

創造的活動への認知的アプローチ

Cognitive Approaches to Creative Activities

三輪 和久
Kazuhisa Miwa

名古屋大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University
miwa@cog.human.nagoya-u.ac.jp, <http://www.cog.human.nagoya-u.ac.jp/~miwa/>

石井 成郎
Norio Ishii

名古屋大学大学院人間情報学研究科
Graduate School of Human Informatics, Nagoya University
ishii@cog.human.nagoya-u.ac.jp, <http://www.cog.human.nagoya-u.ac.jp/~ishii/>

Keywords: creativity, cognitive approach, Genevieve model

1. はじめに

発明、発見に代表される創造性は、人間が発現する知のはたらきの象徴である。しかしながら、創造性研究は、人間の知の研究の領域の中で、どちらかと言うとマイナーで、周辺的なテーマとして扱われてきた経緯がある。

今から半世紀前、1950年に行われたアメリカ心理学会の会長就任講演で、Guilfordは、創造性を扱った論文が、Psychological abstractsの全体の0.2%に満たないことを指摘している [Sternberg 01]。孫らの最近の調査では、その後1960年代から創造性に関わる論文は量的には劇的に増加を始めたものの、全文献数に占める割合は依然1%前後に留まっている [孫 03]。ただし、とりわけ1990年以降、創造性に関わる重要な書籍がいくつか出版されたことは、創造性研究における新たな兆候を予感させるものである [Runco 97, Ward 97b, Sternberg 99]。

人間の創造性は、様々なアプローチに基づいて検討されてきた。本論文では、認知的アプローチと呼ばれる研究パラダイムに基づく研究を紹介する。筆者らは、認知的アプローチが、これからの創造性研究において、その中核的役割を担うポテンシャルを持つものであると考えている。

認知的アプローチでは、一般に、創造的な活動に従事する専門家を観察したり、実験室の中で創造課題を解決する被験者の行動を測定する。そこで観察された創造プロセスは、スキーマやカテゴリ、メンタルモデル、インタラクションといった、認知心理学の中で確立されてきた概念装置を用いて説明される。認知的アプローチの特徴は、人間の創造プロセスを、一種の情報処理過程と捉え、高次思考過程の研究に用いられてきた認知心理学的実験や計算機シミュレーションの手法を用いて研究するところにある。

以下、本論文の2.では、これまで行われてきた創造性研究の様々なアプローチを紹介する。3.では、まず、2.で述べた様々なアプローチと対比的に、認知的アプローチの特質を検討する。その上で、認知的アプローチの代表例である、Finkeらの創造的認知アプローチと呼ばれる研究例を紹介する。具体的には、約10年にわたる取り組みの中で明らかになってきた実験的知見を紹介し、彼らが提案している創造プロセスのモデルであるジェネプロアモデルを説明する。さらに、4.では、Finkeらのアプローチの限界について述べ、ジェネプロアモデルの拡張を提案し、拡張されたジェネプロアモデルの枠組みに基づいて行われた筆者らの研究グループの実験の結果を示す。5.は本論文のまとめである。

2. 創造性研究のアプローチ

これまでの創造性研究をまとめた代表的な文献である [Runco 97, Sternberg 99]、ならびに創造的認知アプローチを提唱したFinkeらの代表的な著作である [Finke 92]では、創造性研究の主要な研究アプローチを紹介している。これらのアプローチは、表1のようにまとめることができる。以下ではこれらのアプローチについて、その概要と具体的な研究例を紹介する。

神秘的アプローチ

初期の創造性に関する見方には、「神からの啓示」のような神秘的な意味合いが強かった。これはいわば創造性へのアプローチは不可能であるという立場であり、ここからは科学的研究は生まれてこなかった。

実用的・教育的アプローチ

実用的・教育的アプローチでは、発想支援法の開発、およびそれらの教育場面への適用を目的としている。代表的な発想支援法としては、de Bonoの水平思考 [de Bono 71] やブレインストーミング [Osborn 53]、シネ

表 1 創造性の研究アプローチ

	Finke et al.(1992) Creative cognition	Runco (1997) The creativity research handbook	Sternberg (1999) Handbook of creativity
神秘的アプローチ			○
実用的・教育的アプローチ	○	○	○
ケーススタディ法によるアプローチ	○		
精神分析(精神力動)的アプローチ	○	○	○
計量心理学的アプローチ	○		○
社会学的・計量歴史学的アプローチ	○	○	○
統合的(多重要因)アプローチ	○		○
発達心理学的アプローチ		○	
人工知能的アプローチ(モデル・支援)	○		
認知的アプローチ	○	○	○

クティクス [Gordon 61], K J 法 [川喜多 67] などが挙げられる。また、これらの発想支援法を取り入れた、創造性の育成を目的とした教育プログラムが提案されている [Cropley 97]。

ケーススタディ法によるアプローチ

このアプローチではおもに、世界的に高い創造性を発揮した人々の事例的な検討が行われている。そのジャンルは幅広く、これまでにモーツァルトやアインシュタインのような著名な作家や芸術家、作曲家、科学者の行った創造活動の特徴が報告されている [Ghiselin 52, Wallace 89]。ここで注意しておきたいのは、これらのケーススタディは、日記やノートなどの記録や内観的説明など、リアルタイムでない情報に基づいたものであり、後述する認知的アプローチによる創造プロセス研究とは質的に異なるものである。

精神分析的アプローチ

精神分析的アプローチでは、「意識的な現実と無意識的な動因の間の緊張から創造性が生じる」という考え方に基づいて、意識的・無意識的なプロセスが創造性の発揮にどのように関与しているのかという点や、精神的な障害と創造性の関連性について理論的・事例的な検討が行われている。例えば、[Sternberg 99]によると、フロイト (1908/1959) は「作家や芸術家は、彼らの無意識的な欲求を世間に受け入れられるように表現する方法として創造的な作品を製作している」ことを述べている。

