

## 音と触覚を用いた視覚障害児向け 中学数学学習コンテンツの開発

岡本愛弓<sup>†1</sup> 福島裕介<sup>†2</sup> 矢入郁子<sup>†1</sup>

重度視覚障害児は数学学習において晴眼児より多くの困難に直面している。本研究では視覚障害児の数学学習の支援を行うことを目的とし、視覚特別支援学校での授業見学やヒアリング調査を通して現状の数学学習における問題点の把握と分析を行った。分析の結果、複数の提示されたものを同時に関連づけて把握できないこと、事象やグラフをイメージするための経験や慣れが少ないことが原因であった。この原因を解消するために事象とグラフを関連づけて理解させ、グラフを直感的にイメージさせるための学習コンテンツを iPad アプリケーションとして開発した。コンテンツ評価実験の結果を含め報告する。

### Development of Educational Touch Panel Contents about Mathematics for Visually Impaired Children in Junior High School

AYUMI OKAMOTO<sup>†1</sup> YUSUKE FUKUSHIMA<sup>†2</sup>  
IKUKO YAIRI<sup>†1</sup>

Severely visually impaired children are facing a lot of difficulty in learning mathematics than sighted children. This paper aim to support visually impaired children to learn mathematics. Firstly, we investigate problems about learning mathematics for them through visiting the classes in the school for the blind and interviewing the visually impaired. As a result, we found two causes of the problems: one is visually impaired children cannot connect two different factors such as events with graphs, the other is they have little experience for imagining events and graphs. So, we developed an educational contents on iPad. This contents aims to understand the connection of events and graphs and the shapes of the graphs intuitively. This paper also reports the result of experiments that severely visually impaired people touched the content.

#### 1. はじめに

コンピュータと教育、の事例として e-learning が挙げられる。e-learning はパソコンなどの情報機器やコンピュータネットワークなどを利用した学習方法である。e-learning のメリットとして、学習が教室だけでなく場所を問わずできるようになっていることや、外国語をリアルタイムで直接学ぶことができることが挙げられる。さらに紙媒体では表現できなかった動的な事象が表現できることや、個人の興味にあわせて自分に必要な学習コンテンツを取捨選択することも e-learning のメリットである。このように e-learning により様々な可能性が広がるため、教育の質を向上する上で重要であると言える。

このような背景から e-learning に関する研究は数多く行われている。数学の授業で Mathematica のアニメーションを用いることによる学生の数学の本質的な部分への興味関心について調査した研究では、抽象的な概念をアニメーションを用いて動的に表現した際の効果について検証してい

る[1]。このような動的なコンテンツによる数学教育が、答えという最終的な結果にしか興味を持たなかった学生が数学の概念に興味を持ち、数学の本質を意欲的に理解しようとするきっかけとなることが示されている。さらに英語読解授業でのオンラインコンテンツの宿題課題の実施と成績の相関関係を調査した研究では、宿題の提出状況と学期末の最終成績に強い相関関係があり、またオンライン課題を実施しない場合と比較すると、同じ授業内容で同じ学生集団にもかかわらず最終成績のクラス平均が約 10%低下する事が示されている[2]。このように、e-learning は学習意欲の向上や学力向上に有効であることが示されている。

一方で、e-learning に関する研究のほとんどは、晴眼者を対象とした物にとどまっており、より教育の支援を必要としている視覚障害者に対する研究・利用は進んでいないのが現状である。そこで本研究では視覚障害児の e-learning による学習支援をし、その中でも数学学習の支援を行う。何故なら視覚障害児の教育の中でも数学学習は、晴眼児に比べて多くの困難を抱えていることが指摘されているためである。[3]例えば数式は多次元的な情報が付随しているため、数学の学習・習得プロセスが複雑である。点字は分数などの縦の表記ができないため、点字で数式を表記すると

<sup>†1</sup> 上智大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Sophia University

<sup>†2</sup> 情報通信研究機構  
NICT

横に長くなってしまい、墨字で数式を表記するときと比べて理解しづらい。さらに表やグラフは視覚的にわかりやすい工夫された表記方法であり視覚障害児にとっては扱いにくい。ド・モルガンの性質のように図を用いると直感的に理解しやすい概念も理解するのに時間がかかり複雑である。このように数学は視覚言語に頼っているという特徴があり、この特徴が視覚障害児の数学学習の困難性の原因となっている。[3]

