

# 問題解決における知識利用

## — レビューと展望 —

粟津俊二

### 要約

問題解決に概念的知識が与える影響について先行研究を整理し、今後の研究課題について考察した。認知科学的な問題解決研究では、問題解決に知識が大きく影響することが知られている。しかし一方で、問題解決に知識を利用させようとするのが困難なことも明らかになっている。このパラドックスについて、これまでの知見から知識の特性によって説明することは可能である。しかし、個体と外界との相互作用を重視する視点からこの説明を見ると、内的資源だけの説明でしかなく、知識を利用するときの環境がどのように影響するのかが無視されている。今後、問題解決における知識の役割について、個体と環境との相互作用という視点から解明することが必要と考える。特に、概念的知識が問題解決中の行為に与える影響を記述すること、トップダウン的行為とボトムアップ的行為の統合過程を解明すること、ボトムアップ的行為の抑制メカニズムを解明すること、の3点が重要であることを指摘した。

### 1. 本論文の目的

本論文は、問題解決における知識の影響について先行研究を整理し、今後の課題を探索することを目的とする。

「問題」とは人間の様々な活動を広く網羅する概念であるが、特定の目標がありかつ解決者がただちに目標を達成できない状態、と定義されている。言い換えれば、何らかの理由、例えば内的・外的資源の不足によって目標を達成できない状態が「問題状態」であり、目標を達成するために何かをすることが「問題解決」である (Kahney, 1986)。問題解決は初期状態、目標状態、演算子 (オペレータ)、制約条件の4つを用いて、初期状態から目標状態に移行する探索過程として表現することができる (安西, 1982)。これら4つの条件がすべて解決者に明示的に与えられている場合を良定義問題、逆にどれかが明示されていない場合を不良定義問題と呼ぶ (Kahney, 1986)。

さて、認知科学、認知心理学では、知識がヒトの活動に大きな影響を与えることが知られている。例えば、馴染みのない事柄について考えるときには、すでに知っている事柄についての知識が利用される (Gentner and Gentner, 1983)。穴掘りのような肉体的作業でさえ、環境との相互作用に知識が重要な働きをする (Shalin and Verdile, 2003)。チェスの熟達者はチェスの経験の中でコマの配置や定跡を記憶し、その知識を利用して盤面を把握する (Chase and Simon, 1973)。熟達者の高いパフォーマンスも知識の影響と考えられており、知識構造を測定することによって技能獲得の指標となる (Day, Arthur and Gettman, 2001)。

次節で述べるように、問題解決にも知識は大きな影響を与えている。しかし一方で、知識を問題解決に利用しようとするのが困難なことも示されている。したがって、現象としてはパラドックスである。本論文では、このパラドックスについて先行研究を利用して説明し、次いで問題解決と知識の関係について今後研究すべき方向性を探る。

## 2. 知識利用におけるパラドックス

### 2-1. 問題解決には知識が必要である

多くの研究から、問題解決には知識が大きな影響を与えることが示されている。1) 問題をどのように捉え、何を目標とするかという問題の理解、2) どのように解決するかという問題の解き方の2点に分けて整理する。

#### (1) 問題の理解

Chi, Feltovich, and Glaser (1981) では、物理学の問題解決における知識と問題の内的表現の関係を調べた。熟達者の知識はいくつかの原理を中心として構造化されており、知識と問題文を照合して適切な原理と知識を選択し、問題文を詳しく解釈して内的表現を構成すると考えられている。また、町工場の旋盤熟練工も、設計図面に指示されていない内容まで推測し、それによって段取りや作業手順を変える (粟津, 2002)。このように熟達者は、明確に示されていない内容まで知識を用いて推論し、問題を理解する。

問題を理解することに知識を用い、解決しやすい問題として理解するという事は、熟達者研究では一般的に見られることである。例えば医療診断では患者の身体について完全な情報を得ることは不可能であり、かつ時間的な切迫性も高い。診断者は、得られた情報と既存知識をもとに仮説を組み立て、診断という曖昧な問題を仮説間の選択問題に変えてしまう (Elstein, Shulman, and Sparafka, 1979; Kassirer and Gorry, 1978)。またコンピュータソフトウェアの設計では、通常、発注元がシステムの最終的形式を詳細に指示することができず、システムの内容や構造は設計者に任せられてしまう。初心者は問題全体を粗いプログラムに直し始めるのに対し、熟達者はシステム設計のための知識を用いて、問題を構造のはっきりした複数の問題に分解して取りかかることが知られている (Jeffries, Turner, Polson, and Atwood, 1981)。

問題理解における知識の影響は、問題構造が明確でないほど重要となる。不良定義問題では

解決者が自分で問題を定義する必要が生じるため、十分な知識があれば、経験をもたない者にとって不明確に見える問題も、明確な構造を持つ問題として扱うことができる。Greeno (1976) は、無限の目標が存在するような問題でも、解決者の知識を考慮すればかなり明確な問題になることが多いと述べている。初めに説明した良定義問題と不良定義問題の境界も、解決者の知識を考えれば曖昧になる。

このように、同じ問題を与えられても、解決者の持つ知識によって問題の特性が異なってくる。どのような問題として扱うか、あるいは不良定義問題なのか良定義問題なのかなど、問題を理解することには解決者の知識が大きな影響を与える。

## (2) 問題の解き方

問題の解き方も、知識によって影響を受ける。古典的な例は心理学の多くの教科書（井上, 2001 など）で取り上げられている Luchins の水瓶問題で見られる問題解決の構えや、Maier のろうそく問題に見られる機能的固着である。いずれも、先行経験によって問題解決方略が固定され、効率的な問題解決が阻害されることを示している。逆に、Greeno, Magone and Chaiklins (1979) では、類似問題で構えを作ることによって、幾何の問題を解くときに適当な補助線を引くことが促進されることが示された。つまり、先行経験と解決すべき課題の関係によって、知識は問題の解決を阻害も促進もする。

問題解決過程を見た研究として、Larkin, McDermott, Simon and Simon (1980) が有名である。この研究では、初心者と熟達者に思考内容を発話しながら物理の力学問題を解かせた。その結果初心者は後ろ向きに、つまり最終的に求める未知量を見出し、その未知量を求めるのに適当な物理学の関係式を検索し、その式によって未知量を求めるときに必要な変数を拾い出し、その変数を求めるために再び関係式を検索する、という方法で問題を解決していた。しかし熟達者は前向き、つまり問題文中の既知量の組み合わせによって新しい量を見出せる関係式を検索してまず新しい量を求め、それと既知量を組み合わせることで再び新しい量を求めるという方法で解決していた。熟達者の技能が知識によって支えられているならば、これも知識の影響ということになる。

目標に達するために、どのような状態を経てどの演算子を使うのかと計画することもある。このような場合、知識が豊富な状況に対しては複雑なプランをたてることができる。Klahr and Robinson (1981) では、幼児にハノイの塔パズルを解かせた。5、6歳児はハノイの塔パズルで3段階くらいのプランしか立てられないが、馴染みのある状況にあてはめたストーリーと道具立てを与えると、5歳児で4段階、6歳児で5段階くらいのプランが作れた。また、大人でも方略的知識の多くが問題領域に依存することが示されている (Greeno, 1978)。さらには、手段-目標分析のような一般的方法は、問題の領域に関連した知識が不足しているときに用いられる「弱い」方法とされており (安西, 1982)、逆に知識が豊富であればより効率的な方法が用いられる。

