

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24501077

研究課題名(和文)空間図形と数式の関連付けが線形代数の理解度を深めるしくみの研究

研究課題名(英文) Study of the Effect of Using Interactively Manipulable 3D Objects on the Students' Understanding of Linear Algebra

研究代表者

西澤 一 (Nishizawa, Hitoshi)

豊田工業高等専門学校・電気・電子システム工学科・教授

研究者番号：40249800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：空間図形とベクトル方程式を対象とする学習の導入時に、図形的解釈の導入、活用が有益であることが確認できた。特に、立体(3D)図形の活用は、両分野において、学習者に全体を俯瞰するイメージを与える効果があり、図形的解釈を学習の取っ掛かりとできた学生が少なくなかった。その結果、低進歩学生が、学習内容の抽象性の高さに直面し自ら理解しようとする姿勢を諦め、式変形と公式の適用を繰り返す「ブラックボックス」学習スタイルに依存し切ってしまうことを、ある程度防止できたと考える。しかしながら、立体図形を用いた学習コンテンツが学習者の理解度を自動的に向上させることはなく、紙と鉛筆による計算演習は省略できなかった。

研究成果の概要(英文)：Learning the connection between symbolic and visual representations is a key to conceptual understanding of three-dimensional (3D) vector equations. Such a connection is especially valuable for the introductory stage, where students will have an overview of the subjects and start learning them with some confidence. With the overview and confidence, even slow learners tended to avoid black-box approach, where they memorized key formulas blindly and concentrated on the repeated trainings of calculation. The interactive learning contents using 3D objects, however, did not deepen the learners' understanding automatically even if they motivated the learners to learn more meaningfully. Calculating exercises with paper and pencil were still necessary.

研究分野：科学教育

キーワード：自然科学教育 線形代数 空間図形 ベクトル方程式 理解度

1. 研究開始当初の背景

線形代数は、工学への応用からも重要な数学の分野であるが、特に空間ベクトルと行列は高専学生の達成度が最も低い分野であった。定理と公式の学習後は、主に式変形と公式の適用を繰り返す「ブラックボックス」学習スタイル(Buchberger, 1990)が低達成度の一因と推測される。抽象度の高い数式処理を繰り返すだけでは概念が形成されず、習得したはずの手続き知識も定着しないため、学習から約1年後に行われる学習到達度試験(全国高専3年生を対象とする標準試験)では正答できなくなっていたものと考えられる。

これに対し我々は、学習者の空間ベクトルに関する理解度を深めるため、Haapasalo (2003) のMODEM理論に基づく授業プラン(表1)を構築、実践した。身近な応用例から導入し、インタラクティブな3Dグラフィックスを用いて図形と数式を関連付ける活動(ステップ3, 4)を加え、学生の理解度を深め、学習到達度を改善できると考えたのである。

表1 空間図形の授業プラン

ステップ	内容
1	応用例を知る ベクトルの内積で勝敗を決する仮想ゲームを体験
2	実物に触れる 棒と平板を用いて、空間図形の平行、垂直関係を体験
3	仮想空間での図形操作 インタラクティブな学習コンテンツで仮想空間内の図形変形、回転操作
4	図形とベクトル方程式の関係演習 インタラクティブな学習コンテンツで、空間図形、特徴の説明文とベクトル方程式の関係を把握
5	ベクトル方程式を導出 ベクトル方程式の導出過程(授業)
6	計算演習 紙と鉛筆を用いた演習。計算過程の説明を重視
7	相互解説 小グループで、互いの解法を説明し合う

線形代数の学習において、具体的な応用例から抽象論に至る学習の理解度を深めるためには、可視化(Zazkis 他, 1996)、図形的思考(Rivera, 2011)、図形的解釈(Viholainen, 2008)が重要な役割を演ずる。主として数式変形による導出を用いる論理的解釈に対し、図形を介した直観的把握に依存する図形的解釈は、正確性には欠けるものの、目に見える具体例から全体像を俯瞰し腑に落ちる理解につながりやすい。Konyalioglu 他(2003, 2005)は、可視化手法の導入で大学生のベクトル空間に関する学習を有意義化し、概念的理解を深めることができたことを報告している。

