

通常学級に在籍する発達障害児向け空間認識能力を鍛えるための AR 型学習支援システム

趙博琪¹ 城和貴¹

概要: 義務教育段階の小中学校において、通常学級に在籍し、或いは大部分の授業を通常学級で受けている発達障害児数は増加している。教育現場の実態について、発達障害児は注意持続困難、学力不足等の場合が多い。このような問題を解決するために、ICT を用いた学習支援システムの開発が注目されている。本稿ではゲームの仕組み取り入れた、三次元と二次元を往還する思考を中心とした空間認識能力を鍛えるための AR 型学習支援システムを開発した。学習の進捗と時間を自動的に記録する機能がある。健常者に本システムを使った学習を評価した、いくつかの意見を得た。

キーワード: 発達障害児, 拡張現実, 学習支援システム

An AR learning support system for training spatial recognition skills for developmentally disabled children enrolled in regular classes

BOQI ZHAO^{†1} KAZUKI JOE^{†1}

Abstract: The number of children with developmental disabilities who are enrolled in regular classes at the compulsory education level, elementary and junior high schools is increasing. Regarding the actual situation in education, there are many cases of attention persistence difficulties, lack of academic skills, etc. In order to solve these problems, the development of ICT-based learning support systems has been attracting attention. In this paper, we have developed an AR learning support system that incorporates a game mechanism to train spatial awareness skills, focusing on thinking back and forth between three dimensions and two dimensions. The system has a function to automatically record the progress and time of learning. We have evaluated the learning using this system on healthy people, and obtained some opinions.

Keywords: children with developmental disabilities, Augmented Reality, learning support system

1. はじめに

近年、通常学級に在籍する発達障害児の割合は増加している。発達障害の可能性のある生徒の割合は 6.3% (2003) [1]から 6.5% (2012) [2]へ増加している。通常学級に在籍している発達障害の懸念がある生徒の行動を分析した研究において、学習注意と興味を維持困難、学習の偏り・学力不足、離席・脱出行動、自己中心的行動等が挙げられ、発達障害の傾向が見られた[3]。つまり、多くの生徒は、発達障害と診断されなくてもその傾向を有している可能性が指摘できる。このような実態における、発達障害の可能性のある段階からの学習面の支援を重視することも必要である[4]。しかし、通常学級において教師は数十名の生徒に対して一律の指導の場合が多い。発達障害児向けの個別指導には十分な時間がなく、一部の対象児が学級に適応しにくい状況があった[5]。

以上より、問題を解決するために、ICT (情報通信技術) を用いた教育支援システムの開発が注目されている。教育現場では、ゲームの要素を取り入れた学習システムを用いることで、学習意欲を高める有効性が検証されている[6][7]。

発達障害児に対する教育現場では、1つの学習内容を健常児と比べて多くの回数繰り返し学ばせなければならない。発達障害児に対して、学習注意と興味を維持することは必要である。そこで、発達障害児の興味維持困難の問題解決に対して、学習ゲームを用いることが試みられている。この試みにより、学習の集中時間を増加させることが可能であることが明らかになっている。また、ICT 教材を活用して教員の準備にかかる負担を軽減することが検証されている[8]。本稿では、空間認識能力を鍛える AR (拡張現実, Augmented Reality, 以下: AR) 型学習支援システムを開発する。本提案システムでは、繰り返しの練習を行うことにより、効率的な学習を期待できる。本システムを通常学級の個別指導の教育ツールとして使用することで、教員の負担を軽減できると考えられる。

本稿では、学習ゲームの要素を取り入れた AR を用いた、通常学級に在籍する発達障害児向けの空間認識能力を鍛える学習支援システムを開発する。ここでは、空間認識能力への学習支援の意義を述べる。

中学校数学の学習において、図形の分野では、展開図や投影図、回転体の見取り図などの課題がある[9]。このような立体図形の問題を解くために、空間認識能力を持つことが必要である。具体的には、念頭でイメージ像を操作した

