

コンピュータ使用が理科協同学習の 問題解決に及ぼす影響

高垣 マユミ・田原 裕登志*

Effect of Computer Use on the Problem Solution Process in Cooperative Learning Class of Science

TAKAGAKI Mayumi・TAHARA Hirotooshi*

Abstract

This study investigated how the ideal voltage source-battery model, a 3D CG learning tool we developed helped 28 fourth-year elementary school children master a naive concept (the attenuation model) applicable to a simple electric circuit. Focusing on the process of thinking, we investigated practically how questions in scientific classes were solved cooperatively by providing the computer-aided 3D CG learning tool.

Analysis of utterances by learning group members after viewing the 3D CG learning tool and drawings of the hypothesis model revealed two teaching effects on mastering the naive concept (the attenuation model): reduction of cognitive load and visualization of thought. This indicates that introduction of computer-aided cooperative learning with the 3D CG learning tool into science education may be effective.

Keywords: computer-aided 3D CG learning tool, cooperative learning, electrical phenomena

キーワード：コンピュータ，3D CG教材，協同学習，電気現象

1. 問題の所在

1. 単純電気回路に適用する素朴概念

電気領域において、子どもたちが単純電気回路に適用する素朴概念の種類、及び年齢によるその出現頻度の横断的变化については、これまでに広範な地域 (e.g., England, France, New Zealand) の幅広い年齢層 (小学生～高校生) を対象とした研究によって明らかにされてきている (cf. Shipstone, 1987, for details)。単純電気回路に子どもが適用する素朴概念には、unipolar model

(単極モデル)、attenuation model (減衰モデル)、clashing model (衝突モデル) 等があり (FIGURE 1)、近年、日本における追試的研究においても、3種類の素朴概念のいずれかを示す子どもが存在することの妥当性が検証されている (森本・坂本, 1991; 脇元, 1992)。先行研究の知見を踏まえ、本研究では、子どもたちが単純電気回路に適用する「素朴概念」を克服するための理科授業のデザインを考案したいと考える。さらに、考案した理科授業を実践しその教授効果を検討す

* 本学初等部

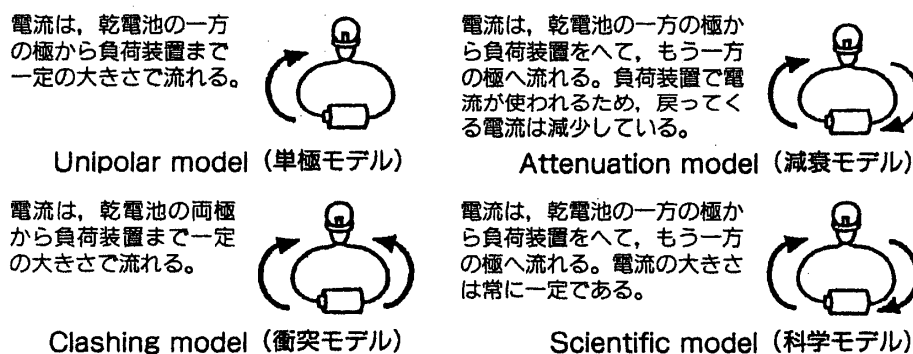


FIGURE 1 単純電気回路に適用する電流モデル

ることで、電気領域における従来の素朴概念研究に対し新たな知見を提供したい。

2. 電気現象のモデル化

「小学校学習指導要領（1998）」小学4年生 B (3) の電気単元における電気の取り扱いについては、「乾電池や光電池に豆電球やモーターなどをつなぎ、乾電池や光電池の働きを調べ、電気の働きについての考えをもつようにする」と記述されている。この記述からも分かるように、小学4年生において、目に見えない「電気の働きについての考えをもつ」という思考活動を理科授業で追求していくことは、重要な課題であると考えられる。

電気現象の特徴は、花や虫といった生物、あるいは鉄や食塩といった物質とは異なり、その実態が五感を通して直接に認識できないことにある。従来から、こうした特徴をもつ電気現象をつかさどる実態そのものを理解するためには、電流の振る舞いや概念構造をモデル化し、具体的なイメージを形成させることが有効であることが指摘されている（市川・戸北・堀，1995；森本・坂本，1991）。その理由として、一つには、実態が五感を通して直接に認識できない科学的現象をモデル化することは、学習者に、習得対象となる科学的現象（target domain）を親しみのある既存知識の領域（base domain）と関連づけて表象することを可能にすることが挙げられる（Duit, 1990；Simon, 1984）。二つには、科学的現象にアナロジーを適用することで、学習者自身では認識されなかった異なった観点から、現象の構造や振る舞いの新しい関係を見出すことを可能にすること

