

# 洞察問題解決におけるメタ学習

## Meta Learning in Insight Problem Solving

横山 拓<sup>†</sup>, 鈴木 宏昭<sup>‡</sup>  
Taku Yokoyama, Hiroaki Suzuki

<sup>†</sup> 青山学院大学社会情報学研究科, <sup>‡</sup> 青山学院大学  
<sup>†</sup> Graduate School of Social Informatics, <sup>‡</sup> Department of Education, Aoyama Gakuin University  
taku.yokoyamax@gmail.com

### Abstract

This study aims to review the process how meta learning emerges in the expertise of insight problem solving, based on a detailed analysis of a single participant's solving a series of insight problems. The participant gradually came to share the problem-solving load with environment through sensorimotor loops. Increasing resourcefulness to recruit whatever mix of problem-solving resources on the spot improved performance of insight. The participant learned how to generate an adaptive solution beyond various novel situations. This change process is conceptualized as meta learning, the process of learning to learn. These ideas are discussed with Bernstein's notion of dexterity and Ryle's notion of disposition.

**Keywords** — Dexterity, Disposition, Extended mind, Meta learning, Insight

### 1. はじめに

これまで様々なフィールドにおける熟達者の研究が蓄積されてきた。熟達者は初心者に比べ構造化された知識を持ち、高度なパターン認識や卓越した記憶遂行ができる[6]。また、単に組織化された知識を持つのみならず、その適用にあたって場面に応じた適応性を発揮するとされる[11]。

一方、熟達の過程については比較的長期にわたる発達段階が想定されており[1]、その間の経験の量および質が重要な役割を果たすことが知られる。もっとも、これらは長い時間軸で見た場合の変化であって、熟達化のプロセスが実際にどのように発生しているのかが具体的に描き出されていない。

本研究はまず Ryle と Bernstein の仕事を手がかりに、適応的な熟達者が持つ特徴を「機知としての巧みさ」としてまとめる。次に、巧みさが学習される過程をメタ学習として規定した上で、創造的認知の一つ洞察 (insight) を題材に、巧みさとその学習プロセスを実験的に検証していく。

### 2. 機知としての巧みさ

巧みさ (dexterity) とは、予期しない環境変化に臨機応変に対処するわざを指す。パーティで機知にあふれた会話をする人や、混雑した通りを誰にもぶつからず上手に通り返ける人は、この意味での巧みさを発揮している。巧みさの現れは多種多様であって、それぞれ1回限りで2度目のない過程である。けれども、巧みさには個々の現れを超えた共通の特性がある。Ryle は思考の研究から[19][20]、Bernstein は運動の研究から[5]、それぞれ独自にこうした巧みさの概念にたどりついた。以下では彼らの議論を参考に、巧みさの特徴を整理する。

巧みさが示す多様性や柔軟性は、計画を立て、次いでそれを実行に移すというプロセスでは十分に説明できない。Ryle は行為に対して心的なプランが先行するという考えを再三にわたり批判している。同様に Bernstein も、中央制御によっては多様な運動が実現できないことを繰り返し論じた。

実際には、プランはそのつどの状況の中でローカルに生成され、たえず調整されながら実行されている。Bernstein は、感覚信号による動作修正と動作による感覚修正が同時に起こるような on-line の相互作用を「感覚調整」と定義し、運動制御の中心的な原理として重視した。

巧みさとはこうした外界との相互作用における巧みさに他ならない。ただしこの相互作用は、たまたまそこにあるものや、偶然その場で起こることとのそのつどの相互作用であり、一種のプリコラージュである。Bernstein は巧みさのこの特徴が資源の利用性 (resourcefulness) に基づくと述べている。彼が強調したのは、巧みさを身体や周囲の環境抜きに説明することはできないということであった。この着想

は「拡張された心」(extended mind) [8]や「行為システム群」(action systems) [18]といったコンセプトと地続きである。心-身体-環境はいわば一つのシステムとなって思考や行為を生み出しているのである。

巧みさのもう一つの特徴は、それが個々の行為に内在する性質ではないということである。巧みさは諸行為を場面にあわせていかに組み合わせ、どのように加減して実行するかという調整の巧拙として現れる。Ryleによると、それは「物事を“注意深く”進める」とか“機転を利かせて”話をする」というときに「副詞的に」現れる一種の傾向性(disposition)であって、端的な動詞としての行為それ自体に含まれる性質ではない。

Bernstein もまた、巧みさが身体動作ではなく、複数の動作レベルの調整にあることを論じている。動作協応の4つのレベルは、各々のレベルがそれぞれ異なる部分の調整を受け持ち、かつ上位の先導レベルが下位の背景レベルの切替可能性を持つような階層構造をなしている。

巧みさとは、変化する環境の中で、適応的な思考や行為を安定して生み出せるような態勢がとれるということである。あるいは、心-身体-環境からなるシステムにおいて、そのように自らを定位し機能させることができるということである。こうして生まれる態勢は、現実化した個々の思考や行為に対していわばメタな相にある。ゆえに、巧みさを観察可能な下位の個別要素に還元することはカテゴリーミステイクとなるのである。

