

親しみの少ない題材のための導入教材の検討

—地震の波の伝わり方に関する学習指導について—

隅内 健二*・石川 賢**・川島 芳昭**
 宇都宮市立鬼怒中学校*
 宇都宮大学教育学部**

本研究では、中学校理科における「地震の波の伝わり方」を題材とする学習指導の効果を、シミュレーション型教材を用いて向上させることを試みた。しかし、中学校段階の学習者にとって、地震の波の伝わり方をモデル化したシミュレーション型教材は親しみの少ない教材であると考えられた。そこで、本研究では、シミュレーション型教材による展開段階の指導に入る前に、学習者にとって生活体験から親しみがある「波紋の広がり方」や「稲妻と雷鳴の到達時刻の差」についての導入教材を提示した。そして、地震の波を想起させることでシミュレーション型教材による展開段階での学習効果を高めることを目指した。

中学校1年生を対象に、作成した導入教材を用いた学習指導を試行した。その結果、シミュレーション型教材中の地震の波の伝わり方のモデルと同様な事象を、生活体験に結びつけた動画で提示する導入教材(動画)を用いた群の方が、導入教材(静止画)を用いた群よりも高い正答率が得られることがわかった。また、習熟度の中位の学習者で動画を用いた群の方が、静止画で提示した群よりも高い正答率が得られたことがわかった。

キーワード：導入教材，理科，地震，シミュレーション型教材，先行オーガナイザー，教育工学

1. はじめに

平成20年3月に告示された新中学校学習指導要領¹⁾では、理科の学習項目の一つに「大地の成り立ちと変化」が示されている。その中でも特に「地震の伝わり方」については、他の領域に比べて理解させにくい題材であることが経験上あった。これは、学習者の関心や意欲を向上させる実体験を伴う観察や実験を行うことが困難なことが主な要因であると考えられた。

そこで、指導上の課題を把握するため小学校で地震に関する学習を経験済みの中学校1年生(5名)と、小学校だけではなく中学校1年次にも学習を経験済みの中学校2年生(5名)を対象に聞き取り調査を行った。質問は、地震のイメージ、地震発生の仕組み、地震発生の情報取得方法、地震発生時の注

意事項についてである。中学2年生には、さらに中学1年次で学習した地震の伝わり方についても聞き取りを行った。その結果、中学校1年生は、地震発生の仕組みと観測事象(揺れ、伝わり方)との関連を十分に把握できていない傾向があることがわかった。また、中学校2年生は、地震の伝わり方に関する知識の保持が不十分な傾向にあることがわかった。

ところで、中学校学習指導要領解説理科編²⁾では「ここで扱う事物・現象は再現することが困難な場合が多いので、地震についての生徒の体験や具体的な資料、簡単な地震動のモデル実験、あるいはコンピュータシミュレーションを活用して、地震及びこれに関連する地学的な事物・現象について基礎的な理解が得られるようにすること」が示されており、シミュレーション型教材を活用することが有効な指導方法の一つであることが指摘されている。

そこで、シミュレーション型教材を活用した先行研究を調査した。中学校1年生を対象とした「惑星と太陽」の単元における授業にシミュレーション型教材を活用した研究では、教材とワークシートを併

† Kenji SUMIUCHI*, Ken ISHIKAWA** and Yoshiaki KAWASHIMA**: Study on Introductory Learning Materials for the Less Familiar Subject Matter with the Learner

* Kinu Junior High School, Utsunomiya

** Faculty of Education, Utsunomiya University

表1 シミュレーション型教材の比較 (概要)

教材・サイト名		東北地震「地震Sim」 ⁶⁾	地震波シミュレーション ⁷⁾	調べてみよう! ゆれる大地のしくみ ⁸⁾	地震波の伝わり方アニメーション ⁹⁾
(ア) 知識・理解に関する観点の学習支援機能	①2種類の波の発生	○	○	○	○
	②波の広がり方	○	○	○	○
	③震源距離と揺れの大きさの関係	○	○	×	×
	④震源距離と初期微動継続時間の関係	○	×	×	×
(イ) その他の機能	震央の表示	○	○	○	○
	各地点の観測波形	○	○	○	×
	発生場所	可変	可変	選択	×
	観測地点	可変	可変	固定	×