このように、問題の理解にも解き方にも知識は影響を与えている。この他にも問題解決に知識が影響を与えることは様々な研究で確かめられており、ヒトの問題解決、つまり目標を達成する

試みを、その個人の持つ知識を無視して考えることはできない。

## 2-2. 問題解決に知識を利用するのは困難である

前節で述べたように、問題解決に知識が大きな影響を与えることは、多くの研究で確認されている。しかし、逆に知識を問題解決に利用させようとするのが困難なことも、多くの研究で確認されている。本節では、過去経験を新しい状況に適用させるという転移研究、および類推的問題解決研究を中心に、問題解決に先行経験で獲得した知識を利用することの困難さについて述べる。

Reed, Ernst and Banerji (1974) では、宣教師問題と嫉妬深い夫問題という論理パズルを用いて転移について検討している。宣教師問題とは「3人の宣教師と3人の人食い人種が左から右へ川を渡ろうとしているが、2人乗りのボートしかない。堤にいる人食い人種の数が宣教師の数よりも多くなると、宣教師は食べられてしまう。全員無事にわたれるまでの最小回数を見つけよ」というものである。また嫉妬深い夫問題とは、問題構造は宣教師問題と同じであるが、妻は自分の夫がいないところでは他人の夫と一緒にいることができない、という制約が加えられる。この2つは正解だけを考えれば同一であるが、嫉妬深い夫問題の方が制約が多く、正答でない手の可能性を多くもっている。実験の結果、同一問題を2度行った被験者は、2回目には手数が増えた。別の問題を組み合わせると、嫉妬深い夫問題を先に宣教師問題を後に行い、かつ実験者が2つの問題の類似性を教示した場合のみ、2回目で手数が減少した。しかし、宣教師問題を先、嫉妬深い夫問題を後に行うと、類似性を教示しても成績は向上しなかった。この結果から、先の経験が後の類似問題の解決を促進するには、問題間の類似性を解決者が認識しており、かつ後の問題が先の問題より単純である必要があると結論している。このように、先行経験を後の問題解決に利用するには、利用できることに気付くことと、気付いた知識を直面する問題に適用できることが必要になる。

Singley and Anderson (1989) は、知識の転移を、既有知識のどれが直面する課題に適用できるかに気付くという段階（気付きフェイズ）と、その知識を直面する課題に適用させるという段階（対応づけフェイズ）に分けた。以下、この区分にしたがって、どのような困難が生じるのかを整理する。

### (1) 気付きフェイズに関する研究（知識が利用できることの発見）

Reed, Ernst and Banerji (1974) で確認されたように、問題間の類似性を解決者が認識できるかどうかは、転移の発生に大きな影響を与える。例えば Gick and Holyoak (1980) では、要塞を攻略するために兵力を分散するという要塞問題と、悪性腫瘍を破壊するために複数方向から放射線を当てるといった放射線問題との間で、解決方法が転移するかどうかを調べている。複数の方向から力を分散して与えて一点に集中するという解決方略が同じでも、要塞問題の経験は放射線問題に生かされにくい。しかし、要塞問題の解法が放射線問題に利用できることを教示すれば、利用することができた。一般に、問題が明確な構造を持つ場合、解決者が類似性に気付けば転移が発生すると考えられている (Luger and Bauer, 1978)。

しかし、類似性に気付くのが難しいようである。まず問題の類似性は表層的類似性と構造的

類似性に区別できる。表層的類似性とは、先の問題（ベース問題）と後の問題（ターゲット問題）に含まれている具体的内容同士の類似性である。一方構造的類似性とは、ベース問題とターゲット問題を構成する抽象的構造の類似性である（Gick and Holyoak, 1980）。問題を解決するには、表層的類似性がいくら類似していても類推に有効とは限らず、構造的類似性の高いことが重要とされている（Hollandら, 1986）。したがって、現在の問題と類似した文脈・状況で問題解決した経験があっても、その経験が問題解決に有効とは限らない。別の文脈・状況で経験したことに、有効なものがある可能性も高い。

Gick and Holyoak (1980) では、類推的問題解決にはベース問題を適切に符号化して選択すること、ターゲット問題からの一般原理の抽出、ベース問題とターゲット問題の関係の発見（写像）が必要と述べている。中でも、ターゲット問題に利用できる適切なベース問題（先行経験）を発見することは、自分が利用可能な経験を持っているかどうかも定かでない状態において、かつ自分の有するすべての知識の中から、特定の経験を選択するということになり、極めて困難であるとされている。問題を理解するための知識や問題を解くための知識の多くが、問題の文脈や表面的意味に依存しているため、抽象レベルで構造が似た問題でも、類似問題と気づき難いと考えられている（Palson and Jeffreis, 1983）。Holyoak and Koh (1987) でも、既有知識を使うよりも適切なときにその知識にアクセスする方が難しく、類似性さえ指摘されればその知識を使うのは比較的容易であると考えている。

気付くことが難しい理由は、ヒトの記憶システムの特性に由来するだろう。ヒトの記憶システムには、符号化特殊性原理という特性があり（Tulving and Thomson, 1973）、ある文脈で再生できるかどうかは、記銘した文脈に大きく依存する。したがって、ある問題に直面したとき、解決者がその問題の解決に有益な知識をもっている、その知識を獲得した文脈と、解決すべき問題の文脈が異なれば、その知識は想起され難い。つまり、ヒトが持つ知識は文脈に強く結びついているため、知識を獲得した文脈と問題を解決すべき文脈が異なると、利用できる知識が発見できない場合がある。

## (2) 対応付けフェイズ（利用できる知識の適用）

逆に、文脈性、状況性の弱い抽象的知識は、比較的転移が発生しやすいようである。Bassok and Holyoak (1989) は、幾何学と物理学の間で転移の発生が非対称なことを示した。幾何学から物理学への転移は発生したが、物理学から幾何学への転移は発生しにくかった。物理学という文脈で獲得された知識よりも、より抽象的な幾何学の文脈で獲得された知識の方が転移しやすいと考えられている。

知識の抽象性と転移に関しては、教育心理学でも研究されている。教育心理学では、事例とともに説明されることによって獲得した知識は、その事例と類似した範囲にしか適用されにくいことが知られている。言い換えれば、概念の教示に使用された事例によって、獲得される概念的知識の一般化可能性は影響されるということである。工藤（2003）では、この現象を「事例効果」と呼び、種子植物という概念を題材として、事例効果が生じる原因を調べている。この研究によれば、一般性を持つ概念が教示情報に含まれていないと解釈する学習者が比較的多