計量心理学的アプローチ

計量心理学的アプローチの目的は、創造的な思考能力を測定するためのテストを開発することである。これまでに開発されたテストのうち、最も有名なものの一つに [Torrance 74] が開発した TTCT (Torrance Tests of Creative Thinking) がある。このテストは、質問の生成 (ある場面の絵に対する質問を考える)・製品の改善 (おもちゃの猿をより楽しく遊べるように改善する)・変わった使用方法の考案 (紙製の箱の変わったおもしろい使用方法を考える)・円の生成 (絵に円を描き、

タイトルをつける) といった課題から構成されている。

社会学的・計量歴史学的アプローチ

このアプローチでは、社会・環境・文化に関する要因と創造性との関係を明らかにすることを目的とした検討が行われている。具体的には、パーソナリティ (判断の主体性・自信・複雑なものに対する興味・美的感覚・冒険心など)、モチベーション (内発的動機づけ・命令欲求・達成欲求など) などの要因に基づいて人間の創造性を説明しようとする。また、[Simonton 97, Simonton 99] は、歴史に名を残した著名人の資料や、科学者の発表した論文などの調査をもとに、環境に関する要因 (文化差や研究領域の違いなど) と創造性の関係を検討する計量歴史学的アプローチを提案している。

集成的 (多重要因) アプローチ

集成的 (多重要因) アプローチでは、創造性を説明するための包括的な理論を構築することの重要性が指摘されており、おもに知識・スキルなどの認知的要因と前述の社会的要因に含まれる複数の要因を組み合わせた統合的な理論が提案されている。例えば、[Amabile 83] は、内発的動機づけ、領域に関する知識・能力、創造性に関するスキルの 3 つの要因から構成される理論を、[Lubart 95] は知的能力・知識・思考スタイル・パーソナリティ・モチベーション・環境の 6 つの要因から構成される創造性投資理論を提案している。

発達心理学的アプローチ

発達心理学的アプローチによる研究では、発達に関する認知的・社会的側面に注目した検討が行われている。具体的には、認知・社会性・情緒の発達と創造性の関係や、家庭環境・教育環境の影響といった子どもの発達に関する要因と、創造活動の領域・分野による違い、社会文化的な文脈による影響や歴史的な影響といった大人の発達 (熟達化) に関する要因について、実験・調査や事例的な検討が行われている [Feldman 99]。なお、後者については前述の計量歴史学的アプローチにおいても同様の観点に着目した研究が行われている。

人工知能的アプローチ (モデル・支援)

人工知能技術を用いた人工知能アプローチは、さらに大きく2つの立場を考えることができる。1つは、人間の創造的活動を計算機の上でモデル化するという立場で、これは後に述べる認知的アプローチに属するとも考えられる。例えば、代表的な創造活動である科学的活動を対象とした計算機モデル [Langley 87] や即興で演奏を行う計算機モデルなどが構築されている [Boden 99]。もう1つの立場は、人間の創造活動に関する情報処理モデルに基づき、アイデア産出・文章生成・作曲といった創造的な活動の支援を目的とした計算機システムの開発を行う研究である。

認知的アプローチ

認知的アプローチでは、創造的思考の根底となる心的表象および創造プロセスの解明を目的としており、認知心理学のパラダイムに基づいた実験的手法や、参与観察などの観察的な手法を用いた創造プロセスの詳細な検討が行われている。その代表的な研究として、[Finke 92] の提唱した創造的認知アプローチによる研究が挙げられる (研究の詳細は 3.2 および 3.3 を参照のこと)。

3. 認知的アプローチ

ここでは、創造性研究の様々なアプローチを踏まえて認知的アプローチの特質をまとめ、代表的研究の1つである Finke らの創造的認知アプローチに基づく一連の研究を紹介する。

3.1 認知的アプローチの特質

2. で述べたように、人間の創造的活動は、様々な立場から研究されてきた。本論文では、それらのアプローチを、次の2つの軸の上で分類し、認知的アプローチの特性を明らかにしたい。

一つの軸は「目的」の軸である。この軸は、「理解」と「支援」という2つの方向を持つ。この軸の上で、理解の側へよればよほど、創造性のメカニズムや要因を明らかにすることに重心が置かれる。一方、支援の側は、理解することよりも、どうしたら創造的活動を起こすことができるのかというような、応用の問題に関心が移る。「教育」も支援という目的の中に含めるものとする。

もう一つの軸は「見方」の軸である。創造観の軸と考えてもよい。この軸では、創造性を、人間の「一般」的能力とみなすか、もしくは一部の天才に備わった「特殊」な能力とみなすのかによって分類する。

図1は、この2つの軸に基づいて、2. で紹介した様々なアプローチをプロットしたものである。もちろん、各アプローチは単純に分断できるものではなく、この平面上で一定の広がりを持つものであると考えるが、ここでは各アプローチの目的と見方の「重心」を平面上

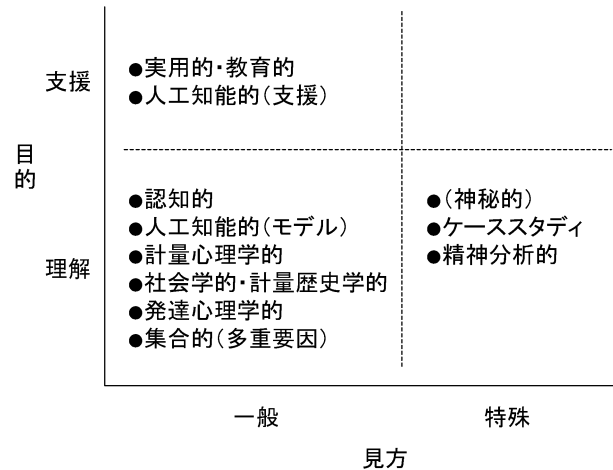


図1 創造性研究アプローチの分類

の4つの象限に割り当てようとした、1つの仮説的試みと解釈頂きたい。

当然ながら、特殊であって支援を行おうとする右上の象限は空である。なぜなら、創造性を特別な能力と見る立場と、それを支援しようとする立場は、時に対立することがあるからである。

