原著論文

概念転換のパターンと構造

—社会的相互過程として見る概念転換—

福田 恒康¹
遠西 昭寿²

【要 約】

概念転換は、新しい理論を受容し古い理論を放棄することであるが、古い理論の放棄は忘却ではなく、保持する理論に対するコミットメントの順位の入替わりである（ストライク・ボスナー、1994）。理解は、理論に対するコミットメントの形成であり（ヘッド・サットン、1994）、概念や理論に対して自信や信念を持つことである。概念転換は、理論の切り換えと新しい理論に対するコミットメントの強化からなる（遠西・久保田、2004）。本研究では授業をととして概念転換の詳細な過程を、運勢ライン法（White and Gunstone, 1992；ホワイト・ガンストン、1995）を用いて調査した。授業では、高等学校物理における「力のモーメント」の課題が実施された。その結果、学習者によって概念転換が極めて多様な認知的過程を経て生じるにもかかわらず、既存の理論に対するコミットメントの弱化、理論切り換えによる新しい理論の受容、新しい理論へのコミットメントの強化という共通のパターンが存在することが明らかになった。さらにこの過程は「既存の理論に対するコミットメントの弱化とそれに続く理論切り換えによる新しい理論の受容」と「新しい理論へのコミットメントの強化」という独立した2段階の構造を持つことが明らかになった。理論切り換えは、理論の競合とコミットメントの弱化を前提とするので、生徒どうし・生徒と教師による社会的相互過程において生じる。これに対して実験は、理論からの予測と結果との一致・不一致によってコミットメントを変化させる。実験は、理論を創造したり理論を変えることはないが、コミットメントを変える。これらは、遠西・久保田（2004）が中学校において行った概念（理論）転換の実践的研究の正当性を強く支持するものであった。

【キーワード】 社会的相互過程、概念転換、理論の切り換え、コミットメント、運勢ライン法

1. はじめに

遠西・久保田（2004）は、バネを使ったつり合いの授業で、運勢ライン法に独自の観点を加え、理論に対するコミットメントの変容と理論切り換えから、概念転換の構造とそのパターンを明らかにした。授業において概念転換は、様々な局面で多様な過程をたどるが、概念転換が、学習者の保持する理論に対するコミットメントの弱化とそれに続く理論切り換え、新しい理論へのコミットメントの強化という過程を経て成り立つという点では共通性があることを

認めている。その過程は、Kuhn（1962）のパラダイム変換に酷似する。遠西・久保田（2004）の調査以後、コミットメントの変容と理論切り換えという観点から授業を経時的にとらえた研究は見当たらないことから、新たな実践によって明らかにされる概念転換の構造とそのパターンを確証しようというのが本研究の目的である。授業は、高等学校物理における「力のモーメント」の課題に関して実施された。本研究では、遠西・久保田（2004）が明らかにした概念転換のパターンとその構造を確認するとともに、理論切り換えが「人と人」との関係である社会的過程において生じること、「人とモノ・コト」との関係である実験では、理論ではなく理論に対するコミットメントが変化することを、改めて確認した。

¹ 愛知淑徳中学校・愛知淑徳高等学校

² 愛知教育大学名誉教授

力学課題に関して概念転換を扱った研究としては、古屋・戸北（1992）が見られるが、中学校での実践をもとにしており、また概念転換の過程をその内部構造に注意して授業内で経時的に扱った研究ではない。

2. 研究の概要、授業の方略および調査方法

2.1 概要

2.1.1 対象

私立女子高等学校 第2学年1学級
物理選択者 22名

2.1.2 実践期間 2015年5月中旬

2.1.3 内容 単元「物体の運動とつり合い」
節「剛体のつり合い」のまとめの学習（1時間）

2.1.4 授業目標

図1の実験Bで、水平方向に引いた糸に糸巻きが巻き付いてくることを、力のモーメントの考えを使って説明できる。

2.2 授業構成

本研究は、高等学校2年物理の単元「物体の運動とつり合い」の節「剛体のつり合い」のまとめの学習（1時間）として、力のモーメントに関する課題が扱われた。遠西・久保田（2004）が行ったように、生徒自身が授業の中で理論を積極的に競合させる局面①～⑨を設定した（表1）。そして、生徒たちの学習が、授業内のどの局面でどのように生じるのかをコミットメントの変容と理論切り換えの観点から、運勢ライン法（White and Gunstone, 1992；ホワイト・ガンストン, 1995）によって、それぞれの局面が終了するごとに調査した。コミットメントは「理論に対する情緒的愛着」（ヘッド・サットン, 1994）

