

特集 「知識の転移」

認知科学と学習科学における知識の転移

Knowledge Transfer in Cognitive Science and Learning Sciences

白水 始
Hajime Shirouzu

中京大学情報理工学部
School of Information Science and Technology, Chukyo University.
shirouzu@sist.chukyo-u.ac.jp

Keywords: transfer, leaning sciences, collaborative learning, preparing for future learning, knowledge-in-pieces.

1. はじめに

本稿では、認知研究において人間の知識の転移がどのように研究されてきたかを振り返り、その不足を認知科学やその発展領域における学習科学がどのように乗り越えようとしているかを紹介する。

認知研究において、転移とは、ある状況で獲得した知識が後の状況での問題解決や学習につながる現象を指す。そのメカニズムとして、行動主義の立場から、「先行学習と後続学習の間に共通する要素が多くあるほど、転移が促進される」という同一要素説が提唱された。しかし、その後の認知主義の立場から、「要素が共通していなくとも、構造の共通性を人は見いだして転移を引き起こす」との主張がなされた。しかし、実験室で参加者の問題解決過程に実験者が外から働きかけて構造的な転移を引き起こそうとする試みは、ほとんど成功しなかった。その一方で、日常的認知研究者によって、日常場面では転移が自然に生じ、人が有能に振る舞える事実が次々明らかになってきた。人は、実験室では、新規な材料を短期間で学習し未知の課題を解かざるを得ないが、日常では、何をすればよいかがよくわかっている状況の中で、繰り返し課題にチャレンジすることができる。このギャップが転移の成否を決めているのだとすれば、そのギャップを埋めるべく長期的な学習を支える環境を丸ごとデザインし、その中で転移過程を検討する方法があってもよい。それが、学習科学的な転移研究である。その試みは今も進行中であるが、そこから、少なくとも次のような新しい転移観が生まれてきた。

- 実験者・教授者が設定した知識の連続性ではなく、学習者（エージェント）自身が転移に備えて自らの知識を「連続したもの」となるように構成・再構成する過程が重要であること。
- 「一人で何のヒントも得ずに問題が解ける」という転移ではなく、「周囲の仲間や道具、情報を活用して、その場で『学びながら』問題が解ける」という転移があり得ること。
- こうした一連の過程を協調的な活動が促進し、そこ

では、正解や完全な説明を与えられずとも、学習者同士が自分達のわかったことを話し合うことによって、不完全な理解を高め、転移に備えた知識を構成できること。

長期にわたる学習が求められる現実社会の中で、学習者がいかに学んだ状況と「似た」場面を自ら探し、あるいは自分の知識が使えるように場面を変えて、積極的に転移を引き起こすことができるか、そしてそのような知識の獲得をどう支援できるかを問う研究が生まれつつあるといえる。以下では、こうした変化を導いてきた研究事実と、その背後にある認知観・学習観そのものの変化を時代順に解説する。ただし、転移ほど定義が多様で、結果の出方も安定しない構成概念も珍しいため（整理の一例として [Royer 05]）、なぜそのようになるのか、著者の考えを簡単に述べておく。

1.1 「転移」という構成概念

転移とは、基本的に認知現象を指す用語のはずだが、往々にして引き起こすべき「教育目標」として使われる。これは、転移が教育と密接に関係する概念だからだろう。学校で学んだことを学校から離れた後で使えなければ、学校教育の存在意義が問われることになる。そこから、「転移すべき」という考えが先に立ちがちになる。教育哲学者のベライター [Bereiter 02] も、「教育現場には、根拠のない、行き過ぎた学習の転移への信仰がある。一番極端な場合は、言葉の魔法が起こり、学ばれたことは、それと同じ名前と呼ばれるものすべてに自動的に転移すると仮定される。言葉の魔法と過剰な転移への信頼は通俗的な教育についての考え方で本質的で不可欠な役割を果たしているが、これは、そうでないとほとんどの学校教育を正当化できなくなるからである」[三宅 12a]と述べている。

このようなずれは、ソーランドイク [Thorndike 01a] が「転移」(transfer) という語を初めて認知研究にもち込んだときからあった。この語を彼とほぼ同時期に使ったのは、精神医学者のフロイト [Freud 05] である。フロイトは、心理治療において、クライアントがカウンセラーに肉親のイメージを重ねるなど、治療の妨げとなる既有

体験の想起現象を転移 (transference) と呼んだ。これは、目の前の事象に先行経験が影響を与える transfer in に当たる。一方、ソーンドイクは、今の学びが将来の事象に影響する transfer out を指す用語として「転移」を用い、その成功条件を探った。つまり、転移という言葉は、目前ですでに起きてしまっている現象を指す場合と、将来引き起こされる現象（極端な場合は「期待」）を指す場合との間で、定義が揺れがちだった。実験者や教授者側がコントロールできない、学習者の主体的な知識のもち込みと、実験者側がコントロールして、その期待する先へと学習者が知識をもち出すこととの間で、と言い換えてもよいだろう。

もう一点、教育研究の分野では、古くから「陶冶」、詳しくは「形式陶冶」と「実質陶冶」という概念があった。前者は、ラテン語を学ぶのは将来ラテン語を使うためではなく、そこで培った記憶力や抽象化など一般的な認知能力や学習スキルがほかの分野にも使えるという考え方である。後者は、学んだことの内容そのものが役立つとする考え方である。これはスキルと領域知識の転移に相当すると考えられるため、あえて転移という構成概念を生み出す必要もなかったといえる。しかし、陶冶が一般的な用語だったのに対して、転移は認知的に定義可能な研究事態を指すものとして使われた面が大きかった。それが「ある学習課題 A での学びが転移課題 B での問題解決を促すか」という構造である。研究者によって、A での学び方が多様であったり、B が問題解決だけでなく新規な学習を含むものであったりなど、形態はさまざまだが、A や B は実験で設定可能とされ、この構造を基本として転移を検討しようとした点は共通だった。

この 2 点を総合すると、転移研究は、研究のしやすさから、実験者側が設定した転移テストに学習課題での学びがつかぬかという実験、簡単にいえば「教えたことをもとにして教えた解き方で転移課題が解けるか」を調べる実験を山積してきた感がある。我々としては、こうした研究成果をその研究枠組みとともに俯瞰して、新しい転移研究を構想すべきときが来ていると考える。そのためには、教育目標としての転移を狙いつつも、学習者が実態としてどのような知識をもち込み活用しているかという転移の実態を踏まえた検討が必要になる。

2. 古典的転移研究

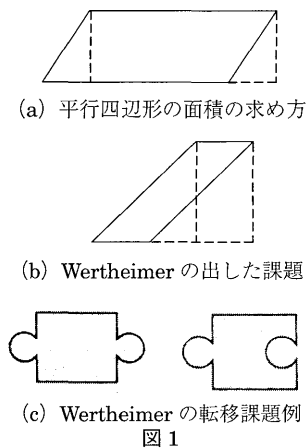
転移研究を初めて組織的に行ったのは、ソーンドイクである。彼は形式陶冶説に科学的証拠がないとして、転移は、転移課題 B の内容が学習課題 A に含まれている場合に起きると主張した。実験の一つは次のようなものである [Thorndike 01a, Thorndike 01b]。まず、実験参加者は、 1 cm^2 、 25 cm^2 、 100 cm^2 の大きさの正方形だけを参考にして、 125 枚の長方形や三角形、円、台形など、さまざまな形のさまざまな大きさの図形の面積を推定す

