

令和 2 年 7 月 15 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K04848

研究課題名(和文) KABC-Ⅱを特性因子に加味した算数困難ろう児への算術学習支援AHSの構築

研究課題名(英文) Development of an AHS with KABC-II factors to support hearing impaired children with dyscalculia in learning arithmetical abilities

研究代表者

松永 信介 (MATSUNAGA, Shinsuke)

東京工科大学・メディア学部・教授

研究者番号：60318871

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、算数困難ろう児を主対象とし、認知検査の一つであるKABC-Ⅱを加味した日常文脈での実用的算術力を醸成することを支援する学習者特性適応型システムの構築を行った。具体的には、KABC-Ⅱに関して、認知・習得の両尺度において必要な検査項目を抽出し、その一部を認知特性の要素として組み入れた。また、認知特性と併用する視線特性に関して、注視点と視野範囲の分析・可視化を行い、その結果をAHS (Adaptive Hypermedia System) に反映させた。評価実験の結果、いくつかの課題が残ったものの、対象児に一定の学習効果が認められ、システムが学習支援に有効であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日常文脈における算術活用には、言語処理と非言語処理の双方が必要である。ろう児はその障がいの特性上、言語処理に困難を伴うため、計算障がいなどの非言語処理にも困難を抱える場合、日常生活に支障をきたす。本研究では、そのような児童の基礎算術力を強化するため、算数文章問題を題材に、認知特性と視線特性を組み合わせた学習支援環境を構築した。潜在的に多いと言われている複合障がい児に対する学習支援はまだ発展途上である。その意味において、本研究の取り組みには一定の社会的意義があるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The present study describes an AHS (Adaptive Hypermedia System) with several KABC-II-based characteristic factors designed for hearing impaired children with dyscalculia. The e-learning materials loaded onto the system deal with practical arithmetic operations in daily context together with supplemental vocabulary explanations. In the system, the KABC-II assessments concern individual administered measure of cognitive abilities and processing, while an eye-tracker is used to measure how one takes in essential information from the monitor in view of points and range of interest. 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：KABC-Ⅱ 特別支援教育 算数障がい 聴覚障がい 算術習得 学習者特性 AHS 視線分析

### 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ということを規定した。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、複合的な障がいを抱える者への対応の難しさが依然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、在籍する児童の約13.5%が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。このような背景のもと、当研究代表者は2010~2012年度の科研費助成事業にて、算数困難ろう児を主対象とする基礎算術習得用の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、文章題にその計算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、その後の2013~2015年度の科研費助成事業では、文章題の躓き箇所をアイトラッカーで検知し、それを対象児の視線特性因子としてシステムに取り入れた。この新たな仕組みにより、認知特性のみでは検出できない苦手要因や癖を定量的に測ることができ、児童の学習支援の適応度を高めることとなった。本研究では、これらの研究成果を受け、視線特性分析の精度を上げるとともに、認知特性にKABC-II検査の一部を加味することとした。

### 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、日常文脈における実践的算術運用力の向上を支援することである。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、算術運用力の向上とともに、語彙力や読解力の醸成を副次的なねらいとする学習教材の開発を行う。

第二は、対象児の視線特性の類型化とそのAHS (Adaptive Hypermedia System) への組み込みである。特性因子パラメータとして、視線推移比率と文章内注視率という2つの数値指標を設ける。前者は、視線の軌跡に基づく水平方向と鉛直方向の割合に関する指標であり、文章題の解釈と解導出において無駄な視線の動きをしていないかを見るために用いる。一方、後者は、文章題中の本質的に重要な語句や数字にどのくらい注目できているかを示す指標であり、問題を解くのに不要な部分にとらわれていないかなどを見るために用いる。

第三は、対象児の認知特性の類型化とそのAHSへの組み込みである。先行研究では、研究協力先のWISC-VI検査などに基づく認知特性因子を考えたが、本研究では、KABC-II検査における認知尺度や習得尺度の分類体系を参考にした認知処理指標も一部取り入れ、その有用性・妥当性の評価を行う。