しかし、慣れない図形的解釈を難しく感じ、問題解決に利用できない学生がいることも分かっている(Stylianou & Dubinsky, 1999)。Zazkis 他(1996)は、抽象度の高い代数の学習において、初学者は論理的解釈と図形的解釈が関連しておらず、かけ離れた別々の学習活動になっている状況を指摘している。学習が進むにつれて両者が徐々に関連付けられ、最終的にはどちらの解釈を用いているかを意識しなくなるほど融合すると観察している。空間図形の理解について、Whiteley (2000)

は、早期から図形的解釈を導入し、これに学習者が慣れることも大切と主張している。

2. 研究の目的

これらの先行研究に基づき我々は、図形的解釈の経験が浅く、その手法に馴染んでいない低進度学生には、仮想空間中の3D図形を操作したとき、関連する数式が同時に変化するインタラクティブな学習コンテンツを用いた学習経験が有効であると考えた。

そこで、学習者が3D図形を直接操作した際に、関連空間図形(直線と平面)のベクトル方程式が同時に変化するインタラクティブな学習コンテンツを制作し、これを活用することで、学習者の理解度が深化するかを、低進度学生への面談調査、演習の手書き答案の質的变化、および、到達度試験得点の変化等の分析により、この活動が学習を深化させるプロセスを観察し、そのしくみを考察した。

また、この試みに手応えを感じ、3D図形を用いた図形的思考を、電気工学の基本理論である交流電流波形を示す三角関数の学習においても、低進度学生の理解度深化に応用できるかも、合わせて調べた。

3. 研究の方法

(1) ベクトル方程式の学習コンテンツ

学習コンテンツの制作環境としては、図形作画面ソフト Cabri 3D と数式処理ソフト Mathematica の二者を比較検討した。前者は仮想空間中の3D図形を学習者が直接操作できる等の利点があるが、数式表示に難点があり、図形と同時に変形するベクトル方程式を画面表示できなかった。後者はインタラクティブな数式表示は容易なものの標準インターフェイスでは3D図形の直接操作に対応しておらず、組込言語を用いたプログラミングが必要であった。本研究では、学習者により直観的なインターフェイスを提供できることを重視し、後者の制作環境を用いて3D図形の直接操作を可能にするプログラミングを行うことを選択した。

具体的には、ウルフラム社の計算可能(CDF: computable document format)形式のファイルとして、数式と図形がインタラクティブに変化する学習コンテンツを作成した。数式処理ソフト Mathematica 組み込みのプログラミング言語を用いて、コンテンツに必要な機能を組み込んだ。画面中の図形をマウス操作で直接移動、変形させたとき、画面内に表示された数式のパラメータが同時に変化するため、両者の関係を体験的に学ぶことができる。

ただし、コンピュータ画面は2次元であるので、画面上に表示された3次元空間中の点を、直接マウス操作するには工夫が必要だった。ここでは、学習者が画面上の対象点上でクリックして選択後に、対象点を x 軸および y 軸に平行な平面内で移動させるモード(図1)と z 軸に平行な直線内で移動させるモード(図2)を使い分けることで、仮想空間中

の点の移動を可能とした。また、点以外の場所をクリックすることで、仮想空間の視点を変化させ、図形を異なる方向から観察できる視点変化モードも準備した。

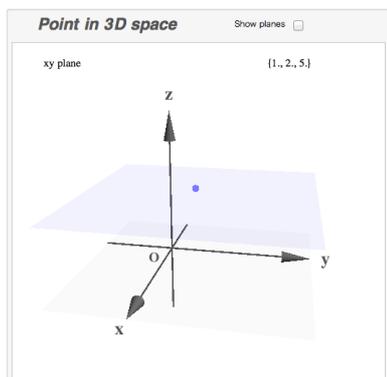


図1 xy軸平行平面内での対象点操作

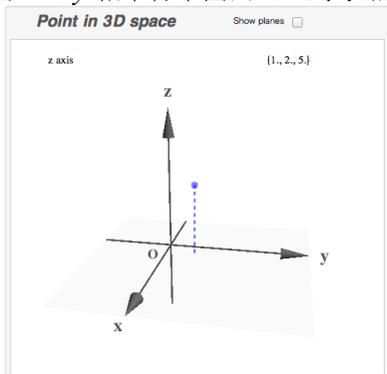


図2 z軸平行方向の対象点操作

空間中の直線のベクトル方程式に関する学習コンテンツ(図3)では、視点変化モードと2種類の対象点操作モードを随時切替え、直線方向ベクトルの視点と終点を操作する。例えば、直線方向ベクトルの始点と終点をマウス操作で移動させると、直線の位置と向きが変化し、同時にベクトル方程式のパラメータも変わる。この機能を用いて、学習者は空間中の2点A, Bを通過するよう直線を操作することで、該当するベクトル方程式を求めるのである。