さて、この中であって、認知的アプローチの占める場所を見てみるとその特性が明らかになってくる。認知的アプローチは、創造性を人間の「一般のプロセス」として「理解」し、そこで得られた知見に基づいて、その活動を「支援」したり、教育に応用したりしようとする。

図1の上で、左下の象限に位置する他のアプローチと比べて認知的アプローチの重要な特徴は、他のアプローチのほとんどが、人間の創造性を決める「要因」を同定することに重きが置かれているのに対して、認知的アプローチは、創造的活動の「プロセス」を理解しようとする態度にあると考えることができる。プロセスを理解することによって、我々は「理解」の象限から「支援」の象限への橋渡しのために、より多くの知識を得ることができる。このように、理解と支援の統合という点に、認知的アプローチの重要な可能性が現れてくる。

3.2 実験的知見

認知的アプローチの特性は、実験心理学の手法に基づいて、実験的に人間の創造性を解明しようということにある。そのような代表的取り組みの1つとして、Finke らの創造的認知アプローチがある。

Finke らは、[Finke 92] において、創造的認知アプローチの研究領域として (1) 創造的視覚化 (2) 創造的発明 (3) 概念合成 (4) 構造化イメージネーション (5) 洞察・固着・孵化といったトピックを挙げている。表2は、創造的認知アプローチが提唱された1992年以降に彼らが

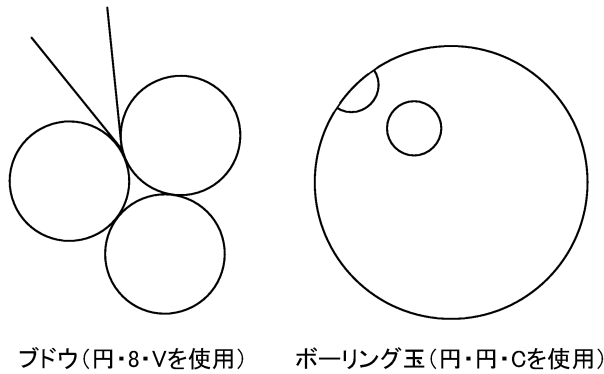


図 2 創造的なパターンの例 ([Finke 88] による)

行った実験の概要を上記の領域別にまとめたものである(彼らの研究のうち、表に挙げた研究をまとめた総合的なレビューや、目撃証言やフォールスメモリなどのトピックを扱った、創造的認知アプローチに関連のないものは省略した。また、1992年以前の研究についても、重要なものについては表に含めた)。各領域の研究から得られた知見を以下に概説する。

(1) 創造的視覚化

創造的視覚化に関する実験では、円や四角形などの基本的な図形、数字、アルファベットなどの記号を、教示に従って合成・変形させる課題や、自由に組み合わせて新しいパターンをデザインする課題が用いられている。後者の課題において産出された創造的なパターンの例を図2に示す。これらの実験では、被験者は心的合成・変形を行う前や行っている途中で最終的な産出結果を予測することが求められた。しかし、実験の結果、心的操作を行う前やその途中の段階では最終的な結果をほとんど予測することができなかった。このことは心的操作を行う中でアイデアの飛躍が生じていることを示しており、創造的な図形パターンの創発には心的合成・変形といった活動を行うことが重要な意味を持つことが示唆されている。

(2) 創造的発明

創造的発明では、被験者は、球や立方体などの基本的な3次元図形を頭の中で組み合わせて新しい発明品(家庭用品や玩具など)を生成する課題に取り組む。彼らの実験において産出された創造的な発明品の例を図3に示す。これらの実験では、後に述べるジェネプロアモデルに基づいて、生成段階および探索・解釈段階の各活動における制約と産出物のパフォーマンスの関係について検討を行っている。

その結果、(a) 産出物の要因に関する制約については、産出物の部品・カテゴリ・機能について制約を与える(制限する)ことで創造的な作品の生成される割合が高くなる。ただし、産出物の種類にまで制約を与えると創造的な作品の生成される割合が低くなる。(b) 発明の手続きに関する制約については、カテゴリを知

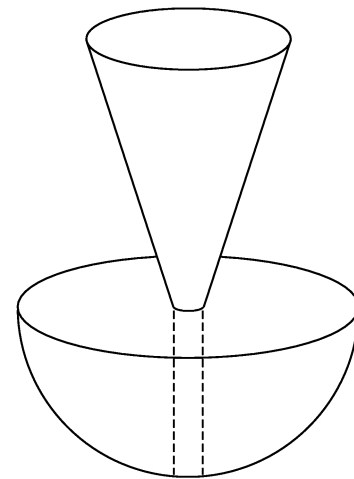


図 3 創造的な発明品の例 ([Finke 90] による)

使用方法

- ①ゴムの円すいをコンタクトレンズにあてる
- ②チューブの端を指でふさぐ
- ③レンズを目からはずす
- ④チューブから指を離してレンズを円すいから取る

る前に形状をデザインしたほうが、また、形状を与えられたときよりも形状を自分で考えたほうが創造的な作品の生成される割合が高くなるといった点が確認されている。

(3) 概念合成

概念合成に関する実験では、2つの単語の持つ概念を組み合わせることで新しい概念を生成するという課題を用いて、創造的な概念の創発が起こるための条件に着目した検討が行われている。