さらに視覚障害児の数学学習において既存の e-learning は効果が期待できないことも指摘されている。[3]例えば LiveMath[4]のような従来のオンラインコンテンツは、結果のみを一方向的に情報提示するフレームワークであるため視覚障害児の数学の概念学習に十分配慮されていない。また、オンラインの学習コンテンツ利用における視覚障害者への有効なアプローチとして、オンライン上に書かれた数学のコンテンツを標準の点字に直す math2Braille[5]のような点字を用いたアプローチや、画面読み取りソフトの JAWS や Microsoft ナレーター[6]のような音を用いるアプローチなど様々なツールが開発されているが、現状では視覚障害児にとってオンラインコンテンツの利用は困難である。[3]そこで本研究では、視覚特別支援学校の授業見学やヒアリング調査を通して、現状の視覚障害児の数学学習の問題点の把握と分析を行い、e-learning を用いた支援を提案する。

以降本稿では、第2章に現状での視覚障害児の数学教育における問題点の把握のために行った視覚特別支援学校での授業見学とヒアリング調査の結果を報告し、第3章では第2章で把握した問題点の数学学習における具体的な障壁の分析結果を述べる。さらに第4章では、視覚障害児の数学学習に対する問題点を解決するために行った数学学習コンテンツのデザインと実装について説明をし、第5章では実装した学習コンテンツを用いた実験について述べる。そして最後に第6章・第7章で本研究の結論と今後の展望について示し、本稿のまとめとする。

## 2. 現状の数学学習における問題点の把握

中学生・高校生の視覚障害児の数学学習方法の現状と問題点を把握するために、視覚特別支援学校の授業見学と、視覚障害者に対するヒアリング調査を行った。授業見学の詳細を表1に、ヒアリング調査の被験者特性を表2にまとめる。授業見学は中学1年から高校3年までの視覚特別支援学校の授業を計200分見学した。ヒアリング調査は、数学科に所属している全盲の大学生や視覚特別支援学校の数学科教師など5人に計6時間の聞き取りを行った。

表 1 視覚特別支援学校授業見学詳細

Table 1 List of Classrooms We Had Seen.

時限	学年	単元 (内容)	教師	生徒
0分 ~50分	高校3年	数学Ⅲ (定積分の 計算)	全盲 (男性)	墨字1人 点字4人 計5人 (理系)
50分 ~100分	高校2年	数学A (集合と命題)	晴眼 (女性)	墨字1人 点字3人 計4人 (文系)
100分 ~150分	中学3年	学力テスト 解説	全盲 (男性)	墨字6人 点字6人 計12人
150分 ~200分	中学1年	一次方程式の 利用	全盲 (男性)	墨字0人 点字3人 計3人

表 2 ヒアリング調査被験者特性

Table 2 List of Interviewed Persons.

被験者	性別	年齢	障害内 容	職業	数学学習歴
Bm1	男性	29歳	全盲	日本点字 図書館職員	中1~高3(数Ⅱまで)、 大学では解析ソフト使 用(心理学専攻)
Bf1	女性	20歳	全盲	大学生	中1~高3、国立私立 大学一般受験 大学では数学科在籍
Bm1	男性	30~40代	全盲	視覚特別支援学 校数学科教師	中学部数学科教師
Bm2	男性	50代	全盲	視覚特別支援学 校数学科教師	高等部数学科教師

ヒアリング調査結果によりわかった視覚障害児と晴眼児の数学学習方法の違いと、視覚障害児の数学学習における問題点を以下に述べる。

### 2.1 視覚障害児と晴眼児の数学学習方法の違い

授業見学やヒアリング調査を通して、視覚障害児の数学学習には晴眼児の数学学習方法とは異なる特徴があることがわかった。授業に関する特徴と、教材に関する特徴の2点にわけて記す。

はじめに授業に関する特徴を以下に3点挙げる。

- 黒板を用いず授業を行う。  
 晴眼者の授業では黒板を見て情報を共有するが、視覚障害児の授業ではすべて口頭で説明を行い、頭の中を共通黒板として授業を行う。そのため板書のように残しておき、あとで確認するという作業ができない。前後の流れを理解することが難しく、理解のために短期記憶が重要になる。
- 教師生徒間でコミュニケーションをとりながら行う。  
 晴眼者の授業では、教師が説明を行い生徒が聞くという生徒が受け身の形の授業が多い。それに対して視覚障害児の授業では黒板を用いることができないため、コミュニケーションを沢山とり教師は生徒の発言から理解度を把握している。自分の考えていることを言葉で表現する必要があるため、自分の中で内容をしっかり理解することが必要となり深い理解に繋がるが、時間がかかる。

- 一度の授業では扱う問題量が少ない。

晴眼児よりもどうしても時間がかかってしまう分、授業中に演習は行わず、少ない問題を時間をかけて解説している。

次に教材に関する特徴を以下に挙げる。

- 教科書

教科書は晴眼児の教科書を拡大した墨字用のものと、墨字の教科書を点字に直した2種類の教科書がある。点字の教科書では、図は省略されていることが多く、理解するために最低限必要な図しか書かれていない。