る。その後、 $10 \sim 100\text{ cm}^2$ の長方形の面積を推定しては答えを教えてもらい、正確に推定できるようになるまで繰り返す。 1 cm^2 刻みの長方形を推定するため、全部正確にできるまでには、数百～数千回の試行が掛かる。その後、プレテストと同じ図形の推定を行って、成績がどの程度向上したかを調べる。結果は、訓練と同じサイズの長方形の推定成績は向上したが、それ以外では、サイズの若干違う、 $140 \sim 200\text{ cm}^2$ の長方形と、同じサイズのほかの図形の成績がわずかに向上しただけだった。より大きな長方形や、違うサイズのほかの図形の成績は向上しなかった。つまり、転移の効果は、学習したのと同じ形か大きさをもつ図形だけに限られていた。ソーンドイクは、このほかにも、線の長さや物の重さの推定課題、スペル中の特定の文字を見つける課題 [Thorndike 01c] など多くの課題で結果を集め、「学習課題と転移テストの間に同一の要素がどれだけあるかで転移するかどうかが決まる」という同一要素説を提唱した^{*1}。

ソーンドイクの貢献は、根拠のない形式陶冶説に再考を迫った点にあるが、その反面、実験室での特殊な実験の結果をもとに人の転移能力を矮小化した点は否めない。その転移観からは、人が既知の学習内容の構造を把握して、その構造に組み入れるように未知の内容を理解する可能性は想定されない。それよりも、学習を構成要素の積上げと見る見方、つまり基礎練習をしっかりと行って、その上に少しずつ新しい内容を積み上げないと、高度な内容は学べないという見方につながる。実際、20 世紀中盤までは、学習内容を精緻に課題分析し、各要素を積上げ型で順に教え込む行動主義的な教育が一世を風靡した。ドリル学習や反復練習もその一つである。

一方で、ジャッド [Judd 08] のように、転移は要素の類似性ではなく、後の学習に適用できる一般原理を学ぶことによって起こるとする立場もあった。彼は、水面下 12 インチの目標点にダーツを投げる学習課題において、何も説明しない群と、光の屈折の原理を説明する群とを設け、水面下 4 インチの目標点にダーツを投げる転移課題で、後者のほうが良い成績をあげる結果を示した。ゲシュタルト心理学者のヴェルトハイマー [Wertheimer 59] は、平行四辺形の面積を題材に印象的な研究を展開した。彼が観察した授業で、生徒達は、長方形の面積の公式を教わった後で、平行四辺形の面積について、図 1(a) のように、左上隅と右上隅から垂線を下ろし、底辺を右に延長し、二つの三角形の合同を証明されたうえで、「面積は底辺×高さに等しい」ことを教わった。それから数十題の練習問題を解いて公式に十分習熟した。しかし、

*1 「要素」を形式的に同定することは難しい。[Singley 85] は、プロダクションシステムを用いてそれにトライした。If-Then ルールの重複が多い二つのラインエディタ間では、片方の学習がもう片方の学習時間を短縮したが、重複の少ないラインエディタとスクリーンエディタの間では短縮が見られなかった。現代版同一要素説といえる。



ヴェルトハイマーが図 1 (b) の問題（実は図 1 (a) のような四辺形を回転しただけのもの）を出すと、生徒達は「こんなのはまだ習っていない」と言ったり、図のような補助線を書いただけで途方に暮れたり、図の下に「面積は底辺×高さに等しい」と書き込んだりするだけだった。

ヴェルトハイマーは、これを「盲目的機械的な訓練が定型的な反応と未知な問題への忌避を生み出す」例と解釈している。そこで、彼は、5 歳以上の子供を一人ずつ呼び、長方形の面積の求め方を教えた後、紙を切り抜いた図 1 (a) 状の平行四辺形を与え、自由にその面積の求め方を考えさせた。すると、多くの子供は、「長方形から出っ張った部分」が邪魔だと発言し、図 1 (a) の補助線で区切られた左側の三角形を右端に移動し長方形をつかって問題を解決した。中には、平行四辺形をもち上げ、ぐるっと環にして両端同士を合わせ、真ん中を垂直に切って長方形をつくるという独創的な解決を行った子供もいた。その後、図 1 (b) のような平行四辺形、台形などほかの四角形、そして図 1 (c) のような図形の面積を尋ねられると、多くの子供が答えを出せるかどうかを正しく判断できた。これに対し、平行四辺形の面積の公式を教えられただけの子供は「わかるわけがない」と反応した。ヴェルトハイマーは、この結果を「図形全体を下位部分に分割し、有意味に関連付ける体制化を行うことができれば、続く課題も有意味に変形することができる」と解釈した。平行四辺形の面積の求め方を発見した子供は、「その面積が底辺×高さに等しいという知識」だけでなく、「長方形の面積の知識」と「図形の一部を移動しても全体の面積は保存されるという知識」の組合せ方も学んだといえる。つまり、部品知識の統合された知識構造が転移課題の解決を可能にしたと推測できる。

ジャッドやヴェルトハイマーは形式陶冶説を支持できたわけではないが、獲得された知識の適応可能性の広さを示して、認知主義的な転移研究の先鞭をつけた。ソーンダイクが扱った知覚など低次元認知過程ではなく、思考や理解など高次元認知過程に関わる課題を扱ったため、学習者が自らの知識を内省し自覚的に活用する余地があり、それが結果の違いを生む要因の一つとなったと考え

られる。ただし、いずれの論文でも、一人一人の学習者がどのような知識を構築したのか、転移課題はその知識をどう活用するものとなっていたのかといった詳細は不明である。例えば、ヴェルトハイマーの研究では、手で操作できる紙の平行四辺形が解法発見の一助となっていた可能性が考えられるが、こうした外的なリソースと内的な知識の相互作用プロセスは、十分には検討されなかった。そこで次章では、まず、課題構造の知識の転移を定量的に検証した認知心理学的な転移研究を検討する。

3. 認知心理学的転移研究と日常的認知研究

3.1 実験室研究

認知心理学者が行った転移研究のうち、最も著名なのは、ギックとホリオーク [Gick 80] によるものだろう。彼らは、未知の課題をターゲット (target)、既知の経験をベース (base) と呼び、ベース中の要素間の関係がターゲット中のそれに適切にマッピングされたとき、ベースからターゲットへの転移（類推 analogy と呼ばれる）が生ずると考えた。

彼らがターゲットとしたのは、次の「放射線問題」である。「胃の腫瘍を放射線で破壊したいが、破壊するのに十分な強さの放射線は周囲の健康な組織まで破壊する。しかし、健康な組織を破壊しない放射線では腫瘍にも影響を与えない。放射線を使って腫瘍を破壊するにはどうすればよいか」という問題である。これをヒントなしで解ける人はほとんどいない。ところが、問題を解く前に、ベースとして、次の「要塞問題」、すなわち「独裁者の要塞を攻め落としたいが、要塞から放射状に伸びる道に地雷が埋められており、攻め落とすのに十分な大軍が通ると爆発する。そこで将軍は軍隊を分割し、多くの道から軍を送り込んで要塞に集結させることで攻め落とす」と読ませ、そのうえで、これがヒントになることを教示されると、92%の者が正解した。人は、腫瘍と要塞という表面的な要素に類似点がない問題でも、「目標物に十分な量を収束する」といった構造的な類似点を見いだして問題を解決できる、というのがギックらの主張である。

しかし、ギックらの実験では、「要塞問題がヒントになる」という教示がなければ、転移を行う実験参加者は20%にとどまった。教示がなければ転移が自発的には起き難いという結果は、当時の実験室研究で頻繁に観察された [Gentner 83, Hayes 77, Reed 74]。そこで、ギックらは、ヒント以外に自発的な転移を促進する方法がないかを探るため、別の実験 [Gick 83] を行った。そこでは、要塞問題のストーリーとともに、小さなホースをたくさん使って油井の火事を消すストーリーを提示した。二つのストーリー間の類似点を書かせた後、それらのストーリーがヒントになることは告げずに放射線問題を解かせたところ、正解率は52%へと大幅に向上した。これは、要塞

問題だけを提示した条件の正解 (21%) の 2 倍以上に相当した。二つの類似例の共通性を書き出すという作業が、「小さい力を寄せ集めて大きな力とする」収束スキーマの抽出に役立ち、それが後の問題解決を促進した、というのがギックらの解釈である。いわば、「例示」が引き起こす転移である。