その結果、典型的な単語の組み合わせ(「対立する」「敵」など)よりも、典型的でない単語の組み合わせ(「無関心な」「敵」など)のときに創造的な概念の創発が起こりやすくなることが報告されている。また、(2)の創造的発明の実験パラダイムを用いた概念デザインの生成実験の結果から、創造的発明と同様に生成する概念のカテゴリに制約を与えることで創造的なデザインが産出される割合が高くなることが報告されている。

(4) 構造化イメージーション

構造化イメージーションに関する実験では、「他の惑星のオブジェクト(動物・生物・果物・道具など)」という、既知のカテゴリの新たなオブジェクトを生成する課題を用いて、既存の知識がイメージーションにどのような影響を与えているのかという点に着目した検討が行われている。

その結果、生成されるオブジェクトは教示に含まれる内容(「知的な」「羽を持つ」「鱗のある」動物など)から想起される既知のカテゴリ(「ヒト・鳥・魚」など)に強く制約されていることが確認されている。また、そ

表 2 創造的認知アプローチの実験の概要

テーマ	文献	課題の内容	独立変数	従属変数
創造的視覚化	Finke and Slayton (1988)	基本図形を組み合わせた新しい図形の生成		アイデア生成の方略 最終結果の予測 パフォーマンス(認識性・創造性)
	Finke, Pinker, and Farah (1989)	教示に従った基本図形の合成・変形		変形の正確さ 最終結果の予測 パフォーマンス(正解・不正解)
創造的発明	Finke (1990)	基本図形を組み合わせた発明品の生成	部品(指定あり・なし)	パフォーマンス(独創性・実用性)
			種類の指定・機能の指定	パフォーマンス(独創性・実用性)
			形状(与えられる・自分で考える)	パフォーマンス(独創性・実用性)
概念合成	Finke (1990)	基本図形を組み合わせた概念デザインの生成	カテゴリ(指定あり・なし)	パフォーマンス(独創性・賢明さ)
	Estas and Ward (2002)	2つの単語から連想される新しい概念の生成	単語間の関連性 単語の組み合わせの典型性	パフォーマンス(創発性)
構造化イメージネーション	Ward (1994)	他の惑星の動物のスケッチ	動物の種類(同種・異種)	描かれた動物の持つ属性
			動物の特徴(羽・鱗・毛皮・教示なし)	描かれた動物の持つ属性
			動物の特徴(羽・毛皮)	描かれた動物の持つ属性
			動物の生息環境(溶岩・強風)	
			教示(「とっぴな創造を用いて」「実際に存在しそうな」「地球上の未発見の」動物を考える・教示なし)	描かれた動物の持つ属性
	Ward and Sifonis (1997)	他の惑星の動物・生物のスケッチ	教示(「動物」「地球の動物とは全く異なる動物」「生物」を考える)	描かれた動物・生物の持つ属性
	Bredart, Ward, and Marczewski (1998)	他の惑星の生物の顔のスケッチ	教示(「ヒ型の」「地球外の」生物の顔を考える)	描かれた生物の顔の属性
			生物の特徴(大人・子ども)	描かれた生物の顔の特徴
			教示(「ヒ型の」「地球外の」生物の顔を考える)	
	Ward, Saunders, and Dodds (1999)	他の惑星の果物のスケッチ	教示(創造的に考える・教示なし) 被験者の才能(創造的・一般)	描かれた果物の持つ属性
	Ward et al. (2000)	人間の特徴的な属性の回答		回答された属性
		他の惑星の動物のスケッチ	動物の特徴(知的である・教示なし)	描かれた動物の持つ属性
			動物の特徴に関する教示(複雑な感情を持つ・教示なし)	描かれた動物の持つ属性
		人間の特徴的な属性の評価		各属性の重要度
		特徴から連想される生物の回答	生物の特徴(「反対向きになった親指」「腕」がある)	回答された生物名
他の惑星の生物のスケッチ		生物の特徴(「反対向きになった親指」「腕」がある)	描かれた生物の持つ属性	
Ward et al. (2002)	典型的な動物名の回答		回答された動物名の産出頻度	
	他の惑星の動物のスケッチ		描かれた動物と典型的な動物の類似度	
	典型的な道具名の回答		回答された道具名の産出頻度	
	他の惑星の生物の使う道具のスケッチ	生物の特徴(腕, 脚, 付属器官)	描かれた道具と典型的な道具の類似度	
	典型的な動物・道具, 他の惑星の動物のスケッチ, 他の知的生物の使う道具の特徴の評定		描かれた動物と典型的な動物, 描かれた道具と典型的な道具の持つ特徴の類似度	
	典型的な果物名の回答		回答された果物名の産出頻度	
	他の惑星の果物のスケッチ	教示(「創造的に」「とっぴな想像を使って」考える・教示なし)	描かれた果物と典型的な果物の類似度	
洞察・固着・孵化	Smith, Ward, and Schumacher (1993)	玩具・他の惑星の生物のスケッチ	事例(提示あり・なし)	描かれた玩具・生物の持つ属性と事例の持つ属性の類似度
		他の惑星の生物のスケッチ	事例(提示あり・なし) 事例提示と生成のインターバル(直後・遅延)	描かれた玩具・生物の持つ属性と事例の持つ属性の類似度
		他の惑星の生物のスケッチ	事例(提示あり・なし) 教示(「事例とできるだけ異なる」「事例にできるだけ似た」生物を考える)	描かれた玩具・生物の持つ属性と事例の持つ属性の類似度
Marsh, Ward, and Landau (1999)	非単語の生成	事例(提示あり・なし)	生成された非単語の持つ特徴と事例の持つ特徴の類似度	
		事例の規則性(あり・なし)		
		事例提示と生成のインターバル(直後)		
		事例の提示(あり・なし)	生成された非単語の持つ特徴と事例の持つ特徴の類似度	
		事例の規則性(あり・なし)		
事例提示と生成のインターバル(遅延)				
	事例の参照(生成中の参照可・不可)	生成された非単語の持つ特徴と事例の持つ特徴の類似度		
	事例の種類(単語・非単語)	生成された非単語の持つ特徴と事例の持つ特徴の類似度		
	事例の規則性(文法的・人工的)			
	事例提示と生成のインターバル(直後・遅延)			

