

原著〔実践研究〕

コンフリクトマップを用いた教授方略の効果とそのプロセス

—— 実験・観察の提示による波動の概念学習の事例的検討¹ ——

高 垣 マユミ* 田 爪 宏 二* 降 旗 節 夫** 櫻 井 修***

本研究では、Tsai (2000) のコンフリクトマップの理論的枠組みを、高校物理「波の性質」の学習に適用し、内容の一貫性を持った実験・観察を、一連のネットワークに沿って提示するという教授方略を開発し、その教授効果を実証的に検討した。授業前後の質問紙による内観報告と、実験・観察場面における行動観察の観点から質的分析を行った結果、以下のようなプロセスを経て、概念変化が促されていくことが示唆された。まず、「現実世界」において、信頼性が高く確からしさが疑われないデータとして、「先行概念と矛盾する事象」を直接的に観察することを通して、自らの考えが妥当ではない可能性に気づいていく。続いて、「科学的概念をサポートする知覚的事象」として、日常的に経験している事象と結びつけられた実験・観察を知覚的に経験した上で、それをいったん数の領域へマッピングし、数の領域でも物理現象の因果関係を確認するという、手続き的知識を伴った作業を通して、分かったと体感したとき、存在論的カテゴリーの変化がもたらされる。「現実世界」のみならず「思考世界」においても、「科学的概念を説明する決定的な事象」、「科学的概念に関連する適切な他の概念」として、科学的概念がなぜ適切なものが、多角的視点から一貫性を持って保証されることで、真の科学的概念の理解が深まっていく可能性が示唆された。

キーワード：コンフリクトマップ、教授方略、概念変化、内観報告、波動の概念

問題と目的

これまでの科学領域における概念変化研究を概観すると、学習者は授業に臨む際に、すでに日常生活における自然事象の観察や経験を通して、様々な領域の先行概念²を獲得していることが確認されている (e.g., 「地球の形 (Champagne, Klopfer, & Anderson, 1980)」; 「重力 (Nussbaum, 1979)」; 「光合成 (Anderson & Smith, 1983)」; 「熱や温度 (Hewson & Thorley, 1989)」)。さらに、これらの先行概念は、学校教育において通り一遍の授業を受けた場合、必ずしも科学的概念へと変容に向かうとは限らず、無視、保留、周辺の変化 (Chinn & Brewer, 1993) 等の選択によって処理され、強固に保持され続ける場合があることが見出されてきた。

こうした問題を受けて、この 20 年間、Posner, Strike, Hewson, & Gertzog (1982) による CCM 理論

² 「先行概念」とは、日常生活の様々な経験を通して獲得され、事象の解釈や予想を立てる事に繰り返し用いられる概念である。日常的表象のレベルで暗黙的に獲得されているため、いったんある条件が整った時に自動的・無意識的に呼び起こされる。先行概念は、一般化された科学的概念の形式を有してはいないけれども、初歩的なモデルあるいは理論の性質を有している。ゆえに、すでに科学的概念と競合し、最終的には科学的概念へと変化し得る資質を持つ (Hashweh, 1986)。なお、「プリコンセプション」、「既有概念」等と呼ばれることもある。これに対し、「誤概念」とは、科学的概念そのものを評価の基準として考察した場合に、学習者自身が構成した考えや思考のプロセスは、誤り、誤解、何らかの欠如として捉えられる (Clement, 1993)。また、「素朴概念」とは、日常生活の中で体系的な教授なしに獲得される概念であり、日常生活の中では適応的な性質を持っているが、科学的概念に照らし合わせてみると必ずしも正しくないことが多いため、「誤概念」あるいは「もう一つの概念 (Alternative framework)」とも呼ばれる (岡本・清水・村井, 1995)。すなわち、「誤概念」と「素朴概念」は、科学的概念とは異なる「もう一つの概念」であり、科学的概念に「置き換える (exchange)」必要があるものと捉えられている。一方、「先行概念」は、科学的概念の「特別なケース (special case)」であり、科学的概念に「置き換える」のではなく、「再構成する (restructure)」ものと捉えられている。両者は切り分けられずに一連の道筋 (pathway) で連続しているものとしてみなすことで、最終的には科学的概念へと変化し得る「概念変化」の可能性を内包している。

* 鎌倉女子大学大学院児童学研究所

** 鎌倉女子大学

*** 鎌倉女子大学高等部

¹ 本研究は日本学術振興会科学研究費補助金の助成を受けて行われた。

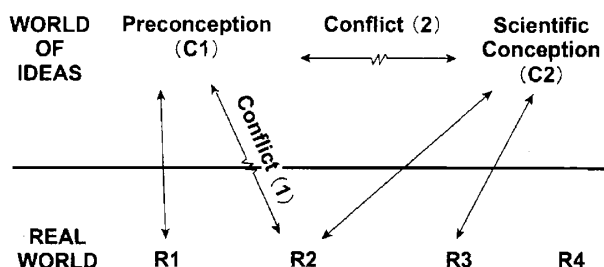
(Conceptual Change Movement)を先駆けとして、先行概念を科学的概念へと変化させることを目指した教授方略が模索されてきた (e.g., 「橋渡し方略 (Clement, 1993)」; 「概念変容モデル (Hashweh, 1986)」; 「概念地図法 (Tasker & Osborne, 1985)」; 「矛盾仮説呈示法 (Chan, Burtis, & Bereiter, 1997)」)。これらの教授方略はいずれも、先行概念を科学的概念へ置き換えるのではなく、両者は切り分けられずに一連の道筋で連続しているものとしてみなす、という共通の立場を取っている。しかしながら、これらの教授方略は実践への導入方法が具体的に考慮されなかったことから、学校教育の現場ではほとんど使われていないことが、日本、アメリカ、ドイツ、スイス等の教師を対象とした広範な調査から明らかにされている (Duit, 2002)。このように、近年、概念変化研究の分野では、教育実践に根ざした研究が求められている中、わが国では高垣・田原 (2005) が、現行の小学校理科のカリキュラムの中から4年生の電流の単元を取り上げ、Hashweh (1986) の概念変容モデル (Figure 1) を適用した教授方略を考案し、実証的に授業を行っている。その結果、子どもたちが固執する電流の先行概念を科学的概念へと変容させる上で有効であったという結果を得た。こうした実証的証左は、教育心理学における概念変化研究、及び学校教育において、理論上も実践上も大きな意義を持つと思われるが、現状では、このような教育実践に直結した研究の蓄積はまだ少ない。

