

珠算学習支援のための 盤面認識に基づくリアルタイム情報提示手法

松田 裕貴¹ 松田 裕貴¹

概要: 算盤を用いた数値計算は、珠による数値表現の理解、複数の方法・順序での珠操作が求められ、習得には長期に渡る繰り返し学習を要する。一般的な珠算指導は回答の正誤判定に加え、学習者の観察に基づきミスや苦手な珠操作を発見・指導する方法があるが、人手に頼るものとなっており多大な労力が必要となっている。そこで本研究では、市販の算盤を用いる珠算学習を対象とした学習支援システムの実現に向け、書画カメラを用いたリアルタイムな算盤の盤面認識に基づいて指導内容を卓上ディスプレイに提示する手法の確立を目指している。本稿では、珠算学習支援の情報提示を実現するための要件および制約条件を整理するとともに、システム設計を行った結果について報告する。

A Real-time Information Provisioning Method Based on Board Condition Recognition Toward Abacus Learning Support

YUKI MATSUDA¹ HIROKI MATSUDA¹

1. はじめに

算盤（そろばん）を利用した数値計算、すなわち「珠算」は、現代でも計算能力を身につける手段として活用されている一つの手法である。算盤は、串に刺された5つの珠を動かし、その位置関係で数を表示することで、四則演算を含む多種多様な計算を補助することができる。物質的な「珠」の動きと、視覚的な算盤上の数値の表現が融合することで、通常の計算方法とは異なるアプローチでの計算を実現する。現代においては算盤を直接使う機会は減少しているものの、珠算学習を通じて得られる能力や効果は長らく注目を集めつつけている [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]。しかしながら、算盤を用いた計算では「珠」を用いた数値表現を理解した上で複数の方法・順序により「珠」を操作しなければならず、その習得には長期に渡る繰り返し学習を要することが知られている。

従来の珠算教室における珠算指導では、問題への回答の正誤に基づいて指導する形式が基本となっている。学習者の状況に応じ、講師による実演や、学習者が計算をする際

に操作ミスや苦手な珠操作を指摘するなどの方法が取られることもあるが、人手に頼るものであり多大な労力が必要となる。また、学習者がつまづくポイントには規則性・パターンがあると考えられるが、現在は講師の中に暗黙知として蓄積されていることから、他者が再利用することができない。近年では海外諸国においても珠算学習の需要が高まっているものの、講師が不足しているのが現状である。

ICTを活用する算盤学習支援システムとしては、カメラを用いた盤面推定手法および珠上への映像の重畳表示（プロジェクションマッピング）による情報提示手法からなるシステムが北川らによって提案されている [8]。珠を動かすべき方向などを表示することができるため、操作方法を直感的に学習者へ伝えることが可能であることが利点であるが、日常的な学習支援においてはシステム利用の簡易さも重要であると考えられる。また、学習者が苦手と感じている問題の傾向を機械学習で推定した上で、苦手な問題を自動生成することによって学習の効率化を図る手法が提案されている [9], [10] が、現状は苦手問題の傾向抽出には学習者によるラベル付けが必要となっている。

以上の背景から本研究では、市販の算盤を用いる珠算学習を対象とした学習支援システムを簡易な方法で実現する

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology



図 1 書画カメラ・卓上ディスプレイから構成される珠算学習支援システムの外観

ことを目的としている。著者らはこれまでに、市販の算盤に AR マーカを枠に貼り付け、書画カメラによって撮影した俯瞰映像を分析することで、簡易に算盤の盤面を認識する手法を提案している [11]。本稿ではこの手法を拡張し、図 1 に示すような簡易な構成のシステムを用いて、盤面認識の結果に基づき珠算学習支援に必要な情報をリアルタイムに卓上ディスプレイ上へと提示する手法を提案する。

2. 前提知識・関連研究

2.1 算盤に関する前提知識

算盤は、串で刺した珠を移動させその位置で数を表現することで、四則演算を含む様々な計算を補助することが可能なツールである。ここでは、算盤の基本的な知識について概説する。