ギックらの提示した二つの問題のバリエーションは、対比事例 (contrasting cases) と呼ばれ、その比較手法は、ビジネスや法律、医学分野におけるケースに基づく教育にも展開されている。гентナーら [Gentner 03] は、「交渉」における戦略を題材に、初心者である大学生を対象として、ある契約戦略を含む二つの事例を読んで、新たなテスト事例に適用できるかを実験した。条件は「類推ガイド付き条件」、「比較条件」、「無比較条件」、「ベースライン条件」の四つが設けられた。「類推ガイド付き条件」では、どちらの事例にも戦略の定義が書いてあり、一つ目の事例の図を参考にして二つ目の事例を図式化する活動が含まれた。「比較条件」は定義も図もない二つの事例を読んだ後、「二つの事例の似ている点について考えよ。鍵となるのは何だろう? 解法と、それがどのくらい成功しそうかを記述せよ」という指示を受けた。「無比較条件」は、各事例の後に解法を記述するだけで、二例を比較しなかった。最後が、何も読まないでテストを受ける「ベースライン条件」である。テストは、実際にリクルータが就職希望者の役になって就職の条件を交渉するものだった。158 名の大学生を 4 条件に振り分け、学習した契約戦略をテスト事例に提案できた割合を調べたところ、類推ガイド付き条件が 90%、比較条件が 70%、無比較条件が 55%、ベースライン条件が 37% という順になった。明示的な比較が含まれた類推ガイド付き条件と比較条件の成績は、比較が含まれなかった残り 2 条件より有意に良かった。具体例の比較によって、表面的な違いを超えて構造的な類似点に注目する類推的な符号化 (analogical encoding) が起き、後の課題に転移可能なスキーマが抽出されたといえる。

教育への応用以外に、認知心理学的転移研究は、転移=類推プロセスの理論とモデル化をもたらした。例えば、構造写像理論は、対象の属性や関係の対応で転移を考え、Structure-Mapping Engine として実装した [Falkenhainer 89]。そこからは、一次の関係が対応する表層的類似性と、高次の関係が対応する構造的類似性とを区別し、自動的無意識的な処理では表層に頼った転移、意識的な処理では構造を活用した転移が起きるという予測が導出された。しかし、転移は、主体が置かれる状況や文脈、タスクの目標によって変わり得る。そのため、命題表現以上の実用論的制約 (pragmatic constraint) を考慮する必要があるとして、[Holyoak 95] は多重制約理論を構築し、セマンティックネットをベースにプラグマティックユニットを加えた ARCS と ACME を開発した。当時の転移研究は知識を静的・形式的に記述できる

と想定したため、人工知能研究と最も互恵的な関係を築くことができたといえるだろう。

3・2 状況論からの批判と日常的認知研究

これに対して、認知心理学的転移研究を強く批判し、転移という考え方自体を捨てることを主張したのが、状況論者のレイブである。[Lave 88] は、先述の四つの研究 [Gentner 83, Gick 80, Hayes 77, Reed 74] を取り上げ、それらが「実験者の想定した規範だけから転移の生起を評価している」、「知識は文脈から切り離せないはずなのに、転移には経験からの知識の抽象化が必要だと考えている」、「参加者自身の目的や状況における意味の構築とは無関係に、知識の獲得や活用の文脈を実験者が定義する (例えば、知識を使うのがどんな場所か、誰がいるか、何があるかを考慮しない)」、「参加者にとっての外界の役割を考慮する場合も、内的な転移過程といった切り離し、転移を促進または妨害する外的な要因として捉える」というアプローチを取っていると批判した。

レイブらは、実験室の外、日常生活の中で人々がどのような認知活動を行っているか、そして、学校で教えられたはずの「一般的な」知識をどの程度使っているかを検討する日常的認知 (everyday cognition) 研究を行った。レイブ自身は、さまざまな年齢や収入の主婦など、成人のスーパーマーケットでの買い物能力と、学校でやったような計算の成績とが、どの程度相関するかを調べた。結果は、どの成人も二つの品物 (例えば、12.5 オンス (oz) で 1.89\$ と 9.5 oz で 1.39\$ のツナ) のどちらがお買い得かといった計算を極めて正確に行ったために、相関は高くならなかった。また、お買い得計算の成績は、修学年数と相関せず、卒業してからの経過年数と逆相関しなかった。つまり、四則演算や比率、尺度など学校数学ができなくても、日常生活での計算には不自由しないという結果が得られた。その解き方を詳しく追うと、学校で習うような標準的なやり方では、上記の問題を

$$1.89\$ \div 12.5\text{oz} = 0.151\$/\text{oz}$$

$$1.39\$ \div 9.5\text{oz} = 0.146\$/\text{oz}$$

$$0.151\$/\text{oz} > 0.146\$/\text{oz}$$

と解くはずなのに、主婦は

$$1.89\$ - 1.39\$ = 0.5\$$$

$$12.5\text{oz} - 9.5\text{oz} = 3\text{oz}$$

と計算し、「0.5\$ 余計に払ってでも 3oz 分買う価値があるか」を考える問題へと変形しがちだった (スーパーでは値段が 98 円や 198 円などとされることが多いため、減算は計算を単純化するメリットもある)。さらには、実際の買い物では、使い切れないものはそもそも買わないなど、さまざまな情報を活用して問題を解決・解消していた。数学の知識だけが転移して日常の問題解決を決めるようなものではないといえる。転移の観点自体が多様化するともいえる。

レイブらは、ダイエット中の成人が日常生活でどのよ

うに計算を利用するかも調べており、次のような興味深い事例も報告している。カロリーを25%カットしている男性が、昼食に3分の2カップのカッテージチーズを使うレシピに対し、「大学で微積分学のコースをとったこともあるのに」とつぶやきながら、まず3分の2カップのチーズを測り取り、それをまな板の上に広げ円形にたたいて延ばし、十字に印を入れて4分の1をすくってどかして残りを使った。この問題は、分数の掛け算を使って「 $2/3 \times 3/4 = 1/2$ 」カップのチーズを最初から測り取る解決ができたにもかかわらず、人は、台所という場の中で、そこにあるモノを巧みに使って計算を代行し得ることを示唆している。

サックス [Saxe 90] も、ブラジルの路上でキャンディを売り歩く少年達の計算能力を調べ、修学年数と値段の計算の成績が相関しないことを明らかにした。さらに、キャンディ売りを長くやっている子供達は、学校に長く通っている子供達よりも、比率の計算（1本200クルゼーロと3本500クルゼーロのキャンディでは、どちらの儲けが大きい）や概算、数の分解や合成（ $28 + 28$ を $(20 + 20) + (8 + 6)$ に変形するなど）を巧みに行った。当時のブラジルはインフレがひどいこともあって、子供達は「何本組をいくらで売るか」という多様な値段設定を自然に繰り返さざるを得ず、そこから仕事に必要な技能や数の理解を獲得したと考えられる。

以上のように、日常的認知研究からは、レイブが主張するように、学校から日常生活への数学知識やスキルの直接的な転移の証拠は認め難く、むしろ職業上や生活の中の活動を通して四則演算や比例計算の仕方を学ぶことが示唆された。さらに、日常場面の問題解決は、そこがどのような場か、どのようなリソースがあるかと深く相互作用しながら行われることも示唆された。その観点で3・1節の認知心理学的転移研究を見直すと、実験参加者が「何のために問題を解くのか」、「そもそも何が問題なのか」、「将来に備えて何を学んでおけばよいのか」がわからない状況で、実験者が想定した構造を参加者が学習課題から抽出して転移テストに使えるか、という相当無理のある研究アプローチをとっていたことが見えてくる。そこから、状況論者達は、ある文脈での経験から抽象的な知識が抽出され、違う文脈に適用されるという「転移」の考え方自体を捨てようとしたといえる^{*2}。