- 代数計算の教材

晴眼児は数字の桁数が多くなると筆算で計算を行うが、視覚障害児は点字を用いるため縦に数字を表記することができなく筆算で計算できない。そのため視覚障害者用のそろばんを用いて計算を行う。

- 関数分野の教材

晴眼児は方眼紙にグラフを描くが、視覚障害児にとってはイメージを紙媒体で表現することが容易でない。そのため関数のグラフ全体の概要を理解するときは、図1のようにホワイトボードに棒状で柔軟性のある磁石を貼付けることで、グラフを表現している。またグラフの詳細は、分厚いシリコンマットの上に発泡インクを用いて作成されたグラフ用紙を重ね、その上に待ち針をさす方法や、インクの入っていないボールペンなどでグラフ用紙に傷をつける方法でグラフを表現している。

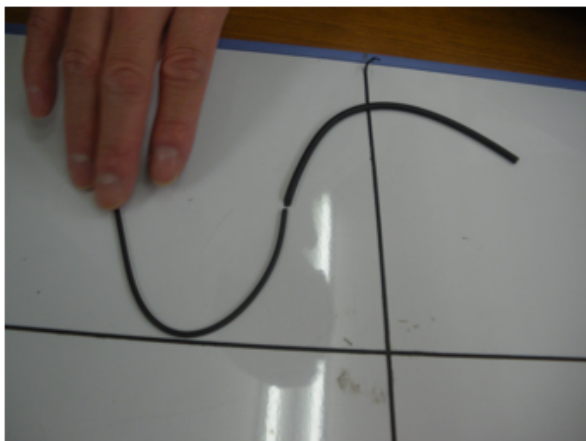


図1 ホワイトボードを利用したグラフの表現方法

Figure 1 Teaching Materials to Represent a Graph Using the Whiteboard.

- 平面図形の教材

グラフ表記と同様、視覚障害児にとって紙媒体で表現することは困難である。そのためレーザーライターを用いて平面図形を作図する。レーザーライターとはシリコンマットの上に、表はセロハン、裏は和紙でできている特殊な紙おき、ボールペンで上から書くことでできる、ひっかいたような跡で図を書くものであり、書いた線を手で触って確認することができる。作図のときに使用する定規、三角定規、分

度器やコンパスも、作図をする際に手で教材を固定する必要がないよう、レーザーライターのシリコンマットに待ち針でとめて固定できる穴があるなど工夫されている。図2が作図の様子である。



図2 平面図形の作図方法

Figure 2 Teaching Materials to Draw a Plane Figure.

- 立体図形の教材

視覚障害児と晴眼児で立体図形をイメージする脳のメカニズムが異なるため、教材も異なる。晴眼児は2次元に図形を描き、見えている3面や見取り図から3次元の図形を頭の中で復元する。しかし視覚障害児は立体図形そのものを触り触覚情報から3次元の図形をイメージする。立体図形のイメージに慣れてくると毎回立体図形を触らなくても頭の中でイメージすることができるようになるが、慣れるまでは実物の立体図形を触ることが必要である。そのため、図3のようにブロックを用いて立体図形をイメージする。



図3 立体図形の表現方法

Figure 3 Teaching Materials to Represent a Solid Figure.

晴眼児は関数分野も図形分野も代数分野も紙に描くことで学習できるが、視覚障害児は単元ごとに様々な教材を使用する必要があることがわかる。また全ての教材を人数分準備する必要がある。以上のように視覚障害児と晴眼児で

は数学学習方法が異なる。そしてこれらの特徴が視覚障害児の数学学習の問題点の原因の一つとなっている。

## 2.2 視覚障害児の数学学習における問題点

4人の視覚障害のある被験者を対象としたヒアリング調査を通してわかった視覚障害児の数学学習の問題点を以下に記す。

- (1) 式変形の流れや、点字で表現することにより長くなってしまった式が理解しづらい。
- (2) グラフや式など複数の要素を同時に理解することができず、同時に理解するためには短期記憶が必要になる。
- (3) テスト問題を解くときも問題全体を把握するのに時間がかかり困難である。そのため時間がかかりテストが最後まで解き終わらず、点数に結びつかない。
- (4) 授業中に扱う問題数に限界があり、晴眼児に比べて時間がかかる。
- (5) 図形を書くなど紙媒体におとして考える作業が難しいため、頭の中でイメージして考える必要があるが、図形の形などをイメージすることが難しい。
- (6) ものを触る経験や視覚情報のように無意識に形が頭に入ってくる経験が少ない。また触り方もわからない生徒が多い。
- (7) 解法を暗記してしまおうとし、知識のみで実感が伴っていない人が多い。

