

理科授業の学習環境のデザイン

—— 観察・実験による振り子の概念学習を事例として¹ ——

高 垣 マユミ* 田 原 裕登志** 富 田 英 司***

本研究は、小学5年生理科での振り子の学習単位において、「児童が振り子の運動を測定・集計する際にその手続きを支援する学習ツール」と学習者が協同で能動的に学習に取り組む活動形態としての“GIsML” (Palincsar et al., 2000)を組み合わせた学習環境をデザインし、これらの学習環境下で生成された観察・実験の談話過程を分析した。分析の結果、振り子の各課題の困難度の違いによって、異なる説明活動が先行概念の変化を促す要因として深く関与していることが示唆された：(1)理解の困難度が低い課題（ひもの長さ）の場合、物理現象を『先行概念』と関連づける説明活動、(2)困難度が中程度の課題（おもりの重さ）の場合、納得がいくまで何度も観察・実験を繰り返す『反復性』、物理現象を数の領域へマッピングし『数学的関係』を用いて理解する説明活動、(3)困難度が高い課題（振れ幅の大きさ）の場合、シミュレーションを繰り返す過程で、何度も予測に立ち返り『予測精度』を上げながら理論を解釈し直す説明活動。さらに、(4)小集団における理論構築を踏まえた上で「クラス全体」の討論で理論を再構築する場合において、他グループのデータや理論を照合する『社会的参照』、個別の理論を組織的に統合する教師の視点を受け入れる『情報の信頼性』の説明活動が生成された場合、振り子の全課題に対して科学的概念の変容が促される可能性が示唆された。

キーワード：概念変化、学習環境のデザイン、GIsML、観察・実験の説明活動、振り子の等時性の概念

問題と目的

これまでの教授学習過程における概念変化研究では、日常的体験を通して学習者が獲得している先行概念が、学校教育で教授される科学的概念の理解を抑制してしまうことが見出されている。Posner, Strike, Hewson, & Gertzog (1982) による理論的提唱以来、この先行概念の変化を促進する要因やその変化過程を明らかにするために、様々な教授方略が提案されてきた（橋渡し方略 (Clement, 1993)；概念変容モデル (Hashweh, 1986, 1988)；概念地図法 (Tasker & Osborne, 1985)；矛盾仮説提示法 (Chan, Burtis, & Bereiter, 1997；Limon, 2001)）。これらの教授方略は、学習者の持つ先行概念を特定し、それと矛盾するデータや仮説を提示し学習者の認知的葛藤を導くことで、教授内容について学習者が予め持っていた概念

を再構造化することを狙ったものであり、従来の先行概念を考慮しない教授方略と比較して効果があることが確かめられてきた。

この20年間の研究の成果を踏まえて、教授学習過程における概念変化研究の新たな動向として、近年、学習者の認知的葛藤のみに特定せず、その社会的相互作用を含む様々な側面から、概念変化に効果を及ぼす要因を検討する学習環境の研究が進められている (Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou, & Papademetriou, 2001；高垣・中島, 2004；Duit, Roth, Komorek, & Wilbers, 2001；Mason, 2001)。

この動向は2つに分けられる。第1のアプローチは、様々な学習内容一般に当てはまるような、概念変化を引き起こす学習環境を検討するものである。例えば、Vosniadou et al. (2001) は、①（文脈や状況に照らし合わせての）適切さと（学習者にとっての）意味を考慮した学習課題を設定する②学習者の能動的な学習を支援し、他者と共に活動し他者とのやりとりから学べるような学習環境を準備するという学習環境が、概念変化過程に影響を与え得ることを示した。高垣・中島 (2004) は、

* 鎌倉女子大学大学院児童学研究科

** 鎌倉女子大学初等部

*** 九州大学大学院人間環境学研究院

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。

①具体的事象の認識を深めるために、「アナロジー」、「可視化」という教授的働きかけを行う②学習者間の基礎的概念が根本的に対立し、解釈上の違いが明確に浮き彫りにされた後、知識が協同的に構築されていくような議論を生成する手だてを講じるなどの学習環境が、概念変化を引き起こすことを明らかにした。

しかし、教授学習過程は特定の文脈や状況に依存する。そのため実際に教育現場でこれらの理論を適用しようとする、教師は、個々の教科・単元に固有な要因を考慮する必要があるが生じてくる。教育現場で今まさに求められている、概念変化研究の第2のアプローチは、第1のアプローチの課題として残されている「個々の教科・単元の特殊性を考慮した学習環境下での概念変化メカニズムの解明」である (Vosniadou et al., 2001)。この第2のアプローチでは、教科・単元の教授内容の特徴、学習者が利用可能な学習ツール、教授内容の理解を促す教師の働きかけや他者とのやりとりの環境の設定、といった個々の教科・単元の特殊性を念頭に置いて、認知的・社会的側面から学習環境をデザインする。しかし、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数少ない。本研究は、現在の概念変化研究の第2のアプローチの立場から、学習環境をデザインするものである。

具体的には、学習環境をデザインする検討素材として、実際の教育現場のカリキュラムの中から、非常に理解が困難であることが指摘されている、「おもりの動きと働き (振り子の概念学習)」の単元 (平成10年度改訂新学習指導要領の「小学校理科」では第5学年で扱う) を取り上げる。この単元の理解は非常に困難であり、教育現場では以下の問題を抱えている。

まず、振り子の力学現象の観察の測定として扱う時間はふつう10分の1から100分の1秒単位である。そのため、振れ幅の「観測時間」及び「観測位置」を目で追いながら正確なデータを取ることは、小学生の子どもたちにとっては非常に難しい (小林, 2002)。①「個人誤差」、②「測定値の処理方法」の問題である²。

次に、「ひもの長さ」、「おもりの重さ」、「振れ幅の大きさ」と周期との関係についての関係把握の困難度の「ズレ」の問題である。「周期はひもの長さによって変わる」という考え方は比較的簡単に子どもに受け入れられる一方、「周期はおもりの重さに関係しない」、「周期は振れ幅の大きさに関係しない」という考え方は形成されにくい (加藤, 2000)。中でも、「周期は振れ幅の大きさに関係する」という先行概念は、学校教育の場で振り子の学習を受けた後も容易に変容せず、大学生ま

で保持され続ける場合がある (Viennot, 1979; 隅田, 1995)。

以上の教育実践上の諸問題を前提にして、本研究では、概念変化研究の第2のアプローチの立場から、学習環境をデザインする。すなわち、「おもりの動きと働き (振り子の概念学習)」という特定の領域について、認知的側面からは、「個人誤差」と「測定値の処理方法」を解決する学習ツール (以下、「振り子の測定・集計の手続きを支援する学習ツール」とする) を開発する。また、社会的側面からは、学習者が協同で、能動的に振り子の観察・実験学習を行い、その結果に基づいて自由に議論し再検討できる活動形態を導入する。ここでは、Palincsar, Collins, Marano, & Magnusson (2000) の提案するGISML (Guided Inquiry supporting Multiple Literacies) を採用する。GISMLは、学習障害児を含めた多くの学習者の読解力育成に優れた教授法として広く知られている相互教授法 (Palincsar, 1986; Palincsar & Brown, 1984) を、理科教育向けに発展させたものであり、①探究、②調査、③説明、④報告という4つの段階から構成され、学習者の能動的な学習を引き出し、科学的概念の獲得に有効であることが実証的に確かめられている。

さらに、開発した学習環境下における概念変化過程を明らかにするために、相互作用過程の詳細な分析を行う。これまでに教授学習過程における相互作用と概念変化の関連を検討した研究では、協同推論を促進すると考えられる発話の頻度と科学的概念の理解との関連が検討されてきた (Vosniadou et al., 2001; 高垣・中島, 2004)。しかし、従来のように発話の全体的傾向と概念

² ①「個人誤差」の問題：従来の方法では、ストップウォッチを用いて振り子が10往復する時間を測り、その平均を求めて周期を算出する方法が取られてきた。しかし、小学生の子どもたちにとって、振り子の動きを目で追いながら、振り子の位置に合わせてストップウォッチをスタート、ストップするタイミングは非常に難しく、正確なデータは測定できない。個人誤差が大きく影響するため、訓練を積まないと、毎回の測定値は一定にならない。

