

# 空間認識能力を育むためのデジタル教材の研究

伊藤 壮頭<sup>1</sup> 赤澤 紀子<sup>1</sup>

**概要**：7歳から11歳の具体的操作期における空間的な学習や遊びは、空間認識能力の発達に深く関わり、小学校の図形領域の学習もそのひとつである。空間認識能力を育むためには、ブロックや積み木を扱う学習から紙面での学習に移行するように、具体物を扱う操作から具体物を用いずに念頭操作することへ発達させることが重要であるとされている。しかし、空間認識能力が低いと、これが難しく、学習に支障をきたしてしまう場合があり、別途空間認識能力を高めることのできる教育の必要性がある。本研究では、具体物を取り扱った操作から念頭操作への足がかりとして使用できるタブレット上で動作可能なアプリケーションを開発する。

## 1. 背景

私たちは日常生活の中で物体の距離や大きさ、位置関係を読み取ったり、絵や写真、設計図などから実物を想起する、あるいは過去のそれらの経験から目の前にないものでも想像し、イメージを形成することができる。また、形成したイメージに対しても、実際の物体への操作と同様に認知的な操作を加えることができる。本研究では対象の情報を認識・イメージを形成し、3次元空間における課題を解決するために思考する能力を空間認識能力と呼ぶ。

空間認識能力の発達に深く関わるのが、幼少期の空間的な遊びや学習であり、小学校算数の図形領域の学習もその一つである。しかし、秦野ら [1]によると、図形や空間についての学習を教科書等で行う際、児童の空間認識能力が低い場合に平面上に表された立体を認識することが難しく、学習に支障をきたしてしまうことがあると述べ、別途空間認識能力を高めることのできる教育の必要性を訴えている。

## 2. 目的

本研究の目的は、具体物から念頭操作への足がかりとして使用可能な学習教材を開発し、これが児童の空間認識能力を育む学習の手助けとなることである。学習教材にはタブレット端末を使用し、学習者はアプリケーション上で学習を行う。タブレットを用いることの利点は以下の3つが挙げられる。

- タブレット画面に表示される三次元オブジェクトはブロックや積み木、パズルといった具体物ほど直感的に操作できない。しかし、従来の教科書等の紙面上に平面

的に描かれている立体と比較すると、指先で回転を行い、様々な角度から観察できるという点で直感的である。タブレット教材を用いた空間の学習は、具体物を取り扱った空間の操作から平面に示された立体を頭の中で操作する念頭操作への足がかりとして活用できる。

- ブロックや積み木、パズルなどの具体物を用意する必要がなく、タブレットがあれば場所を選ばずに学習ができる。
- 紙面での学習と違い、タブレットのみで複数のオブジェクトや多数の問題を扱うことができる。

対象は小学一年生から二年生とする。これは、ピアジェの認知発達段階 [2]において、空間認識能力が大きく向上するのは7才から11才の具体的操作期であること、そして小学校の算数において、初歩的な立体の学習を始める学年 [3]だからである。

## 3. 関連研究

### 3.1 空間認識力を育む教材に関する研究 [4]

比護は空間認識力を育む教材を開発し、その有用性を実践を通して検証した。そのなかで、空間認識力に関わる先行研究 [5][6][7][8]を概観、考察し、空間認識力を概念規定している。特に空間思考、空間推理、空間観念といった様々な立場からの研究に基づき、イメージ像の形成と、それをもとに思考することに分けて考察を行った。比護が空間認識能力をイメージ像をもとに思考する側面として7つの項目に分けたものを次に示す。

- (1) 変形、切断、回転などの操作の結果を見通す
- (2) 立体図形を構成する
- (3) 立体図形を図で表現する

<sup>1</sup> 電気通信大学

- (4) 空間を移動する
- (5) 図形の空間の広がりをとらえる
- (6) 対称性, 合同, 相似性を認識する
- (7) 基本的法則や性質に着目する

本研究では, 上の7つの側面に焦点を合わせ, アプリケーションを設計する. さらに, 比護は, 空間認識力を育むためには生徒の発達の段階に合わせて, 具体物を取り扱った操作や観察の活動から, 具体物を用いずに念頭操作を行う活動へと発達させることが重要である. としている.