が挙げられる（Gick & Holyoak, 1983；Clement, 1988）。こうした従来研究のアプローチはいずれも、初心者とみなされた学習者が、豊富な知識を有している熟達者（研究者や教師等）によってもたらされた「理想的なアナロジー（teacher-provided analogies）」を受け入れることで、科学的現象の理解が促進されることを指摘している。そこで本研究では、「理想的なアナロジー（teacher-provided analogies）」として、新規な3D CGによる電流モデルを考案し授業に導入することで、当該モデルの有効性を検討したいと考える。

3. コンピュータ使用による協同学習

近年、科学教育において、協同学習における学習者の理解の促進に対する関心が高まってきている（日本理科教育学会，2000；三宅，2000；Berkowitz & Simmons, 2002）。では、協同学習においてコンピュータを介在させた場合には、いかなる問題解決が生じるのであろうか。例えば、画用紙上で協同学習を行った場合を考えると、複数名での同時描画が可能となる。このとき、個別で行った作業を事後に統合しようとする、個々の成員の作業の成果をまとめきれないため困難を伴うという事態が生じる（Healy, Pozzi, Hoyles, 1995）。これに対し、コンピュータ上では実質上作業するのは1名であるため、事後的な修正も協同で行われ得る。コンピュータは「オープンな道具」である（Hutchins, 1990）という特徴上、マウス操作行為は成員に常にモニタされ、その人が何を行っているのか、活動をどのように理解しているのか、ということが自明にされるからである。

本研究では、こうした特徴を持つコンピュータの介在が、グループ成員間の協同的問題解決の遂行に、直接的にどのような影響を与えるのかを実践的検討を通して明らかにしていきたいと考える。

II. 目的

本研究では、小学4年生を対象に、子どもたちが単純電気回路に適用する「減衰モデル (attenuation model)」を克服するための「電池モデル 3D CG 教材 (ideal voltage source-battery model)」を考案する。コンピュータを媒介として「電池モデル 3D CG 教材」を提示することで、グループ成員間の協同的問題解決がどのように行われるのか、その思考活動のプロセスに着目することで、教授効果を実践的に検討する。具体的には、グループ成員間の相互作用において、発話や行動が生じた背景や要因を捉える質的分析（解釈的分析）を行う。

III. 方法

1. 対象児

神奈川県内の小学校児童4年生28名。

2. 手続き

授業展開は、事前テスト、授業、事後テストの順に実施された。事前・事後テストは同一の内容であり、いずれも、乾電池とモーターが描かれている図に、自己生成アナロジーのモデルを記述する形式（描画法による）で行われた。なお、事前テストにおいて30名がモデルに描き込んだ図及び記述した内容を分析した結果、メンバーすべて

(4名)が「減衰モデル (attenuation model)」(FIGURE 2)を記述していたグループを、分析対象として抽出した。

授業は、理科専科(授業全体の進行役)と担任の教師(各グループの個別対応役)によるチーム・ティーチングの形式で行われた。実施時間は180分(90分間×2単位)であった。授業の内容については、3台のビデオカメラ、及び1グループに1台のデジタルボイスレコーダーを設置し、映像・音声をすべて採取した。

なお、モデル作成の道具として、各グループに1台のPCを設置した。アプリケーションは使い慣れている「ペイント」を用いた。このアプリケーションは、作成用にペンタブレットを用いて、ノートに描くような感覚で作成することができる。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、情報を共有できるようにした。また、リモートソフトを使うことで、教師は、各グループの活動を見守り操作上のトラブルへの対応やサポートを行ったり、クラス全体で共有ができ、プロジェクターに投影を行えるようにした。コンピュータ操作においては、児童自らが記録・保存が簡単にでき、保存したものを再生・修正・部分コピーが容易にできるように設定した。対象グループの座席位置をFIGURE 3に示す。すべての成員がモニタに向かって座るという空間的配置により、成員は互いの動作ではなくモニタを注視する。そのため、ペンタブレット操作者の行為は可視化され、操作していない者からの監視やフィードバックを受け易

