を活性化するためには、 $h_{1\mu}$ を変更してやればよい、ということになる。

さらにまた、 Γ_{μ} を変更すれば、概念要素の活性度を強制的に変更することができる。

以上をまとめると、次のようになる。

(1) プロセス刺激 形成される概念の候補がひとつにはまりこんだり、複数の間を渡り歩いたりするように、発想のプロセスを変更する。

- $g_{\mu\lambda}$ の中の正帰還の項を変更する。

(2) 内容刺激 形成される概念を変更する。

- 0だった $g_{\mu\lambda}$ を0でなくする。
- F_{λ} を変更する。
- 0だった $h_{\lambda\mu}$ を0でなくする。
- Γ_{μ} を変更する。

3.3 従来の発想支援システムの位置づけ

従来の発想支援システムは、前節で調べたいろいろな種類の刺激のどれとどれを実現しているであろうか。ここでは、Young の分類¹⁹⁾に沿って考察してみる。

Young の分類した第1種の発想支援システムは、秘書レベルと呼ばれるものである。これは、単に紙や黒板や机のかわりを計算機の上に実現するもので、現在のグループウェアの多くは、ここに属する。これらがどのような種類の発想支援の刺激を与えることができるかは、単に黒板のかわりである限りは、完全にユーザの使用法に依存している。

しかし、単に黒板や机のかわりではあっても、その上で行う仕事のやりかたのガイドラインを指示するものもある。たとえば、ブレインストーミングを行うシステムにおいては、「他人の提出したアイデアを批判してはならない。批判はあとまわしにしてどんどんアイデアを提出せよ。」という指示がなされる場面がある。この指示は、批判というものがある概念へ注意を集中する正のフィードバックであると考え、発想のはまりこみモードを避け、複数概念共存モードに固定するためのひとつのプロセス刺激であると解釈することができる。KJ法においてなされる「心を無にしてデータに語らしめよ」という指示も、概念活性の正のフィードバックをなくすプロセス刺激であると解釈できよう。

第2種の発想支援システムは、枠組み一パラダイム

レベルと呼ばれるものである。これは、枠組みを提供して、その枠の中で概念を形成させようとするものである。枠の中にユーザが並べていくものを概念要素と考え、枠の中に並べることににより、全体としてひとつの概念が形成されると考えるならば、これは、 $g_{\mu\lambda}$ の集合をシステムが提供するものと考えてよい。すなわち、形成すべき概念の中身をガイドする内容刺激をシステムが与えていることになる。 $g_{\mu\lambda}$ をあらかじめ与えるということは、システムのほうで、概念要素と概念にどのようなものが存在するかを予想しないとできないことである。従来のシステムにおいては、適用領域と適用目的を限定することにより、これを実現している。

第3種の発想支援システムは、生成レベルと呼ばれるものである。これは、発想支援システムのほうで、ユーザが思い付かないような概念を生成して、提供しようというものである。Young の Metaphor Machine¹⁹⁾ や折原の知恵の泉¹⁰⁾がこれに該当するとされている。これらのシステムは、ある特定の F_{λ} を大きくするものであるといつてよい。すなわち、システムのほうが、「こんな概念はいかが」と直接的に提案するのである。これらのシステムは、結果の概念だけでなく、概念の要素もうまく提案できれば、 F_{λ} だけでなく、 $g_{\mu\lambda}$ や $h_{\lambda\mu}$ も変更することができよう。堀の AA 1⁵⁾ もこのレベルに分類されることがある¹¹⁾ が、AA 1 は、 $g_{\mu\lambda}$ の新提案をシステムが提供するものであるといえる。すなわち、AA 1 はユーザによって入力された概念の要素を一種の多次元尺度構成法により空間配置するが、これは、同じ要素の集合から別の概念が構成しうることを示唆する刺激を与えることになっている。第2種のレベルにおける $g_{\mu\lambda}$ の刺激はあらかじめシステム製作者が予想して固定的に与えるものだが、AA 1 における $g_{\mu\lambda}$ の刺激は、ユーザの与える情報をもとにシステムが生成するものである⁵⁾。たとえば、図2のような空間をシステムが提案すると、ユーザは、空間中に浮かんだ単語のまわりの概念要素を空白の中に読みとり、それらが構成する新しい概念を思いつくことができる。すなわち、単語と単語の間の空白として、システムは、 $g_{\mu\lambda}$ を生成して提供しているわけである。その詳細なメカニズムは、文献5)に述べられている。

