

誤り可視化シミュレーションを用いた中学理科の授業実践  
～シミュレーションからの情報を活用した誤り修正支援を中心に～

研究代表者

今井 功

研究分担者

小池 公夫 高津 乙郎 千葉恒胤

助言者

平嶋 宗 堀口知也 東本嵩仁

要約

ニュートンの第三法則は、力学における最も基本的な概念の一つであるとともに、生徒にとって直観的に理解することが難しい概念の一つとなっている。

中学校の学習指導要領においては簡単にしか取り扱われていないが、力学の運動や釣り合いを正しく理解する上で不可欠ともいえる概念であるため、さまざま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。

本研究では、誤り可視化シミュレーション(EBS: Error-Based Simulation)に基づいてニュートンの第三法則および力のつり合いに関する力学実験を行えるソフトウェア「ニュートンに挑戦」を作成し、それを用いた授業実践とその効果の調査を行った。

さらに、理科のニュートンの第三法則の学習内容および力のつり合いの概念の定着を図りつつ、子どもたちが情報を分析し、発表するなど、情報活用の実践力を身につけていく授業実践を行った。

本実践では、具体的な題材としてニュートンの第三法則を取り上げ、その理解と定着を図る。ニュートンの第三法則はこれまでの授業においても簡単には教えられていたが、十分な理解を得ることはできていないとの実感がある。本実践においても従来どおり第三法則を教えた上で、EBS を用いることで、どの程度理解を深めることができるのか、そして、その理解をどの程度維持させることができるのかを調べた。授業としては、EBS における物体の動きから、生徒がコンピュータシミュレーションの示した情報を分析・考察し、新たに力を入力して、物体の振る舞いを観察し、さらに熟考させていく授業を構築した。

EBS を用いた授業実践を行うことにより、次のことがわかった。

- ・ニュートンの第三法則の概念および力のつり合いの概念が正しく獲得できた。
- ・転移課題も解決できる思考力も育成することができた。
- ・その成果が3ヶ月も持続することがわかった。

その理由は聞き取り調査から思考実験ができるようになってきていることがわかった。

さらに、初速度のある物体の運動についても同様の成果が得られることがわかった。

## 1 研究の目的

ニュートンの第三法則は、力学における最も基本的な概念の一つであるとともに、生徒にとって直観的に理解することが難しい概念の一つとなっている。

中学校の学習指導要領においては簡単にしか取り扱われていないが、力学の運動や釣り合いを正しく理解する上で不可欠ともいえる概念であるため、さまざま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。

本研究では、誤り可視化シミュレーション(EBS: Error-Based Simulation)に基づいてニュートンの第三法則および力のつり合いに関する力学実験を行えるソフトウェア「ニュートンに挑戦」を作成し、それをを用いた授業実践とその効果の調査を行った。

さらに、理科のニュートンの第三法則の学習内容および力のつり合いの概念の定着を図りつつ、子どもたちが情報を分析し、発表するなど、情報活用の実践力を身につけていく授業実践を行った。

EBS(Error-Based Simulation)は、生徒の誤答に基づいて実行されるコンピュータシミュレーションのことであり、生成されるシミュレーション結果のおかしさとして誤答に含まれている誤りを可視化することで生徒に誤りに気づかせることを目的としている。今までにニュートンの第三法則に相当する概念を発見することに特化した実験環境として、「ニュートンに挑戦」を作成し選択理科で実践した。本研究では必修理科 1 年生と 3 年生で授業実践できる EBS 実験の開発とその学習効果の維持と転移の可能性を研究した。

子どもたちの情報活用能力の育成と教科の目標を併せて達成しようとする授業実践として、次のような情報教育としての目的とした。

EBS 実験では、生徒は図示された力学的状況に力の矢印を書き込む。力の矢印が間違っている場合には、その間違いを反映したおかしな振る舞いが生成されることになり、生徒はその振る舞いを見て、誤りに気づき、力の矢印を修正することとなる。つまり、自身の入力した情報の結果を、おかしな情報(振る舞い)として受け取ることで、自身の入力およびその入力を妥当と考えた自身の理解を吟味することとなり、理科における観察とそれに基づく知識の構成・修正といった教科の内容に即した情報活用を促しているといえる。

本実践では、具体的な題材としてニュートンの第三法則を取り上げ、その理解と定着を図る。ニュートンの第三法則はこれまでの授業においても簡単には教えられていたが、十分な理解を得ることはできていないとの実感がある。本実践においても従来どおり第三法則を教えた上で、EBS を用いることで、どの程度理解を深めることができるのか、そして、その理解をその理解をどの程度維持させることができるのかを調べた。授業としては、EBS における物体の動きから、生徒がコンピュータシミュレーションの示した情報を分析・考察し、新たに力を入力して、物体の振る舞いを観察し、さらに熟考させていく授業を構築した。

## 2 EBS について

EBS(Error-Based Simulation)は、生徒の誤答に基づいて実行されるコンピュータシミュレーションのことであり、回答された条件によって生成されるシミュレーション結果を可視化することにより、誤答原因を気づかせることを目的としている。

本研究ではニュートンの第三法則に相当する概念を発見することに特化した実験環境として、シミュレーションソフト「ニュートンに挑戦」を作成した。「ニュートンに挑戦」では、生徒は図示された力学的状況(課題)に力の矢印を書き込むことを求められる。力の矢印が間違っている場合には、その間違いを反映したおかしな振る舞いが生成されることになり、生徒はその振る舞いを見て、誤りに気づき、力の矢印を修正

することとなる。出題される問題は、重力のみが外力としてかかっている状況として図1(a)および図1(b)、重力以外の外力が存在している図1(c)の三つのEBS実験ができるようにしている。

図2、図3にEBS実験の画面を提示しておく。(a)は課題1の作図場面、(a) は課題1の作図結果のEBSシミュレーション生成画面である。

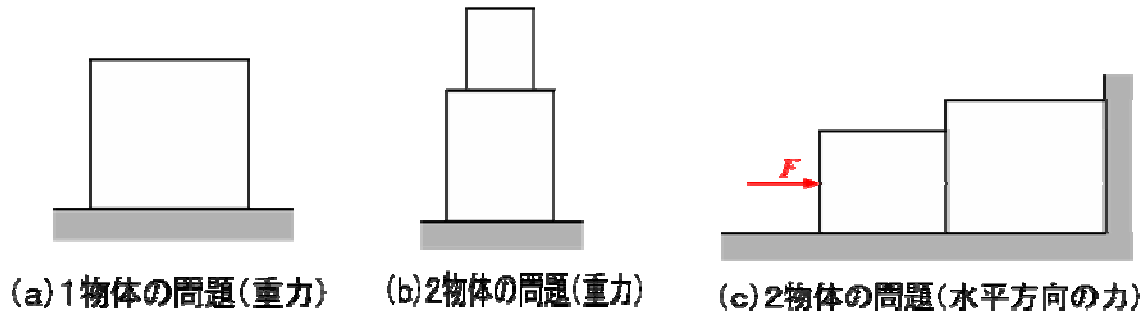


図 1



(a) 課題1の作図例



(a) 課題1の EBS 生成例

図 2



(b) 課題2の作図例



(b) 課題2の EBS 生成例

図 3

### 3 授業とその評価

#### 3-1 第1学年での実践

##### (1)授業の実施

「ニュートンに挑戦」を必修理科1年生2クラス(2時限分、100分)63名の授業で行った。このクラスを実験コースクラスとし、通常の授業内容で実施したクラスを通常コースクラス(1クラス)とした。