### 3. 研究の方法

図1は、本研究におけるシステムの概観である。4つのデータベースのもとに学習者管理と教材管理を担うAHS (LMS: 学習管理システム) があり、このシステムを通じて対象児 (教師・保護者) は必要なサービスを受ける。

以下では、まず、このシステムの基本設計について (1) データベースの構成、(2) 教材の設計・開発、(3) 視線特性分析 (アイトラッキング) の3つに分けて記す。次に、その設計指針に基づく具体的な (4) 研究の進め方について述べる。

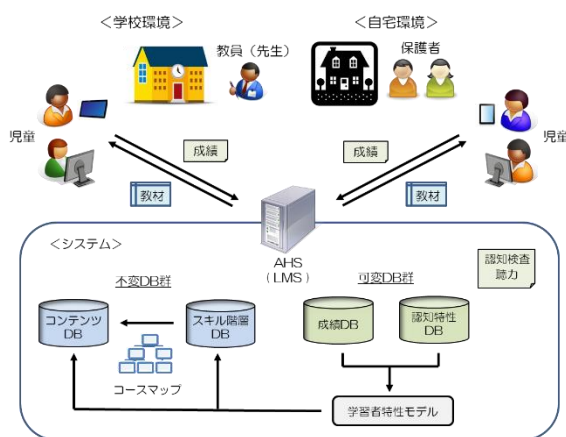


図1 システムの概観

## (1) データベースの構成

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(コンテンツ)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には種々の特性因子が格納される。認知検査に基づくものが中心であるが、聴力や既有知識、さらにアイトラッカーで測る視線特性に関わる因子などがここに組み込まれる。なお、先行研究で採り入れた主観や準主観の因子は、児童の学習に大きく影響しなかったため、本研究では考慮しないこととした。

### 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学習履歴や学習ログを格納するDBである。教材へのアクセス日時や学習時間、テストの結果や学習の進捗などがその対象となる。

①の認知特性DBと連動して、その時々学習者特性モデルを形成し、それが次の③のスキル階層DBや④のコンテンツDBから参照される。

### ③ スキル階層DB

このDBには学習要素間の関係を示すスキル階層図のモデルを納める。様々な知識レベルやスキルに対応する複数の階層図であり、これをもとに下位スキルから上位スキルに導くようなコースマップを形成し、④のコンテンツDBに引き渡される。

### ④ コンテンツDB

学習コンテンツ(教材)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き、このDB内の素材から対象児に次なる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で定まるそのときどきの学習者特性をもとにAHSが調整する。

## (2) 教材の設計・開発

算数の文章題に臨むには、「問題の解釈→立式→解の算出」という3つの手続きを経なければならない。その入口である「問題の解釈」には語彙力や読解力などの言語処理スキルが必要であり、その先の「立式」から「解の算出」の出口までは論理的思考力や計算力という非言語処理スキルが必要となる。そこで、本研究で開発する教材は、算数の文章題の本体である主教材と、その主教材の問題解釈を支援する辞書的な副教材で構成する。なお、主教材は年度ごとに新たな設計指針を立てるが、副教材の方は年度に関係なく、同じ仕様のもとに語彙の拡充を進めることとする。

### ① 主教材(2016年度)

先行研究で開発した教材は、いずれも使用する四則演算があらかじめ式中に明示されていた。しかし、日本文脈で処理する算術計算は、どの演算を使うかも含めて自身で考える必要がある。そこで、式の形は提示されるものの、演算子(+−×÷)も含めて解答しなければならない発展問題を用意する方針とした。なお、視線誘導に関しては強・中・弱の3段階とし、重要語句の色分けやポイント数の変化で差をつける。

### ② 主教材(2017年度)

適応度を高めるため、既存教材の視線誘導の強弱の種類とデザインの幅を広げることに主眼を置くこととする。重要語句や数字の彩色表現などを多様化するとともに、助詞や単位の強調機能を実装する。また、文章のアニメーション表示を、従来の文字単位のみではなく品詞単位や句単位でもできるようにする。