表1 授業局面の設定

	局面	時間	局面の内容
授業の流れ	① [課題]	4分	課題の提示
	② [挙手]	4分	挙手による理論グループの人数確認
	③ [発表]	12分	理論グループごとの意見発表
	④ [挙手]	2分	挙手による理論グループの人数確認
	⑤ [討論]	10分	異なる理論間での討論
	⑥ [挙手]	2分	挙手による理論グループの人数確認
	⑦ [実験]	5分	演示実験による事実の確認
	⑧ [討論]	6分	事後討論
	⑨ [教師]	5分	教師によるまとめ（解説）

であるが、本研究ではコミットメントを生徒自身が保持する理論に対する自信や信頼の程度としてみている。さらに、この調査のタイミングで考えたことなどを自由に記述（コメント）させた。

局面① [課題] で、生徒たちに与えた課題¹⁾ は次のとおりである。「実験Aでは、糸巻きは左に動き、そのとき糸巻きは左に回転し、糸はほどける。それでは、実験Bではどうか？」である（図1）。生徒たちは既に力のモーメントについて、基本的な学習を終えている。

2.3 教授方略

遠西・久保田（2004）からの帰結に基づいて、次の3つの仮説を設定した。

- 仮説1「理論切り換えは、人と人との関係、すなわち生徒相互・生徒と教師の関係において生じる」
- 仮説2「実験は理論を変えず、理論に対するコミットメントを変化させる。予測と実験結果が一致していると感じれば強まり、そうでなければ弱まる」
- 仮説3「理論の変更には保持する理論に対する何らかの不満が必要であるから、理論切り換えの前には保持する理論に対するコミットメントは弱まる」

表1の局面① [課題] では生徒たちに課題を提示し、予想とともにそれを説明する理論を構成させ、自分の立場を確定させた。局面②、④および⑥の [挙手] では、各理論の支持者数や仲間から優秀

実験Bにおいて、次の問1～3に答えよ。
[問1] 糸巻きはどちらに動きますか？
ア、左の方向 イ、右の方向 ウ、動かない
[問2] 糸巻きはどのように回転しますか？
ア、右回り イ、左回り ウ、回転しない
[問3] 糸はどうなりますか？
ア、ほどける イ、巻き付く
ウ、ほどけも巻き付きもしない

図1 生徒に示した課題

と見なされている生徒の挙動など学級内の社会的状況の変容の中で、さらに局面③〔発表〕および局面⑤〔討論〕では、生徒どうしの個人的な理論の競合状態や認知的葛藤の中で、仮説1が審判される。局面⑦〔実験〕および局面⑧〔討論〕では、理論からの予測と実験結果との関係から仮説2が審判される。局面⑨〔教師〕では教師による「まとめ」が行われ、仮説1のうち教師と生徒の関係が審判される。また、授業全体をととして理論切り換えとコミットメントの変容から仮説3が審判される。

2.4 調査方法

2.4.1 保持する理論の明確化

生徒たちが、保持する理論を迅速に明確化できるように、図1のような問1～3を設け、解答を選択できるようにした。保持する理論が適切な場合、生徒は順に「イ・ア・イ」を選ぶことになる。各局面が終了するたびに問1～3を回答させたので、回答結果から生徒が支持する理論を追跡できる。

2.4.2 運勢ライン法と自由記述

生徒たちの保持する理論に対するコミットメントが、授業のどの局面でどのように変化するかを、各

局面の終了ごとに運勢ライン法(White and Gunstone, 1992; ホワイト・ガンストン, 1995)で調査した。ここでは、遠西(2012)の方法が用いられた。コミットメントは保持する理論に対する自信や信頼の程度であり、コミットメントが強まっているときは線は右上がりに、弱まっているときには右下がりに表現される。ラインを描いた直後に自由記述によるコメントを要請した。