用することにより学習効果が向上することが報告されている³⁾。さらにこの研究では、学習効果をより向上させるためには、教材を活用する前の導入指導が必要であり、そのための導入教材が必要であることが指摘されている。

導入教材については、学習効果を高める導入教材の考え方として、Ausubelの提唱した先行オーガナイザーがある。先行オーガナイザーは、当該の指導に先立って、学習内容を学習者の認知構造に親しみやすくするため、事前に関連する事項を想起させ、以後の本格的な学習を容易にしようとする考え方である⁴⁾。

この先行オーガナイザーについてMayerは、先行オーガナイザーが最も強力な効果を発揮するのは、学習内容が学習者にとって親しみの少ない内容の場合や習熟度が低いあるいは未経験の学習者の場合であることを指摘している⁵⁾。

これらの報告から、次のことが期待できる。

- ・シミュレーション型教材とワークシートを併用することで学習効果が向上すること。
- ・学習者にとって親しみの少ないシミュレーション型教材の学習効果をより高める方法として導入教材が有効であること。
- ・導入教材を使用することは、習熟度が低いあるいは未経験の学習者に有効であること。

これらのことから、学習者にとって親しみの少ないモデルを用いたシミュレーション型教材による展

開段階に入る前に、学習者にとって親しみのある事象を想起させる導入教材を提示することで、より高い学習効果が期待できると考えた。

本研究では、図1に示すように動画または静止画による導入教材を開発して導入段階で使用した。そして、展開段階で既存のシミュレーション型教材を用いた授業を試行した。その結果から、導入教材を用いた場合の学習の効果を検証した。

2. 教材の概要

2.1 シミュレーション型教材の検討

地震波の伝わり方の学習について、学習指導要領¹⁾の具体目標として記述されている項目は、次の4点である。

- ・地震の揺れには、2種類あることがわかる。
- ・地震の揺れは、震央から円が広がるように伝わることをわかる。

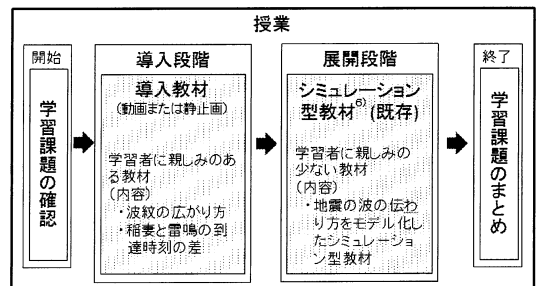


図1 学習活動と教材の関係

- ・土地の揺れの大きさは、震央からの距離に近いほど大きいことがわかる。
- ・初期微動継続時間が長いとき、震央からの距離に比例して長くなることがわかる。

これらの目標を達成するためのシミュレーション型教材に求められる機能は、地震の波の伝わり方に関して、①2種類の波の発生、②波の広がり方、③震源距離と揺れの大きさの関係、④震源距離と初期微動継続時間の関係の4つの学習指導を支援できる機能を持つ教材が必要であると考えた。

そこで、既存の教材やWeb上に公開されている地震波の伝わり方を疑似体験できるシミュレーション型教材を調査した。その代表的なものを表1に示す。表1の(7)に示すように中学1年生を対象に地震の波の伝わり方に関する学習を支援する観点では、「東北地震 Sim⁶⁾」が①～④の条件をいずれも具備していると考えられたため、展開段階で使用することとした。さらに、この指導の効果を向上させるため、後述2.3、2.4で述べる導入教材を開発して導入段階で使用することとした。