¹ 奈良女子大学
Nara Women's University

り、思考したりすることが、空間観念、空間的なイメージと空間推論を含む空間認識能力である。このような能力は生活においても重要なものである。中学校理科の学習では、空間的なイメージを操作する認知的行動に苦手さがある生徒は挫折感を感じやすい[10]。このように、空間認識能力と理数系のスキルには深い結びつきがある。一方、空間認識能力の発達と言語能力の発達は相互に関連している[11]。コミュニケーションを取ることが困難な発達障害児にとっては、空間認識能力を鍛えることが必要である。空間認識に現れる認識の度合いは、空間認識以外の認識にもつながっている、理解力や思考力、判断力に強い影響を与えている。

効果的な指導方策には、現象の視覚化を支援する教材を活用することが考えられる。中学校学習指導要領では、ICTを活用して視覚的な学習支援を推奨している[12]。学習支援システムを用いることにより、空間認識能力を鍛えるとともに、立体図型問題が苦手であることへの不安感を軽減する。

ARとは、コンピュータで生成された仮想のグラフィックやオブジェクトを、現実の環境にリアルタイムで重ね合わせる技術である[13]。3次元的な操作ができるため、抽象的な概念を視覚化するために不可欠なツールであると考えられている[14]。ARが空間認識能力の向上に役立つことは、小学校と高等教育機関の学生を対象にした数人の研究者によって調査されており、有効であることが検証されている[14][15][16]。このように、AR型学習ゲームを用いることで発達障害児の学習支援が期待できる。発達障害児の学習では、注意維持困難や学力不足などに対応しなくてはならない。空間認識能力を高める学習を繰り返し行う支援システムは、発達障害児の学習に有効であると考えられる。

以下に本稿の構成を示す。まず、2章では空間認識能力について説明し、3章では関連研究を紹介する。次に、4章で提案システムについて説明する。5章では提案システムを用いた評価実験を行う。

2. 空間認識能力について

本稿では、空間認識能力を鍛えるための学習支援システムを開発する。本システムの開発のために、まず、空間認識能力の概念について規定する。

空間認識力を育む教材に関する研究を比護は行っている[17]。比護は先行研究を考察し、空間認識能力の概念を規定している。それに基づいて折り紙建築を使った学習支援教材を開発し、実践することでその有用性を証明した。比護はイメージ像と思考の両方に対応する以下の項目をまとめている。

(1) イメージする側面

- 図形を認める

- 図から立体図形を想起する
- 立体図形の位置、位置関係をとらえる

(2) 思考する側面

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

本稿では、(1)と(2)の2つの側面に着目し、学習支援システムを設計する。さらに、比護は生徒の発達段階に応じ、具体物を使った操作・観察活動から、具体物を使わずに念頭操作活動へと発展させることが重要であるとしている。念頭操作活動とは、三次元と二次元を往還する思考を中心とした空間認識能力である。そのため、直感的な操作を使わずに念頭操作することが、システムの一環として設計される。

3. 関連研究

本章では、空間認識能力を鍛えることを目的とした学習支援教材やアプリケーションを紹介する。開発の初期段階では、比較・検討を経て、より発達障害児に適合した設計を行う。

3.1 メンタルローテーション課題のためのAR型学習支援システム[18]

中野らはメンタルローテーション問題を解くことを目的とした学習支援システムを構築した。この学習支援システムでは、学習者の主体的な操作を通じて立体的なARマーカを用いることで様々な角度から図形を確認することができる。また、質問と解答のセクションを設定することで、ユーザーは観察後に解答を入力することができ、システムは肯定的または否定的なフィードバックを返す。

この学習支援システムは、本提案システムと同様に立体図形を回転させて観察することができる。しかし、立体的なARマーカを使用するため、全体像を見るためには6面それぞれに回転させる必要がある。本稿では、通常学級の中学校に在籍中の発達障害児をユーザとしてシステムの開発を行うので、操作の難易度を下げるように設計する。

3.2 積み木ブロック学習[19]

