

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25381326

研究課題名(和文) 算数障がいを抱える聴覚障がい児の基礎算術運用力の向上を支援するAHSの構築

研究課題名(英文) Development of an AHS to support hearing impaired children with dyscalculia in improving fundamental arithmetical ability

研究代表者

松永 信介 (MATSUNAGA, Shinsuke)

東京工科大学・メディア学部・准教授

研究者番号：60318871

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、算数障がいを抱える聴覚障がい児を主対象とし、日常文脈における基礎算術の運用力の向上を支援するeラーニング教材の開発と、その教材を搭載する学習者特性適応型システムの構築を行った。教材に関しては、買い物などの日常の場面設定のもと、基礎算術の適用を試みる複数の主教材と、それに付随する語彙補完用の副教材とから成る。一方、システムの方は、認知特性や視線特性などを特性因子に組み込み、それらと既存知識に基づき、対象児に適切な教材を提供する仕様として実装した。評価実験の結果、いくつかの課題が残ったものの、学習効果が有意に認められ、システムが対象児の学習支援に十分に資することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The present study describes an AHS (Adaptive Hypermedia System) together with several e-learning materials to be designed for hearing impaired children with dyscalculia. These e-learning materials deal with fundamental arithmetic operations in daily context such as shopping, with supplemental vocabulary explanation which concerns its context. The AHS functions to deliver appropriate learning materials to each child depending on his/her cognitive and line-of-sight characteristics. The results indicated that though there remain some problems to be solved, the system increased learner's motivation and improved his/her academic ability to some extent.

研究分野：社会科学

キーワード：算数障がい 聴覚障がい 基礎算術 特別支援教育 学習者特性 文章題 学習支援システム AHS

1. 研究開始当初の背景

障がいを抱える児童・生徒に対する教育環境はここ10年ほどで大きく様変わりした。文部科学省は2007年に特別支援教育を学校教育法に位置づけ、旧来の特殊教育の範囲に留まらず、特別な支援を必要とする者に対して個々の違いを認識した上で適切な支援を行うことを規定した。この法改正により、本研究に関係する学習障がい(発達障がい的一种)もその支援の対象となった。そして、2010年頃よりこの特別支援教育は、国連が主導する共生社会実現のためのインクルーシブ教育へとその舵を切った。しかし、障がい者が差別や困難を感じることなく健常者とともに学ぶというこのインクルーシブ教育の思想も、複合的な障がいを抱える者への対応の難しさが大きな課題となっている。

本研究は、学習障がい的一种である算数障がい(dyscalculia)を併せ有する聴覚障がい児への学習支援に関するものである。全国のろう学校小学部を対象に実施されたある調査では、在籍する児童の13.5%がこの算数障がいを抱えている疑いがあり、この割合が他の識字障がいや書字障がいなどに比べて高いと指摘している。このような実態がある中で当研究代表者は、先立つ科研費研究(2010~2012年度)にて、算数困難ろう児を主対象に、基礎算術習得用の複数のeラーニング教材を開発するとともに、児童の認知特性に応じて提示する教材が可変するシステムを構築した。この研究を通じて、算術力そのものの醸成に一定の効果があることを確認した。しかし、文章題となるとなかなかその知識やスキルを活かせない児童が多いのが実情である。そこで本研究では、日常文脈の文章題を題材に、対象児の基礎算術運用力の向上をねらいに据えることとした。

2. 研究の目的

上述のような背景のもと、本研究の目的は次の三つに大別される。

第一は、対象児に対して、買い物などの日常文脈における基礎算術運用力の向上を支援することである。すなわち、単なる数概念のみを整理した数的ネットワーク構築ではなく、お金・価値などの他の概念や単位(円・個・人など)を伴うような連合的な数概念としての意味ネットワーク構築を促す。Rileyは、情報処理心理学の観点から「算数の文章題の難易度は、その問題を解くのに必要な文章の意味構造と未知数の認識の度合いにより決定される」としている。算数障がい児は概して未知数の把握に困難を抱えている。一方、聴覚障がいにまつわる困難は主に意味構造の理解にあるが、これは語彙力