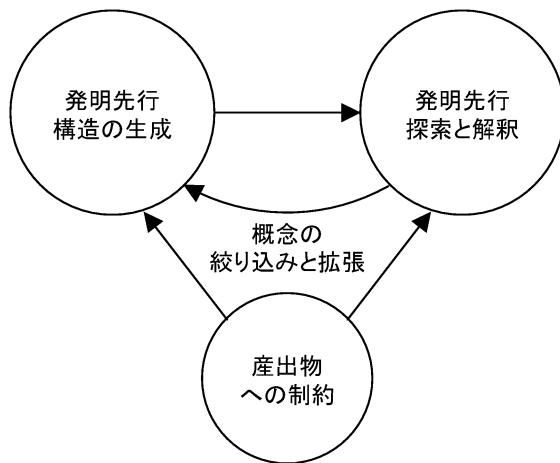


図4 ジェネプロモデルの基本的構造 ([Finke 92] による)

これらの制約を緩和する教示として、「できるだけ創造的に考える」「とっぴな想像を用いて考える」といった教示の効果が検討されているが、それらの教示にはほとんど効果が見られなかった。

(5) 洞察・固着・孵化

洞察・固着・孵化のトピックのうち、とくに既存の知識や事前に参照した事例によるアイデアの固着に着目した実験が行われている。それらの実験では、(4)の構造化イマジネーションの実験パラダイム（既知のカテゴリに関するオブジェクトの生成）を用いた課題や、非単語の生成といった課題を用いて、被験者の持つ知識や与えられた事例の持つ属性の特徴と生成されるアイデアの持つ特徴との関係について検討が行われている。

その結果、自分の持つ知識（文法に関する知識など）や与えられた事例の持つ特徴によって強いアイデアの固着が生じることが確認されている。また(4)と同様に、アイデアの固着の緩和に関して、「事例とできるだけ異なるものを考える」といった教示の効果や、事例提示とアイデア生成のインターバルをとることの効果が検討されているが、それらの効果はほとんど見られなかった。

3.3 ジェネプロモデル

Finkeらは、上記の創造的認知アプローチによる実験結果に基づき、一般的な創造活動の認知モデルであるジェネプロモデル（図4）を提案している [Finke 92]。

ジェネプロモデルには大きく2点の特徴がある。第1の特徴は、人間の創造プロセスを、心的なイメージを生成する生成段階と、そのイメージを解釈する探索・解釈段階の2つの段階の心的操作のインタラクションとして表している点である。このモデルでは、まず生成段階において記憶の検索や構成要素の心的な合成・変形などの活動が行われ、発明先行構造と呼ばれる抽象

的な心的イメージが生成される。この発明先行構造には、視覚的パターン、物体形状、心的混合物、カテゴリ事例、メンタルモデル、言語的結合などが含まれる。その後、生成段階に続く探索・解釈段階において、発明先行構造の概念的な解釈や機能の推論などの活動が行われ、その結果アイデアが産出される。そして、これら2つの段階の活動のインタラクションが繰り返されることで発明先行構造は修正・変更され、アイデアが洗練・拡充されていく。

そして第2の特徴は、生成段階および探索・解釈段階の2つの段階の活動に加えて、産出物や産出の手續きに関する制約が重要な要因として挙げられている。具体的には、Finkeらはそれら産出物に関する制約の例として、(1)産出物の種類（「椅子」「テーブル」など）、(2)産出物のカテゴリ（「家具」「玩具・ゲーム」など）、(3)産出物の機能（「身体障害者が使えるもの」「光を使うもの」など）、(4)産出物の構成要素（使用する部品の選択権の有無など）、(5)産出物の特徴（大きさの指定など）、(6)産出物の資源（使用する素材や経済的なコストなど）といった要因を挙げている。

4. Mindstorms を用いた創造実験

4.1 創造的認知アプローチの限界

Finkeらの創造的認知アプローチは、その理論的背景となるジェネプロモデルの提案も含めて、実験心理学のパラダイムの上で、人間のアイデア産出を検討する枠組みを具体化したものとして、創造性への認知的アプローチの重要な試みであった。しかしながら、彼らの手法は、いくつかの点で限界を持っている。

- (1) 扱われた課題は、人工的で、非常に単純なものであった。この点に関連して、専門的知識の役割が検討されていない。従って、創造性のもっとも重要な要因であると考えられる熟達化の問題を扱うことができない。
- (2) アイデアを実際に物理的に具体化してゆく段階が考慮されていない。アイデアは、物理的な要因も含めた、実現可能性に大きく制約されるはずである。アイデアとしてはおもしろくても、物理的に実現不可能な場合には、そのアイデアは意味を持たない。

ここでは、これらのFinkeらのアプローチの限界を超える1つの試みとして、筆者らの取り組みを紹介する。なお、以下で述べる実験の詳細は、[Ishii 02, 石井 03b]を参照頂きたい。