数（約半数）いること、このような被験者は一般化可能な概念を使用するのではなく学習した事例からの帰納学習に頼ること、を明らかにした。つまり、一般化可能な抽象的知識が事例と切り離して獲得されなければ、その知識を別の問題に適用することは困難であると言える。しかし、単に抽象的な知識というだけでは、対応付けフェイズにおいて問題に直面する。

坂田（2000）では、4歳から6歳の幼児を対象として、弁別ルールを言語教示すれば視覚弁別にその知識が利用できるかどうか調べた。すると、分類ルールを知識として獲得できても、年齢に関係なく選択課題の成績に反映されない場合があった。さらに、特定の刺激にだけ適用できる特殊知識と、同じ領域の別の刺激にも適用できる一般的知識の効果を比較すると、4歳児はどちらの知識も刺激弁別課題に使用できなかったが、5歳児では特殊知識は使用できるものの一般的知識は使用できなかった。知識としてルールを獲得しても、それを使用できない場合があるようである。また、工藤（2005）では大学生を対象に幾何学の問題を用いて、概念的知識の利用について調べている。ヒントを与えても解答できない被験者も一定の割合でいることから、概念的知識には知識操作水準というものがあり、知識を利用して問題解決できるかどうか重要な影響を与えると述べている。これらの研究は、知識を有し、その知識を使うことに気付いたとしても、適切な解に至らない可能性があることを示している。

知識を獲得するだけでは、直面する問題の解決に有効でないというのは教育・訓練場面ではよく言われることである。Smitsら（2003）では、産業衛生担当者のためのメンタルヘルス問題のマネジメントについて事例研究型研修と講義型研修を比較している。研修後に正誤判断と記述型のペーパーテストと、自己報告と指標にもとづいた実践での活動成績を検討したところ、ペーパーテストで測定される知識は事例研究でも講義型でも増加していた。しかし、実践活動成績は事例研究型研修を受けた群の方が優れていた。Salas and Cannon-Bowers（2001）は、産業・軍事場面の研修訓練に関する近年の成果を整理している。この中で、訓練内容から実作業への転移について、訓練はある文脈から他へ般化すること、しかし訓練内容は練習する機会を必要とすることを指摘している。つまり、知識を獲得しただけではその知識が実務に十分利用されないため、実作業あるいはそれに似た状況の中で、訓練内容を実行して練習する必要があると考えられている。

ここまでの議論をまとめると、問題解決には以前に獲得した知識が影響するものの、以前に獲得した知識を問題解決に利用しようとするのが難しいというパラドックスが存在する。具体的には、抽象的知識の方が新しい問題に利用できるが、抽象的知識を用いて直面する課題を解決することは難しいということになる。

### 2-3. パラドックスの解決

類推的問題解決研究では転移が成立する知識の性質が研究されており、教育心理学では転移が成立するような知識獲得方法、教授方法が研究されている。利用可能な知識の内容、利用するプロセス、利用可能な知識の獲得過程について先行研究を整理する。

#### (1) 知識内容

問題解決研究では、先の問題解決経験によってどのような知識が獲得され、後の問題解決を促進するのかが研究されてきた。Anzai and Simon (1979) では、ハノイの塔パズルの解決過程において、途中結果、無駄な操作、下位目標、手続きなどが学習されることを示した。これらの知識によって探索量が減らされ、新しい方略の発見に繋がるとされている。Anzai (1986) では、船の操舵シミュレーションにおいて、演算子、演算子の選択条件、望ましい状態などが問題解決過程で学習され、問題の内的表現が精緻化されるとしている。仮屋園 (1997) は、問題解決による知識獲得が、後の問題解決過程に与える影響に関する既存研究を整理している。仮屋園 (1997) によると、多くの研究は、問題に関する知識が増加すると、制約条件に対する解法プランがどう変化するかという点を扱っており、制約条件、解法プラン、対象の関係、下位目標、目標に関する知識（問題構造に関する知識を、いつどこで、どのように、何のために使うかという知識）など問題構造に関する知識が獲得されるとしている。中でも、問題解決中に適切な下位目標が提示されたり、自分で生成することができれば問題解決は早くなることが実証されている (Simon and Reed, 1976 : Reed, 1977)。このことから、解決者は問題解決過程に様々な要素を学習するが、後続問題を解くために最も有効に使われる知識の1つは下位目標に関する知識と考えられている (Egan and Greeno, 1974 : Reed and Johnsen, 1977)。

一方、問題に適用する知識自体の内容を検討した研究もある。進藤・麻柄 (1999) では、経済のルール「競争があると価格が下がる」を教えたのち、それを使って経済活動を説明するか検討した。価格が相対的に低下している事例を出して、その理由を問うような問題を提示すると、教示した知識を使用して説明することは困難であった。しかし、問題文にあわせたルールの方向「価格が下がるのは競争がある証拠」に記述を変えて学習させると、使用することができた。つまり、課題解決に被験者が求められる推理の方向と、ルールの記述様式が一致していると、ルールの適用が促進された。また藤田 (2005a) では、概念構造を問題に合わせて変換操作するための知識を教授することで、様々な事例に対する概念の利用が促進されることを示した。これらの結果は、受容した知識を問題に合わせた形に修正することが困難なこと、しかしそのような修正がなされた知識は使用されることを示すと考えられよう。Hinds, Patterson and Pfeffer (2001) では、電子工作を課題として、熟達者が初心者を指導するときには抽象的な単語を使った説明を行うこと、熟達者に指導された初心者は、より具体的な単語を使って説明する初心者に指導された初心者よりも、当該課題の遂行が困難だが類似課題への転移成績が高いことが示された。これは、抽象度の高い知識のみを学習すると類似課題に適用できるが、直面する課題のみに関してならば、より具体的な知識を学習した方が適用しやすいということである。ここで用いられている課題は、実際の部品を使った電子工作であり、抽象的な知識を伝達されても、その知識が直面する外界に対応付けるのが困難なためと考えられる。また、逆に類似課題に適用するには、ある程度抽象度の高い知識の方が適用範囲が広いと考えられる。

これらの研究から考えると、抽象的知識を利用するには、解決すべき問題の下位目標などの問題構造や、使用する形式に変換された抽象的知識、その問題状況固有の具体的知識などが必要と言える。これらは、他の問題と同一のものとは限らず、その問題状況に依存した状況依存

的な知識ということができよう。

## (2) 知識利用のメカニズム

転移や類推のメカニズムに関する理論は幾つかあるが、ここでは鈴木(1996)の「類推の準抽象化理論」を紹介する。この理論では、類推をベース問題、ターゲット問題、抽象化の3項関係で捉え、抽象的知識を介在することによってベースからターゲットへの類推が発生すると考えている。ただし、抽象化のレベルには以下の3つの制限があるため「準抽象化」と名付けている。その制限とは、1) 一般化された目標の達成に向けたものになっている、2) 抽象化内の対象や関係はその目標の達成の観点から、意味的、機能的にまとまりを持っている、3) そこに関与する対象は目標を達成するための条件を見たしている、という3つである。つまり、準抽象化として想定されているのは、知識が目標達成に向けて構造化されていることである。