これらの問題点はその問題点が生じる原因により、主に2つに分類することができる。1つ目が複数の提示されたものを同時に関連づけて把握できないことにより生じる問題点(以下①)、2つ目がイメージするための日常生活における経験や慣れが少ないことにより生じる問題点(以下②)である。問題点(1)～(4)が①にあたる。晴眼者は視覚により複数の情報を一度に得ることができるが、視覚障害者は触覚を用いて情報を得る。そのため点字を使用すると触っている一点のみしか理解することができず、同時に複数の情報を把握することが難しく、短期記憶に頼ることになる。授業でも複数の情報を視覚情報として黒板に残しておくことができず、生徒全員の理解を毎回確認することが必要であるため時間がかかるのである。また、問題点(5)～(7)が②にあたる。晴眼者は意識して情報を得ることなく視覚情報として情報を無意識に得ることができるため、イメージがしやすい。しかし視覚障害者は日常生活で得ることができる情報の量が少ない。さらに様々な教材を使う必要があるため、経験や慣れが少ない。よって視覚障害児の数学教育における問題点はこの2つの原因によることが考察できた。

## 3. 数学学習における具体的な問題点の分析

2章では視覚障害児の数学学習における問題点の原因として、①複数の提示されたものを同時に関連づけて把握できないこと、②イメージするための日常生活における経

験や慣れが少ないことの大きく2つが挙げられた。考察を受けて、視覚障害児の数学学習支援を行うために、考察された2つの原因が数学学習においてどのように問題点となっているのかを、より具体的に分析した。分析を行うにあたり、視覚特別支援学校の数学教師や、大学の数学科に所属している全盲の学生など、数学を専門としている人を対象としたヒアリング調査を行った。

ヒアリング調査を行った被験者の特性を表3に示す。

表3 ヒアリング調査被験者特性

Table 3 List of Interviewed Persons.

被験者	性別	年齢	障害内容	職業	数学学習歴
BTm1	男性	30～40代	全盲	視覚特別支援学校数学教師	中学部数学科教師
BTm2	男性	50代	全盲	視覚特別支援学校数学教師	高等部数学科教師
Bf1	女性	20歳	全盲	大学生	中1～高3、国立私立大学一般受験 大学では数学科在籍
NTf1	女性	30代	晴眼	視覚特別支援学校数学教師	高等部数学科教師

本ヒアリング調査によって挙げられた、視覚障害児の数学学習の問題点に関する分析結果を示す。

- ① 複数の提示されたものを同時に関連づけて把握できない。
  - 全ての数学の単元ではないが、比例などの単元だと事象・グラフ・式という3つの要素が重要になり、これらを関連づけて数学を理解する必要がある。またこの3要素は表という要素を通過して繋がっている。視覚障害児は表が頭の中にイメージできないことや、事象の変化をイメージして考えることが難しいことが原因となり、これらの要素を関連づけて考えることができない。特に事象とグラフを関連づけることが視覚障害児にとっては難しい。
  - 表を元にグラフを描くことはできるが、グラフと事象を関連づけて把握することが難しい。
- ② イメージするための日常生活における経験や慣れが少ない。
  - 日常生活による慣れが少ない分、機械的に問題の解法を暗記してしまい、何故そうなるのかという課程をイメージできない。特に速さの問題など距離と速さの関係を考えるなど、普段意識する経験が少ない事象はイメージしづらい。
  - 比例のグラフ、三角形の形など基本的な図に関しても直感的にイメージすることができない。
  - 文章題を読み問題文から式を作成するという際に、問題文で挙げられる事象がイメージすることができなく式が立てられない。

これらのヒアリング調査結果より、視覚障害児の数学学習における問題点が以下の図4のように分析できた。

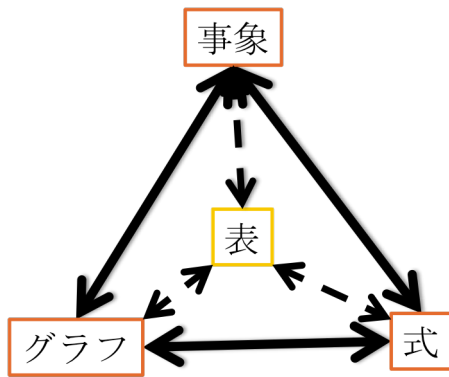


図 4 数学学習における思考のプロセス  
 Figure 4 Process of Thinking in Mathematics Learning.