高垣・田原 (2005) で適用された Hashweh (1986) の概念変容モデルにおいては、先行概念と反証事例との間に生起する認知的葛藤 (Conflict (1))、及び先行概念と科学的概念との間に生起する認知的葛藤 (Conflict (2))は、次の順序性をもって解決できることが指摘されている。① Conflict (1) の解決：暗黙的に使われている先行概念 C1 に直面させ、明白に意識化させる。現実世界において「先行概念と矛盾した事象 (過去の経験

や先行概念と矛盾するもの、混乱や当惑等を生成させるもの)」を提示し、先行概念 C1 は、学習者の狭い経験に基づくため、適用し得る事例 (R1) が限定されることに気づかせる。② Conflict (2) の解決：科学的概念 C2 は、現実世界における全ての事例 (R1,2,3...) に適用し得ることから、より一般性を有していることに気づかせる。

しかしながら、先行概念が不十分であることに気づかせるためには、単に、「矛盾した事象」を提示するだけでは、それはあっさりと見過ごされてしまったり、矛盾は矛盾として必然性を感じるまで傍らに置き去りにされてしまったりする (Karmiloff-Smith, 1988; 丸野, 1992)。このモデルでは、上記の①、②において、単に「矛盾した事象」を提示しただけで、概念変化がもたらされるのかは検討の余地がある。

Tsai (2000) は、この問題を最も直接的な形で検討し、Hashweh (1986) の概念変容モデルの枠組みをより拡張させた、コンフリクトマップモデルを提案している (Figure 2)。Hashweh (1986) のモデルの「現実世界」における「先行概念と矛盾した事象」の提示に加え、Conflict (2) の解決には、さらに、「思考世界」において、「科学的概念を裏付ける決定的な事象 (先行概念と科学的概念を結びつけるもの、科学的概念に関連した他の概念との一貫性のあるもの、理解しやすいもの)」, 「科学的概念に関連した他の適切な概念 (科学的概念を補足説明するもの、過去の知識を再生させるもの)」を提示することの必要性を指摘している。すなわち、Hashweh (1986) のモデルとの差異は、アンカーとなる先行概念をターゲットとなる科学的概念へと変容させるためには、「現実世界」において「先行概念と矛盾した事象」を提示するだけでは不十分であり、「思考世界」においても、認知を促す教授的働きかけが必要であることを明示的に示している点にある。この Tsai (2000) のモデルに基づいて構築された教授方略は、「現実世界」と「思考世界」の2つの領域において、先行概念と反証事例との間に生起する認知的葛藤 (Conflict (1))と、先行概念と科学的概念との間に生起する認知的葛藤 (Conflict (2))とを生起させ解決させる、という理論的枠組みに依拠しながら心的操作を行う点、また、単に「矛盾した事象」を提示するだけではなく、科学的概念を裏付けるための決定的な事象としての直接的な実験・観察活動や、科学的概念を補足説明する適切な概念や過去の知識等が、Conflict (1) から Conflict (2) の解決へと続く、一連のネットワークとして順序性を持って足場作りがなされている点で、概念変化を生じさせる可能性を内包していると思われる。



註. このモデルにおいて、観念の世界 (world of ideas) の先行概念 C1 は、現実世界 (real world) の特定の領域 R1 に関連づけられている。そのため、先行概念 C1 は、現実世界の領域における反証事例 R2 と認知的葛藤 (Conflict (1)) を起こし、かつ授業で提示される科学的概念 C2 ととも認知的葛藤 (Conflict (2)) を起こすとされる。

Figure 1 概念変容モデル (Hashweh, 1986)