### 3.2 ARを用いた空間認識能力向上のための学習方法 [1]

秦野らは, 子どもの空間認識能力を高めるためのARを用いた新たな学習方法を提案し, 小学生を対象とした実験とその結果から有効性を示した.

ARの使用には子どもでも直感的に, 動作と視覚の両方の感覚を使って扱うことができる利点があり, イメージの中で物体を回転させやすくするような支援を行っている. 秦野らの開発した学習ツールでは, 回転可能な $2 \times 2 \times 2$ の仮想ブロックを用いて, 回転後のイメージを想像することを支援している.

### 3.3 ドローンによる空間認識力を育むプログラミング教育の実践とその評価 [9]

高橋らは, 児童の空間認識力の向上を目指して小学5年生と6年生に対してドローンを活用した授業実践を行い, 授業前後でテストを実施した. その結果, 学力層の中位群と低位群において, 事前テストに対し事後テストの点数が有意に上昇し, 事後テストにおいて低位群は高位群と中位群に対し有意な差は見られるが得点の上昇が見られ, 中位群は高位群と有意な差が見られない同水準まで達したことが明らかになったとしている.

### 3.4 空間認識能力向上のための肢体不自由児用3D-CG玩具モデルを用いた教材の開発 [10]

石垣らは, 肢体不自由児は肢体の不自由さ故に物体を動かして遊ぶ経験が少なく, 健常児が幼少期に遊びや活動を通じて自然と身につける空間認識能力が身につけ難いとし, 手にとって遊ぶことが困難である積み木などの玩具をモデル化し, 児童生徒が自分の意志で仮想空間上でモデルを動かして遊びながら学習できる3D-CG教材を開発した. その一つである3D-CGつみき教材では, 次の3つの出題形式から学習者が自身の能力に適した問題を選択し, 学習する. 学習者はビューモードに切り替えることでカメラを移動させ, 視点を変えることができる.

- 左右の積み木の並べ方の同異を答える
- 積み木モデルと同じように積み木を並べる
- 積み木の数を答える

本研究では, この3つの出題形式を参考に, 回転操作や平面から立体, 立体から平面の予想など, より念頭操作が必要な問題を出題する.

### 3.5 Experimental Study of Spatial Cognition Capability Enhancement with Building Block Learning Contents for Disabled Children[11]

小田らは特別支援学校への技術的・教育的支援を行うことを目的とし, 音声・拡張現実技術を用いた3D-CGアニメーション, 積み木学習, 文字やシンボルの学習, ボウリングによる算数学習など, 学習者に合わせた多種類の学習教材ソフトを開発した.

積み木での学習では石垣らの研究を参考に, 紙面上に表示された立体をARで表示する機能や, 積み木の様子を動画で見ることのできる機能, 同じ形の積み木を選択して解答する問題を出題する機能を備えるソフトウェアを開発し, 継続した学習による学習効果が確認された.

### 3.6 Building Blocks for Developing Spatial Skills: Evidence From a Large, Representative U.S. Sample[12]

JiroutとNewcombeは, 子どもたちがブロックやパズルなど空間を扱うおもちゃでの遊びが, 空間認識力の発達と相関することを明らかにした. 本研究で用いるアプリケーションでは, これを踏まえ, 立方体の積み木ブロックを組み合わせた三次元オブジェクトを扱う.

## 4. 類似のアプリケーション

以下ではタブレットやスマートフォン上で動作する空間認識力を養うことが目的のアプリケーションをいくつか紹介し, 本研究で作成するアプリケーション(本アプリケーション)と比較する.

