

# 中学理科における Error-based Simulation を 用いた授業実践

—「ニュートンに挑戦」プロジェクト—

今井 功\*, 東本 崇仁\*\*, 堀口 知也\*\*\*, 平嶋 宗\*\*\*\*

## A Classroom Practice of Error-based Simulation to Improve Pupils' Understanding of Mechanics

—The "Challenge to Newton!" Project—

Isao IMAI\*, Takahito TOUMOTO\*\*, Tomoya HORIGUCHI\*\*\*, Tsukasa HIRASHIMA\*\*\*\*

This paper reports on the practice of a lesson in a junior high school in which Error-based Simulation (EBS) was used to help students learn elementary mechanics. EBS simulates the motion of a mechanical system assuming that students' erroneous solutions were correct. EBS has been proved to be effective in laboratory experiments. Twenty-four students participated in the lesson lasting 110 minutes and learned mechanics by using the system which generates and shows EBS. They also worked on the pre-/post-/delay-tests and were interviewed by the teacher after the lesson. The results are as follows: (1) Through the highly motivating lesson activities, the students discovered the knowledge of mechanics by themselves, (2) It was highly effective in improving the students' performance in solving mechanics problems. Furthermore, this improvement was maintained, and (3) the usability of the system proved sufficient for practice in classroom lessons. These results are encouraging for the practical use of EBS in junior high school lessons.

キーワード：Error-based Simulation (EBS), 力学, Newton の第三法則, 授業実践, 中学理科

### 1. はじめに

初等理科教育における困難の1つは、生徒が持つ強固な前概念——日常経験から得た科学的には誤った知識——が、しばしば正しい科学的知識の受容を妨げることである<sup>(1)(2)(3)</sup>。例えば、「力」の概念が未発達  
の生徒にとって、「(1) 質量の異なる2つの物体を同じ高さから同時に落とすと同時に着地することや  
「(2) 床上で静止した物体は重力と共に床から（同じ大きさの）垂直抗力を受ける」ことを、正しい力学概念に基づいて理解することは必ずしも容易ではない。

そこで、中学校の授業においては、実験によって現象を体験させ、それを正しい概念を用いて解釈して見せるなどの工夫が行われている。

計算機シミュレーションを用いた「仮想実験環境」は、このような実験を通した学習を支援するのに有効であり、導入の試みもなされている<sup>(4)(5)</sup>。しかし、従来の仮想実験環境が有効であるのは、主として上述の例(1)のように「生徒が（誤概念により）誤った現象を予測している」場合である。このとき、仮想（または実物）実験によって正しい現象を提示して生徒の予測を覆すことは、大きな学習効果を持つ。しか

\* 千葉市立新宿中学校 (Shinjyuku Junior High School)

\*\* 早稲田大学人間科学部 (School of Human Sciences, Waseda University)

\*\*\* 神戸大学大学院海事科学研究科 (Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University)

\*\*\*\* 広島大学大学院工学研究科 (Department of Information Engineering, Hiroshima University)

受付日：2007年6月22日；再受付日：2007年12月8日；採録日：2008年1月9日

し、上述の例(2)のように「生徒が周知の現象を正しい概念によって記述(解釈)することができない」場合には、実験によって正しい(すなわち周知の)現象を提示することは意味をなさない。そこで、何らかの工夫が必要となる。

Error-based Simulation (EBS)<sup>(6)(7)(8)</sup>は、「もしも生徒の(誤った)考えが正しいと仮定すればどのような現象が生起するか」を、生徒の表明した考え(誤答)に基づいてシミュレートするものであり、後者の場合に効果を発揮することが期待されている。そのような現象は、生徒の誤った考えに対する反例として働く。例えば、上述の例(2)において、物体に働く力は重力のみであると生徒が(作図などにより)表明したとき、静止するための力の釣り合いが成り立たず、物体が一定の加速度で床に沈むという現象をシミュレートして提示する<sup>(注1)</sup>。大学生(文系の大学生、すなわち力学の初学者)を被験者とした実験<sup>(10)</sup>によると、このような「不自然な現象」は学生を混乱させることなく、内省を促進し、問題解決における達成度を大きく向上させることが実証されている。

本研究の目的は、中学理科における力学を対象として、EBSを導入した授業実践を行って生徒の理解の向上を図ると共に、その学習効果を測定することである。また、本実践のために作成した学習用ソフトウェア(EBSを生成・提示する仮想実験環境)の実用性も併せて検討する。学習対象としては、ニュートンの第三法則(作用・反作用の法則)を選定した。これは力学における最も基本的な概念の一つであると同時に、上述のように、多くの生徒にとって正しく理解することが難しい概念である<sup>(2)(11)</sup>。現在、中学校の学習指導要領では簡単にしか扱われていないが、種々の運動や力の釣り合いを理解する上で不可欠な概念であるため、様々な形でそれに相当する概念を教える試みがなされている。本実践は、従来の仮想(または実物)実験では扱うことが難しかったニュートンの第三法則を、EBSを導入することで学習対象とした点に特色を