数学学習に不可欠な4つの要素として、事象・グラフ・式・表がある。そして事象・グラフ・式は無意識に各々表を通過して繋がっている。図4の三角形の中心にある表はメタ知識としての表であり、事象・グラフ・式の変化をイメージする手段として用いられる。図4の各三頂点の要素の変化のイメージを膨らませることで、表を通過することなく頂点の要素同士が関連づけて結びつき、数学の学習に繋がる。最終的に事象などの具体的な事例を抽象化し、グラフと式を結びつけることが目標となる。しかし経験や慣れが少ないことで事象・グラフ・式を直感的にイメージすることが困難であり、さらに複数の提示されたものを同時に把握できないために、各々の要素を関連づけて把握することが難しく、特にグラフと事象を関連づけて理解することが問題点となっていると考えられる。

## 4. 学習コンテンツのデザインと実装

### 4.1 学習コンテンツのデザイン

3章より、数学学習において不可欠な事象・グラフ・式・表という4つの要素をイメージすること、さらにそれぞれの要素を関連づけて把握することが難しいことが、視覚障害児の数学学習における問題点であることが分析できた。これらの問題点をふまえ、本研究では、数学の理解において重要である事象・グラフ・式のうち、主に事象とグラフを結びつけることに重点をおいた学習コンテンツの作成を行う。

また本研究では iPad 上で動作するコンテンツを開発する。何故なら iPad のインタラクティブ性を用いることで、複数の情報を同時に提示させることができ、また既に海外では iPad が視覚障害児の教育に用いられている事例があるためである。さらに、インタラクティブな動作により、結果だけを一方的に情報提示するという現状のコンテンツの問題点を解決することができる考えた。

実際にコンテンツで扱う単元やコンテンツの使用場面は

表4の3人の視覚特別支援学校の数学教師を対象としたヒアリング調査の結果を元に検討した。今回のヒアリング調査では、複数の要素を関連づけることが困難かつ要素がイメージしにくいと想定される単元や、コンテンツを使用する場面をあらかじめ複数検討し、その仮説に対して数学教師としての立場から意見をもらった。

表 4 ヒアリング調査被験者特性  
 Table 4 List of Interviewed Persons.

被験者	性別	年齢	障害内容	職業	数学学習歴
BTm1	男性	30~40代	全盲	視覚特別支援学校数学教師	中学部数学科教師
BTm2	男性	50代	全盲	視覚特別支援学校数学教師	高等部数学科教師
NTf1	女性	30代	晴眼	視覚特別支援学校数学教師	高等部数学科教師

ヒアリング調査結果より、本研究では数学で一番始めに事象・式・グラフ・表の4つの要素を関連づけて学習する、中学1年の比例の単元を扱い、その中の事象の意味を理解しグラフを作成するコンテンツを開発する。このコンテンツでは具体的な事象を始めに与え、事象を理解して変化をイメージし、変化した事象がグラフ上でどこに表現されるかを考え、グラフを描くプロセスを実現する。さらに経験の少なさにより事象やグラフをイメージしにくいことが問題点として分析されたため、本コンテンツは一人でもコンテンツを利用できるように工夫する。

### 4.2 学習コンテンツの実装

本研究では開発言語 Objective-C で、apple 社により提供されている Xcode Version4.2.1 を使用し、iPad の iOS 5.0.1 で実行できる学習コンテンツを実装した。具体的な事象として「駅から出発する電車が、駅から発車して経過した時間と、進んだ距離との関係をグラフに示す。」という問題を与える。複数のグラフを描くことで正しい比例のグラフの形になれることができるよう、分速 0.5km と分速 2km の2種類の電車の速さのグラフを描く。また学習コンテンツの具体的な実装方法だが、学習コンテンツのトップ画面であらかじめ与える情報と、グラフを描くというコンテンツの内容の2点にわけて述べる。

#### ● あらかじめ与える情報

あらかじめ x 軸、y 軸、原点と各軸のめもりを表示しておく。事象とグラフを関連づけて把握させるために、軸と目盛に事象が直感的にわかるような音を割り当てた。さらに各々の音は軸や目盛の幅と長さの座標情報で割り当てを行った。割り当てた音源を表5に示す。

#### ● グラフの描き方

レーザーライターで描く手順と同じ手順でグラフを描くことができるよう、レーザーライターで描くときの手順を分析し、各手順をタッチパネル上で実現できるよう開発した。

(1) x 軸上でプロットしたい点の x 座標の目盛を認識し、プ

ロットしたい点を通り x 軸に垂直になるよう補助線をひく。  
…x 軸上で、プロットしたい x 軸の目盛をダブルタップすると、その目盛から x 軸に垂直な補助線を表示し、さらにダブルタップすると補助線を削除するよう実装した。