### 4.1 積み木ブロック学習-遊ぶ知育シリーズ [13]

AMGAMES Inc. による積み木を使って空間認識力を養うアプリケーションであり, ブロックを数えたり, 隠れたブロックを認識したり, 異なる角度からの見え方を想像したりすることによって, 立体の位置や構造を思考する観察力や空間認識力, 図形感覚を養うことができるとしている. アプリケーションの内容は以下の4つがあり, それぞれ四段階の難易度が用意されている. このアプリケーションは対象年齢を主に3歳から5歳としている.

なんこあるかな? 積み木ブロックが何個あるか答える.  
 おおいのはどっち? 積み木ブロックの数が, 左右どちらが多いかを答える.

どうみえる? 指定された方向から積み木ブロックを見たとき, どのように見えるかを答える.

どっちのブロックかな? 左右から見た図をヒントに, プ

ロックの形を答える。

また、このアプリケーションの目的として、積み木は、立体や空間の位置や構造を理解するための「空間認識力」を育てることができる玩具であり、パズルゲームのように遊びながら、三次元的な観察力や論理的な思考、数学的な考察能力などを身につけることとしている。

#### 4.1.1 比較

このアプリケーションでは本アプリケーションと同様にブロックを組み合わせた立体を扱っているが、扱うブロックの数は本アプリケーションより多い。また、立体の回転機能がないので、本アプリケーションと比較すると実際に回転できないという点で難易度が高いと考えられる。

### 4.2 立体形あて (あそんでまなぶ!シリーズ)[14]

UNI-TY INC. による立体の形をあてるアプリケーションで、対象年齢は3歳以上である。ブロックを矢印の方から見たとき、どのように見えるかを選択肢の中から選んで解答するアプリケーションであり、10題の問題が出題され、計100点満点で採点される。また、点数の多い順かつ解答時間の早い順でランキングされる。同社のアプリケーションである立体色あて (あそんでまなぶ! シリーズ) では、これに色の要素が追加されている。

#### 4.2.1 比較

このアプリケーションでは本アプリケーションと同様にブロックを組み合わせた立体を扱っているが、扱うブロックの数は本アプリケーションより多い。また、立体の回転機能がないので、本アプリケーションと比較すると実際に回転できないという点で難易度が高いと考えられる。

### 4.3 いくつあるかな? 幼児子供向け知育脳トレ数あてアプリ [15]

Fantamstick による表示されたブロックの個数を解答するアプリケーションで、対象年齢は1歳以上としている。表示されるブロックの個数がわからなくても、選択肢を順に選んでいけば正解でき、あそんでいくうちに直感的にブロックの数を当てられるようになってくるので、子供の空間把握能力をきたえることもできるとしている。また、アプリケーションの説明には「今の子供達は、0歳の頃からスマホやタブレット端末に触れています。子供達が直感的に使えるスマホやタブレットは、幼児教育に向いているデバイスだと感じています。」と記載されており、タブレット端末を用いること理由を述べている。

#### 4.3.1 比較

このアプリケーションでは本アプリケーションと同様にブロックを組み合わせた立体を扱っているが、扱うブロックの数は本アプリケーションより多い。表示される立体は横方向に自由に回転させることができ、任意の方向から立

体を観察することができる。本アプリケーションと比較して、表示される立体を操作することで解答が得られ、念頭操作の必要が少ないため、難易度は低いと考えられる。

### 4.4 .projekt[16]

Kyrylo Kuzyk による立体組み立てパズルのアプリケーションであり、異なる視点からの絵を参考に立体を作り上げていくパズルゲームである。対象年齢は4歳以上であり、アプリケーション内で解答時間に制限は設けられておらず、スコアやタイムを競うことはない。

#### 4.4.1 比較

このアプリケーションでは、異なる方向から見た立体のシルエットを参考に一からブロックを配置する必要がある。したがって本アプリケーションにおける「面から立体を予測する問題」の立体図形を構成する要素が強化され、扱うブロック数が多いことも相まって本アプリケーションと比較すると難しいものとなっている。