### 3. 学習のオーダー

巧みさが個々の思考や行為に対してメタな相に現れるものだとしたら、巧みさが学習される過程においても、それに応じた何らかの区別が必要となる。

Bernstein は生物進化のタイムスケールで動作構築の歴史を叙述しているが、ここではより短期的な、一人の人間の熟達化について論じる。

一般に、何か変化が起こっているとき、そこで変化しているものが何かによって入れ子状の階層構造が認められる。たとえば、速度の変化を加速度といい、加速度の変化(速度の変化の変化)を躍度とい

う。ここでは、速度、加速度、躍度の順に変化のオーダーが上がっていくととらえる。オーダーが上がるとは、1つ下のオーダーにおける変化の仕方そのものが変化することを意味している。そして、高次のオーダーの変化がカギを握るような現象がしばしば存在する。事実、車やエレベータがなめらかに発進・停止できるかどうかは、加速度の急激な変化の抑制、すなわち躍度の制御にかかっているのである。

このような変化の階層構造を学習やコミュニケーションに適用したのものとして Bateson の先駆的な業績がある[4]。より今日的な表現としては、強化学習における「メタ学習」(meta learning) [9]を挙げることができよう。強化学習では学習系の入出力を決める多数のパラメータがあり、これらのパラメータの変化の仕方を定めるメタパラメータ(たとえば探索範囲の幅や学習率)をどのように設定するかが系のふるまいの適応性を決定づける。メタ学習とは、場面に応じてこれらのメタパラメータが調節されるようになることである。

以上を踏まえ、改めて巧みさが学習されるオーダーを規定する。まず、所与の枠組みの範囲内で生じる学習がある。既存の物の見方ややり方に従い、微調整によってパフォーマンスを改善していくような学習である。これを0次の学習ということにする。0次の学習において、問題解決のシステムそれ自体は変化していない。いわゆる「定型的熟達」[11]はこのオーダーに見られる学習である。

次に、当初の枠組みを見直したり変更したりして、新しい物の見方ややり方を生み出すような学習がある。これを1次の学習という。1次の学習は0次の学習のシステムを変化させるような学習であり、その前後ではっきりした質的变化を伴うことが多い。

最後に、様々な物の見方ややり方を状況に応じて修正したり、新しいやり方を生成しやすくするような学習がある。このオーダーでは、1次の学習のシステム自体が調整されるようになる。本論文では以下、これをメタ学習ということにする。「メタ」には2つの含意がある。第1に、そこでは学習の仕方それ自体が学習される。第2に、それは単独で生起する過程というより、1次の学習と平行して、いわば

その副産物としてメタな相に発生する過程である。

これらの区別をより明確にするため、Argyris の組織学習理論[3]と対比する。Argyris は、既存の諸条件の中での改善的な学習、たとえば自動車部品の製造業者が生産効率を上げるような活動を「シングルループ・ラーニング」と規定した。これが 0 次の学習に相当するのは明瞭であろう。

一方、前提条件の問い直しにさかのぼるような学習は「ダブルループ・ラーニング」と呼ばれる。これは「そもそもなぜ部品を作っているのか」「このやり方しかないのか」「この技術を自動車以外のものに転用できないか」など、活動の前提条件や文脈自体を対象化するような学習であり、われわれの区別では 1 次の学習にあたる。

そして、Argyris は論及していないが、もしこの組織が「いつ前提条件を問い直すのか」「複数あるうちのどの前提条件を疑うのか」「前提条件の問い直しを適切に起こすために、環境や仕事の仕組みをどう整えるか」といったことを調整するようになったとすれば、そのときこの組織にはメタ学習が起こっているといつてよいだろう。

要約すると、学習のオーダーが高次化するとは、低次の学習システム自体が調整されるようになることである<sup>1</sup>。メタ学習とは、未知の状況に対して新しい物の見方や解決策を生み出すそのやり方そのものが学習されることである。そして、巧みさや「適応的熟達」[11]の主要な特徴、すなわち適応性や資源の利用性が安定的な態勢として発揮されるようになるのは、このオーダーで学習がなされたときであると考えられる。

#### 4. 洞察とその熟達

本研究は、以上のように規定された熟達化が、創造的な認知活動、具体的には洞察 (insight) において見られるかどうかを検証する。

洞察問題とはその解決にひらめきや発想の転換を

必要とする問題である。洞察問題について人は何度も同じような失敗を繰り返す。失敗のさなか問題解決に役立つ重要な情報が得られたとしても無視しがちである。そして問題の解決は、少なくとも主観的には、瞬間的な Aha! 体験として唐突かつ一挙に訪れる。1990 年代より認知科学は謎めいた洞察のメカニズムを徐々に明らかにしてきた。代表的なモデルとして、問題空間探索[13]、制約緩和とチャンク分解[15]、制約の動的緩和[12]などが提出されている。

では、洞察は熟達するものなのか。これは論争的な話題といえる。熟達しないことを示す研究[10][24]の根拠になっているのは、個々の洞察問題が持つ固有性である。彼らによれば洞察問題はそれぞれ特有の構造を持っているので、それらを横断するような一般的な転移は存在しない。これに対し、近年の諸研究[2][7][17][23]は、事前の教示、複数回の練習とフィードバック、問題比較分析など介入手法を洗練させることで、言語的問題や空間的問題、数学的問題など多様な洞察問題に効果 (成績の向上) があることを報告している。