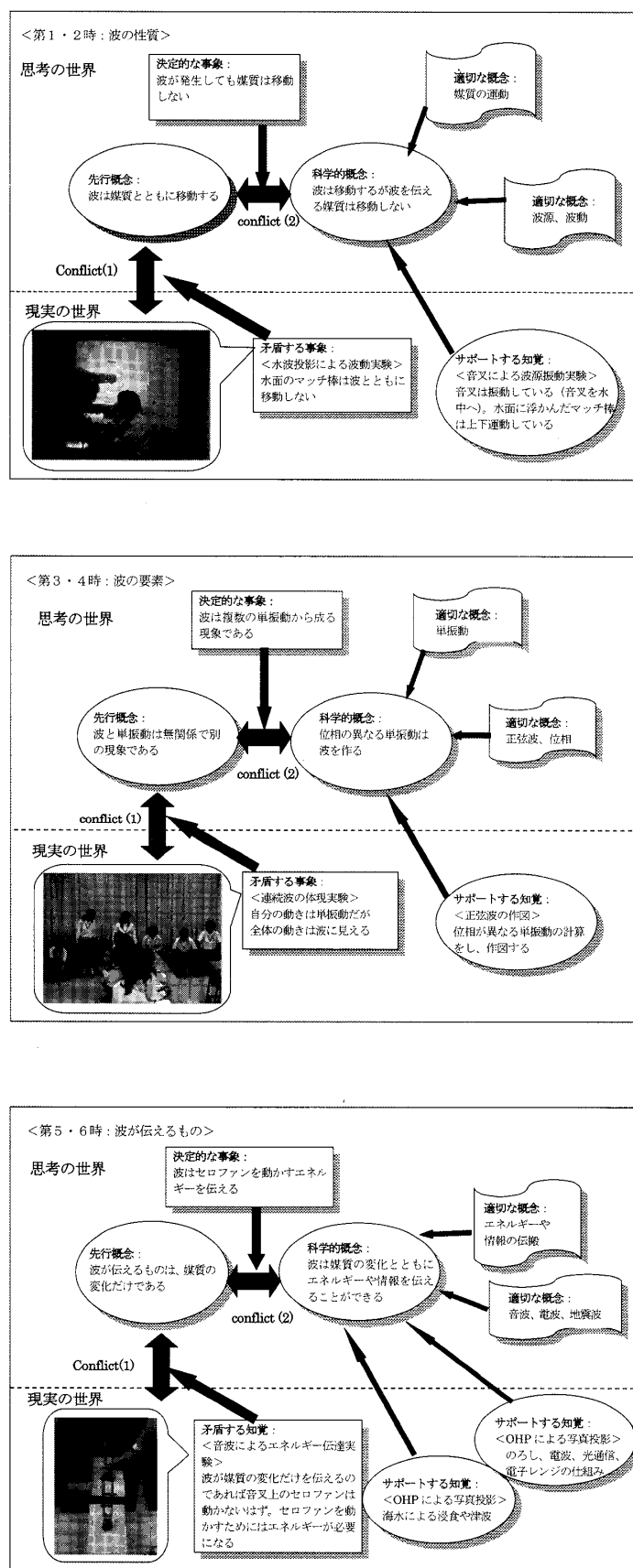


Figure 2 Tsai (2000) のコンフリクトマップを適用した物理の波動の学習における教授方略（第1～3セッション）

コンフリクトマップモデルの有効性は、Tsai (2003) 自身によって検討されている。Tsai (2003) は、台湾における中学校理科のカリキュラムの中から2年生の電流の単元を取り上げ、同一の理科専科の教師による、従来の教科書の指導計画に沿った授業と、コンフリクトマップモデルに沿った授業を行っている。後者の授業では、まず Conflict (1) を解決するために、「先行概念と矛盾した事象」として電流の測定が行われた。次に Conflict (2) を解決するために、「科学的概念を裏付ける決定的な事象」として、電流と電圧の関係が説明された。続けて、「科学的概念をサポートする知覚的な事象」として、水流のアナロジー、ツリーの電球が提示され、「科学的概念に関連した他の適切な概念」として、抵抗の概念、電子の概念、エネルギーの概念が適宜説明された。その結果、事後テスト(選択肢による質問形式)において、前者の授業では、約半数の生徒が、「電流の大きさは負荷装置を通ると減少する」という先行概念に固執していたが、後者の授業では、大部分の生徒が、「直列閉回路では電流の大きさは常に一定である」という科学的概念を獲得していた。このようにコンフリクトマップは、電流の先行概念と科学的な概念とを結びつける重要な役割を果たし、概念変化を促す上で有用だと考えられる。そこで本研究では、Tsai (2000) の包括的な理論的枠組みに基づく教授的働きかけが、わが国の理科教育においても有効に機能するか否かを検討したいと考える。

ところで、本研究では、わが国における理科離れの典型的な科目であり、履修者が極めて少ない「物理」を扱う。その中で、非常に理解が困難であることが指摘されている、「波の性質(平成10年度改訂新学習指導要領の「高校物理Ⅰ」(文部省, 1999) で扱う)」を取り上げて検討を行うこととする。高校物理Ⅰは、電気、運動、エネルギー、波動の4つの領域から成るが、とりわけ波の現象についての科学的理解は困難であるにも拘わらず、未だ有効な教授方略が見出されていない。例えば、波の現象に対して、生徒たちの多くは、「波に浮かんでいるボートは、波とともに進んでいる」と考えている。しかし、このときボートは波とともに進まず、上下に運動をしている。つまり、水面を波が伝わる時、水は波とともに進まず上下に動くだけである。生徒たちが、日常生活における経験を通して獲得している「先行概念(波は媒質とともに移動する)」は強固であるため、通常の教科書通りの授業を通して、「科学的概念(波は媒質が全体としてある特定の方向に動くことなく、波源の振動が隣へ隣へと伝わる現象である)」へと変容させることは非常

に困難である(堀込, 2004)。

「平成14年度高等学校教育課程実施状況調査報告(文部科学省, 2004)」によれば、「教材を用いて実験・観察を積極的に取り入れた授業を行っている」と回答した教員は約4割に留まる。現状では、実験・観察を通じた問題解決型の授業よりもむしろ、知識詰め込み型の授業が中心に行われていることも理解が困難な一因となっていると思われる。こうした中、波の現象を理解させるための自作教材の開発が垣間見られる(e.g., 「波源の振動と媒質の動きの関係をシミュレーションする映像教材(木浪, 2006)」; 「媒質の振動と波の進行の関係を演示するウェブマシーン(山田, 2001)」)。しかしながら、これらの教材は、概念変化研究の理論的枠組みから見ると、生徒たちが保持している先行概念とは異なる「矛盾した事象」を単に提示するに留まっているため、その効果は限定的であると考えられる。「矛盾した事象」を単に提示すればよいわけではなく、どのような機能を持った実験・観察を、どのような順序で提示すればよいかについては、これまで十分には明らかにされてこなかった。従って、Tsai (2000) の包括的な理論的枠組みに基づいて、「現実世界」と「思考世界」の2つの領域から認知を促し、生徒たちの考える波の現象を科学的なものに変容するための教授的働きかけを解明することは、教育実践において意義があるものと考えられる。

以上より、本研究の主要な目的は、以下の2点に集約される。(1)これまで実証的研究が稀少である、高等学校の物理学習における実験・観察活動に着目し、高校生が強固に保持している波の性質についての先行概念を科学的概念に変容させるために、Tsai (2000) のコンフリクトマップモデルに基づき、内容的・一貫性を持った実験・観察を、一連のネットワークに沿って提示する授業を通して、その教授効果を検討する。(2)一連の教授的働きかけが与えられた後、学習者は、いかにして先行概念を、諸現象を理解するための枠組みとして使用しなくなり科学的概念を正しいものとして受容していくのか、その概念変化のプロセスを明らかにする。