この理論にもとづけば、気づきフェイズに発生する問題を回避するには知識の抽象化が、対応付けフェイズに発生する問題を回避するには「準抽象化」が必要ということになる。

## (3) 知識の獲得

後続の問題解決に利用できる知識の獲得方法について検討した研究がある。大きく分けて知識の抽象化に関する研究と、知識の構造化に関する研究に分けることができよう。

抽象化の促進を検討した研究をまとめると、事例数が鍵となっているようである。藤田(2005b)では、概念説明時に用いる事例数と概念の般化可能性を検討している。説明時の具体的事例が少数だと、その概念の適用範囲は説明に用いた事例と表面的特徴が類似する事例に限られた。事例数を増やすと、適用範囲が広がった。しかし、抽象化しただけでは使用できないことは、先に述べた通りである。

一方構造化に関する研究からは、主体的活動が重要なことが指摘されている。例えば荷方・島田(2005)では、ベース問題の学習後に類題を作成することで、ヒント無しにターゲット問題への転移が成立し、しかも遅延にも耐えた。類題作成によって単に学習事例が増加したためによる効果ではなく、類題作成活動に含まれる主体的活動が、転移の成立に大きく貢献することが示された。

しかし、主体的活動の内容もより詳細に見る必要があるようである。仮屋園(1997)によれば、手段-目標分析を解法プランとして用いた場合、問題解決中の学習は生じにくい。手段-目標分析とは、問題全体を複数の小さな問題に分割し、大きな目標を小さな目標に分割して、小目標に達成する手段を探索するという問題解決方略である。解法プランを立て易くすることができ、人間が用いる一般的な問題解決方法と考えられている。しかし、単に問題の解決のみを目標とした場合、目標状態への到達や制約条件のクリアのみを考えればよいと、問題構造全体の把握や操作による問題状態の変化などに注意を向けられない可能性が高いとしている。

これに類似した主張が、熟達研究においてなされている。波多野・稲垣(1983)は熟達者を2種類に分類した。1つ目は「手際のよい熟達者」と呼ばれ、特定の課題を素早く正確に行うことができるが、新しい課題には適応できない熟達者である。2つ目は「適応的熟達者」と呼ばれ、新しい課題や突発的な問題にも柔軟に対応できる者である。先行経験から獲得した知識を



利用して新しい問題を解決するという類推的問題解決は、適応的熟達とみなすことができよう。適応的熟達に至るには固定的な課題を繰り返し経験するだけでなく、多様な課題を経験したり、予測されていない問題に対応したり、目標の達成を目指すだけでなく自由に探索できるときに進むとされている。後続の問題に利用可能な知識を獲得するには、多様な課題を経験すること、および問題構造や状態変化などに注意を向けて主体的に解決する必要があると考えられる。

#### (4) パラドックスに関するまとめ、および問題提起

知識内容、知識構造、知識獲得に関する先行研究をまとめると、利用可能な知識の特性は次のようになろう。知識の転移には、ある程度抽象化された問題構造に関する知識と領域関連知識が、目標にそって構造化されている必要がある。なお、ここでいう構造化とは、知識が問題にそって変換された（あるいは変換可能な）ものであることを含む。このような知識は、多様な問題を、問題構造全体や状態変化などにも注意を向けながら解決することによって獲得される。先に「パラドックス」と述べたものは、後続の問題に利用できる知識が、これらの特性を有しているかどうかによって発生すると考えられる。言い換えれば、これまでの研究をまとめると、個体が自身の持つ知識を新しい場面で利用できるかどうかは、その知識の特性によって定まる、ということになる。

近年、筆者も含め多くの研究者が、このような解釈では不十分と考えている。ヒトが問題を解決する、つまり目標に到達しようとするときには、必ずそのときの状況、あるいは「場」が存在する。

ヒトの日常的な問題解決の例として、中央労働災害防止協会（2004）で紹介されている職場改善事例の中から、伝声管によるコミュニケーション改善を取り上げる。ある大型機械（布加工用）では、材料入り口側と出口側で2名の作業員が従事している。時折この2名でコミュニケーションを取る必要があるのだが、機械の騒音と10数mの距離のため声が聞こえない。そこで、作業に必要なコミュニケーションを取れるように改善するという事例である。改善策は、原材料の布が巻き付けられていた紙パイプとプラスチック片で伝声管を作り、呼び出し時には工場中に張り巡らされている圧縮空気を使って笛を鳴らすというものであった。

解決のアイデアとしてはトランシーバーの使用や工場内 PHS の使用などもあったが、金銭的成本がかかるため、実際に環境に働きかける前のアイデアの段階で却下された。トランシーバーというアイデアは解決者が産出したものであるが、コストという制約条件は上司という他者から与えられた。制約を満たす目標状態が発見されるまで探索が続けられ、最終的に伝声管というアイデアが創発されたが、これは潜水艦の話を知ったという。よって、解決のアイデアも他者から伝達されたものである。伝声管用の管は紙パイプであるが、眼前に現物があることで創発が促進されたのかもしれない。

次に、アイデアを実現する必要がある。取り付け方法は機械の形状、紙パイプの形状・性質、使用できる工具の種類などが絡まって定まる。設計図を描いたかもしれないが、現物を操作して、修正しながら作業しないとできないだろう。紙パイプの伝声管設置という目標に向かって、外界の具体的事物を操作しながら、状況に応じて微調整を加え設置したということになる

う。実際に紙パイプ伝声管を設置してみると、呼び出している声に気付きにくかった。新しい問題の発見である。

この問題解決プロセスは、紙パイプや工具、大型機械の形など外界の資源・状況の中で生じたもので、外界と相互作用しながら解決されていった。解決者の持つ知識や目標と、外界の事物や他者の双方が問題解決に作用している。このように考えると、状況がどのように影響するのも含めた説明を構築しなくては、ヒトの問題解決過程も、その過程における知識の役割も十分に理解できたことにならないように思える。

### 3. 認知科学の転換

その場の状況を重視する立場は、認知科学・認知心理学では徐々に広まっている。認知科学では、ヒトをシンボル処理システムとみなして研究がすすめられ、シンボル処理システムと外界との関係を極めて単純に仮定していた。しかし1980年代頃から、この前提に対する批判が、主に文化人類学や人工知能研究から出されるようになった。

外界への働きかけである行為を説明する理論として、認知科学の古典的なものにTOTE理論がある(Miller, Galanter, and Pribram, 1960)。TOTE理論では、コンピュータプログラムのようなプランが行為を完全にコントロールしていると想定していた。またプランは急速に交代することがあるものの、直列的な処理と想定されており、生活体はプランを初めから終わりまで順をおって処理し、1つの部分を完了してから次の部分へ移っていくと考えられていた。このような行為論に対して、Suchman(1987)は文化人類学の視点から批判を加え、プランは行為の合理性を説明するときだけに、後付け的に使われるものと考えた。つまり、たとえ行為の前にプランを持っていても、生活体が行為する状況は絶えず変化し続けているため、特定の状況での予見不可能な偶発的出来事に対応せざるをえない。そのため、プランは必然的に漠然としたものになり、何らかの目的を達成するための行為はプランだけでは制御できない。行為は例え体系だったものでも、プランで完全に制御されるようなものではなく、特定の具体的な状況の文脈に影響されたものである、と主張した。実際、ロボットの遠隔操作をするときには、その場所について先に知識を持っていることではなく、操縦者がその場での空間関係を把握できることが重要となる(Sekman, Wilkes, Goldman, and Zein-Sabatto, 2003)。つまり、十分な知識を持ち、その知識にもとづいてプランを形成していたとしても、具体的状況の中で移動することすら困難である。