われわれは洞察が熟達することを示す後者の研究群を歓迎するが、いくつか見過ごせない課題もあることを指摘しておかなければならない。

第 1 に、これらの先行研究では、実験のコンテキスト自体が「習ったことを次に適用する」という設定になっており、観察された事象が洞察の熟達といえるかどうか疑わしい。被験者はいわば鶴亀算を習いたての小学生のような状況に置かれている。実験課題がその「例題」であって、教えられた方略を用いて解くべきことは文脈上明らかである。つまり被験者が身につけたのは所与の解法を例題にどう適用するかであり、未知の問題にどのように対処するかという洞察問題解決の本質的な部分は学ばれていないという可能性が残る。

第 2 に、先行研究の多くは結果 (正答率や回答時間) の比較しかしておらず、問題の解き方の違いや変化に十分な注意を払っていない。そのため、結局のところ何が熟達したのかが不明確である。もし問題解決プロセスの変化を観察しようとするのであれば、紙や PC 画面上に問題を提示して、答えを思い

<sup>1</sup> 学習のオーダーは必ずしも生起順序や発達段階を表すものではない。また、なされている内容の複雑性と学習のオーダーは必ずしも比例しない。たとえば、きわめて専門的かつ複雑な仕事に従事しながら、学習のオーダーとしては 0 次にとどまっているということがありうる。

ついたら報告させるという「クイズ形式」の実験手続きも見直さざるをえない。問題解決において外的資源が重要な役割を果たすことはつとに知られている[16]。洞察のように一見するといかにも「頭の中で」起こっていきそうな認知活動においてすら、外との相互作用の有無がパフォーマンスに影響することが示されている[25]。資源の利用性を巧みさの本質的特徴として位置づける本研究の立場からすれば、被験者と環境との相互作用が観察できるような実験デザインは必須である。

## 5. 実験

本研究は、洞察問題として知られる図形パズルを複数問解かせる過程を通じて、問題解決の仕方どのような変化が現れるかを実験的に検討する。

図形パズルを題材にするのは、解決過程が観察可能だからである。パズルを解く際、手持ちのピースと作りたい形を記憶し、目をつぶって考えて答えを出してから、一挙にピースを組み立てて解決することもできる。けれども人はそのようにパズルを解くことはない。考えるより先に身体を使ってピースを動かしながら問題を解決しようとする。

本実験のねらいは、このような設定において、既述の巧みさやメタ学習に相当する現象が見られるかどうかを確かめることである。

### 5.1. 方法

**被験者：**1名（小学生）が実験に参加した。

**課題：**Fパズルと呼ばれる図形パズルのうち無作為に抽出した10問に取り組みさせる。Fパズルは凹型、凸型、台形の3種各2つの計6ピースを使って様々な形を構成するパズルで、解決にひらめきを要する難しいパズルとして知られる[図1]。

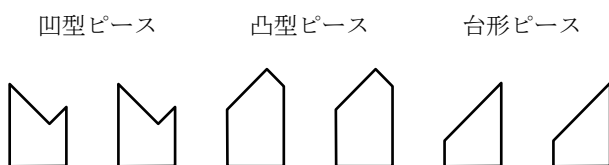


図1：Fパズルのピース構成

同種の図形パズルとしてTパズルがあり、複数の先行研究がある[12][21]。Fパズルにおいても、Tパズルと同様に「凹型ピースの窪みを埋めてきれいな形にする」あるいは「台形ピースを机に対してまっすぐの向きに置く（斜めに置かない）」など、ピースの組み合わせ方や置き方に自然で支配的な傾向があり、問題を解くためにはこれらの諸制約が緩和する必要がある。

**手続き：**時間制限を設けず、ヒント提示や事後フィードバックなしに順次問題を解かせる。目標シルエットは製品に同梱された用紙（縮尺1/4）にてつど示す。解決の様子はビデオに撮影し分析対象とする。1つの問題に取り組む単位をセッションと呼び、1問目をS1、10問目をS10のように表記する。全10問の構成は図2の通り。

