

展開図学習用電子教材「TENKAI」を利用した授業の学力面での教育効果の検証

大森晃^{*}，平野直樹^{**}

Verification on the Educational Effect to Academic Ability of the Class Using an Electronic Tool "TENKAI" to Learn Developments of Solids

Akira OHMORI^{*}，Naoki HIRANO^{**}

Some academic societies for education were interested in and studied the education of developments of solids. We can find their various contributions to the usual education of developments that is conducted with handcraft tools such as papers, scissors and pastes. On the other hand, computer environments in elementary schools are getting better, and therefore, the use of an electronic tool in the education of developments of solids can be regarded as an important means that leads to higher educational effect. A few electronic tools were developed, but an effect of class using such an electronic tool was not verified in terms of academic ability. We developed another electronic tool "TENKAI" for learning developments of a cube and a rectangular parallelepiped. To verify an effect of class using TENKAI in terms of academic ability, we set a control group and an experimental group, and conducted experimental classes on developments. The experimental classes were conducted with a normal method for the control group; and conducted with TENKAI for the experimental group. Consequently, the academic ability in the experimental group tended to be higher than that in the control group.

キーワード：展開図教育，電子教材，立方体，直方体，実験研究

1. はじめに

展開図教育については，日本数学教育学会，日本教育心理学会など，教育に関わる学会で古くから関心が持たれ，研究されてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。これらの研究は，方眼紙・画用紙などの紙，工作バサミやカッターナイフ，工作ノリやセロテープなどの工作用具を利用して行う通常の授業形態を前提にして，展開図の学習指導法について研究したものである。

一方，小学校におけるPC利用環境が整備されていくなか，日高⁽⁸⁾は11種類の立体図形を対象にして，

図形の回転，変形など様々な図形操作機能を有する立体図形学習支援ツール（3D-ラボ）を開発している。彼は展開図教育も念頭に置いて，「展開と組み立て」の機能についても簡単に言及している。3D-ラボは立体図形を学習する上で必要と思われる様々な機能を提供しているが，その評価は課題のまま残っている。

松永ら⁽⁹⁾は，立方体のみを対象にした展開図学習用電子教材を開発している。彼らの電子教材では，児童が自ら展開図を作成・修正でき，展開図の作成に行き詰った際に児童がヒント表示機能を選択すれば正しい展開図へ誘導するようなヒントを表示する。児童が作成した展開図については，その正誤を問わず組み立て過程を見ることが出来る。また，展開図に限り90度ずつ左回転させて異なる方向から同じ展開図を見ることが出来る。ただし，組み立

* 東京理科大学
Tokyo University of Science

** 日本バイリーン株式会社
Japan Vilene Company, Ltd.

てた立方体を展開する過程を見ることはできない。

彼らは、こうした電子教材の有効性評価を試みている。2つの異なる小学校の5年生1クラスを対象に、一方で39名の児童に当該電子教材を使用させて展開図を作成させ、他方で36名の児童に用紙を使用させて展開図を描かせ、双方のクラスの「試行数」、「成功した展開図の種類数」などを調査している。「成功した展開図の種類数」については統計的有意差が認められないが、「試行数」については統計的有意差が認められることから、彼らは「児童は考えた展開図が立方体になるか否かを確かめるために（展開図組立シミュレータを）積極的に使ったと考えられる」としている。また彼らは、ヒント表示機能の有効性について検討し、「ヒント機能を使った児童はそれなりに効果をあげている」としている。ただし、この場合の被験者は6名であり、統計的に意味のある結果を得ているとは考えにくい。なお、彼らの有効性評価においては、学力調査は行われていない。

松永ら⁽¹⁰⁾は松永ら⁽⁹⁾と同様の電子教材を評価するために、ある小学校の5年生49名を対象にして実験群X（被験者25名）と実験群Y（被験者24名）を設定し、実験授業を行っている。実験群Xでは、実験1として当該電子教材を利用して展開図を作る授業（授業A）を行い、その後で実験2として工作用具を利用して展開図を作る授業（授業B）を行っている。一方、実験群Yでは実験群Xとは逆に、実験1として授業Bを行い、その後で実験2として授業Aを行っている。そして、データとして「試行数」、「成功数」、「同じ（前に成功したのと同じ展開図）の数」、「失敗数」などを収集するとともに、学力調査テストを行っている。

実験1における実験群X（授業A）と実験群Y（授業B）との間に、「試行数」、「同じの数」、「失敗数」については統計的有意差が認められることから、彼らは「実験1の学習者は、考えた図形が展開図になるかどうかを確認するためにシミュレーションを利用していると考えられる」としている。ただし、「成功数」については、統計的有意差は認められない。したがって、当該電子教材の利用によって、どれが正しい展開図でどれが誤った展開図であるか