4.2 目的と方法

筆者らは、ロボット製作キットであるLEGO社のマインドストームを用いて、熟達者と初心者との創造過程を検討した（マインドストームの詳細については[山本

01]等を参照のこと)。被験者に課せられた課題は、マインドストームを用いて、独創的な方法で移動するロボットを製作することであった。

本研究のねらいは、大きく次の2点にまとめることができる。

- (a) ロボットを製作するためには、足や腕などの部品(パーツ)、モータや歯車を組み合わせた機構(メカニズム)、そしてそれらを制御するためのプログラム(アルゴリズム)といった複数の要素を詳細に検討する必要がある、ここで用いられた課題は、複雑でより現実的な課題であると考えられる。
- (b) さらに、単にアイデアを考えるだけでなく、実際に部品を組み立ててロボットを実現する段階までを含んでいる。

その創造過程を検討することによって、Finkeらが行った非常に単純で、具体的実現過程を含まない課題を用いた実験では現れてこなかった、創造過程の重要な諸局面が明らかになると考えた。

上記の過程には、多くの専門知識が関わると考えられる。そこで、被験者として、マインドストームを使った国内の主要なロボットコンテストで、優勝、または準優勝した経験のある者3名が実験に参加した。一方、初心者としては、マインドストームのサブセットと考えられるLEGOブロックの使用経験があり、しかしマインドストームの使用経験がない大学院学生4名が実験に参加した。実験参加者は、与えられた課題を5時間程度の時間をかけて解決した。

これらの熟達者と初心者の創造過程を比較することにより、創造性と熟達化の関係について、新たな知見を提供できると考えた。

4・3 結 果

§1 作品の評価

図5に、3名の熟達者が作り上げた作品を示す。

まず、大学生63名が評定者として、熟達者と初心者の作品の独創性を比較した。具体的には、作品の写真と、製作者が考えた動きの説明を加えて、アイデアの独創性を、デザインと移動方法という2つの観点で評価させた。その結果、熟達者と初心者に大きな差は見られなかった。

ここで注意しなければならないことは、評価者が評価したのは、アイデアのおもしろさであって、そのアイデアの実現可能性は考慮されていないという点である。実際、初心者4名のうち、アイデアが熟達者と同程度におもしろいと評価された2名は、最終的にそのアイデアを実現することはできず、とりわけその中の1名の作品は、全く動くことができなかった。さらに、実際に動く作品を作ることができた唯一の初心者の作品は、そのアイデアの独創性評価は、すべての被験者の中で最低であった。

以上を総合すると、熟達者は、実現可能な形で独創的なアイデアを創出することが可能であったのに対して、初心者は、アイデアはおもしろくても実現可能性が考慮されていなかったり、逆に実現可能性にとらわれて何らかの意味で独創的なアイデアの生成が抑制される状況にあったことが示唆される。

§2 実現段階に生じる物理的制約の利用

では、独創的なアイデアを実際に作品として実現していった熟達者の創造プロセスの特徴とはどのようなものだったのだろうか。

まず、熟達者は初心者に比べて、アイデア形成の初期の段階で、実現可能性に関して十分な注意を払っていたことがあげられる。具体的には、アイデアを考える段階で、(1)部品の数、パーツの種類といった材料の制約、(2)ロボットの重量、重心やバランス、摩擦や抵抗、強度といったパーツのもつ物理的制約、さらには(3)モータの干渉や位相、共振といったメカニズムを実現する上で現れる物理的制約に十分に着目していた。

以上を、図4のジェネプロアモデルで考えると、熟達者は、産出物の制約、とりわけアイデアを具体化してゆく段階で鍵となる物理的制約を適切に利用して、アイデアを創造していたことがわかる。

§3 プラン—アイデアと生成物をつなぐ活動

先に述べたように、アイデアのおもしろさを単純に比較すると、初心者と熟達者の間に大きな差はなかった。熟達者の初心者に対する優越性は、むしろ思いついたアイデアを具体的に実現してゆく過程の中に現れていた。我々は、アイデアを実現してゆくためのプランの修正に関して、以下の2つの点を検討した。

プランの修正タイミング

まず、「いつ」プランは修正されるのか、すなわちプランが修正されるタイミングに着目した。

一般に、人間は、プランの実行に失敗した時に、そのプランの修正を行うことが知られている。そこで、ロボット製作過程において、プランの実行に失敗した時にプランが修正された回数をカウントした。その結果、熟達者と初心者の間に、修正回数の差異は見いだされなかった。

一方、失敗のフィードバックなしに、つまりプランがうまく遂行されているにも関わらず、プランを修正した回数をカウントしたところ、熟達者は初心者に比して、有意により多くのプラン修正を行っていることが明らかになった。

プランは、アイデアと産出物との間をつなぐ操作と考えることができる。そう考えると、熟達者は、後者の側、すなわち外的なフィードバックに依存することなく、前者の側、すなわちアイデアの側から、いわばトップダウン的にプランを精緻化することができることを示唆している。