持つ。すなわち、生徒の誤った考えに対するフィードバックを(EBSによって)与えることができるインタラクティブな仮想実験環境を用いている。

以下、2章ではEBSについて概説する。3章では本研究の目的を整理した上で、授業実践の手順と学習効果の測定方法、および学習用ソフトウェアの評価方法について述べる。4章ではその結果を示して考察を行う。5章において本稿のまとめを行う。

## 2. EBSとその生成例

EBSでは、学習環境において生徒が表明した誤った考えに基づき、それが正しいと仮定したときに生起する現象をシミュレートする。考えの表現形式がシミュレーション生成のための十分な情報を含み、かつシミュレートされた現象の不自然さが比較的容易に認知され得る領域において、効果的に用いることができる。典型的な対象領域は力学の立式問題(誤った運動方程式に基づいて力学系の振る舞いをシミュレートする)であるが、他にも、筆算<sup>(12)</sup>、デッサン<sup>(13)</sup>、社会現象<sup>(14)</sup>および英作文<sup>(15)</sup>の学習を支援するシステムが試作されている。

本実践で対象とした力学の作図問題を用いて、EBSの生成・提示例を示す。図1(a)、(b)の課題において、生徒は、図中の物体に働くすべての力を作図するよう求められる。生徒が何らかの誤概念を持つとき誤った作図(不適切な力を描く/必要な力を描かない)を行うが、これを生徒の誤った考えの表明と見なす。すなわち、作図された力に基づいて各物体の加速度を(ニュートンの第二法則を用いて)計算し、運動のシミュレーションを生成する<sup>(注2)</sup>。

例えば、図1(a)の課題1において、生徒がブロックの重力に対する垂直抗力を作図しないという誤りがしばしば見られるが(図2(a))、このとき、ブロックが床に沈むという(現実にはあり得ない)現象が生じる(図2(a))。また、図1(b)の課題2において、下側のブロックに働く垂直抗力として(上側のブロッ

(注1) これは、計算のための制約、すなわち対象世界の「法則」を変更していることに相当し、従来の仮想実験環境では取り扱えない。一般に、EBSのシミュレータでは、変更された制約(法則)を計算可能とする処理を行った上でシミュレーションを生成する<sup>(9)</sup>。

(注2) 誤った作図に基づいて計算された加速度は、しばしば物体同士のあり得ない位置関係(重なりなど)を生じるが、ここではそのような制約を無視することで、シミュレーションの生成を可能にしている。

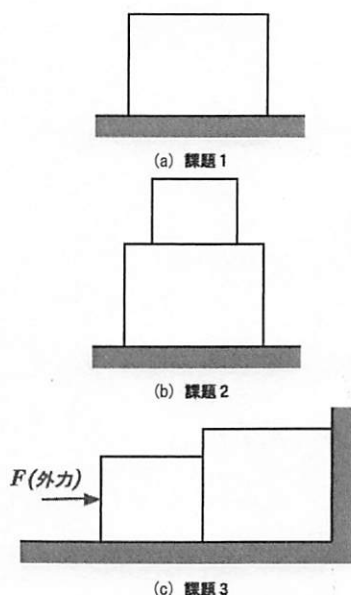


図 1 システムが出題する課題

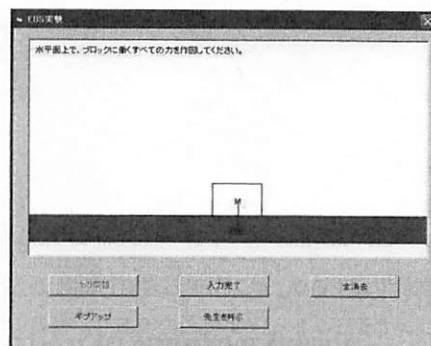
クからの影響を考えず) その重力と同じ大きさの力を  
 作図したとき (図 2 (b)), 下側のブロックが床に沈  
 み, 結果として上側のブロックが空中に留まるとい  
 う現象が生じる (図 2 (b)). これらの「不自然な現象」  
 は, 生徒の考えに対する反例となり, 学習における動  
 機付けや内省の契機となることが期待される.

### 3. 授業実践と評価方法

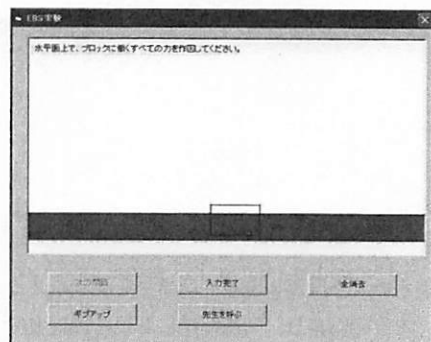
#### 3.1 授業計画

1章で述べた通り, EBS は, 周知の現象を正しい物  
 理概念を用いて記述 (解釈) することが生徒にとって  
 難しく, かつ通常の実験によっては有効な教示が困難  
 であるような場面での使用が有効である. そこで, 本  
 実践では, そのような学習単元の 1つとしてニュー  
 トンの第三法則を取り上げ, 通常の授業後の発展的な  
 学習 (「選択理科」) における補助教材として, EBS を  
 使用することとした.