##### (2)授業実践の評価

本実践を評価するために、事前/事後/遅延テストを行い、ニュートンの第三法則に相当する概念および力のつり合いの概念が獲得できているかどうか、および維持できているかどうかを調べた。

事前テストは、実践でも用いた図1(a)~(c)の課題で構成されている。事後テストは、事前テストの課題に、図3(d)~(l)の課題(転移課題)を加えた。これは、実践で行ったものとは異なっており、課題の解決としてだけでなく概念としての獲得を示す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ヵ月後に行った。

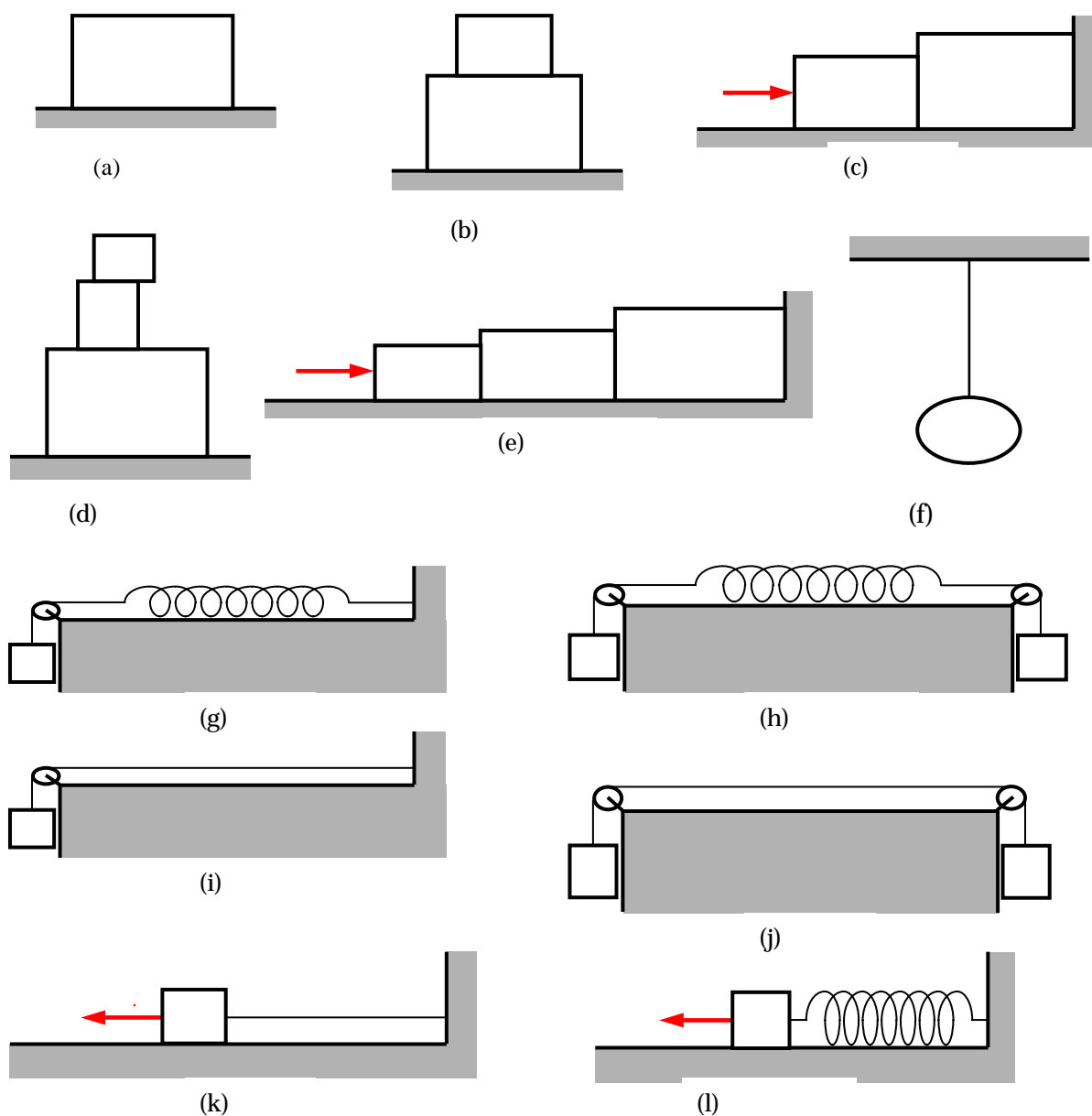


図3

(3)評価結果

事前テスト、事後テスト、遅延テストの結果のグラフを、それぞれ、図4および図5、図6、図7に示した。

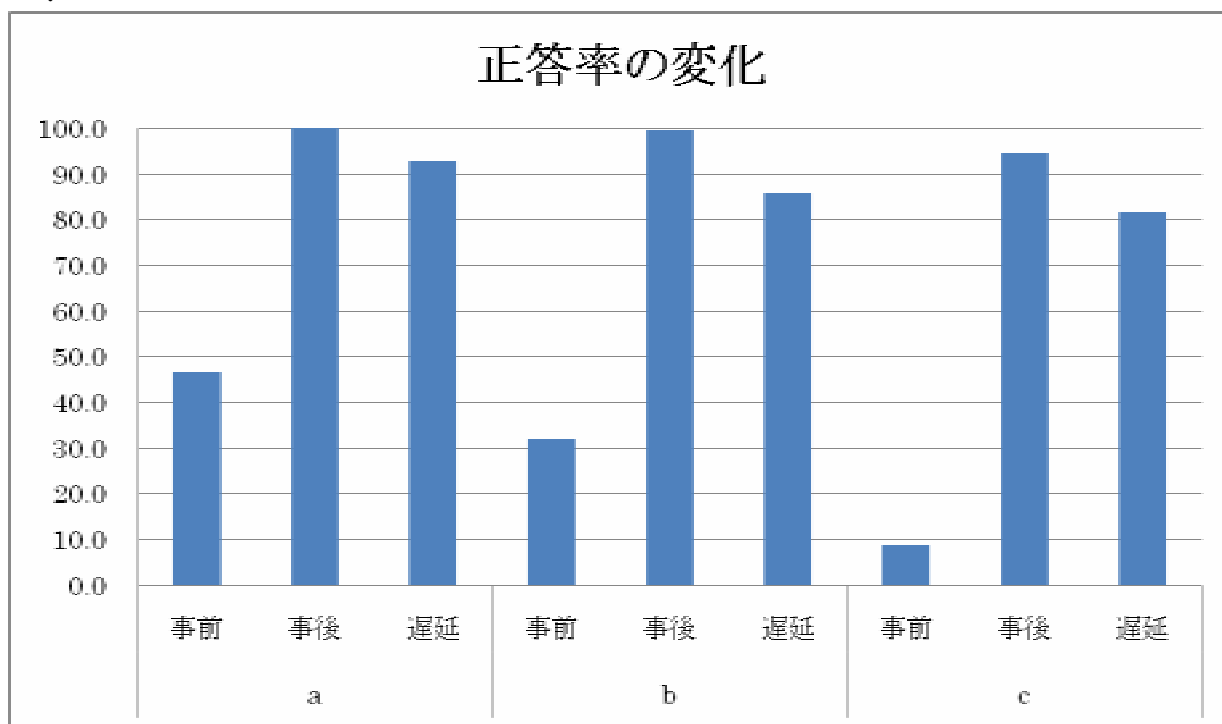


図4 EBS 実験コースの課題(a)(b)(c)の成績の変化

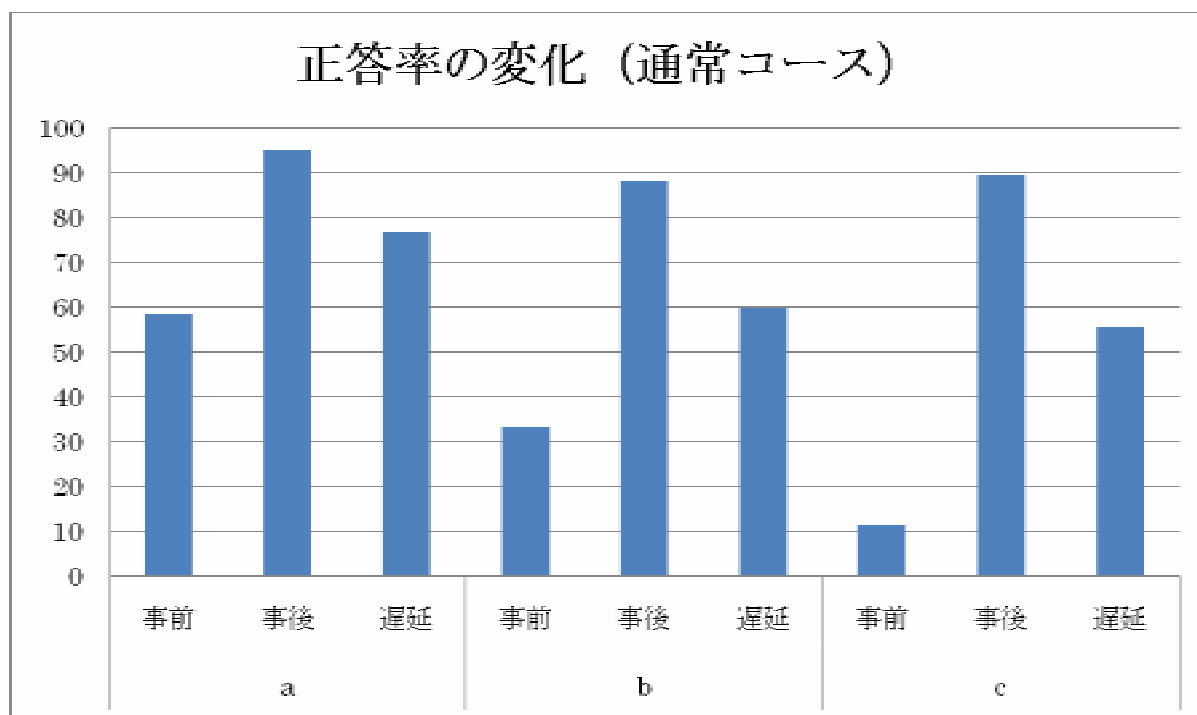


図5 通常コースの課題(a)(b)(c)の成績の変化

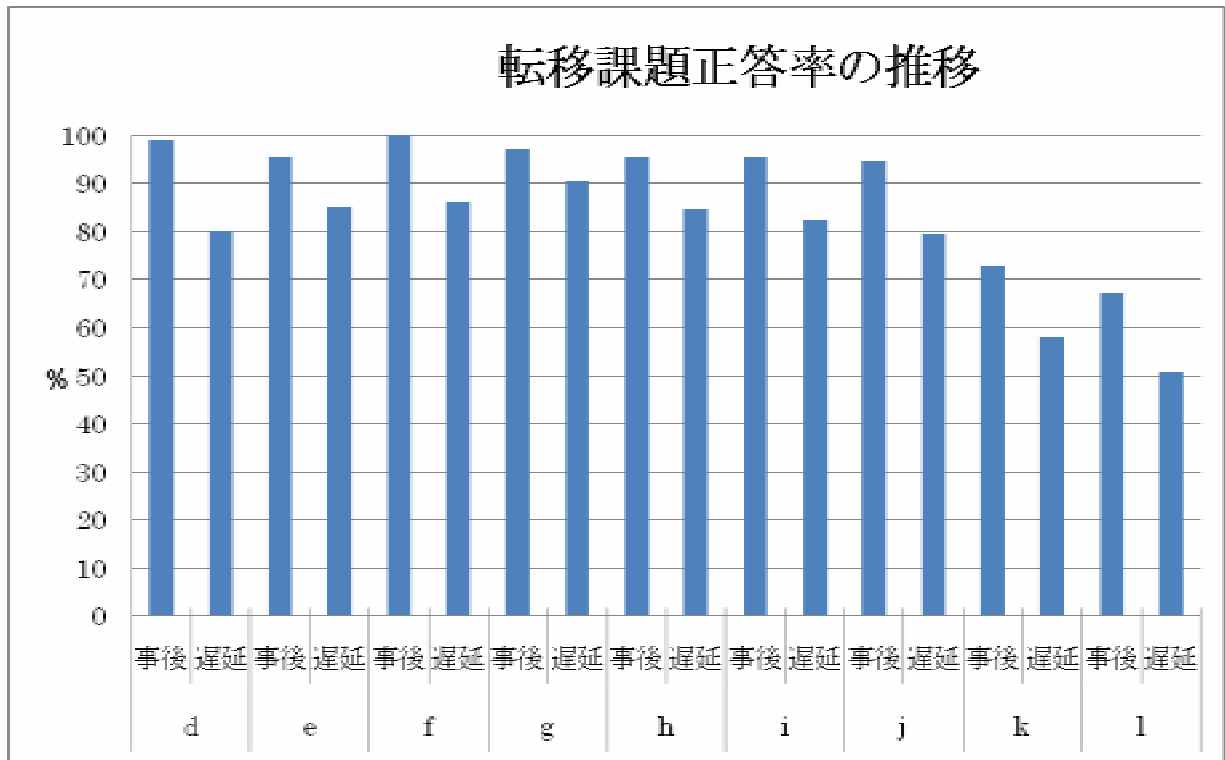


図6 EBS コースの転移課題(d)～(l)までの成績の変化

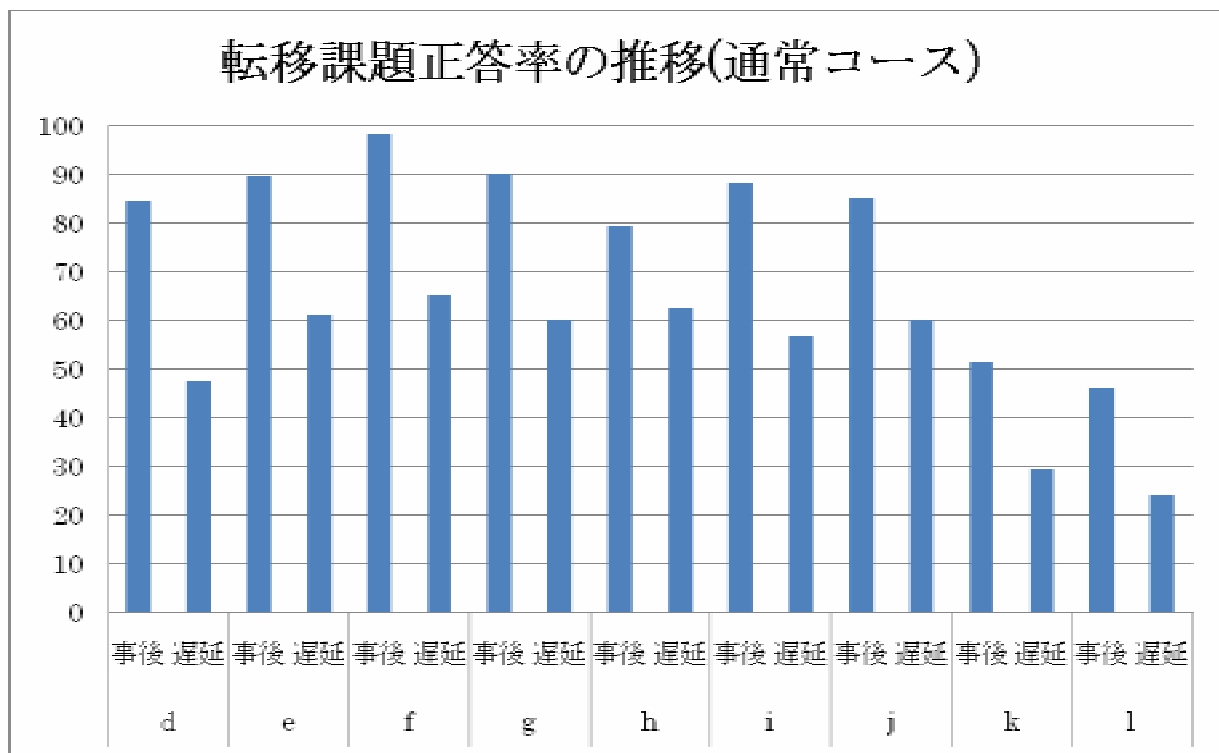


図7 通常コースの転移課題(d)～(l)までの成績の変化

EBS 実験コースでは、図1(a)～(c)の課題に関して、事前テストに対して事後テストにおいて平均70%成績が向上している。また、遅延テストにおける成績の下降は平均遅延テストにおける成績の下降は平均12.3%であった。

通常コースでは、事前テストに対して事後テストにおいて平均 66%成績が向上した。遅延テストにおける成績の下降は平均 30%であった。

EBS 実験が、これらの課題への理解に大きく貢献するとともに、その効果が三ヵ月後においても概ね維持されていることを示している。

図 3 (d)(e)(f)(g)(h)(i)(j)(k)(l) の課題に関しては、EBS 実験で扱ったものではなく、また、(f)(g)(h)(i)(j)(k)(l)は他の課題よりも複雑な転移課題になっている。

EBS 実験コースで平均の正答率が 90.9%の成績を上げている。このことは、ニュートンの第三法則に相当する概念が獲得されていることをうかがわせる。通常コースでの正答率は 79.2%であった。また、これらの課題は、事後テストにおいて解いただけであるにもかかわらず、遅延テストにおいても 77.5%と、その成績が概ね維持されている。このことも概念としての獲得がなされていることを示唆している。

さらに、観察とそれに基づく知識の構成・修正といった教科の内容に即した情報活用がなされているかを 1 年生全員に聞き取り調査を行った。その結果(抜粋)を以下に示す。