②「測定値の処理方法」の問題：毎回の測定値は、必ずしも一定ではない。振り子が10往復する時間を測り、平均することによって誤差をならし、かなり理想値に近い測定値は得られるものの、小学生の子どもたちにとってみれば、得られた数値が正確な周期を表したものであるのか否かを確信することができない、という結果を導く。また、途中で測定ミスが生じたり、期待する結論が導き出せなかったりした場合、もう一度始めから10往復の周期を測定し直した上で、測定値の処理を行わなければならない。こうした周期の測定方法及び処理方法の煩雑さから、必要以上に実験に時間を要することになり、何を測定しているのかその目的自体が分からなくなってしまったりする。

変化の関連を検討するだけでは、先行概念と矛盾する観察・実験データや教師から提示された情報に対して、学習者がどのように判断し、その結果何を受け入れ、何を受け入れなかったかという具体的な概念変化過程を明らかにすることができない。そこで本研究では、理科という科目の振り子の概念学習に特徴的な観察・実験を用いたやりとり限定して、先行概念と矛盾するような観察・実験データや教師から提示された情報に対して、「判断材料となる情報・知識」や「判断を行う文脈における状況的要因」などに言及する「説明活動」に注目したい。理解の困難度（振り子の3要素）ごとに、観察・実験場面で生成される説明活動を詳細に分析することで、理解の困難度に応じて、先行概念が科学的概念へと変容する際の学習者なりの判断基準が解明できると考えられる。

以上の議論を踏まえ、本研究の主要な目的は、次の2点に収束される。

- (1) 振り子の概念変化を最も促進するであろうと考えられる、「児童が振り子の運動を測定・集計する際にその手続きを支援する学習ツール」と「学習者が協同で能動的に学習に取り組む活動形態としてのGIsML」を組み合わせた学習環境をデザインし、実践授業を通して振り子の科学的概念が促進されるかどうかを検討する。
- (2) 学習環境下における具体的な観察・実験場面を観察し、その談話過程における説明活動に注目して分析することで、理解の困難度（振り子の3要素）ごとに、どのような説明活動により、先行概念の変化が引き起こされるのかを明らかにする。

方 法

対象児 神奈川県内の私立小学校児童5年生30名（男子10名、女子20名、平均年齢11.8歳）。分析対象となった授業は、理科単元「おもりの動きとはたらき」の4つのセッションから成る延べ8時間の授業³。

³ 対象とした小学校における理科授業は、平成10年度改訂新学習指導要領に基づき、公立小学校の教育課程に準じた形で実施されている。また、小学校の理科授業の場合、小集団による協同学習が重視され、授業の約7割が充てられているという報告があるが（久保田・西川, 2004；梶田・塩田・石田, 1980）、対象校においてもほぼ同様の割合で小集団による協同学習（実験・観察・話し合い等）が行われている。なお、これまでに水・空気・電気等、その実態のメカニズムが五感を通して直接認識できないような現象を取り扱う領域においては、現象と思考を媒介するために、独自に考案された「学習ツール」の使用が試みられている。

指導方略及び学習ツール 本研究で考案した指導方略及び学習ツールは、以下の通りである（FIGURE 1）。

①第1セッション（1h～2h）では、ロープ製の長いブランコに乗る体験や場を設定し、日常経験を学習の起点にして体感を通して振り子の規則性を意識化させる。②第2セッション（3h～5h）では、実験から得られたデータを収集・分析し、力学現象の中から規則性を見出させる。なお、この段階で使用する「学習ツール」は、Webカメラ・PC・振り子センサーである。振り子実験のデータをコンピュータ処理することで、「観測時間及び観測位置」を測定する際に時間軸を自由に扱うことを可能にし、「目で追うことが困難な現象」を「追体験できるスピードで可視化する」機会を与える。③第3セッション（6h～7h）では、まず、実験から得られた数値をグラフ化することで、「100分の1秒単位の微少な時間が、どのように変化していくのか」を視覚的に把握させる。児童はこれまでに誤差のあるデータを扱った経験がないため、誤差そのものの概念を理解しにくい。例えば、1.08, 1.09…と数値が並んでいても、直観的に相互の関係は把握しにくく、全体に比べれば些細な差であることに気がつきにくい。一方、グラフでは変化の様子が「線」として表されるので、相互の関係や全体との関係が直観的・視覚的に把握し易いと考えた。次に、見出した規則性に従って実験をシミュレートし、現実の力学現象と照合させる。④第4セッション（8h）では、小グループで得られたデータやアイデアを、クラス全体場で説明させ、複数の観点から再検討する活動に積極的に関与させる。

学習形態 Palincsar et al. (2000) が示した学習形態であるGIsML (Guided Inquiry supporting Multiple Literacies) の①～④のプロセスを経る。①探究：新しい課題や現象に直面したとき、小グループにおいて何度も実験・観察の経験を繰り返して慣れ親しみ、課題や現象に対する理解を深めた上で、予測を生成する。②調査：小グループにおいて、予測を検証するために必要な器具・用具が集められ、実験・観察のデータが収集、記録される。③説明：課題や現象に対する調査結果を小

⁴ 理論チャートとは、小グループにおいて協同で構築した「毎時間の実験や観察の予測・結果・考えの修正過程」等を、一つの単元を通じた実験履歴として記録し続けた成果物である。理論チャートは、文書・描画・グラフ・表・モデル等の多様な方法を用いて記録され、クラス全体場で説明される。なお、「理論チャート」の構成要素は、子どもたちの主体的な活動の集積であるが、「ポートフォリオ」の構成要素は、あくまでも子どもたちと教師で行われる共同的な活動が含まれる点において、両者は異なる。