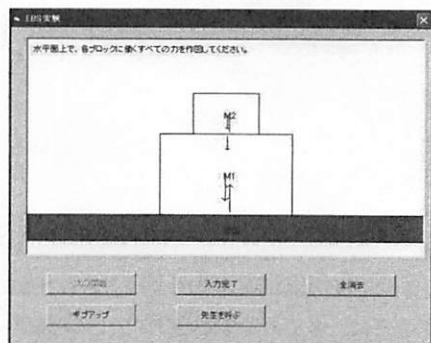
また, EBS は, 所与の状況における正しい現象を学  
 習者が知っている (予測できる) ことを前提としてお  
 り, そうでない場合, 却って学習者を混乱させる可能  
 性がある. 大学生を被験者とした実験では, EBS の提  
 示が有害とならないことが確認されているが<sup>(10)</sup>, 本



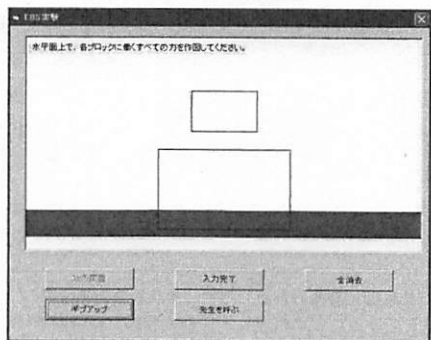
(a) 課題 1 の作図例



(a') 課題 1 の EBS 生成例



(b) 課題 2 の作図例



(b') 課題 2 の EBS 生成例

図 2 システムの画面例

実践の対象である中学生は、大学生に比して既知の（予測できる）正しい現象の範囲が限られていることが考えられる。そこで、本実践では、使用する課題を中学生でも正しい現象を容易に予測できる状況——具体的には物体の静止状態——を対象としたもののみ限定した（図1、図3の課題1～課題5）。さらに、授業中の生徒の取り組みの様子を観察し、もしも生徒が混乱した兆候を示せば、直ちにEBSの使用を中止することとした。

### 3.2 評価項目と測度

一般に、仮想実験環境を用いた学習は、生徒の意欲を高めると共に自ら様々な知識を発見することを促進するとされる。そこでまず、そのような学習活動が起こったか否かを、授業中の観察、事前/事後/遅延テスト（3.3節で詳述）の自由記述および聞き取り調査によって評価する。特に、EBSの「不自然な現象」が生徒に有害な影響を与えることがなかったか否かを、授業中の観察、事前/事後/遅延テストの達成度の比較、およびそれらの自由記述と聞き取り調査によって確認する。また、EBSを用いた体験的な学習の結果、単に正解を解説するよりも深い概念的理解が起こることが期待される。ここではそれを、事前/事後/遅延テストにおける達成度の向上と応用力、およびそれらの維持の程度により評価する。さらに、今後の実用化へ向け、本実践で使用した学習用ソフトウェアの操作方法に問題がないか否かを、授業中の観察によって評価する。

### 3.2 授業実践の手順

#### 3.2.1 使用ソフトウェア

本実践のために、力学問題における学習者の（誤）解答に対してEBSを生成・提示する学習用ソフトウェア「ニュートンに挑戦」（以下、システムと呼ぶ）を作成した。設計にあたっては、生徒が自己の考え（解答）を入力する際の負担をできる限り少なくするよう、紙上での「力の作図」（本実践に先立つ授業において既習）をシステム上で再現するようにした。すなわち、本システムでは、画面上に表示された力学系の各物体に働くすべての力を作図する課題が3問、順次提示される。（マウス操作により）作図を行った上

で「入力完了」ボタンを押すと、それに対するEBSが生成・提示される。中学理科では力の作用点および作用線を厳格に学習させる必要があるため、作図においては、力の作用点（矢印の始点）は各物体の重心または縁付近のみ、力の方向（矢印の向き）は垂直または水平方向のみが指定できるようにした。また、力の大きさ（矢印の長さ）は大/中/小の3段階で指定できるようにした（力の方向と大きさをこのように制限することで、それらを微調整する負担をなくしている）。すべての力の作用点、方向および（相対的）大きさが正しく作図されているとき、正解と判定される<sup>(注3)</sup>。作図の修正とEBSの観察は何度でも行うことができるが、現在の課題に正解しない限り、原則として次の課題へ進むことはできない。本システムで出題される課題を図1(a)～(c)に、本システムの画面例を図2に示す。各課題において、画面上方にはすべての物体に働く力を作図するよう指示する問題文が表示され、また、画面下方には「次の問題」、「入力完了」、「全消去（作図した力を一度に消去する）」などのボタンが配置されている。

