

2B4 研究開発における発想の転換とその支援の可能性

○植田 一博, 丹羽 清 (東京大学),
奥田 栄 (日立製作所), 調 麻佐志 (信州大学)

1 はじめに

従来, 認知科学や人工知能は次のような4つの問題に主に関心を寄せてきたと言える: すなわち, 情報量の低減・情報の強化(enrichment)・情報の貯蔵・情報の検索の4つである. このうち2つ目の欠如した情報を補うという操作, つまり情報の強化は, 問題解決・文章理解などの人間の通常の知的活動において頻繁に観察されるものである.

このような情報の強化のメカニズムとして, スキーマやスクリプトからの(事前に与えられた)情報の埋め込みや, 説明に基づく学習(EBL)に代表されるような演繹的な学習, などがこれまで提案されてきた. しかしながら, このように, 欠如した情報を既存の知識の中に埋め込むことで補ったり, 既存の知識から論理的に予測可能な情報を付加することで補ったりするアプローチでは, 解決できない問題も多く存在する. それは欠損のある初期情報の中に必要とされる情報がそもそも存在しない場合であり, こうした場合には初期情報とは質的に異なる(つまり, 単純には予測できないような)情報を付加し, 初期情報(知識)の表現形態を大きく(あるいは全く)変更することが不可欠となる. このようなmental leapを伴う表現の変更は, conceptual change¹と呼ばれている. このconceptual changeの性質(やメカニズム)を明らかにすることは重要な課題だと考えられるが, 今のところほとんど手がつけられていない.

一方, 認知科学や人工知能のようないわば人工的(artificial)な場面での人間の情報処理というものから離れて, 研究・開発(以下, R & Dと略記)のような現実の場面での人間の思考・情報処理活動に目を転ざると, 例えば野中が指摘しているように[3], 実は現実的な場面における人間の情報処理にも上述した4つの側面があると考えられる. R & Dのプロセスが, 初期情報(先行研究・事例・製品など)に実験・観察・思考を繰り返しながら新たな情報を付加し, 足りない情報を補っていくプロセスであることを考えると, 「情報の強化」という操作がここでも極めて重要であると言える. 従って, 先の議論からもわかるように, R & Dプロセスにおけるconceptual change, これは一般的には発想の転換と呼ばれているが, この性質やメカニズムの解明が望まれる. しかしながら, 認知科学の場合と同様に, 社会心理学や経営情報学においても, この研究はほとんど手つかずである. 例外的な研究として文献[1, 3]などがあるが, 前者は発想の転換よりはむしろ研究組織における協調活動(collaboration)に目が向けられ, 後者はR & Dのマネジメントサイドからの分析(従って, R & Dの現場にはあまり立ち入っていない)しか行っていない. 従ってこれら先行研究は, R & Dにおける発想の転換の性質やメカニズムを探るものとしては不十分と言わざるを得ない.

そこで筆者らは, R & Dにおける発想の転換の性質やメカニズムを解明するために, R & Dの現場で活躍する研究者に対するインタビューを実施した. 残念ながら, まだ統計的な分析を行なえるほどの事例数は集まっていないが, 本稿では, 発想の転換の顕著な事例を中心に事例の分析をまず行なう. R & Dの現場の研究者のみならずマネージャに対するインタビューを行なったケースもあるので, 発想の転換という観点からマネージャサイドと研究者サイドとの関係についても言及する. さらに, 現在までに得られた発想の転換の事例をパターン分類し, それらの知見をもとに, 最近注目を浴びつつある計算機による発想支援の可能性について議論する.

2 インタビューの方法

本節では, インタビューを行なう際の基本的な考え方と, 具体的な実施方法について簡単に説明する.

¹representation changeともtheory changeとも呼ばれる.

