

令和元年6月13日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12427

研究課題名(和文) 作図デジタルデータを使った和算データベースの構築

研究課題名(英文) Construction of WASAN database using drawing methods information

研究代表者

脇 克志 (Waki, Katsushi)

山形大学・理学部・教授

研究者番号：30250591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,100,000円

研究成果の概要(和文)：和算書に記述された図形問題から円や多角形などの要素を抽出し、タグ付けされた要素同士の関係性を数値ベクトルとして記述表現する仕様が制定された。この仕様に基づきJava言語による実際のタグ付けプログラムの実装も行い、R言語によるこの記述表現による幾何学的な類似性評価も可能と成った。具体的なデータベース構築に向けては、会田算左衛門安明の算法天生法指南に記載された和算問題のデジタル化を行った。更に、動的幾何学ソフトウェアGeogebra上にアポロニウスの接触円の作図手法を実装したソフトを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

和算は、江戸時代に花開いた日本独自の数学であり、広く日本国民が数学を趣味として、喜びを持って学んでいた「和算」に限られた研究者のみの研究対象では無く、現代社会において再発掘されるべき存在である事を確認したい。問題検索を可能とする和算書データベースの構築は、まさに「和算」を可能な限り身近にする環境整備の要になるシステムである。

研究成果の概要(英文)：Elements such as circles and polygons were extracted from the Geometric problems described in WASAN book. A specification has been established that describes the relationship between tagged elements as a numeric vector by Java. Geometric similarity evaluation by this descriptive expression also became possible by R. We also construct the new data-base of "SANPOU TENSEI SHINAN" written by "AIDA SANZAEMON YASUAKI" as digital archives. Moreover we made the new software on Geogebra which can describe Problem of Apollonius.

研究分野：応用数学

キーワード：和算書データベース 図形の特徴抽出 類似評価

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東北大学和算ポータルに代表される和算資料のデータベース化は、和算の研究に大きく貢献している。しかし、デジタル画像化された多くの和算書は、出版年、著書名、著者名などでの検索が可能であっても、図形問題そのものを指定した上で、その問題に類似する問題やそこから派生した問題を見つけることは出来ない。美術史や音楽史の研究では、クリエイター同士の交流や当時の社会情勢などと平行して芸術作品同士の類似性を研究している。和算研究においても問題そのものを時代や場所にこだわらず横断的に類似点を検証することが必要である。

2. 研究の目的

江戸時代の和算書と最先端の動的数学ソフトウェア Geogebra を組み合わせて全く新しい和算研究を試みる。本研究課題の目的は、次の4つになる。

和算書に記述されている図形問題を、図形が持つ幾何学的構造を加えた作図デジタルデータとして記述表現する仕様を制定する。

作図デジタルデータから幾何的類似性を評価できる指標を定義する。

日本全国に散在する和算書の図形問題を作図デジタルデータに変換し、類似する作図問題を検索できる和算データベースを構築する。

著者の異なる和算書に記述された図形問題の類似性を評価し、江戸時代の和算家の間にあった今まで知られていない和算家同士のネットワークを発見する。

3. 研究の方法

「作図デジタルデータ化」のための基本作図法を選定し、記述表現の仕様(版)を制定する。この仕様に基づき会田安明の算法天生法指南に記述された図形問題の作図デジタルデータ化を進め、記述表現の一意性、汎用性、忠実性の検証を行う。その内容を国内学会で発表することで広く批評を受け、仕様

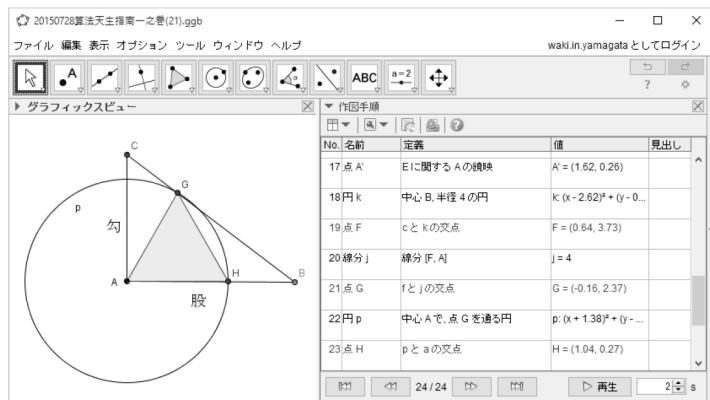
(Version 1.0)を確定させる。その後、確定した仕様に基づき算法天生法指南全五巻に記述された図形問題をすべて作図デジタルデータ化する。平行して幾何的類似性を評価できる指標を作成する。その上で、作図デジタルデータ化した算法天生法指南の類似問題を検索できるデータベースを構築する。

具体的には、図形問題を動的数学ソフトウェア Geogebra

を用いて和算図形問題をデジタルデータ(xml ファイル)として記録する。このとき、ソフトウェア Geogebra を用いた図形問題の作図においては、問題で使われている図形同士の定性的な関係を中心にして、その依存関係も含めたデジタルデータを記録される。本研究課題においては、まず和算書の図形問題を図形の間にある依存関係を意識した作図によって定性的に記述表現できる仕様を制定する。図形問題では、与えられた条件から確定する図形が持つ性質(長さや面積など)を問うているが、問題に使われている図形を方程式で表わすと図形同士の依存関係が消えてしまい問題の持つ本質的な構造が失われてしまう。今回制定する仕様に基づきデジタルデータ化された図形問題のデータ(以下、作図デジタルデータと呼ぶ)から初期条件の定量的な部分を無視するとことで、図形問題が持つ幾何学的構造を抽出することが出来る。