#### 3.2.2 授業の実施

本システムを用いた授業実践（2時限分、110分）を、公立中学校の授業「選択理科」（3年生24名）において行った。生徒は、ニュートンの第三法則に相当する概念を取り扱う授業（課題1～課題3が解けるだけの内容を含む）を、本実践の3ヶ月前に受けている<sup>(注4)</sup>。パソコンは2人で1台をえるように用意した。授業の始めにシステムの操作方法を口頭で簡単に説明した後、本システムに沿って操作の練習および課題を行わせた。システムの操作方法についての質問には随時答えたが、課題解決の誘導は行わなかった。

授業中、生徒の取り組みの様子を観察し、特にEBS

(注3) 作図の誤りが常に不自然な現象を生じるわけではなく、EBSと正しい現象との間に差異が見られない場合もある（例えば、図1(a)の課題1で、力をまったく作図しない場合）。そのような場合でも、作図に誤りがある限り、その旨のメッセージが生徒に提示される。本実践では、このような事態を極力減らすため、すべての課題において、重力が作図されていない場合にはそれを直接指摘するメッセージを提示することとした。

(注4) 指導要領に沿った授業では、この概念に相当することは教えられているものの、十分深く理解できる内容にはなっておらず、現在の内容と教え方では生徒は十分な理解が得られないという実感が、本システムを利用した実践を行う動機となっている。

による「不自然な現象」が生徒の意欲にどのような影響を与えるか（混乱した兆候を示せば直ちに中止する）、また、システムの操作方法について大きな問題が生じるか否かを調べた。

### 3.3 評価方法

本実践の学習効果を測定するために、事前/事後/遅延テストを個別に実施し、ニュートンの第三法則に相当する概念を生徒が理解できているかどうかを調べた。事前テストは、本システムによって出題される3つの課題（図1の課題1～課題3）で構成されている。事後テストは、事前テストの課題に2つの課題（図3の課題4、課題5）を加えたものである。課題4および課題5は、授業で行ったものとは異なっているためそれらの正解を記憶しているだけでは解けず、概念的理解を示す1つの指標となると考えている。遅延テストは、事後テストと同じ内容を3ヶ月後に実施した。これらのテストは、すべて紙上で出題・解答させた。いずれのテスト・課題においても、作図の際にどのように考えたかを自由記述欄に記入させた。また、事後/遅延テストの終了後、どのように考えたかについての聞き取り調査を個別に行った。

## 4. 結果と考察

### 4.1 生徒の授業への取り組み

授業風景を図4に示す。授業中、すべての生徒は互いに話し合いながら、熱心に課題に取り組んでいた。物体が床に沈むなどの不自然な現象を見ると、生徒はより意欲的に誤りの原因を考える様子が観察されたが、混乱の様子を示した生徒はいなかった。また、システムの操作方法について、特に大きな問題を生じた生徒はいなかった。最終的に、すべての組がすべての課題を達成することができた。

これらのことから、本システムは授業実践を行うための十分な実用性を持ち、また、その使用によって生徒の学習意欲を高めることができたと考えられる。

### 4.2 学習効果および学習プロセス

#### 4.2.1 事前/事後/遅延テストでの正答率の変化

事前/事後/遅延テストにおける課題1、課題2お

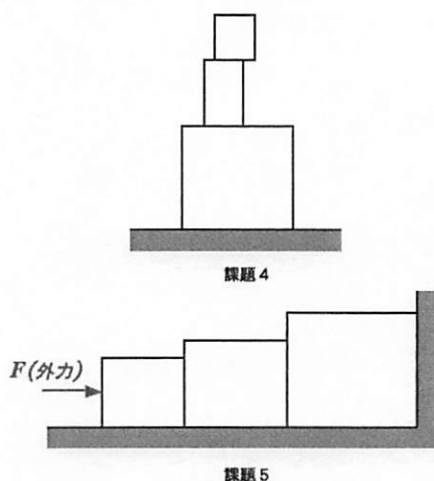


図3 事後/遅延テストの追加課題

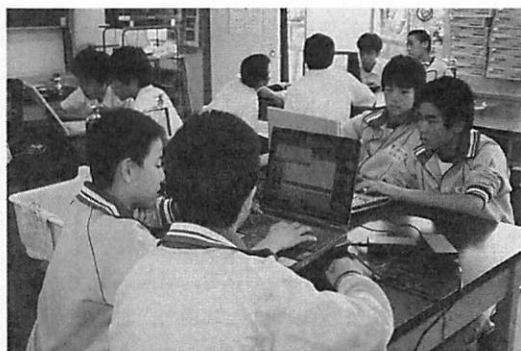


図4 授業風景

および課題3の正答率の変化を図5(a)～(c)に示す。事前テストではそれぞれ39.1%、29.6%、23.6%であった正答率が事後テストでは93.2%、99.1%、83.1%に上昇し、さらに3ヶ月後も87.5%、78.3%、75.6%の正答率を維持できていることがわかる。これらの課題において、事前テストに比して事後/遅延テストでの達成度が下降した生徒は皆無であった。