を試行錯誤する機会が増えるという効果はあるように思われるが、正しい展開図を、工作用具を利用するよりも効率的に学べるか否かについては明らかになっていない。また彼らは、学力について、実験1の後で行われた「事後テスト1」の結果から、実験群X（授業A）と実験群Y（授業B）との間には統計的有意差は認められないとしている。これは、当該電子教材の学力面での有効性を検証しようとしたが、検証できなかったことを意味している。

彼らは、授業Aと授業Bの組み合わせ順の違いに関連して、実験群Xにおいては実験1（授業A）と実験2（授業B）との間で「成功数」については統計的有意差が認められないが、実験群Yにおいては実験1（授業B）と実験2（授業A）との間で「成功数」について統計的有意差が認められるとしている。この結果の含意は明らかにされていない。筆者らの推察によれば、まず工作用具を用いる授業Bを行い、その後で当該電子教材を用いる授業Aを行う方が、正しい展開図をより多く作成するようになるという意味で、より高い教育効果が得られるということを含意するものと考えられる。ただし、これは当該電子教材の有効性を評価するというよりも、授業Aと授業Bの組み合わせ順に関する有効性を評価する試みと言える。

展開図学習用電子教材の有効性を検証するための評価指標は色々と考えられる。学力は特に重要な評価指標のひとつである。展開図学習用電子教材の開発と評価に関わるこれまでの研究では、電子教材の有効性がまったく検証されていないわけではないが、学力面での有効性は検証されていない。

そこで本研究では、独自に開発した展開図学習用電子教材TENKAIを対象にして、TENKAIを利用した授業の学力面での教育効果が、通常の授業よりも高いことを、実験によって検証することを目的とした。実験としては、統制群と実験群を設定して展開図教育についての実験授業を実施した。実験授業は、統制群では工作用具を利用して通常の方法で実施し、実験群ではTENKAIを利用して実施した。

2. TENKAIの概要

TENKAI 開発時の小学校学習指導要領（平成10

年12月告示、15年12月一部改正の現行学習指導要領)によれば、展開図教育は立方体・直方体の2種類の図形について、第6学年の児童に対して求められている。そのため、TENKAIで対象とした立体図形は立方体と直方体の2種類である。TENKAIは、学力面での教育効果を狙って、以下の(1)~(6)を基本方針として開発した。

(1) 児童が自分のペースで学習できるように、対話的な電子教材であること。

(2) 児童が円滑に学習を進められるように、操作方法を練習できること。

(3) 児童が知識を整理しやすいように、立方体展開図と直方体展開図を区分けして学習できること。

(4) 児童が正しい展開図をすべて見られるように、立方体展開図と直方体展開図のそれぞれについて、正しいすべての展開図を表示でき、また一覧としても表示できること。

(5) 工作用具を利用する場合に実体験できる展開図の組み立てや立体図形の展開を、児童が疑似体験できるように、

(5-1) 個々の展開図を3次的に様々な視点から観察できること。

(5-2) 個々の展開図を組み立てたり元に戻したりできること。

(5-3) 個々の展開図の組み立て途中の図形および組み立て完了後の図形を、3次的に様々な視点から観察できること。

(6) 児童が習得した知識を楽しく確認できるよ

うに、

(6-1) 課題を提示し、児童の解答に対して正誤判定を表示できること。

(6-2) 提示された課題に児童がゲーム感覚で取り組めること。

なお、TENKAIはアプリケーションFlashを用いて開発しており、ウェブ教材としても利用できる。

TENKAIは、「ソフト使用法」、「立方体展開図」、「直方体展開図」、「問題を解く」の4つの動作モードを提供する。以下の各節では、各動作モードの概要を述べる。なお、TENKAIの操作はすべてマウスを使って行われる。TENKAIの概要説明においては、TENKAIの画面中に配置されている各種ボタンをマウスでクリックすることを「ボタンを押す」と表現する。

2.1 「ソフト使用法」の動作モード

本動作モードは、「立方体展開図」、「直方体展開図」、「問題を解く」の各動作モードを選択して起動する方法など、TENKAIの操作方法を児童に練習・習得してもらうために用意されており、必要な操作方法に関する簡単な指示文を対話的に順次表示する。児童は、指示文に従って簡単な操作練習を行うことによって、必要な操作方法を習得できるようになっている。