#### EBS コース

問題番号	f	g	h
聞き取り調査の結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重力で下に落ちるのを、ひもが支えている。ひもが壁を引っ張るのを、壁が引っ張り返している。</li> <li>・物体の重力を考えた。物体を静止させるには、物体を引っ張り上げないと落ちてしまうから、物体を引き上げる力が必要だと思った。</li> <li>・ボールに重力がはたらいっているので、糸がボールを支えている。上に引っ張らないと下に沈み込むことをイメージした。</li> <li>・重力を入れたら、糸が物体を引っ張らないと伸びて落ちると考えた。</li> <li>・授業でのことを覚えていたが、重力を入れ、下に落ちないように、糸がボールを引っ張っていると考えた。</li> <li>・重力を入れて、同じ大きさの力で物体を引くと静止すると考えた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物体に重力を入れて、落ちないように、ばねが物体を引くようにした。</li> <li>・重力で下におちるのを、ばねが支えている。ばねが壁を引っ張るのを、壁が引っ張り返している。</li> <li>・重力を入れ、ばねが引いていないと落ちてしまうので、上向きの力を入れた。</li> <li>・重力によって下に落ちないように、上向きの力を入れた。</li> <li>・重力を入れたら、上に物体を引く力を入れないと落ちてしまうから。</li> <li>・重力を入れ、落ちないように、上向きの力を入れた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2つの物体に重力を入れて、左右の物体が落ちないように、ばねが物体を引くようにした。</li> <li>・2つの物体にはたらいっている重力を入れた。ばねが物体を支えている。ばねが支えていなければ、物体は落ちる。</li> <li>・右と左を同じにしないと、物体が落ちると考えた。重力と物体を引く力を同じように入れた。</li> <li>・重力を2つ入れ、ばねが物体を引く力を書いた。</li> <li>・2つの物体が下に落ちないように、浮かないように力を入れた。</li> <li>・gと同じようにした。右側の物体は天秤と同じように考え、重力を入れて、上向きの力を入れないと、落ちてしまうから。</li> </ul>

問題番号	i	j	k