まず、算盤での数表現について述べる。図 2 は算盤の部位を示している。「桁」は 10 進数の「1 桁」に対応し、5 つの珠の配置によって「0~9」の数を表現することができる。それぞれの「桁」は、「梁」を挟み上段・下段に分かれ、上段の 1 つの珠（「五珠」）は 10 進数の「5」、下段の 4 つの珠（「一珠」）は 1 つにつき 10 進数の「1」をそれぞれ表現するために用いられる。算盤は上段・下段ともに珠の高さの半分の空間があいており、珠を上下に動かすことによって各珠の状態を表現する。上段では、珠が上がっている状態が OFF (0)、下がっている状態が ON (5) を示し、逆に下段では、珠が上がっている状態が ON (1)、下がっている状態が OFF (0) を示す。同一桁の珠の総和 (ON の状態となっている珠の表す数値の合計) がその桁の示す数となる。図 2 の「定位点」は、3 桁ごとに梁に示されており、一の位を決める目印として用いられる。また、一の位として決めた定位点より右側の桁については、小数を表現するために使用される。

算盤を用いた計算は、5 の補数と 10 の補数の組み合わせ

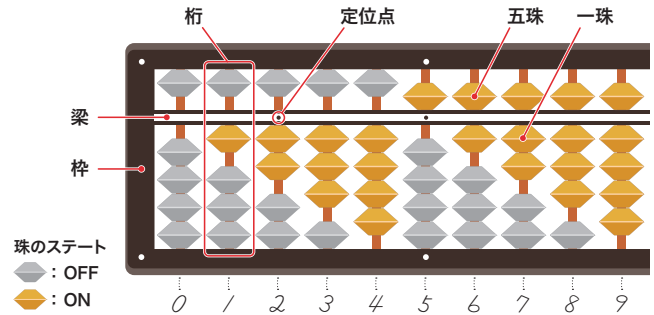


図 2 算盤の部位と数値表現

を多用することが特徴である。具体的には、次の 3 つの操作が存在する。

- (1) 一珠あるいは五珠のみを操作する計算
- (2) 一珠・五珠を操作する計算
- (3) 二桁を操作する計算（繰り上がり・繰り下がり）

操作 (1) については、それぞれの珠を単純に動かすだけでよいが、操作 (2)(3) については、5 の補数や 10 の補数、またはその両方を考慮しつつ複数の桁・段の珠を操作することが要求される。なお、減算については、加算の逆操作を行うことで同様に表現することができる。より詳細な計算方法については、先行研究 [11] で詳述している。

2.2 関連研究・サービス

北川らは、カメラを用いた盤面推定システムおよび珠の上に映像を重畳表示することで操作方法等を伝えるプロジェクションマッピングシステムからなる珠算学習支援システムを提案している [8]。盤面の推定には、机の裏側に設置した RGB カメラによって得られる映像から、算盤の珠の形状によって生じる明暗差を利用してオブジェクト検出することに基づく推定を実現している。また、認識結果と連動して、机上あるいは算盤上にプロジェクションマッピングすることにより、学習者がどのように算盤を操作すればよいのかを直感的に示すためのインタフェースを提案している。

新川らは、珠算教育向け Learning Management System (LMS) を提案しており、フラッシュ暗算、読上算、見取り算などといった学習ソフトを LMS 上で管理し、また個人成績や学習の進捗状況と組み合わせることによって、ソフトウェアを搭載した PC であれば場所を問わず学ぶことを可能とした [12]。

また、スマートフォンやタブレット端末の画面上に算盤を再現することによって、珠算学習支援を実現するアプローチも考案されている。齋藤らはスマートフォン上の学習支援システムのプラグインの一つとして電子算盤の機能を提案している [13]。画面上に算盤を再現することで基本的な算盤の操作ができ、また電子算盤を用いて計算した過程を数式として表示することも可能となっている。Digika 社は、算盤の UI・操作方法を応用した暗算学習指導を提供

する「そろタッチ」というサービスを提供している [14]. タブレット端末上に算盤に類似したインタフェースを再現し、珠に対応するボタンを両手で操作することによって計算する方式を採用している.