具体的には、まず、事前・事後テストの記述内容に基づき、単元全体における概念変化の全体的特徴を読み解く視点を探り出す。その上で、授業過程の個々の観察・実験場面に対する内観報告を詳細に分析・解釈することで、学習者がいかに先行概念を意識化、言語化、モニタリングしながら科学的概念へと変容させていくのか、というプロセスを解明したいと考える。

方 法

対象 神奈川県内の女子大学の併設校である中堅レベルの高校（ほぼ全員が進学）における，3年生の物理選択クラスの生徒（女子13名，平均年齢：17.4歳）を対象に，9月中旬から10月初旬にかけて，物理単元「波の性質」の授業が，全3セッション延べ6時間で行われた。なお，これらの生徒は理系の大学進学志望である。筆者と授業者（教師歴28年の男性教師）は，指導計画，実験内容，授業者の発問・提示・説明事項等を協同で作成した。

教授方略 授業は現行の「高等学校新学習指導要領」に基づく教科書の指導計画に基づいて立案され，3つのセッション6時間から成り，各授業の実施時間は50分であった。Tsai (2000) のモデルを，物理単元「波の性質」に適用した実験・観察活動を Figure 2 に示す。各セッションにおいては，先行概念と反証事例との間に生起する認知的葛藤 (Conflict (1)) を解決するために，現実世界において「先行概念と矛盾した事象」，「科学的概念をサポートする知覚」を提示し，先行概念と科学的概念との間に生起する認知的葛藤 (Conflict (2)) を解決するために，思考世界において「科学的概念を裏付ける決定的な事象」，「科学的概念に関連した他の適切な概念」を提示する，という一連の教授の働きかけを行った。

手続き 事前テストは，3つの課題を提示し，回答を求めた。課題1では「A. 波に浮かぶボートは波とともに進む—B. 波に浮かぶボートは同じ位置で上下に運動する」という2つの対峙する考えを提示し，どちらについてよりそう思うかを「(Aについて) とてもそう思う [1]，(Aについて) どちらかというと思う [2]，(AかBかは) どちらともいえない [3]，(Bについて) どちらかというと思う [4]，(Bについて) とてもそう思う [5]」の5段階で回答するように求めた。回答に対して，[] 内の得点が与えられた。2つの対峙する考えのうち，Aが先行概念，Bが科学的概念であり，科学的概念に対して「よりそう思う」と回答するほど得点が高くなる。課題2では「A. 波と振動は別の現象である—B. 波は振動で説明できる」，課題3では「A. 波は媒質（振動を伝える物質）の変化のみを伝える—B. 波は媒質の変化とともにエネルギーを伝える」という2つの対峙する考えを提示し，課題1と同様の回答を求めた。理解状態を直接的に比較するために，第1セッションの後に課題1の事後テストを，第2セッションの後に課題2の事後テストを，第3セッションの後に

課題3の事後テストを実施し，各セッションの事後テストの各課題において，①「授業で納得したこと」，②「今までの自分の考えと変わったこと」の項目に対する自由記述を求めた。第3セッションの3週間後に全ての課題の遅延テストを実施した。各テストにおける回答の所要時間は約10分であった。

なお，授業内容については，教師と生徒の全ての映像・音声を採取できるように2台のビデオカメラ（1台は教室全体を収め，もう1台は実験・観察場面を視死角に収めた），補助としてデジタルボイスレコーダーを設置した。さらに，録画記録で採取できない授業の全体像・文脈の流れや状況等の文字記録と，生徒のノート・配布された資料を含む，質的な分析に必要な情報の集積を，フィールドノーツとして採取した。

結果と考察

1. 波の概念の獲得

単元（3セッション・全6時間）の授業を通して，学習者がいかなる波の概念を保持しているのかに関して分析を行い，全体的な概念変化の特徴を読み解く視点を探り出す。

まず，各課題の事前，事後，遅延テストにおける得点の平均値と標準偏差を Table 1 に示す。課題ごとに，事前，事後，遅延テスト間の得点を1要因分散分析により比較したところ，全ての課題において主効果が有意であり（課題1： $F(2,24)=8.69, p<0.01$ ，課題2： $F(2,20)=5.44, p<0.05$ ，課題3： $F(2,24)=6.32, p<0.01$ ），有意水準5%のRyan法による下位検定の結果，どの課題においても事前テストよりも事後テスト及び遅延テストの得点が高く，事後テストと遅延テストとの得点には有意な差はみられなかった。つまり，各課題において，事後テストでは事前テストよりも科学的概念を支持しており，これは遅延テストにおいても持続されているといえる。

次に，選択理由に対する自由記述に基づき，先行概念と科学的概念とのどちらを保持しているかを分類し

Table 1 各セッションの事前，事後，遅延テストにおける得点の平均値(M)と標準偏差(SD)

課題	事前テスト	事後テスト	遅延テスト	F
	M (SD)	M (SD)	M (SD)	
課題1	2.62 (1.00)	3.92 (1.21)	3.85 (1.23)	8.69**
課題2	3.31 (0.91)	4.45 (0.89)	4.27 (0.96)	5.44*
課題3	3.46 (0.93)	4.46 (0.84)	4.39 (0.92)	6.32**

* $p<.05$, ** $p<.01$

Table 2 各セッションの事前、事後テストにおける先行概念保持者と科学的概念保持者の人数

課題	事前テスト	事後テスト	遅延テスト
課題 1	11(84.6) : 2(15.4) ^註	2(15.4) : 11(84.6)	3(23.1) : 10(76.9)
課題 2	5(38.5) : 8(61.5)	1(9.1) : 10(90.9)	2(18.2) : 9(81.8)
課題 3	4(30.8) : 9(69.2)	1(7.7) : 12(92.3)	2(5.4) : 11(84.6)

