

「概念変化」と学習研究：認知の基礎過程を考え直す

企 画		三宅なほみ	(中京大学)
話題提供	「学習者主体の概念変化」	白水 始	(中京大学)
	「協調過程による概念変化」	三宅なほみ	(中京大学)
	「メタ認知と概念変化」	諏訪正樹	(慶応大学)
		他一般公募による参加者	

主旨：

ある学習場面で学習者がどう「概念」を受け取るのか、また受け取った「概念」をどう「変化」させてゆくのかについて、その詳細を明らかにすることは認知科学研究にとって根本的な課題のひとつである。本ワークショップでは、概念変化についていくつかの角度から最近の研究成果を持ち寄って検討したい。

概念変化 (conceptual change) は、今年新たにハンドブック (Vosniadou, 2008) が出版されるなど、研究成果が概観できる程度に熟成してきた構成概念だと考えられる。本ワークショップではこの Handbook に取り上げられている成果をも視野に入れつつ、変化するものとして概念を捉え、その支援過程を現実的な場面で検討している諸研究を取り上げ、これからの研究の糸口を探りたい。

概念変化研究を長く先導した稲垣、波多野らの知見によれば、人は発達の比較的早い時期に、社会的文化的な支援を得て、物理、生物、経済などいくつかの世の中の仕組みについて日常的な体験の集積から構成される素朴理論を形成する。それらの理論はその後、それぞれの分野で引き起こされるより意図的な認知発達の試みに従って「科学的」な理論に作り変えられてゆく。この後者の過程は、素朴概念をそれぞれの学問分野の目的に合わせて解体・再構成しつつ新たな概念として作り変える過程だと考えることができるだろう。この概念変化の過程をこれまで以上に詳細に追い、新しい手法も駆使してその実態を明らかにすることによって、概念変化研究を学習支援や創造性支援など現実社会に適用可能な認知科学的成果に結びつけることがこのワークショップの目的である。

概説：

概念変化という研究テーマは、狭義には1985年頃から Carey らを始めとする発達心理学者が提唱した構成概念だといえるだろう (Carey, 1985)。認知発達、特に言語発達分野での生得性についての議論と相まって、乳幼児の物理概念の獲得についての新しい知見が馴化法など新しい研究方法の活用の広まりに支えられて多くの研究者を引き付けるテーマとなった。日本人研究者の貢献としては稲垣、波多野が生物学的な概念の獲得について Carey らの主張よりもっと早くから生物と無生物の区別ができること、初期の生物学素朴概念には彼らが vitalistic causality と呼んだ特有の理論に支えられていると考えられることなどを主張した (Inagaki & Hatano, 2004; 稲垣、波多野, 2005)。

稲垣、波多野の貢献は、その内容が新しかったことや実験方法が巧みだったことにとどまらず、素朴理論の形成が本質的に幼児の日常生活、文化、社会との相互作用の結果であることを主張したところにあるだろう (Hatano & Inagaki, 2003)。この見方は発達・学習研究の中でも特に、Human Development の波多野氏への追悼号 (Inagaki et al, 2006) に寄稿した研究者らに取り入れられ現在もさまざまな方向で発展している。興味深いのは、これらの研究者の中に、Greeno, diSessa, Bransford, Lin, Schwartz, Vosniadou など学習科学分野でも活躍する研究者の名前が見られることである。彼らの仕事の多くが、概念変化を現象として取り出し、加えてそれらをどう意図的に、社会的文化的支援の中で引き起こすかに焦点を当てている。

反対に学習科学会で概念変化という構成概念を早くから取り上げた研究としては、

Roschelle (1991) がある。これは、学習科学会を代表する学術雑誌 *The Journal of the Learning Sciences* 上に、なぜ協調的な過程によって学習が進むのかという問いに対する理論的な枠組みに基づく答えを提供したもっとも初期の論文のひとつである。そこでは、物理学上の概念の獲得と変化の過程(具体的には力の合成についてその仕組みと意味を理解すること)が詳細に分析され、協調的な学習の基本的なメカニズムが複数の参加者の持つ多様な理解を「ひとつの見方」に収斂させようとする社会的な認知過程であるとする論が説得的に展開されている。このような研究を基盤のひとつとして、現在多くの学習科学的な実践で様々な学習デザインがどのように概念変化を引き起こすのかが問われている。