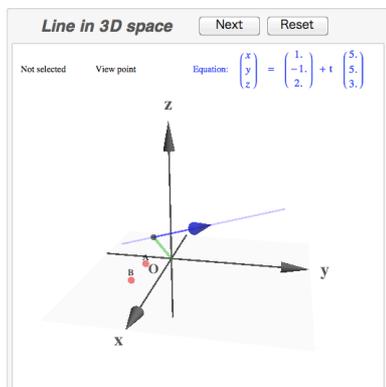


図3 直線のベクトル方程式

学習者が方向ベクトルの始点を操作してA点に重ねるとA点が膨らみ、直線がA点を通っていることを視覚的に確認できる。この

とき、画面上のベクトル方程式は、通過点への位置ベクトル(の成分)が変化している。さらに、学習者が方向ベクトルの終点を操作してB点に重ねると、A, B点の両方が膨らむと同時に、ベクトル方程式も直線方向ベクトルを正しく表示している。注意深い学習者は、このとき(終点の操作時には)、通過点への位置ベクトルが変化していないこと、また、始点操作時には、方向ベクトルが変化していないことを確認できる。

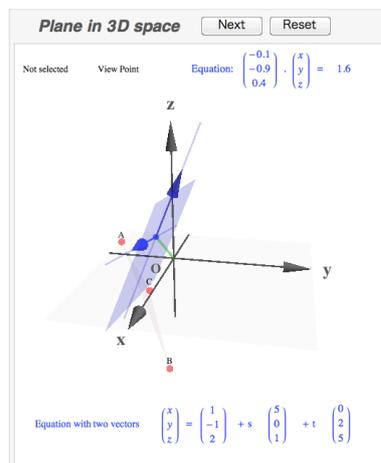


図4 平面のベクトル方程式(媒介変数)

空間中の平面のベクトル方程式に関する学習コンテンツ(図4)では、学習者は空間中の3点A, B, Cを通過するよう平面を操作することで、該当するベクトル方程式を求める。具体的には、2本方向ベクトルが共有する始点と、それぞれの終点を操作することで、3点を通過する平面のベクトル方程式を導出できる。この学習コンテンツでは、平面の法線ベクトルを用いた、もう一つのベクトル方程式も画面上部右側に表示しているが、このコンテンツで学習者が平面と法線ベクトルとの関係を把握することは難しいことが分かっている。

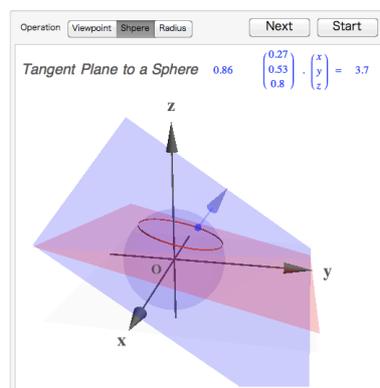


図5 平面のベクトル方程式(内積)

そこで、平面の法線ベクトルとの内積を用いたベクトル方程式を学ぶコンテンツは別に準備した(図5)。この学習コンテンツでは、操作平面を目標平面に重ねることを求められる。操作平面は、原点を中心とする球の接平面として表現されており、学習者は、球面上の接点移動(半径固定)モード、球の半径

変化（方向固定）モード、視点変化モードを画面上部のボタンを押すことで切り換えて、操作平面の方向と位置を変化させる。初期状態では、操作平面に接する球の表面を目標平面が横切っており、その交点を示す円の中心が操作平面の法線ベクトルからずれているが、接点移動モードで調整すると、操作平面と目標平面が平行になることを観測できる。この学習コンテンツは、内積を用いた平面のベクトル方程式の図形的解釈を直観的に把握する上で有効であることが、学習者への面談から確認されている。