2.4.3 面接調査

運勢ライン法の結果と生徒の書いた自由記述の内容を参照し、必要に応じて生徒を抽出して、授業後に面接調査を行い、自由記述に書かれている内容をより詳細に聞き取った。

3. 結果と考察

3.1 理論切り換えの局面によるタイプ分け

生徒たちによって描かれた運勢ラインの例を、図2-1～図2-6に示す。運勢ラインの傾きは個人的・感覚的で客観的基準はないから、右上がりか右下がりかだけに注目して、すべての生徒の運勢ラインをまとめたものが図3である。図3では、生徒の各局面でのコミットメントの強まり・弱まりを「△」・「▼」で、生

生徒Fの運勢ライン
図2-1

生徒Kの運勢ライン
図2-2

生徒Lの運勢ライン
図2-3

生徒Oの運勢ライン
図2-4

生徒Pの運勢ライン
図2-5

生徒Sの運勢ライン
図2-6

- ・運勢ラインの右上がりはコミットメントの強化を、右下がりは弱化を示している
- ・運勢ラインの破線(---)は誤った理論の保持を、実線(—)は科学理論の保持を示している

図3 生徒のコミットメント変容と理論切り換え

徒が保持する理論をボックスの「色の濃淡」で表した。無色は科学的理論、有色は誤った理論である。

図3では、理論切り換えが行われた局面によって、生徒をタイプ分けしている。タイプⅠは一貫して科学理論を主張している生徒たちである。タイプⅡは実験の前に科学理論に切り換えを行った生徒たちである。タイプⅡについては、局面③〔発表〕で理論切り換えを行った生徒たちをタイプⅡa、局面④〔挙手〕で理論切り換えを行った生徒たちをタイプⅡb、局面⑤〔討論〕で理論切り換えを行った生徒をタイプⅡcと細分した。そして、局面⑨〔教師〕で理論切り換えを行った生徒たちをタイプⅢとした。どのタイプにも属さず不規則な変容を示す生徒が1名みられ、その他に分類した。

3.2 理論切り換え

3.2.1 各局面の役割についての見解

授業の各局面における生徒たちの心的変容は極めて多様なものであった。例えば局面③〔発表〕において、認知的葛藤状態にある生徒たちは、開陳された理論に対して論理的に共感することになれば、その発表者が仲間から優秀と見なされているかどうかによることもあった。このように生徒たちの内面における変容は多種多様で、個々の局面の役割を一面的に決定できないものであった。そこで「論理的合理性による理論切り換え」と「社会的相互作用による理論切り換え」に大きく区分して、生徒の学習過程を追跡することにした。

3.2.2 論理的合理性による理論切り換え

タイプⅡa(3名)は局面③〔発表〕で、タイプⅡc(1名)は局面⑤〔討論〕で理論切り換えを行っている。どちらも実験前の過程で、競合する理論の中で科学理論の合理性を認識することによって、理論切り換えを行っている。タイプⅡa・Ⅱcの生徒全員が、理論切り換えの前の局面で、保持する理論に対するコミットメントの弱化が確認された。

例えば、タイプⅡaの生徒F(図2-1)は、局面②〔挙手〕で「人数が減ってしまった」とコメントし、保持する誤った理論に対しコミットメントを弱めたが、局面③〔発表〕で「□□ちゃんの説明にそうかと思った」と、理論切り換えを行い、科学理論に対してコミットメントを強めた。

タイプⅡcの生徒L(図2-3)は、局面②〔挙手〕では「多数派だった」と記し、保持する誤った理論に対しコミットメントを強めた。ところが、局面③〔発表〕では「□□さんが言ったことになるほどと思

えた。自分の考えに自信がなくなった」、局面④〔挙手〕では「人数が減ってしまった」と、局面③と局面④では、保持する誤った理論に対してコミットメントを連続して弱めている。そして、局面⑤〔討論〕で「△△さんの話を聞いて自分の考えが間違っているなと思った。でも自信は持てなかった」と、理論切り換えを行っている。ところが、切り換えた科学理論に対してもコミットメントを弱めていることから、科学理論に絶対的な優位性を感じているわけではない。