しかし、状況論者が学校から日常という「大きな状況」間の転移を問題にしたのに対して、日常生活を一くくりの「状況」と見ずに、その中で今日の経験から明日の間

題解決につながる知識の獲得と転移が不断に起きていると見ることもできるだろう。一つの示唆として、研究アプローチにかかわらずに [Gentner 03, Gick 83, Saxe 90] を見直すと、そのいずれもが、問題の多様なバリエーションを参加者自身が解いたり比べたりする構成的な活動が含まれており、そこから転移可能な一般的知識が構成されていることがわかる。こうした多様な経験からの学びは、時間がかかる。しかし、そこに踏み込まなければ、学習者が転移可能な知識をもとに自ら「似た状況」を見つけ、外的なリソースも使って問題を解けるようになるのか、それとも、単に小さな状況の連続性、いわば「状況群」が学習者の転移を誘導しているだけなのかといった問いに答えが出せない。そこで、こうした学びの場を実際につくり出し、長期スパンで学習者の知識の転移を検討した学習科学研究について次章で検討する。

4. 学習科学からの乗越え案

4・1 状況論的アプローチ

認知心理学的な転移研究においては、転移は「主体である個人の頭の中に十分な知識が蓄積されれば起きる（知っていれば使える）」という見方が主流だった。[Engle 06] は、こうした認知要因だけを考慮するアプローチを *purely content-oriented approach* と呼び、社会的な文脈をも考慮する *situative approach* でないと転移は説明し難いと主張した。なぜなら、知識を使うことには「知識を行使する」という行為が含まれるため、知識の「持ち主」として振る舞うことが学習や転移の場で社会的に許容されているか否かが転移の成否に影響すると考えたからである。例えば、高校生ともなると地理や歴史について相当詳しい知識をもっているが、それを頼りにしてよく質問する家庭と、単にテストで良い点数を取ることを期待する家庭とでは、子供の知識の転移のさせ方も変わるだろう。

Engle は、小学5年生の生物学の授業を1学期4か月間にわたって追い、絶滅危惧種に関する児童の学びがポストテストに転移するかを調べた。授業の中で児童は四～五人のグループに分かれてクジラやゴリラ、ワシといった絶滅危惧種を一つ分担し、さらにグループの中でも一人一人摂食、繁殖や天敵など特定のトピックを担当し、調べたことを交換して、なぜその種が絶滅に瀕しているかの答えを出した。学期の最後に、この答えについて違う種を担当したグループ間で報告しあって絶滅危惧種の共通点を探した。いわゆる「ジグソー学習法」と呼ばれる学び方である。

Engle は、クジラを担当した1グループの学習過程をビデオや記述物、観察記録から追い、子供達が最終的に「クジラは出生率が極めて低いため、人がクジラを捕獲すると、子供を産むのにさらに時間がかかる」という「率」と多要因を考慮した説明に到達したことを確かめた。こ

*2 認知心理学的転移研究と状況論の批判を踏まえた優れた論考を [佐伯 98] が行っている。そこでは「手続きの結び付きが『後で起こるかもしれないことに備えておく』という意味で、日常経験に照らしても『もっともだ』と納得できるような状況が形成されれば、転移は確実に起こる」と考察している。また、状況論者の中からも複数の状況間の横断として転移を捉え、その過程を言説（言語化）が促進するという考え方も生まれてきている [香川 11]。

の説明は、ハヤブサの棲息地に関する説明を求めたプレテストのときには見られなかったが、ムツゴロウに関するポストテストのときには見られるようになったため、クジラの学習から得た生物学的な考え方が他の種にも一般化(転移)したと Engle は解釈した。さらに、上記テストはそれぞれグループおよび個人相手にインタビューしていたが、個人ごとのポストテストでは五人のメンバー中三人に段階的(確率的)な考え方で多要因を考慮する考え方の両方が認められた。

そこで、なぜこのような転移が起きたのか、さらに、説明が十分にできた児童とそうでなかった児童の差は何かを学習過程に戻って調べたところ、確かに説明ができた児童ほど学習場面でも議論に積極的に参加していた。しかし、そこで生物学的に適切な説明に多数触れたり、さまざまな種を対比する「質の良い」議論に触れたりしていたわけではなかった。どの児童も同じように生物学的に不適切な説明の議論に巻き込まれ、それらの間の比較に触れていた。つまり、このケースは、認知心理学的な転移研究 [Gick 83] が予測するような「複数の正しい説明間の比較から、転移可能な知識ができる」例とは認め難かった。したがって、認知要因だけでは転移を説明できないと Engle は言う。代わりに、このグループが生物学的な説明の構築を行った 14 エピソードの半数において、教師が文脈間の関連性を示唆していた事実に着目し、それが転移に貢献したのではないかと指摘した。例えば、次の会話例の下線部(著者補)のように、教師は児童の今の学びを過去に学んだことと頻繁に結び付けていた。

教師: T 先生と「繁殖率」っていうものについて話したこと、覚えている?

Jonelle: うん。

教師: どれくらい赤ちゃんを産めるか考えるのは、とても大切なことなのよ。

また、下のようにレポートの仮読者の読者を演じることで、児童が学んだことを将来も使うよう示唆していた。このような時間的な関係性の示唆は、学んだことを使うヒントになると同時に、「過去も未来も現在とつながった学びのスパンに含まれる」という感覚を育て得る。

教師: あなたのレポートを読んだ人は「そうかそうか、繁殖率はクジラの絶滅に関係するから、知っておかなければいけないんだ」って思うわよ。

ほかにも、この教師は児童が説明を構築する際、実際には自分が貢献していたとしてもそれを“消して”児童をアイディアの出し手(author)に仕立てるというフレーミング(framing: 枠付けること)を度々行った。次の例では、Jonelle が断片的に話していた繁殖率についての語りを“whales can't reproduce that often”というクリアな表現に言語化し直して、かつ Jonelle のアイディアとして議論の中に戻すことで、子供達がその後、自発的にそのアイディアを使うことを促した。

教師: あなた達は、Samantha が捕獲について書いたことと Jonelle が繁殖率について見つけたことを合わせて、「人間がクジラの絶滅に関わるって言うても、だから何なんだ。みんな天敵はいるんだし」って考えたのよね。そこに Jonelle が「でも、クジラはそんなに繁殖できない(whales can't reproduce that often)」って言ってきたのね。

Engle は、こうした結果を図 2 にまとめ、学習者の現在の教室での特定のトピックの学びがほかのコミュニティのメンバー(Who)や、過去や未来(When)、教室外(Where)、その他のトピック(What)などと多層的につながっている形でフレーミングされると、知識の転移が起きやすくなると提唱した。知識を得た文脈と使う文脈とが一続きにつながって見えれば見えるほど、知識の転移が起きやすくなるのは確かである。見方を変えれば、Engle が対象とした教室では、[Gick 80] の研究で実験者が「要塞問題が放射線問題のヒントになる」と教示したのと同じ役割を教師が担っていたと見ることもできる。ただし、直接的な教示にとどまらず、上記の発話例のように、子供達の経験的な語りを聞きながら、それをより科学的な表現へと再声化(revoice)して子供達の知識ベースに編み入れるなど、概念的な理解に向けた段階的で相互作用的な誘導を行っていた点が注目し値する。

Engle への批判としては、教師が文脈間の関係性をつくり出しただけでなく、学習者も教師と相互作用しながら文脈をつくり出した可能性を指摘できるだろう。なぜなら、教師のフレーミングは、子供達の言語化に応じたものだった可能性が考えられるからである。実際、上記三つの会話例を見るだけでも、そのすべてに「繁殖率」の話が入っており、それが子供にとって難しい鍵概念だったことがうかがえる^{*3}。その点で、子供の内容理解(の不十分さ)が文脈づくりに役立ったと考えてみることもできる。翻って、Engle の論文のロジックを追うと、正