珠算学習の効率を向上させるために、原子ら [9] や北村ら [10] は、機械学習による自動的な問題生成手法を提案している. この研究では、被験者にどの問題が苦手かについてのラベル付けを付与してもらう必要があるため、ある学習者に対してどういった問題を作成するべきかの方針策定には人手が必要であることが課題となる.

2.3 珠算学習支援における課題と本研究の立ち位置

算盤を用いた計算は、前述の通り 5 の補数と 10 の補数を常に考えながら操作を行わなければならない、一般的な計算とは大きく異なる. 初学者が珠算能力を獲得するためには反復的かつ継続的な珠算学習を要するとされる. しかしながら、珠算指導は学習者の観察に基づきミスや苦手な珠操作を発見・指導する形式が主となっており、人手に頼るほかないのが現状である. このことから、学習者による算盤の操作状況 (珠算行動) のセンシングに基づき効果的な指導を提供することは、珠算学習の効率を向上させるために必要と考えられる.

この課題を解決するために、著者らは市販の算盤に AR マーカを枠に貼り付け、書画カメラによって撮影した俯瞰映像を分析することで、簡易に算盤の盤面を認識するシステム「AbaCaaS」を提案している [11]. 本稿ではこの手法をベースとし、書画カメラを用いた盤面認識の結果に基づき、珠算学習支援に必要な情報を卓上のディスプレイに算盤の位置に応じたリアルタイムに提示する手法を提案する.

3. 提案手法

本章では、書画カメラを用いた算盤の盤面認識システム「AbaCaaS」を拡張することによって、珠算学習支援のためのリアルタイムな情報提示システムを提案する.

3.1 要件定義と制約条件

一般的な珠算学習のアプローチについて解説・考察するとともに、効果的な珠算学習支援を提供するための情報提示システムの要件を定義する.

■ 要件 1 : 珠算学習中の計算ミス・誤操作の動的な指摘

一般的な珠算学習においては、珠算能力を認定する検定試験 (日本珠算連盟・全国珠算教育連盟などが主催) の受験を想定し、図 3 に示すような教本 (計算問題集) が広く用いられている. 多くの珠算教室では、この教本の問題に対する回答の正誤に基づいて指導する形式が基本となっているが、計算過程のどこでどのような計算ミス・誤操作が発生しているのかについては、指導者が学習者を観察する

1	2	3	4	5	6
1.232	14.562	1.583	5.639	77.022	21.096
51.226	8.926	58.620	940	6.379	2.708
679	562	982.754	91.428	6.94	59.839
8.121	805.234	-637.013	726.430	-39.505	642
473	473	-1.940	10.569	5.525	3.941
719.022	-79.023	218	2.942	83.463	87.764
5.182	9.186	3.186	29.448	-4.812	253.687
145	-8.142	90.865	2.037	31.3579	50.219
510	-3.20	-2.943	290	-2.2777	372.120
43.263	4.865	872	4.819	6.537	110

(a) 見取算 (加減算)

1	12.848 ×	8.556 =
2	90.72 ×	25.933 =
3	3.56 ×	0.11287 =
4	554.638 ×	3.22 =
5	75.126 ×	8.201 =
6	0.72907 ×	0.65429 =

(b) 乗算

1	7.226.8266 ÷	0.19047 =
2	81.08283 ÷	3.451 =
3	90.372.153 ÷	6.621 =
4	804.51690 ÷	2.27 =
5	70.992.262 ÷	25.653 =
6	942.503.893 ÷	6.812 =

(c) 除算

図 3 珠算学習に用いられる教本の問題例 (出題形式は珠算検定練習問題集 [15] を参考に作成した)