本ワークショップではこのような研究動向を背景に、具体的には次のような問いへの答えを探したい。ひとつには、Roschelle の収斂説が体現する理論的枠組み、すなわち多くの概念変化研究がその成果として「ひとつの」いわば規範的な概念的理解への到達を目指す枠組みについての再考である。概念は、個々人の社会文化的な取り組みの中で多様化する側面もあるだろう。「ひとりひとりが自分なりの理解に到達する」形の概念変化過程について、概念が変化していることをどう捉えたらいいか、またそのような個人的な過程を社会文化的にどう支援できるか、などについて知見を深めたい。

もうひとつ、概念形成過程を、いままで以上にプロセスそのものに注目して、長期的な視野から再考することの効果についても議論したい。協調的な学習による概念変化を例にとって言えば、最近、協調過程が未来の学習を準備するという主張が出てきている (Schwartz & Martin, 2004; Schwartz, et al., 2007)。これらの研究は、これまでのところ実験的な方法論に重点を置いている。実際の学習場面で、概念変化の中途段階として、「将来の学習準備のためのいわば中途半端な概念」形成が果たす役割や、その形成過程に焦点を当てて分析しようという研究は、今まさに広く展開し始めたところである。

本ワークショップでは、概念変化を担う主

体自身が自らの概念変化の過程をどうコントロールするか、より長期的で多様な概念の形成過程について幅広く社会文化的な経緯を追い、その支援可能性を検討するために、以下のような構成を企画している。

まず比較的短時間に *notoriously difficult* な概念変化を引き起こすための段階的な支援効果の詳細を明らかにしようとした研究例を報告する(白水始)。ここでは、規範解に収斂することを目的とした学習過程であっても、その過程で学習者自身による「中間的な概念」が形成され、それが学習者自身を主体とした次の学習を準備する様子が報告される。次いで「認知科学」という多様な理解が可能な対象について、初学者が徐々に自分の既有知識や体験と結びついた多様な理解を構成する過程の分析から、多様性が多様性を生む協調的概念変化を検討したい(三宅なほみ)。概念は、規範的な基準から見て「良い」形になったあと、外的知識や他人、時間などをリソースとして一旦崩れ、再構成されることがある。このような過程で観察される中途段階での多様性が、それ以前の多様性よりも質が高いかどうか、概念が望ましい方向で変化しているかを捉えるためには、新たな基準が必要になる。本報告では「未来の学習への準備」という視点を、この基準を与えるひとつの見方として検討したい。

概念変化研究をより広い視野から検討しなおすためには、研究対象となる概念の幅そのものを意図的に広げて考える必要がある。そのような試みの一つとして、本ワークショップでは、諏訪の EMC 理論を3件目の話題として提供する(諏訪正樹)。諏訪は最近、身体知に関する概念を言語化によるメタ認知の促進によって変化させる研究を意欲的に発表している(諏訪, 2005)。本学会でも「Embodied Meta-cognition の3つのフェーズ: 身体と言葉を繋ぐプロセス」と題する発表が予定されている。ワークショップではこれらの知見をさらに発展させ、身体的スキルの向上支援に認知科学的なアプローチがどう有効かを概説する。他、学会 web ページ上での公募による話題提供を計画している。積極的な参加と、活発な討論をお願いしたい。

(文献・話題提供分を含めて最後に収録する。)

学習者主体の概念変化

白水 始

1. はじめに

本報告では、一つの規範的な概念理解への到達を狙う科学や数学の基礎教育においても、その過程は多様で複雑な概念変化過程であることを示す。規範解への収斂を狙った授業を行っても、学習者の理解度が均一に向上する訳ではなく、前進や後退を繰り返し、互いに抜きつ抜かれつつ徐々に高まることは日々経験される。その理解度の押し上げに学習者たち自身が作る「中間」概念——規範から見れば中途段階の概念や十分には言語化されない手続き的な概念——が役立つかを本報告では検討する。これは Hatano ら(2003)の“conceptual peg”——仮説実験授業における児童の議論に利用され、既有知識と科学的理解を結びつける概念用語(e.g. 分子)——に近いが、それを外から与えられるのではなく、学習者自身で構成し、自分たちの共有リソースとして後の学習を主体的に進められるのかを検討したい。具体的には数学の証明問題解決をジグソー方式で支援し、その発話から学習者の概念変化過程を追った。