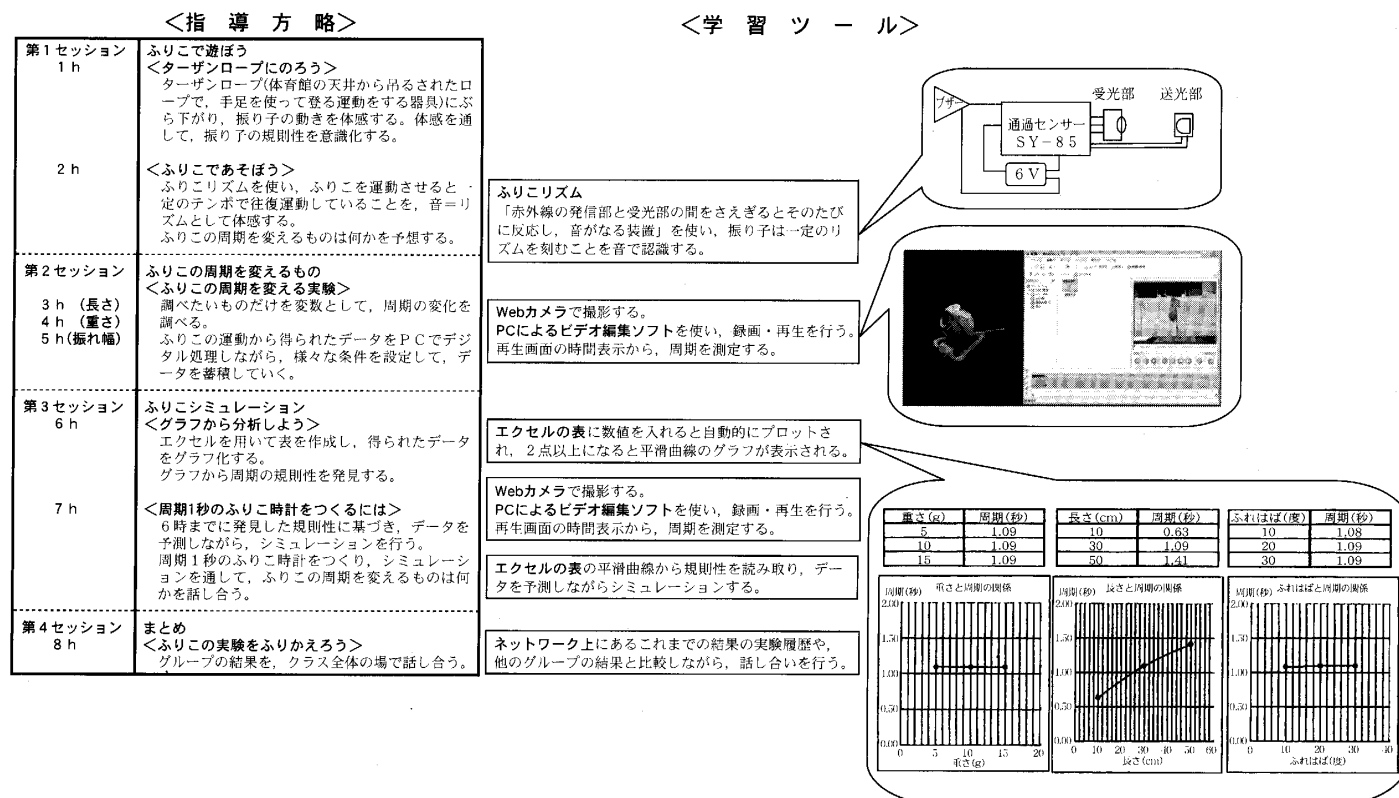


FIGURE 1 指導方略及び学習ツール

グループで議論し、互いの多様な考えを取り入れながら、理論を構築する。④報告：小グループで得られたデータやアイデアを、クラス全体の公の議論の場において、理論チャート⁴に基づきながら、口頭、描画化、図式化等の多様な方法を用いて説明し、理論を再構築する。なお1～7 hでは「探究」、「調査」、「説明」のサイクルを繰り返し、8 hでは「報告」を実施した。

手続き 授業展開は、事前テスト、全4セッション8時間分の授業、各授業後の事後テストの順に実施された。事前・事後テストは学習の直接的効果を測定する目的で行われ、同一の内容で質問紙に記述する形式で行われた。いずれも、「ひもの長さ」、「おもりの重さ」、「振れ幅」の3要素に対して、周期を変化する要因になるか否か(「周期は、○○(e.g.ひもの長さ)によって変わりますか?」)をたずねた。各項目は、5段階の理解度評定(1:「とてもそう思う」～5:「全然そう思わない」)で回答させ、その理由についても記述させた。回答は各自のペースで進められ、所要時間は、約5分であった。全ての授業は理科専科の教諭が行い、授業の内容については、1グループに1台のデジタルカメラ及びデジタルボイスレコーダーを設置し、映像・音声を全て採取した。実験装置として、各グループに1台の振り子、PC、Webカメラ、振り子センサーを設置した。また、グループ

用のPCを理科室専用ネットワークに参加させファイルサーバに保存することで、各グループの情報をクラス全体で共有し、プロジェクターに投影できるようにした。

結果と考察

1. 教授効果の分析

学習の理解度を検討するため、事前テスト及び各授業後の事後テストにおいて、「ひもの長さ」「おもりの重さ」「振れ幅の大きさ」のそれぞれが振り子の周期を変化させる要因になるか、5件尺度上で評定するよう教示した。「おもりの重さ」「振れ幅の大きさ」については「とてもそう思う」を1点、「ややそう思う」を2点、「どちらでもない」を3点、「あまりそう思わない」を4点、「全然そう思わない」を5点とした。また、「ひもの長さ」については「とてもそう思う」を5点、「ややそう思う」を4点、「どちらでもない」を3点、「あまりそう思わない」を2点、「全然そう思わない」を1点とし、理解度評定値を算出した。理解度評定値は、得点が高いほど理解が深まっていることを示す。なお、事前テストから8 hまでのいずれかの授業を受けなかった児童を除いた21名を分析対象とした。

児童の理解度が授業を受けることによって変化した

かどうかを検討するために、「ひもの長さ」「おもりの重さ」「振れ幅の大きさ」のそれぞれについて、反復測定データのための1要因分散分析を行ったところ、3つ全ての評定値について、時間経過の主効果が有意であった（「ひもの長さ」： $F(8, 20)=2.37, p<.05$, 「おもりの重さ」： $F(8, 20)=8.14, p<.001$, 「振れ幅の大きさ」： $F(8, 20)=3.00, p<.01$ ）。それぞれの理解度評定値について、どの授業で変化が起こったかを明らかにするために下位検定を行った。その結果を示したのがFIGURE 2の下表である。それぞれの学習内容の理解が深まった時間的位置が、先行研究によって示されている「ひもの長さ」「おもりの重さ」「振れ幅の大きさ」の相対的な理解の困難度と一致していることも確かめられた。従って、本研究では、以下、「ひもの長さ」を理解の困難度低、「おもりの重さ」を困難度中、「振れ幅の大きさ」を困難度高課題と呼ぶことにする。

従来の教科書に沿った通常の授業を受けた場合、問題と目的の項で述べた通り、特に困難度高課題の「振れ幅の大きさ」に関する、周期は振れ幅の大きさに関係するという先行概念は、授業を受けた後も容易に変容しないことが報告されている。その実態を定量的に測定している研究はほとんどないが、振り幅の大きさに関する先行概念は、授業直後の5年生の約60%が固執し、大学生になっても文系の約70%、理系の約30%に保持され続ける場合がある（加藤, 2000; Viennot, 1979;

隅田, 1996) という報告との比較が可能である。ただし、従来研究においては、周期は振れ幅の大きさに関係すると思うか否かを、「思う」「思わない」かの2値的にしか判断させていない。一方、方法の項で述べたように、本研究では「とてもそう思う」「ややそう思う」「どちらでもない」「あまりそう思わない」「全然そう思わない」の5件法の測度で判断させ、理解度をより明確に把握した。先行研究の数値と比較すると、本研究の授業を受けた場合、「振れ幅の大きさ」の理解度評定値が8hにおいて5点であった者（「周期は振れ幅の大きさに関係すると思うか」について「全然そう思わない」という理解に十分に達した者）は、61.9%（13名）に達し、先行概念に固執する者は38.1%（8名）に留まった。加えて、8hにおける「振れ幅の大きさ」の理解度評定の平均値は、「ひもの長さ」や「おもりの大きさ」とほぼ同じ値を示し（「ひもの長さ」4.43, 「おもりの大きさ」4.48, 「振れ幅の大きさ」4.24）、理解度評定値が5点に達した人数もほぼ同じ割合を示した（「ひもの長さ」61.9%（13名）, 「おもりの大きさ」71.4%（15名）, 「振れ幅の大きさ」61.9%（13名））。この結果は、従来から最も理解が困難とされる「振れ幅の大きさ」の理解が、困難度低課題の「ひもの長さ」や困難度中課題の「おもりの大きさ」と同レベルまで深まったことを、より明確な測度によって示している。