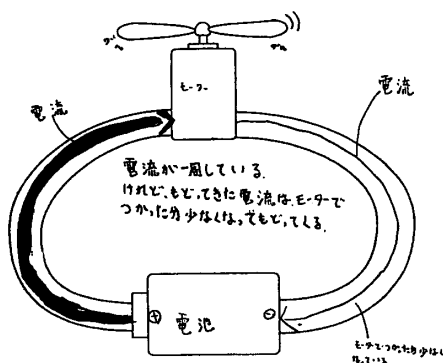


FIGURE 2 子どもの記述した「減衰モデル」の例

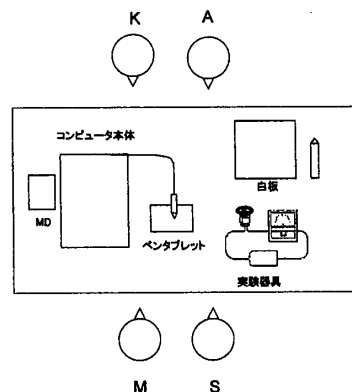


FIGURE 3 グループの座席位置

くなるよう考慮した。

3. 電流モデル 3D CG 教材

使用ソフトは、Light Wave (3D CG作成ソフト) と Power Point である。作成手順は、以下の通りである。

- ① object の作成 (電池・パイプなど)
- ② 3D 上での object の組み立て
- ③ animated cartoon の作成・変換 (AVI 形式)
- ④ slide の作成 (movie を Power Point 上に並べる)

「電池モデル」はあくまで理想電圧源であるため、理想状態を 3D CG に作り上げた。2次元では不可能な視点の移動が可能になり、様々な角度から見ることによって、事象間の振る舞いや事象間の因果関係が捉えやすくなる。なお、水流は通過する速度が重要である。このため、2次元ではなく、3次元で時間軸の変化を表した方が理解がし易くなると考えた。

本研究で考案した「理想電圧源 (電池) モデル」の特徴は、以下の通りである (TABLE 1)。

TABLE 1 「単純電気回路」と「理想電圧 (電池モデル) の回路」との対応づけ

<電池 1 つとモーター 1 つの回路>	<理想電圧源 (電池) モデルの回路>
電池	理想電圧源 (ポンプ式電池)
電圧	水位差
電流	水流
抵抗 (モーター)	水車
導線	パイプ

「理想電圧源モデル (以下電池モデル)」では、「パイプを流れる水流 (単位時間、単位面積あたりに通過する水の量)」=「電流」、 「水位 (水が流れ落ちるときの高さ)」=「電位」、 「電池での水上昇・モーターでの落下」=「電位差」が、それぞれ対応づけられる (FIGURE 4)。

現在、中学校の教科書では、電流・電圧概念の学習に「水流モデル」、 「列車 (トロッコ) モデル」、 「自由電子モデル」等が使用されている (TABLE 2)。しかし、「水流モデル」は、「電流の循環」

を説明できないこと、「列車 (トロッコ) モデル」、 「自由電子モデル」は、電圧を、列車 (または自由電子) を動かす力と対応づけるため、「動力源」が特定できないこと、等が問題点として指摘されている。本研究で考案した「電池モデル」は、3つの変数、すなわち、物理量①「電流=水流 (速度)」、物理量②「電位=水位 (位置エネルギー)」、物理量③「電位差=電池での水上昇・モーターでの落下」を扱うことで、従来のモデルのいずれの問題点も改良されている。

4. 授業構成 (FIGURE 5)

III. 結果と考察

1. 事後テスト

事前テストにおいては、4名すべてが「減衰モデル (attenuation model)」を記述していたが、事後テストにおいては、4名すべてが「科学モデル (scientific model)」を記述した。3D CG 教材視聴前と視聴後において、それぞれ、グループ成員間で話し合っ作成した仮説モデルの比較を FIGURE 6 に示す。これより、本研究で考案された理科授業は、子どもたちが単純電気回路に適用する素朴概念 («減衰モデル (attenuation model)») を科学的概念 («科学モデル (scientific model)») へ変容させる上で有効であることが示されたと言える。

