

作図すると何故ひらめくのか？

伊藤 毅志 大西 昇 杉江 昇
名古屋大学工学部

我々はしばしば、作図することによって発想を得たり、気づかなかつたことに気づいたりする、「ひらめき」の体験を得ることがある。本報告では、このような「ひらめき」のメカニズムを、知識ベースで起こる探索空間の効率化であると捉えた。そして、効率のよい探索を助ける働きをしているシステムをP C S (Problem Concern Space) という概念を用いて説明した。また、その働きを調べる心理実験も行い、結果を考察した。

Why Does an Idea Flash into Our Mind while Drawing Diagrams?

Takeshi Ito Noboru Ohnishi Noboru Sugie
School of Engineering, Nagoya University

Drawing diagrams often make us conceive good ideas or new imaginations ,what we call "flashes". We regarded the "flashes" as products resulting from an efficient searching in knowledge-base. First, we introduce a new concept PCS(Problem Concern Space) that explains the efficient searching mechanism. Next, we report psychological experiments examining how human constructs the PCS. Finally, we discuss the results.

1. はじめに

人間の問題解決などの思考活動を考えると、作図行動は非常に大きな役割を果たしていることがある。作図や視覚的なイメージが思考過程に影響を与えていていることを示す研究は、従来、心理学や認知科学の分野で数多くなされてきた¹⁾。

問題の解決や新しいデザインの考案など際に、図を描きながら考えることによって新しいイメージが生まれたり、気付かなかつた発想を得たりという経験は、誰でも一度はあるだろう。このようないわゆる「ひらめき」は、どのようなメカニズムで起こり、作図することとどんな関連性があるのだろうか？

このような疑問に答えるために、我々はこれまでに、幾何の証明問題を例に挙げ、作図利用に関する研究を行なってきた²⁾。そして、作図の利用の際の利点を以下の3つに分類した³⁾。

(1) 保持性…人間の作業記憶空間は、限られていて、この限られた空間内で比較的情報量の多い図的表現を保持しておくことは困難である。したがって、紙面などの外部に情報を一時的に保って作業記憶空間の負担を軽くするため。

(2) 操作性…文的表現では、順序立てて論理を組み合わせなければならないような内容でも、図的な表現を用いることによって、操作（推論など）が簡単になるため。

(3) 全体性…文的表現では、バラバラであった情報が、図的表現にすることによって個々の情報が関連を持って全体的に捉えられるため。

これらの利点は、作図と「ひらめき」の

関係を調べる手がかりとなると考えられる。

我々が「ひらめく」とき、問題解決システム内部（特に知識ベース内）ではどのようなことが起こっているのであろうか。

本報告では、作図行動によって人間の内部状態はどの様に変化するのかを、これまで我々が提案してきたDIPS (Diagrammatic Problem Solver) と新しく提案する知識ベース部の概念PCS (Problem Concern Space) をもとに考察する。そして、「ひらめき」が起こるメカニズムも考察する。

2. DIPS と知識ベース (PCS)

2. 1. DIPS の概要

我々は、幾何の問題解決を例に挙げ、DIPS という認知モデルを提案してきた。DIPS では、問題解決の過程を情報表現の変化の過程と捉える。一般に、文的表現で与えられる様々な問題の情報を、我々人間は内部で「理解し易い」表現に変換して操作し、「解決」の状態になるまで情報表現を変換していく。