以上より、従来の結果と比較すると、本研究が開発・導入したGIsMLと振り子の測定・集計の手続きを支

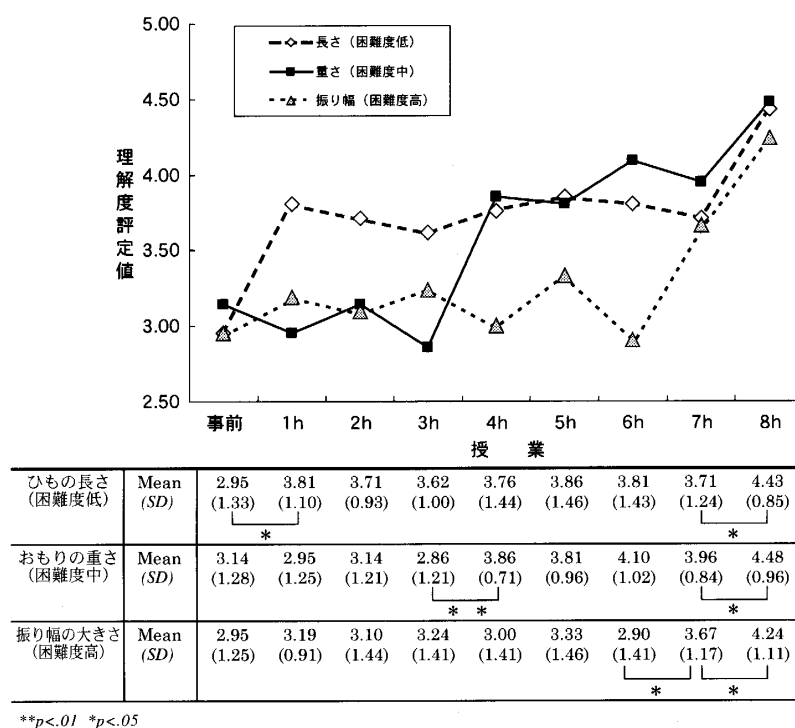


FIGURE 2 困難度の高さ（振り子の3要素）別にみた各授業の事後テストの理解度評定値

援する「学習ツール」を組み合わせた学習環境は、振り子の力学的理解の促進に有効であったと考えられる。

2. 説明活動の分析

教授方略の効果は以上の通り確かめられたが、その背後には、児童のどのような説明活動があったのだろうか。分析に関して、まず児童の発話における「説明活動」を捉えるためのカテゴリリストを作成し、それらの出現頻度から、振り子の各課題の困難度の特徴的な説明活動を探索する。その後、談話過程を詳細に分析し、説明活動と概念変化がどのように関連しているのか、さらに学習環境(学習ツール及びGISML)はどのような役割を果たしたのかを考察する。

(1) 分析の枠組と手続き 説明活動の種類を分析する枠組として、「ものごとの判断材料となる情報や知識」や「ものごとの判断を行う文脈における状況的要因」などに言及する説明活動に焦点を当てた、Chinn & Brewer (1993), Brewer, Chinn, & Samarapungavan (2000) の分析カテゴリーを、本研究の観察対象に適したカテゴリーリストとして再構成して用いた (TABLE 1)。全セッションのビデオ記録と授業観察時の記録をもとに、児童と教師の全ての発話を書き起こされた。分析の単位は会話ターンとし、第1筆者を含む2名の評定者によって会話ターンがどの発話カテゴリーに当てはまるかを判定した。この2名の評定者が独立してコーディングを行った結果、平均一致率は83.1%であった。不一致の部分は書き

起こしと映像記録を照合しながら協議し、当てはまるカテゴリーを決定した。

(2) 説明活動の出現頻度 FIGURE 2 で明らかにされた理解度評定値の有意な上昇ひもの長さ (1h), おもりの重さ (4h), 振れ幅の大きさ (7h) を支える説明活動を明らかにするために、課題の困難度ごとに χ^2 検定を行った (TABLE 2)。その結果、説明の質の出現頻度の偏りは有意であった (ひもの長さ (困難度低): $\chi^2(6, N=30) = 54.40, p < .01$; おもりの重さ (困難度中): $\chi^2(6, N=30) = 136.11, p < .01$; 振れ幅 (困難度高): $\chi^2(6, N=30) = 227.14, p < .01$; まとめ: $\chi^2(6, N=30) = 33.23, p < .01$)。各段階ごとにライアンの名義水準を用いた多重比較(有意水準5%)を行った結果、「ひもの長さ (困難度低)」では「先行概念」, 「おもりの重さ (困難度中)」では「反復性」と「数学的関係」, 「振れ幅の大きさ (困難度高)」では「予測精度」と「反復性」と「数学的関係」, まとめでは「情報源の信頼性」と「社会的参照」が他の項目よりも多く出現していることが分かる。なお、「直接観察・直接体験」については、振り子の力学現象を観察・実験を通して理解するという学習の特質上、全課題において最も多く出現するという共通の傾向が見られたため(数値は出現頻度/合計頻度, 合計頻度に対する割合, 困難度低: 396/881回, 45%; 困難度中: 435/1263回, 34.4%; 困難度高: 347/1180回, 29.4%; まとめ: 22/182回, 12.1%), 分析から除外した。「その他」についても除外した(困難度低: 265/881

TABLE 1 説明活動の分類カテゴリと発話事例

カテゴリ	内 容	発 話 事 例
(a)情報の信頼性	情報の信頼性に言及する発話(教科書, 先生の言ったこと等)	先生の実験を見てたら, ふれはばの大きさ変えても[周期]変わらなかったから, すぐ納得した。
(b)直接体験・観察	今この場で自分たちが直接体験・観察することによって発見したことのみ言及する発話	(ロープにぶら下がり) うおー, 速くなったー。短くしてのった方が, だんぜん [周期が] 速い。<直接体験> [振れ幅が] 20°のときの方が, [振り子の] 動きが速かった。<直接観察>
(c)反復性	実験・観察結果の反復性についての発話	10 g, 15 g って, おもりをどんどん重くしてみて, 何回も測ったけど…。[周期は] ほとんど変わらなかった。
(d)社会的参照	自分達と他の児童の実験・観察結果を比べ, 一致したかどうか言及する発話	ふれはばの大きさ [の実験結果] は, うちの班は自信がなかったけど。他の班と同じだったから, 正しいことが確かめられた。
(e)情報の複合性	データ等が様々な側面から検討されたものかどうか言及する発話	今度は, [5 g と 10 g のおもりのつけた] 2 つの振り子を同時にならべて測ってみたら, 比べられるんじゃない? [直接比較できる]
(f)予測精度	現象が正確に予測できるかどうかについての発話	10°, 20°…っていって, 周期は変わらなかったんだから, 30°も変わらないと思う。だから, 計算するまでもないよ。???
(g)数学的関係	児童がデータ等に数学的な関連性を見出したことを示す発話	2 倍, 3 倍におもりを増やしても, [周期は] 1.09 秒, 1.09 秒になったから, 比例しないで, 変化しないことが分かった。
(h)先行概念	今行っている実験・観察に関係する先行体験や先行概念, 少し以前に行った観察結果などについて言及する発話	X 公園のターザンロープもそうだったけど, やっぱ, ロープ短くすると, [周期が] 速くなる。

注) 発話事例の [] 内は, 分析者による補足を示す。

TABLE 2 理解の困難度の各段階における説明活動の出現頻度

カテゴリー	理解の困難度 (振り子の3要素/授業)							
	困難度低(ひもの長さ/1h)		困難度中(おもりの重さ/4h)		困難度高(振れ幅の大きさ/7h)		全体の討論(3要素/8h)	
情報源の信頼性	20	(9.1)	19	(5.0)	9	(1.9)	23	(25.3)
反復性	31	(14.1)	96	(25.1)	118	(25.0)	4	(4.4)
社会的参照	40	(18.2)	20	(5.2)	21	(4.5)	25	(27.5)
情報の複合性	22	(10.0)	68	(17.8)	36	(7.6)	14	(15.4)
予測精度	33	(15.0)	19	(5.0)	122	(25.8)	4	(4.4)
数学的関係	11	(5.0)	96	(25.1)	120	(25.4)	13	(14.3)
先行概念	63	(28.6)	64	(16.8)	46	(9.8)	8	(8.7)
合計頻度	220	(100)	382	(100)	472	(100)	91	(100)

注) 数値は、「ひもの長さ」「おもりの重さ」「振れ幅の大きさ」の振り子の各要素に対して、FIGURE 2に示される理解度評定値に有意な上昇が見られた授業(「ひもの長さ」(1h)、「おもりの重さ」(4h)、「振れ幅の大きさ」(7h))において、各々の振り子の要素に言及した発話を対象に、各発話がどのカテゴリーに当てはまるかを判定し、カテゴリー別に集計した頻度である。なお、全体の討論(8h)では、クラス討論における発話(3要素)を分析対象とした。カテゴリーは相互排他的ではないため、各発話が複数のカテゴリーに該当する場合もある。また、基本的にコード化の単位は発話ターンだが、同一人物が一続きの内容あるいは同じ内容の繰り返しを複数の発話ターンにわたって発言している場合には、それらを1つの発話ターンと見なしてコード化した。なお、()内の数値は、各理解の困難度における合計頻度に対する割合を示している。