2. 魔方陣問題

課題には、1 から 9 の数字を 3×3 のマスに埋めて縦横斜めの各列の和(「魔方和」と呼ぶ)を等しくする魔方陣問題を用いた。この問題は、魔方和が 15 であることだけを頼りに試行錯誤的に数字を入れて解くこともできるが、各マスの幾何学的特徴と各数字の代数的特徴とを組み合わせることで解くこともできる。例えば、中心のマスが 4 列の魔方和に関わること(図 1)と和が 15 となる 3 つ組の数字に「5」が 4 回登場することを組み合わせると、中心のマスに「5」を入れることもできる。レベルの異なる複数の解法があることを理解させやすく、解決で得た概念の適用を要請する問題のヴァリエーションも作りやすい。今回は次の 2 課題を用いた。

課題 1:「(3 方陣の) 魔方和は必ず魔方陣の中心に入る数の 3 倍となる」ことを証明する。一つの証明方法は、次の通りである。まず、総和 T は魔方和 S の 3 本分に当たるため、

$$T=3S \quad \dots \textcircled{1}$$

と立式できる。次に、図 1 のように T を魔方和(図の直線)と中心(図の

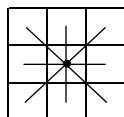


図 1

中心点)で表すことを考え、4 つの魔方和の合計からその交点の重複回数分(3 回)だけ中心の数 E を引く。すなわち、 $T=4S-3E \quad \dots \textcircled{2}$

①、②より式③を導き、証明終了。

$$S=3E \quad \dots \textcircled{3}$$

課題 2:「図 2 の格子で各正方形の和が等しくなるように 1 から 9 を入れる」変型問題である。証明問題の形は取っていないが、魔方和が簡単には計算できないため、例えば中心の数を特定しようと思うと、「魔方和(各四角の和)は中心の数の何倍か」等を考えることが必要になる。一つの解法は、 T を 2 つの正方形 $AGIC$ 、 $BDHF$ の魔方和と E で表し、④を得る。

$$T=2S+E \quad \dots \textcircled{4}$$

次に最小の正方形($ADEB$ など)4 つ分の S を足し、重複する E と正方形 $BDHF$ の S を引いて T を

$$T=4S-3E-S \quad \dots \textcircled{5}$$

と表す。④、⑤から次の式⑥を導き、

$$S=4E \quad \dots \textcircled{6}$$

これをさらに④に代入し、 T が 1 から 9 の和 45 であることも合わせて、中心の数を特定する。

$$T=2(4E)+E=9E=45 \quad \therefore E=5 \quad \dots \textcircled{7}$$

残りの数は魔方和 20 から 5 を引いて探す。

分析に際し、解法の各ステップを複雑さに応じて 4 レベルに分類した。式①・④は互いに独立な要素で総和を表す点でレベル 1、式②・⑤は重複も考慮する必要がある点でレベル 2、式③・⑥はこれらを統合する点でレベル 3、式⑦は結果を実数と結びつける点でレベル 4 とした。

3. 実践の概要

この課題を大学 1 年生対象の「情報数学 I」で 2 年にわたって行った。履修者は 07 年度 70 名、08 年度 91 名である。両年度とも協調活動を基本としたが、08 年度にジグソー方式を採用したため、その効果をまず年度間で比較する。

両年度とも課題 1 に先立ち、3 方陣を複数の解法で解かせ、魔方和の概念や求め方の手続きに習熟させ、学習の基盤とした。その後 07 年度は課題 1 を 2-3 週目に計 82 分、課題 2 を 5-6 週目に計 60 分、08 年度は課題 1 を 4 週目に 43 分、課題 2 を 5 週目に 41 分とかけて取り組ませた。教員の解説は適宜行った。

協調活動の形態として 07 年度は 3、4 人の班で課題に取り組み、証明に必要そうなアイデアを生成しては板書や名刺大のカードを用い

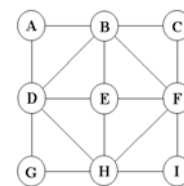


図 2

てクラスで共有した。一方 08 年度の課題 1 は式①と②、課題 2 は式④と⑤を異なるメンバーに分担させ、後に交換させた。分担時は一部の魔方和を表した図(例えば図 1 の魔方和の線が 2 本だけ入った図)を与え、それをヒントに総和を式で表させた。なお、課題 2 についてはジグソー前にまず自由に課題を解かせた。