聞き取り調査の結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物体に重力を入れて、落ちないように、ひもが物体を引くようにした。</li> <li>・重力を入れたら、引っ張り返さないといけない。</li> <li>・重力を入れたら、上向きの力を入れないと、物体が落ちると考えた。糸が物体を引っ張っている。</li> <li>・物体の重力を考えた。物体を静止させるには、物体を引っ張り上げないと落ちてしまうから、物体を引き上げる力が必要だと思った。ばねと変わらないと思った。</li> <li>・糸とばねは変わらないと思った。物体が下に落ちていかないようにした。</li> <li>・重力で落ちないように、糸が物体を引く。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・糸とばねは変わらないと思った。2つの物体が下に落ちていかないようにした。</li> <li>・重力があり、物体が落ちないように、上向きの力を入れた。</li> <li>・重力と押し返す力を入れた。Fが引いているので、引き返さないと動いてしまうので、反対方向に力を加えた。</li> <li>・hと同じ問題、2つの物体がひもを通じて支えあっている。</li> <li>・物体の釣り合いを考え、左右を釣り合わせた。</li> <li>・重力が掛かり、糸が支える。</li> <li>・重力と押し返す力を入れた。Fが引いているので、引き返さないと動いてしまうので、反対方向に力を加えた。</li> <li>・重力、垂直抗力は普通に入れた。Fに対して同じ力を入れないと、左に移動してしまうので、糸が物体を引く力を入れた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・重力と床が支えている力がある。力Fで引っ張っているのに、糸がそれを止めている。糸が引っ張っていないと左に移動するとイメージした。</li> <li>・重力と抗力はすぐに書き、Fに引っ張られているので、ばねが物体を引いている。ばねの力を入れないと、ばねとブロックが離れていく。</li> <li>・重力を入れ押し返す力を入れた。さらに、動かないように右側に力を入れた。</li> <li>・重力と落ちないように支える力を入れた。</li> <li>・Fとばねの力が釣り合うようにした。</li> <li>・糸がばねになっただけ。</li> </ul>

#### 通常コース

わからない、覚えていないのような回答しか得られなかった

これらのことから、観察とそれに基づく知識の構成・修正といった教科の内容に即した情報活用がなされ、思考実験ができるようになってきていることを示唆している。



### 3-2 第3学年での実践

#### (1)授業の実施

「ニュートンに挑戦 3年生用(初速度あり)」を必修理科3年生2クラス(2時限分、100分)68名の授業で行った。このクラスをEBS実験コースクラスとし、通常の授業内容で実施したクラスを通常コースクラス(1クラス)とした。

通常コースクラスは事前テストで一番成績の良かったクラスとした。

#### (2)授業実践の評価

本実践を評価するために、事前/事後/遅延テストを行い、ニュートンの第三法則に相当する概念および力のつり合いの概念が獲得できているかどうか、および維持できているかどうかを調べた。