2. 発話の解釈的分析

では、「電池モデル 3D CG 教材」を視聴後、コンピュータを媒介にして、どのような協同学習が行われたのであろうか。グループ成員間のトランスクリプト (TABLE 3) に基づき、発話内容の解釈的分析を行う。ここでは、思考過程に影響を及ぼすと思われる特徴的なシーケンスを抽出することを考慮した。なお、C は分析対象としたグループ 4 名の子どもであり、T は教師を示す。

(1) 認知的負担の軽減 (思考の節約)

本研究では、モデル作成の道具として、各グループに 1 台のコンピュータを設置した。成員間にお

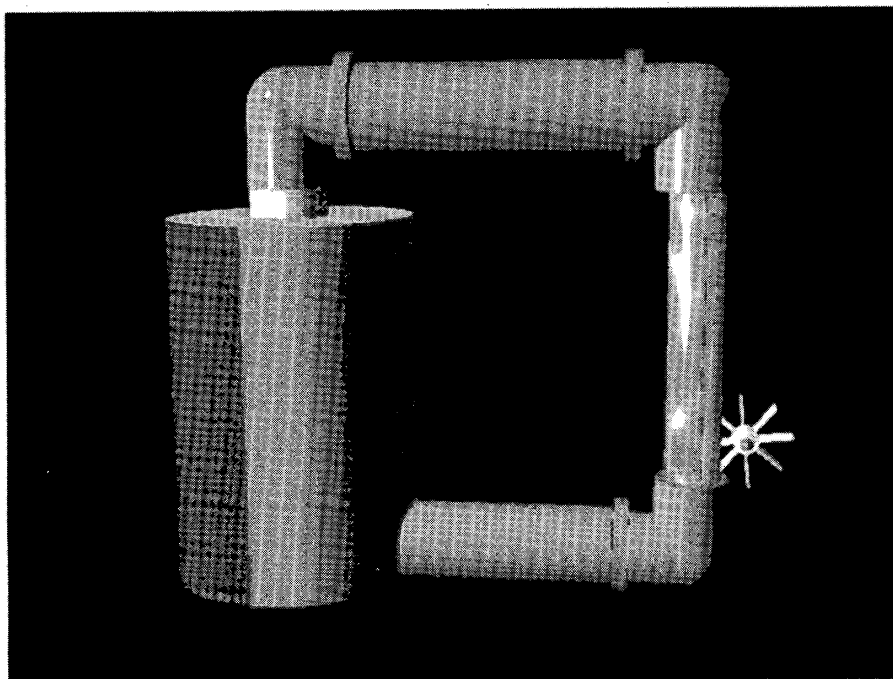


FIGURE 4 理想電圧源モデル (3D CG教材)