また、事後/遅延テストにおける課題4および課題5の正答率の変化を同図(d)、(e)に示す。これらの課題は事前テストやシステムによる出題にはない（すなわち、単に正解を暗記しただけでは解けない）にも拘わらず、事後テストで91.5%および74.8%の正答率を示し、3ヶ月後も79.2%および70.8%の正答率を維持できていることがわかる。

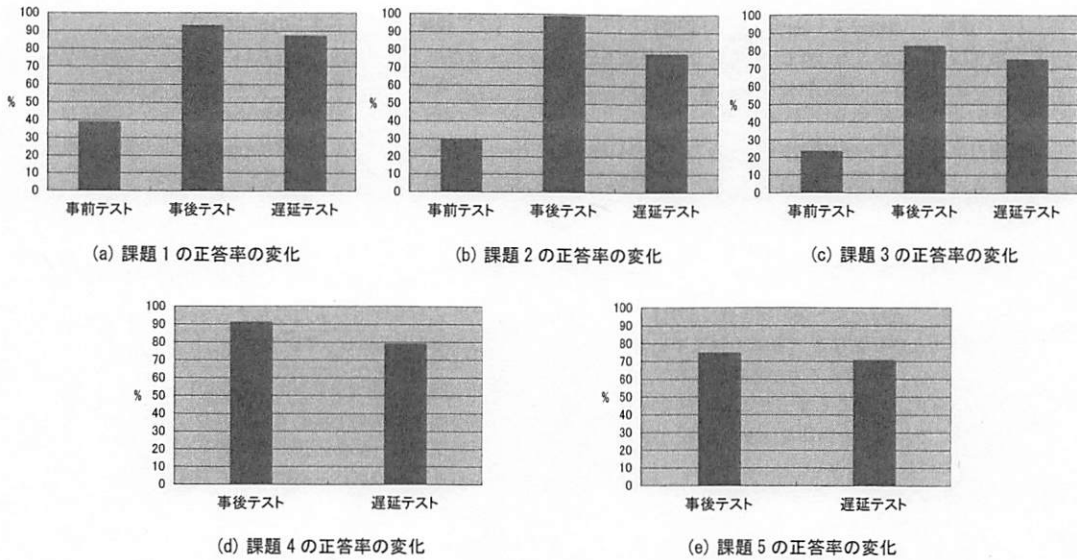


図5 課題の正答率の変化

学習対象に関する授業（課題1～課題3が解けるだけの内容を含む）を3ヶ月前に受けているにも拘わらず低い達成度であった事前テストに比べ、事後/遅延テストにおいて大きな達成度の向上とその維持が見られたことは、従来の授業に比べてEBSが大きな学習効果を持つことを示している。加えて、本実践の授業中には取り扱われなかった課題への高い正答率（とその維持）も、このことを示している。本実践は統制された実験ではないため、統計的な明確性は主張できないが、この結果は、本実践による学習が従来の授業よりも深い概念的理解をもたらしたことを示唆するものとする<sup>(注5)</sup>。

#### 4.2.2 自由記述および聞き取り調査の結果

事後/遅延テストにおける自由記述および聞き取り調査の典型例を図6に示す。同図(A)より、EBSの不自然な現象を観察して反作用の必要性に気づくと共に、作用と反作用は同じ大きさであるべきことを「発見」していることがわかる。また、同図(B)より、そのような現象が3ヶ月後も強い印象を残し、獲得した知識の維持に貢献していることがわかる。また、同図(C)および(D)からは、現在の学習指導要領で

は扱われていない合力の考え方を、試行錯誤の上「発見」していることが読み取れる。さらに、このようにして獲得された知識は、システムでは経験しなかった課題へも容易に応用できることが、同図(E)からわかる。

これらのことから、本実践では、システムにおいて自らの様々な考えを試すことにより力学の知識を獲得する、発見的な学習が行われたことが示唆される。

また、これらの自由記述および聞き取り調査において、EBSの「不自然な現象」を見て混乱したと報告した生徒はいなかった。このことと、授業中に混乱の様子を示した生徒がいなかったこと、事前テストに比して事後/遅延テストでの達成度が下降した生徒が皆無であったことから、EBSは生徒に有害な影響を与えなかったと判断することができる。

#### 4.2.3 生徒の学習プロセスの分析

生徒の学習プロセス、特に試行錯誤や誤りの気づきと修正の過程に関する分析を行った。本実践では、システムの不具合のため、生徒のシステム使用時のログを記録することができなかったため、事前/事後/遅延テストにおける解答や自由記述、および聞き取り調査の結果に基づいてこれを行った。