4. 今後の発想支援システムへの示唆

前章までの分析により、未だ試みられていない発想

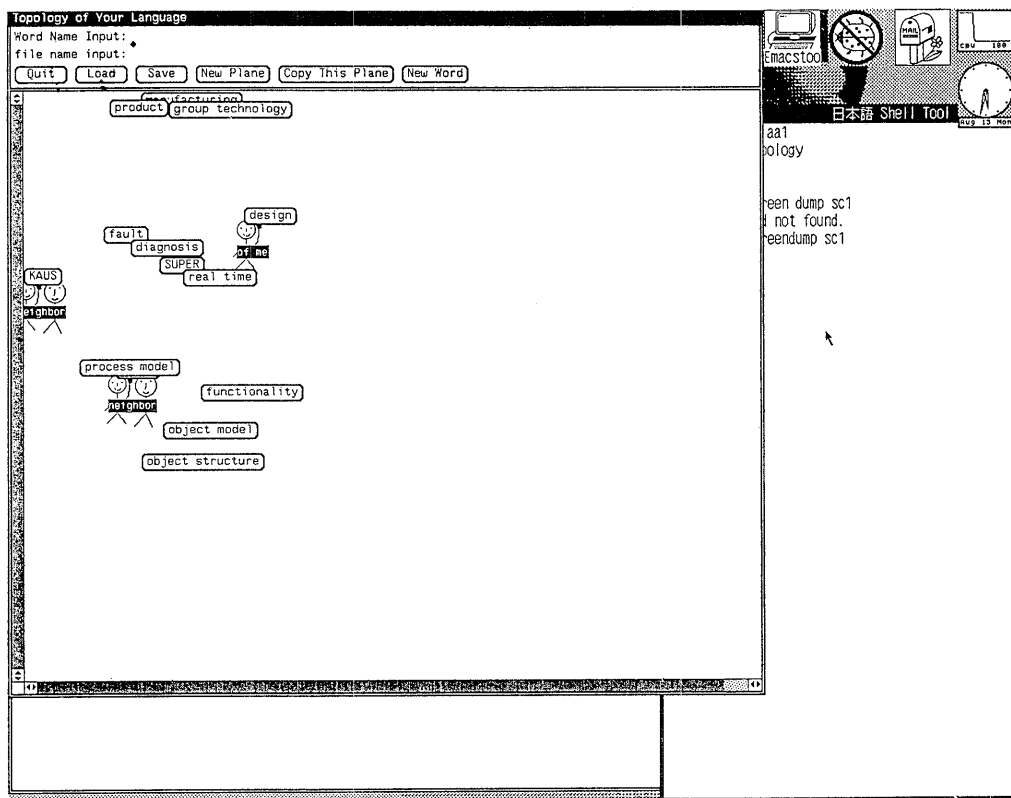


図 2 発想支援システム AA1 の使用例

Fig. 2 An example of the usage of the system AA1 that aids creative concept formation.

支援法が存在することが示唆される。

まず、全体的な問題として、従来は、発散的思考を支援するシステムと収束的思考を支援するシステムを単純に区別して論じることが多かったが、本論文のモデル化で考えると、もう少し複雑なシステムを考える必要があることがわかる。すなわち、「複数概念共存モード」が発散的思考に、「はまりこみモード」が収束的思考に、ほぼ対応すると考えられるが、発想支援システムは、この両者をユーザがいたりきたりできるように、適切に示唆できる必要があろう。すなわち、はまりこんで抜けられなくなっているユーザには、複数概念共存モードへの変更刺激を、渡り歩いてばかりで解が定まらないユーザには、はまりこみモードへの変更刺激を与えられるべきである。残念ながら、そのような発想支援システムは、まだ存在しない。これを実現するためには、ユーザの思考プロセスをモニタするような機構を考える必要があろう。また、既存の発想支援システムは、「この方法で発想しなさい」、というように、発想法を押しつけるタイプのものが多い