4. 実践結果の年度間比較

学生の記述解答から、各年度で先述のレベル 2 まで導出できた者、レベル 3 以上をジグソーなどのヒント後にできた者、それ以前に自力でできた者を判別し、その割合を図 3 に示した。

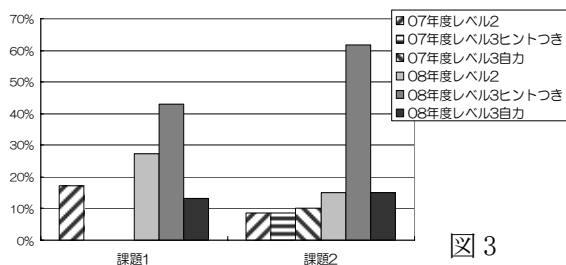


図 3

結果は両課題とも 08 年度が 07 年度を上回り、特にジグソーをヒントとしてレベル 3 以上の統合を行えた者の割合が多かった。07 年度の単純型の協調では、課題 1 はレベル 3 が 0% など、解決が極めて難しかったことがわかる。班での証明過程の観察からは、「証明の途中で何を証明しているのかがわからなくなる」「証明のゴールを前提に持ってくる」「課題の解決を班の一人に押し付ける」などの困難が観察された。一方、ジグソー活動では、課題全体の分割や証明に必要な要素が準備されたことで、学生の要素間の統合がやりやすくなったと考えられる。

5. 協調的な概念変化のプロセス分析

以上結果の概要を見れば、08 年度は段階的な支援で規範解に到達したと言えるが、ペアのプロトコルを追うと、その過程は複雑に上下し、二人の間でも収斂的ではなかったことを示す。具体的には上記で「ヒントつきで解いた」と判定された 1 ペアの会話を 2 週にわたって追ひ、両課題解決中の各時点の発話から 4 レベルのどの表象を構成していたかを同定した。

図 4 の横軸が課題 1・2 の解決時期、縦軸がレベルを示す。なお「レベル 0」はこの授業に先立って獲得した魔方和の概念や手続きである。学生 1・2 の過程をそれぞれ実線と点線で表し、各レベルの言語化の成否を○×等で表した。

なお、明確な発話を得られなかった時期は線が途切れている。

もしジグソーに従って段階的に部品の構成・統合が起きたなら、レベルを順に直線的に上がる結果が得られるはずである。しかし、ペアのレベル変化は、図の通り波打っていた。その詳細を各変化の要因の考察と共に示す。

課題 1 で二人は式②を分担したが解けず(図中 A)、Jigsaw に入って漸く動き出す。レベル 1 の式①を確認後、学生 1 が統合を試みるが失敗し(図中 B)、再度式①を検討して、それが既知の「総和は魔方和の 3 倍であること」を図形で表わしたものと了解した後、レベル 2 から 3 の統合に至った(図中 C)。学生 1 はこの統合を「連立方程式」と表現した。学生 2 は学生 1 の説明を理解できず、レベル 1 を再確認後、理解した(図中 D)。以上よりレベル 0 や 1 の手続き的な課題解決経験ベースの概念への立ち戻りが部品の統合に貢献する可能性がうかがえた。

課題 2 で二人はレベル 0 の試行錯誤から始めたが(図中 E)、ジグソー後レベルを上昇し、学生 2 が「連立方程式だね」と学生 1 のレベル 3 の統合を後押しした(図中 F)。学生 2 はその後、学生 1 を追い抜き、レベル 4 の統合まで試みた(図中 G)。部品の統合を自分たちになじみのある表現で言い表した「連立方程式」という独自の概念表現が二人の共有リソースとなって、統合をも促進した可能性が考慮できる。

今後は他のペアも分析し、それぞれ独自の「中間概念」を開発しながら、それをスキヤフォールドとして学習を進めていたことを示す。また、主体的な概念構成は教員の解説など外からのヒントや新たな概念への感受性も高める可能性がある。このペアも自分たちの概念レベルの一つ上の教員の解説にのみ 8 割という高頻度で反応していた。こうした経験を繰り返しながら、「数学の問題を解く」概念そのものを創り変える長期的な概念変化過程を検討したい。