図1がDIPSの概要を図で表わしたものである。システムは大きく分けて以下の3つに分けられる。

(1) 内部表象部

外界に存在する情報は感覚器を通して内部表象部に送られる。外界の様々な表現は感覚器によって信号 (code) に変えられ、短期的にここに蓄えられる。

この内部表象部の特徴として、以下の2点が挙げられる。

- ・扱える情報量には限度がある。

→一度に多くの情報を詳細に保持できない。

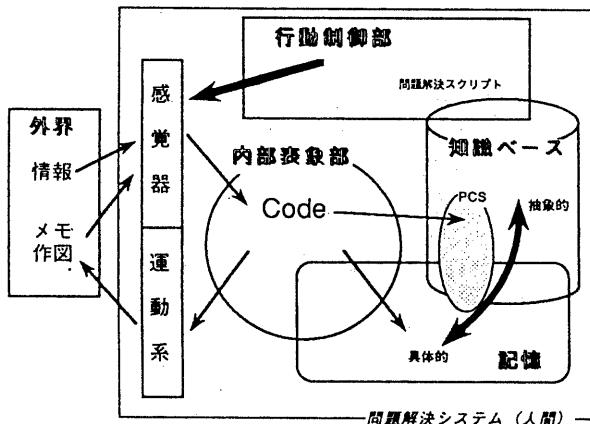


図1 認知モデル(DIPS)の概要

・注意を移動することによって、選択的に少量の情報だけを処理する。

(2) 知識ベースと記憶貯蔵庫

内部表象部でコード化された内容が引きとなって、知識ベース内の知識の呼び出しが行なわれる。この知識によって、芋づる的に関連する知識が弱い活性化状態になり、P C S (Problem Concern Space) を形成する。P C S は、同様に記憶貯蔵庫内部でも起こり、関連する記憶が呼び起され易い状態になる。これが、内部表象部に影響を与える、イメージを形成すると考える。また、行動制御部でも、P C S に結びついたスクリプトが選ばれ、それ以後の行動の制御を行なうと考えている。

(3) 行動制御部

人間の知的行動の制御をしている部分。人間は一定のルーチン的な行動をとる場合が多く、問題解決の際に起こるこのような行動系列を「問題解決スクリプト」と呼ぶことにした¹⁾。

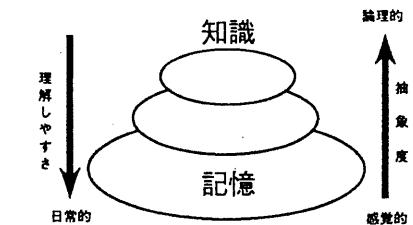


図2 知識と記憶の関係

ここで用いている「知識」と「記憶」の言葉の意味を明確にするために、図2のような図を使って説明しておく。「知識」と「記憶」は、ちょうど図2のような関係にあると考えている。「知識」も「記憶」も基本的には「脳内に蓄えられる情報」という点では同様のものであると考えられるが、その形態が抽象的な内容か、具体的な内容かの違いが「知識」と「記憶」の違いであると考える。

日常的で具体的な内容は、感覚と結びついて「記憶」として脳内に記録され、それらの内容を一般化して抽象化された情報が、「知識」として体系的に蓄えられると考えることにする。

2. 2. P C S (Problem Concern Space)

問題解決において、効率よく解決に至るために重要なことは、無駄な探索をせずに必要な情報にあたりをつけることであると言える。我々人間は、問題などの状況に応じて知識ベースにバイアスをかけ、必要な知識だけを取り出し易い状態にしていると

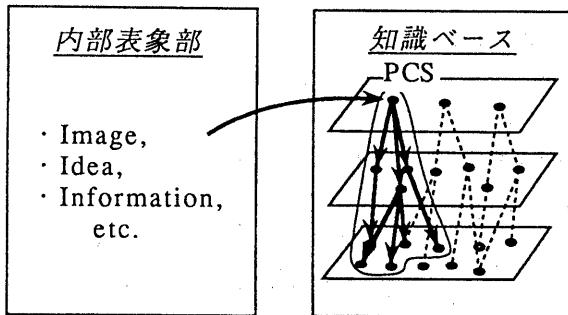


図3 内部表象部と知識ベース中のPCS

考えられる。このメカニズムを概念モデルとしたのが、以下に説明するPCS(Problem Concern Space)である。

まず、内部表象部に入ってきた情報が引金となり、その情報に対応する知識が発火する。知識ベース中の知識はお互いに関連する内容同士が結びついていて、発火した一つの知識に関連する他の知識が次々と弱い活性化状態となりPCSを構成すると考えている(図3)。

PCSには、以下のようない性質があると考えている。

- (1) 弱い活性化状態なので、注意を向けないと知識は意識にのぼらない。
- (2) 内部表象部に入ってくる情報の変化に応じて、空間も運動して変化する。

3. 心理実験

3. 1. 目的

幾何の問題解決において、図的情報の有無に応じて連想される知識にどのような違いが生ずるのかを調べる。すなわち、問題の表現によって活性化されるPCSがどのように変化するのかを調べる。

3. 2. 方法

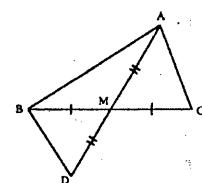
幾何の証明問題を例に挙げ、自由連想させながら問題を解かせた。被験者は、当大学の大学院生6名。問題の種類は、「問題文のみ(B)」「問題文+問題図(B・Z)」「問題図のみ(Z)」の3種類。教示条件は、作図可(D)、不可(N)の2種類。条件としては、 $3 * 2$ の6条件で実験を行なった。実験は、発話プロトコル実験を行い、発話内容を記録し分析を行なった。