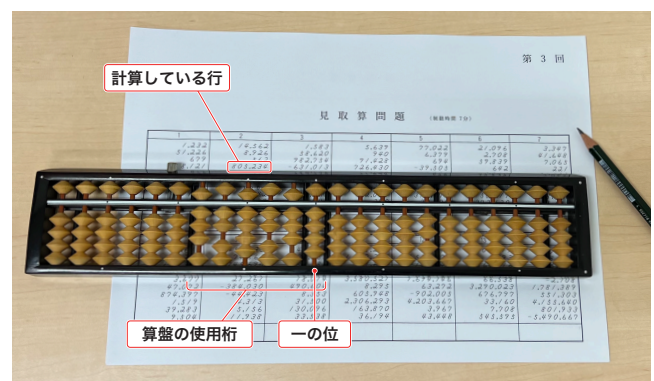


図 4 算盤を用いた計算の様子

ことでしか確認できないのが現状である. しかしながら、基本的に指導者数に対して学習者数が多くなることから、いつでもこの指導を受けられるとは限らない. つまり、学習者にとって間違いやすい計算手順や苦手とする珠操作を明らかにするとともに、計算途中において動的にその内容が指摘されることが望ましいと考えられる.

■ 要件 2 : 珠算学習教材のパーソナライズ

一般的な珠算学習で用いられる教本は、複数の問題セットから構成されており、日々の学習の際にはいずれかの問題セットを選び学習を行う形態となっている. この方法の場合、どの学習者も基本的に同じ問題を繰り返し解くこととなるが、人によって間違いやすい計算手順や苦手とする珠操作には差異が存在すると想定されるため、必ずしも効率のとはいえない. つまり、学習者の傾向に合わせて必要なトレーニングが重点的に行えるように、出題内容が動的に調整されること (学習教材のパーソナライズ) が望ましいと考えられる.

本提案の前提となる算盤の盤面認識システム [11] では書画カメラを用いた俯瞰映像を用いることから、提案する情報提示システムにおいては、上記の要件に加えてこの制約条件を満たす必要がある.

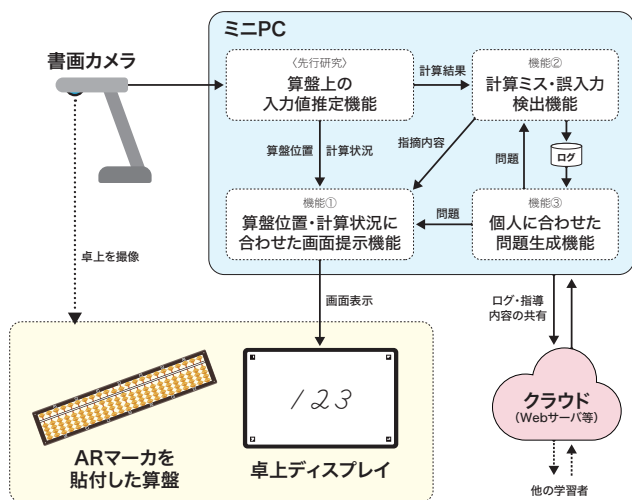


図 5 システム構成図

□ 盤面認識が可能な珠算位置の制約

実際に算盤を用いて計算をする際には、図 4 に示すように、算盤の上端を現在の計算対象となる行に合わせて配置し、計算の進捗に伴い算盤を移動させながら計算を進めると考えられる。特に見取り算（加減算）では、足すべき数値が縦に並んだ形で出題されるため、同じ問題を解いている最中にも算盤の移動が発生する。書画カメラの画角外に算盤が移動した場合には、盤面認識が継続できなくなる問題が生じる。つまり、算盤の移動が画角の範囲内となるように情報提示を制御する必要がある。

3.2 情報提示システムの設計

以上の機能要件・制約条件を踏まえ、算盤の盤面認識機能と情報提示機能を備えた提案システムを設計する。本稿では、著者らの先行研究 [11] のシステム構成に加え、ディスプレイを卓上に配置する構成を採用した。提案システムの外観を図 1、システム構成図を図 5 に示す。

■ 機能 1：算盤位置・計算状況に合わせた画面提示

前述の制約条件を満たすため、卓上ディスプレイを用いてデジタルかつ動的な問題提示を行う。具体的な手順を下記および図 6 および図 7 (a) に示す。

- (1) 卓上ディスプレイ上に表示した AR マーカを書画カメラにより検出、ディスプレイと書画カメラの位置関係をキャリブレーションする
- (2) 算盤に貼付された AR マーカを書画カメラにより随時検出、算盤の位置を同定する
- (3) 算盤の枠外上部に最初の問題を表示する
- (4) 入力値推定結果に基づいて計算の進捗状況を把握し、表示する問題内容を更新する