AMGAMES Inc.が開発したアプリケーションは、ブロックの数を数えて隠れたブロックを認識させたり、様々な角度からの見え方を想像させることで、立体的な図形の位置や構造を考える子どもの空間認知能力を高める。コンテンツ内容は以下の4つがある。

- なんこあるかな：図に示されている積み木ブロックの数を選択する
- おおいのはどっち：図に示されている 2 つの積み木ブロックの数が、左右どちらが多いかを選択する
- どうみえる：指定された方向から見たときの積み木ブロックの形を選択する
- どっちのブロックかな：左右から見た図をヒントに、積み木ブロックの形を選択する

このアプリケーションは 4 つのコンテンツ内容で構成されている。各ゲーム中の立体的な積み木ブロックは回転させることができず、ユーザーが念頭で想像するしかないため、発達障害児には難易度が高い。そのため、発達障害児向けの学習支援としては適切ではない。

3.3 空間認識能力を育むためのデジタル教材の研究[20]

伊藤らは、7 歳から 11 歳までの小学生を対象に、3 つの問題が出題される空間認識能力を育むアプリケーションを開発した。

- 問題一 立体の面を予測する問題
- 問題二 面から立体を予測する問題
- 問題三 形が同じ立体を選択する問題

アプリケーションでは、 $2 \times 2 \times 2$ の範囲にランダムに配置された色付きの積み木ブロックが表示され、学習者は必要に応じてそれらを回転させることができる。回転操作には制限があり、インターフェイス上の 2 つのボタンをドラッグ & ドロップすることで、2 方向からの回転操作を行う。

このアプリケーションには問題一から三の 3 つの問題が設けられている。ここで、問題三を解くための思考として、問題一と問題二を解く場合には同じ思考が求められている。問題三を解くためにユーザは、立体から平面もしくは平面から立体を予測する必要があるためである。そこで、本提案システムでは、問題三を選択する。また、このアプリケーションでは立体図形の回転方式が複雑すぎて発達障害児には適していない。したがって、観察を容易にするために自由に回転する方式を選択する。

4. 提案システム

4.1 システム概要

本システムでは、開発環境に Unity と Visual Studio Code を利用し、AR 環境の構築のために Vuforia を用いている。比護が規定した空間認識能力の概念[17]を応用し、「同じ立体図形を選択する」という問題が出題される。出題内容はイメージする側面と思考する側面の両方を考慮し、三次元と二次元を往還する思考を中心とした空間認識能力の要素を取り入れる。これによって、通常学級に在籍する発達に



図 1 タイトル画面

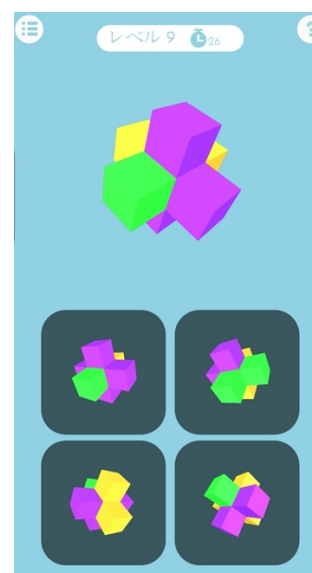


図 2 テスト画面

遅れのある発達障害児向け空間認識能力を鍛えることを支援する。本システムは Android のスマートフォン端末上で動作するアプリケーションである。

4.2 システム内容

図 1 はアプリケーションのタイトル画面である。タイトル画面では、図 1 左の画面が最初に表示される。「遊び」をタップすることで画面が図 1 右へ遷移して、テストおよび AR ゲームの 2 種類の問題が選択できる。図 1 左の右上のマークをタップすることで前の学習者の学習記録を削除することができる。

図 2 にテスト問題の画面を示す。テスト問題では画面上に 1 つ、及び画面下に 4 つの立体図形が表示され、形が同じ立体を選択し、問題を 15 問連続して解答する。立体図形のモデルは AR ゲームの 15 問と同様に使用し、AR 回転機能