	As Bounded Events	As Parts of Open Ongoing Activities
Frameable Aspects of Learning Situations	○○○○○	
Who Participants	• Fixed set • Just those copresent	• Open, expanding set • Copresent and imagined
When Temporal horizon	• Set starting point • Set ending point	• Build on past • Project to future
Where Location	• Narrowly defined • Circumscribed	• Broadly defined • Extendable
What Topics	• Individual topics • Not connected	• Multiple topics at once • Linked or embedded
How Roles and practices	• Students positioned more passively as recipients, mouthpieces, etc. • Predefined procedures	• Students positioned more actively as respondents, creators, etc. • Negotiable processes
Why Purposes	• Single purpose • Fixed in advance	• Multiple purposes • Can be renegotiated

図 2 [Engle 06] による学習の見方と転移の関係

*3 Engle 自身も「繁殖率」への言及には触れているが、「教師が繁殖率に頻繁に言及することで、児童もそれが大事だと理解し、ほかのグループへの説明に使うようになった」(p. 492)と考察しており、一方向的かつ促進的な解釈しか行っていない。

しい説明に触れることやその対比,あるいは教員による活用のアドバイスが転移を促すという仮定が置かれていることに気付く.逆にいうと,Engleは「不適切な説明」は転移を促進しないものとして切り離し,正しい概念を児童に使えるようにする教師の関わり方にフォーカスした.しかし,協調的な学習場面では,不完全で断片的な説明や誤った説明も含んだ議論の中で,各自が少しずつ自分にとって納得できる説明を追い求めることで,転移を可能にする一般的な理解が形成される側面がある.その点で「正しい説明」やそれを取り上げる教師の役割だけにフォーカスしない,多様なアプローチの転移研究があってもよいだろう.そこで,4・2節では転移をより学習者中心の観点から見るアプローチ,4・3節では不完全な部品知識の協調的な構築が転移を可能にすると見るアプローチをそれぞれ検討する.

4・2. 学習者中心アプローチ

Lobato [Lobato 06, Lobato 08] は,認知心理学的な転移研究では,実験者が転移のゴールを決め,その期待する規範解に実験参加者が至ったかだけで転移を評価していたのではないかと指摘する.つまり,実験者側の考える構造的特徴(解法や方略,原則)に従って課題が決められ,表面的特徴の違うものが学習課題と転移課題に配され,学習課題で構造的特徴が教えられ,転移課題の成績が統制群に比べて向上すれば,学習内容が般化し転移したと結論付けてきたというわけである.これに対して,実験者側の期待に沿わない解法でも,参加者の視点からすれば学んだことを般化しようとしたものがあるのではないか,それを文化人類学者が使うエスノグラフィックな研究手法で取り上げるようにすれば,プロセスとしての転移の実態が明らかにできるのではないか,というのがLobatoの主張である.これを彼女はactor-oriented transfer approachと呼んだ.

[Lobato 02] は,90分間の代数の入門授業を15回受けた高校生1クラス36名のうち,議論によく参加した成績上位者七人にインタビューし,一次関数に関する学びがどう転移したかを検討した.すると,七人全員が,ポストインタビューで,グラフ上の直線や表内の数字の対応関係を表すのに「 $y=mx+b$ 」の代わりに「 $y=\square\pm\square x$ 」という式を書き,最初の空欄を「スタートポイント」,次の空欄を「どれだけ分上がるか(what it goes up by)」と表現した.生徒が傾き m をどう理解しているかを詳しく分析したところ,「 y の値の差」や「 x の値の差」,「 x のスケール」など,誰一人変化の比率として捉えておらず,規範的な意味での学習とその成果の転移には失敗していた.

しかし,授業内容を詳しく調べたところ,生徒達は教師が意図しない一般化を行っていたと推測できた.例えば,生徒は授業で,プロジェクタを壁から何 m 離すと画像の大きさが何倍になるかを計測し,表1にまとめて

表1 [Lobato 02]の授業で生徒が取り組んだ課題

壁からプロジェクタの距離[m]	オリジナル画像の何倍か
1	2.2
2	4.8
3	7.8
4	10.3
5	
6	

いた.これを使って教師と生徒の間で交わされた会話が下のとおりである.

教師:10.3倍ということから,何が読み取れる?

生徒:3ずつ増える(It goes up by 3).

教師:3ずつ増える?こう見ると(y に当たる値を垂直に指しながら),3ずつ増えるっていうこと?

生徒:そうだよ.

教師:大体3か,それはすごく良いパターンね.

これは授業で初めて“goes up by”という表現が使われ,教師がそれを再声化した場面である.彼女は y 軸の値に相当する画像の倍率に生徒の注意を集め,それに生徒も応えるように,距離が5~6 m のときの倍率を13,16倍(表1中の数字が未記入の箇所)と予想した.この後,教師は $y=\square\pm\square x$ という式を導入し,2番目の四角に入る数を生徒と相談して平均の2.7とすることにしたうえで,「あるメートルで測定した倍率から2.7を足すと次のメートルの倍率がわかる」と説明した.これによって,生徒の注意は y 軸の値の差に焦点化したと考えられる.しかも,このクラスでは,この後の授業でも規則的に x の値が1ずつ増加する表が使われたため,学生は機械的に y の値の差を引いてそれを2番目の四角に代入する解法をとるようになった.その証拠に x が3ずつ増加したケースも y の値の差をそのまま計算し,3で割ることはなかった.教師は x の差分に対する y の増加率を教えるつもりで課題を準備し,規則的な表という足場(scaffolding)をかけて,“goes up by”という表現を生徒と共有したが,その意図とは違う理解を生徒は行い,それを一般化していたといえるだろう.

このように,「転移」が生じていないように見える場合でも,実験者や教員の期待する転移が生じていないだけで,詳しく見れば学習者なりの転移は生じていることが見えてくるのは,確かだろう.その点で「転移は常に起きている」[三宅 08]という主張も可能である.特に,教師が高次の解法を教えたつもりでも,学習者が授業の中で自分なりに了解した低次の解法を使い続けることは,よく観察される現象である.これを学習者の観点から考えると,未知の問題にも,何とか自分の知っていることを当てはめ,自分の解ける形に問題を変形しようとする積極性を示したものと再解釈することもできる.4・1節のEngleが,基本的には,教師が学習者に働き掛けて「転移が自然に引き起こされる(または,要求すらされない)状況」

をつくり出したのとは対照的に、Lobato は、規範的には学んだ状況と「違って」見える状況にも学習者が主体的に転移を引き起こそうとするかを検討したといえる。

その一方で、学習が、低次な解法から高次な解法への意図的な概念変化を学習者に引き起こすことを狙ったものだとすると、学習者なりの転移をどのように概念変化に結び付けていくかを考える必要がある。また、Lobato のエスノグラフィックな方法論では、学習者なりの転移が起きるのを待つしかないが、それをより積極的に引き起こしていく方法論があってもよい。つまり、未知の事柄に対して、学習者達がまずは自分達のレベルに合わせた取組み方をし、そこで少しずつわかってきたことを積極的に転移場面で使ってみることで、高次な概念を把握できるようになる転移過程を検討するロングスパンの研究法である。

4.3 未来の学習のための準備アプローチ

[Schwartz 04] は、ある課題を解いた経験が、例えばその場で最終的な解決に至らなくとも、将来新しい事柄を学習して新規な問題を解くことを容易にする可能性を示唆し、それによって「未来の学習のための準備」という新たな転移観を提示した。職場などの日常場面で、人はマニュアルや先輩の助けなど、さまざまな外的リソースの力を借りて問題を解いているのに対し、試験場面では、それは認められ難い。しかし、本来すべての課題に頭の中の知識だけで対処するのは不可能だし、また、社会で求められるのも、リソースを柔軟に活用しながら新しいことを学んで適応的に問題を解決できる能力だろう。そう考えると、これまでの転移研究は、学習場面で得た知識だけで転移課題ができるかを検討しており、それ以外の学習成果を評価し損なっていた恐れがある。そこで、Schwartz らは、ベース経験でターゲット課題が解けるかという従来の研究パラダイムを「一重転移」と呼び、それに対して「二重転移」という新しいパラダイムを提案した。具体的には、転移課題の中に、課題を解く参考になる資料（学習素材）を挟んでおき、その学習素材をその場で理解して問題が解けるかを調べることにした。そのうえで、このパラダイムを用いて、どのような学び方が転移場面での学習を準備するかを検討した。Schwartz らが対比した学び方は、仲間と話し合いながら協調的に解き方を探す「発見学習」と、解き方を教わって適用する「直接教示」である。