### ③ 主教材(2018~2019年度)

問題の解釈ができ、立式まで至ってもその先の計算で躓く児童が少なからずいる。そのため、各四則演算の筆算手続きを学ぶ補助教材を設ける。繰り上がりや繰り下がり有無などで難易度に違いのあるものを演算別に複数用意することとする。なお、この補助教材利用の際も、アイトラッカーを用いて誤答に至る対象児の癖などを分析する。

### ④ 副教材

主教材と連動する語彙補完教材であり、文章題中のわからない単語や語句を選ぶと、別枠にイラスト付きの解説が表示される。算数の文章題に頻出する名詞や動詞・形容詞に対応しており、辞書的機能を備える仕様とする。

### (3) 視線特性分析（アイトラッキング）

本研究では、対象児の算数文章題に取り組む際の視線の動きの特徴を、学習者適応の特性因子の一つと位置付けている。この視線の調査は、アイトラッカーとよばれる機器とそれに付随する分析ツールで行われる。本研究で用いた機器は Tobii X2-30 と Tobii Pro nano である。

視線の動向は、Tobii においては Gaze plots や Heat map で可視化される。前者は視線の軌跡を時系列で追えるので、児童の継次処理の分析に向いている。一方、後者は事後的に注視箇所を俯瞰するので、児童の同時処理の分析に向いている。本研究では、児童の処理手続きに主眼があるため、Gaze plots による分析を中心に進める方針とした。

この Gaze plots における注視位置や注視時間、視線推移時間などの詳細なログは、図 2 のような視線 RAW データとして残される。そこで、これらのデータをもとに、次のような 2 つの数値指標を設定し、視線特性因子とした。

- ・ 視線推移比率 =  $\frac{\text{水平方向の視線の総移動距離}}{\text{鉛直方向の視線の総移動距離}}$
- ・ 文章内注視率 =  $\frac{\text{重要語句} \cdot \text{数値の注視時間}}{\text{全注視時間}}$

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

図 2 視線 RAW データ

視線推移比率に関しては、本研究で用いる教材の画面比率である 1.5 を基準値としている。したがって、この比率が 1.5 より小さければ、文章の読み飛ばしや無駄な上下の視線移動が起きている可能性が高く、逆に 1.5 より大きければ、文章を順当に読んでいる、あるいは読み直しているということが推察される。一方の文章内注視率に関しては、基準値はとくになく、その値が 1 に近ければ近いほど、問題の理解が進んでいることを窺わせる。

### (4) 研究の進め方

最終年度を除き、年度ごとに“事前調査→データベース更新→教材開発→実施・評価”の流れで進めた。事前調査は、研究協力先のろう学校で実施した。各児童に対して、聴力やその時点での文章題の理解度、さらに視線特性を含む認知特性を確認することが主たる目的である。この中で視線特性については、複数のプロトタイプ教材の問題に取り組んでもらい、(3)で述べた視線特性推移率と文章内注視率それぞれに関して平均を算出した。また、KABC-II については、全検査の実施が困難ということで、理解度テストの際の学習方略などから一部の低位検査を 2~3 段階で評価して代用する方針とした。データベースの更新や教材の開発に関しては、上記(1)-(2)の指針に基づく。

## 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) 2016 年度の成果

認知特性 DB と学習履歴 DB に組み込む因子に関しては、その初期選定と水準の暫定確定を行った。聴力因子は、先行研究と同様に、4 水準（軽度・中程度・重度・最重度）とした。視線特性については、視線推移比率と文章内注視率という 2 つの指標を定義し、その組み合わせから特性の類型化を行った。各指標に対応する因子をそれぞれ 3 水準としたので、視線特性全体としては 9 個の類型となる。また、文章題の理解度を 5 水準に設定した。なお、認知処理特性のための KABC-II については、一部の低位検査を暫定因子と位置づけるに留まった。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。

次に、教材に関してであるが、事前調査の結果を受け、また研究協力先の教師の助言のもと、3(2)①④の設計指針を定めて主教材と副教材を開発した。主教材の演算子を含めて解答する問題形式は、従来の教材にはないものである。