註. 数値は先行概念保持者数：科学的概念保持者数（括弧内は対象者数に対する割合(%)）

なお、各課題において、科学的概念保持者の基準は、以下の通りである。

各課題において、下記の記述を含まない者は、先行概念保持者とみなした。

課題 1：媒質上の任意の点は波とともに移動しない、という内容またはエピソードを記述している。

課題 2：波は複数の単振動から成る現象である、という内容またはエピソードを記述している。

課題 3：波は媒質の変化とともにエネルギーも伝達する、という内容またはエピソードを記述している。

た。分類基準及び各セッションの事前、事後テストにおける人数を Table 2 に示した。なお、Table 2 の分類基準に従って、第 1 筆者、物理専門の教師、教育心理学専攻の大学院生の計 3 名が独立に評定を行ったところ、評定者間の一致率は 92.3% であった。3 名の評定が異なった場合には、協議の上再度評定を行った。

課題 1 において、事前テストでは先行概念を保持している者が 11 名 (84.6%)、科学的概念を保持している者が 2 名 (15.4%) であり、前者の人数が有意に多かったが (直接確率計算, $p=0.02$)、事後テストでは先行概念保持者が 2 名 (15.4%)、科学的概念保持者が 11 名 (84.6%) であり、事前テストよりも前者の人数が有意に減少し、後者の人数が有意に増加した (直接確率計算, 母比率は事前テストの人数とした, $p=0.00$)。また、3 週間後に実施した遅延テストにおいては、先行概念保持者が 3 名 (23.1%)、科学的概念保持者が 10 名 (76.9%) であり、事後テストとの間に有意な差はみられなかった (直接確率計算, 母比率は事後テストの人数とした, $p=0.32$)。以下、課題 2、課題 3 についても同様の手法により分析を行った。

課題 2 においては、事前テストでは先行概念保持者が 5 名 (38.5%)、科学的概念保持者が 8 名 (61.5%) であり、両者の人数に有意な差はみられなかったが ($p=0.58$)、事後テスト (欠席者 2 名) では先行概念保持者が 1 名 (9.1%)、科学的概念保持者が 10 名 (90.9%) であり、事前テストよりも前者の人数が有意に減少し、後者の人数が有意に増加した ($p=0.03$)。遅延テスト (事後テストにおいて欠席した 2 名は含めず) においては、先行概念保持者が 2 名 (18.2%)、科学的概念保持者が 9 名 (81.8%) であり、事後テストとの間に有意な差はみられなかった ($p=0.26$)。

課題 3 においては、事前テストでは先行概念保持者が 4 名 (30.8%)、科学的概念保持者が 9 名 (69.2%) であり、両者の人数に有意な差はみられなかったが ($p=0.27$)、事後テストでは先行概念保持者が 1 名 (7.7%)、科学的概念保持者が 12 名 (92.3%) であり、事前テストよ

りも前者の人数が減少し、後者の人数が増加する傾向がみられた ($p=0.06$)。3 週間後に実施した遅延テストにおいては、先行概念保持者が 2 名 (15.4%)、科学的概念保持者が 11 名 (84.6%) であり、事後テストとの間に有意な差はみられなかった ($p=0.26$)。

以上の結果から、全ての課題において、事前テストよりも事後テストにおいて科学的概念を保持する者が増加し、3 週間後の遅延テストにおいても持続されていることが明らかにされた。

2. 概念変化のプロセス

上記の結果 (Table 1, 2) から、本研究で考案した教授方略は、波の概念を形成させる上で有効であることが確かめられた。では、いったい、一連の教授的働きかけが与えられた後、学習者は、いかにして先行概念を諸現象を理解するための枠組みとして使用しなくなり、科学的概念を正しいものとして受容していったのだろうか。

以下では、このような概念変化がもたらされた要因を明らかにするために、事前・事後テストにおける各課題の回答の選択理由、及び事後テストの各課題における①「今までの自分の考えと変わったこと」、②「授業で納得したこと」の各項目の記述を詳細に分析した。なお、読者の様々な代替的な解釈に「開かれているデータ (南, 1991)」を提示するために、筆者と授業者は協議しながら、学習者の理解状況や考え方の変化を、よりの確にかつ端的に示しうることを考慮して事例を選択した。さらに、授業の全体像、文脈の流れが見えるように、授業過程における実験・観察時の行動観察を補完しながら、授業の時系列に沿って記述を行った。**日常生活における観察や経験に基づく先行概念の変容プロセス**

第 1 セッション (第 1・2 時) (Figure 2) では、課題 1 の目標である「波の性質 (=波は移動するが波を伝える媒質は移動しない)」の理解に到達した生徒は、15.4% (事前テスト) から 84.6% (事後テスト) に増加した (Table 2)。そ

ここで、事前・事後テストの記述内容を詳細に分析した結果、第1セッションの授業の流れに即して、以下の概念変化のプロセスを見出すことができた。

まず、単元前に実施された事前テストでは、課題1で「波に浮かぶボートは波とともに進む」を84.6%の生徒が選択したが、その理由づけとして「海水浴に行ったとき、沖の方にボールが流されていくのを見たことがあるから」、「海の中に入ったとき、岸に向かう波の強さより、沖にもどる波の強さの方が大きいと感じたから」等のエピソードが多く挙げられた。これらの記述より、先行概念の特徴は、日常経験に基づく多くの証拠に裏付けられており、自分の納得できる範囲で満足しているという、日常生活における観察や経験に基づく先行概念の「堅牢さ(entrenchment) (Chinn & Brewer, 1993)」が浮き彫りにされた。