2.1 基本的な考え方

前節で *conceptual change* としての発想の転換の解明の重要性を指摘したが、筆者らは発想の転換を支えるメカニズムとして、以下の3つのものを想定している。すなわち、

1. **視点の転換** — 発想の転換は、駆動される知識が状況に応じて異なると考えられる [4]。そのような知識駆動のスイッチングを支えるのが視点・観点の転換である。
2. **類推 (analogy)** — 類推はある対象に関する知識を別の対象へ転写 (transfer) するような推論形態であるので、*conceptual change* を促すメカニズムとなり得る。
3. **確率的学習** — 論理的な飛躍のある、つまり *mental leap* を伴う知識獲得のメカニズムとなり得る。

の3つである。前二者は、人間が意識したり、コントロールしたりすることが可能であるのに対し、最後の確率的学習はそうではない。インタビュー・プロトコルに現れるものは当然意識可能なものが主であるので、インタビュー・プロトコルを用いた発想の転換の分析の枠組となり得るものは前二者であると言える。次節では、特に**視点の転換**に絞って発想の転換の性質やパターンを議論する（類推による発想の転換の解明に関しては、文献 [7] を参照のこと）。

2.2 インタビューの実施方法

ここではインタビューの実施方法について簡単に説明する（詳しくは、文献 [7] を参照のこと）。

2.2.1 インタビュー

インタビューは、*consensual assessment technique* の考え方に従い、業績が同僚の研究者 (colleagues) に高く評価されている研究者の中から選出した。その結果、自然科学・工学の分野の、(1) 公的ないし国家的な研究プロジェクトのリーダー、および (2) 過去数年間に学会から論文賞・研究賞を授与された創造的で生産的な研究者、がインタビューイとして選ばれた。現在のインタビューイの総数は22人である。

2.2.2 インタビューの実施と分析の方法

インタビューによって得られる回顧プロトコルの信頼性を向上されるために、以下のような手続きを採用した：すなわち、事前タスク (the pre-interview task)、インタビュー (the interview itself)、事後タスク (the post-interview task) からなるインタビュー方法である。各タスクの概要は下記の通りである。

事前タスク：インタビューの実施者 (interviewer) は事前にインタビューイに質問項目 (questionnaire) を送付する。インタビューイは質問項目を一読した後、最近の研究テーマの中からインタビューの目的にふさわしいと考えられる研究事例を選択し、その具体的な内容と背景知識を提供する文献をインタビューの実施者に送付する。

インタビュー：インタビューイはまず、各人の研究の概要とその研究過程でとられた思考過程の概要を説明するよう求められる。次にインタビューの実施者は、説明された概要の中で特にインタビューの目的にかかわる部分、不明確な部分などに関して質問を行ない、インタビューイはそれら質問に答えるように求められる。すべてのデータ、すなわち言語プロトコルは、テープに記録される。

事後タスク：すべてのプロトコル・データは内容分析 (content-analysis) の観点から分析され、構造化される：すなわちそれらのデータは、まず文書化 (transcribe) され、次に独自のコード化のためのスキーマ（詳細は文献 [7] に譲る）に従って分類され、分析される。最後にそれらデータは、時間順序に従って再構成される。

3 分析結果

本節ではまず、インタビューによって得られた「視点の転換」の事例を2つ報告する。さらに、それら視点の転換の事例をパターン分類した結果について説明する。

3.1 事例の分析

本稿では、研究者個人あるいは個人とみなし得る研究者集団の内部における視点の転換の事例を対象とする²。

インタビューの対象はいわゆる（開発を目的とした）応用研究と基礎研究の両方に及んでいるので、ここでは各々の典型例と思われる事例の紹介を行なう。前者に関しては、R & Dの現場の研究者のみならず、その（研究・開発には直接手を出していない）マネージャにもインタビューを行なったケースもある。後述する事例1はその例である。

3.1.1 事例1

事例1は、ある画期的な家庭用洗剤の開発に成功したプロジェクトにおける視点の転換の例である。

まずマネージャサイドから研究者サイドに、「洗浄力の高い（これを条件1とする）、コンパクトな（これを条件2とする）洗剤の開発」というミッション（mission）が伝わった³。このミッションはマーケティング調査の結果生まれたもので、ある意味ではこのミッション自体に視点の転換と呼べる要素が含まれている：すなわち、条件1は、洗浄力に関してそれ以上行なうべきことはないと考えられていた当時の状況に反するものであり、条件2は、洗剤の溶解力を確保するためにコンパクトさを犠牲にせざるを得なかった当時の状況に反するものである。しかしながら、このミッションに見られる視点の転換は具体化されたものではなく、真に画期的な視点の転換は各条件をクリアする方法を研究者サイドで考えているうちに生じたと考えられる。この点を条件1について説明する。インタビュー・プロトコルの分析の結果、条件1をクリアする過程において、以下のような3つの小規模な視点の転換が少なくとも生じていることがわかった。すなわち、