回, 30.1%; 困難度中: 446/1263回, 35.3%; 困難度高: 361/1180回, 30.6%; まとめ: 69/182回, 38%。

3. 観察・実験場面の談話過程の分析

上記の分析結果で見出された振り子の各課題の困難度の特徴的な説明活動が、いかに概念変化に結びついたのかを探るためには、より詳細な談話分析が必要である。そこで、FIGURE 2で理解度評定値に有意な上昇が見られた以下の授業を対象に、談話分析を行った: 事例①「ひもの長さ(困難度低)」を実験の要因とした授業を行った結果、事後テストで「ひもの長さ」の理解度が有意に上昇した1h、事例②「おもりの重さ(困難度中)」を実験の要因とした授業を行った結果、事後テストにおいて「おもりの重さ」の理解度評定値が有意に上昇した4h、事例③「振れ幅(困難度高)」を実験の要因とした授業を行った結果、事後テストにおいて「振れ幅」の理解度評定値に有意な上昇が見られなかった5hと、事例④有意な上昇が見られた7h、事例⑤クラス全体の討論を行い、事後テストにおいて「ひもの長さ」「おもりの重さ」「振れ幅の大きさ」の全ての理解度評定値が有意に上昇した8h。さらに、これらの授業観察で得られた全談話データから、①授業で見られた談話・認知活動の中でも典型的な概念変化プロセスを示し、かつ②その概念変化のプロセス(文脈、経緯等)を、談話データ上から端的に捉えることができる、という2つの基準を満たす一連の談話を特定し、以下での詳細な分析の対象とした。

(1) 事例①「ひもの長さ(困難度低)」を実験の要因とした授業(1h)(TABLE 3) 1hでは、ロープ製の長いブランコに乗り、振り子の規則性を児童に体感させた。

A1～B4を見ると、ブランコの振り子運動の観察を通して比較的容易に、「ひものが短いと周期は短く、ひものが長いと周期も長い」という規則性に気づき、成員間で共通理解が図られていることが分かる。さらに、自分でブランコにぶら下がることをきっかけとして、既有経験が思い起こされ(A6)、その経験を目の前の現象に当てはめることにより、ひもの長さ周期との関係をもっともらしいものとして受け止めることを可能としている(A4～C6)。こうした状況から、『先行概念』の頻度が高くなった(TABLE 2)と解釈できる。

(2) 事例②「おもりの重さ(困難度中)」を実験の要因とした授業(4h)(TABLE 4) 4hでは、「おもりの重さ」を変数として、振り子の現象から得られたデータを収集・分析し、周期の規則性を見出す、という活動に取り組んでいる。おもりの重さを5g, 10g, 15gと、様々な条件下でデータを蓄積している。この時点において、おもりの重さが大きくなると周期が長くなるという先行概念をもっているため、条件を変えても周期が同じだというデータに「当惑(AでもBでもあるような状態)」(Berlyne, 1965)が見られる(E6, D7)。そのような時に典型的に見られる反応が、もう一度調べるという方略である(D6～E5, D8～G6)。このことは、予測と異なる結果を受け入れ、科学法則を理解するためには、自分自身で何度も確かめてみるということが重要であるということを示唆している。実験手続きを反復する際には、「振り子の測定・集計の手続きを支援する学習ツール」を使用して、「時間軸を自由に切り抜える」ことで精緻なデータ測定が可能となり、納得していった様子が分かる(D1～E5, G4～D7, F6～G7)。このとき、微少な数値の変化の

TABLE 3 ひもの長さ（困難度低）を変数とした実験(1h)

(様々な長さのロープ製のターザンブランコにぶら下がって揺れている友だちの様子を観察している)
A1 : (Xを指さして)ねえ, Xが, 一番おそくない? <直接体験・観察>
B1 : えっ.<その他>
C1 : そうだねっ.<その他>
A2 : どう見ても, [Xが] 一番ゆっくり動いてるね….<A1続き>
B2 : (Yを指さして)できあ, 一番速いのは, Yだよな.<直接体験・観察>
C2 : うん. (Bと顔を見合わせてうなづく)<その他>
B3 : なんかさ, [Yが] 一番, 勢いあるね.<B2続き>
C3 : ((見てたら))明らかに違う.<直接体験・観察>
A3 : [Yの] ロープが, 一番短いね.<直接体験・観察>
B4 : ((っていうか…)) [ロープが] 短い方が, 速く動いてる.<直接体験・観察>
<中略>
(各自が, 様々な長さのロープ製のターザンブランコにぶら下がる体験をする)
A4 : [ロープが] 短い方が, びゅーんと速かった.<直接体験・観察>
C4 : (大きくうなづく)すんごい, 差があった.<直接体験・観察>
B5 : [ロープが] 長いと, だんぜんおそくなる.<直接体験・観察>
A5 : そういえば, ((こないだ…))<先行概念>
B6 : なに? <その他>
A6 : Z公園で, なっかがあーいの[長いターザンロープ]にぶら下がったときも, ここの大変だった. (手を大きく動かす)<A5続き>
C5 : (Bをささげって)あっ, Z公園のやつね.<先行概念>
C6 : 長いやつ [長いターザンロープ]ってさー, 行ってもどってくるの, たいへんだよね.<C5続き>
注) 数字は発話番号, ()内は発話者の行為, []内は分析者による補足, (())内はよく聞き取れない発話, [は発話の重複, - は母音の引き延ばし, …は短い沈黙, ? は上昇音調を示す.
< >内は説明活動の分類を示す. なお, 同一発話者が一続きの内容あるいは同じ内容の繰り返しを複数の発話ターンにわたって発言している場合には, 1つの発話ターンとみなし(発話番号, 続き)と表した.

TABLE 4 おもりの重さ（困難度中）を変数とした実験(4h)

(5gのおもりをつるした振り子の動きを, Webカメラで撮影し, PCに動画を取り込み, 即座に再生して分析している)
D1 : (再生画面を見ながら)振り子がスタートの[位置にあるときの]時間は? <その他>
E1 : 0.23秒.<直接体験・観察/数学的関係>
F1 : (マウスを持って)じゃ, ゆっくり動かすよ.<その他>
F2 : もっとスローモーションにするよ. (スロー再生する)<F1続き>
D2 : はい, ストップ.<その他>
E2 : あ, ちょっとまって. 行き過ぎた.<その他>
D3 : もどして.<その他>
F3 : いくよ. (逆コマ送りをする)<その他>
D4 : はい, 今. そこ.<その他>
D5 : もどってきた時間は? <D4続き>
E3 : 1.32秒.<直接体験・観察/数学的関係>
G1 : (ノートに記録しながら)1.32-0.23は….<直接体験・観察/数学的関係>
G2 : 1.09秒.<G1続き>
E4 : じゃあ, 周期は, 1.09秒ね.<直接体験・観察/数学的関係>
G3 : うん. 1.09秒だね.<直接体験・観察/数学的関係>
D6 : ((しんちょうに))もう一回[周期を]測ってみない? <反復性>
F4 : うん(うなづく). そうしよう.<その他>
E5 : (Fを見て)じゃあ, もう一回いくよ. (5gのおもりをつるした振り子をゆっくり手から離す)<反復性>
<中略>
(5gと同様に, 10gのおもりをつるした振り子の動きを, コンピュータの再生画面を見ながら分析している)
G4 : (ノートに記録しながら)1.35-0.26だから….<直接体験・観察/数学的関係>
G5 : 1.09.<G4続き>
E6 : あっ. [周期は] また1.09! <先行概念>
D7 : え, 5gのときと同じ? (DとEが顔を見合わせる)<先行概念>
F5 : ((見た感じ))5gと10g [の振り子の周期は], 同じだったよ.<直接体験・観察>
D8 : ((とにかく))もう一回, 測ってたしかめよう.<反復性>
G6 : もう一回は, わたしにやらせて. (Webカメラの位置を調整し直し, 10gのおもりをつるした実験を, 再度反復する)<反復性>
<中略>
(2台の振り子を2台のノートパソコンにつないで並べ, 5gと10gをつるした振り子を同時に運動させて比較する)
F6 : やっぱり5gも10gも[周期は]1.09秒で, 変化しない.<直接体験・観察/数学的関係>
D9 : ほんとだ.<その他>
E7 : [振り子が] いってもどってくる時間が[5gも10gも]1.09秒で同じ.<直接体験・観察/情報の複合性>
G7 : [5gも10gも] 振り子が同じ動きしてた.<直接体験・観察/情報の複合性>