以上から、仮説1「理論切り換えは、人と人との関係、すなわち生徒相互・生徒と教師の関係において生じる」の生徒相互の関係については支持された。

3.2.3 社会的相互作用による理論切り換え

タイプⅡb(5名)は、実験前の局面④〔挙手〕で理論切り換えを行った生徒たちである。5名全員が、局面③〔発表〕でコミットメントを弱めている。このことは、生徒たちは競合する理論間で葛藤状態にあることを意味している。続いて行われた局面④〔挙手〕で、自分が属する理論グループの人数が減少するのを見て、理論切り換えを行っている。自分の所属するグループが少数派になったり、仲間から優秀と見なされている生徒の挙動に左右されたりすることが、理論切り換えに大きく影響している。

例えば、生徒K(図2-2)は、局面②〔挙手〕では「人数が多かったから自信が出た」と記し、誤った理論に対してコミットメントを強めている。しかし、局面③〔発表〕では「他の人の意見を聞いたら自分の考えの根拠が不安に…」と、コミットメントを弱めている。そして、局面④〔挙手〕において「◇◇さんが動いたのを見て自分も変えた。けど、自信はない」と、理論切り換えを行っている。このとき、コミットメントは弱まっており、新しい理論に対しても自信が持てず、周囲とのかかわりの中で従属的に理論を切り換えたことがよくわかる。

以上のことから、ここでも仮説1のうち生徒相互の関係については支持された。

3.2.4 学習者と教師とのかかわり

タイプⅢ(9名)は、局面⑨〔教師〕で理論切り換えを行った生徒たちである。9名全員が、理論切り換えを行う前の局面⑦〔実験〕で、保持する理論からの予測に反する事実(実験結果)を見て、コミットメントを弱めているが、理論を切り換えていない。これは自分の理論が不適切だとわかっているが、競合する理論(科学理論)を理解できなかった

からである。このため自分の理論に対して不満を感じながらも理論切り換えが行えなかったためである。しかし、自分の理論に対する「こだわり」が解けた結果、局面⑨〔教師〕では説明を素直に受容することができ、科学理論を理解できたので、理論切り換えができた。対立する理論が理解できなければ理論切り換えは生じない。

例えば、生徒O(図2-4)は、局面⑦〔実験〕では「実験で見て信じられなかった」、局面⑧〔討論〕では「全然ふに落ちなかった」と記し、保持する不適切な理論に対するコミットメントを連続して弱めた。このとき、生徒Oの運勢ラインは、用紙の下限に達している。生徒Oは、科学理論の適切性が理解できず、自分の理論にしがみついていることがわかる。そして、局面⑨〔教師〕で「理にかなった説明をきいて」と、理論切り換えを行い、科学理論へのコミットメントを一気に強めた。教師の説明によってこの理論の適切性を理解し、コミットメントの順位を入れ替えている。

以上のことから、仮説1のうち教師と生徒の関係については支持された。

3.3 コミットメントと実験の役割

実験の前に科学理論に到達している、タイプⅠとタイプⅡのすべての生徒たちが、局面⑦〔実験〕で、自分の理論に対するコミットメントを強めている。これに対して実験の前に不適切な理論を保持していたタイプⅢのすべての生徒たちは、自分の理論に対するコミットメントを弱めている。また、局面⑦〔実験〕で理論切り換えを行った生徒はみられなかった。

実験はアプリアリな理論からの予測と実験結果との一致・不一致から理論に対するコミットメントを変えるが、保持する理論そのものは変えない。

以上のことから「実験は理論を変えず、理論に対するコミットメントを変化させる。予測と実験結果が一致していると感じれば強まり、そうでなければ弱まる」とする仮説2は支持された。

3.4 概念転換のパターンと構造

教師の授業設計の意図にかかわらず、また、課題、教材、学習過程、教師、教室環境などのすべての外的刺激を共有しながらも、生徒の学習における理論切り換え・コミットメントの変容は極めて多様である(図3)。これは、学習が外界世界からの刺激と学習者の内面世界との相互作用であり、学習者ひとり一人の認知構造が異なることによる。

タイプⅡの生徒たちは、局面③〔発表〕、局面④〔挙手〕、局面⑤〔討論〕といった社会的相互作用の中で、保持する理論に対するコミットメントの弱化と理論切り換えを行い、局面⑦〔実験〕では、新しい理論へのコミットメントの強化を行った。この過程は、Kuhn (1962) のパラダイム変換やストライクとボスナー (1994) の「調節」によって説明されたものに酷似する。