TABLE 2 単純電気回路を説明するモデル

水流モデル	列車(ドロッコ)モデル	自由電子モデル

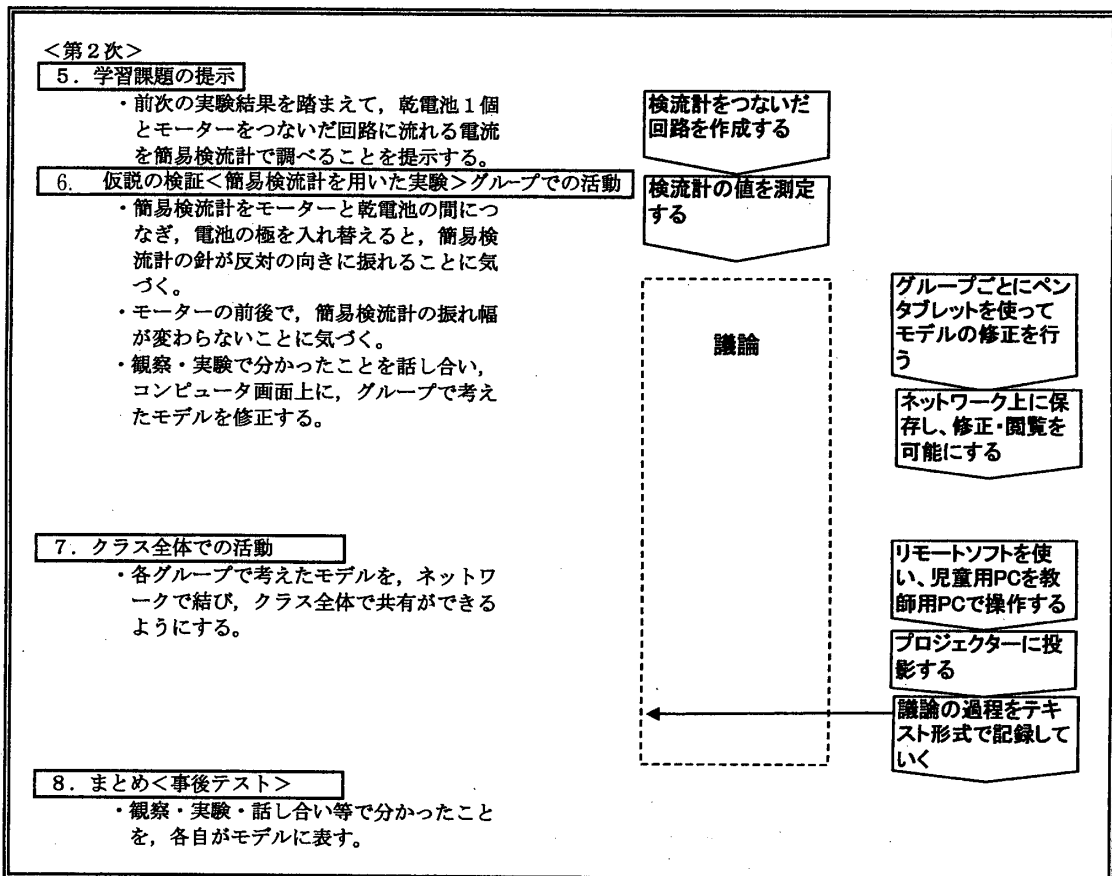
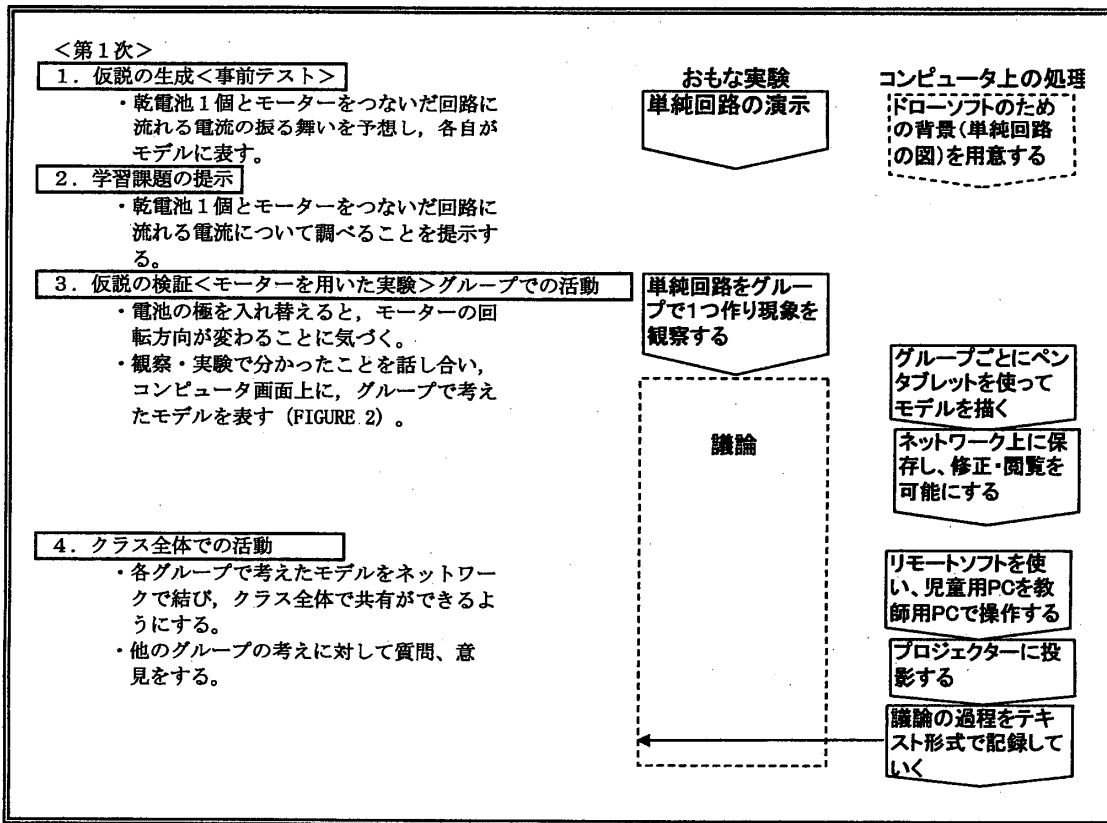