TABLE 5 振れ幅の大きさ(困難度高)を変数とした実験 I (5h)

(振れ幅 20°の振り子の運動をWebカメラで撮影し、PCに動画を取り込み、即座に再生して分析している)

《中略》

H1: (ノートに記録しながら) 1.91-0.82 だから…。<直接体験・観察/数学的關係>

I1: 1.09。<直接体験・観察/数学的關係>

J1: えっ? また [周期が] 1.09? <先行概念>

K1: それじゃー, [振れ幅が] 10°のときと同じじゃん。<先行概念>

J2: ありえない。<J1続き>

H2: 「えっ。<その他>

I2: 「なんで? <その他>

J3: ふればばを小さくすると, [周期は] 短くなるはず。<J2続き>

J4: (再生画面の軌跡を指さして) だって, [振り子の] 動くキョリが短くなるでしょ。<J3続き>

H3: あーそっか。(再生画面の軌跡を見つめる)<その他>

J5: (再生画面の軌跡に定規をあて) キョリが短いと, 速くもどってくるけど, キョリが長いと時間がかかるじゃないか。<J4続き>

K2: そーだよ。(再生画面の軌跡を見つめる)<その他>

J6: もう一回, [周期を] 測ってみよう。<反復性>

(振れ幅 20°の振り子の運動を, 再度反復する。)

《中略》

I3: なんか, さっき [振れ幅 10°] より, [振れ幅 20°の方が] 振り子の動きが, 速かったような…。<直接体験・観察>

J7: (Iをさえぎって) ねー, [測定位置が] ((何か, あれ。)) ちょっとずれてるよ。<その他>

K3: そう。((これ見て。)) [終点が] この位置までじゃない? (再生画面を指さす)<その他>

J8: うん, [終点が] ここまでだよ。(再生画面を指さす)<J7続き>

H4: だと, 周期は? <その他>

I4: 1.10。<直接体験・観察/数学的關係>

H5: [振れ幅が] 10°のときが, [周期が] 1.09 で…。<直接体験・観察/数学的關係>

J9: [振れ幅が] 20°のときが, [周期が] 1.10 でいいや。<先行概念>

H6: じゃ, ノートに, ふればばを大きくすると, ((びみょーに)) 周期は長くなる, って書くよ。(ノートに記録する)<先行概念>

J10: オーケー。(ノートをのぞき込む)<J9続き>

規則性を探究する定量的な形式で表現された説明 (G1~E5, G4~D7, F6~E7) が, 定性的な説明 (F5) より, 信頼性が高い情報として成員間の思考の根拠とされていた。こうした状況から, 『反復性』, 『数学的關係』の頻度が高くなった (TABLE 2) と解釈できる。

(3) 事例③「振れ幅(困難度高)」を実験の要因とした授業 I (5h) (TABLE 5) 5h では, 「振れ幅の大きさ」を変数とした実験が行われた。条件を変えても周期が同じであることに, 「混乱(AかBか不明の状態) (Berlyne, 1965) を示す様子が見て取れる (J1~J2)。ここでも自分たちの理解と一致しないデータが得られた際にもう一度確かめる方略が使われている (J6)。しかし, 最も理解が困難であるこの段階においては, 反復的にデータを取ることにしてもなお, 最終的に「振れ幅が大きくなると周期は長くなる」という結論に終わってしまった。

このように先行概念が修正されない要因を探るヒントになるのが J4~J5 の発話である。振り子の場合, 速さは一定ではない ($v = \sqrt{2gh}$)。最下点では最高速度に達し, 最も振り切れたときには 0 になる。しかし, 彼らは自分たちが知っている「キョリ=時間×速さ」という法則を振り子の運動に適用しているのである。すなわち, 速さが一定であるものとして振り子の運動を

解釈しようとしているため, 振れ幅が大きいということとは, キョリがあり時間がかかるのだと考えている。このような先行概念は非常に強固なものであるために, 「振り子の速さは一定ではない」というクリティカルな重要情報 (I3) が議論の俎上にのらず, 彼らは自分の予測に従った方向にデータを枉げて解釈 (Dunbar & Klahr, 1989) してしまった (J7~J10) と考えられる。

(4) 事例④「振れ幅(困難度高)」を実験の要因とした授業 II (7h) (TABLE 6) 7h では, 理論 (6h までに見出された規則性) とデータ (現実の振れ幅に関する現象) との整合性についての確認作業が行われた。その際, 第 1 に, 5h では使用されなかった「振り子の測定・集計の手続きを支援する学習ツール」としてのグラフの使用は, 実験から得られた数値をグラフ化することで, 「100 分の 1 秒単位の微少な時間が, どのように変化していくのか」を直感的・視覚的に把握させる役割を果たしていた (M1~M5) ことから, グラフは誤差を解釈するための認知的負荷を軽減させるツールとして有用であると考えられる。第 2 に, 5h では使用されなかった「シミュレーション」を導入した。このとき「シミュレーション」とは, 「説明対象となる現象を正確に予測し, 予測に基づいて実験を模擬し, 現象を考察する(背後の

TABLE 6 振れ幅の大きさ(困難度高)を変数とした実験II(7h)

(6hまでに見出されたコンピュータ上のグラフの規則性に従って実験をシュミレートし、現実の振り子現象と照合する)

M1: [ひもの長さが25cmで振れ幅] 20°のとき, [周期は] 何秒って予想する? <予測精度>

L1: [ひもの長さが25cmで振れ幅] 10°のとき, [周期は] 1.0秒だったから, 1.0秒で変わらないと思うけど…。Nはどう? <予測精度>

N1: 私も, [周期は] 1.0秒って予想する。<予測精度>

O1: ばくも, [周期は] 1.0秒にする。<予測精度>

<中略>

M2: (再生画面を見ながら) 1.55-0.55だから…。<直接体験・観察/数学的関係>

L2: 1.0秒。<直接体験・観察/数学的関係>

M3: やっぱ, [振れ幅10°と20°のときの] 周期は同じ! <予測精度>

L3: ねんのため, もう一回, 確かめてみよー。<反復性>

N2: そうだね。もう一回。(振れ幅20°の位置に振り子をセットする)(振れ幅20°のシュミレーションを反復する)<反復性>

<中略>

O2: やっぱ, 予想通り。<予測精度>

M4: [振れ幅が] 10°, 20°っていつて [周期は] 変わらないんだから, [振れ幅が] 30°は計算する((までもないよ))<予測精度>

L4: [振れ幅が] 30°も 1.0秒だよ, きっと。<予測精度>

N3: [振れ幅が] 20°のとき((見てて))気がついたんだけど…。10°のときより [振り子の動きが] 速かったよ。<直接体験・観察>

O3: 「えーっ。<その他>

L5: 「ほんとう? <その他>

O4: (顔を見合わせながら) もう一回, 見てみようよ。<反復性>

(2台の振り子を2台のノートパソコンにつないで並べ, 振れ幅が10°と20°の振り子を同時に運動させて比較する)

L6: [振れ幅が] 10°も20°も, ジャスト1秒。<直接体験・観察/数学的関係>

O5: ほんとだー。<その他>

N4: [振れ幅が] 20°のときの方が [振り子の動きが] 速かった。<直接体験・観察>

M5: だから, [振り子の動くキョリが] 長くて, 行ってもどってくのがいっしょになる。<直接体験・観察>

メカニズムを発見する)」ことである。具体的には、まず、1h~6hまでに見出されたデータに基づいて作成されたコンピュータ上のグラフ(FIGURE 1)の規則性から、「周期が1秒になる振り子時計」のひもの長さは25cmであることを読み取り、次に、グラフ上から算出されたひもの長さ25cmの振り子時計が実際に周期1秒になるか否かを調べるために、振れ幅の大きさを変数として実験を模擬し現実の振り子現象と照合する、という活動に取り組んだ。M1~L4の発話を見ると、このような学習環境下において「理論に基づくデータの予測」が反復される過程で、シミュレーションの直接体験を繰り返すことが、概念変化を促す重要な要因となることが推測された。こうした『予測精度』に言及する説明活動が盛んに行われることにより(TABLE 2), 5hで見落とされていた「振り子の速さは一定ではない」というクリティカルな情報が、明示的に理解されることへと繋がったのだと考えられる(N3~M5)。