本動作モードで用意した画面数は14であり、指示文を読み、指示に従って操作練習をしたり画面を切り替えたりして、一通りの操作方法を習得するためにかかる時間は3~4分程度である。なお、本動作モードはTENKAIの操作方法を児童に習得させることだけを目的にしており、展開図学習に関する学習指導は行っていない。

2.2 「立方体展開図」の動作モード

本動作モードでは立方体の展開図について学習することができる。本動作モードで表示される画面の一例を図1に示す。立方体の展開図は全部で11種類ある。本動作モードでは、それらに対応して「01-展開図」~「11-展開図」という

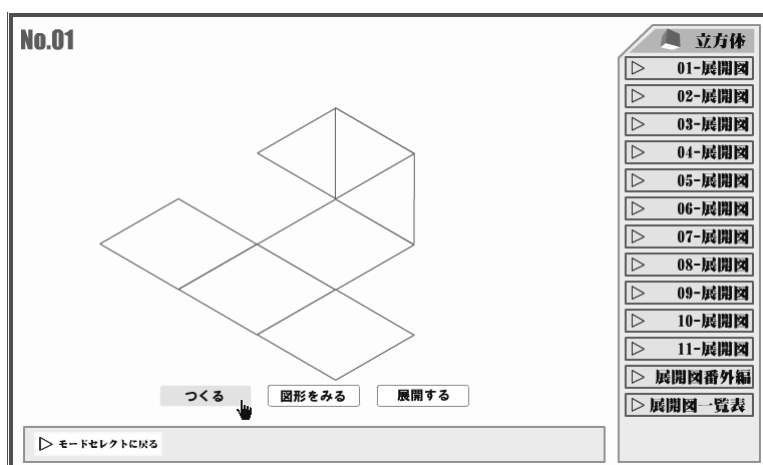


図1 「立方体展開図」の動作モード(一例)

選択ボタンを、展開図メニューとして画面右に配置してある。画面中央部に表示される図形に対する操作インターフェースとして、画面下に「つくる」ボタン、「図形をみる」ボタン、「展開する」ボタンを配置してある。

「つくる」ボタンを何度か押すと、アニメーションによって展開図から立方体が作られる過程を見ることができる。図1は、展開図メニューから「01-展開図」ボタンを選択して展開図を表示し、「つくる」ボタンを2回押した直後の状況を示している。「展開する」ボタンを何度か押せば、立方体あるいは組み立て途中の立体図形が順次展開されて元の展開図に戻る過程をアニメーションによって見ることができる。展開図を組み立てたり元に戻したりする過程では、「つくる」ボタンと「展開する」ボタンの操作は任意の時点で可能であり、何度でも展開図の組み立て、立方体の展開を反復できる。

「図形をみる」ボタンは任意の時点で使うことができる。このボタンを使うと、表示されている図形

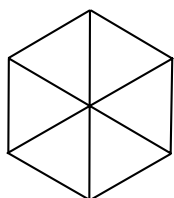


図2 組み立てた時に表示される立方体

(展開図、組み立て途中の図形、立方体)を3次元的に様々な視点から観察することができる。これを可能にしている背後には、3次元図形の表示・回転機能がある。図2は、展開図を組み立てた時に表示される立方体を示している。そして図3は、左ボタンを押したままマウスを右方向へ動かすことによって、図2の立方体を右回転して表示したものである。図形がマウスの動きにあわせて回転するようにしてある。また、「図形をみる」ボタンを使えば、ひとつの展開図を様々な視点から見ることができ、視点の違いから見かけは異なって見える展開図であっても、それらが同じ展開図であることを学習できるようになっている。

画面右下にある「展開図一覧表」ボタンを押すことによって、11種類の展開図を全て示す画面を閲覧できる。また、展開図メニューのどのボタンにどんな展開図が対応しているかを知ることができる。

TENKAIでは図形の面は透明であり、図形の骨格(つまり、辺を示す実線)を表示している。学力テスト問題で表現される展開図は、しばしば、各面の境界である辺が実線で示され、面が不透明に見えるようには描かれていない。TENKAIは学力面での教育効果を狙っている。そのために、学力テスト問題における図形表示とのギャップを最小限にとどめる必要があり、TENKAIでは面を透明とし、辺を実線で表現するという図形表示方式をとっている。ただし、本来は見えない辺や面を見ているということ

を児童に気づかせることも必要であるので、面が不透明な立方体を展開する過程を繰り返して表示するアニメーションを用意してある。それは、図1の画面右下にある「展開図番外編」ボタンを押すことによって見ることができる。