FIGURE 5 理科授業の構成

いてコンピュータ画面に表示されたモデルをめぐるやりとりを見ると (e.g., C21, C22, C23, C24), コンピュータ上では実質的に作業するのは1名であるため, ペンタブレットの操作行為は, 操作者を含む4名に常にモニターされながら共同作業が進行していることが分かる。成尾・中山 (2002) によれば, マウスよりもペンタブレットを用いた方が描画活動は速やかになることが示されているが, TABLE 3 の一連の発話から (e.g., C25, C26, C27, C28, C29), ペンタブレットによる描画活動は速やかに行われ, その進行手順は, 非操作者からの言葉による関与や支援を受けながら共有化がなされていく様相が読み取れる。さらにこの文脈において, コンピュータ画面上のモデル作成は, 思考スタイルの異なる4名の協同学習によって行われている。そのため, その作業過程においては, 成員間の軋轢を避け合意形成に達するために, 相互に役割を分化することで各人の認知的負担が軽減され (思考の節約), コンピュータ画面上のモデル作成 (『履歴の再生 (C2) →モデルの評価 (C3~C9) →モデルの修正 (C20~C33)』) を, リアルタイムで行うことを可能にしている。

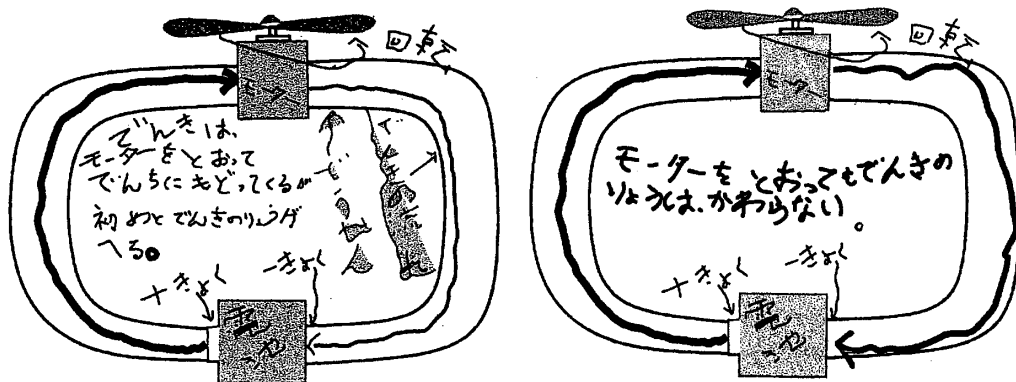
これより, 児童によるコンピュータ操作を介する協同学習は, 問題解決のプロセスに「認知的負

担の軽減 (思考の節約)」という効用をもたらすと考えられる。

(2)思考の可視化

TABLE 3 における一連の発話は (e.g., C17, C18, C19), 「3D CG 教材 (電池モデル)」により提示された電流, 電圧等の各事象の振る舞いが, リアル性を有して子どもたちの生活世界と結びつけられ, 各人にもっともらしい (plausible) ものとして受容されていることを示している。この文脈において, 教師が提示した「3D CG 教材 (電池モデル)」は, 成員間の理解を共有化し合う根拠を参照するための資源 (resource) として有効に働き, 成員の思考を可視化する, という効用をもたらしていることが分かる。