## 5. アプリケーションの設計

### 5.1 アプリケーションのコンセプト

本研究は比護の規定した空間認識力に従い、イメージ像をもとに思考する側面に焦点を合わせ、アプリケーションを作成する。アプリケーション内ではランダムに配置された $2 \times 2 \times 2$ からなる色付きのオブジェクトが表示され、学習者はこれを必要に応じて回転させることができる。ただし、回転操作は限定的なものである。これは、画面上で物体を自由に回転できてしまうと、念頭での操作の練習にならないことと、空間認識能力が発育途中の学習者にとって必要な情報を得るための自由な回転操作は難しいと考えたからである。扱う立体が $2 \times 2 \times 2$ であるのは、主に具体的操作期の初期に該当する小学生低学年を対象とするため、本研究で扱う問題の内容では、サイズの大きい立体を扱うのは難易度が高いと考えたからである。

### 5.2 アプリケーションの内容

本研究では Windows タブレット上で動作するアプリケーションを開発する。アプリケーションはタイトル、設定、チュートリアル・ヘルプ、問題、結果確認の5つのシーンから構成される。問題は、

**問題 1** 立体の面を予測する問題 (図 2)

**問題 2** 面から立体を予測する問題 (図 4)

**問題 3** 形が同じ立体を選択する問題 (図 5)

の三種類が出題され、学習者は、選択した問題を10問連続して解答する。また、立体の色はカラーユニバーサルデザイン [17] から四色を用いる。アプリケーションは現在開発中であり、以下の図は開発中のものである。それぞれの問題が対応する比護による項目を表1に示す。

表 1 それぞれの問題が対応する項目

	問題 1	問題 2	問題 3
1. 変形, 切断, 回転などの操作の結果を見通す	○	○	○
2. 立体図形を構成する		○	
3. 立体図形を図で表現する	○		
4. 空間を移動する	○		○
5. 図形の空間の広がりをとらえる		○	○
6. 対称性, 合同, 相似性を認識する			○
7. 基本的法則や性質に着目する	○	○	○

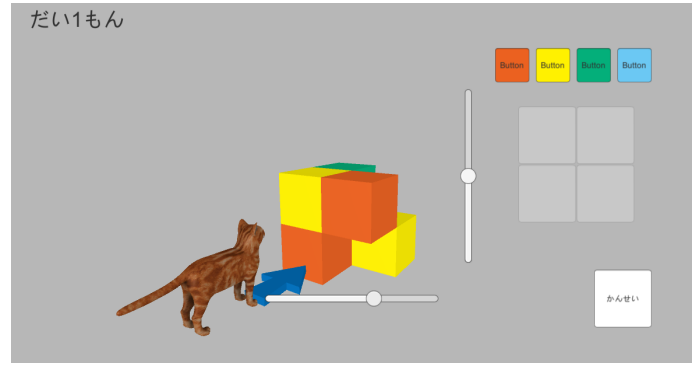


図 2 立体の面を予測する問題

5.2.1 タイトル

タイトル画面 (図 1) では各種問題, 設定, チュートリアル  
のシーンを選択可能である.



図 1 タイトル画面

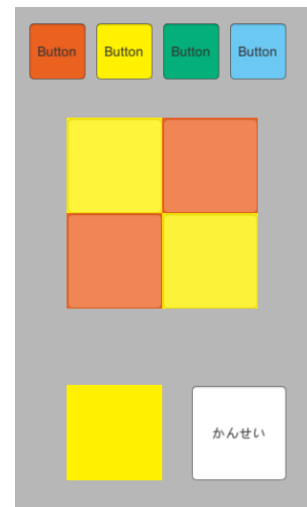


図 3 図 2 の解答

5.2.2 設定

設定画面ではスライダーによる操作での立体の回転方向  
を設定することができる.

5.2.3 チュートリアル・ヘルプ

チュートリアル・ヘルプでは学習者に本アプリケーション  
の使用方法を説明する. 文字での説明を少なくし, 低学年  
でもわかりやすいグラフィカルなものとする. また, この説  
明は各種問題の途中でもヘルプとして確認可能である.

