

特別支援学校の生徒を対象とした 数の学習を支援する算盤型デバイスの提案

武井 星¹ 柴崎 美奈² 韓 旭² 阪口 紗季² 串山 久美子²

概要：本研究では、特別支援学校の生徒を対象に数の学習を支援するための算盤型デバイスを提案する。このデバイスは、生徒が数を学ぶ際に実際に手で珠に触れながら、数字と数量の理解を補助することを目指している。開発したプロトタイプについて、特別支援学校の教諭から意見を収集し、実際の生徒にも試用してもらった。その結果、デバイスの強度やインタラクションにおける課題が明らかになり、それらを踏まえて最終プロトタイプを実装した。

1. はじめに

数を適切に扱う技能の習得は、自立した日常生活や社会生活を送る上で重要である。しかしながら、学習障害などの認知的な課題がある特別支援学校の生徒にとっては、数などの抽象的な概念の学習は大きな課題となっている[1]。

実際に特別支援学校へフィールドワークを行った際も、箱の中から正しい数のボールを取り出すという課題に対して、口頭で示された数字を唱えることはできていたが、手に取ったボールの数が一致していない場面が観測された。このことから、生徒の数の学習において数字と数量を結びつけることは困難であることがわかる。

子どもの抽象的な概念の学習を支援する方法は過去にも研究されている。例えば、Hayashi ら[2]は、時間を物理的に操作できるブロックを開発し、時間という概念を子どもにわかり易く伝えることを可能にしている。他にも、Oren ら[3]は手で操作することでプログラミングの要素を未就学児が学べることを可能にした。さらに、Antle ら[4]の研究ではパズルを解かせる際に、マウスでの操作と手での物理操作を比較し、物理操作の方が子どもの触覚的探索行動を引き出すことが可能であることを証明している。これらの知見から数のような抽象的な概念であっても、物理的な操作を可能にすることで子どもの注意を引き出し、数への探索行動を促すことで、数字と数量の理解を支援できると考えた。

そこで、本研究では特別支援学校の生徒が数を学ぶ際に実際に手で触れながら、数詞と数量を結びつけることが可能なデバイスを開発する。

2. 提案

算盤は数を手で物理的に操作し、結果を視覚で確認できる計算道具である。この算盤の特性を活かし、数字と数量の理解を支援する算盤型デバイスを開発する。

図1は本研究のコンセプトである。まず、手で操作することによって数量を直感的に実感できるようにする。また珠を左から右へと移動させた際に光らせる仕組みを導入し、珠への注意を引き出すとともに、操作したという行為に対する主体感を高める。動かした珠の数をディスプレイに表示することで数字と数量の結び付けを補助する。

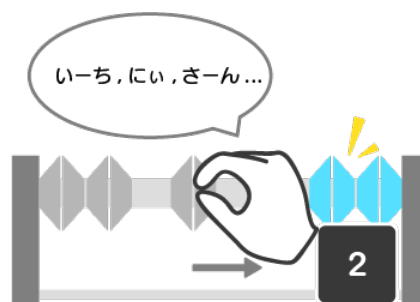


図1 算盤型デバイスのコンセプト図

3. 算盤型デバイスの実装

3.1 プロトタイプ I

図2は実装したプロトタイプ I である。従来の算盤から1桁分の構造を抽出し、珠の位置を読み取ってPC画面上に数字を表示した。図3はシステム構成図である。珠の位置を検出するため、5個のフォトリフレクタ(QTR-1RC)を珠の下に配置した。得られた値をArduino (Arduino UNO R3)で受け取り、そのデータをシリアル通信でProcessingへ送信しPC上に数値として表示するシステムを構築した。

¹ 東京都立大学システムデザイン学部

² 東京都立大学大学院システムデザイン研究科



図 2 プロトタイプ I の実装

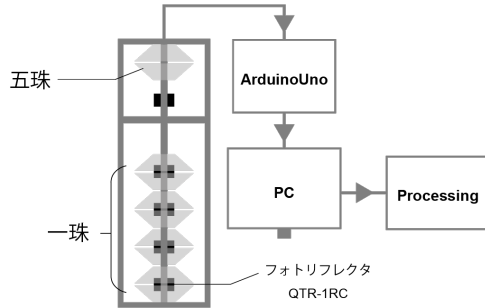


図 3 プロトタイプ I のシステム構成図

3.2 フィードバック

実装したプロトタイプ I を特別支援学校の教諭及び日本科学未来館の科学コミュニケーターに見てもらいプロトタイプ I に対する意見収集を行った。以下に収集したプロトタイプ改善のためのフィードバックを記す。