が、ふだんは控えめにユーザの思考をモニタしているだけで、いざという時だけ支援を行うというシステムも考える必要がある。

はまりこみモードと複数概念共存モードをコントロールするためのプロセス刺激をどうすれば効果的に与えることができるかという問題は、今後の興味深い研究課題である。前章で述べたように、従来のシステムでは、ことばによる直接の指示で、これが実現されているが、概念形成作業の画面表示の工夫などにより、間接的に、パラメタ $g_{\mu\lambda}$ 中の正帰還の項を変更できると面白い。ユーザの考えることを正帰還させないように、ユーザの入力を片っ端からかき消してしまうシステムなどというのを実験してみる必要があるかもしれない。どういう表示系がどういうプロセス刺激を与えうるかについて、今後、認知科学的研究を積み重ねる必要がある。

内容刺激についても、多くの未知の問題が残されている。いろいろなパラメタについて、順に見てみよう。

$g_{\mu\lambda}$ を変更する内容刺激であるが、 μ の集合と λ の集合を、誰がどのように与えるかによって、さまざまな発想支援システムを考えることができる。前章で見たように、既存のシステムでは、システム製作者が μ と λ の集合をあらかじめ予想している場合が多い。AA1 の場合は、ユーザが与える概念要素を空間配置することにより、新しい $g_{\mu\lambda}$ をシステムが提供した。このほかにも、たとえばニューラルネットワークなどを用いて、ユーザの与える概念要素間に新しい組み合わせがありうることをシステムが示唆することなども可能かもしれない。ユーザの与える概念要素だけでなく、システムが、大規模知識ベースから概念要素を拾い集めてきて、 $g_{\mu\lambda}$ とともに提供する、というようなものも考えられるが、「知恵の泉」などの少数の試みを除けば、まだ本格的な試みはなされていない。

F_{λ} の変更については、「知恵の泉」などで、新概念を提案するシステム、というのが試みられている。しかし、ユーザやシステムが考え出した概念を評価して、まずい概念の活性度を下げるといったような、負の刺激については、まだ、試みられていない。

減衰定数 k については、これまでのシステムでは何も考えられていなかったが、長期にわたって利用するようなシステムを考える場合には、忘れるべきものは早く忘れさせるというような刺激も考えなければいけないかもしれない。

$h_{\lambda\mu}$, Γ_{μ} などについても、以上と同様のことがいえる。ある概念を考える時に、その中で考えるべき概念要素をいかにして活性化（あるいは抑制）するかについても、あまり実験がなされていない。たとえば、ある概念 λ に対して、その要素となりうるものを、大規模知識ベースから探してきて、 $h_{\lambda\mu}$ の刺激を作るというようなことが考えられるが、まだ試みられていない。

さて、以上、いろいろな未知の刺激を考えだが、ここで、本論文のモデルにより明らかとなる重要な問題がひとつある。それは、刺激の組み合わせと、刺激の与え方のコントロールの問題である。前章で提案したモデルを用いてももう少し詳細に分析してみると、場合によっては、発想支援システムの与える刺激が無駄になってしまうことが予測される。たとえば、定性的に言うと、 $g_{\mu\lambda}$ の中の正帰還の項が強いユーザは、ひとつの概念にはまりこむとなかなか抜けられないので、 F_{λ} を変更するようなヒントにより他の概念へガイドしようとしても、考えがかわらない可能性がある。そのようなユーザに対しては、まず、複数概念共

存モードへの変更刺激を与えて、それから別の概念のヒントを与えたほうが有効であろう。その定量的分析を付録に示すが、これは、制御系にたとえていうと、系が不安定になって発振してしまったら、入力をどんなにかえても、出力をコントロールできないのと同じような状況であるといえる。実際、学生の研究指導などにおいても、ある考え方にはまってしまった学生には、別の考えのヒントは無効で、まず、頭を冷やさせることが必要であるというような経験的事実がある。

このような、複数の種類の刺激の組み合わせとそれを与えるタイミングのコントロールは、今までまったく考えられていなかった。せっかく発想支援システムを使っても、場合によっては無効であるということは、発想支援システムの構築にあたって、重要な問題である。これは、これまでなんとなく知られていたことではあるが、まだ実験により検証されるには至っていない。