調査内容を以下に示す。

これから示す物体にはたらく力を、授業で習ったように矢印( )で記入してください。また、そのように記述した理由を、それぞれの問題の後にある選択肢から選んで下さい。

1. (なめらかな氷の上を等速度で滑っている人)



(理由)

- あ. 人には、右向きの力が働いている
- い. 人には、何も力は働いていない

2. (パラシュートをつけ、等速度で降下している人)

人とパラシュートを1つのものとして  
考えて下さい



等速度で降下している

(理由)

- あ. 人とパラシュートには重力だけが働いている
- い. 人とパラシュートには重力と、空気抵抗による上向きの力が働き、重力の方が大きい
- う. 人とパラシュートには重力と、空気抵抗による上向きの力が働き、これらは同じ大きさである(つりあっている)
- え. 人とパラシュートには、何も力は働いていない

3. (粗い地面の上を外力  $F$  によって右方向へ引かれ、だんだん速くなっているそり)

重力などの縦向きの力は描かなくてよいものとします



だんだん速くなっている

(理由)

- あ. そりには外力  $F$  だけが働いている
- い. そりには外力  $F$  と、まさつによる左向きの力が働き、外力  $F$  の方が大きい
- う. そりには外力  $F$  と、まさつによる左向きの力が働き、これらは同じ大きさである (つりあっている)
- え. そりには外力  $F$  と、まさつによる左向きの力が働き、まさつによる力はだんだん小さくなる
- お. そりには、何も力は働いていない

4. (真上に向かって投げ上げられたボール)

上昇している



(理由)



- あ. ボールには重力だけが働いている
- い. ボールには上向きの力だけが働いている
- う. ボールには重力と、上向きの力が働き、上向きの力の方が大きい
- え. ボールには重力と、上向きの力が働き、重力の方が大きい
- お. ボールには重力と、上向きの力が働き、これらは同じ大きさである (つりあっている)
- か. ボールには重力と、上向きの力が働き、上向きの力はだんだん小さくなる
- き. ボールには、何も力は働いていない

5. (宇宙空間を等速度で移動している宇宙船)

等速度で動いている



(理由)

- あ. 宇宙船には、左向きの力が働いている
- い. 宇宙船には、何も力は働いていない

6. (重力圏を等速度で上昇しているロケット)

空気抵抗は無視するものとします.



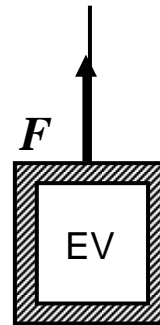
等速度で上昇している

(理由)

- あ. ロケットには上向きの推進力だけが働いている
- い. ロケットには上向きの推進力と下向きの重力が働き、推進力の方が大きい
- う. ロケットには上向きの推進力と下向きの重力が働き、これらは同じ大きさである(つりあっている)
- え. ロケットには、何も力は働いていない

7. (だんだん速く上昇しているエレベーター)

空気抵抗は無視するものとします.



だんだん速くなっている

(理由)

- あ. エレベーターには上向きの外力Fだけが働いている
- い. エレベーターには上向きの外力Fと、下向きの重力が働き、外力Fの方が大きい
- う. エレベーターには上向きの外力Fと、下向きの重力が働き、これらは同じ大きさである(つりあっている)
- え. エレベーターには上向きの外力Fと、下向きの重力が働き、重力の方が大きい
- お. エレベーターには、何も力は働いていない

8 . (空中で静止しているヘリコプター)

静止している

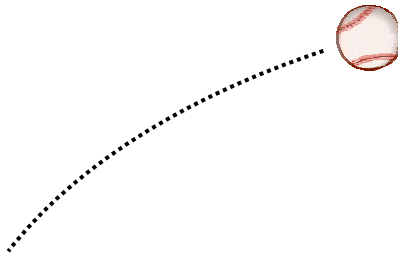


(理由)

- あ . ヘリコプターには重力だけが働いている
- い . ヘリコプターには上向きの力だけが働いている
- う . ヘリコプターには重力と、上向きの力が働き、上向きの力の方が大きい
- え . ヘリコプターには重力と、上向きの力が働き、重力の方が大きい
- お . ヘリコプターには重力と、上向きの力が働き、これらは同じ大きさである(つりあっている)
- か . ヘリコプターには、何も力は働いていない

9 . (斜め上方に向かって投げられたボール)

空気抵抗は無視するものとします

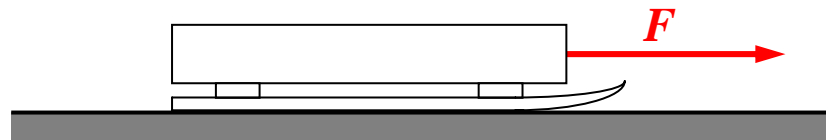


(理由)

- あ . ボールには重力だけが働いている
- い . ボールには重力と上向きの力だけが働き、上向きの力の方が大きい
- う . ボールには重力と上向きの力だけが働き、これらは同じ大きさである
- え . ボールには重力と上向きの力 , および右向きの力が働き、上向きの力は重力より大きい
- お . ボールには重力と上向きの力 , および右向きの力が働き、重力と上向きの力は同じ大きさである
- か . ボールには重力と上向きの力が働き、上向きの力はだんだん小さくなる
- き . ボールには重力と上向きの力 , および右向きの力が働き、上向きの力はだんだん小さくなる
- く . ボールには、何も力は働いていない

10 . (粗い地面の上を外力  $F$  によって右方向へ引かれ、等速度で移動しているそり)

重力などの縦向きの力は描かなくてよいものとします

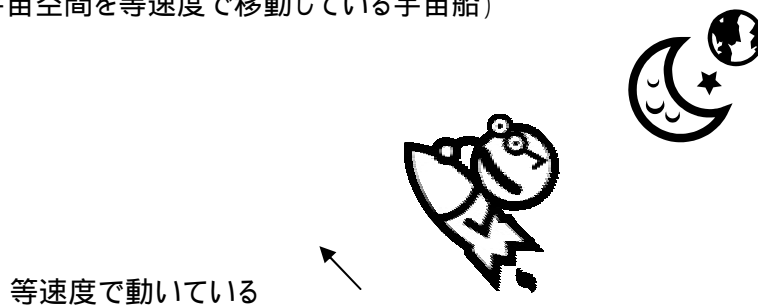


等速度で動いている

(理由)

- あ . そりには外力  $F$  だけが働いている
- い . そりには外力  $F$  と、まさつによる左向きの力が働き、外力  $F$  の方が大きい
- う . そりには外力  $F$  と、まさつによる左向きの力が働き、これらは同じ大きさである  
(つりあっている)
- え . そりには外力  $F$  と、まさつによる左向きの力が働き、まさつによる力はだんだん小さくなる
- お . そりには、何も力は働いていない

11 . (宇宙空間を等速度で移動している宇宙船)



(理由)

- あ . 宇宙船には、左上向きの力が働いている
- い . 宇宙船には、左向きの力が働いている
- う . 宇宙船には、上向きの力が働いている
- え . 宇宙船には、何も力は働いていない

12. (最初なめらかな平面を等速移動し、その後荒い平面を移動する人)

重力などの縦向きの力は描かなくてよいものとします

なめらかな平面の時

等速度で移動している



荒い平面の時



(理由)

なめらかな平面の時

あ. 人には、左向きの力だけが働いている

い. 人には、まさつによる右向きの力だけが働いている

う. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、左向きの力が強い

え. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、これらは同じ大きさである

(つりあっている)

お. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、まさつによる右向きの力が強い

か. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、左向きの力はだんだん小さくなる

き. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、まさつによる右向きの力はだんだん小さくなる

く. 人には、何も力は働いていない

荒い平面の時

あ. 人には、左向きの力だけが働いている

い. 人には、まさつによる右向きの力だけが働いている

う. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、左向きの力が強い

え. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、これらは同じ大きさである

(つりあっている)

お. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、まさつによる右向きの力が強い

か. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、左向きの力はだんだん小さくなる

き. 人には、左向きの力とまさつによる右向きの力が働き、まさつによる右向きの力はだんだん小さくなる

く. 人には、何も力は働いていない

事前テストは設問1～設問4を実施した。事後テストは、事前テストの設問1～設問4に加え、設問5～設問12までとした。遅延テストは事後テストと同様のものを3ヶ月後に実施した。

システムで行われる問題は設問1～4に対応したものである。シミュレーション画面を図8に示す。

問題1



問題2



問題3



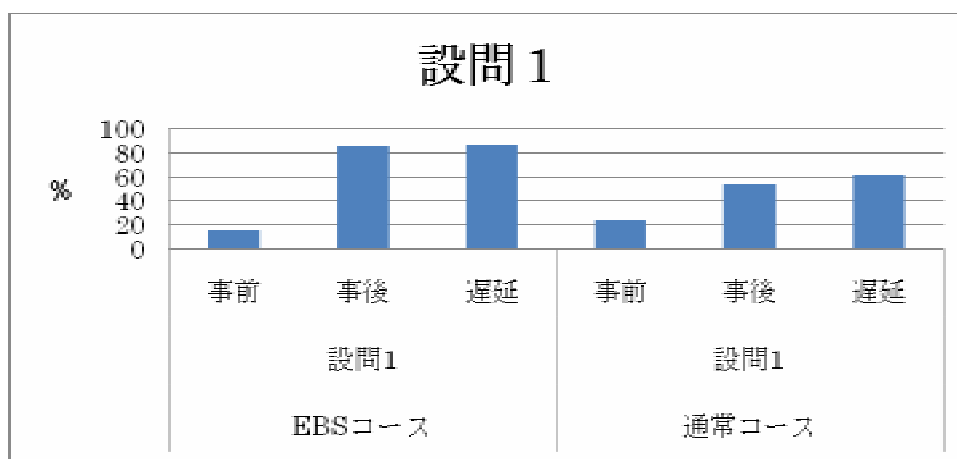
問題4

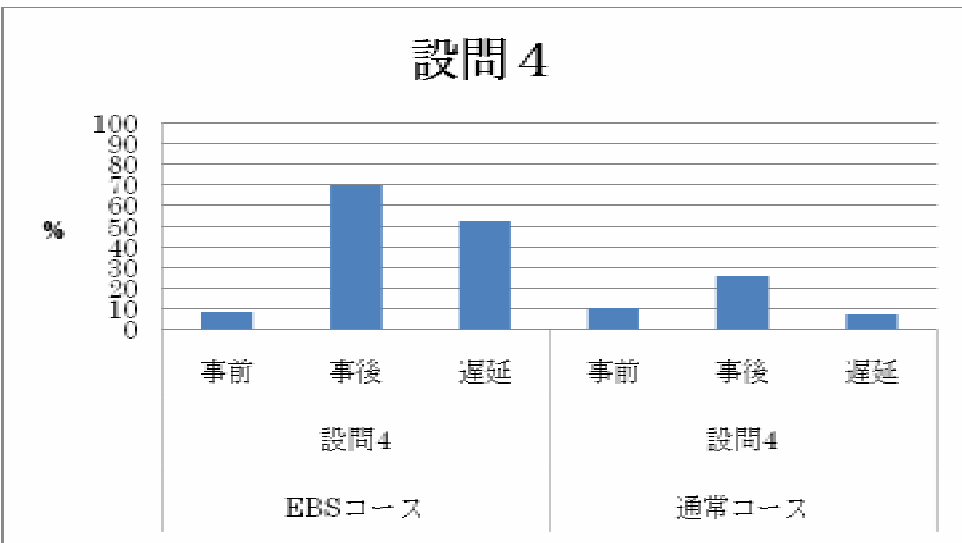
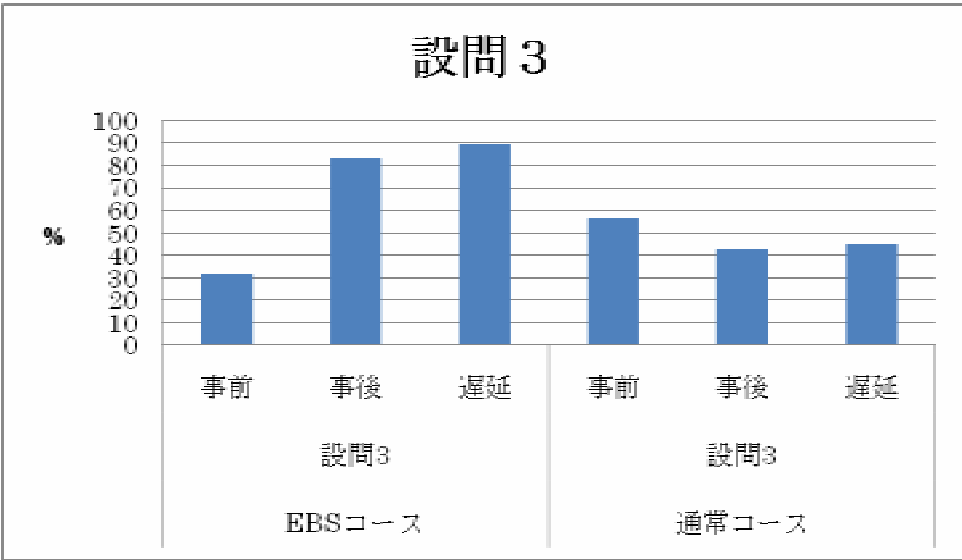
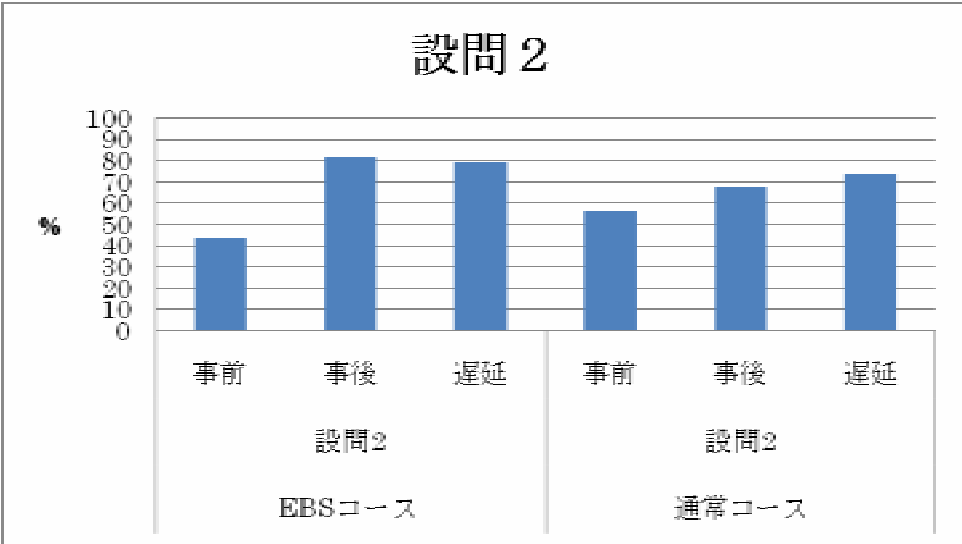