この共有化された資源 (「3D CG 教材 (電池モデル)」) を参照点とする議論の過程において, 「相互交流的対話: transactive dialogue (Berkowitz & Gibbs, 1983)」の中の①「矛盾 (conflict): 相手の意見の中で疑問な点や説明部分で大事な点が抜けていることを指摘し合う (e.g., C8, C9, C10, C11, C12)」, ②「精緻化 (elaboration): 相手の意見を言い直し, よりはっきりさせるために付け加える (e.g., C13, C14, C15, C16)」が活発に展開された。自分の意見を他者の意見と比較することで自らの論理の矛盾に



< 3D CG教材視聴前 >

「減衰モデル」

< 3D CG教材視聴後 >

「科学モデル」

FIGURE 6 コンピュータで作成した電流モデル

TABLE 3 3D CG教材の提示及び視聴後のグループの話し合い

- T1：本物の電気回路に近づいてみましょう。すると、こんな感じになります。
(電池モデル 3D CG教材をプロジェクトに映し出す)
- C1：うあー！ 本物みたい。
- T2：「電池モデル」というモデルを作ったんだけど。電流が回ってきて高い所から落ちてモーターが回る。なぜ電池がなくなるのか、っていう仕組みは、こういう風に説明するとよく分かる (FIGURE 4)。ずーっと使っていると、乾電池もだんだんエネルギーがなくなってくる。持ち上げるエネルギーがだんだんなくなってくると、ビューンと高さが減っちゃいます。この高さの差のことを「電圧」といいます。
(板書する。「電流-水の流れ」「電圧-水の高さの差」)
そうすると、電圧の高いところからのほうが勢いあるよね。ダムとかでもそうだよ？ 浄水場とか社会で勉強しているでしょ？だから、川でもそう。という流れです。
電池がだんだんなくなってきた、高いところから落ちてくる勢いがなくなったら、水はやがて止まってしまう。ま、これは一つの説明の仕方。例え話を作ってみました。
[中略]
- C2：ぼくたちの班のモデル、もう一回見てみよう。(コンピューター画面上に履歴を再生する。)
- C3：前までは、グルグル回って電流が減っていきって考えたけど…。
- C4：電流の量、調べたら？
- C5：+極からモーターまでの電流は、計ったら0.8。
- C6：モーターから-極までも、計ったら0.8。
- C7：つまり、行きも帰りも0.8で同じ。
- C8：ってことは？
- C9：量は減らない。
- C10：でもさ、何で、電池が減るんだ？
- C11：電流の量は減らないのに、何で電池が減るんだろう？
- C12：えっ？
- C13：今の電池モデルで、電池のエネルギーがなくなるからっていった。
- C14：電池のエネルギー？
- C15：電池がエネルギー使い果たすと、水持ち上げられなくなるってことだよ。
- C16：そっか。電池の高さの差がなくなるから、水は流れなくなるんだ。
- C17：今の電池モデル、最後エネルギー使い果たしたって感じしたよね。
- C18：うん。ウィーンって音出してる感じした。
- C19：迫力あったよね。
[中略]
- C20：ぼくたちの班のモデル、書き直そう。
- C21：意味ないでしょ、この太い線。
- C22：うん。出ていく電流の矢印も、帰りの矢印も、同じ太さに直そう。
- C23：全部消す？
- C24：向きと線の太さだけ違ってると、そこだけ書き直そう。
- C25：いっかいこれ消すね。
- C26：ぐるぐる回って書いておくね。
- C27：私、0.8って書き足すね。
- C28：方向は、+から-。
- C29：こことここ、つなげて。
- C30：こんな感じ？
- C31：あ、もうちょっとかな。
- C32：その辺でいいよ。
- C33：いい？

注. () 内は、教師または学習者の行為を示す。

気づき、自分の論理をより精緻化させていく「内省 (reflection)」の過程を経て、「減衰モデル」が克服されていく様相が読み取れる。

これより、教師による「3D CG教材 (電池モデル)」の提示は、子どもたちが単純電気回路に適用する「減衰モデル」を「科学モデル」へと変容させることを支援する教授法として有効であるものと考えてよいであろう。

IV. まとめと今後の課題

本研究では、3D CG教材視聴後のグループの成員間における発話分析を行った結果、コンピュータ使用が理科協同学習の問題解決過程に及ぼす影響として、新たに以下の2点が明らかにされた。