人工知能研究からの批判は、基本的にはシンボル処理システムを外界と相互作用させるときに発生する問題に関するものである。Keijzer(2001)がフレーム問題、教示問題、接地問題、参照枠問題の4つに整理している。例えば、認知科学では、知覚した環境に対して心的モデルを構築し、そのモデルにもとづいて様々な認知活動が行われると想定する。しかし、現実の環境は主体の行為や様々な要因によって絶え間なく変化するため、モデルと実環境とをどのように適合させるのかという問題が生じる。これがフレーム問題である。フレーム問題はどのように環境をモデ

ル化しても必ず発生し、精巧なモデルほど問題が大きくなる (Pfeifer and Scaier, 1999)。

また、シンボル (記号) はそれ自体では意味を持たず、シンボルが表す現実世界の内容と関連づけられないと理解できない。シンボル処理システムの代表例はコンピュータであるが、これは記号表現されたもののみを扱うことができる情報処理マシンである。例えば、「犬」という記号表現をディスプレイ上に表示することができるし、その記号意義を「四本足の中型ほ乳類でワンと鳴く」と定義することもできる。また、「犬の写真」を「犬」という記号表現にリンクさせることもできる。しかし、実物の犬そのものを取り込むことはできないし、「犬」という記号表現と「犬の写真」をリンクさせることも、外部のプログラマーやユーザーの手を借りなければならない。そもそも、「犬の写真」自体が2ビット信号として処理されており、犬の写真自体が保存されているわけではなく、ヒトの目に犬の写真に見えるように表示しているだけである。つまり、記号表現同士を外部の手助けによってリンクさせることはできるが、「犬」という記号表現がシンボル処理システムの外部のどのような事象を示しているのかという記号内容を、シンボル処理システム自体が持つことはできない。したがって、シンボル処理システムは記号を理解することができない。これが、シンボル処理システムが扱うシンボルを、いかに実世界と結びつけるかという記号接地問題 (Harnad, 1990) である。

これらの批判を受け、認知科学からも相互作用を重視し、シンボル処理システム仮定を見直す研究が出てきた。身体的認知という主張である。ヒトをシンボル処理システムとみなす認知科学では、ヒトが持つ知識やヒトが形成する内部表象はシンボルであり、高次な認知処理はシンボル操作であると考えてきた。また、シンボルは知覚システムによって外界に接地していると考えたことで、記号接地問題を遠ざけてきた。一方、身体性認知の考えではヒトをシンボル処理システムと考えない。

Glenberg (1997) は、記憶と概念化は知覚と行為に役立てるためにあると提案している。知覚システムは我々が外界の3次元世界との相互作用を促進するために進化したものであり、外界はありうる身体的相互作用パターンとして概念化されると考える。Glenbergによれば、記憶は身体行為パターンが符号化されたものであり、知識は抽象化されたものでも感覚から切り離されたものでもなく、我々の身体が事物とどのように相互作用しているかを反映したものである。行為が行われるときには、環境特性 (Glenberg は projectable 特性と呼んでいる) に由来する相互作用パターンと、目標などの記憶に由来する相互作用パターンとが統合 (mesh) され、両方の行為パターンを充足するように身体を動かす方法が記述される。この統合パターンがさらに一貫した行為の計画へと統合され、その結果、環境の意味が認識されると考える。つまり、ある人物にとっての事物、イベント、文の意味は、その人物がその事物、イベント、文に対して何ができるかという潜在的な行為パターンによって決定される。例えば水を飲むときにコップを持つという行為を考えると、「コップ」と認識されたのでそれを持つのではなく、「水を飲む」という目標を達成する相互作用を満たすオブジェクトを「コップ」と認識する、ということになる。このような考えを示す実験的証拠も得られている。Mervis (1987) では、丸いボール型の貯金箱を、機能を知らないときは「ボール」と呼び、お金を入れる穴の機能を理解してからは「貯金箱」と呼ぶようになっ

たことが示された。Barsalou (1985) では、火事に持ち出すもの、誕生日のプレゼントなどのカテゴリは、目標との関連で柔軟に構成されることが示された。つまり、物の属性やカテゴリは客観的に決定されるのではなく、行為主体と物との相互作用を通じて属性として成立する。

Barsalou (1999) は、身体性認知の考えにもとづいた意味記憶システムの理論として Perceptual Symbol System を提案した。この理論では知覚システムと意味記憶システムは分離しておらず、共通の表象システムに依存している。意味記憶システムは、カテゴリを表現するために知覚システムで再活性化したシミュレーションを使う。例えば意味記憶システムが事物の視覚特性を表現するときは、視覚システムが使用される。このような意味記憶システムでは、概念は抽象的表象ではなく、その状況での行為の必要性に応じて適切な表象を作るスキル、シミュレータである。

このように身体性認知の主張では、知識や概念をはじめ生物の認知活動を、身体を通して外界との相互作用を行うことに焦点を当てて理解する。身体性認知にもとづいた研究は近年盛んになされているが、ヒトをシンボル処理システムとみなした研究で発見されてきた様々な現象を説明できるかどうか未だ明確でない。また、我々は何かを「コップ」として代用することができるが、それが「コップ」でないことを認識しながら代用する。つまり、相互作用にもとづいた意味と、そのもの自体の持つ意味とを並存させているように思える。明らかに今後の研究が必要とされる課題である。しかし、意味ネットワークなど感覚から分離したシンボルがネットワークを形成している、という知識観を見直す必要があることは確かであろう。

状況論による批判も人工知能研究に由来する批判も、個体と外界との相互作用という視点から認知科学を見直す契機となった。鈴木 (2001) は、認知は固定的なモジュールやルールだけでは説明されず、領域固有の知識および利用のためのメカニズムなどの内的資源、図・文章・他者・文化・社会などの外的資源、およびこれらの相互作用による創発現象として捉えるべきと提唱している。また鈴木 (2003) ではこの提唱をより具体化し、これからの認知研究が扱うべき知の性質として、次の4条件を挙げている。1) 生成性：表象は利用時の状況にあわせて動的に構成される、2) 冗長性・重奏性：知的行為には複数の処理経路が存在し、同時に重奏的に作用する、3) 局所相互作用：処理は中央を介さずにローカルシステム間でなされることもあるし、状況特性との関連で活性化した複数の表象が局所的に相互作用する中で進む、4) 開放性：知的行為は外部の存在、およびそれとの相互作用を前提としたものである、の4つである。