残念ながら、以上述べたことは、仮説から導かれる予測にすぎないので、今後の検証が必要だが、筆者らは、いくつかの発想支援システムの作成と実験を通してそれを試みようとしているところである。たとえば、従来試みられていない新しい内容刺激のひとつを与えるシステムとして、物の形状そのものの新しい提案を行うようなシステムの実験を行った¹⁸⁾。これは、概念マップ上で新しい車の概念を定めると、図3に示すように、システムがその概念を実現する車の形のひとつの提案を行うというものである。これは、システムが $h_{\lambda\mu}$ を変更させる刺激を与えることに相当するが、そうすると、ユーザのほうでは、それによって、 $g_{\mu\lambda}$ も同時に変化するというような現象が観察されている。ただし、まだ定性的な観察を行っているにすぎないので、きちんとした定量的実験は、今後の課題である。

また、本論文で与えたような仮説で、発想のすべての過程をモデル化できるとは限らない。本論文では、概念要素の組み合わせで概念が生まれるというような過程を考えしたが、天才がまったく何もないところからいきなり新しい何かを生み出すという過程が絶対にはないとは言えないかもしれないし、また、たとえ既存の要素の組み合わせであっても、そこには無限の自由度が存在するわけだから、本論文で与えたような方程式の系だけでは説明できないかもしれない。この点については、現段階においては、今後の認知科学における創造性研究に期待することとし、新たにわかった現

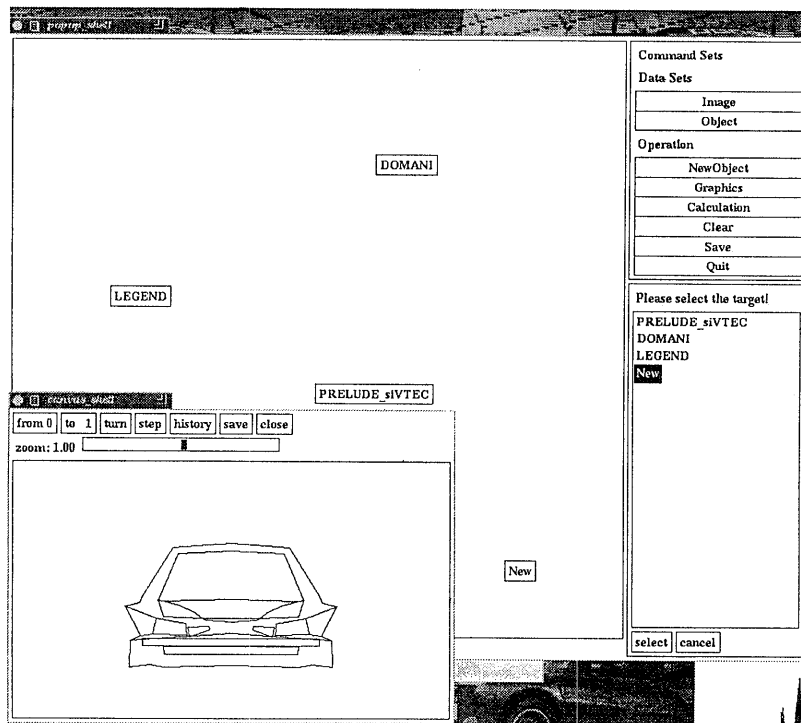


図 3 物の形状を提案する発想支援システム

Fig. 3 A system that proposes the shape of new artifact in creative concept formation.

象にあわせて仮説を修正するしかないと考えている。

5. む す び

本論文は、発想支援システムの働きを理論的に説明し、今後の発想支援システム設計への指針を与えることを目標として、概念形成過程に関するひとつの仮説を与え、外部からの刺激がどのような影響を与えるかを分析した。

残念ながら、本論文で与えたモデルが心理学的に実在しているものであるかどうかを検証するためにはまだ多くの実験を必要とし、それを本論文で証明することはできなかった。しかし、本論文のモデルで説明できることの多くは、これまでの発想支援システムの利用において見つけられた現象とよく一致している。また、このモデルは、いまだ試みられていない発想支援の方法を示唆し、さらに、やみくもに発想支援システムを作っても、無駄な支援にしかならないことを予測している。それらの多くは、発想支援システムの研究者がぼんやりと意識してはいても明確には語っていなかったことであり、理論的背景なしに発想支援システムが構築されている現状においては、本論文で与えた