まず、図6では、生徒の試行錯誤のカテゴリとして、(1)あるべき力を考えなかった(作図しなかった)た

(注5) 筆者の一人の中学校教諭としての経験からも、従来の授業でこのような成績の向上は通常見られないことを、参考までに付言しておく。



**【(A) 課題 1：事後テスト後の聞き取り調査】**

- ・最初は重力しか入力しなかったら、物体が落下してしまっただけで、床が物体を支える力を入力しなければいけないことがわかった。
- ・重力を入力して、床が物体を支える力を入力した。そうしたら物体が空中に浮き上がってしまった。矢印の大きさ、つまり、力の大きさをあまり気にしていなかったが、重力と同じ大きさにしなければいけないことがわかった。

**【(B) 課題 1：遅延テスト後の聞き取り調査】**

- ・物体が沈んでしまうことをよく覚えていたので、重力の他に、床が支える力が必要である。
- ・物体が浮き上がってしまったことを良く覚えていた。そこで、重力と物体を床が支える力が同じ大きさでなければいけない。

**【(C) 課題 2：事後テストの自由記述】**

- ・重力が2つの物体にはたらいている。下の物体が上の物体を支えている。下の物体を支える力は、下の物体の重力と同じ大きさを入れると、物体が下に落ちたので、上の物体の重力と下の物体の重力を足したものが、床が支える力となる。

**【(D) 課題 2：遅延テストの自由記述】**

- ・上の物体の重力とその下にある物体が支える力であり、上の物体が下の物体を押す力がある。その2つの物体の重力の大きさを床が支える力が合うようになっている。

**【(E) 課題 4：事後テストの自由記述】**

- ・物体が2個の時と同じ考え方でやった。それぞれの物体の重力を書いた。そしてその力が下の箱に伝わり、下の箱は上の箱の重力と自分の箱の重力を加えた力で押し返している。これが3つの箱で考えれば良い。

図6 事後/遅延テストの自由記述と聞き取り調査（抜粋）

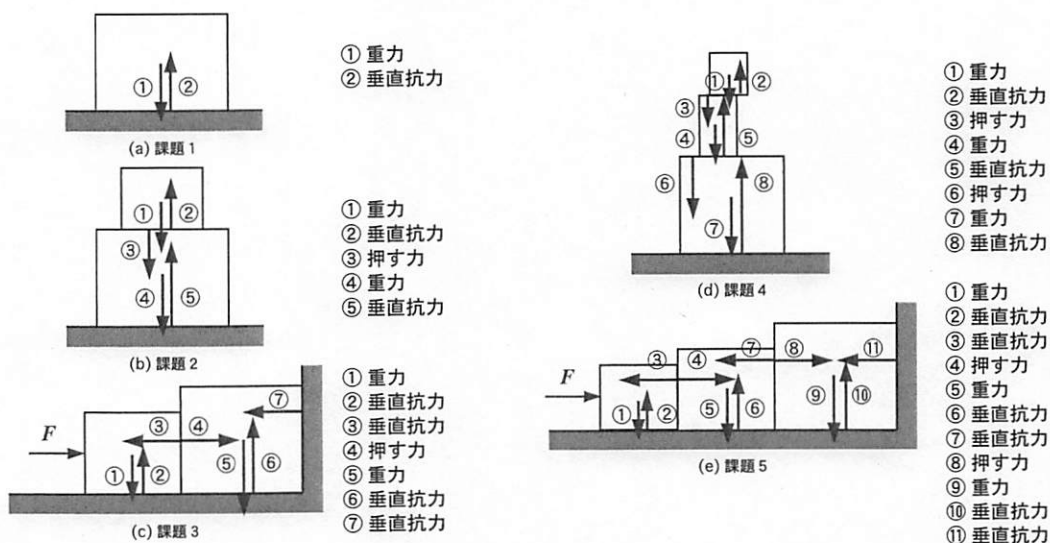


図7 課題の正解（見やすさのため、力の作用点・作用線をずらしてある）

めに不自然な現象を観察した結果、その力の存在に気づく、および(2)釣り合うべき力同士の相対的大きさを誤っていたために不自然な現象を観察した結果、それらの正しい相対的大きさに気づく、の2つが見られる。すべての自由記述および聞き取り調査を通じて、これら以外のカテゴリは見られなかった。今後、これら以外のカテゴリの有無を調べると共に、この2

つの典型的カテゴリにおける効果的な学習支援法を検討していく必要がある。

また、課題1～課題5において作図すべき（正答に含まれるべき）力を図7に、事前/事後/遅延テストにおけるこれらの力毎の正答率を同じく表1に示す。同表より、まず、(a)各物体に働く重力は事前テスト（通常の授業を受けただけの状態）でもある程度