こうした状況下において、まず、Tsai (2000) のコンフリクトマップモデルの「先行概念と矛盾する事象」を提示した。具体的には、水波投影による波動実験(浮かんだマッチ棒は波を受けて移動するか)を導入した。OHPに拡大投影された波動実験を観察していた生徒たちは、小首を傾げたり、怪訝そうな顔をする表情を見て取ることができた。隣どうして顔を見合わせ、「全然動かない」、「なんで？」等とひそひそ話している様子が見受けられた。第1セッション後の事後テストにおける「課題1-①：今までの自分の考えと変わったこと」での項目では、76.9%の生徒が波動実験を根拠として挙げており、「予想と反して、いくら波が立っても水面のマッチ棒が全く移動しないのでビックリした」、「波は押ししたり引いたりするような動きをすと思っていたけど、何度波立ててもマッチ棒の位置が動かなかったので意外だった」等と記述していた。これより、生徒たちには先行概念のゆさぶりがもたらされていたことが分かる。この段階では、信頼性の高い情報の発信者(教師)による、条件が厳密に統制された実験を直接的に観察したことにより、自分の考えが妥当ではない可能性に気づき、認知的葛藤が引き起こされたことが推察された。

引き続き、「科学的概念を説明する決定的な事象」として、波が発生しても媒質は移動しないことを説明した。その上で、「波の伝搬と媒質の運動」の関係性を具象化するために、「サポートする知覚的事象」として、波源振動実験(音叉を水中に入れ、音叉(波源)は振動している→水(媒質)は移動しない→マッチ棒は移動しないで上下運動をしている)を行った。教師の師範による波源振動実験を、生徒たちは食い入るように見つめており、時折、

「あっ、なーんだ」、「そうだったんだ」等とつぶやいたり、小さく頷いたり、納得したような表情を伺い見ることができた。第1セッション後の事後テストにおける「課題1-②：授業で納得したこと」の項目では、92.3%の生徒がこの波源振動実験を根拠として挙げており、「音叉の振動が周囲に伝わって、水自体は移動しないで上下運動しているのだから、浮かんでいるマッチ棒も移動しないことが分かった」、「波が来て浮かんだときに、自分もマッチ棒と同じように、同じ場所で上下運動したことを思い出した」等の記述が見られた。これより、実験を通して明示化された波の伝搬と媒質の運動の両者の関係は、自らの背景にある信念や経験と照らし合わせて、納得できるもの(Posner et al., 1982)として受け入れられていったことが分かる。

こうした文脈において、教師は「科学的概念に関連する適切な他の概念」として、「波動」、「波源」、「媒質」の概念を板書し、実験と結びつけながら補足的に説明を行った。第1セッション後の事後テストでは、課題1で「波に浮かぶボートは同じ位置で上下に運動する」を84.6%の生徒が選択しており、その理由づけとして、「波源の振動が波となって隣へ隣へと伝わるが、媒質は波といっしょに進まないで上下運動をしているから」、「波源から伝わった波動は上下運動しているため、媒質をどこかに移動させるのではなく、同じ場所で上下運動させるから」等と回答していた。教授された「適切な概念」を取り込み、事前テストの直感的な先行概念を説明し直した記述が見られたことから、「適切な概念」は科学的概念を深く理解するための思考の拠り所になったものと思われる。

以上より、提示した一連の教授方略のネットワークは、「日常生活における観察や経験に基づく先行概念」の変容を促す手がかりとして、有用な役割を果たしていたことが確認された。

存在論的カテゴリーに基づく先行概念の変容プロセス

第2セッション(第3・4時)(Figure 2)では、課題2の目標である「波の要素(=波は複数の単振動から成る現象である)」の理解に到達した生徒は、61.5%(事前テスト)から90.9%(事後テスト)に増加した(Table 2)。そこで、事前・事後テストの記述内容を分析した結果、第2セッションの授業を通して、以下の概念変化の軌跡を読み取ることができた。

まず、単元前に実施された事前テストでは、課題2で「波と振動は別の現象である」を38.5%の生徒が選択しており、その理由づけとして、「波は岸に打ち寄せは沖に戻るものだから」、「波は押ししたり引いたりす

るような動きをするから」という記述が多く見られた。これより、波は、本来「現象」であるが、「物質」と考えていることが明らかにされた。

そこで、第2セッションでは、「先行概念と矛盾する事象」として、連続波の体現実験（生徒が1列に並び号令に従って交代に動く）を導入した。連続波の体現実験の際、生徒たちからは、「わー、すごい」、「おもしろい」、「ウェーブだ」等の歓声が上がり、拍手をしたり、席を立てのぞき込んだりと、興奮している振る舞いが見受けられた。第2セッション後の事後テストにおける「課題2-①：今までの自分の考えと変わったこと」の項目では、81.8%の生徒が連続波の体現実験を根拠として挙げており、「人は移動しないでそれぞれの動きは上下運動でも、全体の動きとして波が作り出されることを知って、すごく不思議だった」、「サッカー観戦で見た人のウェーブが、海の波の原理と結びついていることを知って驚いた」等と記述していた。これより、生徒自身が主体となって直接的に実験対象となる実験をきっかけとして、既有経験を目の現象に当てはめることができ、先行概念の再吟味を可能にしたことが示唆された。

引き続き、「科学的概念を説明する決定的な事象」として、波は複数の単振動から成る現象であることを説明した。その上で、波と単振動の関係性を明示化するために、「サポートする知覚的事象」として、1/8周期ごとの正弦波の作図に取り組みさせた。配布されたワークシートに正弦波の計算やグラフを書き込む作業では、生徒たちは意識を集中して取り組んでいる態度が見受けられた。第2セッション後の事後テストにおける「課題2-②：授業で納得したこと」の項目では、72.7%の生徒が正弦波の作図を根拠として挙げており、「一つ一つの点が海水の一つの点だと思うと、図に書いてみて自分の目で確かめられたので、波は単振動から成る現象だと実感した」、「1/8周期ずつ計算して、ずらしてグラフを書いたら、波がどのような動きをしているのかがはっきり分かった」、「一続きの波が打ち寄せると思っていたが、波が一斉に動くのではなく、波は単振動から成る現象であることが分かった」等の回答が見出された。これより、波の概念に関して、概念変化がもたらされたことが示唆された。Chi, Slotta, & de Leeuw(1994)は、このような概念変化を、「存在論的カテゴリー (ontological category)」の変化として捉えている。すなわち、ある実態 (entities) が、物質 (matter) に属するか、過程 (processes) に属するか、といった存在論的に異なる別のカテゴリーに割り当てをし直すとき