5.2.4 問題 1: 立体の面を予測する問題

立体の面を予測する問題 (図 2) では画面左上に問題番号,  
画面中央に立体と矢印と猫が表示され, その右側には立体を  
上下に回転させるスライダー, 下側には物体を左右に回転  
させるスライダーが表示される. 学習者は右上部のパレ  
ットから色を選択し, 猫からみた立体の様子を図 (図 3) の  
ように 4 つのパネルを塗りつぶすことで解答する. 完成ボ  
タンを押すと正解・不正解が表示され, 不正解の場合は正  
しい答えが画面左に表示される. その後, 「つぎへすすむ」ボ  
タンを押すことで次の問題, または結果画面に遷移する.

5.2.5 問題 2: 面から立体を予測する問題

面から立体を予測する問題 (図 4) では, 画面左上に問題番  
号, 画面左側には立体の面が 2 つ表示され, 画面右側には立  
体が表示される. また立体には問題 1 と同様なスライダー  
が設定されている. 学習者は左に表示された面を含む立体  
を 2 つの立体から選択し, ボタンをタップして解答する. 解  
答すると正解・不正解が表示され, その後, 「つぎへすすむ」  
ボタンを押すことで次の問題, または結果画面に遷移する.

5.2.6 問題 3: 形が同じ立体を選択する問題

形が同じ立体を選択する問題 (図 5) では, 画面左に一つ,  
および画面右に 2 つの立体が表示され, それぞれに問題 1  
と同様なスライダーが設定されている. 学習者は画面左に  
表示された立体と同じ立体を画面右の 2 つの立体から選  
択し, ボタンをタップして解答する. 解答すると正解・不正  
解が表示され, その後, 「つぎへすすむ」ボタンを押すこと  
で次の問題, または結果画面に遷移する.

5.2.7 結果

結果画面 (図 6) では, 解答した 10 問の正誤および 1 問を  
10 点とした 100 点満点の点数が表示される. 学習者は, 各

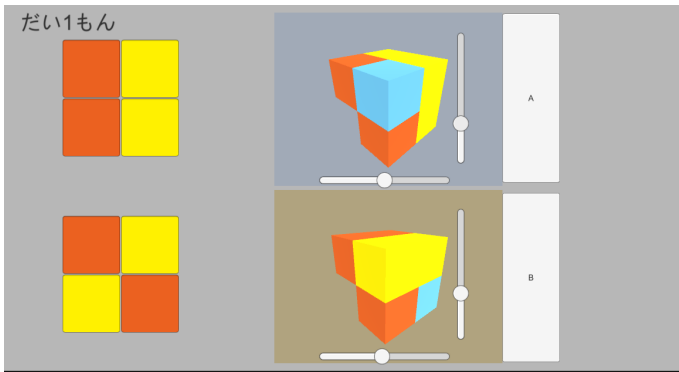


図4 面から立体を予測する問題

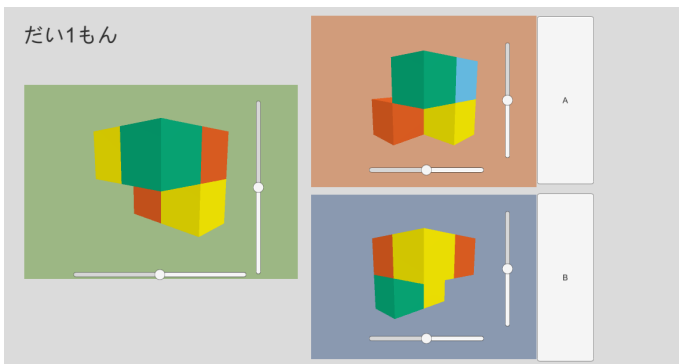


図5 形が同じ立体を選択する問題

問題の横に配置されたボタンをタップすることで、解答した問題にもう一度挑戦することができる。また、結果の確認を終えた場合、画面右下のタイトルに戻るボタンをタップすることで、タイトル画面に遷移することができる。