#### 4. 問題解決研究における今後の課題

もう一度「パラドックス」の説明について考えてみたい。既有知識を後続の問題に利用できるかどうかを、知識の特性からだけで説明することは内的資源だけからの説明であり、問題解決状況における個体と外界の相互作用を考慮していない。唯一、表層的類似性という概念によって、知識の転移が気付きフェイズにおいて外界の影響を受ける現象を記述している程度である。対応付けフェイズでは、個体と外界の相互作用によってどのような影響があるのだろうか。現状では、

ほとんど不明である。

まず、個体と外界の相互作用という概念そのものについて検討し、焦点を絞りたい。外界と個体との相互作用について認知主体の側から考えると、大きく外界の認識と外界への働きかけ（行為）があるだろう。認識だけを取り出して検討することは、知覚心理学・認知心理学がこれまでに行ってきたことである。また、身体的認知の考えにしたがえば、外界は取りうる行為によって意味づけられる。したがって、行為がより重要と考えられる。

ここで、何らかの目標を達成するまでの行為には階層性があることに注意が必要である。例えば Clark and Crossland (1985) では、行為をアクト＝アクションシステムとして階層性を提起している。最も高い水準はアクト (act) であり、その下にアクション (action)、最も低い水準として行動または運動を位置づけている。例えば挨拶は act、握手は action、手をさしのべることは行動または運動である。さらに、指をだれかの掌のまわりに接近させて握ること、前腕を上げ下げすることなどは、握手というアクションを構成するアイテムと呼んでいる。ただし、習慣的に行われる行為はスキルとして自動化されており、しかもその程度には個人差がある。分析対象とする行為がどのようなものを定義する必要はあるが、階層別に細かく検討することなどは意味があるとは思えない。Glenberg らのいう行為パターンは環境との相互作用の仕方という意味である。相互作用に重点をおいていることを考えれば、環境中の対象物に対する働きかけ、つまり「何を何する」というレベル、および「いつするのか」に焦点を当てるべきであろう。例えば、「レバーを回す」という行為で相互作用として重要なのは、「いつ」「どのレバーを」「どうする」ということであろう。つまり、行為条件、行為対象物、行為内容の決定である。

相互作用の中でも行為に着目すると、行為の発現つまり内的・外的資源がどのように働いて行為が決定されるのかという問題と、行為結果つまり行為によって内的資源がどう変化するのかという問題に区分することができよう。前者は行為発現のプロセスを解明することが目的となり、後者は内的資源の獲得（学習）過程および獲得内容を解明することが目的となる。筆者としては、行為条件、行為対象物、行為内容という要素について、内的資源・外的資源を利用して決定するプロセスと、行為による環境の変化から学習するプロセスおよび学習内容を研究することが、今後の認知科学にとって重要と考える。ただし、行為決定のプロセスと内的資源の獲得プロセスは、環境認識のプロセスとともに、最終的には環境との相互作用プロセスとして統合されるべきものである。研究を進める上で、便宜上区分するにすぎないことには注意する必要がある。

後者の学習プロセスについては、「問題解決による学習」に関する研究が部分的には相当するだろう。例えば、Anzai (1986) は操船のシミュレーション課題において、自己の反応に対して得られるフィードバックによって反応の基準が変化することを示した。また Anzai and Simon (1979) はハノイの塔を経験することによって、問題の制約条件が学習されることを明らかにしている。鈴木・開 (2003) は、T パズルを解く被験者の手順を分析し、誤った制約によって問題解決に行き詰まる過程を何度も繰り返すことで、知識やバイアスによる制約が克服されると考えた。これらの研究は、問題解決によって制約条件が学習あるいは緩和される過程に焦点を当てたものであり、先の筆者の区分で言えば、相互作用による内的資源の獲得にあたる。行為条件、行為対象物、

行為内容という区分で言えば、Anzai (1986) は行為条件として反応基準を獲得することを、Anzai and Simon (1979) は行為条件として問題構造が決定する制約を獲得することを示し、鈴木・開 (2003) は行為内容の創発に、以前の行為内容の行き詰まりが必要なことを示したと考えることができる。

一方、行為の条件、対象物、行為内容について、内的資源・外的資源を利用して決定するプロセスはどうであろうか。いわば、「鉛筆を取る」という行為について、「鉛筆」が何で、どのように「取る」のかを決定するプロセスである。筆者の本来の興味は問題解決における知識利用なので、この興味によってさらに研究課題を絞りこんでいきたい。

### 課題1：概念的知識と行為の決定プロセス

知識の獲得には様々なものがあるが、講義や書籍などの説明によって獲得する知識と、課題を実行したり考えたりする経験によって獲得する知識に分けることができよう。仮屋崎 (1997) では、前者の教師や書物によって言語的、概念的、観念的に、具体的知識を通さずに外から受ける知識を「概念的知識」、後者の具体的で明確な目的の達成によって獲得した知識を「行いを通した知識」としている。

先に紹介した工藤 (2005) や藤田 (2005a) を考えると、概念的知識はそのままで問題解決に利用しにくく、概念的知識を直面する問題状況に利用するための知識、あるいは変換が必要となる。しかし先述したように、この説明では外界との相互作用の影響が無視されている。内的資源・外的資源という言葉でいえば、その知識の内容にそった外的資源がほとんど皆無の状況での知識利用になっている。鈴木 (2003) の言葉を借りれば、「開放性」がない。

実は、問題解決における知識の影響に関する研究の多くは、「開放性」の低い課題であった。例えば、物理学 (Chi, Feltovich and Glaser, 1981 ; Larkin, McDermott, Simon and Simon, 1980)、平面幾何 (安西, 1980)、プログラミング (Pennington and Rehder, 1995)、計算 (Singley and Anderson, 1989)、要塞問題と放射線問題 (Gick and Holyoak, 1980 ; Hollandら, 1986 ; 荷方・島田, 2005 など) などであり、外界の事物の操作はほとんど含まれない。知識内容にそった外的資源のある環境であれば、その環境と相互作用することで、概念的知識が変容されることもあるのではないだろうか。外界との相互作用を必要とする問題解決過程において、概念的知識と行為との関係を検討することが必要となろう。

Glenberg (1997) では、行為は目標などの記憶に由来する行為パターン (以降、トップダウン的行為と名付ける) とそのときの環境に由来する行為パターン (以降、ボトムアップ的行為と名付ける) とが統合されたものと考え。また、ボトムアップ的行為は意識的・努力的に抑制することができ、抑制することによって、予測、想起経験、言語理解が可能になると考える。この考えを利用すると、問題解決は、目標を達成できるようにトップダウン的行為とボトムアップ的行為とを統合する過程、および統合された行為パターンが発現したもの、と捉えることができる。もしそうならば、観察された試行錯誤行為をトップダウン的行為かボトムアップ的行為かに分類し、その発現状況の変化を記述することで、目標に適した環境との相互作用方法を

獲得する過程を記述できるはずである。

筆者が最も興味を持つのは、概念的知識という内的資源である。問題解決をこのように捉えれば、問題解決における概念的知識の影響という興味は、トップダウン的の発現、ボトムアップ的の発現と抑制、両行為の統合に概念的知識がどのように影響するか、という問題と再定義することができよう。