(2)y 軸に関しても(1)と同様な手順をふむことができるよう実装した。

(3)各軸からひいた補助線の交点をプロットする。

…補助線上をたどることができるよう、各補助線に異なる電子音を割り当て、交点をダブルタップすると点をプロットできるよう実装した。与えられた問題でプロットされるべき点をプロットした場合は正解したことがわかる効果音、されるべきでない点をプロットした場合は間違えたことがわかる効果音を割り当てた。

(4)プロットした点を結ぶ。

…プロットされるべき点(本研究では原点を含めて x 軸は 7 目盛、y 軸は 9 目盛割り当てた)をすべてプロットすると自動的に点を結び、グラフを表示できるよう実装した。またグラフには傾きの違いが直感的にわかるよう速さの異なる電車の走行音を割り当てた。電車の走行音は駅から遠ざかるほど音を小さくすることでイメージがわかりやすくなるよう工夫した。

表 5 学習コンテンツの音源一覧

Table 5 List of the Sounds Used in the Educational Contents.

グラフの要素	事象の要素	割り当てた音源
x軸	時間	時計の効果音
目盛(x軸)	時間	「〇分前/後」という事象を説明したナビゲーション音
y軸	電車の走行距離	電車の走行中の効果音
目盛(y軸)	電車の走行距離	「〇km駅まで/から」という事象を説明したナビゲーション音
原点	駅	電車の発車音(駅の効果音)
		「駅」「原点」という事象を説明したナビゲーション音

## 5. 実験・評価

本研究では複数の要素(事象とグラフ)を関連づけて理解させること、グラフを描く流れや正しいグラフの形に慣れ、各々の要素を直感的にイメージさせることを目的とし、4章のように学習コンテンツをデザイン・開発した。この目的が達成されているかを検討する以前に、本研究では学習コンテンツとして一人で操作することができるかなどの操作性やコンテンツのデザインの検討のための実験を行った。

全盲の視覚障害者 1 名を被験者とし、速さの異なる 2 種類のグラフ、計 5 つ(iPad 上に目盛や軸の位置情報を表したトレーシングペーパーを乗せた状態、iPad をケースに入れた状態などでも検討)のグラフを描いてもらい、その後気づいたことや意見を自由に話してもらおうという実験を行っ

た。被験者の特性は表 6 に記す。

表 6 実験被験者特性

Table 6 Characteristic of the Participant of the Evaluate.

被験者	性別	年齢	障害内容	職業	数学学習歴
Bf1	女性	20歳	全盲	大学生	中1~高3、国立私立大学一般受験 大学では数学科在籍

本実験ではプロトコル分析とエスノグラフィ的手法を用いて評価した。実験中の会話や学習コンテンツに触っている様子から分析を行った。主に(1)学習コンテンツの操作性、(2)学習コンテンツのデザインの 2 点から考察・分析を行った。

### (1) 学習コンテンツの操作性

被験者 Bf1 のコンテンツの触り方、iPad 上での指の動かし方を分析すると、特徴的な操作を見ることができた。

- x 軸、y 軸の補助線を表示する操作  
必ず一本の補助線を表示したら原点に戻り、時間の経過や走行距離の変化をイメージしながら触っていた。また直線上をなぞるときは、音声を頼りにするだけでなく図 5 のように iPad の角や iPad ケースを手首やその周辺部分にあてて固定し、そこからの指の距離が等しくなるように指をスライドさせていた。

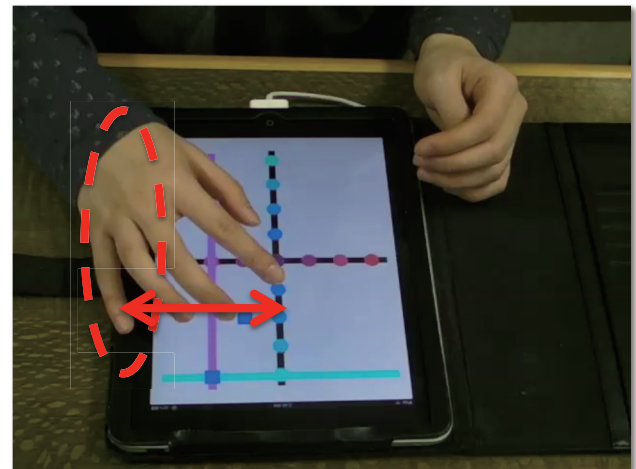


図 5 iPad の縁に手首を固定して触る様子

Figure 5 How to Touch the Contents Anchoring Her Wrist to the Frame of iPad

- 2 本の補助線をたどり、点をプロットする操作  
2 本目に表示した補助線の上をたどり、もう一方の補助線の電子音が重なって聞こえる点をダブルタップしてプロットしていた。
- 表示されたグラフ上をたどる操作  
図 6 のように iPad の角を触りながら基準の直線からどれくらい傾いているかを考えてグラフ上をなぞっていた。