上記手順によって、書画カメラによって取得された算盤の位置に合わせて、学習者が入力しようとしている行（見取算）または計算しようとしている問題（乗算・除算）を算盤の枠外上部へと常に表示される状態を実現できる。つ

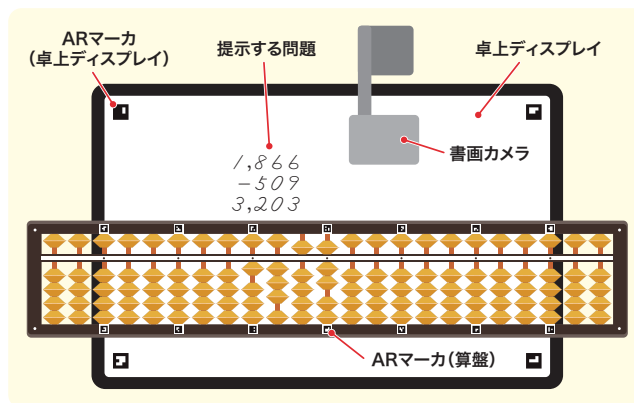


図 6 卓上ディスプレイによる情報提示

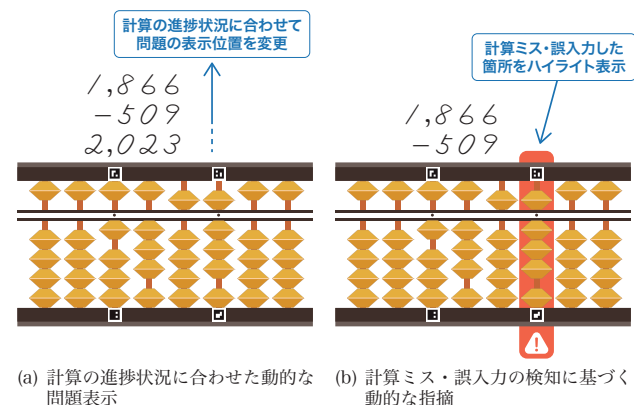


図 7 情報提示の機能例

まり、教本を用いる場合には算盤を手で移動させることで行っていた位置合わせをデジタルに再現することによって移動を最小限に留めることが可能である。

■ 機能 2：計算ミス・誤入力の検知に基づく動的な指摘

機能 1 により、システムは「学習者が取り組んでいる問題内容」と「算盤上の入力値」のデータを逐次収集できる。両者を比較することによって、学習者が計算ミス・誤入力をしたイベントを検出することが可能となる。検出された結果を基に、誤りが発生している算盤の桁に重畳するように卓上ディスプレイへの表示を行うことで、図 7 (b) に示すようなリアルタイムかつ直感的な計算ミス・誤入力の指摘を達成する。

■ 機能 3：操作履歴に基づく個人に合わせた問題生成

機能 2 により計算ミス・誤入力が生じたイベントデータを時系列で収集可能となる。このデータを集約することにより、学習者がどのような計算手順を理解・習得できていないか、またどのような珠操作が苦手であるかを分析できるようになる。こうした学習者の抱える課題を克服するための問題をこの分析結果に基づいて自動生成することで、効果的に指導内容の理解を促すことや、苦手な操作のトレーニングを重点的に行うことを実現できる。また、課題解決のプロセスは他の学習者に対してもある程度は適用可能であ

ると考えられるため、計算ミス・誤入力のログや生成された問題、それをを用いたことによる学習の進捗状況といった情報はクラウドなどを通じ共有することによって、他の学習者に対する問題生成などに活用できると考える。最終的に蓄積されたデータを整理することで、珠算学習指導に関する知識の形式知化を達成する。