に、概念変化は生じるという。上記の記述内容からは、第2セッションの授業を通して、波は「物質」のカテゴリーに属するものではなく、「過程」のカテゴリーに属するものであると捉えられるようになったことから、「存在論的カテゴリー」の変化が生じたことが読みとれる。また、記述内容からは、データを知覚的にサポートする作図や計算の経験を伴うことで、分かったと実感した (Linn & Songer, 1991) ことが背後に読み取れる。このことは、「存在論的カテゴリー」を変化させるためには、先行概念に矛盾する物理現象を実験・観察した上で、学習者自身がその物理現象をいったん数の領域へマッピングし、数の領域でも物理現象の因果関係を確認するという、手続き的知識を伴った作図や計算を経験させることが重要であることを示唆している。

最終的に、第2セッション後の事後テストの課題2で「波は振動で説明できる」を90.9%の生徒が選択したが、その理由づけとして、「媒質の各点では、位相が少しずつずれた単振動を行っていて、波はこれらの単振動から成る現象である」、「単振動を行っている媒質の各点を結んだ曲線が、正弦波になるから」等の記述が見られた。これより、「科学的概念に関連する適切な他の概念」である「単振動」、「位相」、「正弦波」が、実験と結びつけられながら整合的に教授された結果、これらの現象間の因果関係が、納得できるものとして受け入れられたことが分かる。

こうした存在論的カテゴリーの変化は、第3セッション（第5・6時）(Figure 2) 後の事後テストにおいても、課題3では、「波は媒質の変化とともにエネルギーや情報を伝えることができる」を92.3%の生徒が選択しており (Table 2)、その理由づけとして、「ふだん海の波のように目に見えるものだけを波と思っていたが、音や光も波であり、空気に振動が伝わっていることが分かった」、「波は媒質自体を動かすことなく、空気を伝わる波が、情報やエネルギーを伝える」等と回答していたことから、学習内容の「転移」が確認されたといえる。また、遅延テストでは、全課題において、波は存在論的カテゴリーの「過程」のカテゴリーに属する、という概念が保持されており (課題1: 76.9%, 課題2: 81.8%, 課題3: 84.6%) (Table 2)、教授効果は3週間後も持続することが確認された。

総合考察

問題と目的の項で述べたように、Tsai (2003) は、考案したコンフリクトマップ (Tsai, 2000) を、自ら台湾における中学理科の電流の概念学習に適用し、その教授

効果を実証的に明らかにしている。本研究では、Tsai (2003)とは異なる学年と課題を対象とし、コンフリクトマップをわが国の高校物理の波動の概念学習に適用し、内容的・一貫性を持った実験・観察を一連のネットワークに沿って提示した(Figure 2)。その結果、当該教授方略は、生徒たちの波の先行概念の変化を促す手がかりとしても機能することが示された。そこで、本研究から見出されたコンフリクトマップの教授効果について考察を行う。

まず、生徒たちは、確からしさが疑われないデータとして、「現実世界」において、「先行概念と矛盾する事象」を直接的に観察することを通して、自分の考えが妥当ではない可能性に気づき、認知的葛藤が引き起こされる(e.g., 人は移動しないでそれぞれの動きは上下運動でも、全体の動きとして波が作り出されることを知ってすぐ不思議)。こうした文脈において、運動感覚を伴った「科学的概念をサポートする知覚的事象」を経験することによって、自らの背景にある信念や経験とすり合わせながら、「データ」が納得できるもの(Posner et al., 1982)として受け入れられていく(e.g., 一つ一つの点が海水の一つの点だと思えば、図に書いてみて自分の目で確かめられたので、波は単振動から成る現象だと実感した)。このとき、実験・観察した物理現象をいったん数の領域へマッピングし、数の領域でも物理現象の因果関係を確認するという、手続き的知識を伴った作業を経験し、分かったと実感する(Linn & Songer, 1991)ことで(e.g., 1/8周期ずつ計算して、ずらしてグラフを書いたら、波がどのような動きをしているのかがはっきり分かった)、「存在論的カテゴリー」が変化していく可能性が示唆された(e.g., 一続きの波が打ち寄せると思っていたが、波が一斉に動くのではなく、波は単振動から成る現象であることが分かった：波は「物質」のカテゴリーに属する→「過程」のカテゴリーに属する)。さらに、「思考世界」において、「科学的概念を説明する決定的な事象」、「科学的概念に関連する適切な他の概念」によっても、科学的概念がなぜ適切なものが多角的視点から説明され保証されることで、真の科学的概念の理解に繋がっていったものと解釈される(e.g., 媒質の各点では、位相が少しずつずれた単振動を行っていて、波はこれらの単振動から成る現象である)。

最後に、本研究の教育実践上の意義について触れておきたい。先述したように、現行の物理の授業においては、第1の問題点として、実験・観察活動の時間が十分に確保されているとは言い難い、という点が挙げられた。しかしながら、実験・観察は、現実の世界と思考の世界を媒介し、具体的な事象を用いながら認知

を促す機能を果たす。それゆえ、本研究ではこれまで実証的研究が稀少である、高等学校の現行の物理のカリキュラムにおける実験・観察活動に着目した。ただし、実験・観察を単に提示すればよいわけではなく、どのような機能を持った実験・観察をどのような順序で提示すればよいかについては、これまで十分には明らかにされてこなかった。この点についても、本研究では、生徒たちの先行概念を踏まえた上で、重要な科学的概念(significant scientific conception)の体制化を行うための内容的・一貫性のある実験・観察のネットワークを提示した。