- 対象の絞り込み（漠然とした状況→天然繊維、特に木綿）
- 汚れの原因物質の絞り込み（漠然とした状況→皮脂）
- 汚れの原因を探る際に対象の焦点を当てる部分の変更（単繊維の外側→単繊維内部の微細な構造）

の3つである。これらのうち第一の視点の転換は、どういった繊維の汚れが落ちないかに関するマーケティング情報から導き出されたものである。第二の視点の転換は、絞り込まれた対象に対しての思考に基づくスクリーニング（screening）の結果導き出されたものである。最後の視点の転換はいわゆる「視点のブレークダウン」に相当するが、mental leapを伴う典型的な視点の転換であると考えられる⁴。この視点の転換の結果、「汚れの原因物質である皮脂が単繊維内部のアモルファスな部分にtrapされていることが、汚れが落ちない原因であること」であると判明し、その結果、「対象である単繊維に直接作用する洗浄方式」という発想を生み出した。従来は、汚れの原因が突き止められなかったので、単繊維に直接作用する必要性が認識されずに、結果として「汚れに作用する洗浄方式」という発想に留まっていた。つまりここで、「汚れに作用する洗浄方式」という従来の発想から「対象に直接作用する洗浄方式」という発想への大きな転換が生じたわけである。実はこの発想転換の例は文献[3]でも解説されているが、野中はマネージャサイドからの分析しか行っていない。しかしこの事例で重要な事柄は、

1. 研究開発における根本的で大きな発想の転換は、漸時的（incremental）な小規模な視点の転換の集積の結果であること。さらに個々の視点の転換は、相互に密接に関連し合っていること。
2. この発想の転換がマネージャサイドというよりは研究者サイドから出たものであると考えられること⁵。

の2点であり、実際の発想の転換は野中の分析ほど単純ではない。

この事例は、応用研究における視点の転換の具体的な一側面を示すとともに、それとマネージャとの関係を示す例でもある。

²個人間あるいは集団間のコミュニケーションや協同活動が視点の転換（ひいては発想の転換）に与える影響については別稿に譲る。

³但し、このプロジェクトの開始時期を厳密に特定するのは難しいようである。

⁴というのも、化学的には alternative な説明は考えられるにもかかわらず、その場では考慮せずにこのような視点の転換を行なったからである。

⁵実際、単繊維の内部に皮脂が浸透しているという予想は研究者の側から提案され、その予想の確認実験はマネージャサイドで一時 suspend されていたようである。

3.1.2 事例2

事例2は、原子配列の欠損によるイオン散乱に関する研究を行なっている研究者に対するインタビューにおける視点の転換の例である。インタビューの中で次のような言質を得た。

電子とか光とか…、いわゆる量子力学的な粒子を使う場合には、…、原子の長周期の構造を理解する場合にはいいですけれども、原子のとなり同士の関係というものをみるときは、イオンという古典力学的な粒子を…使った方がいい。

このことはとりもなおさず、この研究者が研究の過程において、現象を観察する際の基礎となる理論（量子力学／古典力学）の選択（これは theory change/selection に相当）を意識的にコントロールしていることを示していると言える。この事実は、次節で述べる計算機による発想支援の可能性を間接的に支持していると考えられる。

これらの事例からわかることは、(1) 重要な発想の転換は、現場の研究者の小規模な視点の転換の積み重ねからなっている場合があること、(2) 研究者が自らの視点の転換を意識的にコントロールしている場合があること、である。

3.2 視点の転換のパターン分類

インタビュー・プロトコルから得られた、研究者サイドの様々な視点の転換の事例を、2つのパターンに分類して以下に示す。なお、これら2つのパターンを Polanyi の暗黙知の理論 [6] に従って図示したものが図1である。

(A) パターンA

外界の現実物 (actual object) のどの部分に焦点を当て、対象となる世界 (focused system) を切り取ってくるかを決定・変更するようなタイプの視点の転換であり、この場合研究者は、心的世界 (mental world) ではなくて外界 (external world) に直接働きかけることになる。