不足が要因の一つである。そこで本研究では、算術運用力のもとより、語彙力や読解力の醸成も副次的なねらいとしたeラーニング教材の開発を行う。

第二は、対象児の学習履歴や種々の特性に応じて次に推奨する教材を可変提示するAHS(Adaptive Hypermedia System)型のプラットフォームの構築である。この特性には、客観・主観・準主観の様々な因子を組み込む。詳細は3(1)①で述べるが、対象児に効果的なアイトラック分析に基づく視線特性も因子として採用する。

第三は、視線誘導の効果的な活用法の模索である。教材はCaseらの提唱した文章題解決のための3段階の発達モデルに基づき、段階ごとに数種類の問題群として構成する。各問題は、基本的には指示文章とイメージ化のためのワークスペースとから成る。児童は必要に応じてこのワークスペースに絵の式を作ったり、直接的に絵のヒントを用いて状況理解につなげる。このように、問題文の横の広がりだけではなく上下にもかなり広がりのあるモニタ画面での学習となるので、どこに着目したらよいのか躊躇している児童には、教師が専用の遠隔操作機器で次に着目すべきところをガイドすることができる仕組みも取り入れる。

3. 研究の方法

図1は、本システムの概観イメージである。学習者管理と教材管理を担うAHS(LMS)と、それを利用する児童や教師・保護者の関わり方を示した学習支援モデルである。

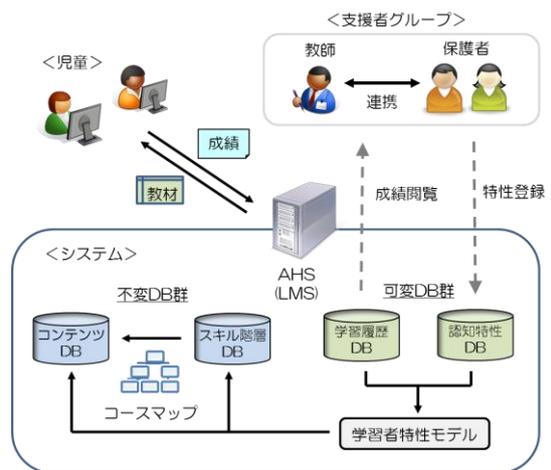


図1 学習支援モデル

以下に、各種データベースの位置づけや相互の関連性、ならびに教材の開発方針について記す。また、本研究において認知特性の一つと位置付けている視線特性の調査についても述べる。

(1) データベースの設計

AHSは4つのデータベース(DB)と連動して機能する。学習者がシステムを利用するたびに変容しうる可変的な「認知特性 DB」「学習履歴 DB」と、次なる配信教材を編成するために用いられる不変的な「スキル階層 DB」「コンテンツ DB」から成る。

① 認知特性 DB

このDBは本研究の学習者特性適応の根幹をなす部分である。組み込む特性因子は多くあるが、それらは客観・主観・準主観という3つの視点で整理される。

まず、既存知識やITスキル、認知的特徴や聴力などに関する客観的性格の特性である。前者はペーパーテストやPC操作テストなどを通じて、後者はWISCなどの知能検査や聴覚検査を通じてそれぞれ測ることができる。次に、児童の趣味や嗜好、障がい特有の癖などの主観的性格の特性である。この癖の中でも本研究で特に重視しているのは、アイトラッカーで測る視線特性である。どのような箇所を注視する傾向があるのか、意図的に読み飛ばす数字や単語はないのかなどを因子として扱う。そして、必要に応じて教師や保護者が児童の学習時点での心理状態などを察し、臨時に登録できる準主観の特性も因子の一要素に組み入れる。例えば、疲れていて集中力がない様子であれば、短時間で済む問題セットにするなどの特性適応を行う。

② 学習履歴 DB

一般のLMS(学習管理システム)に標準で備わっている客観データを格納するDBである。教材へのアクセス日時や学習時間、テストの成績や最新の学習進捗などがその対象となる。①の認知特性DBと相まって、次の③のスキル階層DBや④のコンテンツDBに引き継ぐデータセットとなる。

③ スキル階層 DB

いくつかのスキル階層図のモデルを格納するDBである。学習進捗が順調であれば、下位スキルを順次外して次なる学習課題を提示すればよいのだが、仮にレベルの高い問題が解けているのにそれより易しい問題が解けていない場合には、偶然の可能性もあるのでその易しい問題から再スタートするよう次なるコースマップを設計し直す。