概念的知識の影響によって、行為がどのように変化するかを記述することが初めのステップとなる。そして、行為がトップダウン的の行為とボトムアップ的の行為の統合されたものであれば、問題解決に適切な行為が出現し、それが維持されるまでは、2つの行為パターンの調整が試行錯誤的に行われるであろう。つまり、トップダウン的に決定される行為対象物、行為条件、行為内容と、ボトムアップ的に決定される行為対象物、行為条件、行為内容とが混合すると考えられる。同じ問題を繰り返し行うことで、これらを統合する過程が見えてくる可能性がある。

## 課題2：抑制

Glenberg は、ボトムアップ的の行為は抑制されると考えているが、実は環境に対する反応を抑制することは容易でない。例えばリスザル (Anderson, Awazu and Fujita, 2000 ; 2004) やニホンザル (Silberberg and Fujita, 1996) は少ない量の餌を選んで多くの餌を貰う、という行動を獲得するのにかなりの訓練を要する。これはチンパンジーでも同じあるが、シンボル使用の訓練を受けた個体の場合は、餌ではなく餌の量を示すシンボルを用いれば容易に学習することができる (Boysen and Berntson, 1995 ; Boysen, Berntson, Hannna and Cacioppo, 1996)。またタマリンは、問題解決過程において不適切な解を抑制することが困難であり、抑制しやすい状況で訓練して初めて可能になる課題もある (Santos, Ericson and Hauser, 1999)。つまり、類人猿を含め霊長類では、直面する環境において視覚刺激に誘発される行動を抑制するには、相当な訓練が必要となる。ヒトの場合では、実際の行為に入る前にいわゆる「段取り」をすることがある。例えば土井 (1998) は中学生に組み立て課題をさせて段取りの効果を見ているが、段取りによって動作エラー (やり直し) が少なく、組み立てにかかる作業時間が減少した。これは、目標到達に障害となるボトムアップ的の行為が抑制され、あるいはトップダウン的の行為の想起が促進されたということも一因ではないだろうか。逆に言えば、ヒトにおいて、不適切な環境の中ではボトムアップ行為の抑制、あるいはトップダウン的の行為の想起が困難になることも十分に考えられる。

行為を調べた研究ではないが、Littlefield Cook and Rieser (2005) は目標達成に無関係な情報を抑制することが、問題解決に大きな影響を与えることを示している。5年生が数学の文章問題を解くときの視点移動を調べ、視点を関連情報、無関連情報、質問、作業場所、その他に分類した。実験1では無関係な数的情報の影響、実験2では無関係な質的情報の影響を調べた結果、問題を解けたときは成績の高低に関係なく、質問に誘導されて関係情報と無関係情報を比較していた。高成績の児童は問題の難易度に合わせて視点を柔軟に変化させたが、低成績の児童は柔軟でなかった。

行為の変化の中でも、特にボトムアップ的行為の抑制について検討することが、ヒトの問題解決過程の特徴を解明することに繋がると考えられる。

#### 引用文献

- Anderson, J. R., Awazu, S., and Fujita, K. (2000). Can squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) learn self-control? A study using food array selection tests and reverse-reward contingency. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **26**, 87-97.
- Anderson, J. R., Awazu, S., and Fajita, K. (2004). Squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) choose smaller food arrays: Long-term retention, choice with nonpreferred food, and transposition. *Journal of Comparative Psychology*, **118**, 58-64.
- 安西祐一郎 (1980). 「問題解決における理解について」, *心理学評論*, **23**, 7-36.
- 安西祐一郎 (1982). 「問題解決の過程」. 波多野誼余夫(編) 「認知心理学講座 4 学習と発達」. 東京大学出版会. Pp61-90.
- Anzai, Y (1986). Cognitive control of real-time event-driven systems. *Cognitive Science*, **8**, 221-254.
- Anzai, Y. and Simon, H.A. (1979). The theory of learning by doing. *Psychological Review*, **86**, 124-140.
- 粟津俊二 (2002). 「熟練旋盤工の技能・技能獲得過程について」. *労働科学*, **78**, 254-262.
- Barsalou, L.W. (1985). Ideals, central tendency, and frequency of instantiation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, **11**, 629-654.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual Symbol Systems. *Behavioral and brain science*, **22**, 577-660.
- Bassok, M., and Holyoak, K.J. (1989). Interdomain transfer between isomorphic topics in algebra and physics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 153-166.
- Boysen, S.T., and Berntson, G.G. (1995). Response to quality: perceptual vs. cognitive mechanisms in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **21**, 83-86.
- Boysen, S.T., Berntson, G.G., Hannan, M.B., and Cacioppo, J.T. (1996). Quality based interference and symbolic representations in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, **22**, 76-86.
- Chase, G.C. and Simon, H.A. (1973). Perception in chess. *Cognitive psychology*, **4**, 55-81.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., and Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problem by experts and novices. *Cognitive Science*, **5**, 121-152.
- 中央労働災害防止協会 (2004)「エルゴノミクス手法を活用した安全衛生対策に関する調査研究委員会報告書」. 中央労働災害防止協会調査研究部.
- Clark, D.C., and Crossland, J. (1985) *Action system*. Methuen.
- 土井康作 (1998) 「組立課題における作業段取りの効果について」. *教育心理学研究*, **46**, 68-76.
- Day, E.R., Arthur, W.Jr., and Gettman, D. (2001). Knowledge structure and the acquisition of a complex



- skill. *Journal of Applied Psychology*, **86**, 1022-1033.
- Elstein, A.S., Shulman, L.A., and Sparafka, S.A. (1979). *Medical problem solving. An analysis of clinical reasoning*. Harvard University Press.
- Egan, D.E. and Greeno, J.G. (1974) Theory of rule induction. In L.W.Gregg (Ed.) *Knowledge and cognition*. Lawrence Erlbaum. Pp43-103.
- 藤田敦 (2005a). 「属性操作に関する事例の教示が概念の般化可能性に及ぼす効果 -気圧の力学的性質の概念受容学習-」. *教育心理学研究*, **53**, 393-404.
- 藤田敦 (2005b). 「複数事例の提示が概念の般化可能性に及ぼす影響 -気圧の力学的性質に関する概念受容学習過程-」. *教育心理学研究*, **53**, 122-132.
- Greeno, J.G. (1976). Indefinite goals in well-structured problems. *Psychological Review*, **83**, 479-491.
- Greeno, J.G. (1978). A study of problem solving. In R.Glaser. (Eds.), *Advances in instructional psychology, Vol. 1*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Greeno, J.G., Magone, M.E., and Chaiklins, S. (1979). Theory of construction and set in problem solving. *Memory and Cognition*, **7**, 445-461.
- Glenberg, A.M. (1997). What memory is for. *Behavioral and brain sciences*, **20**, 1-55.
- Gentner, D., and Gentner, D.R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity. In D.Gentner., and A.L.Stevens. (Eds.), *Mental Models*. Lawrence Erlbaum, Pp. 99-129.
- Gick, M.L., and Holyoak, K.J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, **12**, 306-355.
- Harnad, S. (1990) The symbol grounding problem. *Physica D*, **42**, 335-346.
- 波多野誼余夫・稲垣佳世子 (1983). 「文化と認知」. 坂本昂(編)「現代基礎心理学7 思考・知能・言語」. 東京大学出版会.
- Hinds, P.J., Patterson, M., and Pfeffer, J. (2001). Bothered by abstraction: the effect of expertise on knowledge transfer and subsequent novice performance. *Journal of Applied Psychology*, **86**, 1232-1243.
- Holland, J.H., Holyoak, K.J., Nisbett, R.E., and Thagard, P.R. (1986). *Induction: processes of interference, learning and discovery*. The MIT Press.市川伸一他(訳)「インダクションー推論・学習・発見の統合理論に向けて」. 新曜社.
- Holyoak, K.J. and Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition*, **15**, 332-340.
- 井上枝一郎(編著) (2001). 「心理学の理解」. 労働科学研究所出版部.
- Jeffries, R., Turner, A.A., Polson, P.G., and Atwood, M.E. (1981). The processes involved in designing software. In J.R.Anderson. (Ed), *Cognitive skills and their acquisition*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Kassirer, J.P., and Gorry, G.A. (1978). Clinical problem solving: a behavioral analysis. *Annals of Internal Medicine*, **89**, 245.