(2) ベクトル方程式学習コンテンツ使用効果測定

これらの学習コンテンツを授業プラン（表1）のステップ3で使用したとき、ステップ6の演習得点が上昇するかどうかを調べた。2012年度後学期最終日（2013年2月）に、第1学年学生を対象に学習コンテンツを用いた90分の学習活動を行った。学習コンテンツはCDFファイルとして配布し、各学生のPC上で起動したCDF Playerを用いて利用した。対象学生は、この演習前に2次元のベクトル方程式を（従来型の講義形式で）履修済みである。また一部の（低進度）学生は、春休みの補習として、同コンテンツをWeb経由で追加学習している。

新学期（2013年4月上旬）には、Web経由で追加学習を行った4人の学生に面談調査を行い、4月から5月にかけて、全学生（N=42）に2回の演習（試験形式）得点で達成度を測定した。第1回試験問題は、空間中の2点を通る直線のベクトル方程式と代数方程式の導出を求めたものである。問2はz軸に平行な直線についてであり代数方程式を（明示的な）連立方程式として示す必要がある。

表2 第1回試験問題

	問1	問2
与点	A: (3,1,0), B: (0,2,2)	A: (3,1,2), B: (0,2,2)
特徴	一般的	Z軸に垂直
ベクトル方程式	$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = t \begin{pmatrix} -3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = t \begin{pmatrix} -3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$
代数方程式	$\frac{x-3}{-3} = y-1 = \frac{z}{2}$	$\begin{cases} x+3y=6 \\ z=2 \end{cases}$

表3 第2回試験問題

	問1	問2	問3
与点	A: (2,1,3)	A: (0,1,3), B: (1,0,-2), C: (3,1,0)	A: (2,1,2), B: (1,0,-2)
特徴	Z軸に垂直	一般的	Z軸に平行
代数方程式	$z=3$	$x-4y+z=-1$	$4y-z=2$
原点への距離	3	$\frac{1}{3\sqrt{2}}$	$\frac{2}{\sqrt{17}}$

第2回試験問題は平面のベクトル方程式と代数方程式を導出し、平面と原点との距離を求める3問である（表3）。問1はz軸に垂直

な平面、問2はいずれの軸に平行でも垂直でもない平面、問3はx軸に平行な平面である。第1回試験は、空間図形のベクトル方程式に関する60分×2回の解説（授業プランのステップ5）の2週間後に実施、第2回試験は、空間図形のベクトル方程式に関する解説授業が終了し、計算演習（授業プランのステップ6）が始まってから2週間後に実施した。

(3) 三角関数の学習コンテンツ

3次元図形を用いた図形的解釈を、交流電流波形の学習にも応用した。授業プラン（表1）の応用例（ステップ1）として、従来より通信ケーブルの写真（図6）を利用していましたが、これに加え、実物としてのペットボトルに靴紐を巻く体験（図7）と、仮想空間中のスパイラル曲線を提示する学習コンテンツ（図8）の使用を追加した。学習コンテンツには、ウルフラム社のCDFファイルを使用している。三角関数を複素ベクトルで表現する電気回路の独特の手法を、低進度学生が受け入れやすくなると期待したものである。