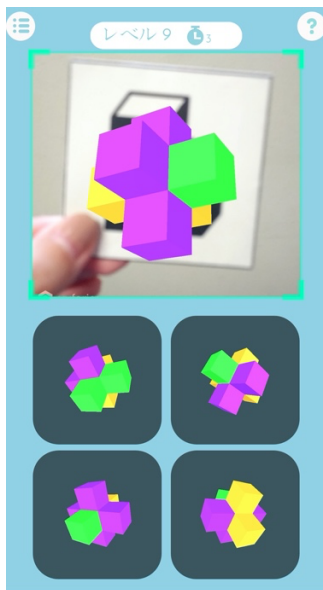


図 3 AR ゲーム



図 5 正答時のフィードバック

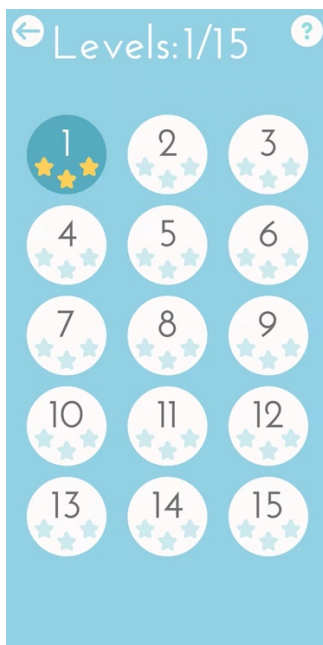


図 4 学習記録

を使わずに念頭操作することで、正答を選択する。画面上部の一番左のボタンをクリックすると、学習記録の画面へ移動する。図 2 の上部中央には時間を確認する部分があり、一番右のボタンをクリックすると、使用方法を説明したヘルプページが表示される。

図 3 に AR ゲームの画面を示す。上述のテストのプレー方法と同じである。まず、スマートフォンのカメラで AR マーカを認識する。マーカの認識には時間がかかるため、立体図形が現れた瞬間から時間の記録が開始される。オプションの部分も指で自由に回転させることで、直感的に操作することができる。本学習システムでは、学習者の正答と誤答を図 4 のように記録することができる。



図 6 誤答時のフィードバック

本システムでは、学習進度と時間を自動的に保存し、確認も可能である。図 4 に学習記録の画面を示す。この機能により、教員は生徒の学習状況を手動で記録する必要がなくなる。生徒の回答に対して即時評価を行い、正答の場合には図 5 のように、誤答の場合には図 6 のようにフィードバックを返す。図 5 および図 6 の下部に表示される 3 つのボタンについて説明する。左のボタンをクリックすると、学習記録画面に戻る。中央のボタンをクリックすると、今回回答した問題にもう一度挑戦することができる。右のボタンをクリックすると、次の問題へ進むことができる。

発達障害児に対する教育では、1 つの学習内容を健常児より数多く繰り返さなければいけない。そこで、飽きずに学習させるために、リプレー時に正答の位置をランダムに変化させる。これによって、ユーザが飽きずに繰り返し練

習を行うことが期待される。また、ゲーム性を高めるために、図 4 に示すように星の数で評価を行う。10 秒以内に回答すると 3 つ、20 秒以内なら 2 つ、20 秒を超えると 1 つの星を与える。発達障害児の学習動機を喚起し、再挑戦を可能にする。

5. 評価

通常学級に在籍中の発達障害児に対する検証は、募集条件が狭いなどの問題があるため、本稿における評価は発達障害児に対する検証に先立ち、健常者に対して検証を行う。System Usability Scale (SUS)[21]を用いてユーザビリティ (Usability) と学習性 (Learnability) の両方を測定する。SUS は 100 点満点の評価指標となっている。SUS は現在ハードウェア、ソフトウェア、モバイルデバイス、ウェブサイト、アプリケーションなど、様々な製品やサービスを評価することができる。SUS は表 1 に示す 10 個の項目からなる。表 1 の内容はオリジナルの英語版 SUS を日本語に翻訳したものである。各項目は「全くそうは思わない」から「全くそう思う」の 5 段階で評価される。