1. 「認知的負担の軽減」: コンピュータに表示されたモデル図は、個人に閉じたものではなく、成員間の思考を交換し合う媒介として機能する。モデル図作成の作業過程においては、成員間の思考スタイルの違いが役割の分化を引き起こし、各人の認知的負担が軽減される (思考の節約) という効用が生まれる。

2. 「思考の可視化」: コンピュータに提示された3D CG教材 (電池モデル) は、電気現象の振る舞いにリアル性を吹き込む。その結果、3D CG教材 (電池モデル) は、根拠を参照するための資源 (resource) として位置づけられ、成員間相互の思考が可視化される。共有化された資源を参照点とする議論の過程で、「矛盾」「精緻化」等の「相互対話的対話 (transactive dialogue)」が生成され、自らの論理の再吟味を通して「減衰モデル」が克服されていく。

以上より、その実態が五感を通して直接に認識できない物理概念を取り扱う理科学習には、コンピュータを導入した協同学習の機会を取り入れ、リアリティーの高い動画 (3D CG教材) を提示することが効果的であることが示唆されたと言える。今後の課題として、本研究においては *attenuation model* (減衰モデル) の克服を検討したが、本研究の知見の一般化可能性を検証するためには、子どもたちが単純電気回路に適用する、*unipolar model* (単極モデル)、*clashing model* (衝突モデル) をも克服するための適切な教授的

援助を考案していく必要があると考える。

引用文献

- Berkowitz, M.W., & Simmons, P. 2002 Integrating science education and character education: The role of peer discussion. In D.Zeidler (Ed.), *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, Pp. 2-16.
- Berkowitz, M.W., & Gibbs, J.C. 1983 Measuring the developmental features of moral discussion. *Merrill-Pelmer Quarterly*, 29, 399-410.
- Clement, J. 1998 Observed method for generating analogies in scientific problem solving. *Cognitive Science*, 12, 563-586.
- Duit, R. 1990 On the role of analogies, similes, and metaphors in learning science. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Atlanta.
- Gick, M.L., & Holyoak, K. J. 1983 Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- Healy, L., Pozzi, S., & Hoyles, C. 1995 Making sense of groups, computers, and mathematics. *Cognition and Instruction*, 13, 505-523.
- Hutchins, E. 1990 The technology of team navigation. In J. Galegher, R.E.Kraut, and C.Edigo (Eds.), *Intellectual teamwork: social and technological foundations of cooperative work*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 191-220.
- 市川英樹・戸北凱惟・堀哲夫 1995 電流回路のモデルによる中学生の認知的方略の育成 日本理科教育学会研究紀要, 36, 21-31.
- 三宅なほみ 2000 建設的相互作用を引き起こすために植田一博・岡田猛 (編著) 協同の知を探る 一創造的コラボレーションの認知科学— 共立出版. 40-45.
- 森本信也・坂本憲明 1991 中学生の電流と電圧概念理解に関わるプロダクションの分析とその意義について 日本理科教育学会研究紀要, 32, 71-79.
- 日本理科教育学会 (編) 2000 子どもの協同的な学び

と理科授業理科の教育. 東洋館出版社.

Simons, P.R.J. 1984 Instructing with analogies. *Journal of Educational Psychology*, 76, 513-527.

Shipstone, D.M. 1987 A study of students' understanding of electricity in five European countries, *International Journal of Science Education*, 10, 303-316.

脇元宏治 1992 単純な電気回路に適用される小学校児童の電流モデルの状況依存性 日本理科教育学会研究紀要, 32, 49-60.

要 旨

本研究では、小学4年生28名を対象に、子どもたちが単純電気回路に適用する素朴概念（減衰モデル）を克服するための3D CG教材「理想電圧源（電池）モデル」を考案した。コンピュータを媒介として3D CG教材を提示することで、理科授業の協同的問題解決がどのように行われるのか、その思考活動のプロセスに着目し、実践的検討を行った。

3D CG教材視聴後のグループの成員間における発話分析、及び描画法を用いた仮説モデルの分析を行った結果、素朴概念（減衰モデル）が克服される教授効果として、新たに、「認知的負担の軽減」、及び「思考の可視化」という2点が明らかにされた。これより、3D CG教材を取り入れたコンピュータによる協同学習の機会を、理科教育の中に導入することは有効である可能性が示唆された。

(2003. 10. 21 受稿)