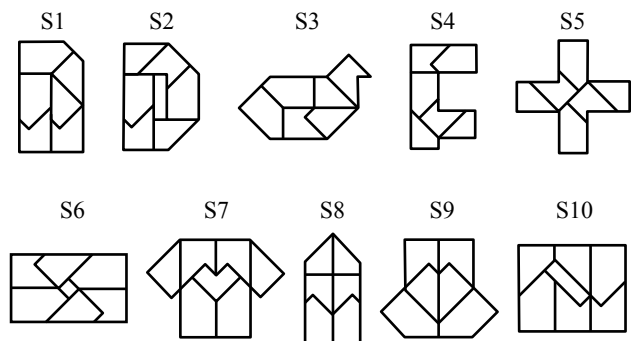


図2：課題の構成

### 5.2. 結果と考察

被験者は10問すべて正解した。各セッションの回答時間の推移を図3に示す。

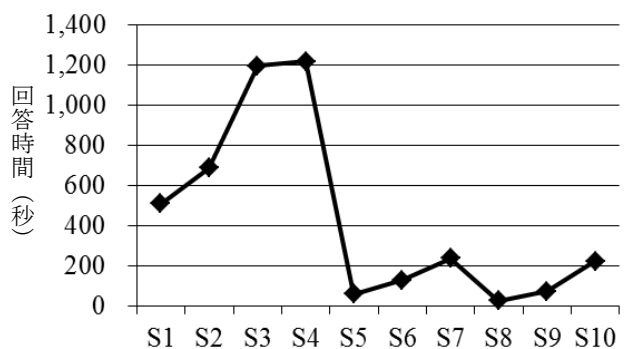


図3：解決に要した時間

洞察問題解決のパフォーマンスは問題による差や個人差が大きい。したがって単純に回答時間の減少を上達のしるしと見なすことはできないが、S5以降明らかに解決に要する時間は短くなっており、何らかの熟達的变化があったことが推測できる。

また、計10セッションの問題解決過程の分析により、ゆらぎ（多様性）の増加、見る目（評価）の向上、および外的資源の活用の3つの特徴的变化をとらえることができた。以下、順に詳述する。

### 5.2.1. ゆらぎを生み出すようになる

洞察問題を解決するには、非標準的な打ち手を見つけないといけない。そのためには、ある程度広い範囲で打ち手を探索する必要がある。Tパズルを題材とする先行研究[22]でも、ピースを組み合わせた試行において多様性が高い被験者ほど正解する可能性が高いことが示されている。

では、洞察問題解決が熟達するとすれば、打ち手の多様性が徐々に高まっていくのか。これを検証するため、6ピースを組み立ててある形を作る際の、最初の2ピースの組み合わせとそのバリエーションを調べることにした。

図4は、各セッション内で、2ピースの組み合わせの総試行数に対して、生成したパターン数の占める割合がどのように推移したかを表したものである。S1からS10までの全体の傾向として、新規パターンの出現比率が増加傾向にあることが確認できる。

試行数は回答に要した時間に概ね比例して増減することから、被験者はセッションが進むにつれ、少ない回数でよりバリエーションに富んだ組み合わせ（ゆらぎ）を生成するようになったといえる。

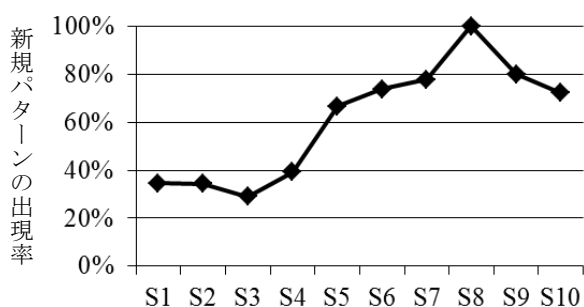


図4：打ち手の多様性

### 5.2.2. 見る目（評価）がよくなる

さて、打ち手の多様性が高まれば、直ちに洞察問題が解けるようになるわけではない。場当たりのランダムウォークでは、かえって探索効率が悪化する可能性もあるからである。

洞察問題解決に熟達するためには、ゆらぎを生成するようになることに加え、もう一つ重要な要件がある。それは打ち手の良し悪しが適切に評価できるようになることである。評価の適切性は、問題解決の成否を左右する[22]。ある程度幅広く探索した上で見込みのよい筋を見きわめることができるようになって初めて、問題解決のパフォーマンスが向上するのである。

それでは、評価の適切さの変化は何によって検証できるか。ここでは、あるセッション内のどの段階で被験者がやり直すかに、その時点の打ち手に対する評価が現れると仮定して検討を進める。

いま、Fパズルの探索木では、正解につながるよい配置よりも悪い配置のほうが多い。一方、パズルの性質上、ピースを数多く組み立てれば組み立てるほど、現状の評価すなわち自分が作っている形が正解に至りそうかの見立ては容易となる。組み立てたピースの数が少ない段階では、それらが正解につながるよい配置かどうかは判別困難である。反対に、6ピースをすべて使って何らかの形を作れば、それがゴールと一致するかは一目瞭然となる。

ある時点で被験者が意図をもって組み立てたピースの数を手数と呼ぶことにする。2ピースを組み合わせたれば2手、5ピース組み合わせたれば5手である。なお、Fパズルは6ピースすべて使って所定の図形を作るパズルであるから、最大の手数は6手である。ただし、試行錯誤なしに一気に問題が解決されることはほぼない。現実には、様々な途中段階（手数）が生成され、行きつ戻りつしながら探索が進んでいく。

以上により、もし被験者の見る目（評価）がよくなるとしたら、組み立てたピースの数（手数）が少ない段階で、悪手を見きわめてやり直すようになることが予想できる。「この組み立て方には脈がない」ということを2手の段階で見きわめてやり直すのと、

5手まで進めてようやく気づいて引き返すのでは、明らかに前者のほうが見る目がよいといえる。

図5は最初のセッション(S1)と最後のセッション(S10)の手数の推移を比較したものである。各グラフの横軸は経過時間、縦軸はその時点で組み立てたピースの数(手数)を表している。また、図中の「▲」印は完成形に照らし適切な配置(組み合わせ)、「◆」印は誤った配置がなされたことを示す。