- 生徒が五珠が一珠 5 個分を表していることを理解することは難しい
 - デバイスは大きい方が、生徒が操作しやすい
 - A4 の横サイズ(21cm)を超えすぎると視界に収まらなくなり、視線移動が生まれ注意を維持することが難しくなる
 - 珠を動かす際、ストロークが長い方が「珠を動かした」という実感を得やすい
 - 珠を動かした際に光ったり、音が鳴ったりすると自分が操作したことを認識しやすくなる
 - 操作した結果である数字を PC 上に表示すると、デバイスと PC 間で視線移動が生まれ、認識が難しくなる
 - 珠を動かす方向は上下より左右の方が認識しやすい
- これらのフィードバックを活かしプロトタイプ II を制作した。

3.3 プロトタイプ II

図 4 は改善したプロトタイプ II である。図 5 にシステム構成図を示す。デバイスの横幅を 253mm に設計し、生徒の視界の中に収まるような大きさにした。軸の中にフォトリフレクタ (QTR-1RC) とフルカラーLED (WS2812B) を配置し、珠の位置に連動して数字を検知する機能に加えて珠が

光るようにした。また、PC と Arduino の代わりに M5Stack Core2 を使用し、珠の数を右下部に配置することで動かした珠と数字と一緒に見られるように改善した。さらに、軸を長めにすることで珠を動かす際のストロークの長さを伸ばした。

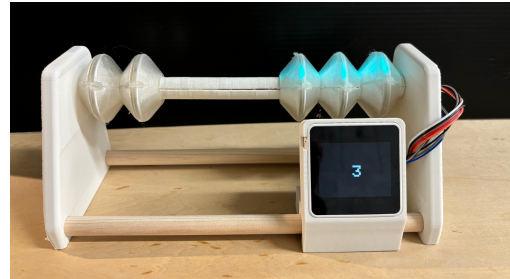


図 4 プロトタイプ II の実装

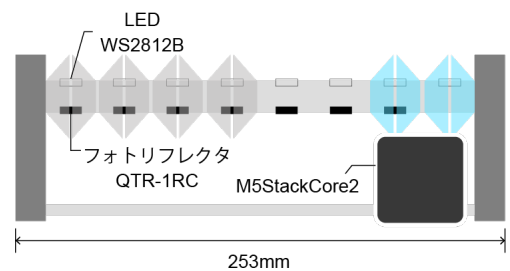


図 5 プロトタイプ II のシステム構成図

3.4 ユーザビリティテスト

2024 年 10 月 3 日に東京都立臨海青海特別支援学校の中学部 3 年生を対象にプロトタイプ II を使ったプレ授業を日本科学未来館の科学コミュニケーターと一緒に実施した。その結果、このデバイスを使って 5 までの数を数えられていることが確認できた。他にもプロトタイプ II の改良点として以下の点が見つかった。

- デバイスの軸の部分の強度が弱く、軸を握られたことによって軸の部分が破損した
- ケーシングしたディスプレイの枠によって、ディスプレイへと視線が誘導されてしまっており、生徒の注意が珠ではなくディスプレイに集まってしまった
- 珠と軸の色が異なっている方がどれを動かすべきか分かりやすい
- どちらかの方向に珠を動かす際、左右両端の壁にそれぞれ違う色がついている方が指示しやすい

これらの改良点を踏まえ、次章にて最終プロトタイプを提案する。

4. 特別支援学校の生徒を対象とした数の学習を支援する算盤型デバイスの提案

4.1 最終プロトタイプ

2 つのプロトタイプを踏まえ、最終的に図 6 のデバイス

を開発した。数字を表示するディスプレイはデバイスの中に埋め込むことで、ディスプレイの主張を抑え、最初に珠へと視線を誘導できるよう改善した。また、珠・軸・壁のパーツの色をそれぞれ分け、動かすべき珠を目立たせた。これまでのプロトタイプは 5 個以上の数を数えられなかったが、他者のデバイスと合体することで 10 の数まで数えることが可能な機能を追加し、他者とインタラクションを誘発する要素を追加した（図 7、図 8）。