被験者は大学生、大学院生 9 人である。本提案システムの効果を、15 問の検証用テストにより調査する。まず、テストの 15 問を回答することで、元から持つ空間認識能力を測定する。その後、AR ゲームをプレイする。システムを使用した被験者には質問紙 SUS によるアンケートを実施する。最後に 2 回目のテストを行うことで、正答数の変化を調査する。図 7 に学習前後テストと AR ゲームの平均正答数を記す。学習前後の正答数の変化を調べることにについて、パラメトリックな統計手法の 1 つである t 検定を行い、有意な効果があるかないかを判断する。t 検定を行った結果について、有意差が確認することができる。この結果から、学習支援システムを利用後正答率向上に効果あることが分かる。

質問紙 SUS の回答結果を図 8 に示す。スコアの平均は 81.111 である。SUS スコアの標準平均は 68 である。改善の余地があるが、比較的に高い値だと考えられる。ユーザビリティと学習性に関する評価は概ね高いスコアが示され、本システムは有用であると言える。今後の課題として、ユーザーが調整可能な難易度オプションを設定するべきである。

6. おわりに

本稿では、通常学級に在籍する発達障害児に対して、空間認識能力を高める学習を繰り返し行う AR 型学習支援システムを開発する。本提案システムは Android のスマートフォン端末上で動作するアプリケーションである。本提案システムでは、「同じ立体図形を選択する」という問題が出題される。出題内容により、三次元と二次元を往還する思考を中心とした空間認識能力を鍛える。本提案システムは

表 1 System Usability Scale (SUS)

1. このシステムを頻繁に使いたいと思う。
2. このシステムは不必要に複雑であると感じた。
3. このシステムは容易に使えと思った。
4. このシステムを使うのに詳しい人のサポートが必要だと感じる。
5. このシステムは様々な機能がうまくまとまっていると感じた。
6. このシステムでは一貫性のないところが多々あったと感じた。
7. たいていの人は、このシステムの使い方を直感的に学べるといった。
8. このシステムはとても操作しづらいと感じた。
9. このシステムを利用できる自信がある。
10. このシステムを利用し始める前に知っておくべきことが多くあると思う。