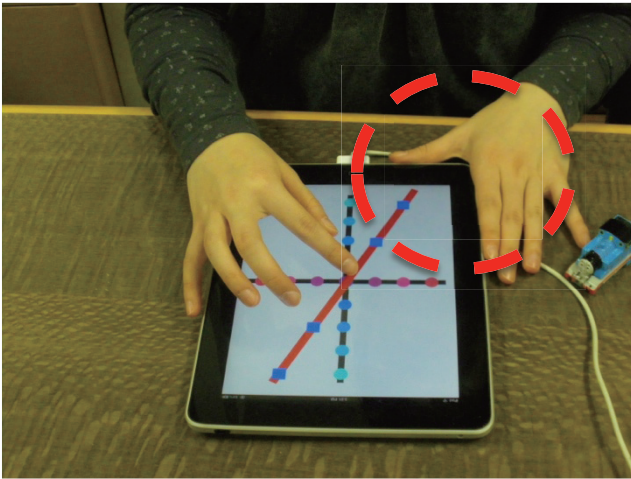


図 6 iPad の角を基準としてグラフを触る様子

Figure 6 How to Touch the Graph on the Basis of the Angle of the iPad

原点に戻るという操作は、基準となる原点に毎回指を戻すことで自分の居場所を把握するために行っていると考察できる。また iPad の角を触りながら距離や傾きを把握するという操作は、iPad の角や iPad の縁を基準としてコンテンツを触っているためと考察できる。このように凹凸のないタッチパネルを触るとき、視覚障害者は iPad の角や縁などを基準としながら自分のタッチパネル上の居場所を把握し触れていることがわかる。しかし、被験者 Bf1 は触ることに慣れていないため自然に上記のような触り方をすることができるが、触ることが苦手な中学生にとっては難しいと考えられたため、iPad の画面上での自分の居場所を把握しやすくするための工夫と、基準となる軸を把握するための工夫をより行うことで、より使いやすい学習コンテンツになると考察できる。

#### (2) 学習コンテンツのデザイン

被験者 Bf1 の実験中の発言からデザインに関して以下の発言があった。

- 普段グラフを描く手順であり、また各目盛に事象を説明したナビゲーション音があることで理解しやすかった。
- 効果音により直感的に事象のイメージがわかりやすかった。しかしグラフに割り当てた速さの違う電車の走行音はわかりにくかった。
- 目盛に割り当てた事象を説明したナビゲーション音はわかりやすいが、音声が多く聞きづらいときがあった。
- 表示されたグラフ上でプロットした点の位置がわかるようなナビゲーションがあると有効かと思う。

効果音は事象のイメージを持つことに対し有効であることがわかるが、傾きの違いを音の速さで表現することは難しいことがわかる。また作成したグラフに関しても改良の余

地があることがわかる。

## 6. 将来課題

本研究では開発した学習コンテンツについて、学習コンテンツとして一人で操作することができるかなどの操作性やコンテンツのデザインを検討するための実験を行った。将来課題として、学習コンテンツの改善点とコンテンツの教育現場への導入方法の提案の 2 点について考察した。

### 6.1 学習コンテンツの改善点

5 章の実験結果を受け、学習コンテンツとしての改善点を以下に挙げる。

- 事象を説明したナビゲーション音の速さを段階的にいくつか設定することで大切な情報を聞き漏らすことなく、また数学を学習するという点以外のところに注力せずに済むよう改善する。
- 学習コンテンツの操作方法や扱う数学の事象(問題)を音声ナビゲーションで提示することで、グラフの形やグラフを描く手順により慣れることができるように改善する。
- 効果音や音声が多く割り当てられている箇所以外の点を触ってしまったときに、iPad の画面上での居場所を把握できるように音を割り当てる。
- 作成されたグラフ上でプロットした点が見えるよう、グラフ上にプロットした点に事象を説明したナビゲーション音を割り当てる。
- 一本の指だけでなく複数の指で画面を触ることができるようにすることで、自分が今触っている位置と基準軸との関係を把握しやすくする。iPad での操作をシングルタッチからマルチタッチにすることで、位置関係の把握が容易になることが言われているため、これを導入する。[7]