対象となった中学 3 年生 95 名は、2 週間にわたって計 6 時間、偏差や標準得点など推測統計学の基礎に取り組んだ。例えば、図 3 の×印にめがけてボールを投げた四つのピッチングマシンの●印の投球結果をもとに、各マシンの「信頼性」を比較できるような値を算出する課題に、2～5 名のグループで取り組む。図 3 に見るとおり、投球数やばらつき具合、ターゲットからの離れ方などさまざまな観点で異なる事例を統一的に計算するため、生

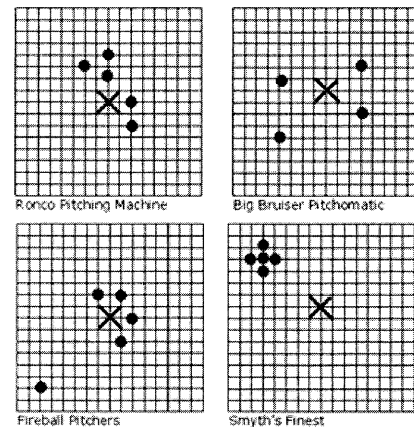


図 3 ピッチングマシン課題 [Schwartz 04]

徒は 30 分ほどかけて多様な解法を生成・検討する。

この課題に取り組んだ生徒達の会話は次のとおりである。このグループは、ボール同士の間の距離を足し合わせる解法を思い付くが、どのボールから測り始めるかで値が変わることに気付いて却下している。次に、ターゲットからの距離を用いる方法を思い付き、一番遠いボールとターゲット間の距離を、一番近いものとターゲット間の距離で割る解法を提案した。それが次の場面である。

生徒 1：一番遠い奴の距離を一番近いので割れば？

生徒 2：これ (Smyth) は全部集まっている……。これ (Fireball) は外れているボールが 1 個ある。

生徒 3：一番近いものの距離は 2。

生徒 2：外れているボールを除くのはどう？

生徒 1：それは信頼性を高めるけど……。もっと問題なのは、このやり方だと、これ (Big Bruiser) が信頼できるってことになってしまふことだね、どのボールも同じくらいの距離だから。

生徒 3：この (Ronco) ボールがどれもターゲットに近いから本来は信頼できると思うけれど、これ (Smyth) ももしターゲットを動かしたら、全部のボールが近くなるよ……。

教師：(グループの傍に来て) 結論はどうなった？ どれが一番信頼できる？

生徒 3：Smyth.

教師：どれが一番だめ？

生徒 1：Big Bruiser.

生徒 3：Ronco.

このように、生徒の間で答えが割れ、解法が直感とも合っていない様子を見て、教師は、すべてのマシンのランク付けを求めた。

教師：で、この二つはどうなるの？

生徒 1：全部ランク付けろって言うの？

生徒 3：この二つは間に来るんだよ。

教師：ランキングがちゃんとルールに沿ってないんだめよ。

生徒 1：俺達のバイアスを満たすルールを思い付けっ

てことだね。

教師：だから、もしこれが一番信頼できる気がするの
に、ルールでは真ん中ぐらいに来ちゃうの
なら、だめなのよ。

生徒1：数学的に「正当化」しろってことか。

教師：そのとおり。

生徒1：どうすれば、そうできる？

教師：良い質問ね。

生徒1：で、きっと先生は「自分達で考えなさい」っ
て言うんだろ。

教師：そのとおり、よくわかってるじゃない。

生徒1：この授業がどう進むか、わかってきたんだも
ん。

教師自身は答えを述べるのを保留して、生徒が問題空間をより広く探索することを励ました。最後の生徒の発言に見るように、発見学習を繰り返してきたことも、こうした教室文化の形成に効いているのだろう。このグループは、教師が去ってから、外れ値間の距離やボールが囲む面積など、さまざまな指標を考えついた。

この後の授業展開として、各グループが黒板に最終案を書き、他グループの生徒がそこから読み取れることを発表しあって、解法の良し悪しや完結性を評価する。こうした課題セットを2～3回繰り返しては、教師が偏差の公式などについてレクチャーし、練習問題を解く。このサイクルを計2回繰り返した後、最後の30分間だけ、生徒は上記同様の発見学習に従事する群と、標準得点を図解した解き方を教わる群に分かれた。課題は、走り幅跳びと高跳びの選手の記録のどちらが優れているかを、それぞれの競技記録の度数分布表を参考にして比較するものだった。直接教示群では、図4のように、度数分布表からヒストグラムを作成し、平均からどれだけ離れた区画に走り幅跳びのターゲットの選手の値が入るかを求め、高跳びの選手でも同じことを行って、何個分の区画かで比べる解法を教わった。発見学習群は、自由に解法を考えさせられたため、適切な解法を自作できた生徒はいなかった。

1週間後に2群をさらに2グループに分け、転移課題を実施した。課題は、二人のホームランバッターのホームランの飛距離と、バッター全体の飛距離の平均、偏差（学習者が中学生だったため、標準偏差ではなく絶対偏差を使っている）から、二人のどちらがパワフルかを判断するものなどだった。図5のとおり、発見学習群（Inventing a measure）と直接教示群（Tell and copy）の各半分の生徒には、転移課題を解くときに参考になる学習素材（Worked example embedded in test）が提示され、その2問後に上記の転移課題が提示された。学習素材は、標準得点の計算方法を例にならって計算するものだった。両群の残り半分は、学習素材なしで転移課題を解くことが求められた。結果は、図5のように、発見学習群が学習素材を与えられたときだけ、正答率が

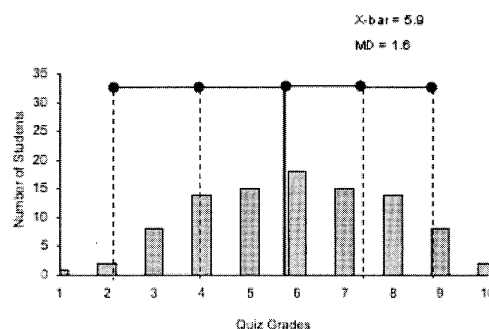


図4 直接教示群が習得した解法 [Schwartz 04]

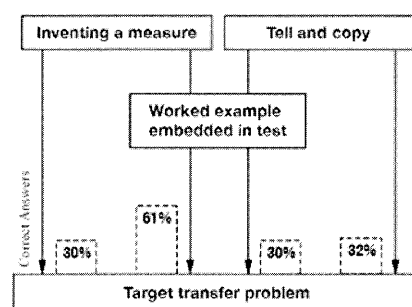


図5 発見学習群における PFL の効果 [Schwartz 04]

61%とほかの2倍以上の成績となった。

発見学習群は、学習素材から必要なことを学ぶ準備ができており、その場で学んだことを使って転移課題が解けたといえる。もう少し詳しく見ると、転移課題を解くには

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{S(x)}$$

という公式を構成し、飛距離 (x_i)、平均 (\bar{x})、偏差 ($S(x)$) の値を代入する必要があった。この分母の偏差を理解するために、ピッチングマシン課題があり、分子の飛距離から平均を引くというアイデアの理解のために、走り幅・高跳び課題があったといえる。しかし、発見学習群では、それらを定式化するためのリソースが欠けていた。それが、図5で発見学習だけを行って学習素材がなかった群の成績の低さ（左端の30%）を説明する。それに対して、学習素材がリソースとして入手できると、これらの問題に対して式がなぜその形でなくてはいけないのか、算出される値の意味は何かなどを了解できたと考えられる。Schwartz は、協調的な相互作用の中から、問題自体の理解や解法に関するさまざまな部品知識が生まれ、それが学習素材と組み合わせることで転移を可能にしたと解釈している [Schwartz 09]。