S1における手数の推移から何が読み取れるか。まず、4~6手の手数が多く(全体の65%)、1~2手が少ない(13%)。セッション中に2手目の適切な配置が計15回出現しているものの、解決に至る試行(480秒前後)以外の局面では見過ごされており、やり直しの際もそこに立ち戻ることはない。

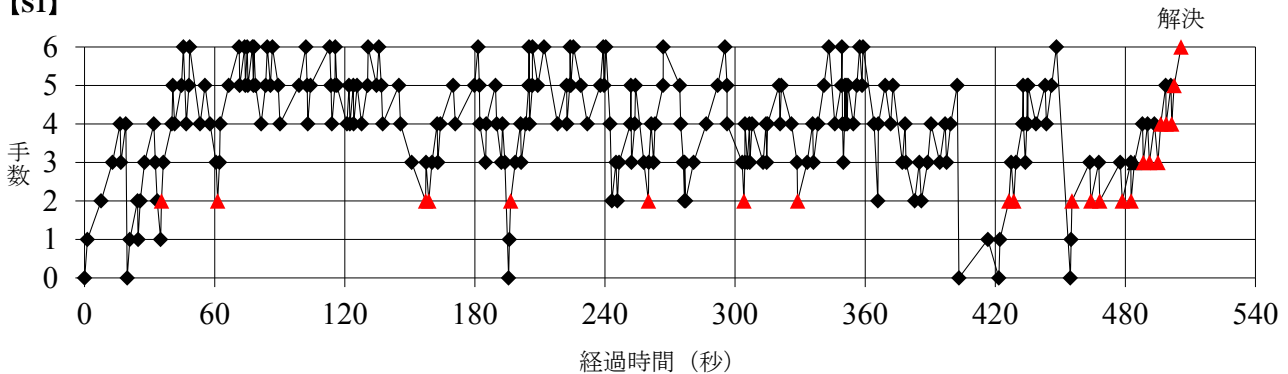
S1での被験者はいわば「答えが出てから」(手数を6手近くまで進めてから)間違いとわかる。そして多くの場合適切なやり直し地点には戻らず、誤った地点からやり直す。そのため、試行のほとんどは無駄な探索となる。ちょうど、道に迷ったとき、本当は駅の出口を間違えているのに、駅まで戻らずに

誤った区画で目標を探しているようなものである。

一方、S10では様子が異なっている。まず、少ない手数(1~2手)での探索が多い(61%)。5手・6手まで進めるのは解決に至る最後の試行のみである(4%)。60秒付近で正しい2手目が初めて出現するが、この時点では通り過ぎてしまう。ただし、S1のようにそのまま先まで行ってしまわない。120秒前後に4手まで進めるものの、すぐに悪手と見きわめて1手目の吟味に戻っている。次に正しい2手目が出たときは問題を解決するときである。終盤、解決までなお数度のやり直しがなされたS1(480秒付近)とは異なり、S10(200秒付近)では1手から6手まで手戻りなしに一直線で解決している。

S1と対比すると、S10での被験者は手数をずっと先まで進める前の段階、すなわち「答えが出る前に」間違いを察知している。正しい配置を敏感にピックアップでき、遠出せずしかるべき地点に立ち戻ってやり直しができる。このようにして手戻りが減り、S1に比べ大幅に探索効率が改善されている。

【S1】



【S10】

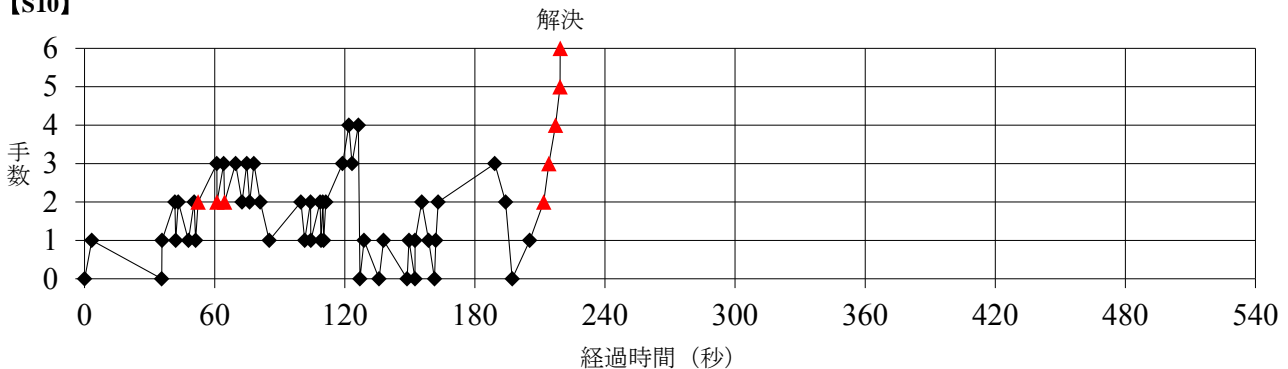


図5 : S1 と S10 の手数

以上の分析を10セッション全体に適用する。仮に全6手のうち後半の3手(4手~6手)を「現状評価が不適切なためにやり直された悪手」を表すものとみなし、各セッションで生成された手数(総数)に対する構成比を求めると図6のようになる。後半セッションに向かって、徐々に「悪手率」は減っていく。すなわち、被験者はセッション全体を通じてより少ない手数で探索するようになっており、その背後には問題に応じた評価の適切さの変化(見る目の向上)があったものと推察される。