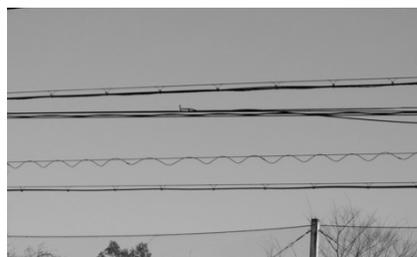


図6 通信ケーブルの写真

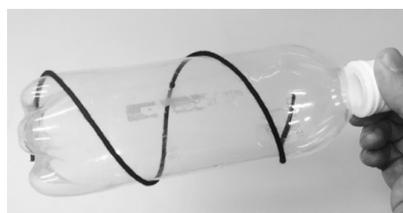


図7 ペットボトルと靴紐

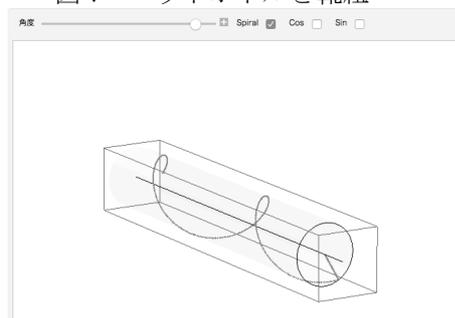


図8 仮想空間中のスパイラル曲線

(4) 三角関数学習コンテンツ使用効果測定

三角関数学習における3D空間図形の使用効果は、三角関数 $y = \sin(x + \pi/3)$ のグラフを描画する演習（試験形式）の得点（5点満点）で評価した。グラフの描画に3.5点、グラフと座標軸との交点座標明示に1.5点を配分している。演習は、授業活動の3週から5週後に実施し、学習コンテンツ導入前の学生群と比較した。

4. 研究成果

(1) ベクトル方程式学習コンテンツ使用効果

制作した3種類の学習コンテンツの使用感を調査した面談調査 (N=4) では、直線のベクトル方程式に関する肯定感が最も高く、直線の図形的特徴とベクトル方程式のしくみを直観的に把握できると全員が答えた。また、平面のベクトル方程式 (媒介変数) についても、3/4 の学生が分かりやすかったと答えている。一方、平面のベクトル方程式 (内積) に関する感想は二つに別れた。ある学生は、この表現法で内積型のベクトル方程式の本質が分かったと述べた一方、別の学生は、学習コンテンツを利用後も、ベクトル方程式のしくみを掴みきれていないと供述していた。

試験結果についても、学習コンテンツの利用効果は二つに別れた。

第1回試験では、学習コンテンツを利用していない前年度 (2011, 2012) の学生群に比べて、2013年度の学生群では、直線のベクトル方程式を全く導出できなかった学生比率が低下した (表4)。白紙回答も少なく、方程式を導出できなかったが方向ベクトルのみを求めた学生も減少している。87%の学生が (2つのベクトル方程式導出はもちろん) 少なくとも1つの代数方程式を導出できている。ただし、2013年度の好成绩は、学習コンテンツの利用に直接結び付けられるものではない。なぜなら、学習コンテンツでは代数方程式は全く表示していないからである。むしろ、学習コンテンツの利用でベクトル方程式2慣れ、平面上の直線の方程式 $y = ax + b$ に拘っていた学生の注意がベクトル方程式に向けられるようになった結果ではないかと推察している。また、一旦ベクトル方程式に慣れると、2次元の式と3次元の式が同一形式であることも、理解しやすさを助けているものと考えられる。

表4 第1回試験 (直線のベクトル方程式) 結果

年度	2011	2012	2013	
学習コンテンツ利用	無		有	
学生数	42	40	39	
平均点/満点 (標準偏差)	1.9/4 (1.2)	1.1/4 (1.1)	3.1/4 (2.2)	
回答状況	全方程式導出	5 (12%)	1 (3%)	19 (49%)
	1代数方程式未導出	5 (12%)	1 (3%)	15 (37%)
	2代数方程式未導出	21 (50%)	16 (40%)	0
	方向ベクトルのみ	3 (7%)	6 (15%)	0
白紙	8 (19%)	16 (40%)	5 (13%)	

第2回試験では、学習コンテンツを利用していない前年度 (2011, 2012) の学生群に比べて、2013年度の学生群では、平面のベクトル方程式を導出する問題の平均正答率が低下した (表5)。満点に至らなかった手書き答案について、ベクトル方程式の導出成功率と代数方程式の導出成功率を比較したところ、2013年度の学生群は、2011, 2012年度の学生群に比べて、代数方程式の導出成功率が高くなっており、図形的特徴を活用したベクトル方程式を出発点とするのではなく、公式:

$ax + by + cz = d$ で連立方程式を立て、これを解くことで自動的に解を求めようとしていた答案 (図9) が多かった。

表5 第2回試験 (平面のベクトル方程式) 結果

年度	2011	2012	2013	
学習コンテンツ利用	無		有	
学生数	41	44	42	
平均点/満点 (標準偏差)	4.7/10 (3.1)	4.0/10 (2.9)	2.1/10 (2.2)	
回答状況	全方程式導出	7 (12%)	5 (11%)	4 (10%)
	ベクトル > 代数	17 (12%)	12 (17%)	9 (21%)
	ベクトル = 代数	20 (50%)	18 (41%)	13 (31%)
	ベクトル < 代数	5 (7%)	3 (7%)	9 (21%)
	式導出できず/白紙	5 (19%)	6 (14%)	7 (17%)