表1 各課題における力毎の正答率

## (a) 課題1～課題3 (力毎の正答率)

	課題1		課題2					課題3						
	力①	力②	力①	力②	力③	力④	力⑤	力①	力②	力③	力④	力⑤	力⑥	力⑦
事前テスト	66.7	14.3	71.4	14.3	4.8	66.7	4.8	52.4	14.3	0.0	33.3	52.4	14.3	0.0
事後テスト	95.2	90.5	100.0	95.2	100.0	100.0	100.0	100.0	85.7	90.5	90.5	100.0	81.0	90.5
遅延テスト	95.2	90.5	95.2	95.2	33.3	95.2	95.2	85.7	95.2	95.2	81.0	81.0	95.2	95.2

## (b) 課題4 (力毎の正答率)

	課題4							
	力①	力②	力③	力④	力⑤	力⑥	力⑦	力⑧
事後テスト	100.0	90.5	90.5	95.2	85.7	81.0	95.2	90.5
遅延テスト	95.2	100.0	38.1	95.2	100.0	38.1	95.2	100.0

## (c) 課題5 (力毎の正答率)

	課題5										
	力①	力②	力③	力④	力⑤	力⑥	力⑦	力⑧	力⑨	力⑩	力⑪
事後テスト	85.7	81.0	76.2	71.4	85.7	81.0	76.2	71.4	85.7	81.0	76.2
遅延テスト	76.2	90.5	85.7	71.4	76.2	85.7	85.7	71.4	76.2	85.7	85.7

高い正答率を示している（EBSによってほぼ全員が正答となる）ことがわかる。また、(b) 垂直抗力については、事前テストでは殆どの生徒が正しく作図できないが、EBSによってこの誤りはほぼ全員が修正できたことがわかる。さらに、(c) 重力については事後テストに比して遅延テストの正答率が僅かながら低下している場合がしばしば見られるのに対し、垂直抗力についてはそのような場合は殆ど見られない。このことは、EBSの不自然な現象（物体が床・壁や他の物体と重なる）が生徒に極めて強い印象を残したことを示唆している。すなわち、EBSは「見慣れた現象の背後にあって働く物理概念や法則」の学習に適していると言える。最後に、同表から、(d) ある物体が外力（重力を含む）を受けて他の物体を押す力についても、（事前テストでの低い正答率に比して）EBSによって事後テストではかなり改善される（課題によってはほぼ全員が正答となる）ことがわかる。しかし、この効果は、特に物体同士の複雑な相互作用を伴う場合（すなわち、課題2・課題4では複数の物体が縦に積まれており、同一作用線上の3つの力の和（釣り合い）を考えねばならない）には一時的なものであり、遅延テストにおける正答率の下降は小さくない。すな

わち、物体同士の複雑な相互作用に関わる力については、EBSによって誤りが一時的に改善するものの、それを持続できない生徒が少なくないことがわかる。以上をまとめると、EBSは比較的単純な現象については大きな効果を持つ一方、複雑な相互作用を伴う現象についてはその効果に限界があり、他の手段の援用が必要であることが示唆される。

## 5. おわりに

本実践の結果、中学生にとって正しい理解が難しいとされるニュートンの第三法則に関わる知識を、意欲的な学習活動を通して生徒自らが発見的に獲得・維持することができ、著しい学習効果を示すことがわかった。また、EBSは中学生に有害な影響を与えないことが確認された。さらに、EBSを生成・提示するシステムを生徒が使用する上での大きな問題点は見られず（力の作用点・作用線の入力に関する制約も、事後／遅延テストの高い正答率から、有効に機能したものと考える）、実用化へ向けて一定の展望を得た。授業実施の制約上、本実践ではシステムを使用しない統制群を用意することができず、実験群との比較は行ってい



ない。しかし、学習対象に関する授業を受けたにも拘わらず低い達成度であった事前テストと事後/遅延テストでの達成度の向上・維持とを考え合わせると、本実践は従来の授業に比べて極めて高い効果を持つと判断される<sup>(注5)</sup>。

本実践は、生徒に深い概念的理解をもたらした可能性が高い。その効果を「概念変容」<sup>(16)(17)</sup>の観点から厳密に位置づけるためには、さらにデータを収集して学習プロセスをより詳細に分析する必要がある。今後、より大規模で長期的な授業実践を実施するため、学習対象となる概念の拡張や課題の検討を行っていく予定である。