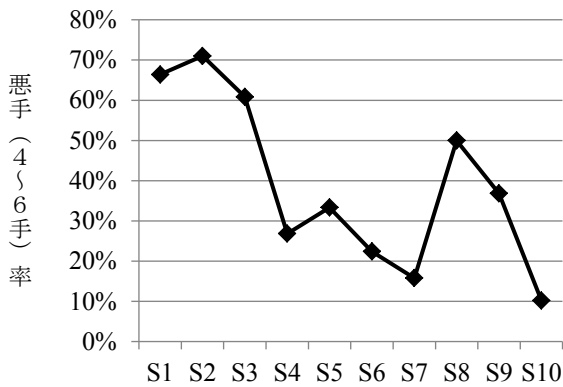


図6：悪手率

※S8はノーマスで解決したため相対的に高く見える。

### 5.2.3. 外を使うようになる

こうした見る目の向上をもたらしたものは何か。複数の問題を解くうちにピースの様々な置き方を知識として蓄えたためであろうか。その可能性を否定はしないが、ここでは別の仕方で説明を試みる。ピースの置き方や組み合わせ方は無数にあり、こうした直示的な対象を記憶として保持するのは難しい。また、図2の通り、どんな配置がよいのか(評価基準)は問題によって異なっており、「このような置き方をすれば解ける」といった“必勝法”は存在しないからである。

#### 5.2.3.1. ゴール参照

セッションの様様を注意深く観察すると、被験者がピースの接続・分離という問題解決に直接寄与する行為のほかにも色々なことをしているのがわかる。その中で、まず目標シルエットが記載された用紙を

視認する行為(ゴール参照)に着目する。解決に要した時間のうち、ゴールを見ていた時間がどれくらいあるかを調べると、セッションが進むにつれ増加傾向にある[図7]。S7やS10では、所要時間の4~6割弱を使ってゴールを確認している。

問題解決に取り組む被験者は、常に現状と目標の差分検出を行っている。だが、そのやり方は前半セッションと後半セッションとで異なっている。前半セッションであまりゴールを参照していないということは、裏返せば内的な記憶をたよりにしているということである。おそらく被験者は、大まかに把握されたシルエットの記憶を目標像として参照しながら活動していたものと考えられる。その一方、後半セッションでより頻繁にゴールを参照しているということは、記憶に頼るといふより、むしろその場にあるものを必要なつど見るといふ形で外的資源を活用するようになったことを示している。

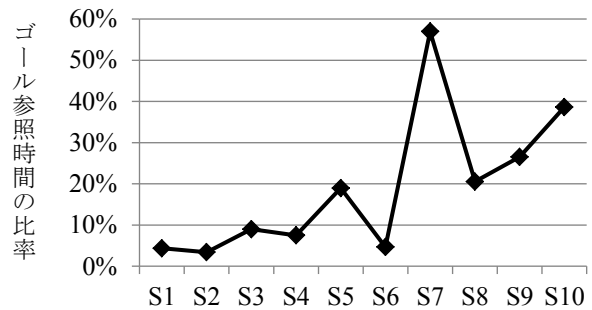


図7：ゴール参照

#### 5.2.3.2. ゴール参照を伴うピース回転

箱詰めパズルに想を得たといわれるビデオゲーム Tetris において、熟達者がピースをよく回転させるという研究がある[14]。Fパズルでも同様の「認知的行為」(epistemic action)が見られるかを確認するため、被験者がピースを回転させる行為(ピース回転)の出現回数を調べた。結果、セッション毎の増減などの傾向は見られなかった。ピース回転そのものは、ごく初期のセッションから一定程度生起している。

ところが、ゴール参照とピース回転がどれだけ同期するか、すなわちゴールを見ながらピースを回転させる行為がどれだけ出現するかを見てみると、その回数が増えているのがわかった。図8は、各セッ

セッションでのピース回転総数に対し、ゴール参照を伴ったピース回転の割合を示したものである。

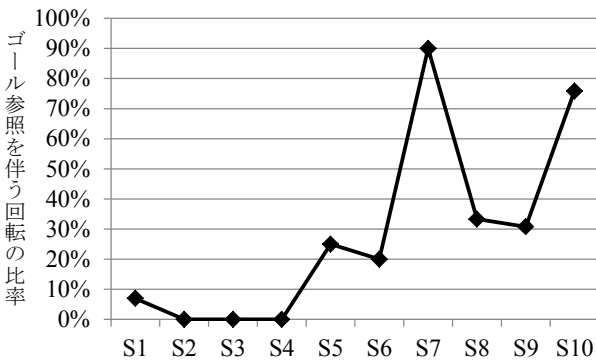


図 8：ゴールを見ながらのピース回転

ピースを回転させる行為も、前半セッションと後半セッションとはその意味合いを異にしている。ゴールを見ながらピースを回転させているとき、被験者がしているのはあてはまりの精査であり、あるピースを物理的に別の向きに動かすことではない。つまり、被験者はメンタルローテーションをするかわりに、外を使って知覚的なパターンマッチングを行うようになったのである。