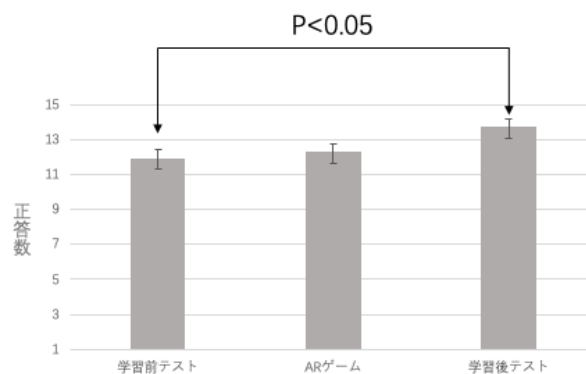


図 7 平均正答数の比較

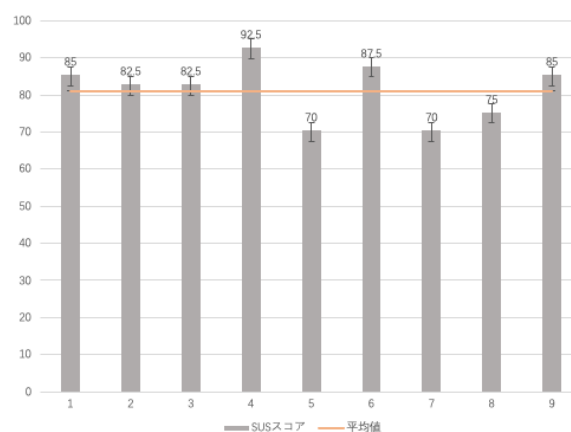


図 8 SUS スコア

学習進度と時間を自動的に保存する。それによって、教師は生徒の学習状況を手動で記録する必要がなくなる。本提案システムの有効性の検証を健常者に対して行う。有効性

の検証は15問のテストによって行う。本提案システムによる学習前後にテストを行う。その結果、学習後に正答率が向上する。よって、三次元と二次元を往復する思考を中心とした学習は、テストの正答率向上に効果があることが分かる。本提案システムのユーザビリティを、質問紙SUSにより測定する。質問紙SUSによるアンケートの結果、スコアの平均は81.111である。ユーザビリティと学習性に関する評価は概ね高いスコアが示される。よって、本提案システムは空間認識能力の訓練に有用であると言える。

参考文献

- [1] 文部科学省 2003. 通常の学級に在籍する特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する全国実態調査.
- [2] 文部科学省 2012. 通常の学級に在籍する発達障害の可能性のある特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する調査.
- [3] 金谷京子. 通常学級における特別支援教育の推進:教室で教師が気になる生徒とは『聖学院大学論叢』2009, 21(3),25-30.
- [4] 文部科学省 2017. 発達障害を含む障害のある幼児児童生徒に対する教育支援体制整備ガイドライン~発達障害等の可能性の段階から、教育的ニーズに気付き、支え、つなぐために
- [5] 角南なおみ. 通常学級における発達障害研究の動向と展望. 東京大学大学院教育学研究科紀要, 2019
- [6] 梅津孝信, 垣屋良式, 平嶋宗, 竹内章. “問題解決 演習を対象とした学習ゲーム作成法”, 電子情報通信学会論文誌 D. Vol.J91-D, No.2, pp.293-302, 2008.
- [7] 佐々木整, 森川哲史, 竹谷誠. “対戦型ゲームを利用した論理的思考能力育成教材の開発”, 電子情報通信学会論文誌 D. Vol.J83-D-I, No.6 pp.635- 643, 2000.
- [8] 金山貴泰, 浅野久美子, 西野哲朗, 若月光夫. 学習ゲームを用いた発達障害児向け文字学習支援システム, 2013-MPS-93
- [9] 岡部恒治 ほかに15名:改訂版 中学校数学 1,数研出版, pp.184-185, 2017
- [10] 原田勇希, 鈴木誠. 心的イメージ処理特性が中学校理科の期待信念に及ぼす影響, 日本教育工学会論文誌, 2018 - jstage.jst.go.jp
- [11] 小野恵. 埼玉県立越谷西特別支援学校、空間認識の発達と言語力に関する一考察
- [12] 文部科学省(2008)中学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書株式会社
- [13] Ronald T Azuma .1997..A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators & Virtual Environments 6, 4 (1997), 355–385.
- [14] Keith R Bujak, Iulian Radu, Richard Catrambone, Blair MacIntyre, Ruby Zheng, and Gary Golubski ..A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom. Computers & Education 68 (2013), 536–544.
- [15] Yi-Ting Liao, Chih-Hung Yu, and Cheng-Chih Wu..Learning geometry with augmented reality to enhance spatial ability. In 2015 International Conference on Learning and Teaching in Computing and Engineering. IEEE, 221–222.
- [16] 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, 研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS) 2012-MPS-87(33), 1-6, 2012-02-23
- [17] 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.
- [18] 中野美登里, 松原行宏, 岡本勝, 岩根典之. メンタルローテーション課題のための AR 型学習支援システム, 日本感性工学会論文誌 Vol.18 No.3 pp.201-208(2019)
- [19] AMGAMES Inc.:積み木ブロック学習-遊ぶ知育シリーズ <https://amgm.jp/education.html/> (参照 2021-11-04)
- [20] 伊藤壮顕, 赤澤紀子. 空間認識能力を育むためのデジタル教材の研究, 情報教育シンポジウム論文集, 2020, 114-119
- [21] John. Brooke. SUS:A quick and dirty usability scale. In Usability evaluation in industry. Taylor and Francis, London, 1996.