図8

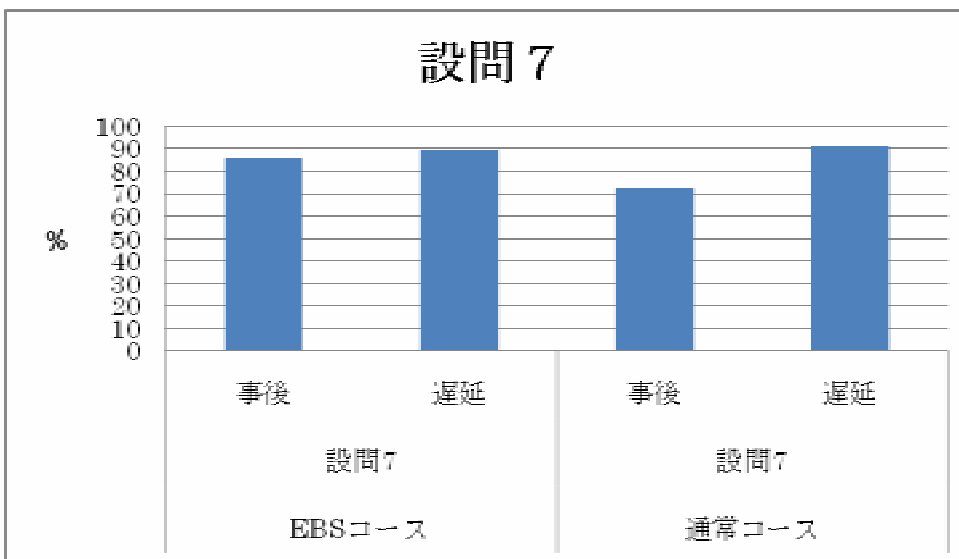
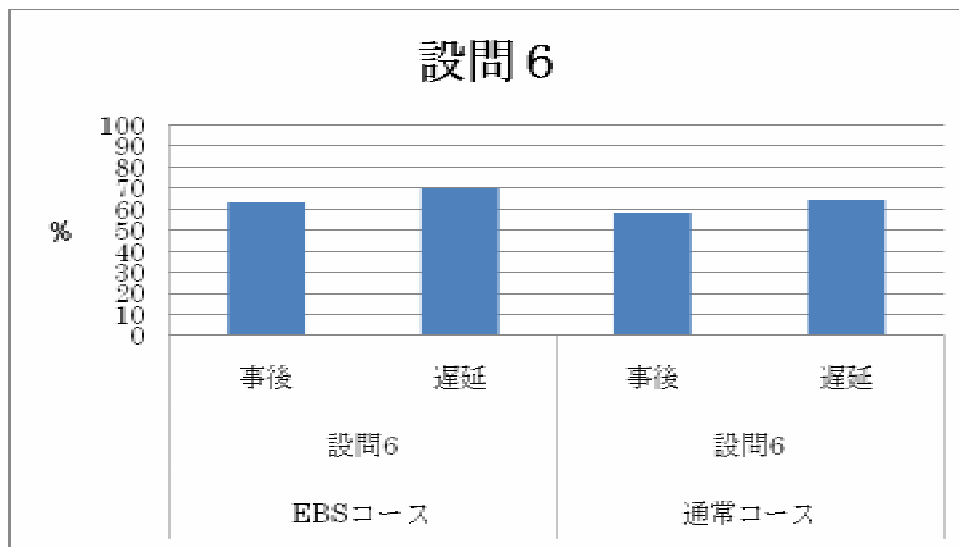
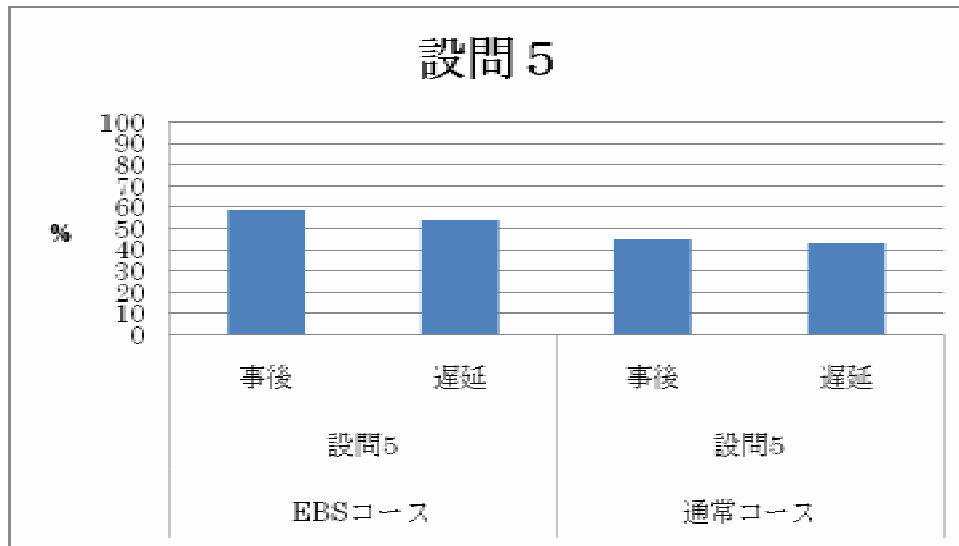
### (3) 評価結果