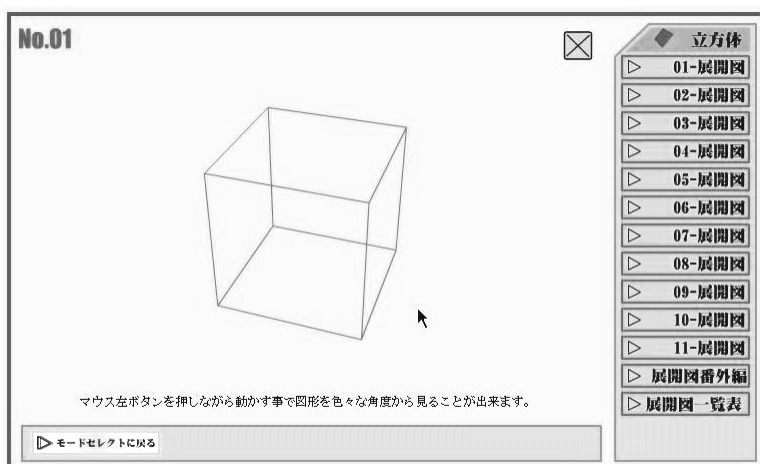


図3 回転した立方体の表示

2.3 「直方体展開図」の動作モード

本動作モードでは直方体の展開図について学習することができる。本動作モードで表示される画面でも、「立方体展開図」の動作モードと同様に、画面下に「つくる」ボタン、「図形をみる」ボタン、「展開する」ボタンを配置してある。

操作インターフェースとして「立方体展開図」の動作モードと異なる点は、展開図メニューの構成である。

直方体の展開図は全部で 54 種類ある。TENKAI ではこれらすべてを取り扱うため、直方体の展開図メニューを 5 つのページに分けている。あるページから他のページへの移行をスムーズに行えるようにするために、各ページには、前ページあるいは次ページへ移行するための矢印ボタン、および任意のページへ移行するためのページ番号ボタンを配置してある。各ページには、そのページで扱っている直方体展開図を全て閲覧できるように「展開図一覧表」ボタンも配置してある。

2.4 「問題を解く」の動作モード

本動作モードは、展開図について学習した知識が身についているかどうかを、ゲーム感覚で児童に確認してもらうために用意されている。本動作モードで表示される画面の一例を図 4 に示す。本動作モードでは、最多で 20 問出題される問題のうち 10 問に正解する、という課題を児童に提供する。20 問の問題は、事前に用意してある 100 個の問題の中から、ランダムに選択・出題される。出題される各問題への解答制限時間は 100 秒間である。解答方式は、4 つの選択肢から正解を選ぶという 4 択方式である。児童が選択肢を選んだ場合、選ばれた選択肢の正誤判定を行い、判定結果を示す。児童が 10 問を正解した時点で課題終了となる。一方、児童が本動作モードを終えたい場合には、「ゲームをやめる」ボタンを押すことで、いつでも終了させることができる。出題される問題の種別には以下のようなものが

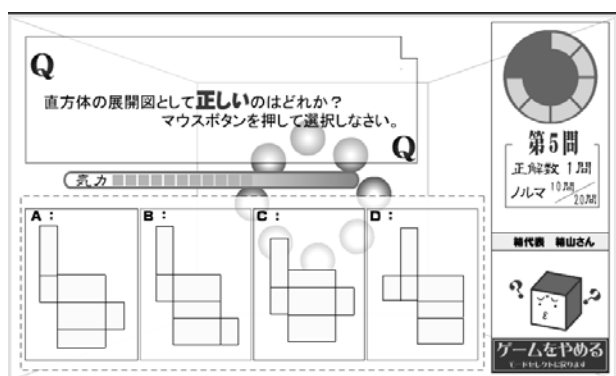


図 4 「問題を解く」の動作モード（一例）

ある。問題の種別は、文部科学省検定済みの標準的な教科書で学習する内容を参考にして決めた。

- (1) 正しい展開図を問う問題。
- (2) 上記の応用として、間違った展開図を問う問題。
- (3) 展開図を組み立てた時、展開図上で指定した面と隣り合う面を問う、つまり面の隣接関係を問う問題。
- (4) 展開図を組み立てた時、展開図上で指定した面と反対側に位置する面を問う、つまり面の平行関係を問う問題。
- (5) 展開図を組み立てた時、展開図上で指定した辺と重なり合う辺を問う、つまり同一辺を問う問題。
- (6) 展開図を組み立てた時、展開図上で指定した頂点と重なり合う頂点を問う、つまり同一頂点を問う問題。