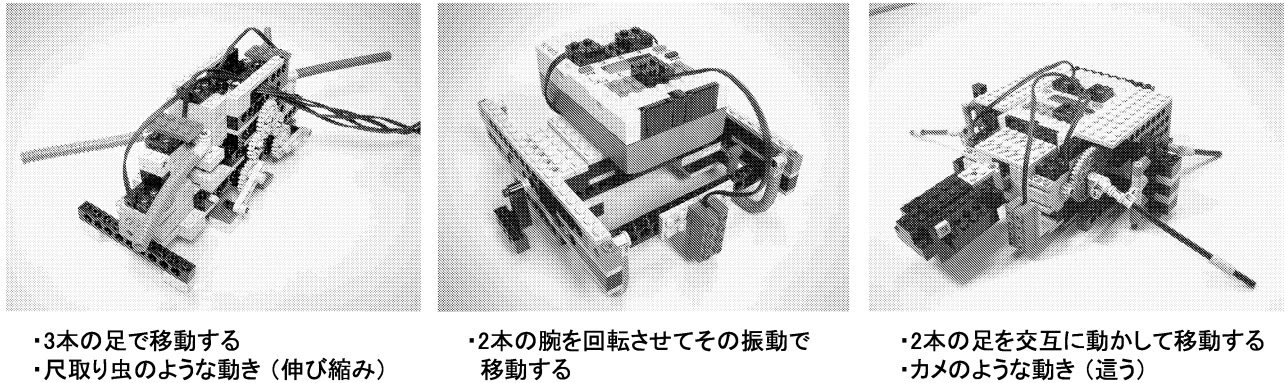


図 5 熟達者の作品

プランの修正方法

さらに、「どのように」プランは修正されるのかについて着目した。先に述べたように、作品を具体化するためには、パーツ、メカニズム、アルゴリズムといった3つの要因をすべて考慮しなければならない。

そこで、あるプランの要因の実行に失敗した時に、プランの同じ要因が修正された場合（例えば、メカニズムの具体化に失敗してメカニズムに関わるプランを修正する場合）の回数、および異なる要因が修正された場合（例えば、メカニズムの具体化に失敗してアルゴリズムに関わるプランを修正する場合）の回数をカウントした。その結果、前者に関しては、熟達者と初心者との間に差は見いだされなかったが、後者に関しては、熟達者の修正回数が初心者の修正回数を有意に上回った。

これらの点も、熟達者は、アイデアと産出物との間をつなぐ操作としてのプランを、より高度に組織化していることをうかがわせるものである。

プランは、アイデアを具体化する段階に現れてくる知識である。従って、以上に代表されるプランの生成・実行に関わる熟達者の優越性は、アイデアの生成段階だけではなく、その実現段階までを含めて検討した結果はじめて明らかになったものであり、旧来のジェネプロアモデルでは扱うことができなかった、創造性と熟達化に関する重要な実証的知見である。

5. ま と め

本論文では、人間の創造性研究への認知的アプローチを紹介し、これまでの研究成果を概説した。Toy problem を扱った問題解決研究から始まった人間の hoch 思考過程の研究対象は、単純から複雑へ、人工から現実へ拡張されていった。創造性研究も間違いなくそれと同じ歩みを辿ることになるだろう。その予感の中にあって、本論文では、これまでのアプローチの限界を超える1つの試みを紹介した。

創造性研究のもう1つの重要な方向性は、支援や教育の問題への展開である。先に述べたように、認知的

アプローチでは、人間の創造のプロセスに着目する。プロセスの解明は、そこで得られた知見を、人間の創造的活動の支援や教育の問題へ展開してゆく可能性をもたらす。現実には、我々の研究グループでは、ここで紹介した研究に基づいて、マインドストームを教材に用いた授業デザインを実践し、成果をあげている [Ishii 03a, 石井 in press]。本論文の内容に興味をもたれた読者は、是非、この解説特集と並行して企画された特集号論文に掲載された [石井 in press] を合わせてご覧いただきたい。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Amabile 83] Amabile, T. M.: *The Social Psychology of Creativity*, Springer-Verlag, New York, NY (1983)
- [Boden 99] Boden, M. A.: Computer models of creativity, in Sternberg, R. J. ed., *Handbook of Creativity*, pp. 351-372, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1999)
- [Bredart 98] Bredart, S., Ward, T. B., and Marczewski, P.: Structured imagination of novel creatures' faces, *American Journal of Psychology*, Vol. 111, No. 4, pp. 607-625 (1998)
- [Cropley 97] Cropley, A. J.: Fostering creativity in the classroom, in Runco, M. A. ed., *The Creativity Research Handbook*, pp. 83-114, Hampton Press, Cresskill, NJ (1997)
- [de Bono 71] de Bono, E.: *New Think: The Use of Lateral Thinking in the Generation of New Ideas*, Basic books, New York, NY (1971)
- [Estes 02] Estes, Z. and Ward, T. B.: The emergence of novel attributes in concept modification, *Creativity Research Journal*, Vol. 14, No. 2, pp. 149-156 (2002)
- [Feldman 99] Feldman, D. H.: The development of creativity, in Sternberg, R. J. ed., *Handbook of Creativity*, pp. 169-186, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1999)
- [Finke 88] Finke, R. A. and Slayton, K.: Explorations of creative visual synthesis in mental imagery, *Memory & Cognition*, Vol. 16, No. 3, pp. 252-257 (1988)
- [Finke 89] Finke, R. A., Pinker, S., and Farah, M. J.: Reinterpreting visual patterns in mental imagery, *Cognitive Science*, Vol. 13, No. 1, pp. 51-78 (1989)
- [Finke 90] Finke, R. A.: *Creative Imagery: Discoveries and Inventions in Visualization*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ (1990)
- [Finke 92] Finke, R. A., Ward, T. B., and Smith, S. M.: *Creative Cognition: Theory, Research, and Applications*, The MIT Press, Cambridge, MA (1992), (小橋 康章訳 1999. 創造的認知. 森北出版.)
- [Ghiselin 52] Ghiselin, B.: *The Creative Process*, University