### 参 考 文 献

- (1) Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (Eds.): "Children's Ideas in Science", Open University Press (1985)
- (2) 川勝 博, 三井伸雄, 飯田洋治: "学ぶ側からみた力学の再構成", 新生出版 (1992)
- (3) Osborne, R. and Freyberg, P. (Eds.): "Learning in Science—The Implications of Children's Science—", Heinemann (1985)
- (4) Towne, D. M., de Jong, T. and Spada, H. (Eds.): "Simulation-Based Experiential Learning", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (1993)
- (5) Wenger, E.: "Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge", Morgan Kaufmann (1987)
- (6) Hirashima, T., Horiguchi, T., Kashihara, A. et al.: "Error-based simulation for error-visualization and its management", Int. J. Artificial Intelligence Education, Vol. 9, No. 1-2, pp. 17-31 (1998)
- (7) 堀口知也, 平嶋 宗: "誤りへの気づきを支援するシミュレーション環境—表現手法と視覚効果を考慮した Error-Based Simulation の制御—", 教育システム情報学会誌, Vol. 18, No. 3-4, pp. 364-376 (2001)
- (8) 堀口知也, 平嶋 宗: "誤りの修正を支援するシミュレーション環境—誤り原因の示唆性を考慮した Error-Based Simulation の制御—", 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 4, pp. 462-472 (2002)
- (9) 堀口知也, 平嶋 宗: "学習支援を指向した誤り可視化のためのロバストシミュレータ", 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 6, pp. 514-525 (2006)
- (10) Horiguchi, T., Hirashima, T. and Okamoto, M.: "Con-

- ceptual changes in learning mechanics by error-based simulation", Proceedings of ICCE2005, pp. 138-145 (2005)
- (11) 高垣マユミ: "力の作用・反作用における知識の再構成を促す理科授業のデザイン", 科学教育研究, Vol. 27, No. 3, pp. 159-170 (2003)
  - (12) 平嶋 宗, 得能加奈, 竹内 章: "多桁減算におけるバグの可視化の試み", 日本教育工学会雑誌, Vol. 25, Suppl, pp. 173-178 (2001)
  - (13) Matsuda, N., Takagai, S., Soga, M. et al.: "Tutoring system for pencil drawing discipline", Proceedings of ICCE2003, pp. 1163-1170 (2003)
  - (14) Horiguchi, T. and Hirashima, T.: "Error-visualization in multi-agent social simulations for developing childrens' statistical skills", Proceedings of ICCE2004, pp. 105-111 (2004)
  - (15) Kunichika, H., Hirashima, T. and Takeuchi, A.: "Visualizing errors for self-correcting discrepancy between thinking and writing", Proceedings of ICCE2006, pp. 483-490 (2006)
  - (16) Hashweh, M. Z.: "Toward an explanation of conceptual change", Eur. J. Science Education, Vol. 8, No. 3, pp. 229-249 (1986)
  - (17) Hewson, P. W. and Hewson, M. G. A.: "The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction", Instructional Science, Vol. 13, pp. 1-13 (1984)

### 著 者 紹 介



今井 功

1984年東邦大学理学部卒業、千葉市の公立中学校で理科を教えている。千葉県の長期研修制度を利用し、現職のまま2005年千葉大学大学院教育学研究科理科教育専攻修士課程修了、STS教育(科学、技術、社会の相互作用)の教育を研究し、必修理科に組み込むプログラム開発を

行っている。また、理科授業において、「わかる授業・楽しい教室・夢広がる学校」を目指して、日々実践している。さらに、EBS実験を教育現場で実践し、その成果を検証している。教育学修士。教育システム情報学会、日本理科教育学会、日本科学教育学会会員。教育システム情報学会第32回全国大会研究奨励賞受賞。



東本 崇仁

2003 九工大・情報工学部卒。  
2005 同大学院情報工学研究科  
博士前期課程了。2008 広島大学  
大学院工学研究科博士後期課程  
満期退学。同年、早稲田大学人  
間科学部助手。既習の公式を用  
いた間接測定を学習者に要求す  
る実験を対象とした学習支援環  
境の研究、学習者の漸進的学習

を支援するための適応的な実験系列の提供を可能にするマイクロワールドグラフの自動構築手法の研究、学習者自身に問題を作成させる作問学習の知的支援システムの研究に従事。電子情報通信学会、教育システム情報学会、日本教育工学会、人工知能学会各会員。



堀口 知也

1987 年早稲田大学理工学部電  
気工学科卒業。1989 年同大学  
院理工学研究科博士前期課程了。  
1997 年大阪大学大学院工学研究  
科博士後期課程了。同年、神戸  
商船大学講師。2001 年同助教  
授。2003 年神戸大学海事科学部  
助教授。2007 年神戸大学大学院  
海事科学研究科准教授。工学博

士。知識工学の教育応用に興味を持ち、知的学習支援、情報可視化システムの研究に従事。1996 年度人工知能学会研究奨励賞、2002 年度人工知能学会研究会優秀賞受賞。電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会、日本認知科学会、日本教育心理学会、日本教育工学会、教育システム情報学会、IAIED 各会員。



平嶋 宗

1986 年大阪大学工学部卒業。  
1991 年同大学院博士課程修了。  
同年大阪大学産業科学研究所助  
手。1996 年同講師。1997 年九  
州工業大学情報工学部助教授。  
2004 年より広島大学大学院工学  
研究科教授。人間を系に含んだ  
計算機システムの高度化に興味  
を持っており、特に知的学習支

援システムの研究に従事している。工学博士。人工知能学会、情報処理学会、教育システム情報学会、日本教育工学会、日本教育心理学会等会員。