さらに、現行の物理の授業における第2の問題点として、生徒たちが議論をする時間が十分に確保できない、というカリキュラム上の制約が挙げられた。そこで、本研究で用いた分析の指標は、授業過程の発話に焦点を当てるのではなく、授業前後の質問紙による内部からのアプローチと、行動観察による外部からのアプローチを併用する、という質的分析を試みた。「何に着目して、どのような観点から分析をするか」は、現実柔軟に対応することが必要である。本研究によって、具体的事例の分析を通して見出された概念の質的な変化は、教室の物理学習を考慮する上で、重要な示唆を与えるものと考えられる。

引用文献

- Anderson, C. W., & Smith, E. L. (1983). Children's preconception and content-area textbooks. In G. Duffy, L. Roehler & J. Mason (Eds.), *Comprehension instruction : Perspectives and suggestions*. New York : Longman Inc.
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 1074-1079.
- Chan, C., Burtis, J., & Bereiter, C. (1997). Knowledge building as a mediator of conflict in conceptual change. *Cognition and Instruction*, 15, 1-40.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, M. (1994). From things to processes : A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition : A theoretical framework and implications for

- science instruction. *Review of Educational Research*, **63**, 1-49.
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' pre-conceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, **10**, 1241-1257.
- Duit, R. (2002). Conceptual change : Still a powerful frame for improving science teaching and learning ? *Proceedings of the Third European Symposium on Conceptual Change* (pp.5-15). Finland : University of Turku.
- Forman, E. A., Larreamendy-Joerns, J., Stein, M. K., & Brown, C. A. (1998). "You're going to want to find out which and prove it" : Collective argumentation in mathematics classrooms. *Learning and Instruction*, **8**, 527-548.
- Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, **8**, 229-249.
- Hewson, P. W., & Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, **11**, 541-553.
- 堀込智之 (2004). 特別授業「水の波」の授業評価の試み 物理教育, **52**, 254-258.
- Karmiloff-Smith, A. (1988). The child is a theorist not an inductivist. *Mind and Language*, **3**, 183-196.
- 木浪 信 (2006). デジタル教材活用授業実践例「物理 I・波の性質」 教育用 IT 環境を利用した科学技術・理科教育のためのデジタル教材活用共同研究報告書 (pp.53-58) 神奈川県立総合教育センター
- Linn, M. C., & Songer, N. B. (1991). Teaching thermodynamics to middle school students : What are appropriate cognitive demands ? *Journal of Research in Science Teaching*, **28**, 885-918.
- 丸野俊一 (1992). 知識獲得の理論 東 洋他 (編) 発達心理学ハンドブック (pp.175-189) 福村出版
- 南 博文 (1991). 事例研究における厳密性と妥当性一鯨岡論文 (1991) を受けて一 発達心理学研究, **2**, 46-47.
- 文部省 (1999). 高等学校学習指導要領解説理科編 理数編
- 文部科学省 (2004). 平成 14 年度高等学校教育課程調査報告書
- Nussbaum, J. (1979). Children's conception of the earth as a cosmic body : A cross-age study. *Science Education*, **63**, 83-93.
- 岡本夏木・清水御代明・村井潤一 (監修) (1995). 発達心理学事典 (p.423) ミネルヴァ書房
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception : Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, **66**, 211-227.
- 高垣マユミ・田原裕登志 (2005). 相互教授が小学生の電流概念の変容に及ぼす効果とそのプロセス 教育心理学研究, **53**, 551-564. (Takagaki, M., & Tahara, H. (2005). Using a modified reciprocal teaching strategy to induce conceptual change: Elementary school science lessons. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **53**, 551-564.)
- Tasker, R., & Osborne, R. (1985). Science teaching and science learning. In R. Osborne & P. Freyberg (Eds.), *Learning in science : The implications of children's science* (pp.15-27). Auckland, NZ : Heinemann.
- Tsai, C.-C. (2000). Enhancing science instruction : The use of "conflict maps". *International Journal of Science Education*, **22**, 285-302.
- Tsai, C.-C. (2003). Using a conflict map as an instructional tool to change student alternative conceptions in simple series electric-circuits. *International Journal of Science Education*, **25**, 307-327.
- 山田盛夫 (2001). 横波の伝わり方を学ぶ簡易教材 教具 物理教育, **49**, 144-145.

(2007.3.1 受稿, 8.20 受理)

A Conflict Map Teaching Strategy to Induce Conceptual Change in Preconceptions About Wave Motion : Case Study and Interpretive Analysis

MAYUMI TAKAGAKI, HIROTSUGU TAZUME, (GRADUATE SCHOOL OF CHILD STUDIES, KAMAKURA WOMEN'S UNIVERSITY),
SETUO FURIHATA (DEPARTMENT OF CHILD STUDIES, KAMAKURA WOMEN'S UNIVERSITY) AND OSAMU SAKURAI (KAMAKURA
WOMEN'S UNIVERSITY SENIOR HIGH SCHOOL) JAPANESE JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 2008, 56, 93-103

The present research applied the theoretical framework of Tsai's (2000) conflict map in a high school physics class's study of properties of waves. A teaching strategy was developed that presented experimentation and observations that were consistent with the students' ideational network sequence. The teaching process included directly observing events discrepant with the students' preconceptions, experiencing observations and mapping and verifying their causal correlation within the mathematical domain, and consistently verifying the scientific conception from various perspectives, including the integration of anomalous data, both in the real world and in an ideal world. The instructional effects of the teaching strategy were examined through qualitative analysis, consisting of introspective protocols (questionnaires) before and after the class, and behavioral observations during the experimentation and observation phases. The results of the analysis suggested that the process used induced conceptual change.

Key Words : conflict map, teaching strategy, conceptual change, introspective protocol, high school students' conceptions about wave motion