2.2 「東北地震 Sim⁶⁾」について

展開段階で使用した「東北地震 Sim⁶⁾」は、中学1年生を対象に地震の伝わり方を学習させるために開発されたシミュレーション型の教材である。

この教材では、地図上に示した震央で地震が発生した場合の初期微動や主要動が、それぞれ同心円状に伝わる様子を視覚的かつ動的に観察できる。

地震波形を示す画面では、地図上の任意の観測点(A点・B点・C点など)における揺れの大きさ(縦軸)を時間経過(横軸)とともに観察できる。これにより、学習者は震源からの距離によってゆれの大きさが変化することを観察できる。

震源からの距離による初期微動継続時間の変化を示す画面では、各観測点を震源からの距離に応じて縦軸に並べて表示し、時間経過にともなう地震波形の変化を比較して観察できる。また、並べた波形の初期微動と主要動が各地点に到達した時刻を直線で結んで表示することで、震源からの距離と初期微動継続時間の長さとの関連を、学習者に思考させることができる。

2.3 導入教材(動画)について

第1章で聞き取り調査の結果を示したように、対象とする生徒は地震発生の仕組みと観測事象(ゆれと伝わり方)との関連を十分に把握できていないこ

とがわかった。また、地震のゆれを波形で表すモデルは、生徒にとっては親しみの少ないモデルであると考えられた。そこで、学習者の生活体験と地震波のモデルを結びつける導入教材を作成し、学習の導入段階で補完することにした。

このため導入教材は、ものの伝わり方を動的に提示する次のような教材とした。

(1) 地震の波が同心円状に広がる様子を想起させるため、「水面に広がる波紋の様子」を提示する(図2、図3)。

(2) 速さの異なる2種類の波が到達する時間に差があることを示すことにより、初期微動継続時間が震源からの距離によって変化することを想起させる。このため、「雷における稲妻と雷鳴の到達時刻の差の様子」を提示する(図4、図5)。