おそらくこのことによって、被験者は目標シルエットの細部のプロポーシオンに対する敏感さを獲得している。だからこそ後半のセッションでは、あるピースの配置が適切か否かを少ない手数で評価できるようになったものと考えられる。

## 6. 総合考察

ここまでの分析から得られた知見を整理する。以下に論じる通り、われわれは本実験の被験者が、メタ学習によって洞察問題解決における巧みさを発揮するようになったと結論する。

### 6.1. 巧みさ

被験者はランダムウォークではなく、探索木の分岐が幾何級数的に増大する手前の段階で、いわばコントロールされたゆらぎを生み出すようになった。無駄な探索をせず引き返せるようになるのは、見る目（評価）がよくなったからである。

見る目のよさは、内的記憶や計算能力によってで

はなく、むしろ外的資源の巧みな活用によって担保されている。被験者は知覚と行為を協調させるような形で外と相互作用をすることにより、次第により適応的な仕方の問題に向き合えるようになった。

ゴール参照やゴール参照を伴うピース回転といった後半セッションに特徴的な行為が、いずれも内的な認知負荷を低減するような形で生起しているということは強調に値する。ゴールを頻繁に見ることによってワーキングメモリの記憶負担が減り、ピースを実際に回してみることによってメンタルローテーションをしないですむ。

こうした外との相互作用は、単なる負荷軽減以上のメリットを被験者にもたらしている。被験者はピースを回転させるという自らの行為によって、自分に対する「よい知覚入力データ」を能動的に作り出している。これは外との相互作用を含まない戦略、たとえば自分の（内的な）計算処理能力を上げるといった戦略と好対照をなす。外との相互作用によって、具体的には行為を通じて知覚入力を変えてしまうことによって、被験者はむしろ解くべき問題のほうを簡単にしているのである。

ところで、目標を見る、対象物を回すといったそれぞれの行為はごくありふれたものにすぎない。巧みさが発揮されたのは、これらを協調させるやり方（調整）においてである。このやり方はどのように見出されたのか。

ゴール参照とピース回転の協調は、S1でもわずかながら生起しているが、S2～S4ではほぼゼロに近くなる[図 8]。その間（S2～S4）しばしば見られたのは、ピースとピースを重ねて形状を比較したり、ゴール用紙やピース群の上に指で補助線を引いて図形を分解したりするようなしぐさであった。被験者は、あてはまりやプロポーシオンを知るための手立てとして、算数の図形問題を解くときのような「分析的な」方略も同時に試行していたのである。

ところがこの方略は S5以降影をひそめ、次第に「外を活用した」やり方が支配的になっていく。ゴールを見ながらピースを回転するという方略が本格的にセッションの冒頭から使われるようになったのは S7からである。S7は全 10 問の中でも複雑な形を



した問題であり、参照ポイント（図形を構成する頂点の数）がもっとも多い。この問題との、いってみれば偶然の出会いを契機に、重奏する複数のストラテジーのうち「外を使う」やり方が優位になっていったものと思われる。

## 6.2. 学習のオーダー

続いて、一連の過程で生じた学習がどのオーダーで起こったものかを検証する。

まず、今回取り上げた10問は、決まった置き方を他に転用して解けるような定型的な問題群ではない。また、被験者の熟達がピース操作の速度や正確性の向上によってもたらされたとは考えにくい。したがって、この変化は0次の学習にはあたらないといつてよいであろう。

それでは、ここで観察された変化は1次の学習であろうか。確かに、被験者は新しい物の見方ややり方を生み出している。実際、初めて1つの洞察問題を解くという経験は1次の学習にふさわしい。Tパズルを用いた先行研究[12][21]は、洞察問題解決を、「ピースを斜めに置かない」「窪みを埋めてきれいな形にする」といった、普段は有用であるが当の問題に関しては妨害的に働くようなピースの配置に関する諸制約が、試行錯誤を通じて徐々に緩和していく潜在的な学習過程として描いている。これは典型的なダブルループ・ラーニングといえる。

だが、本実験において被験者が示したのは、単に1つの新しい見方を生み出すことではなく、むしろ異なる複数の問題にわたってそのつど新しい見方が生み出されやすいように行為することである。換言すれば、1次の学習それ自体の起こし方こそが学習されているのであり、この変化はメタ学習としての要件を満たしていると考ええる。

たとえば、ゴールを参照しながらピースを回転させることによって、新しいピースの置き方や組み合わせ方が見つけやすくなる。ここで起こっているのは、特定の制約を緩和させるような変化ではなく、むしろ制約緩和のさせ方の変化である。

見る目（評価基準）の変化についても同じようなオーダーの違いを指摘できる。見る目がよくなると

いっても、全10問を通じて「同一の」評価基準が徐々に精度を上げていったわけではない。何度か述べたように、評価基準は問題によって異なるからである。どの問題に取り組むときも、はじめのうち被験者は何がよくて何が悪いかがわからない。被験者は、その問題に固有の評価基準を何回かのやり直しを通じて問題ごとに生成していかないとけないのである。したがって、ここで上達したのは問題に合わせて見る目を調整するそのやり方である。