4. まとめ

一般に算盤能力の獲得には長期に渡る繰り返し学習を要することから、本研究ではICTを活用した珠算学習支援システムによる学習の効率化を目指している。本稿では、書画カメラを用いた算盤の盤面認識に基づき、卓上ディスプレイ上へと指導内容をリアルタイムに提示する学習支援システムについて、要件および制約条件を整理した上でシステム設計を行った。今後は、卓上ディスプレイを介して行う指導内容について具体的な実装を進めるとともに、実際の学習者による短期的・中長期的な実験を通して本システムを用いた学習支援が珠算学習に寄与するかどうかについて検証する。

謝辞 本研究の一部は、KDDI財団調査研究助成（2021年度）の助成を受けて行われたものです。

参考文献

- [1] James W Stigler. “mental abacus”: The effect of abacus training on chinese children’s mental calculation. *Cognitive Psychology*, Vol. 16, No. 2, pp. 145–176, 1984.
- [2] Shizuko Amaiwa and Giyoo Hatano. Effects of abacus learning on 3rd-graders’ performance in paper-and-pencil tests of calculation. *Japanese Psychological Research*, Vol. 31, pp. 161–168, 1989.
- [3] Shizuko Amaiwa. The Effects of Abacus Learning on Solving Arithmetic Problems: A Comparative Study of Elementary / Junior High School Students at Upper Level and Inexperienced Students. *Journal of the Faculty of Education, Shinshu University*, Vol. 96, pp. 145–156, 1999.
- [4] Chunjie Wang, Tianyong Xu, Fengji Geng, Yuzheng Hu, Yunqi Wang, Huafeng Liu, and Feiyan Chen. Training on Abacus-Based Mental Calculation Enhances Visuospatial Working Memory in Children. *Journal of Neuroscience*, Vol. 39, No. 33, pp. 6439–6448, 2019.
- [5] Chunjie Wang. A Review of the Effects of Abacus Training on Cognitive Functions and Neural Systems in Humans. *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 14, No. 913, pp. 1–12, 2020.
- [6] Yujie Lu, Mengyi Li, Zhijun Cui, Li Wang, Yuwei Hu, and Xinlin Zhou. Transfer Effects of Abacus Training on Cognition. *Current Psychology*, Vol. 42, pp. 6271–6286, 2023.
- [7] Yuzheng Hu, Fengji Geng, Lixia Tao, Nantu Hu, Fenglei Du, Kuang Fu, and Feiyan Chen. Enhanced White Matter Tracts Integrity in Children With Abacus Training. *Human Brain Mapping*, Vol. 32, No. 1, pp. 10–21, 2011.
- [8] 北川珠莉, 鈴木優. 珠の位置認識と操作手順の重畳表示を用いたそろばん学習支援システム. 情報処理学会インタラクション 2022, pp. 759–762, 2022.
- [9] 原子弘務, 井上一磨, 諏訪貴大, 福岡省伍, 村田遼, 須子統太. 珠算競技における効果的な練習問題の自動生成法について. 第 80 回全国大会講演論文集, No. 1, pp. 897–898, 2018.
- [10] 北村瑠菜, 原子弘務, 守屋郁宏, 神頭和希, 於勢奈都子, 角田和正, 須子統太. 珠算競技における苦手問題自動作成法について～かけ算に対する検討～. 第 81 回全国大会講演論文集, No. 1, pp. 731–732, 2019.
- [11] 松田裕貴. 書画カメラを用いた珠算行動センシング. 電子情報通信学会技術研究報告, センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会 (SeMI), 第 123 巻, pp. 70–75, 2023.
- [12] 新川晃司, 川崎健志, 澤田一樹, 二石芳裕, 笈宗徳, 渡邊一衛. そろばん教育における Web 学習支援システムの開発. 成蹊大学理工学研究報告, 第 48 巻, pp. 75–79, 2011.
- [13] 齋藤謙太, 佐々木整, 水野一徳. 携帯電話を利用した学習支援ツールの開発. 情報科学技術フォーラム講演論文集, 第 8 巻, pp. 653–654, 2009.
- [14] 株式会社 Digika. そろタッチ. <https://www.sorotouch.jp/>. (accessed 2023-04-10).
- [15] 佐藤出版. 全国珠算教育連盟推薦教材 珠算検定練習問題集 [段位] 13 年度改正版, 2001.