図2は、雨の日に水たまりに広がる波紋の様子を高速度ビデオカメラで撮影した動画である。学習者の生活体験と結びつけることを意図した。

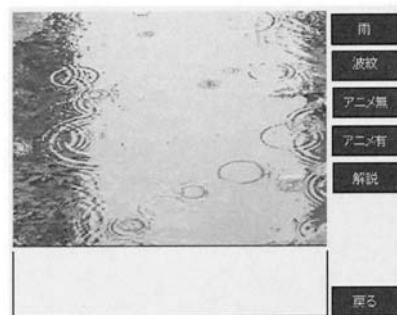


図2 水たまりにできる波紋

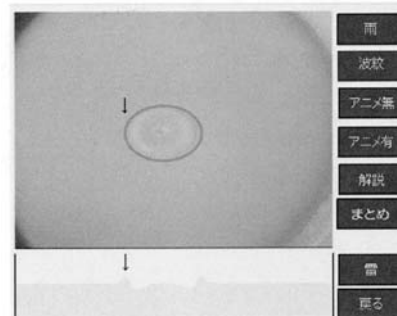


図3 波紋の広がる様子

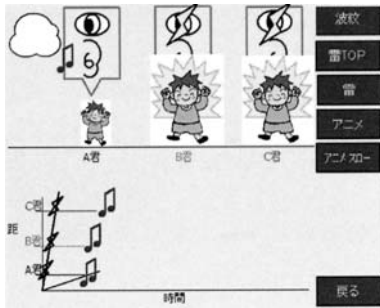


図4 稲妻と雷鳴の到達時刻の差

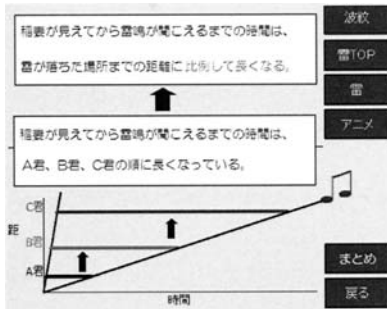


図5 到達時刻の差のグラフ化

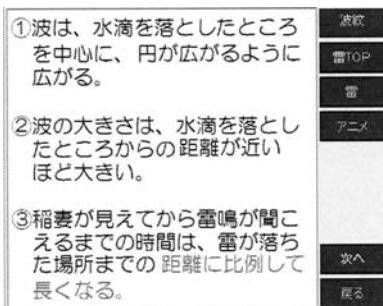


図6 波の伝わり方の特徴

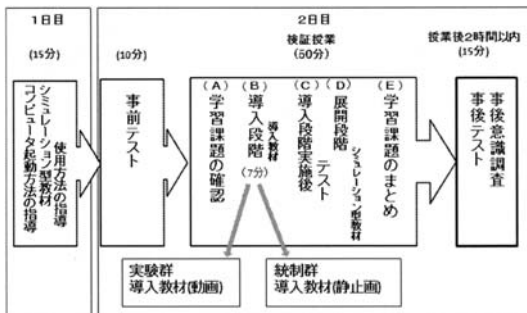


図7 検証授業全体の流れ

図3は、水面に広がる波紋の様子である。水面に広がる波紋が、中心から同心円状に広がる様子を高速度ビデオカメラの映像にアニメーションを付加して波が中心から同心円状に広がる様子を提示する。また、波の大きさの変化を表現するために、画面下部に波の大きさの変化をアニメーションで表現した。さらに、学習者が注視すべき点を矢印で表示し、強調した。

図4は、雷における稲妻と雷鳴の到達時刻の差を示した様子である。これは、雷の稲妻と雷鳴とは伝わる速さが異なるため、落雷地点に近いほど稲妻と雷鳴の間隔が短いことを想起させる。この様子をアニメーションで表現した。実際に目で観測できない音は、音符記号を使って落雷地点から観測点に向かって伝わる様子を表現した。また、既存のシミュレーション型教材の学習内容と結びつけるため、この導入教材もシミュレーション型教材と同様に横軸に時間の経過、縦軸に落雷地点からの距離を表したグラフで稲妻と雷鳴が伝わる様子を表現した。

図5は、「稲妻と雷鳴の到達時刻の差は、落雷地点からの観測点までの距離に比例して大きくなること」を静止画のグラフと解説文を組み合わせ提示したものである。静止画で表示することで、学習者への定着を意図した。

図6は、導入教材で提示した波の伝わり方の特徴をまとめて提示したものである。

本研究における導入教材は、Flash¹⁰⁾を用いて作成した。これにより、導入教材をwebブラウザ上で利用でき、インターネット接続環境があれば、多様なOS上で利用することができる教材とした。

2.4 導入教材（静止画）の概要

2.3に示した動きのある導入教材（動画）と同様の内容を静止画で表現した導入教材（静止画）を作成した。導入教材（静止画）は、プレゼンテーションソフトウェア（Microsoft PowerPoint）で静止画や語句名、導入教材（動画）中の主要な場面の静止画から構成した。

3. 検証授業

検証授業の流れを図7に示す。検証授業は、中学校1年生（56名）を対象に実施した。開発した導入教材（動画）を用いた実験群（31名）と、同様の内容を静止画で構成した導入教材（静止画）を用いた統制群（25名）を設定して検証授業を行った。

表2 2日目の検証授業の流れ(50分)

学習内容		時間			
学 習 活 動	(A)学習課題の確認	3分			
	(B)導入段階	7分			
	<table border="1"> <tr> <td>実験群</td> <td>統制群</td> </tr> <tr> <td>導入教材(動画)</td> <td>導入教材(静止画)</td> </tr> </table>		実験群	統制群	導入教材(動画)
	実験群	統制群			
	導入教材(動画)	導入教材(静止画)			
(C)導入段階実施後テスト	10分				
(D)展開段階(個別学習)	15分				
シミュレーション型教材					
(E)学習課題のまとめ	10分				

両群の授業は、コンピュータ室で実施した。授業は、シミュレーション型教材による個別学習形態で行い、ワークシートを併用して授業を進めた。学習課題の確認・導入教材の提示・学習課題のまとめは、ビデオプロジェクタを用いて拡大して投影するとともに、コンピュータネットワークを介して生徒のコンピュータ画面に配信した。