図6 結果画面

## 6. 評価

小学校低学年複数名を対象として、アプリケーションの

使用前と使用後で、紙面上の空間認識能力に関わる問題を解いてもらい、正解数や解答時間の変化を調べる。また、アプリケーションの使用に関しての感想等を収集し、いくつかの項目からなるアンケートを実施する。

## 7. 現状

現在は解答の見直しができる機能、チュートリアル・ヘルプ機能、表示される立体がより適切になるような機能を開発中である。

### 参考文献

- [1] 秦野真衣, 米澤朋子, 吉井直子, 高田雅美, 城和貴:ARを用いた空間認識能力向上のための学習方法, 情報処理学会, Vol.2012-MPS-87 No.33,2012
- [2] J.Piaget[著], 中垣啓 [訳]: ピアジェに学ぶ認知発達科学, 北大路書房, ISBN-13:978-4762825460,2007
- [3] 文部科学省:小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 算数編,2017
- [4] 比護智洋:空間認識力を育む教材に関する研究, 新潟大学教育学部数学教室, 『数学教育研究』, 第47巻, 第1号, 146-165, 2012.
- [5] 影山和也:数学教育における空間思考の水準に関する研究, 全国数学教育学会誌 数学教育学研究 第8巻 2002 pp.83~94,2003
- [6] 國本景亀:空間直視力育成のための一提案 - 暗(念頭)幾何の提案 -, 日本数学教育学会第28回数学教育論文発表会論文集. p413 - 418,1995
- [7] 國本景亀:空間観念を育成するための方法論に関する研究, 高知大学教育学部研究報告第1部 第53号,p11 - 27,1997
- [8] 狭間節ら, ヤキマンスカヤの空間思考について, 数学教育論文発表会発表要項 20巻, 129-133, 1987, 空間思考育成の視座からの図形・空間カリキュラム開発研究構想 大阪教育大学教科教育学論集 p67 - 70,2004, 児童・生徒の空間思考に関する調査研究(2) - 空間思考の発達の指標についての-考察- 第33回数学教育論文発表会論文集 p373 - 378,2000
- [9] 高橋瞭介, 桐原一輝, 桐生徹, 大島崇行:ドローンによる空間認識力を育むプログラミング教育の実践とその評価, 日本科学教育学会第43回年会論文集,584-585,2019
- [10] 石垣大樹, 小田まり子, 新井康平:空間認識能力向上のための肢体不自由児用 3D-CG 玩具モデルを用いた教材の開発, 第3回 ADADA JAPAN 学術大会,2017
- [11] 小田まり子, 玉井敏晴, 佐塚秀人, 河野央, 高橋雅仁, 小田誠雄, 内田知巳:Experimental Study of Spatial Cognition Capability Enhancement with Building Block Learning Contents for Disabled Children', (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications Vol. 9,No. 6 pp.83-89,2018
- [12] Jamie Jirout, Nora Newcombe :Building Blocks for Developing Spatial Skills: Evidence From a Large, Representative U.S. Sample, Psychological Science 2015,26 (3) :302-10,2015
- [13] AMGAMES Inc.:積み木ブロック学習-遊ぶ知育シリーズ <https://amgm.jp/>
- [14] UNI-TY Inc.:立体形あて(あそんでまなぶ!シリーズ) <http://www.uni-ty.com/>
- [15] Fantamstick:いくつあるかな? 幼児子供向け知育脳トレ数あてアプリ <http://jp.kinderpan.com/>
- [16] Kyrlyo Kuzyk:projekt <https://stampedegames.net/>
- [17] カラーユニバーサルデザイン推奨配色セット制作委員会:色覚の多様性に配慮した案内・サイン・図表等用のカラーユニバーサルデザイン 推奨配色セット(パ

リアフリーに配慮した見分けやすい色の組み合わせ)  
<https://jfly.uni-koeln.de/colorset/>