約3ヶ月が経過し、2月に学習コンテンツを体験した効果が薄れ、より最近の授業内容 (平面の代数方程式: $ax + by + cz = d$ を紹介) の影響 (と手続き記憶への依存) が大きくなってきているものと推測される。

平面の代数方程式を理解するには、学習コンテンツから、法線ベクトルとの内積を用いたベクトル方程式の図形的解釈を学ぶ必要があるが、媒介変数を用いたベクトル方程式 (図4) に対して、内積を用いたベクトル方程式 (図5) の図形的特徴把握は単純でなく、低進度学生への面談調査で明らかとなったように、短時間使用では、学生によるばらつきが存在するようである。

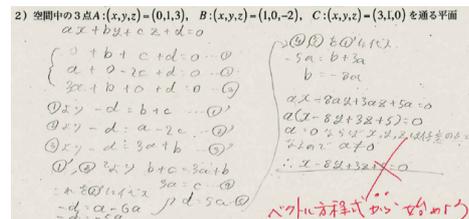


図9 公式を利用した解答例

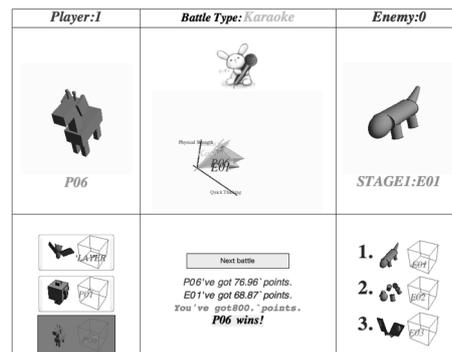


図10 ベクトルの内積を用いた仮想ゲーム

学習コンテンツ利用の前に、平面の法線ベクトルと方向ベクトルが常に直交しており、両ベクトルの内積は常にゼロとなることを常識と認識する程度の体験を積むことが有益と考えられる。その意味で、本研究の授業プラン (表1) ステップ1で導入した仮想ゲーム (図10:ベクトルの内積で勝敗を決する) の活用は価値があろう。

(2) 三角関数学習コンテンツの使用効果

2014年度の学生群 (実験群) に対し、2011

～2013年度の学生群（比較群）は、ペットボトルに靴紐を巻いてスパイラル波形を観測する活動（図7）と3D学習コンテンツ（図8）を用いた学習活動は行っていない。通信ケーブルの写真（図6）による具体例の紹介は、全学生群に共通する学習活動である。比較三群の中では、授業と演習の間隔が最も空いていた2013年度の平均点が最も低かったが、その差は有意ではない（表6、 p 値は、2013と2011が0.06、2013と2011が0.10）。各群とも8～12名（21～28%）が、正しいグラフを描画できなかつた低得点学生である。これに対し、実験群の2014年では、平均点が有意に高く（2014と2011で、 $p < 0.05$ ）、低得点学生も1名のみと少なかった。実験群では、ほとんどの学生が、位相角のある三角関数波形をイメージできていた。

表6 三角関数の波形描画試験の結果

年度	2011	2012	2013	2014
ケーブル写真	使用			
ペットボトル	未使用			使用
学習コンテンツ	未使用			使用
授業・演習間隔	3週	3週	4週	5週
平均点／満点 (標準偏差)	3.9 / 5 (1.7)	3.8 / 5 (1.6)	3.4 / 5 (1.7)	4.8 / 5 (0.5)
学生数	38	43	43	41
低得点者数 得点：3/5点未満	8 (21%)	11 (26%)	12 (28%)	1 (2%)

(3) 研究成果のまとめ

最終的には数式変形を主体とする論理的解釈による理解を目指す数学学習においても、授業プラン前半における図形的解釈の導入、活用が有益であることが、空間図形（ベクトル方程式）、および、三角関数を対象とする学習の実践的研究により確認できた。特に、立体（3D）図形の活用は、両分野において、学習者に全体を俯瞰するイメージを与える効果があった。図形的解釈を学習の取っ掛かりとできた学生が少なくなかった。その結果、低進歩学生が、学習内容の抽象性の高さに直面し自ら理解しようとする姿勢を諦め、式変形と公式の適用を繰り返す「ブラックボックス」学習スタイルに依存し切ってしまうことを、ある程度防止できたと考えられる。