ただし、直接教示群で転移が全く起きなかったわけではないだろう。日本の大学生を対象とした [三宅 08] の追試によると、直接教示群では、図4のような解法を学んだために、それを転移課題にそのまま適用しようとして逆に解けなくなった傾向が示唆されている。これは

[Wertheimer 59] の生徒が平行四辺形の面積の公式を丸ごとそのまま適用しようとした傾向に似ている。つまり、Lobato が示唆するように、転移は不断に起きているが、その転移のさせ方が構成・学習された知識の性質によって違うのだと考えられる。まだ証拠は不十分だが、問題や解法の根本を捉え、そのしかるべき構成要素を吟味する方向に向かえば、学習者自身が自ら適切な形で転移を引き起こすことが示唆されているといえるだろう。

5. 転移研究を刷新する

最後に学習科学的な転移研究を振り返り、今後の転移研究が検討すべき課題を整理して、人工知能研究への期待につなげたい。4 章の三つの研究から、知識の性質、協調の効果、プロセス研究という 3 点が有望な検討対象として浮かび上がってきていると著者は考える。

1 点目の知識の性質とは、完全な正解や解法ではなく、部品の知識であっても学習者が自ら使えるものをつかみ、それをほかの知識と関連付け、知識構造に編み入れることで、転移が可能になるという見方に関わるものである。知識はこれまで宣言的、手続き的知識などさまざまな区分がなされてきたが、これからの転移研究のためには、各知識がどれだけ学習外の状況にもち運べるか（可搬性：portability）、後から必要に応じて編集できるか（修正可能性：sustainability）、適用範囲を広げて新しい問題に活用できるか（活用性：dependability）で評価することが有望だと考えられる [三宅 12b]。その際、従来の研究よりも知識の単位を小さく取って、詳細にその変遷を追うことが転移の実態に迫ることになる。[Wagner 06] は、ディセッサの「断片的で独立して扱うことができ、必要に応じて構成される部品知識（knowledge-in-pieces）」という考え方を使得、一人の大学生が、大数の法則に関するさまざまな問題の文脈に応じて、部品知識を活発化し漸進的に再構成する過程を transfer-in-pieces として説明している。人工知能研究でも、このような小さな単位で知識がどう使われ修正されもち運ばれるかを検討できれば、転移研究ばかりか、根本的に新しい形の「知識研究」や「学習研究」が可能になるだろう。

2 点目は、学習科学が常態として用いる協調活動の役割である。協調が転移を促す効果は経験的に認められてはいるが、なぜなのかは十分説明されていない。今後は、複数人が協調場面で果たす役割や知識の変化から転移を説明する必要がある。[Shirouzu 02] は、レイブのカッターチーズ課題を折り紙に変え、折り紙の $\frac{3}{4}$ の $\frac{2}{3}$ を求める課題の解決が $\frac{2}{3}$ の $\frac{3}{4}$ を求める課題にどう転移するかを検討した。これを大学生に一人でやってもらうと、二つの課題とも折り紙を折って解決する者が 9 割を超えた。しかし、二人でやってもらうと、課題間で解法を変え、折るやり方から計算するやり方へとシフトするペアが 6 割に上った。そのプ

ロセスを詳細に追うと、一人が 4 等分した折り紙をさらに 3 等分しようとするところで、もう一人が 4 等分の折り目の中にすでに「 $\frac{2}{3}$ があること」を見いだしがちだった。それがさらに最初の一人の「そうだとすれば答えは全体の半分なので計算できる」という気づきにつながり、計算解法を第 2 課題に転移する準備となっていた。つまり、協調の場で一人が課題遂行に従事すると、もう一人はそれを客観的にモニタセざるを得ず、それが部品知識の段階的な抽象化につながると考えられる*4。その観点で [Schwartz 04] の会話例を見直すと、一人が提案した解法に対して、ほかの生徒がモニタリングの効果によって不足点や適用範囲の狭さに気づき、それがさらに最初の課題遂行者自身のより根源的な欠陥への気づきにつながって、全員で新たな解法を探索するというサイクルが見て取れる。

加えて、折り紙やピッチングマシンのグリッド、紙の平行四辺形などの外的リソースが、まず初期仮説を外化し、その痕跡を再解釈しながら、状況に依存した解法からより抽象的な解法へと知識構造を変化させることに役立った面も看過できない。そこから、学習者が外的リソースをフル活用した低次な解法で問題を解いている過程を交換し、互いにコメントし合って「ことば」で抽象化することによって、課題構造を掴んで転移しやすくなるという仮説も考えられる。[三宅 04, 白水 09] は、大学生の認知科学の学習を対象に、2 年間のカリキュラムを、協調的で自主構成的な活動を段階的に組み込むように構成し、概念を多様な文脈で使える機会を用意して、その転移過程を追った。その結果、2 年間の中で明示的な働きかけが減少しても自主的に概念を使うようになり、かつ会話の中でそれぞれが役割を交代しながら、不足を感じる知識のピースを提供することで、各自の理解を深化させることが明らかになった。人工知能研究でも、このような複数エージェント間の解法の比較吟味と精緻化による転移というアイデアは、検討する価値があるだろう。

3 点目は、4 章の研究がすべて会話を検討しているように、学習や転移のプロセスを研究する方法論が主流になってきている点である。これは、学習という過程が多要因の交差する複雑なプロセスであり、一人一人の学習者も多様な学び方をするという理解が学習科学で共有されてきたためである。転移についても、一つ普遍的なメカニズムが見いだせれば、すべての学習者に適用できる万能な支援策が見つかるものではない。むしろ、各研究がどのような支援を行い、その状況の中で各学習者がど

*4 レイブのお買い得計算に似た「混み具合比較課題」を小学 5 年生に課した [河崎 11] は、引き算解法も含めた非規範的な解法が全体の 6 割超で採られること、しかし、引き算解法と標準的な解法を比較しその意味を話し合うことで、その 6 割が標準的な解法を理解し、3 割が転移課題にも解答できるようになる結果が得られている。非規範的な解法でも協調的な言語化によってその意味が意識化できることがうかがえる。

のような学習と転移を行ったかという事例をデータベースとして収集し、必要に応じて個別事例を参照したり、適切な範囲の事例群を抽象化して実用的な理論を構築したりする研究方法が主流になってくるだろう[三宅 10, 白水 11a]。こうした事例をため込んだ転移学習の集合 AI があれば、相当実用性が高い。また、こうしたプロセスの研究は、どうしても創発的な面を含み、コントロールし難いため、最近では、ロボットを協調場面に入れて遠隔から発話の内容やタイミングを操作することによって、仮説を検証する研究も始まっている[三宅 11, 白水 11b]。こうしたインタラクティブな場面でのリアルな学習過程の検証と知識研究の連携も、人工知能研究の大きな課題になるのではないかと。