児童に対して、TENKAI は学習指導をなんら明示的に行なわないが、どんなことを学習すればよいかという学習事項を提示することは重要である。本動作モードは、上記のような諸種の問題を出題する問題文によって、例えば正しい展開図とか面の隣接関係とかを学習すればよいという学習事項を、児童に伝える役割も果たす。

3. 統制群と実験群の設定、および等質性の検討

3.1 統制群と実験群の設定

実験授業における統制群の設定について、K 小学校第 6 学年クラス A・B・C の授業をそれぞれ担当する教諭 3 名からの協力を得ることができた。また、実験群の設定については、O 小学校第 6 学年クラス A の授業を担当する教諭 1 名、S 小学校第 6 学年クラス A・B の授業を担当する教諭 1 名から協力を得ることができた。結果、K 小学校第 6 学年クラス A・B・C の児童 87 名を統制群に配置し、O 小学校第 6 学年クラス A の児童 33 名と S 小学校第 6 学年クラス A・B の児童 70 名の計 103 名を実験群に配置することとした。

3.2 実験前テストによる等質性の検討

教育に関する二群法による実験的研究では、統制群と実験群を等質であるように編成することが望ましい⁽¹¹⁾。本研究では、学力に関する等質性が望まれる。

そこで、統制群と実験群のそうした等質性を確認するために、両群の児童に対して、展開図に関する問題から構成された実験前テストを実施した。設問は5問あり、得点は正解1つにつき1点とした。テストは、両群とも実験授業開始直後の15分間を使って、実力テストという名目で行った。ただし、学校授業から立方体と直方体がどんなものであるかの知識を児童は得ていないので、各実験協力校の教科書に則ってそれらがどんなものであるかの説明をテスト前に教諭が行った。

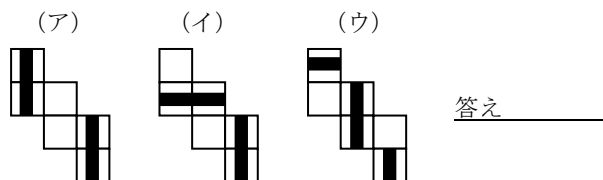
問題1～2は、3つの選択肢を与え、そこから立方体の間違った展開図を答える問題である。問題3～5は、**図5**に示す通りである。問題3は面の隣接関係が理解できているか、問題4は面の平行関係が理解できているかを試すものである。この問題は、正答を導くために、普通のサイコロにおける平行面同士の数の和が7になるという知識を使えないように工夫してある。問題5は組み立て途中の立方体から、可能な展開図を描けるかどうかを試す問題であり、正しい展開図の記憶だけでは解けないように工夫したものである。ここで立方体の問題に限定したのは、6面が同じ形である立方体の方が直方体の問題よりも難度が高いからである。

実験前テストの結果を**表1**に示す。**表1**は、統制群・実験群ごとに得点1～5を取得した児童数を示している。**表1**のデータを基に正規性検定(Shapiro-Wilk)を行ったが、両群とも正規性はないとの結果が得られた。そのため、両群の統計的有意差を分析する際に、言い換えれば、学力に関する等質性を分析する際に、パラメトリックな統計的検

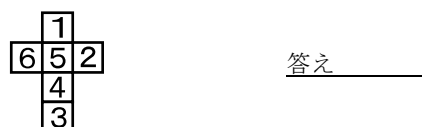
表1 実験前テストの結果

得点	1	2	3	4	5	合計
統制群	1名	8名	19名	28名	31名	87名
実験群	5名	7名	17名	31名	43名	103名

問題3 下の展開図を立方体にしたとき、かかっている黒い線が繋がるのはどれでしょうか？(ア)～(ウ)の中から選んで答えを書きなさい。



問題4 下のサイコロ展開図の「1」の反対側にある数字はいくつですか？答えを書きなさい。



問題5 下の絵は展開図から立方体になる途中の絵です。もともとどんな展開図だったでしょうか？(ア)～(ウ)の中から選んで答えを書きなさい。

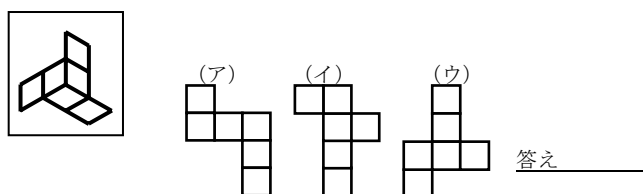


図5 実験前テスト問題(一部)

定手法を使うのは不適切となる。そこで、ノンパラメトリックな手法であるウィルコクソンの順位和検定を用いて、両群の統計的有意差を分析した結果、有意確率(両側)として $p=0.4858$ を得た。両群には統計的有意差は認められないことから、両群が学力に関して等質であると見なして差し支えないものと判断した。