(5) 事例⑤クラス全体の討論(8h)(TABLE 7) 8hでは、GISMLの「報告」の学習形態を用い、各グループでの実験結果がグラフや文章によって報告され、クラス全体での討論が行われた。この学習形態は、自らのグループの解釈をクラス全体に投げかけ、他のグループとデータが一致しているかを確かめると同時に、不十分な点については他のグループのアイデアを取り込むこ

とが可能になっている(P~R, S1~S2)。

教師は、児童が納得のいかない問題を取り上げ、「振れ幅が10°と20°の振り子を同時に撮影した映像」を用いて最下点の通過速度を比較させ、「振り子の速さは一定ではない」という振り子の現象を正しく理解するための視点を提供した(T8~T10)。この条件統制が厳密に行われた師範実験を利用しながらの信頼性の高い情報が、概念変化へと結びついている様子が分かる(Cn~Y)。この場面では、教師によるRevoicing(O'Connor & Michaels, 1993)が見出された。教師は、断片的でかつ相互に弱い関係にある1班と2班の発話をあえて取り上げ(T7), 1班と2班の発話をいずれもクリティカルな情報として「明確化」している(T11)。その上で、子どもたちから個別的に発せられたこれらのアイディアを、「振り子と周期の関係」を裏づける実証的根拠として「再定式化」している(T12)。

以上の議論過程から、他のグループのデータや理論を照合する『社会的参照』と、教師によって提供された視点を受け入れるという『情報の信頼性』の頻度が高くなった(TABLE 2)と解釈できる。

教育実践への示唆

本研究は、振り子の概念学習の単元を取り上げ、「児童が振り子の運動を測定・集計する際にその手続きを

TABLE 7 クラス全体の討論 (8 h)

- (ネットワーク上におかれた全ての班のグラフを、スクリーンに一齐に提示し、振れ幅と周期の関係について考えている)
- T1: これらの班のエクセルのグラフを比べて(グラフをポインターで指しながら), 規則性みたいのが見つけられた人? <社会的参照> (手を上げた児童を指名する)
- P: うちの班は, グラフが一直線になった。<数学的關係>
- Q: うちの班も同じ。言おうとしたこと言われたー。<社会的参照>
- R: どの班も, 振れ幅を変えても, 周期は変わってない。<社会的参照/数学的關係>
- T2: そう。どの班もよくグラフから規則性が発見できたね。<社会的参照/数学的關係> (子どもたち, うなづく)
- T3: はい, では。(グラフをポインターで指しながら)なぜ, こんなにグラフが一直線になったか, という説明。自信を持ってできるところはないかな? 手を挙げて。<社会的参照/数学的關係> (児童, 手が挙がらない)
- T4: じゃあ, 自信なくてもいいから。説明できる班はない? <社会的参照> (手を上げた児童を指名する)
- S1: 30 cmで, [ひもの] 長さが共通((だから))...? <数学的關係>
- U: それって, 振れ幅の説明になっていないじゃん。<その他>
- S2: (Uの顔を見て) えっ? そっか。<その他>
- T5: (1班に向かって) あなたたちの班はどう? <社会的参照>
- V: 振れ幅をどう変えても, 振り子のもどり方は変わらない...。<情報の複合性>
- T6: 振り子のもどり方は変わらない...。他の班の考えも聞いてみよう。(2班に向かって) 2班は? <社会的参照>
- W: [振れ幅を] 10°と20°と30°と大きくすると, [振り子の] 速さが変わる...。<情報の複合性>
- T7: うん。これね, 同じこと説明してるって, 分かる? 1班は[振れ幅を] 10°20°30°と変えても, 振り子のもどり方は変わらない。2班は振り子の速さが変わる, って説明。<社会的参照/情報の複合性> (児童は, 納得のいかない表情をしている)
- T8: どうもしっくりこない? じゃあ先生のビデオ, 見て。<その他> (振れ幅が10°と20°の振り子を同時に撮影した映像を再生する)
- T9: よく見て。振れ幅を変えてスタートさせます。スタートの位置が左が10°右が20°で, いい? 真ん中の線, 通過するタイミングを比べてね。<T8の続き> (児童はビデオの映像を凝視する)
- T10: はい。もう一度, 再生するよ。(VTRを再生する)<その他>
- Cn: すっごい。<直接体験・観察/情報の信頼性>
- X: 20°の方が速い。<直接体験・観察/情報の信頼性>
- Y: 右の方が通過する時速い。<直接体験・観察/情報の信頼性>
- <中略>
- T11: つまり, 1班が言ってた, 振れ幅を変えても, 振り子のもどり方は変わらない。2班の10°20°30°と変えたら, 振り子の速さが変わる, っていうのは, けっきょく同じ振り子の規則性を話してたことになるよね? <社会的参照/情報の複合性>
- T12: 振れ幅が大きいとき, 一点から一点までの振り子の動きが速くなる。振れ幅が小さいとき, 振り子の動きがおそくなる(PC上に規則性を提示する)。だから, 振り子のもどり方は変わらない。分かったかな? <直接体験・観察/情報の複合性>
- Cn: よく分かった。(児童, 納得した様子でうなづく) <直接体験・観察/情報の信頼性>

支援する学習ツール」と「学習者が協同で能動的に学習に取り組む活動形態としてのGISML」を組み合わせた学習環境をデザインした。以下, これらの学習環境下で生成された具体的な談話過程を, 説明活動に焦点を当てて分析することで, 理解の困難度ごとに, いかなる説明活動により概念変化が引き起こされるのかを考察する。

まず, 「理解の困難度が低い課題(ひもの長さ)」の場合, 1hのターザンロープにぶら下がるという体感を通して振り子の規則性を意識化させたプロセスにおいて, 『先行概念』の説明活動が盛んに行われていた。ターザンロープの振り子運動(ひもの長さを長くすると周期はおそくなる)を, 先行概念と関連づけ, 個人が既に持っている信念や経験の範囲内で理解可能なことに気付かせることで, 科学的概念は容易に受け入れられることが示唆された。

次に, 「理解の困難度が中程度の課題(おもりの重さ)」の場合, 4hでは物理現象と先行概念との間にズレを

感じて, 納得がいくまで重さを変えて何度も観察・実験を繰り返し, データ間の整合性を吟味する, という『反復性』の説明活動が盛んに行われていた。同時に4hでは, 振り子の物理現象を, いったん数の領域へマッピングし, 数の領域で微少な数値の変化の「規則性」を探索した上で, 再び物理現象に立ち返る, という『数学的關係』による理解の説明活動が盛んに行われていた。その際には, 小学生の実態に応じて精緻なデータが蓄積されるように, 実験手続きを支援する「学習ツール(Figure 1)」は非常に有用であった。『反復性』, 『数学的關係』の思考過程を経て, 科学的概念が受け入れられていくことが示唆された。

最後に, 「理解の困難度が高い課題(振れ幅の大きさ)」の場合, 7hと8hにおいて概念変化が見出された。7hでは, 学習者がシミュレーションを繰り返す過程で, 「理論」に基づき, 対象となる現象をどの程度正確に「予測」できるか, という『予測精度』に言及する説明活動が盛んに行われていた。このとき, 「予測」と

は、これからどのような現象が起こるかを考えることであるが、これに対し、「理論」とは、予測と一致するあるいは一致しない現象に直面した時に、なぜそのような現象が起こったのかを、これまでの経験や観察・実験を根拠にしながら考えることである (Herrenkohl, Palincsar, DeWater, & Kawasaki, 1999)。7h で用いた学習ツール (FIGURE 1) は、<予測→データ→理論>→<予測→データ→理論>…と、何度も予測に立ち返り、予測精度を上げて「理論を解釈し直す」、というシミュレーションを繰り返すことを容易にした。このシミュレーションは、重要な科学的概念 (significant scientific conception ; 「振り子の速さは一定ではない」) に目を向ける契機を与え、先行概念 (「振り子の速さは一定である」) の変化に重要な働きをもつ可能性が考えられる。