- (1) 対象のどの部分（対象全体／特定の構成要素、対象の外部／内部）に焦点を当てるかを決定・変更するような視点の転換。
- (2) 対象となる世界を、どのような物質レベル（原子核／原子／分子）に焦点を当てて探求するかを決定・変更するような視点の転換。
- (3) 物質のどのような状態レベル（多結晶／短結晶／アモルファス／溶液に溶けた状態）に焦点を当てて探求するかを決定・変更するような視点の転換。
- (4) 対象に対する実験を行なう際に注目すべきパラメータ（温度／圧力／湿度／光度、など）を決定・変更するような視点の転換。

(B) パターンB

対象となる世界 (focused system) で生じる現象を観察・理解する際の基礎となるような理論・説明 (knowledge about viewpoint) を選択・変更するようなタイプの視点の転換であり、この場合研究者は、外界ではなくて心的世界に直接働きかけることになる。

- (1) 対象となる世界で生じる現象を観察・理解する際の基礎となるような理論・説明自体を直接的に選択・変更するような視点の転換。
- (2) 対象となる世界で生じる現象を理解する際の基礎となる研究分野を選択・変更するような視点の転換。
- (3) 研究を実施する際の R & D における自らの役割（マネージャ／主任研究者／研究者）を故意に変更するような視点の転換⁶。

Polanyi のいう遠隔項は図1の *focused system*(S) に、近接項は *knowledge about viewpoint*(K_v) に相当する。Polanyi は近接項への直接的な接近に対してかなり否定的な見方をしているが、インタビューの結果パターンBのような視点の転換が見られたことから、必ずしも Polanyi の見方は正しいと言えないであろう。もちろん図1はまだ決定的なものではないが、視点の転換と呼ばれる心的メカニズムの解明に一つの示唆を与えるものだと考えられる。

⁶つまり、他人の立場・役割に立って考えてみるということ。

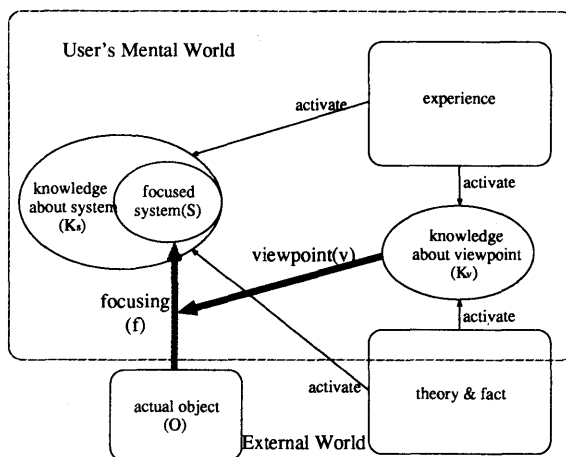


図 1: 視点転換のパターン

4 計算機による発想支援の可能性

本節では、前節でのインタビュー・プロトコルの分析結果をふまえ、視点の転換をユーザである研究者が行なうことを計算機によって支援 (facilitate) する可能性を探る。それには、「いかなる視点の転換」を「どのようにして」支援するかを議論する必要がある。

まず第1の点、つまり「いかなる視点の転換」に関してであるが、第3.1節で述べたように、R & D、特に応用研究においては、R & Dにおける具体的な視点の転換はマネージャサイドというよりは研究者サイドより出ている場合が多いと考えられる。もちろん、前節で述べたように、ある意味での大まかな視点の転換はマネージャサイドにおいても生じており、その結果がミッションという形で現場サイドに伝わっているわけである。だがこのようなマネージャサイドの視点の転換は、主にマーケティング調査によってある程度直接的に導き出されるものであり⁷、計算機によって支援されることが期待される類のものではない。計算機による支援の対象となり得るのは、研究者サイドの視点の転換である。前節でも述べたように、研究者サイドの発想の転換は、いくつかの小規模な視点の転換から積み上げられるものであると考えられるので、計算機による支援の直接の対象は、そのような研究者サイドの細かな視点の転換であると考えられる。