4. 実験授業と実験後テスト

4.1 実験授業

実験授業は、統制群と実験群それぞれにおいて以下のように行われた。なお、統制群・実験群とも、被験者である児童には本実験授業のことを一切知らせなかった。

4.1.1 統制群の授業

統制群として協力を得た K 小学校では、実験授業実施当時、工作用具を利用した展開図教育について以下に示すような方法が採用されていた。

- (1) 教諭が立方体あるいは直方体の展開図を描いた用紙を準備する。
- (2) 展開図が描かれた用紙を児童に渡す。
- (3) 児童が展開図の面に色をぬり、印を付けておく。
- (4) 工作用具（ハサミやノリ）を使い、展開図から立体模型（立方体あるいは直方体）を組み立てる。
- (5) 平面図形（展開図）から立体模型になることを理解する。
- (6) 立体模型が出来上がる前に付けた色で、立体模型のどの面が展開図のどの面に対応するのかを理解する。

統制群の授業では、この教育方法に従って、従来どおり教科書と工作用具を使って、通常展開図教育が授業担当教諭による学習指導のもとに一般教室で行われた。また、授業コマ数についても通常通り、1 週間における算数のコマを 2 つ、続けて使った。なお、上記(6)では、児童は展開図と立体模型における面の対応関係を学習するだけでなく、展開図と立体模型の双方において、面の隣接関係と平行関係を学習した。また、利用した教科書は標準的なものであり、統制群の児童は 2.4 節で言及したような種別の問題を解くための基礎知識を学習し、教科書に掲載されている練習問題（面の隣接関係や平行関係を問う問題、同一辺や同一頂点を問う問題、正しい展開図を問う問題など）を解き、教諭から説明を受けた。

4.1.2 実験群の授業

実験群の授業では、立体模型の組み立て・展開に用いられてきた従来の工作用具（紙・ハサミ・ノリなど）は一切使わず、また教科書も利用せず、TENKAI のみを利用して展開図教育が行われた。教諭からの指導は、TENKAI の操作方法の説明だけにとどめ、展開図学習に関する学習指導は行わなかった。操作方法の説明は、2.1 節で述べた「ソフト使用法」の動作モードを使って行われた。その後、児

童には TENKAI における「立方体展開図」、「直方体展開図」および「問題を解く」の動作モードを自由に利用させ、展開図を学習させるという形態で授業が進められた。この実験群の授業は、展開図教育の授業日程にほぼ沿って実施された。ただし、TENKAI を利用するために授業は PC 設置教室で行われ、連続 2 コマを使って 1 日で終えた。

ここで、実験群については TENKAI のみを利用して得られる教育効果を測定したいことから、児童の学力に影響を与える可能性の高い条件として、以下を実験群から排除していることに注意されたい。

(1) 教諭による学習指導：実験群の児童は教諭から TENKAI の操作方法に関する説明を受けるだけで、展開図学習に関する学習指導は受けない。

(2) 教科書の利用：実験群では教科書を利用しない。このことは、教科書が学習すべき内容を記載していることから学習指導の役割を果たすという意味で、教科書による学習指導もないことを意味する。

(3) 授業外での学習機会：統制群の児童には、自宅などで教科書や問題集を使って復習・予習するなど、授業以外で学習する機会が与えられている。一方、連続 2 コマを使って 1 日で授業を終える実験群の児童には、そのような機会は与えられていない。

4.1.3 実験群の授業形態の特殊性について

実験群の授業は、教科書も利用せず、教諭からの学習指導もなく、TENKAI のみを利用するという非常に特殊な形態で行われた。こうした特殊な授業形態の是非は別として、これには理由がある。それは、TENKAI のみを利用した授業による教育効果を測定しなければ、TENKAI の有効性を判定できないからである。

4.1.4 実験者効果の排除

「通常、実験者は実験の仮説（目的）を知っており、仮説に見合った成果を得たいと望んでいる。実験者が抱くこのような期待は、実験者が意図的に行わなくても、非言語的コミュニケーションなどを介して被験者に伝達され、その結果、被験者が実験者の期待に応えるように反応してしまうことがある。」⁽¹²⁾ 被験者が実験者の期待に応じて反応して

しまう現象は実験者効果と呼ばれている。実験者効果は実験結果をゆがめてしまうことがあるため、実験においては極力これを排除しておく必要がある。実験者効果を排除するもっとも単純な方法は、実験者と被験者との接触を完全に断つことである。