謝 辞

この研究は、科研費基盤研究 C (23530874)、若手研究 B (21730529)、新学術領域研究費 (21118007) の助成を受けた。神島敏弘氏、小笠原秀美氏、河崎美保氏にコメントを頂いた。記して感謝する。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Bereiter 02] Bereiter, C.: *Education and Mind in the Knowledge Age*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates (2002)
- [Engle 2006] Engle, R. A.: Framing interactions to foster generative learning: A situative explanation of transfer in a community of learners classroom, *J. Learning Sciences*, Vol. 15, No. 4, pp. 451-498 (2006)
- [Falkenhainer 89] Falkenhainer, B., Forbus, K. D. and Gentner, D.: The structure-mapping engine: Algorithm and examples, *Artificial Intelligence*, Vol. 41, No. 1, pp. 1-63 (1989)
- [Freud 05] Freud, S.: Fragment of an analysis of a case of hysteria, *The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud*, Vol. VII, pp. 1-122 (1905)
- [Gentner 83] Gentner, D. and Gentner, D.: Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity, D. Gentner and A. L. Stevens, eds., *Mental Models*, pp. 99-129, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates (1983)
- [Gentner 03] Gentner, D., Loewenstein, J. and Thompson, L.: Learning and transfer: A general role for analogical encoding, *J. Educational Psychology*, Vol. 95, No. 2, pp. 393-408 (2003)
- [Gick 80] Gick, M. L. and Holyoak, K. J.: Analogical problem solving, *Cognitive Psychology*, Vol. 12, pp. 306-355 (1980)
- [Gick 83] Gick, M. L. and Holyoak, K. J.: Schema induction and analogical transfer, *Cognitive Psychology*, Vol. 15, pp. 1-38 (1983)
- [Hayes 77] Hayes, J. R. and Simon, H. A.: Psychological differences among problem isomorphs, N. J. Castellan, D. B. Pisoni and G. R. Potts eds., *Cognitive Theory*, Vol. 2, pp. 21-41, Hillsdale, NJ: Erlbaum (1977)
- [Holyoak 95] Holyoak, K. J. and Thagard, P.: *Mental Leaps: Analogy in Creative Thought*, Cambridge, MA, MIT Press (1995)
- [Judd 08] Judd, C. H.: The relation of special training and general intelligence, *Educational Review*, Vol. 36, pp. 28-42 (1908)
- [香川 11] 香川秀太: 状況論の拡大: 状況的学習, 文脈横断, そして共同体間の「境界」を問う議論へ, *認知科学*, Vol. 18, No. 4, pp. 604-623 (2011)
- [河崎 11] 河崎美保, 白水 始: 算数文章題の解法学習に対する複数解法説明活動の効果: 混み具合比較課題を用いて, *教育心理学研究*, Vol. 59, No. 1, pp. 13-26 (2011)
- [Lave 88] Lave, J.: *Cognition in Practice: Mind, Mathematics and Culture in Everyday Life*, New York: Cambridge University Press (1988)
- [Lobato 02] Lobato, J. and Siebert, D.: Quantitative reasoning in a reconceived view of transfer, *J. Mathematical Behavior*, Vol. 21, No. 1, pp. 87-116 (2002)
- [Lobato 06] Lobato, J.: Alternative perspectives on the transfer of learning: History, issues and challenges for future research, *J. Learning Sciences*, Vol. 15, No. 4, pp. 431-449 (2006)
- [Lobato 08] Lobato, J.: Research methods for alternative approaches to transfer: Implications for design experiments, A. Kelly, R. Lesh and J. Baek, eds., *Handbook of Design Research Methods in Education: Innovations in Science, Technology, Engineering, and Mathematics Learning and Teaching*, pp. 167-194, New York: Routledge (2008)
- [三宅 04] 三宅なほみ, 白水 始, 益川弘如, 土屋衛治朗: 協調学習による知識統合過程 (1): 初学者が認知科学の基礎知識を学ぶプロセスの解明とその支援, *日本認知科学会第 21 回大会発表論文集*, pp. 410-411 (2004)
- [三宅 08] 三宅なほみ, 三宅正樹, 中原 淳: 転移概念再考のための問題解決過程の詳細分析, *日本教育心理学会総会発表論文集*, p. 50 (2008)
- [三宅 10] 三宅なほみ, 三宅芳雄: 学びのプロセスの多様性を解明する, *認知科学*, Vol. 17, No. 2, pp. 372-376 (2010)
- [三宅 11] 三宅なほみ, 石黒 浩: 人とロボットの協創へ向けて, *日本ロボット学会誌*, Vol. 29, No. 10, pp. 868-870 (2011)
- [三宅 12a] 三宅芳雄, 三宅なほみ: 教育心理学の研究手法: 21 世紀の教育へ向けて, 三宅芳雄 編, *教育心理学特論*, pp. 240-255, 放送大学教育振興会 (2012)
- [三宅 12b] 三宅なほみ: 評価, 三宅芳雄 編, *教育心理学特論*, pp. 205-224, 放送大学教育振興会 (2012)
- [Reed 74] Reed, S. K., Ernst, G. W. and Banerji, R.: The role of analogy in transfer between similar problem states, *Cognitive Psychology*, Vol. 6, pp. 436-450 (1974)
- [Royer 05] Royer, J. M., Mestre, J. P. and Dufresne, R. J.: Introduction: Framing the transfer problem, J. P. Mestre, ed., *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective*, pp. vii-xxvi, Greenwich, CT: Information Age (2005)
- [佐伯 98] 佐伯 胖: 学習の「転移」から学ぶ: 転移の心理学から心理学の転移へ, 佐伯 胖, 宮崎清孝, 佐藤 学, 石黒広昭 編, *心理学と教育実践の間*, pp. 157-203, 東京大学出版会 (1998)
- [Saxe 90] Saxe, G. B.: The interplay between children's learning in school and out-of-school contexts, M. Gardner, J. G. Greeno and et al., eds., *Toward a Scientific Practice of Science Education*, pp. 219-234, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates (1990)
- [Schwartz 04] Schwartz, D. L. and Martin, T.: Inventing to prepare for learning: The hidden efficiency of original student production in statistics instruction, *Cognition and Instruction*, Vol. 22, No. 2, pp. 129-184 (2004)
- [Schwartz 09] Schwartz, D. L., Lindgren, R. and Lewis S.: Constructivism in an age of non-constructivist assessments, S. Tobias and T. M. Duffy, eds., *Constructivist Instruction*, pp. 34-61, New York: Routledge (2009)
- [Shirouzu 02] Shirouzu, H., Miyake, N. and Masukawa, H.: Cognitively active externalization for situated reflection, *Cognitive Science*, Vol. 26, No. 4, pp. 469-501 (2002)
- [白水 09] 白水 始, 三宅なほみ: 認知科学的視点に基づく認知科学教育カリキュラム: 「スキーマ」の学習を例に, *認知科学*, Vol. 16, No. 3, pp. 348-376 (2009)
- [白水 11a] 白水 始: デザイン原則の新たな抽出・共有方法の提案, *日本教育工学会第 27 回全国大会講演論文集*, pp. 47-50 (2011)
- [白水 11b] 白水 始, 中原 淳: 人の主体的な問題解決を促すロボットの役割, *日本ロボット学会誌*, Vol. 29, No. 10, pp. 898-901 (2011)
- [Singley 85] Singley, M. K. and Anderson, J. R.: The transfer of text-editing skill, *J. Man-Machine Interaction*, Vol. 22, pp. 403-423 (1985)
- [Thorndike 01a] Thorndike, E. L. and Woodworth R. S.: The

influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions (I), *Psychological Review*, Vol. 8, No. 3, pp. 247-261 (1901)

[Thorndike 01b] Thorndike, E. L. and Woodworth R. S.: The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions: II. The estimation of magnitudes, *Psychological Review*, Vol. 8, No. 4, pp. 384-395 (1901)

[Thorndike 01c] Thorndike, E. L. and Woodworth R. S.: The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions: III. Functions involving attention, observation and discrimination, *Psychological Review*, Vol. 8, No. 6, pp. 553-564 (1901)

[Wagner 06] Wagner, J. F.: Transfer in pieces, *Cognition and Instruction*, Vol. 24, No. 1, pp. 1-71 (2006)

[Wertheimer 59] Wertheimer, M. *Productive Thinking*, New York: Harper and Row (1959)

2012 年 5 月 25 日 受理

著 者 紹 介



白水 始

2000 年名古屋大学文学研究科心理学専攻博士課程中途退学。同年、中京大学情報科学部講師, 2007 年～情報理工学部准教授, 現在に至る。専門は学習科学, 協調学習。博士 (認知科学)。日本認知科学会, 教育心理学会, AERA, Cognitive Science Society, ISLS など各会員。