2016 年 12 月には、この教材を用いて研究協力先のろう学校 4~5 年生 22 名を対象に評価実験を行った。各児童には、特性因子をもとに用意された視線誘導付きの教材を利用してもらい、その後理解度テストを受けてもらった。その結果、視線誘導弱の教材を利用した児童の学習効果は顕著に見られたものの、視線誘導が中・強の教材については有意と言えるまでの効果は確認できなかった。

## (2) 2017年度の成果

まず、スキル階層 DB の仕様の見直しを行った。従来の仕様ではスキル間の関係性の有無のみを表していたが、それを結び付きの度合いに応じて 0~1 で表現することにした。これにより、同じ学習課題であっても、学習者特性に応じて異なるコースマップを生成することが可能となり、適応度が向上した。

また、視線誘導の自由度を高めるために、既存教材の改良を行った。主な改良点は、3(2)②の指針に記したように二つあり、一つは重要語句や数字の彩色・文字ポイント数の幅を広げたことであり、もう一つは文章のアニメーション表示を品詞単位や句単位でも設定できるようにしたことである。さらに、問題を解く際に必要のないダミー数字もいくつかの問題で増やした。

2017年12月には、この教材を用いて研究協力先のろう学校 4~5年生 20名を対象に評価実験を行った。実験の進め方は2016年度と同様である。どの児童も正答率が上がり、個別の視線誘導が適応したことを確認した。なお、正答率の上がった児童の視線推移比率は基準値の1.5に近かった。また、文章内注視率と正答率との相関係数は0.74となり、比較的強い相関が認められた。

## (3) 2018年度の成果

認知特性因子の指標として用いる KABC-II の下位検査項目の精査を行った。その結果、継続尺度の“数唱”(指文字カウントで代用)、同時尺度の“近道探し”、語彙尺度の“理解語彙”、算数尺度の“数的推論”と“計算”を参考指標として採用することとした。

教材に関しては、3(2)③にあるように、各四則演算に対して筆算用の新たな教材を開発した。文章題には2桁の計算を伴うものがあるため、これらを補助教材の位置づけでコンテンツ DB に組み込んだ。また併せて、スキル階層 DB に各筆算を下位スキルとして追加した。

2018年12月には、この補助教材を含める形で研究協力先のろう学校 4~5年生 23名を対象に評価実験を行った。実験の進め方は前年度までと同様である。理解度テストの正答率は2名を除いて上昇した。そして、この2名以外の児童の視線推移比率は、事前の1.39に対して事後は1.49とほぼ基準値にまで近づいた。一方の文章内注視率は、その正答率との相関係数は事前の0.42に対して事後は0.49と改善された。文章内注視率の評価は難しいが、視線推移比率が上昇し、正答率が上がっているため、筆算を補助教材に据えた視線誘導はある程度機能していたと言える。

## (4) 2019年度の成果

当初設定されていた研究年度ではなかったが、前年度の筆算教材の一部に不備があったため、ユーザインタフェースとともにその修正を行った。数名ではあるが、対象児に利用してもらい、その改善効果を確認した。また、本教材である文章題については、中途の状態であったモバイル化を済ませた。

## (5) 研究の総括

本研究では、算数困難ろう児を主対象として、日常文脈での実用的な算術運用力の向上を支援する教材の開発、ならびに学習者特性に基づいて教材を提供する AHS の構築を行った。以下では、冒頭で述べた研究当初の目的に沿って成果と課題について記す。

まず、第一の目的として掲げた教材の開発についてであるが、多様な視線誘導の仕掛けを設けた文章題を用意することができた。また、重要語句や数字の強調は効果的であり、中でも彩色による注視点の誘導が児童の関心を惹き、問題の解釈に有用であることが確認された。一方、語彙補完の副教材については、品詞(名詞・動詞・形容詞)を問わず頻繁に利用され、読解支援の一助になることが示唆された。ただ、ろう児が苦手とする助詞についての扱いがなかったため、今後はその拡充を図っていく。