本実験授業では、本来の実験者である筆者らと、実験授業を担当する教諭たちが、実験の目的を知っており、実験者として位置づけられる。筆者らは実験群・統制群の児童とはまったく接触していない。実験群においては、授業担当教諭が児童への学習指導を行わないことから、実験者効果は生じにくくなっていると言える。統制群においては、授業担当教諭は、実験結果との利害関係および実験者としての意識が希薄であり、通常通りに授業を行える状況にあると言える。さらに、統制群では3名の教諭が各担当クラスの児童に授業を行う。これは複数の実験者を用いる場合に相当し、その場合は各実験者の抱く期待の方向が相殺され実験結果の一般性が高まるとされている⁽¹²⁾。これらのことから、統制群においても実験者効果は生じにくくなっていると言える。

また、本実験授業を実験者が観察・記録する行為も、実験群・統制群から排除した。観察・記録を認めることは、実験者効果の排除に逆行するからである。

4.2 実験後テスト

TENKAI を利用した授業の教育効果を分析するため、15分間の実験後テストを実施した。統制群については第2回目の実験授業終了後、実験群については2コマ連続の実験授業終了後、帰宅前のホームルームの時間帯を利用して、実力テストという名目で実施した。

実験後テストにおいても5問出題し、設問ごとに実験前テストと同種の問題とした。立方体について、問題1～問題2は間違った展開図を問う問題である。問題3と問題4はそれぞれ、面の隣接関係と面の平行関係を問う問題である。問題5は組み立て途中の立方体を作ることができる展開図を問う問題である。得点は1問の正解につき1点とした。なお、実験前テストの正答は児童には教えられておらず、統

制群・実験群の児童ともに実験前テストの正答を知らないという状況で実験後テストを受けた。

実験後テストの結果を表2に示す。表2は統制群・実験群ごとに得点1～5を取得した児童数を示している。正規性検定(Shapiro-Wilk)を行ったが、統制群・実験群ともに正規性はないとの結果が得られた。

表2 実験後テストの結果

得点	1	2	3	4	5	合計
統制群	2名	5名	21名	28名	31名	87名
実験群	1名	11名	11名	29名	51名	103名

5. 教育効果の検証

5.1 教育効果の統計的分析結果

表2の実験後テスト結果に基づいて、ここでもノンパラメトリックな手法であるウィルコクソンの順位和検定を用いて、統制群と実験群の統計的有意差を分析した。その結果、有意確率(片側)は $p=0.039$ となり、5%有意水準で両群に統計的有意差が認められた。このことから、展開図教育においては、TENKAIを利用した授業が、従来の工作用具を利用した通常の授業に比べて、学力面で高い教育効果を与える傾向にあるといえる。

5.2 テストの実施間隔の影響について

実験前テストと実験後テストを同じ日に実施した実験群においては、両テストを異なる日に実施した統制群に比べて、テストの実施間隔が短い。このことから、実験群の児童には実験前テストの設問が記憶として残り、その記憶が実験群の実験後テスト結果に良い方向に影響を与えたとも考えられる。そうであれば、上述の統計的分析結果を妥当なものとしては受け入れられない。

実験群において、そのような記憶効果が生じたとすれば、実験後テスト結果における各問題の正答率が、統制群に比べて実験群の方が高いはずである。ここで各問題Pの正答率とは、(問題Pに正答をした児童数/問題Pに解答をした児童数)*100である。

両群の実験後テスト結果から求めた各問題の正答率を表3に示す。「p 値」はカイ二乗両側検定によって求めた有意確率である。

表3 実験後テストの正答率

	正答率 (%)		p 値
	統制群	実験群	
問題 1	81.61	78.64	0.6103
問題 2	90.80	92.23	0.7239
問題 3	55.17	81.55	0.0001
問題 4	86.21	86.41	0.9680
問題 5	79.31	75.73	0.5566

表3から、各問題について実験群の正答率が統制群に比べて高いとは必ずしも言えない。実験群の正答率が高い場合であっても、統計的有意差が認められるのは問題3だけである。よって、実験群において設問の記憶効果が生じたとは考えにくい。結果として、5.1節で述べた統計的分析結果は妥当なものとして受け入れることができる。

6. おわりに

展開図学習用電子教材の有効性評価に関する研究はこれまでも存在するが、学力面での有効性を検証することに成功した研究はない。こうした研究状況に対して、本研究では、独自に開発した展開図学習用電子教材 TENKAI を対象にして、TENKAI を利用した授業の学力面での教育効果を実験によって検証した。厳密に言えば、実験授業を通じて、TENKAI のみを利用して1日で行う連続2コマの授業の方が、教科書と従来の工作用具とを利用して1週間で2回に分けて行う授業に比べて、学力面での教育効果に優れていることを統計的に検証した。