一方、タイプⅢの生徒たちは、保持する理論からの予測と実験の結果との違いから局面⑦〔実験〕でコミットメントを弱め、これに続く局面⑨〔教師〕の説明で理論を切り換えと新しい理論に対してコミットメントの強化を行っている。タイプⅡの生徒たちは予測に成功し実験でコミットメントを強めたが、タイプⅢの生徒たちは実験で予測に失敗しコミットメントを弱めている。このように概念転換の経緯は異なるが、これら2つのタイプは、共に既存の理論へのコミットメントの弱化と理論切り換え、続く新しい理論へのコミットメントの強化というパターンを示す。以上のことから、仮説3「理論の変更には保持する理論に対する何らかの不満が必要であるから、理論切り換えの前には保持する理論に対するコミットメントは弱まる」は支持された。コミットメントの弱化は理論に対する不満の存在を示唆している。

例えば、生徒P (図2-5) は局面⑦〔実験〕で、自分の理論に対して「どうなるのかを実際に見たので、自信を失うしかなかった。自分の考えが違うとはわかったけど、(では、どう考えればいいのか) わかんないのに(理論を)変えるのはおかしい」と不満を記述し、コミットメントを弱めた。続く局面⑧〔討論〕では「でも、やっぱり理解できなかったの、なんか自信を取り戻した」という理由で、誤った理論へのコミットメントを強めている。

また、生徒S (図2-6) は局面⑤〔討論〕と局面⑥〔挙手〕で「自分の意見を変えるつもりはないけど、みんなの意見を聞いてどんどん自信がなくなる」、局面⑦〔実験〕と局面⑧〔討論〕では「結果をみせられてもなんでそうなるのか納得がいかない」とそれぞれ不満を記述し、局面⑤～⑧まで連続してコミットメントを弱めた。

概念転換は「既存の理論に対するコミットメントの弱化とこれに続く理論切り換え」と「新しい理論に対するコミットメントの強化」の2段階の構造を持つ (図3)。コミットメントの弱化が、社会的相互作用によるのか実験によるのかにかかわらず、また、実験がコミットメントを強めるのか弱めるのかにか

かわらず、共通してこの構造がみられる。

3.5 教師の役割と科学知識化

生徒全員が、局面⑨〔教師〕の教師による「まとめ」の活動で科学理論へのコミットメントを強めている (図3)。ここに教師の重要な役割がある。

タイプⅠの生徒たちは、終始一貫して科学理論を主張しており、タイプⅡ (Ⅱa・Ⅱb・Ⅱc) の生徒たちは、生徒どうしの社会的相互過程の中で科学理論へと理論切り換えを行った (図3)。しかし、生徒たちが自ら構成した理論が実験結果を予測できても、それらを直ちに科学知識だと考えているわけではない。生徒たちは、科学知識の正当性が科学者共同体における合意である (Kuhn, 1962) ことを知っているわけではないが、何らかのオーソライズが必要であると感じており、教科書の記述との一致や教師による承認を必要としている。局面⑨〔教師〕で自らの理論へのコミットメントを強化したのは、私的であった理論が、真に科学知識に到達したと認識したことを含意する。本研究では局面⑨〔教師〕を生徒たちの個人的理論を科学知識化するものとして位置づけた。この観点から、科学知識の習得は、授業がどのような方法をとろうとも受容的なものであると言える。

4. まとめ

本研究では、以下の4点が明らかになった。

1. 教師の授業計画における意図にかかわらず概念転換における生徒の認知的過程は極めて多様に生じるが、概念転換は、既存の理論に対するコミットメントの弱化、理論切り換え、新しい理論へのコミットメントの強化という共通のパターンを示す。
2. 概念転換は「コミットメントの弱化に続く理論切り換え」と「新しい理論へのコミットメントの強化」の独立した2段階の構造を持つ。
3. 理論切り換えは理論の競合を前提とし、生徒どうし・生徒と教師が演じる社会的相互過程において生じる。
4. 事象とのかかわりで変わるのは理論に対するコミットメントである。実験は、理論の創造や転換を行わず、理論に対するコミットメントを変化させる。