④ コンテンツ DB

学習コンテンツを格納するDBである。③で決定されるコースマップに基づいてこのDBの素材から教材のパッケージが組まれる。なお、その分量やデザインは、①と②で決定されるそのときどきの学習者特性に基づいてAHSが調整する。

(2) 教材の設計・開発

本研究で開発した教材は、算数の文章題を扱う主教材であるマスジョナリーと、それと連動して機能する語彙習得のための副教材ピクショナリーである。

マスジョナリーの方は年度ごとに仕様を改良していったが、ピクショナリーの方は、基本的には初年度開発の仕様のもとに語彙の拡充を進めていった。

① マスジョナリー (2013年度版)

プロトタイプ教材の位置づけであり、例題パートと問題パートから成る。いずれのパートも問題文は分かち書きで一括表示される。

図2は、2013年度版の典型的なページである。なお、右下には“絵の式”と“ことばの式”を表示するヒントのためのボタンがあり、この図はそれらがともに押された後の状態イメージである。学習開始時にはこれらの情報は表示されず、児童が困ったときに自主的に使う機能である。また、それらとは別に、辞書としての語彙ヘルプ機能や解答確認機能が用意されている。語彙ヘルプ機能は、④で解説するピクショナリーへのハイパーリンクでつながるようになっている。

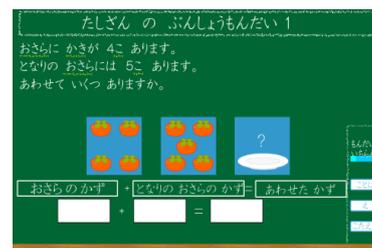


図2 マスジョナリー (2013)

② マスジョナリー (2014年度版)

2014年度版では大幅に仕様を変更した。例題パートは無くし、基本問題と発展問題で構成している。基本問題は従来の問題パートに相当するものであるが、発展問題には計算に必要なないダミーの数字が含まれており、より慎重な読解力が求められる。

図3は、2014年度版の典型的なページである。なお、この2014年度版では、問題文を一字ずつアニメーションで表示したり、教師が着目すべき箇所を遠隔で指示できるようになった。

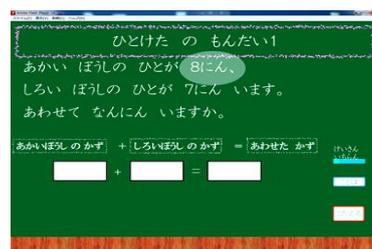


図3 マスジョナリー (2014)

③ マスジョナリー (2015 年度版)

2015 年度版の仕様変更は、問題文の重要な数字や語句に様々な色のハイライトをかぶせたことである。ハイライトする場所や色は可変であるので、問題文の一括表示でも徐々に問題文の解釈ができるようになることをねらいとしている。基本問題と発展問題で構成されていることは変わらない。

図 4 は、2015 年度版の典型的なページである。なお、四則演算ごとに視線誘導の強・中・弱が設けられている。

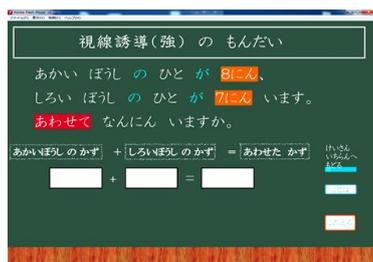


図 4 マスジョナリー (2015)

④ ピクジョナリー

この語彙補完副教材は、マスジョナリーの補助機能という位置づけであり、イラストと解説文によって文中の単語や表現の意味を理解してもらうことに主眼がある。

図 5 が、その活用イメージである。あらかじめ登録された単語をクリック/タップすると、別ウィンドウに絵付き解説が現れる。算数の文章題に頻出する名詞・動詞・形容詞に対応しており、辞書的な機能も備えている。



図 5 ピクジョナリー

(3) アイトラッキング

学習の場において、学習者の視線の動きはその人の学習姿勢や学習方略を如実に表す。本研究では、2014 年度の事前調査ならびに 2014 年度と 2015 年度の本検証にて、東京都立大塚ろう学校に在籍していた児童数十名に、学校・保護者の許可のもとアイトラッカーによる視線分析を実施した。この際に使用した機材は、アイトラッカーが Tobii X2-30、モニタが Sony VAIO SVJ2021AJ である。