次に、第二の目的である視線特性の類型化であるが、上記(1)にあるように9種に分類した。本研究を通じての被験者は累計で約65名と少なかったため、実際に該当したのはそのうちの5種のみであった。しかし、視覚情報が極めて重要な拠り所となるろう児の学習支援に視線特性は大きな意味をもつ。なお、分類作用の重みとしては、視線推移比率の方が文章内注視率よりやや高かったため、今後は視線推移比率を4段階(4水準)として実践展開を試みる。

最後に、第三の目的である認知特性の類型化であるが、上記(3)にあるように KABC-II の中の継続尺度の“数唱”、同時尺度の“近道探し”、語彙尺度の“理解語彙”、算数尺度の“数的推論”と“計算”に関する下位検査を参考指標にすることとした。数が多いので各指標は2段階で評価するものとした。聴力や視線特性などの他の因子も交えての結果であるが、2018年度の被験者にはこの指標は適度に機能していたものと考えられる。今後は、これらの指標が個々別々にどこまで適応性に寄与したのかの検証を行う。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松永 信介, 安藤 公彦, 稲葉 竹俊	4. 巻 4
2. 論文標題 Moodle環境を活用した反転授業用CSCLシステムの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 FIT2018 (第17回情報科学技術フォーラム) 講演論文集	6. 最初と最後の頁 281-284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松永 信介	4. 巻 4
2. 論文標題 モーションセンサの併用による指文字習得支援システムの開発	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 FIT2016 (第15回情報科学技術フォーラム) 講演論文集	6. 最初と最後の頁 339-342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松永 信介, 野秋 誠	4. 巻 7
2. 論文標題 ICT活用による聴覚障がい児童向け早期教育支援 ~読み書きスキル向上を目的としたモバイル教材の開発~	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 教育システム情報学会研究報告	6. 最初と最後の頁 71-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 飯島 美帆, 山本 洋平, 松永 信介	4. 巻 7
2. 論文標題 異文化理解とその適応感性を育む統合就職支援研修プログラムKIBIの開発と実践	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 教育システム情報学会研究報告	6. 最初と最後の頁 85-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松永 信介
2. 発表標題 ICTを活用した算数困難ろう児向け算術文章題学習支援システム ～ 視線特性分析に基づく指導デザイン ～
3. 学会等名 日本特殊教育学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内藤 裕也, 松永 信介
2. 発表標題 Minecraftを用いた立体認識醸成のためのe-learning教材の開発
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上 智史, 安藤 公彦, 松永 信介
2. 発表標題 色彩教育のための色彩調和における数値情報の分析
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松永 信介
2. 発表標題 視線特性分析を通じた算数困難ろう児への学習支援 ～ 文章問題における段階的ヒント指南 ～
3. 学会等名 日本特殊教育学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松村 佳紀, 安藤 公彦, 村上 康二郎, 稲葉 竹俊, 松永 信介
2. 発表標題 法学に授業における反転学習とコンピュータ支援協調学習の事例研究
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松永 信介
2. 発表標題 算数困難を抱える聴覚障がい児の視線特性の分析と学習支援 ～ 算数文章問題克服のためのアイトラッキングの活用 ～
3. 学会等名 日本特殊教育学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金丸 舞, 松永 信介
2. 発表標題 初等中等教育におけるICT機器の導入と実態調査 ～ 3大都市の比較を通じて ～
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 芝間 太一郎, 松永 信介
2. 発表標題 視線分析特性を通じた算数困難を有する聴覚障がい児への算数学習支援の研究
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 井上 智史, 安藤 公彦, 松永 信介
2. 発表標題 L*a*b*カラーの値を活用した色の三属性に関するeラーニングコンテンツの開発
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	稲葉 竹俊  (INABA Taketoshi)  (10386766)	東京工科大学・教養学環・教授   (32692)	
連携 研究者	濱田 豊彦  (HAMADA Toyohiko)  (80313279)	東京学芸大学・教養学部・教授   (12604)	