5. おわりに

本研究では、授業をとおして生じる概念転換のパターンと構造を明らかにした。これらは、遠西・久

保田 (2004) の報告を強く支持する結果であり、概念転換の過程についての説明の正当性をさらに確認することになった。理論切り換えは人と人との関係において生じ、実験は理論に対するコミットメントを変化させるだけである。理科の授業において、生徒たちに「事実を示せばわかる」、「誤概念は事実によって反証できる」とする経験主義的な主張は不適切である。

本研究のきっかけとなった先行研究において卓越した授業実践を行った故 久保田英慈先生に心より哀悼の意を表します。

註

- 1) この実験では、糸を引くことでそれぞれモーメントが生じる。回転の軸は、糸巻きと机の接点であり、糸巻きは実験 A では左に回転し、実験 B では右に回転する。その結果、実験 B では生徒の直感に反して糸は糸巻きに巻き付き、糸巻きは右に移動する。

引用文献

- 古屋光一・戸北凱惟 (1992) 「中学生の力と運動についての指導法に関する研究：概念転換の方略の1ステップとして」『年会論文集』第16巻，日本科学教育学会，39-40.
- ヘッド，J.O.・サットン，C.R. (1994) 「言語・理解・コミットメント」野上智行訳，ウェスト，L.H.T.・バインズ，A.L. 編著，進藤公夫監訳『認知構造と概念転換』東洋館出版社，116-128.
- Kuhn, T.S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.
- ストライク，A.K.・ボスナー，J.G. (1994) 「概念転換として見た学習と理解」田中浩朗，ウェスト，L.H.T.・バインズ，A.L. 編著，進藤公夫監訳『認知構造と概念転換』東洋館出版社，259-284.
- 遠西昭寿 (2012) 「運勢ライン法」日本理科教育学会編著『今こそ理科の学力を問う』東洋館出版社，254-260.
- 遠西昭寿・久保田英慈 (2004) 「臨床研究ツールとしての運勢ライン法」『日本科学教育学会研究会報告』第18巻，第5号，37-42.
- White, R. & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. The Falmer Press, 107-122.
- ホワイ，R.・ガンストーン，R. (1995) 『子どもの学びを探る』中山迅・稲垣成哲監訳，東洋館出版社，137-154.

(2016年2月17日受付，2016年4月21日受理)

The Structure and Pattern of Conceptual Exchange: Conceptual Exchange as an Interactive Social Process

*Tsuneyasu FUKUTA*¹, *Shoju TONISHI*²

¹ Aichi Shukutoku Junior and Senior High School, Nagoya

² Professor Emeritus, Aichi University of Education

SUMMARY

Conceptual exchange semantically implies abandoning the old theory and accepting the new theory; however, the abandonment of the old theory is not forgotten. In other words, there is a replacement of the order of the beliefs about the theories (i.e. commitment toward these theories) through conceptual change (Strike and Posner, 1994). As understanding is a commitment to a theory, understanding is also confidence and/or belief in said concepts. The structure of conceptual exchange consists of two stages, i.e. switching of theories and an increase in the commitment toward a new theory (Tonishi and Kubota, 2004). In this study, a detailed process of conceptual exchange was studied using the fortune lines method (White and Gunstone, 1992). The teaching content is based on the “balance of a rigid body” in a high school physics class, and the task used is about the moment of the force. From the results, we could clarify that the process of conceptual exchange is quite variable; however, there is a common pattern, such as the decrease in commitment toward one’s own theory before the switching to a new theory, followed by an increase in commitment toward the new theory. The first stage of conceptual exchange is switching theories with the decrease in commitment toward one’s own theory, and the second stage is the increase in commitment toward the new theory. These stages are independent of each other. Because the switching of theories needs competition or conflict between theories as a precondition, it arises during the interactive social process among students and/or between students and the teacher. Only the commitment toward the theory changes with evidence. The commitment increases when the result of experiment is considered concordant with the prediction from the theory; otherwise the commitment would decrease. The experiments do not create or change the theories, but they do change the commitment. These views strongly support the results of the practical study on conceptual exchange in junior high school by Tonishi and Kubota (2004).

<Key words> Interactive Social Process, Conceptual Exchange, Change Theory, Commitment, Fortune Lines Method