図 9 は最終プロトタイプのシステム構成図である。これまでのプロトタイプでは珠を検知するのにフォトリフレクタ(QTR-1RC)を使用していたが、センサの値が環境光に影響されやすく不安定であった。そこで、光変調型フォト IC(S4282-51)に変えることで外部の環境に左右されないように改良した。また、ディスプレイとして 7 セグメント LED を採用したことにより、ディスプレイ付きのマイコンが不要となったため、M5Stack Core2 を ESP32 に変更した。

合体時、リードスイッチとネオジウム磁石、赤外線 LED と赤外線受光部が向き合うことにより合体を検知し、赤外線を使ってデバイス同士の珠の数を共有する。合体時には珠の色を赤から黄に変化させることで合体状態を視覚的に表現し、10 の数が完成した際にはカラフルに光る演出を加えた。これにより、2 台のデバイスを使って協力して 10 を作る楽しさを追加した。

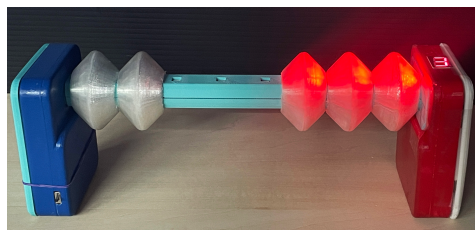
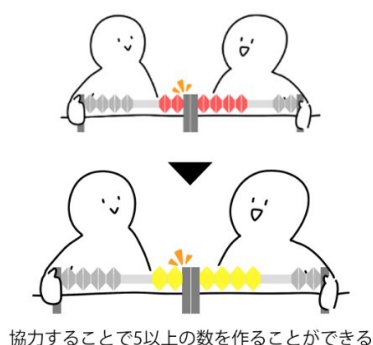


図 6 最終プロトタイプの実装



協力することで5以上の数を作ることができる

図 7 デバイスを合体させ他者と協力して使用するコンセプト図



2台が接続すると移動させた赤い珠が黄に光る



2台合わせて10個の珠が繋がるとカラフルに光る

図 8 デバイス合体時の光の変化

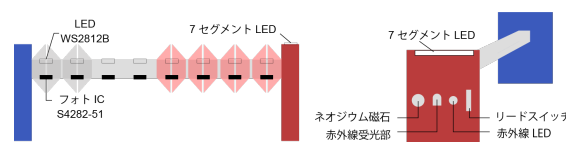


図 9 最終プロトタイプのシステム構成図

5. おわりに

本研究では、特別支援学校の生徒を対象に数の学習を支援するための算盤型デバイスを提案し開発した。開発したデバイスを通して、特別支援学校の教諭から意見を収集し、さらに実際の生徒にもデバイスを試してもらった。その結果、デバイスの強度やインタラクションにおける課題などが見つかり、それを踏まえ最終プロトタイプを実装した。今後はこのプロトタイプを用いた授業を開発し、実際に特別支援学校の生徒が授業で数を学べるような教材パッケージを開発していく予定である。

謝辞

本研究を行うにあたって、ご協力いただいた東京都立臨海青海特別支援学校の松本教諭、生徒の皆様、日本科学未来館の三ツ橋様、大久保様、グルラジ様、青木様には心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 日山美子：自閉症児の数概念の発達を促すための指導：指導計画書を活用した取組，筑波大学特別支援教育研究，2011 . 5 巻, pp.2-10.
- [2] Eiji Hayashi, Martina Rau, Zhe Han Neo, Nastasha Tan, Sriram Ramasubramanian, Eric Paulos : TimeBlocks: Mom, can I have another block of time, In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2012. pp. 1713-1716.
- [3] Oren Zuckerman, Saeed Arida, Mitchel Resnick : Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives, In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 2005. pp. 859-868.
- [4] Alissa N. Antle, Milena Droumeva, Daniel Ha, : Hands on what? Comparing children's mouse-based and tangible-based interaction, In: *Proceedings of the 8th international conference on interaction design and children*. 2009. pp. 80-88.