以上によりわれわれは、被験者がこの図形パズルに関して、多様な問題群に対する適応的な向き合い方、すなわち知覚と行為を協調させながら、外的環境との相互作用によって問題を解決しようとする態勢（disposition）を、メタ学習によって獲得したものと結論する。

## 6.3. 今後の課題

締めくくりとして、本研究の知見を限定し、今後の課題についても補足しておく。

第1に、本研究が取り上げたのは1人の被験者のみである。したがって、ここで観察された内容が、他の被験者においても一般的に観察されるものであるかは今後の検討を待たなければならない。

第2に、本研究が示したのはあくまでもFパズルの熟達であり、これがどの程度まで領域の汎用性を持つのかは検証されていない。とはいえ、被験者がまったく未知の状態から、特段の教示も受けずに、独自の試行錯誤によって巧みさを生成していったことを考慮するならば、少なくとも今後類似の空間的課題に対処した際に、同水準の学習を発生させる蓋然性は高いのではないかと考える。

最後に、どのような問題をどのような順序で経験するかによって、学習のあり方が変化する可能性があること（経路依存性）を指摘しておく。本研究では全10問を通じての様々な変化を検証したが、出題の順序が変われば傾向が変わったかもしれない。また、今回の被験者が示した巧みさがこのパズルの熟達の最終的な到達地点とは限らない。11問目、12問目を実施したら別の傾向が現れる可能性があることも付記しておきたい。

## 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金基盤(B)15H02717の助成を受けて行われた。

## 参考文献

- [1] Anderson, J. R. (1990). *Cognitive psychology and its implications*. WH Freeman/Times Books/Henry Holt & Co.
- [2] Ansburg, P. I., & Dominowski, R. L. (2000). Promoting insightful problem solving. *The Journal of Creative Behavior*, 34, 30-60.
- [3] Argyris, C. (1977). Double loop learning in organizations. *Harvard Business Review*, 55(5), 115-125.
- [4] Bateson, G. (1972). *Steps to an ecology of mind: Collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology*. University of Chicago Press. (ペイトソン, G. 佐藤良明訳, 精神の生態学. 新思索社)
- [5] Bernstein, N. A. (2014). *Dexterity and its development*. Psychology Press, London. (ベルンシュタイン, N. 工藤和俊他訳 (2003). デクステリティ: 巧みさとその発達. 金子書房)
- [6] Chi, M. T., Glaser, R., & Farr, M. J. (2014). *The nature of expertise*. Psychology Press, London.
- [7] Chrysikou, E. G. (2006). When Shoes Become Hammers: Goal-Derived Categorization Training Enhances Problem-Solving Performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 935-942.
- [8] Clark, A., & Chalmers, D. (1998). The extended mind. *analysis*, 7-19.
- [9] 銅谷賢治. (2005). 行動学習系のパラメタ制御と脳神経系のメタ学習機構. 日本認知科学会 2005 年冬のシンポジウム.
- [10] Duncan, C. P. (1961). Attempts to influence performance on an insight problem. *Psychological Reports*, 9, 35-42.
- [11] Hatano, G., & Inagaki, K. (1984). Two courses of expertise. *Research and Clinical Center for Child Development*, 83 [Annual report], 27-36.
- [12] 開一夫・鈴木宏昭. (1998). 表象変化の動的緩和理論. 認知科学, 5, 69-79.
- [13] Kaplan, C. A., & Simon, H. A. (1990). In search for insight. *Cognitive Psychology*, 22, 374-419.
- [14] Kirsh, D., & Maglio, P. (1994). On distinguishing epistemic from pragmatic action. *Cognitive science*, 18(4), 513-549.
- [15] Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H., & Rhenius, D. (1999). Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 1534-1555.
- [16] 村山功. (1995). 外的資源による課題と認知主体の変化. 認知科学, 2(4), 428-438.
- [17] Patrick, J. & Ahmed, A. (2014). Facilitating representation change in insight problems through training. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40, 532-543.
- [18] Reed, E. S. (1996). *Encountering the world: Toward ecological psychology*. New York: Oxford University Press. (リード, E. S. 細田直哉訳, 佐々木正人監修 (2000). アフォーダンスの心理学-生態心理学への道. 新曜社)
- [19] Ryle, G. (1979). *On Thinking*. Blackwell, Oxford. (ライル, G. 坂本百大他訳 (1997). 思考について. みすず書房)
- [20] Ryle, G. (2009). *The concept of mind*. Routledge. (ライル, G. 坂本百大他訳 (1987). 心の概念. みすず書房)
- [21] 鈴木宏昭. (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.
- [22] 鈴木宏昭. (2004). 創造的問題解決における多様性と評価 洞察研究からの知見. 人工知能学会論文誌, 19, 145-153.
- [23] Walinga, J., Cunningham, J. B., & MacGregor, J. N. (2011). Training insight problem solving through focus on barriers and assumptions. *The Journal of Creative Behavior*, 45(1), 47-58.
- [24] Weisberg, R. W., & Alba, J. W. (1981). An examination of the alleged role of "fixation" in the solution of several "insight" problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 110, 169-192.
- [25] Weller, A., Villejoubert, G., & Vallée-Tourangeau, F. (2011). Interactive insight problem solving. *Thinking & Reasoning*, 17(4), 424-439.