さらに、本研究では、GIsML の学習形態を用いて、「小集団」での観察・実験や討論を通じた理論構築を踏まえた上で、8h において「クラス全体の討論」で理論を再構築する場を設定した。8h のクラス全体の討論の場は、理論とデータを関連づける「理論チャート (theory chart)」を使用した。この理論チャートは、成員間相互の思考の参照点 (成員たちの考えを対象化し、相互に比較するための場所) として有用な役割を果たしていた。すなわち、成員間において理論チャートとして蓄積した 1h~7h の小集団における毎時間の実験履歴をレビューすることで、それまでの「予測、結果、8h に至るまでの考えの修正過程」等を可視化することができた。この理論チャートを拠り所として、クラス全体の討論過程では、この小集団が協同で能動的な学習を通して蓄積したデータと、大多数のグループが提示したデータとは一致しているか、理論の修正の方向性は正しいか否か、を確かめるという『社会的参照』の説明活動が能動的に行われていた。

また 8h では、教師からの情報を信頼する、という『情報の信頼性』の説明活動が盛んに行われていた。全体の討論において教師は、子どもたちから個別的に発せられた独自の理論 (= 振り子の現象を単一の見方で固定して解釈しようとする考え方) を「明確化」した上で (T7)、複数の声を統合して多様な解釈の可能性を含む考え方へと「再定式化」し (T11)、科学的な理論へと再構築した。こうした個別の理論間の首尾一貫性を見出しつつ、振り子の現象を多面的に追求しそれらの多様な解釈の可能性を読み取る、という科学的思考の足場作りを行うことは、子どもたちのもつ強固な先行概念を科学的な概念へと変化させ得る可能性を持つものと考えられる。

本研究では、振り子の概念学習の單元において、各課題の困難度に応じて、重要な役割を担う説明活動を明らかにした。このようなことが明らかになることで、単に、どのような相互作用が生じている議論が学習を促進するかの示唆に留まらず、実際の理科授業において、教師がどの課題でどのような説明活動を促せば理解が促進されるのか、という極めて実践的な知見が提言されたと言えよう。

引用文献

- バーライン D.E. 橋本七重・小杉洋子 (訳) 1970 思考の構造と方向 明治図書 (Berlyne, D.E. 1965 *Structure and direction in thinking*. New York : John Wiley.)
- Brewer, W.F., Chinn, C.A., & Samarapungavan, A. 2000 Explanation in scientists and children. In F.C. Keil & R.A. Wilson (Eds.), *Explanation and cognition*. Cambridge, MA : MIT Press. Pp. 279-298.
- Chan, C., Burtis, J., & Bereiter, C. 1997 Knowledge building as a mediator of conflict in conceptual change. *Cognition and Instruction*, 15, 1-40.
- 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., Roth, W., Komorek, M., & Wilbers, J. 2001 Fostering conceptual change by analogies between Scylla and Charybdis. *Learning and Instruction*, 11, 283-303.
- Dunbar, K., & Klahr, D. 1989 Developmental differences in scientific discovery processes. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds.), *Complex information processing : The impact of Herbert A. Simon*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum. Pp.109-143.
- Hashweh, M.Z. 1986 Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8, 229-249.

- Hashweh, M.Z. 1988 Descriptive studies of students' conceptions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, **25**, 121-134.
- Herrenkohl, L.R., Palincsar, A.S., DeWater, L.S., & Kawasaki, K. 1999 Developing scientific communities in classrooms : A sociocognitive approach. *Journal of the Learning Sciences*, **8**, 451-493.
- 梶田正巳・塩田勢津子・石田裕久 1980 小・中学校における指導の調査的研究Ⅰ：グループによる学習指導の実態 名古屋大学教育学部紀要, **27**, 147-182.
- 加藤尚裕 2000 振り子の特性に関する概念形成の研究—自由試行を中心にして— 理科教育学研究, **40**, 1-11. (Kato, T. 2000 Characteristic concept formation and teaching the principles of the pendulum in the elementary school : The case of "messing about". *Journal of Research in Science Education*, **40**, 1-11.)
- 小林辰至 2002 実験観察に対する目的意識をどのように醸成するか 理科の教育, **51**, 東洋館出版社 Pp.4-7.
- 久保田善彦・西川 純 2004 教室全体の発話の成立に関わる子どもの相互作用—ローカル発話との関連から— 理科教育学研究, **45**, 9-17. (Kubota, Y., & Nishikawa, J. 2004 Whole-class discourse consisting of peer collaborations supported by local discourses. *Journal of Research in Science Education*, **45**, 9-17.)
- Limon, M. 2001 On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change : A critical appraisal. *Learning and Instruction*, **11**, 4-5, 357-380.
- Mason, L. 2001 Introducing talk and writing for conceptual change : A classroom study. *Learning and Instruction*, **11**, 305-329.
- 文部省 1999 小学校学習指導要領解説理科編
- O'Connor, M.C., & Michaels, S. 1993 Aligning academic task and participation status through revoicing : Analysis of classroom discourse strategy. *Anthropology and Education Quarterly*, **24**, 318-335.
- Palincsar, A.S. 1986 The role of dialogue in providing scaffolded instruction. *Educational Psychologist*, **21**, 73-98.
- Palincsar, A.S., & Brown, A.L. 1984 Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction*, **1**, 117-175.
- Palincsar, A.S., Collins, K., Marano, N., & Magnusson, S.J. 2000 Investigating the engagement and learning of students with learning disabilities in guided inquiry science teaching. *Language, Speech, and Hearing Services in the Schools*, **31**, 240-251.
- 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.
- 隅田 学 1996 振り子の運動の実験・観察に関する認知的考察 科学教育研究, **36**, 17-27. (Sumida, M. 1995 Cognitive insights into practical work on pendulum's motion in school science. *Journal of Research in Science Education*, **19**, 111-120.)
- 高垣マユミ・中島朋紀 2004 理科授業の協同学習における発話事例の解釈的分析 教育心理学研究, **52**, 472-484. (Takagaki, M., & Nakajima, T. 2004 Children's discussion during cooperative learning in a science class : Case study and interpretive analysis. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **52**, 472-484.)
- 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*. Auckland, NZ : Heinemann. Pp.15-27.
- Viennot, L. 1979 Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, **1**, 205-221.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E. 2001 Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, **11**, 381-419.

(2005.3.8 受稿, '06.5.24 受理)

Designing a Learning Environment for Science Education : GIsML and the Inclusive Support Tool for Understanding the Motion of Swinging Pendulums

MAYUMI TAKAGAKI (DEPARTMENT OF CHILD STUDIES, KAMAKURA WOMEN'S UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL),
HIROTOSHI TAHARA (ELEMENTARY SCHOOL ATTACHED TO KAMAKURA WOMEN'S UNIVERSITY) AND EIJI TOMIDA (FACULTY OF
HUMAN-ENVIRONMENT STUDIES, KYUSHU UNIVERSITY) JAPANESE JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 2006, 54, 558-571

The aims of the present study were to propose a learning environment for understanding the motion of simple pendulums, and to identify discursive processes that facilitate conceptual change in learners. Participants were fifth graders ($N=10$ boys, 20 girls ; average age 11.8 years) in an elementary school in Japan. Instruments used included Palincsar, Collins, Marano, & Magnusson's (2000) GIsML, and the present authors' Inclusive Support Tool for Understanding the Motion of Swinging Pendulums. The results indicated that the type of explanation that the pupils generated depended on the difficulty level of the task. With relatively easy tasks, the pupils' explanations tried to relate their observations in the experiment to their prior knowledge. With moderate level tasks, their explanations referred to replication of the experiment's results, and also included formal representations for principles of the motion of pendulums, mapping the results of the experiments onto a mathematical model. With relatively difficult tasks, the pupils' explanations referred to the precision of their observations having helped to coordinate their predictions and the results more rigorously. In the whole-class discussions introduced in the last phase of the unit, the most common explanations referred to other groups' data and hypotheses, or quoted reliable resources, such as the teacher or the textbook, as a framework for the pupils' integrated understanding.

Key Words : conceptual changes, design of learning environments, GIsML, motion of swinging pendulums, elementary school pupils