まず、1日目にコンピュータの起動方法とシミュレーション型教材の起動方法の指導をコンピュータ室で行った。

次に、2日目に事前テスト(10分)を行い、学習者の波の伝わり方に関する既存の知識を調査した。

表2に検証授業の流れを示す。検証授業は、実験群と統制群に対して同様の授業展開で行った。

(A)学習課題の確認では、スライドを用いて拡大して提示した。

実験群の(B)導入段階は、指導者は開発した導入教材(動画)を拡大して提示し、説明した。学習者は語句の名称と波の伝わり方の特徴をワークシートへ記入した。

統制群の(B)導入段階は、指導者は開発した導入教材(静止画)を拡大して提示し、説明した。学習者は語句の名称と波の伝わり方の特徴をワークシートへ記入した。

(C)導入段階実施後テストは、テスト用紙の配布・回収を含めて10分間で行った。

(D)展開段階では、ワークシートに示した地震の波の伝わり方の4つの課題についてシミュレーション型教材を活用して解決する個別学習形態で行った。

学習者はシミュレーション型教材を活用してわかった地震の波の伝わり方を、ワークシートにまとめた。指導者は、机間を巡視して操作の困難な学習者に助言した。

(E)学習課題のまとめでは、指導者がシミュレーション型教材を操作しながら課題の解説をするとともに、静止画で地震の波の伝わり方の特徴を提示した。また、展開段階で地震の波の伝わり方の特徴をまとめるまでには至らなかった学習者に対して、必要に応じて提示した特徴をワークシートに書き写すように指示した。

両群とも事後テストと事後意識調査(併せて15分、授業後2時間以内)を行った。

検証に用いたテスト(事前テスト、導入段階実施後テスト、事後テスト)の内容は、いずれも同一の内容で行った。次に各問の概要を示す。

問①地震の波の種類

問②地震の波の広がり始める地点の名称

問③地震の波の広がる様子

問④地震の波は広がり始める地点(震央)では大きいこと

問⑤初期微動継続時間は広がり始める地点(震央)に近いほど小さいこと

問①④⑤は、5肢選択式とした。問題②は語句の名称を問う記述式とした。問題③は学習者の自由な表現方法(文や図)による自由記述式とした。

4. 結果と考察

4.1 事前テストについて

検証授業前に、地震の波の伝わり方に関する両群の事前の知識を調べるために事前テストを実施し、その結果(正答の度数)をt検定により比較した。その結果、表3に示すように有意差(5%水準)は見られなかった($t=1.404$)。このことから、実験群と統制群は、ほぼ同等であると言える。

4.2 導入段階実施後テストについて

導入教材による学習の効果を調べるために、導入段階後に事前テストと同じテストを実施し、その結果をt検定により検証した。その結果、表4に示すように有意差(5%水準)は見られなかった($t=1.653$)。

更に問題別に正答数を χ^2 検定により比較した。その結果を表5に示す。

		検定方法:t検定		
	平均値	標準偏差	t値	有意差
実験群(31名)	1.48	1.208	1.404	-
統制群(25名)	1.04	1.136		

		検定方法:t検定		
	平均値	標準偏差	t値	有意差
実験群(31名)	3.68	1.365	1.653	-
統制群(25名)	2.68	1.215		

問	実験群			統制群			χ ² 値	有意水準
	正答	誤答	正答率	正答	誤答	正答率		
①	6	25	19.4%	6	19	24.0%	0.177	-
②	20	11	64.5%	15	10	60.0%	0.120	-
③	23	8	74.2%	17	8	68.0%	0.260	-
④	28	3	90.3%	17	8	68.0%	4.369	5%
⑤	23	8	74.2%	12	13	48.0%	4.051	5%