図 6 は、アイトラッキング時の教材画面の様子である。図中の赤い円は注視時間に比例

する形で大きさが変わる。すなわち、大きい円は長い時間その場所を注視していたことを意味する。また、少しわかりづらいが、円の間を結ぶ赤い線は視線の推移を表している。

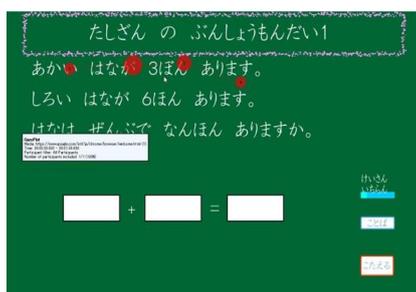


図 6 アイトラッキング

こうした注視位置や注視時間、あるいは視線推移時間などの情報は、表 1 のような形で視線 RAW データとして残される。

表 1 視線 RAW データ

LocalTimeStamp	GazeEventType	GazeEventDuration	GazePointIndex	X座標	Y座標
11:25:32.990	Fixation	901	49	100	35
11:25:33.022	Fixation	901	50	103	25
11:25:33.053	Saccade	31	51	51	64
11:25:33.084	Fixation	126	52	38	71
11:25:33.116	Fixation	126	53	37	93
11:25:33.147	Fixation	126	54	52	88
11:25:33.179	Fixation	126	55	68	107
11:25:33.210	Saccade	63	56	57	70
11:25:33.241	Saccade	63	57	68	114
11:25:33.273	Fixation	95	58	64	141
11:25:33.304	Fixation	95	59	71	152

表 2 は、2014 年度に事前調査として実施した際の RAW データを整理したものである(一部)。なお、このときは視線誘導なしの問題を使っている。

表の各項目の見方であるが、Rec_ID は記録番号であり、児童の 1 回の問題への挑戦ごとに番号が振られている。基本的に児童は 2 問を解いているので、(1)は 1 問目を(2)は 2 問目を意味している。なお、問題の解答に至らなかったり、問題を放棄してしまった児童の記録は、調査の趣旨にそぐわないので、それらのデータは除外した。次の Q_ID は、問題のタイプと番号を表している。最初の k6 は、掛け算の第 6 問という意味である。問題には難易度に差があるので、教師が児童ごとに実力に見合うものを選定した。その隣の X は水平方向の視線の動きの平均値であり、Y は垂直方向の視線の動きの平均値である。ただし、問題文以外のことばの式やピクジョナリーを参照しているときの視線移動の時間は除いている。したがって、X/Y は純粋に問題文における水平方向の移動と垂直方向の比となる。文章は右から左に読むもので

あるので、数行に渡る問題でも通常であればこの比は大きくなる。次の Gaze は、全注視時間に対する重要語句や数字の注視時間の割合 (%) である。その次の R は、文章題の横の長さとの縦の長さの比である。最後の T・F は、正解 (○) と不正解 (×) を意味している。

表 2 視線ログ

Rec ID	Q ID	X	Y	X/Y	Gaze	R	T・F
Rec02(1)	k6	8,011	6,819	1.2	36.9	7:2	×
Rec02(2)	w6	15,104	6,977	2.2	29.2	16:5	○
Rec04(1)	k6	7,304	4,171	1.8	46.2	7:2	○
Rec04(2)	w3	6,451	3,647	1.8	40.1	14:5	×
Rec05(1)	t3	13,803	8,000	1.7	30.5	16:5	○
Rec05(2)	h6	16,303	9,370	1.7	35.7	4:1	○
Rec06	t3	3,780	1,795	2.1	16.7	16:5	×
Rec07(1)	t3	12,294	11,204	1.1	10.5	16:5	○
Rec07(2)	h6	21,309	20,220	1.1	12.7	4:1	×
Rec08(1)	t3	67,303	57,736	1.2	12.4	16:5	○
Rec08(2)	h6	139,214	51,719	2.7	11.8	4:1	○