しかし、平面のベクトル方程式に関する達成度不足の結果からも分かるように、インタラクティブな3D図形を用いた学習コンテンツの導入が、学習者の理解度を自動的に向上させることはないことには留意する必要がある。例えば、ベクトルの内積を用いた平面のベクトル方程式のように、学習コンテンツの提供する図形的解釈を学習者が把握するのに時間がかかり消化不良を招く場合には、学習コンテンツの使用効果を期待できない。

すなわち、新しい数学的概念を導入するに際し、3D図形を用いた図形的解釈が有益であることは確認できたが、その後の通常授業における論理的解釈や（紙と鉛筆による）計算演習を省略、削減できる可能性は見つけることができなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- 1) 丹羽隆裕, 西澤一, “数学・物理の概念的学習を即すWebベースコンテンツの開発と試用”, 論文集「高専教育」第38号, pp.410-415 (2015), 査読有.
- 2) Nishizawa, H., Kimura, K., Ohno, W., Yoshioka, T., “Interactive worksheets for connecting symbolic and visual representations of 3D vector equations”, Teaching Mathematics and Its Applications, 33, pp.52-64 (2014), 査読有.
- 3) Nishizawa, H., Shimada, K., Ohno, W., Yoshioka, T., “Increasing Reality and Educational Merits of a Virtual Game”, Procedia Computer Science, 25, pp.32-40 (2013), 査読有.
- 4) Nishizawa, H., Shimada, K., Yoshioka, T., “Learning Linear Algebra by Combining a Virtual Game in Class and Web-based Learning Activities”, Proc. the IASTED International Conference on Web-based Education, pp.844-850 (2013), 査読有.
- 5) Nishizawa, H., Yoshioka, T., Pesonen, M.E., Viholainen, A., “Interactive Worksheets for Learning the Connection Between Graphic and Symbolic Object Representations”, Proc. 17th Asian Technology Conference in Mathematics, pp.236-245 (2012), 査読有.

[学会発表] (計6件)

- 1) Nishizawa, H., Ohno, W., Yoshioka, T., “Real and Virtual Helices for the Introduction of Trigonometric functions”, 12th International Conference on Technology in Mathematics Teaching, 2015年6月25日, University of Algarve, Portugal.
- 2) Ohno, W., Nishizawa, H., “Handling 3D Graphic Objects Directly for the Learning of Vector Equations”, 12th International Conference on Technology in Mathematics Teaching, 2015年6月25日, University of Algarve, Portugal.
- 3) Ohno, W., Shimada, K., Nishizawa, H., Yoshioka, T., “Locating Points in 3D Graphic Space As More Direct Interface to the Learning Contents of Vector Equations”, 19th Asian Technology Conference in Mathematics, 2014年11月28日, Yogyakarta, Indonesia.
- 4) 丹羽隆裕, 西澤一, “低学年物理のためのWebベースコンテンツの開発と試用”, 全国高専教育フォーラム, 2014年8月27日, 金沢.
- 5) 西澤一, 丹羽隆裕, “図形と数式を関連づけるインタラクティブ空間ベクトル学習コンテンツ”, 全国高専教育フォーラム, 2013年8月21日, 豊橋技術科学大学.
- 6) 西澤一, 丹羽隆裕, “図形と数式を関連づけるインタラクティブ数学学習コンテンツ”, 全国高専教育フォーラム, 2012年8月29日, 東京.

[その他] 数学学習支援システム HP
(<http://orchard.ee.toyota-ct.ac.jp>)

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
西澤 一 (NISHIZAWA Hitoshi)
豊田工業高等専門学校・電気・電子システム工学科・教授 研究者番号: 40249800
- (2) 研究分担者
吉岡 貴芳 (YOSHIOKA Takayoshi)
豊田工業高等専門学校・電気・電子システム工学科・教授 研究者番号: 30270268
- (3) 研究分担者
丹羽 隆裕 (NIWA Takahiro)
八戸工業高等専門学校・総合科学科・准教授
研究者番号: 50611349