		検定方法:t検定		
	平均値	標準偏差	t値	有意差
実験群(31名)	4.39	1.174	0.347	-
統制群(25名)	4.48	0.714		

		検定方法:t検定		
	平均値	標準偏差	t値	有意差
実験群上位(9名)	3.43	1.016	1.101	-
統制群上位(14名)	3.00	0.707		
実験群中位(10名)	3.90	0.994	2.142	5%
統制群中位(7名)	3.00	0.577		
実験群下位(7名)	1.86	1.464	0.307	-
統制群下位(9名)	2.11	1.764		

問④は地震の波は広がり始める地点(震央)では波の大きさが大きいことを問う問題である。表5に示したように、問④において、実験群が優位な有意差(5%水準)があることがわかった(χ²=4.369)。

また問⑤は、初期微動継続時間は広がり始める地点(震央)に近いほど小さいことを問う問題である。表5に示すように、問題⑤において、実験群が優位な有意差(5%水準)があることがわかった(χ²=4.051)。

従って、導入段階の実施後においては、シミュレーション型教材中の地震の波の伝わり方のモデルと同様な事象を動画で提示した実験群の方が、静止画で提示した統制群よりも高い正答率が得られたと言える。

4.3 事後テストについて

一連の学習指導後に、全体として学習の効果を調べるために事後テストを行った(授業後2時間以内)。両群の結果をt検定により比較した。その結果を表6に示す。表6が示したように、両群間に有

意差(5%水準)は見られなかった(t=0.347)。一方、正答度数(満点は度数5)の平均値は、実験群4.39、統制群4.48といずれも高い値を示した。このことから、学習者にシミュレーション型教材の内容を想起させる導入教材を用いることで両群とも高い学習効果が得られると考えた。しかし、両群とも平均値が十分高かったことから、両群の平均値に有意差が見られなかったと考えられる。

4.4 学習者の習熟度別の比較

Mayer⁵⁾によると、先行オーガナイザーが最も強力な効果を発揮するのは、習熟度が低いかあるいは未経験の学習者の場合であることが報告されている。そこで、群間で学習効果に差があるかを検証するため、上位、中位、下位の3群に分けて(校内定期テストの順位による)、導入段階による学習効果を比較した。導入段階実施後テストの結果を群間でt検定により比較した。その結果を表7に示す。表7から、実験群の習熟度の中位の学習者に優位な有意差(5%水準)が見られた(t=2.142)。

このことから、本研究においては、習熟度の中位の学習者で導入教材(動画)を用いた群の方が、静止画を提示した群よりも高い正答率が得られると言える。

4.5 事後意識調査について

事後テストとともに学習意欲と科学的思考の2つの観点について事後意識調査を行った。図8に示した学習意欲については、「よく取り組めた」、「取り組めた」、「あまり取り組めなかった」、「取り組めなかった」の4選択肢とした。図9に示した科学的思考については、「よくできた」、「できた」、「あまりできなかった」、「できなかった」の4選択肢とした。さらに授業の感想を自由記述形式で回答させた。

① 学習意欲について

「授業に意欲的に取り組みましたか」の問に対して、両群ともに98.2%以上の学習者が肯定的(「よく取り組めた」、「取り組めた」)に回答した。授業の感想の自由記述では「地震の広がり方をシミュレーション型教材で知ることができて楽しかった」、「またコンピュータを使って学習したい」などの記述があった。これらの肯定的な回答から、コンピュータやシミュレーション型教材を用いた授業は、学習者の意欲を高めることができる。

② 科学的思考について

「位置を変えて、シミュレーションができましたか」の問に対して、全学習者の90.2%以上が肯定的（「よくできた」、「できた」）に回答した。授業の感想の自由記述では「シミュレーション型教材の操作が楽しかった」、「シミュレーション型教材の操作は、研究者のようで楽しかった」などの記述があり、学習者は試行錯誤しながら地震の波の伝わり方を疑似体験し学習を進めることができたと考えられる。