- Kahney, H. (1986). *Problem solving: A cognitive approach*. Open University press.
- 長町三生(監修)「問題解決」. 海文堂.
- 仮屋園昭彦 (1997). 「問題解決過程における知識の獲得に関する研究」. 風間書房.
- Keijzer, F. (2001). *Representation and behavior*. The MIT press.
- Klahr, D., and Robinson, M. (1981). Formal assessment problem-solving and planning processes in preschool children. *Cognitive Psychology*, **13**, 113-148.
- 工藤与志文 (2003). 「概念授業学習における知識の一般化可能性に及ぼす教示情報解釈の効果-『事例にもとづく帰納学習』の可能性の検討-」. *教育心理学研究*, **51**, 281-287.
- 工藤与志文 (2005). 「概念的知識の適用可能性におよぼす知識操作水準の影響 -平行四辺形求積公式の場合-」. *教育心理学研究*, **53**, 405-413.
- Larkin, J.H., McDermott, J., Simon, D.P., and Simon, H.A. (1980). Models of competence in solving physics problem. *Cognitive Science*, **4**, 317-345.
- Littlefield Cook, J., and Rieser, J.J. (2005). Finding the critical facts: children's visual scan pattern when solving story problems that contain irrelevant information. *Journal of Educational Psychology*, **97**, 224-234.
- Luger, G.F., and Bauer, M.A. (1978) Transfer effects in isomorphic problem situation. *Acta Psychologica*, **42**, 121-131.
- Mervis, C.B. (1987). Child-basic object categories and early lexical development. In U. Neisser. (Ed) *Concepts and conceptual development: Ecological and intellectual factors in categorization*. Cambridge University Press. Pp201-233.
- Miller, G.A., Galanter, E., and Pribram, K.H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. Holt, Reinhart and Winston. 十島雍蔵・佐久間章・黒田輝彦・江頭幸晴(訳)「プランと行動の構造」. 誠信書房.
- 荷方邦夫・島田英昭 (2005). 「類題作成経験が類推的問題解決に与える効果」. *教育心理学研究*, **53**, 381-392.
- Palson, P.G., and Jeffreys, R. (1983). Problem solving as search and understanding. In R. Sternberg. (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence, Vol 1*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Pennington, N., and Rehder, B. (1995). Looking for transfer and interference. In D.L. Medin. (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, **33**, 223-289.
- Pfeifer, R., and Scaier, C. (1999). *Understanding Intelligence*. The MIT Press:
- Reed, S.K. (1977). Facilitation of problem solving. IN N.Castellan, D.Pisoni., and G.Potts. (Eds), *Cognitive theory, Vol 2*. Lawrence Erlbaum. Pp3-20.
- Reed, S.K., Ernst, G.W., and Banerji, R (1974). The role of analogy in transfer between similar problem states. *Cognitive Psychology*, **6**, 436-450.
- Reed S.K., and Johnsen, J.A. (1977). Memory for problem solving. In B.H.Bower. (Ed.) *The psychology of learning and motivation*, **11**, 161-201.

- 坂田陽子 (2000) 「幼児の選択的注意課題遂行における知識の役割」. *教育心理学研究*, **48**, 63-74.
- Salas, E., and Cannon-Bowers, J.A. (2001). The science of training: a decade of progress. *Annual Review of Psychology*, **52**, 471-499.
- Santos, L.R., Erickson, B.N., and Hauser, M.D. (1999). Constraints on problem solving and inhibition: object retrieval in cotton top tamarins. *Journal of Comparative Psychology*, **113**, 186-193.
- Sekman, A.S., Wilkes, M., Goldman, S.R., and Zein-Sabatto, S. (2003). Exploring importance of location and poor knowledge of environment on mobile robot control. *International Journal of Human-Computer Studies*, **58**, 5-20.
- Shalin, V.L., and Verdile, C.L. (2003). The identification of knowledge content and function in manual labor. *Ergonomics*, **46**, 695-713.
- Silberberg, A., and Fujita, K. (1996) Pointing at smaller food amounts in an analogue of Boysen and Berntson's (1995) procedure. *Journal of the experimental analysis of behavior*, **66**, 143-147.
- Singley, M.K., and Anderson, J.R. (1989). *Transfer of cognitive skill*. Harvard University Press.
- Simon, H.A., and Reed, S.K. (1976). Modeling strategy shifts in problem solving task. *Cognitive Psychology*, **8**, 86-97.
- 進藤聡彦・麻柄啓一 (1999). 「ルール適用の促進要因としてのルールの方向性と適用練習 - 経済学の『競争と価格のルール』の教授法に関する探索研究」. *教育心理学研究*, **47**, 462-470.
- Smits, P.B., de Buissonje, C.D., Verbeek, J.H., van Dijk, F.J., Metx, J.C., and ten Cate, O.J. (2003). Problem-based learning versus lecture-based learning in postgraduate medical education. *Scandinavian Journal of work, Environment, and Health*, **29**, 280-287.
- Suchman, L.A. (1987). *Plans and situated action*. Cambridge university press. 佐伯胖(監訳). 「プランと状況的行為」. 産業図書.
- 鈴木宏昭. (1996). 「類似と思考」. 共立出版.
- 鈴木宏昭 (2001) 「思考のダイナミックな性質の解明へ向けて」. *認知科学*, **8**, 1-13.
- 鈴木宏昭. (2003). 「認知の創発的性質 -生成性、冗長性、局所相互作用、開放性-」. *人工知能学会誌*, **18**, 376-384.
- 鈴木宏昭・開一夫. (2003). 「洞察問題解決への制約論的アプローチ」. *心理学評論*, **46**, 211-232.
- Tulving, E., and Thomson, D.M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, **80**, 352-373.