また、触ることに慣れていない視覚障害者など、様々な特性の被験者に触ってもらうことでより深い分析を行い、学習コンテンツとして完成させたい。

### 6.2 コンテンツの教育現場への導入方法の提案

作成した学習コンテンツを実際に教育現場へ導入する方法を述べる。実際に視覚特別支援学校で高校 2 年生、3 年生に教えた経験から感じたことを元に提案した。

#### ● 個別学習としての導入

まず授業中で利用する方法を提案する。生徒も教師も一人一台タッチパネルを利用し、授業中に生徒と先生をオンラインで繋ぎ、そのときの生徒の理解度に応じて教師が生徒ごとに問題を提供する。

さらに授業外での自習としての利用方法も提案できる。教室で使用する教材と比べて、移動中も気軽に使用できるため、学習の機会を増やすことに繋がる。

#### ● 共同作業としての導入

iPad より大きいサイズのタッチパネルでコンテンツ

を提示し、クラスのみならず問題を考えるときに利用する方法を提案する。特にグラフを描く時は個々での作業になってしまい、授業中に共同作業をする機会は少ない。またグラフ上で事象のイメージを持つことは紙の教材だけだと困難である。従って初めて授業で比例のグラフを扱う時限に本コンテンツでグラフを描くことで、グラフを描きながら事象のイメージを持つことができ、さらに共同作業をすることで楽しみながら理解できると考える。

## 7. おわりに

本研究では、視覚特別支援学校での授業見学やヒアリング調査により、複数の提示されたものを同時に関連づけて把握できないことと日常生活における経験や慣れが少ないことが視覚障害児の数学学習における問題点の原因となっていることがわかった。さらにこれらの原因が、数学を理解するために重要な事象・グラフ・式・表の4つの要素を関連づけてイメージすることの弊害となることがわかった。そのため、事象とグラフを関連づけて理解させることとグラフを直感的にイメージさせることを目的とした学習コンテンツを作成し、コンテンツのデザインや操作性に関して探求を行った。結果として提示する音の種類やグラフを描く誘導方法は有用であることが確認できた。今後はより多くの被験者の意見を聞き学習コンテンツの改良を行い、中学生の視覚障害児に学習コンテンツを触ってもらうことで、学習の面での有用性を分析していきたい。

**謝辞** 筑波大学附属視覚特別支援学校の先生方をはじめとした、授業見学やヒアリング調査、実験を行うにあたりご協力くださった皆様に感謝致します。本研究は平成23年度科学研究費補助金、基盤研究(C)「インタラクティブコンテンツの視覚障害者向け情報補償技術」による援助を受けて実施しました。

## 参考文献

- 1) 山本修一: 動きで探る微分積分の授業法と学生の感動について, 社団法人 私立大学情報教育協会 平成 17 年度全国大学 IT 活用教育方法研究発表会  
[http://www.juce.jp/archives/houhou\\_2005/17\\_b-05.pdf](http://www.juce.jp/archives/houhou_2005/17_b-05.pdf)
- 2) 徳本浩子: 授業時間外のオンライン課題導入実践と英語読解力向上の相関性について, 公益社団法人 私立大学情報教育協会 平成 23 年度 ICT 利用による教育改善研究発表会  
[http://www.juce.jp/archives/houhou\\_2011/b-04.pdf](http://www.juce.jp/archives/houhou_2011/b-04.pdf)
- 3) Nancy Alajarmeh, Enrico Pontelli and Tran Son: From “Reading” Math to “Doing” Math A New Direction in Non-visual Math Accessibility, International Conference on Human-Computer Interaction 2011, Volume Part IV, pp501-510
- 4) Apple - Downloads - Dashboard Widgets - LiveMath Calculus Widget  
[http://www.apple.com/downloads/dashboard/calculate\\_convert/livemath-calculuswidget.html](http://www.apple.com/downloads/dashboard/calculate_convert/livemath-calculuswidget.html)

- 5) math2braille  
<http://sourceforge.net/projects/math2braille>
- 6) ナレーターを開始する方法 HP Pavilion Notebook PC dv7-6100tx Entertainment | HP® サポート  
[http://h10025.www1.hp.com/ewfrf/wc/document?docname=c02694895&cc=jp&dlc=ja&lc=ja&product=5117964&tmp\\_track\\_link=ot\\_search](http://h10025.www1.hp.com/ewfrf/wc/document?docname=c02694895&cc=jp&dlc=ja&lc=ja&product=5117964&tmp_track_link=ot_search)
- 7) Kosuke Kamiya, Kumi Naoe, Takuma Mori and Keiichi Iwamura : Development and Evaluation of a Benchmark Tool for Digital Watermarking , International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), Volume 6, Number 3(B), March 2010