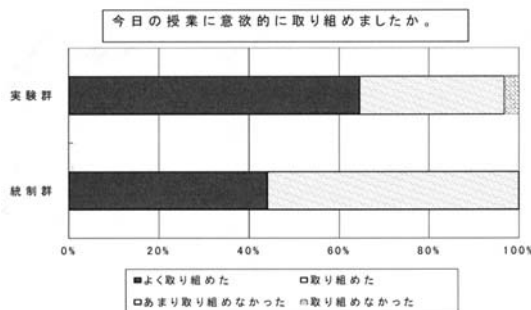


図8 学習意欲について

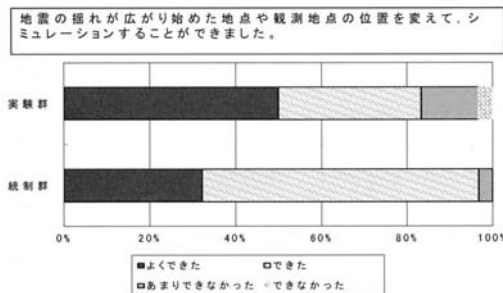


図9 科学的思考について

一方、否定的な回答をした学習者の感想に「シミュレーション型教材の見方が難しかった」の記述があった。これは、中学校1年生段階ではモデル化されたシミュレーション型教材には親しみが少なく、内容の理解に困難を感じる学習者もいることを裏付けている。これは、導入段階の学習内容や導入教材について、さらに改善や工夫をする必要があることを示唆している。

5. おわりに

本研究では、導入段階で学習者にとって親しみのある「波紋の広がり方」や「稲妻と雷鳴の到達時刻の差」を解説する導入教材を提示し、地震の波の伝

わり方を想起させることでシミュレーション型教材による展開段階の学習効果を高めることを目的に、導入教材を作成し、その検証を行った。

この導入教材による効果を検証するために、中学校1年生を対象に検証授業を行った。その結果、開発した導入教材(動画)を用いることにより、本研究では次のようなことがわかった。

(1)シミュレーション型教材中の地震の波の伝わり方のモデルと同様な事象を、生活体験に結びつけた動画で提示する導入教材(動画)を用いた群の方が、静止画を提示した群よりも高い正答率が得られることがわかった。

(2)習熟度の中位の学習者で導入教材(動画)を用いた群の方が、静止画を提示した群よりも高い正答率が得られることがわかった。

教材開発に必要なプログラミングの知識を十分に持っていない指導者にとっては、シミュレーション型教材を開発したり改善したりするには多大な労力を要する。しかし、本研究のように導入教材を作成して補完することで、既存のシミュレーション型教材を有効に活用して学習の効果を向上させる見通しをたてることができた。

今後は、導入教材をさらに工夫・改善することで、シミュレーション型教材による学習に困難を感じる学習者に対応したい。

参考文献

- 1) 中学校学習指導要領(平成20年3月)
- 2) 中学校学習指導要領解説理科編(平成20年9月)
- 3) 印南誠一, 石川 賢, 吉澤和夫: 「シミュレーション型ソフトウェアの天体の学習指導への適用」, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, 15号, pp.117-126(1992)
- 4) 新教育学大事典: 第一法規出版株式会社
- 5) R. E. Mayer: “The Psychology of How Novices learn Computer Programming” ACM Computing Surveys, Vol.13, No.1 pp.121-141
- 6) <http://www1.iwate-ed.jp/>(岩手県立総合教育センター)
関向正俊: “コンピュータを活用した「地震のゆれ」についての理解を深める教材の開発”
<http://www1.iwate-ed.jp/tantou/kagaku/happ>

yoshiryō/jishinkyōzai.pdf

- 7) <http://www.edu.gunma-u.ac.jp/~hayakawa/school/eq/> (群馬大学教育学部)
- 8) <http://www.rikanet.jst.go.jp/contents/cp0140a/start.html> (理科ねっと)
- 9) http://www.max.hi-ho.ne.jp/lylle/flash/ps_wave.html (りかちゃんのサブノート)
- 10) Adobe® Flash® Professional CS5