- of California Press, Berkeley, CA (1952)
- [Gordon 61] Gordon, W.: *Synergetics: The Development of Creative Capacity*, Harper & Row, New York, NY (1961), (大鹿 譲 金野 正 訳 1968. シネクティクス: 創造工学への道. ラティス.)
- [Ishii 02] Ishii, N. and Miwa, K.: Interactive processes between mental and external operations in creative activity: A comparison of experts' and novices' performance, in *Proceedings of the Fourth Creativity & Cognition Conference*, pp. 178–185 (2002)
- [Ishii 03a] Ishii, N. and Miwa, K.: Creativity education based on participants' reflective thinking on their creative processes, in *Proceedings of the International Conference on Computers in Education*, pp. 855–856 (2003)
- [石井 03b] 石井 成郎, 三輪 和久: 創造活動における心的操作と外的操作のインタラクション, *認知科学*, Vol. 10, No. 4, pp. 469–485 (2003)
- [石井 in press] 石井 成郎, 三輪 和久: プロセスの自己省察を軸とした創造性教育, *人工知能学会誌* (in press)
- [川喜多 67] 川喜多 二郎: 発想法, 中公新書, 東京 (1967)
- [Langley 87] Langley, P., Simon, H. A., Bradshaw, G. L., and Zytkow, J. M.: *Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Processes*, The MIT Press, Cambridge, MA (1987)
- [Lubart 95] Lubart, T. I. and Sternberg, R. J.: An investment approach to creativity, in Smith, S. M., Ward, T. B., and Finke, R. A. eds., *The Creative Cognition Approach*, pp. 269–302, The MIT Press, Cambridge, UK (1995)
- [Marsh 99] Marsh, R. L., Ward, T. B., and Landau, J. D.: The inadvertent use of prior knowledge in a generative cognitive task, *Memory & Cognition*, Vol. 27, No. 1, pp. 94–105 (1999)
- [Osborn 53] Osborn, A.: *Applied Imagination*, Charles Scribner's Sons, New York, NY (1953), (上野 一郎 訳 1958. 独創力を伸ばせ. ダイヤモンド社.)
- [Runco 97] Runco, M. A.: *The Creativity Research Handbook*, Hampton Press, Cresskill, NJ (1997)
- [Simonton 97] Simonton, D. K.: Historiometric studies of creative genius, in Runco, M. A. ed., *The Creativity Research Handbook*, pp. 3–28, Hampton Press, Cresskill, NJ (1997)
- [Simonton 99] Simonton, D. K.: Creativity from a historiometric perspective, in Sternberg, R. J. ed., *Handbook of Creativity*, pp. 116–133, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1999)
- [Smith 93] Smith, S. M., Ward, T. B., and Schumacher, J. S.: Constraining effects of examples in a creative generations task, *Memory & Cognition*, Vol. 21, No. 6, pp. 837–845 (1993)
- [孫 03] 孫 媛, 井上 俊哉: 創造性に関する心理学的研究の動向, *NII Journal*, Vol. 5, (2003)
- [Sternberg 99] Sternberg, R. J.: *Handbook of Creativity*, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1999)
- [Sternberg 01] Sternberg, R. J. and Ben-Zeev, T.: Creativity, in *Complex Cognition*, pp. 276–291, Oxford University Press, New York, NY (2001)
- [Torrance 74] Torrance, E.: *Torrance Test of Creative Thinking*, Scholastic Testing Service, Bensenville, IL (1974)
- [Wallace 89] Wallace, D. and Howard, E. G.: *Creative People at Work: Twelve Cognitive Case Studies*, Oxford University Press, New York, NY (1989)
- [Ward 94] Ward, T. B.: Structured imagination: The role of category structure in exemplar generation, *Cognitive Psychology*, Vol. 27, No. 1, pp. 1–40 (1994)
- [Ward 97a] Ward, T. B. and Sifonis, C. M.: Task demands and generative thinking: What changes and what remains the same?, *Journal of Creative Behavior*, Vol. 31, No. 4, pp. 245–259 (1997)
- [Ward 97b] Ward, T. B., Smith, S. M., and Vaid, J.: *Creative Thought*, American Psychological Association Books, Washington, DC (1997)
- [Ward 99] Ward, T. B., Saunders, K. N., and Dodds, R. A.: Creative cognition in gifted adolescents, *Roeper Review*, Vol. 21, No. 4, pp. 260–266 (1999)
- [Ward 00] Ward, T. B., Dodds, R. A., Saunders, K. N., and Sifonis, C. M.: Attribute centrality and imaginative thought, *Memory & Cognition*, Vol. 28, No. 8, pp. 1387–1397 (2000)
- [Ward 02] Ward, T. B., Merryll, J., Sifonis, C. M., Dodds, R. A., and Saunders, K. N.: The role of graded category structure in imaginative thought, *Memory & Cognition*, Vol. 30, No. 2, pp. 199–216 (2002)
- [山本 01] 山本 昌弘: LEGO Mindstorms の世界, *人工知能学会誌*, Vol. 16, No. 3, pp. 393–398 (2001)

 著 者 紹 介

三輪 和久 (正会員)

1984 年名古屋大学工学部卒業。1989 年同大学院工学研究科博士課程修了 (情報工学専攻)。工学博士。名古屋大学情報処理教育センターを経て、1993 年より名古屋大学大学院人間情報学研究科認知情報論講座助教授。2003 年より同大学院情報科学研究科認知情報論講座助教授。1991 年～1992 年米国 Carnegie Mellon University, Dept. of Psychology, visiting assistant professor。認知科学, 人工知能, 教育工学の研究に従事。とりわけ問題解決, 理解, 発見, 創造といった人間の高次思

考過程に興味がある。

石井 成郎

1973 年生まれ。1996 年中京大学情報科学部認知科学科卒業。1998 年富山大学大学院教育学研究科教科教育専攻修士課程修了。現在, 名古屋大学大学院人間情報学研究科社会情報学専攻博士課程在学中。認知科学, 教育工学の研究に従事。人間の問題解決過程。とくにその創造的な側面に興味がある。日本認知科学会, 日本教育工学会, 教育システム情報学会各会員。