仮説は今後の発想支援システム構築のためのひとつの指針を与えたという点で意義があると思う。

参 考 文 献

- 1) Finke, R. A., Ward, T. B. and Smith, S. M.: *Creative Cognition*, MIT Press (1992).
- 2) Haken, H.: *Synergetics*, Springer-Verlag, Berlin (1983).
- 3) Hori, K., Sugimoto, M. and Ohsuga, S.: Application of Articulation Aid to Design, *Information Modelling and Knowledge Bases*, Kangassalo, H., Jaakkola, H., Hori, K. and Kitahashi, T. eds., Vol. 4, pp. 56-64, IOS Press, Amsterdam (1993).
- 4) Hori, K.: A Model for Explaining a Phenomenon in Creative Concept Formation, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol. E76-D, No. 12, pp. 1521-1527 (1993).
- 5) Hori, K.: A System for Aiding Creative Concept Formation, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 24, No. 6, pp. 882-894 (1994).
- 6) Johnson-Laird, P. N.: *Mental Models*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts (1983).

- 7) Johnson-Laird, P.N.: *Human and Machine Thinking*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey (1993).
- 8) 川喜田二郎: KJ 法, 中央公論社 (1986).
- 9) 國藤 進: 発想支援システムの研究開発動向とその課題, 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 5, pp. 552-559 (1993).
- 10) Orihara, R., et al.: On Paraphrasing-Based Analogical Reasoning—As a Theoretical Base of the Abduction Support System, *Proc. of ALT'90*, pp. 134-148 (1990).
- 11) 折原良平: 発想支援システムの動向, 情報処理, Vol. 34, No. 1, pp. 81-87 (1993).
- 12) 杉本雅則, 堀 浩一, 大須賀節雄: 設計問題への発想支援システムの応用と発想過程のモデル化の試み, 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 5, pp. 575-582 (1993).
- 13) Sugimoto, M., Hori, K. and Ohsuga, S.: A Method for Assisting Creative Design Processes, *Languages of Design*, Vol. 1, pp. 357-367 (1993).
- 14) Sugimoto, M., Hori, K. and Ohsuga, S.: A Method to Assist Building and Expressing Subjective Concepts and Its Application to Design Problems, *Proc. International Symposium on Creativity and Cognition*, UK (1993).
- 15) 杉山公造: 思考支援ツール, 電子情報通信学会誌, Vol. 74, No. 2, pp. 156-165 (1991).
- 16) Sumi, Y., Hori, K. and Ohsuga, S.: Computer-Aided Thinking Based on Mapping Text-Objects into Metric Spaces, *Proc. 2nd. Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence '92 (PRICAI 92)*, pp. 183-189, Seoul (1992).
- 17) 角 康之, 堀 浩一, 大須賀節雄: テキストオブジェクトを空間配置することによる思考支援システム, 人工知能学会誌, Vol. 9, No. 1, pp. 139-147 (1994).
- 18) 吉住英典: 設計上流工程における発想支援システムの研究, 修士論文, 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 (1994).
- 19) Young, L.F.: *The Metaphor Machine: A Database Method for Creativity Support*, *Decision Support Systems*, Vol. 3, pp. 309-317 (1987).

付録 発想支援の刺激と概念形成の方向の関係

3章で与えた次の方程式の解の概略を示す。記号の意味は3章を参照されたい。

$$\dot{q}_1 = -k_1 q_1 + \sum_{\mu=1}^N (a q_1) \alpha_{\mu} + F_1$$

$$\dot{q}_2 = -k_2 q_2 + \sum_{\mu=1}^N (a q_2) \alpha_{\mu} + F_2$$

$$\dot{\alpha}_{\mu} = -\gamma \alpha_{\mu} + \sum_{\lambda=1}^2 h_{\lambda \mu} q_{\lambda} + \Gamma_{\mu}$$

概念が数時間から数日あるいは数年かかって形成されるのに比べて、概念要素が浮かんだり消えたりするのは十分に速い速度であると考えられるので、シナジェティクスの枠組み²⁾を用いて、この方程式を解くことができる。すなわち、 α は q に比べて充分速く変化するので、第3式で、 $\dot{\alpha}_{\mu} = 0$ とおいてよい。すると、この式から、 $\Gamma_{\mu} = 0$ の場合、

$$\alpha_{\mu} = \frac{1}{\gamma} \sum_{\lambda} h_{\lambda \mu} q_{\lambda}$$

を得る。これを第1式と第2式に代入すると、

$$\dot{q}_{\lambda} = -k_{\lambda} q_{\lambda} + \frac{1}{\gamma} \sum_{\mu} (a q_{\lambda}) \left(\sum_{\lambda'=1}^2 h_{\lambda' \mu} q_{\lambda'} \right) + F_{\lambda} \quad (\lambda=1, 2)$$