問題：三角形ABCの辺BCの中点をMとし、AMを延長してその上に点Dをとり、 $DM = AM$ とすれば、 $BD = CA$ であることを証明せよ。

発話内容

- ・BCの中点はM。
- ・三角形の合同かな？
- ・ $DM = AM$ だから、MはADの中点。
- ・△ABCと△DCBの合同。
- ・四角形ABCDは平行四辺形。

など、、、



結果の特徴

-
- ・指摘する事柄の順序がバラバラ。
 - ・不適切な推論をする。
 - ・事柄間の関連づけがうまくできない。

図4(a) 文のみ呈示して、作図不可の条件 (B & N)

発話内容

- ・ $\triangle AMC \cong \triangle DMB$ の 合同 ?
- ・AM=MD
- ・BM=MC
- ・対頂角 $AMC = DMB$
- ・四角形ABCDは平行四辺形。



結果の特徴

- ・順序立てて事柄が並ぶ。
- ・スムーズに推論し、誤りが少ない。
- ・分かったことを図中に描き込む。

など、、、

図4(b) 文と図を呈示して、作図可能な条件 (B・Z&D)

3. 3. 結果

6条件間で、最も顕著な差の出た条件は、「問題文のみ&作図不可(B&N)」とそのほかの条件であった。ここでは典型例として、図4の二条件を挙げ、比較を行なった。(B&N)、(B・Z&D)

- ・どちらの条件でも、連想される内容自体にはそれほど差がなかった。
- ・問題解決にかかる時間は、(B&N)条件の方が長かった。
- ・(B&N)条件では、知識がバラバラに連想され、必要な知識を効率よく生成できなかつたのに対して、(B・Z&D)条件では、必要な知識を状況と結びつけて手順良く生成していた。

3. 4. 考察

実験結果で予想外だったのは、(B&N)条件では、もっと連想される内容が少なく、かなり間違った連想が生成されるだろうと考えていた。しかし、予想以上に正確で、内容的にも他の条件と大差ない連想が行なわれた。

この理由としては、もちろん被験者の能力に対して問題自体が簡単過ぎたということが考えられる。しかし、少なくとも大学

生のような抽象的表現の処理に習熟した者にとっては、比較的抽象的な情報だけで問題解決に適したPCSを形成し得ることを示している。PCSを形成するためには、必ずしも、作図のような具体的な図的表現は必要ではなく、鍵になる情報がありさえすればよいということが言えるだろう。

それでは、問題解決にとって作図は不要なのであろうか。結果の2つ目、3つ目にあるように、作図が全く使えない、連想される内容がバラバラになり、つながりがなくなつて解答時間も伸びる。これは、1章でも述べたような作図の利点と関係している。2. 2のPCSの性質で書いたように、PCSで弱活性化した内容は思い出し易い状態になっているだけで、注意を向けてやらないと意識上にのぼらない。頭の中の作業記憶空間の限界(7±2)を超える情報量の時は、作図の「保持性」「全体性」を活用する為に作図すると考えられる。すなわち、作図によって頭の中でぼんやり形成されたPCSを具体化して、作業記憶の補助として順序立てた思考過程の助けにしていると考えられるのではないだろうか?

PCS内だけでは、操作しきれない情報をいったん具体的な表現として表して、自

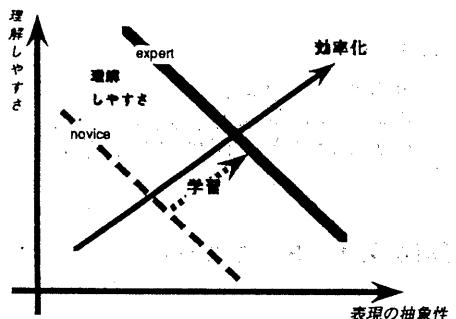


図5 情報表現の「抽象性」と「理解しやすさ」の関係

分の持っている知識との照合を行えることが作図の最大の利点であると言えるだろう。

また、抽象的情報処理の苦手な初心者にとっては、具体的で理解のしやすい図的表現を用いることによって、感覚的にイメージに直結した表現が得られるので、理解も進み解決に至り易くなると言える。情報の表現の具体性と理解し易さは図5のような関係にあると言えよう。