なお、TENKAI における「問題を解く」の動作モードを利用できる実験群の児童が、統制群の児童に比べて、練習問題を解く機会が多いと予想できることから、実験後テストで良い成績をあげることが容易に推測できるという見解もあるかもしれない。しかしながら、TENKAI の学力面での有効性が容易に推測できるとしても、その推測は実験研究においては仮説の域を出ない。また、容易に推測できること

が、容易に検証できることを意味するわけでもない。TENKAI の学力面での有効性を実験によって統計的に検証した本研究には、十分な新規性がある。

TENKAI は、学力面での教育効果を狙って開発したものであるが、当初はそれを認め得るものであるか否かは不明であった。本研究を通じて、学力面での有効性が実験によって統計的に検証されたので、学力面での教育効果が認められる展開図学習用電子教材のひとつとして TENKAI を得たことになる。このことによって、今後 TENKAI と同様の狙いで展開図学習用電子教材を開発しようとする人たちにとっては、TENKAI の機能構成は参考になると考える。

本研究では、可能な限り厳密な実験を行い、可能な限り厳密な検証手続きを踏むよう心がけた。そのような厳密な実験と検証の内容は、ある電子教材を使うという現象と、それによって何らかの効果が生じるという現象との間に、因果関係を的確に見出そうとする人たちには参考になると考える。実験や検証の厳密さによって常に研究上のメリットが得られるとは限らないが、厳密さにこだわらないことによって研究上のデメリットが生じ得るという点は心得ておく必要がある。参考のために、筆者らが本研究を通じて経験したデメリットを述べておく。それは、しばしば不用意に利用される t 検定では、実験後テストにおいて実験群と統制群との間に統計的有意差は認められなかったというものである。厳密な検証手続きを踏むことによって、本研究の成果は得られたものである。

本研究では、実験的検証の立場から、TENKAI を利用した授業を特殊な形態で行った。小学校の授業現場で、こうした TENKAI の利用方法もあると考えるが、必ずしもそうした利用方法を推奨するものではない。教科書を利用し、教諭からの学習指導を行いながら、TENKAI を補助的教材として利用する方法もある。また、一斉指導に比べて手間がかかる個別指導において、児童が個人のペースで学習を進めることができ、習得した知識を確認できる教材として、TENKAI を利用する方法もある。

参 考 文 献

- (1) 佐藤清, 鈴木正宣, 高梨操, 中島武男: “基本的な立体図形の指導について—主として展開図を利用するの指導”, 日本数学教育会誌, Vol.44, No.4, pp.43-47 (1962)
- (2) 松野武男: “見取図と展開図における指導上の問題点”, 日本数学教育会誌, Vol.46, No.2, pp.29-32 (1964)
- (3) 重松司郎: “立方体・直方体の展開図を通して空間概念をつかむ研究—展開図をかくときの考え方”, 日本数学教育学会誌臨時増刊総会特集号, Vol.64, p.77 (1982)
- (4) 奥野英男: “操作的な活動を生かした展開図の指導について”, 日本数学教育会誌, Vol.66, No.2, pp.8-12 (1984)
- (5) 坪田耕三: “1つの授業を作るとき—円錐の展開図”, 日本科学教育学研究会報告, Vol.4, No.1, pp.1-6 (1989)
- (6) 城仁士: “展開図作成のための3つの方略”, 教育心理学研究, Vol.39, No.3, pp.279-287 (1991)
- (7) 中川恵正: “児童における展開図作成能力の育成に及ぼす訓練効果”, 日本教育心理学会総会発表論文集, Vol.39, p.480 (1997)
- (8) 日高一義: “立体図形学習支援ツール・3D-ラボの開発”, 教育システム情報学会誌, Vol.12, No.2, pp.121-132 (1995)
- (9) 松永公廣, 吉川博史: “ヒント生成機能をもつ展開図組立シミュレータの開発と評価”, 教育システム情報学会誌, Vol.12, No.4, pp.267-278 (1996)
- (10) 松永公廣, 前迫孝憲, 菅井勝雄: “授業における展開図シミュレーション利用の評価”, 日本教育工学雑誌, Vol.25, No.suppl., pp.161-165 (2001)
- (11) 福島県教育センター: “教師のための統計入門—電卓の使い方から検定まで”, (1980)
- (12) 末永俊郎 (編): “社会心理学研究入門”, 東京大学出版会, pp.92-93 (1994)