となる。

この式を用いて、 q_1 を横軸に q_2 を縦軸にとった平面上で、 q_1, q_2 がどの方向に動くかを示してみよう。 $\dot{q}_1 = 0, \dot{q}_2 = 0$ のグラフをかいて、それらに囲まれた領域中の q_1, q_2 がどの方向に変化するかを矢印で示す。図4は、 $F_{\lambda} = 0$ すなわちヒントによる外部からの活性化がない場合である。図を見ると、なんらかの刺激がない限り、原点すなわち $q_1 = 0, q_2 = 0$ の付近(a)では q_1 も q_2 も0に向かうことがわかる。なんらかの内のきっかけで q_1, q_2 が(b)の領域に入ると、 q_1 は増大する一方となり、 q_2 は減少する一方となる。ここで、 $F_1 > 0$ の場合を図示すると図5のようになる。領域(a)においては、確かに q_1 が活性化されやすくなることがわかるが、いったん、領域(b)に入ってしまったユーザに対しては、 F_{λ} によるコントロールは効かないことがわかる。

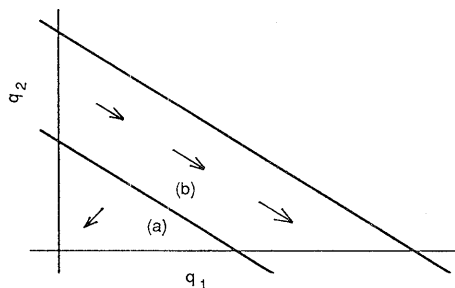


図4 正帰還がある場合の概念形成の方向 (ヒントが与えられない場合)

Fig. 4 Direction of concept formation when there exists a positive feedback (with no hints).

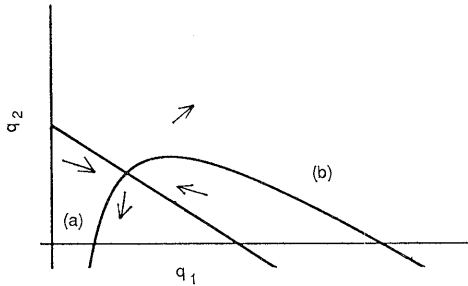


図 5 正帰還がある場合の概念形成の方向 (ヒントが与えられた場合)

Fig. 5 Direction of concept formation when there exists a positive feedback (with a hint).

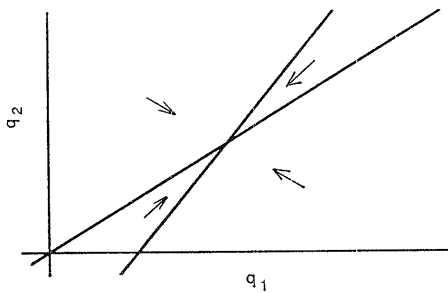


図 6 正帰還がない場合の概念形成の方向の例

Fig. 6 Direction of concept formation when there is no positive feedback.

$q_{\mu\lambda}$ に正帰還の項がなく, $q_{\mu\lambda}=b$ の形になっている場合を, 同様に解いて, 図 6 に示す. 図 6 は $F_1 > 0$ の場合の例である. 図 6 を見ると, 複数の概念が共存することがわかる. ただし, 正帰還がない場合でも, 係数の値によっては, 概念の活性度の安定点が存在しなくなる場合もある.

(平成 5 年 12 月 16 日受付)

(平成 6 年 6 月 20 日採録)



堀 浩一 (正会員)

1956 年生. 1979 年東京大学工学部電子工学科卒業. 1984 年同大学院博士課程修了. 工学博士. 1984 年国立大学共同利用機関国文学研究資料館助手. 1986 年同助教授. 1988 年東京大学先端科学技術研究センター助教授. 1992 年同工学部助教授. 現在, 航空宇宙工学専攻, 先端学際工学専攻, および情報工学専攻を兼担. 人工知能を中心とした情報処理システムの基礎から応用にわたる広範囲の研究・教育に従事. 最近の個人的な興味の中心は創造活動支援システム. 電子情報通信学会, 人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, 日本認知科学会, IEEE, 各会員.