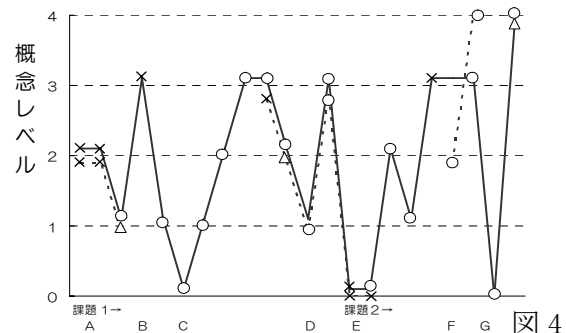


図 4

協調過程による概念変化

三宅なほみ

最近の学習研究は、従来よりも長期間にわたり、到達点も多様な学習を扱うようになってきた。こういった学習研究の基礎をなす認知科学的な概念変化の研究でも、より長期にわたる多様な概念の形成を扱う研究があってよいだろう。報告者らはそのひとつの実践的な試みとして、大学生初学者が認知科学を学ぶ2年間の間に彼らの認知科学的な考え方がどのように変化するかを追っている。

学習者は基本的に自ら体験した認知過程や研究資料を読み解いて「説明」を作る。その後ダイナミックに説明相手が変わるタイプのジグソー形式によって説明を異なる文脈において繰り返し、協調的にその内容を自己吟味することによって精緻化する。この説明の変化を概念変化の指標として分析する。

2年にわたる説明の変化を分析すると、中間的に自ら納得のゆく説明が一旦現れ、その後さらに多様な他者に対して説明を繰り返す中で一旦納得した説明を吟味し直し再構成する現象が観察される。このような構成—吟味—再構成の過程を経たのち、学習者の行う説明はさらに自発的な協調的吟味によって、より柔軟で多様な視点を含んだ説明に変化することがある。こういった柔軟で多様な視点の獲得は、新しい資料に対して疑問を持つことや資料を批判的に見る視点の獲得などと共起する傾向が観察されている。

これまでのところ、長期の協調過程によるこのような複雑な概念変化を支援するために、次のような活動が有効だと考えられるデータが得られている。

- ・ グループ内活動に加えて、グループを組み替えて、繰り返し協調的な活動に従事すること
- ・ 学習者自身による協調過程そのものの内省
- ・ 協調過程を根源的に argumentative なものとみる視点の育成

ワークショップではこれらの観点について、データの検討を加えて展開したい。

メタ認知と概念変化

諏訪正樹

本発表では、スポーツや楽器演奏の技に代表される身体知に関わる概念変化について、身体の動きや体感をメタ認知的に言語化する試行が身体運動も言葉も共進的に進化させるという理論 (Embodied meta-cognition 理論、略して EMC 理論) を提唱し、その詳細と、それを活用した身体知概念の変化を支援する方法を解説する。身体が知っていること、できることを語り尽くすことはほぼ不可能である。しかし、それは必ずしも、身体が知っていることは決して語れないと意味するものではない。幾らかは語れる可能性があり、身体が知っていることを語ることは、訓練により可能になる (諏訪, 2005)。本発表では、スポーツや音楽の領域の数々のケーススタディに基づいて、身体的メタ認知が身体知を学習獲得するためのツールとして有効であることを実証的に検討する。

文献：

- Carey, S. (1985) *Conceptual change in childhood*, Cambridge, MA: Bradford Books, MIT Press.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (2003) When is conceptual change intended? In G. M. Sinatra & P. R. Pintrich (Eds.) *Intentional conceptual change*, Erlbaum: New Jersey, pp.407-427.
- Inagaki, K., & Hatano, G. (2004) *Young children's naïve thinking about the biological world*, New York: Psychology Press. [稲垣・波多野, 2005, 子どもの概念発達, 共立出版]
- Inagaki, K., Miyake, N., & Cole, M. (2006) *Human Development*, 50, whole issue.
- Roschelle, J. (1992) Learning by collaborating: Convergent conceptual change. *The Journal of the Learning Sciences*, 2, 235-276.
- Schwartz, D. L., & Martin, T. (2004) Inventing to prepare for learning: The hidden efficiency of original student production in statistics instruction. *Cog. & Inst.*, 22, 129-184.
- Schwartz, D. L., Sears, D., & Chang, J. (2007) Reconsidering prior knowledge, in M. C. Lovett, & P. Shah, (Eds.) *Thinking with data*, Erlbaum: New York, pp.319-344,
- 諏訪正樹 (2005) 身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化, 人工知能学会誌, 20 (5), 525-532.
- Vosniadou, S. (2008) *Handbook of research on conceptual change*. Taylor & Francis Group: London.