⋮

16 人の児童に対して実施し、全部で 25 個の有効な記録が得られた。X/Y の全体平均は 1.5 であり、問題に正解の記録のみの平均は 1.9、問題に不正解のみの平均は 1.3 であった。したがって、X/Y と T・F には一定の相関があることが窺える。一方、Gaze の平均は 22.7 であり、こちらはこの平均を境に、平均より高い方が正答率も高く、低い方が正答率も低いという予想通りの結果となった。なお、R と T・F との間には、特に相関は認められなかった。

4. 研究成果

研究の成果は、まず年度ごとに記し、最後に総括を行う。

(1) 2013 年度の成果

① 学習者特性因子の選定

認知特性 DB や学習履歴 DB に入れる因子について初期選定を行った。認知特性の方は、大塚ろう学校の協力を得て定めたものである。聴力 (軽度・中程度・重度・最重度)、WISC-III 検査の 4 つの群指数、そして視線特性とした。これに準主観の因子が加わる。一方、学習履歴の方は、直前の学習での成績と学習時間とした。これらの特性因子は年度ごとに必要に応じて追加・削除あるいは水準等の見直しを行うこととした。

② 教材の設計・開発

数社の教科書や参考書から 306 問の文章題を調査し、基本の定型文ならびに頻出語彙や表現について分析した。この結果をもとに、3(2)①④で言及したマスシヨナリーとピクシヨナリーを開発した。

③ 評価実験

2013 年 12 月に、大塚ろう学校 1~2 年生 27 名を対象に最終の評価実験を行った。なお、

AHS の実装前であったので教材のみの利用となった。低学年ということで操作に慣れるのに多少時間が掛かったが、わからない場合には、絵の式やピクシヨナリーを自ら用い、積極的に問題に取り組んでいた。事前・事後テストでの成績比較により平均点は全体に上がり、学習効果が認められた。特に読解力の低い児童の点数の上昇が顕著で、ピクシヨナリーなどが自主学習の一助となったものとする。先生方の評価も、非常に集中して取り組んでいたというものであった。一方で、課題として、ヒントが常時安易に使用できるのはあまりよくないという指摘も受けた。

(2) 2014 年度の成果

① アイトラッカーの実装

視線特性因子を活用するため、アイトラッカーを本実装し、3(3)で述べたように事前調査を実施した。視線推移や注視位置・時間は、児童によってかなりバラツキがあるが、X/Y と Gaze を因子として用いることとし、ともに平均を基本に段階的な 3 水準で設定することとした。

② 教材の改良

3(2)②で言及したような仕様として、マスシヨナリーを再設計した。主な改良点は二つあり、一つは発展問題を新規に設け、問題を解くのに必要のないダミー数字を入れたことである。もう一つは、2013 年度の課題として指摘されていた過剰なヒントを控えめにし、同じ画面上に出る絵の式は廃止した。ヒントはヘルプという形で、別ウィンドウで絵+文章の形で提示するように変更した。

③ 評価実験

2014 年 11 月に、大塚ろう学校 3~4 年生 16 名を対象に最終の評価実験を行った。実験の進め方は 2013 年度と同様であるが、2014 年度は、教材利用時には図 7 にあるように、必要に応じて教師が遠隔で着目すべき箇所を指示する形で進めた。この際に児童が見る画面は図 3 のようになる。ピクシヨナリーに過度に頼ることなく、できるだけ自分で考える姿勢が窺われ、事前・事後テストの結果比較からも遠隔での視線誘導の効果の有用性が認められた。先生方から指摘された課題としては、個々の教師の ICT スキルの差により、遠隔操作の指導にも差が出て不公平になるということが挙げられる。



図 7 遠隔での視線誘導

(3) 2015年度の成果

① AHSの運用

2014年度から仮運用していたAHSは、DBの構造を改良して運用した。具体的には、因子の中でほとんど差の出ないものを削除し、フォントや色などの視覚効果のある因子の比重を増やした。また、スキル階層DBとコンテンツDBとの連携も変更した。さらに、認知特性に関してはループリックを作成し、数値化しづらい因子の水準を再考した。