4. 「ひらめき」と「図的表現」

4. 1. 図的表現と作図

図的表現には、かなりいろいろな暗黙の制約が含まれている。分類すると図6のように表わせるだろう⁶⁾。

我々は、作図するときこれらのルールを無意識のうちに使って図を描いている。無意識のうちにということは、手続き化されているということで、作図の生成と理解の流れを図化すると図7になる。

4. 2. 「ひらめき」とは

問題解決における「ひらめき」を考えると、幾何の証明問題のような「閉じた問題」では、「気付かなかった解法に気付いた!」という場合が考えられるだろうし、デザインのような「開いた問題」では、「新しい発想を得た!」という場合と考えられる。

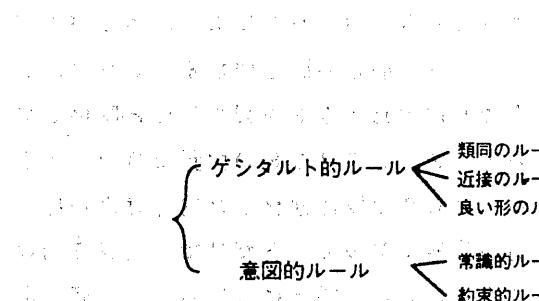


図6 図に含まれる制約

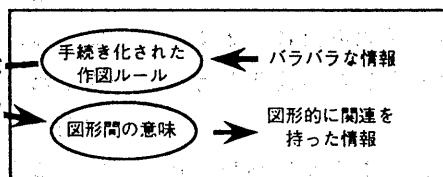


図7 作図の生成と解釈の流れ

しかし、よく考えてみると、どちらにしても、もともと全然頭になかった知識が、パッと浮かんだという訳ではなく、「そのつながりに気付かなかった」という場合であると捉えることができないだろうか？すなわち、「ひらめき」とは、頭の中にある知識が何らかの引金によって、取り出し易い状況になり出でてきた状態ではないかということである。

例えば、「ひらめき」を使った代表的なものとして、パズルが挙げられる。パズルでは、どうしても「ひらめかない」人のためにヒントが容易されている場合がある。このヒントは、「ひらめき」の引金になる情報であると言える。P C S の概念で説明すると、最初に与えられたパズルの問題情報から形成されるP C S では、広大すぎたり、解決に至る知識をどう関連づけて取り出したらよいか分からぬ状態であるときに、ヒントによって問題を再表現して新しいP C S を形成して、必要な知識を取り出し易くなると考えられる。

作図も、このヒントと同様に知識内部のつながりを図独特の表現で再表現し、知識同士をつなげる役割を持っていると考えられる。生成の際は、図7のようにルール化されているので、知識全体の構造には目がいかないが、図として完成されると、知識に対応した内容が図に含まれる制約によって（図6参照）関連を持って表現されているので、必要な知識が取り出し易くなっていて、「ひらめき」の感覚が得られると考えられる。

5. 今後の課題

作図による「ひらめき」は、作図によって得られた「情報のつながり」という要素だけでなく、作図するという行動自身が「ひらめき」と関係があるのではないかという指摘がある。行動自体がP C S を引き出す引金になっているという考え方といえるが、具体的に行動がどのように記憶や知識と結びついているのかという点は今後の課題と言えよう。

また、学習の度合いによって、理解力に差があり、図の意味する内容にも違いがあると考えられる。学習とP C S の関係を調べるという形式で、作図の利用の学習を考えていきたい。

謝辞

この研究は、文部省科研費重点領域「高次脳機能」(#04246104)の援助を受けている。

参考文献

- 1) J. G. Greeno: "問題解決の過程～幾何の問題による研究～", サイエンス社 (1985)
- 2) 伊藤毅志、大西昇、杉江昇、："作図過程を伴う幾何の問題解決認知モデルの提案", 信学論、j75-D-II, 10, pp. 1701-1712 (1992)
- 3) 伊藤毅志、大西昇、杉江昇、："作図生成過程を説明する内部モデル", 日本認知科学会第10回大会, pp. 156-157 (1993)
- 4) 伊藤毅志、大西昇、杉江昇、："幾何の問題解決能力の学習過程における作図利用の変化", H147-14, pp. 101-108 (1993)
- 5) 出原栄一他、："図の体系－図的思考とその表現－", 日科技連 (1986)