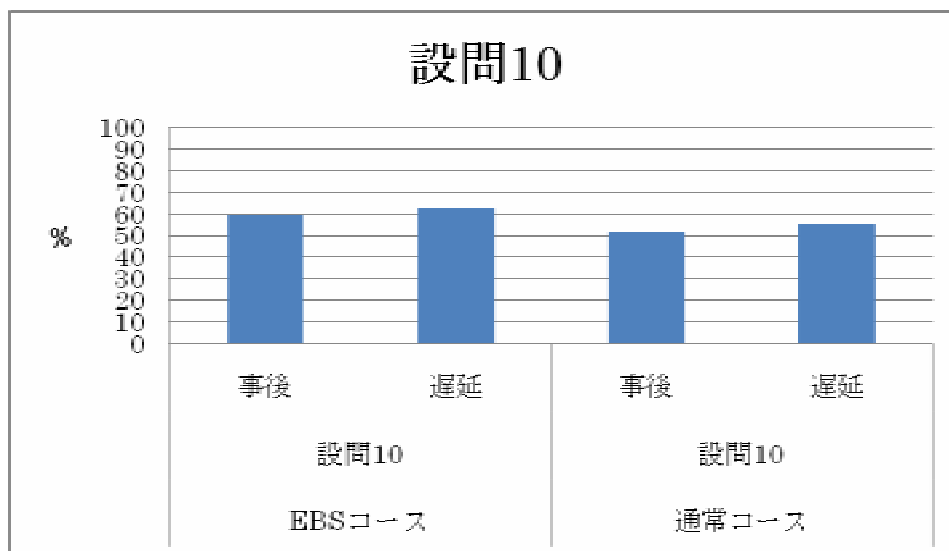
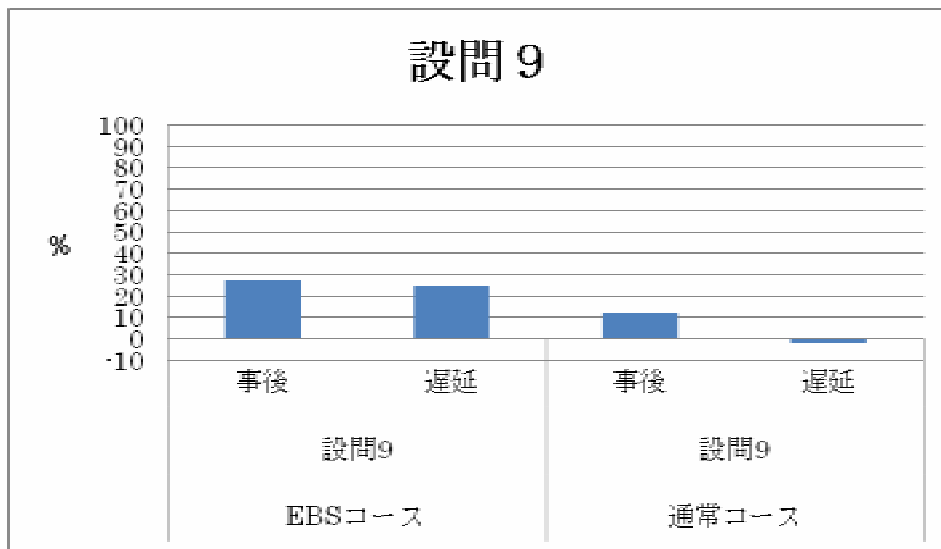
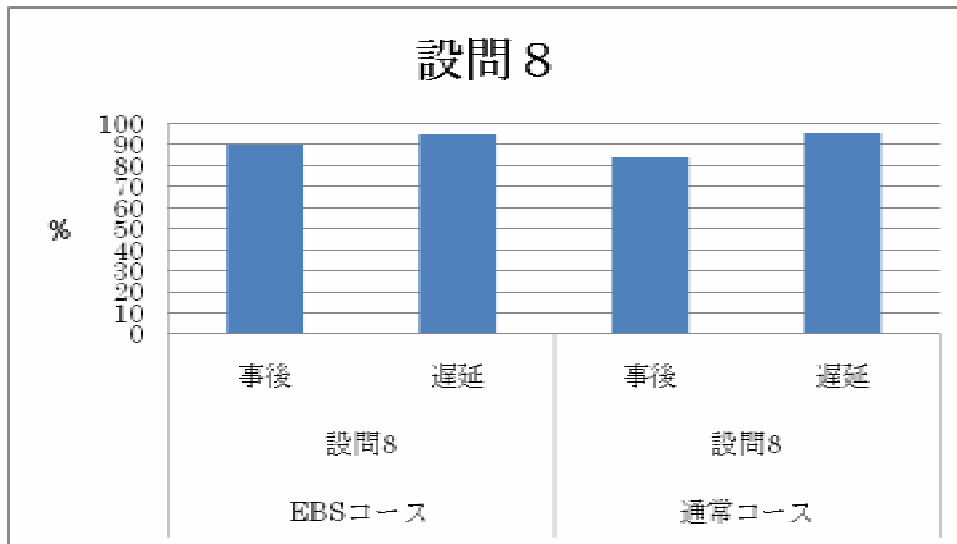
事前テスト、事後テスト、遅延テストの結果のグラフを示した。

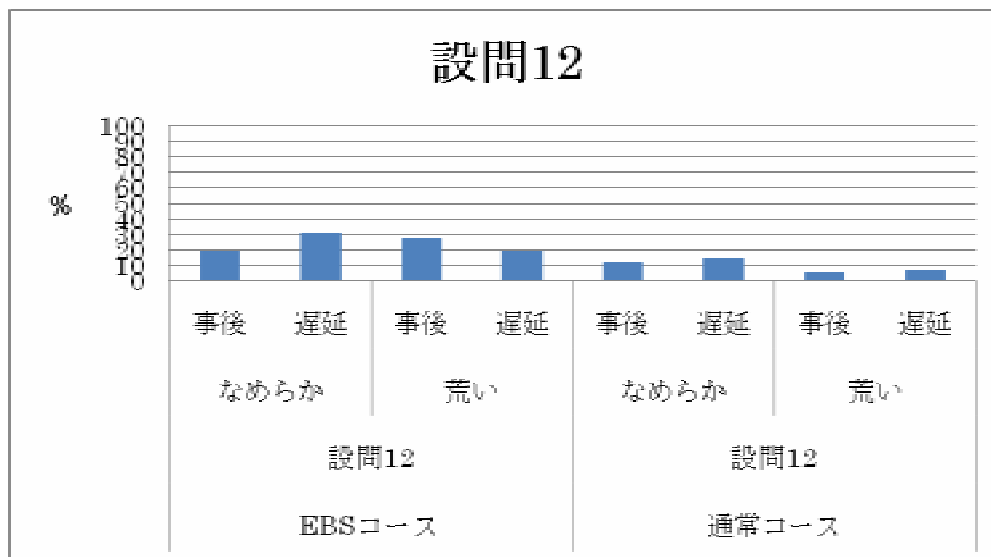
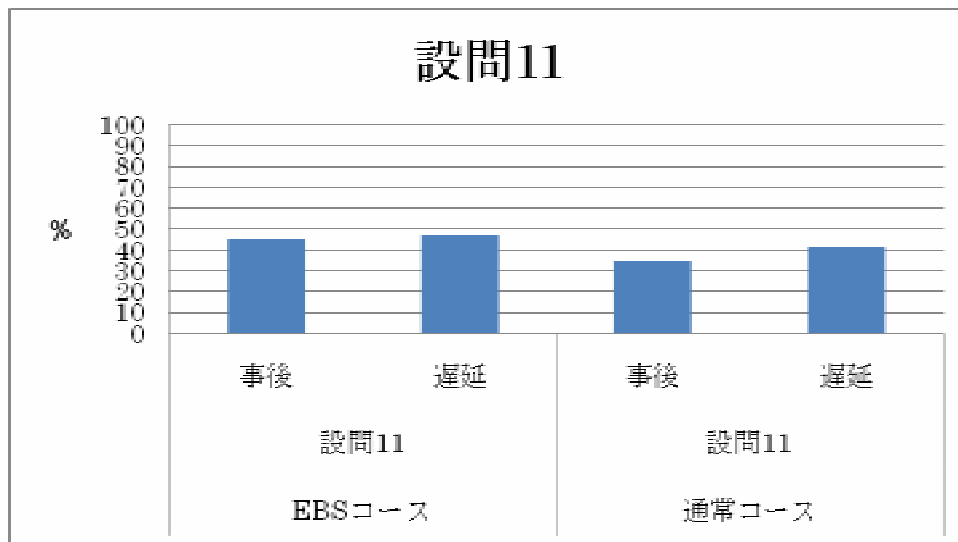












設問 1 ～ 設問 4 では EBS コースは 50.4%成績が向上した。通常コースでは、10.5%しか向上が見られなかった。また、3ヶ月後のテストでも 10%しか成績が下降しなかった。

このことから、初速度のある運動においても、EBS 実験を行うことにより、観察とそれに基づく知識の構成・修正といった教科の内容に即した情報活用がなされており、思考実験ができるようになっていることがわかる。

#### 4 研究のまとめ

EBS を用いた授業実践を行うことにより、次のことがわかった。

- ・ニュートンの第三法則の概念および力のつり合いの概念が正しく獲得できた。
- ・転移課題も解決できる思考力も育成することができた。
- ・その成果が 3ヶ月も持続することがわかった。

その理由は聞き取り調査から思考実験ができるようになっていることがわかった。さらに、初速度のある物体の運動についても同様の成果が得られることがわかった。