② 教材の改良

3(2)③で言及したような仕様として、マシヨナリーを再設計した。改良の一番の理由は、2014年度に指摘された遠隔操作による視線誘導である。児童にとっては有益だが、それを運用する教師には負担になる場合もあるため、教材内で対象児に合わせた文字フォントや色分けができるよう変更を施した。

③ 評価実験

2015年12月に、大塚ろう学校3～5年生30名を対象に最終の評価実験を行った。実験の進め方は過去2年と同様である。視線推移率の平均は2014年のデータと比べると少し下がっていたが、これは前年度は教師による視線誘導があったからであると思われる。一方、文章内の重要語句や数字の注視率は前年度より高くなっていた。こうしたデータがある中、事前・事後テストの比較では、この最終年度も平均としては学習効果を高めることができた。なお、事前・事後とで点数が上昇した児童とそうでない児童でt検定を行ったところ、視線推移率と文章内注視率ともに5%水準で有意差が認められた。

(4) 研究の総括

本研究では、算数障がいを抱える聴覚障がい児を主対象として、基礎算術運用力の向上を支援するeラーニング教材の開発とAHSの構築を行った。上記(1)-(3)にあるように、3年に渡り形成的評価を進め、AHSを機能させるための学習者特性はある程度適切に設定されていたものと考えられる。特に、2年目から導入した視線分析データ(視線推移や注視率)は、本研究を大きく推し進めた。視覚情報が極めて重要な拠り所となる聴覚障がい児ゆえの学習方略や癖が定量的に測れ、適応精度を高めた。その一方で、他の認知特性として採用した因子がどこまで学習者特性に寄与したかは必ずしも見えていない。定量データに関しては主成分分析などが有用な手段と思われるが、内面心理は不安定で非常に測りづらいので、この辺りに課題の余地が残った。障がい児支援の基本は対面であるが、それでも本研究で開発した教材やシステムがそれを補完しうることを確認できたのは意義深いといえる。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計11件)

- ① 渡邊優弥, 飯島光洋, 松永信介: 算数困難を抱える聴覚障がい児への視線誘導を用いた算術学習支援コンテンツの開発, 情報処理学会, 2016年3月10日, 慶応義塾大学(神奈川県・横浜市)
- ② 宮川貴匡, 松永信介: 複数のモーショントラッキングセンサを活用した指文字学習支援システムの構築, 情報処理学会, 2016年3月10日, 慶応義塾大学(神奈川県・横浜市)
- ③ 松永信介: ICT活用による算数困難を抱える聴覚障がい児への教育支援～算数文章問題における視線誘導の試み～, 日本特殊教育学会, 2015年9月19日, 東北大学(宮城県・仙台市)
- ④ 石沢慶介, 田澤裕太, 松永信介: ICT活用による算数困難を抱える聴覚障がい児への教育支援の研究～視線誘導における効果の検証～, 情報処理学会, 2015年3月17日, 京都大学(京都府・京都市)
- ⑤ 田澤裕太, 石沢慶介, 松永信介: ICT活用による算数困難を抱える聴覚障がい児への教育支援の研究～アイトラッキングによる学習方略の分析～, 情報処理学会, 2015年3月17日, 京都大学(京都府・京都市)
- ⑥ 松永信介, 中島秀, 上野大樹, 後藤裕子: 聴覚障がいを有する算数困難児向け算数教材の研究～文章問題習得支援教材の開発～, 情報処理学会, 2014年3月12日, 東京電機大学(東京都・足立区)
- ⑦ 松永信介, 後藤裕子, 上野大樹, 中島秀: 聴覚障がいを有する算数困難児向け算数教材の研究～語彙補完システムの構築～, 情報処理学会, 2014年3月12日, 東京電機大学(東京都・足立区)

[図書](計1件)

- ① 稲葉竹俊, 松永信介, 飯沼瑞穂: メディア学体系6 教育メディア, コロナ社, pp.57-94 (2016)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松永 信介 (MATSUNAGA, Shinsuke)
東京工科大学・メディア学部・准教授
研究者番号: 60318871

(2) 研究分担者

稲葉 竹俊 (INABA, Taketoshi)
東京工科大学・教養学環・教授
研究者番号: 10386766

(3) 連携研究者

濱田 豊彦 (HAMADA, Toyohiko)
東京学芸大学・教育学部・教授
研究者番号: 80313279