次に第2の点、すなわち「どのように支援するか」に関してであるが、筆者らは既に CCCV 法と呼ばれる方法を提案している。詳細は文献 [8] に譲るが、この方法は、第3.2節で説明した視点の転換の（実際に観察された）仕方を、問題解決に窮しているユーザに（研究の方向性を示す）ガイドとして直接提示することで、視点の転換による conceptual change を促し、ユーザの新たな研究の展開の方向を開こうとするものである。例えば、観察された事実の説明に困っているユーザに対しては、パターン B の (1) のガイドを提示するが、その際ユーザが陥っている状況（例えば、考えている対象、自分で適用可能だと思っている理論など）を入力させ、知識ベースを利用して代替案（この場合だと、別の可能な説明理論）をも提示する⁸。状況に応じたガイドの提示まではまだ考えられていないが、第3.2節で示したパターン分類はその手がかりを与えると考えられる。

視点の転換の仕方をガイドとして提示するというこの方法は、いわゆる創造開発技法 [5]、特にチェック・リスト法に似ている。筆者らの研究はある意味では、チェック・リスト法のチェック・リストの各項目が実際の R & D 中の視点の転換にそぐうものであるかどうかを実証的に調べた研究であるとも言うことができる。

⁷つまり、マーケティング調査によって収集されたユーザの意見（の一部）を製品に反映させることが新たな目標となるわけだが、その新たな目標自体が現状と比較するとある種の視点の転換をもたらしていることになる。

⁸それには理論間の関係が知識ベースに記述されている必要がある。

ところで、このような発想支援の方法は有効なのであろうか。筆者らの中の一人が長年研究してきた HCC(human-computer cooperation)[2]とは、人間と計算機とが協同で問題解決にあたらうとする考え方であるが、その格となるものが、第 3.2 節で説明したパターン B の (2) および (3) のガイドの提示による視点の転換である。そして丹羽は、大規模建設プロジェクトの risk management のためのエキスパート・システムにこの方法を適用し、その有効性を確認した。CCCV 法は丹羽の HCC の考え方を一般化したものと言えるから、CCCV 法の発想支援法としての有効性は部分的には既に確認されているわけである。

以上の議論からわかるように、CCCV 法は有効であると期待できそうである。しかし有効性を確認するためには CCCV 法の計算機への実装を行なうことが重要であり、筆者らは現在それを行なっている。

5 まとめ

本稿は、R & D における「発想の転換」を conceptual change として捉え、その重要なメカニズムの一つであると考えられる「視点の転換」を調べるために行なったインタビューについて述べた。まず、インタビューの結果見いだされた視点の転換の典型的な事例を分析した。その結果、(1) 重要な発想の転換は、現場の研究者の小規模な視点の転換の積み重ねからなっている場合があること、(2) 研究者が自らの視点の転換を意識的にコントロールしている場合があること、などが明らかになった。さらに、それら視点の転換の事例のパターン分類を行なった。その結果、インタビュー・プロトコルに現れた視点の転換の事例は、少なくとも 2 つのパターンに分けられることがわかった。最後に、そのような視点の転換に基づく発想の転換を計算機で支援する可能性について論じた。

謝辞

本研究は、科学技術庁の平成 6 年度科学技術振興調整費による「知的生産活動における創造性支援に関する基礎的研究」の一環として行なわれた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] Dunbar, K. How Scientists Really Reason: Scientific Reasoning in Real-World Laboratories, In R.J.Sternberg & J.E.Davidson(eds.) *The Nature of Insight*, MIT Press, pp365-395, 1994.
- [2] K.Niwa. *Knowledge-Based Risk Management in Engineering: A Case Study in Human-Computer Cooperative Systems*, John Wiley & Sons Inc., 1989.
- [3] 野中郁次郎. 『知識創造の経営』, 日本経済新聞社, 1990.
- [4] 宮崎清孝・上野直樹. 『視点』, 東京大学出版会, 1985.
- [5] 高橋誠 (編). 『創造開発技法ハンドブック』, 日本ビジネスレポート, 1981.
- [6] M.Polanyi. *The Tacit Knowledge*, Routledge & Kegan Paul Ltd., 1966.
- [7] 植田一博. 科学的仮説形成における類推の使用. 『日本認知科学会第 21 回 L&L 研究会論文集』 SIGLAL95-1, pp20-30, 1995.
- [8] Ueda, K., Niwa, K., Okuda, S., & Shirabe, M. Human-Computer Cooperative Idea Generation in R & D by Supporting Users' Changing Viewpoints and by Using Tacit Knowledge, in Y.Anzai et al.(eds.) *Symbiosis of Human and Artifact: Future Computing and Design for Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum Associates, pp799-804, 1995.