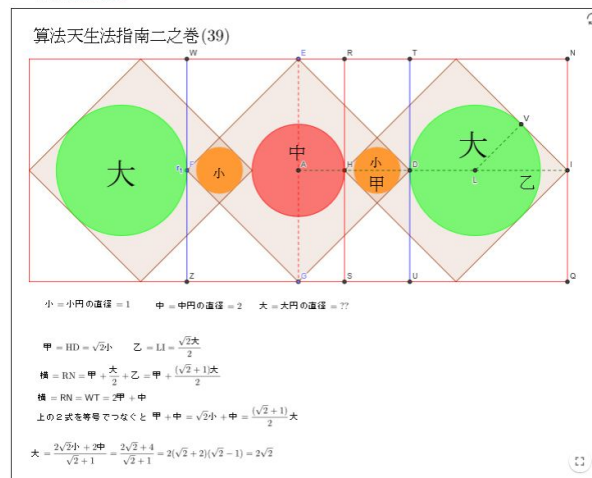
次に、複数の作図デジタルデータからその幾何学的構造を比較することで、図形問題の類似性を評価できる指標を定義する。図形問題の類似性は、画像として類似性とは異なる。一見全く異なる図形に見えても図形同士の依存関係から幾何学的に同じ構造を持つ図形問題がある。

この作図デジタルデータの仕様と類似性評価の指標を活用して、山形を代表する和算家「会田安明」の「算法天生法指南」のすべての図形問題を作図デジタルデータ化し、今までにない図形問題を検索できる和算データベースを構築する。更に、図形問題の作図デジタルデータ化に関する研究集会を開催し、制定した仕様と類似性評価の指標を公表・公開することで、日本全国に散在する和算書の図形問題を作図デジタルデータに変換する活動を拡大させる。



算法天生法指南二之巻(39)解答

作成者: Katsushi Waki



本研究集会を開催し、制定した仕様と類似性評価の指標を公表・公開することで、日本全国に散在する和算書の図形問題を作図デジタルデータに変換する活動を拡大させる。

また、著者の異なる和算書に含まれる作図問題の類似性評価を使って和算書同士の類似性を評価する。和算書の類似性から著者が生きた時代や場所、そして師弟関係などに依らない、図形問題による和算家たちの新しいネットワークを発見する。

今後、膨大な和算書の作図デジタルデータ化には、たくさんの人手が必要となるが、作図デジタルデータ化の作業そのものが数学の魅力を感じさせる教育教材となり得る。考古学における発掘・復元作業が多くボランティアを巻き込み、社会的に有意な活動として広まっているように、和算書に記述された図形問題の作図デジタルデータ化は、中学・高校の総合的な学習活動として見ても非常に有効である。

#### 4. 研究成果

「作図デジタルデータ化」のための基本作図法を選定し、記述表現の仕様を作成し、平成 28 年 8 月 19 日から 21 日まで開催された全国和算研究会にて発表し、和算専門家からの意見を集めることが出来た。また、多数の図形問題を Geogebra を使って作図するため、アポロニウスの接触円を Geogebra で作成する専用ツールを開発し、平成 29 年 3 月 23 日に開催された数学ソフトウェアとフリードキュメント 24 にて発表・公開した。このツールを利用して江戸時代の和算書より会田算左衛門安明の算法天生法指南

の第一巻と第二巻に掲載されたすべての図形問題を作図デジタルデータ化して、和算データベース構築に向けた基本データとしてホームページ上に公開した。<https://www.geogebra.org/m/MT4Arzpa> また、Java 言語による実際のタグ付けプログラムの実装も行い、上記の算法天生法指南全巻の画像問題をデジタル画像として抽出し、ハフ変換を基本とする特徴抽出を行い線分や円などの特徴情報にタグ付けを行うことに成功した。この成果は、平成 29 年の日本数学会秋季大会にて、「和算の画像データベースにおける幾何要素認識と自動タグ付け」として明治大学の土橋拓馬氏により発表された。図形問題の類似性を評価については、NMF (Non-negative Matrix Factorization) を用いた主成分分析と似た手法により図形問題の類似度が評価できることを示し、平成 30 年の日本数学会年会にて、「NMF による和算図形問題類似評価」として発表した。

平成 30 年度からは、和算書から図形問題の深層学習による和算書から図形問題を表わす図形領域の抽出に取り組んだ。これは、今後和算書データベースを構築する上で、多数の和算書から自動的に図形問題の図形領域を抽出するプログラムが不可欠になる事に備えたプログラム開発である。今回は、和算書の中で図形問題領域を抽出する上でカギとなる文字「今」(以後カギ文字と呼ぶ)の

転移学習を合わせて使った深層学習認識による認識を行った。カギ文字は図形領域に対応する形で存在し、非常に高い確率で図形領域の抽出が可能となる。今回は、カギ文字の認識を行う上で最適なアルゴリズムを検証して、Python プログラムに実装することに成功した。その成果は、第 8 回のパターン認識の応用と手法と題する国際会議にて発表された。

#### ➤ 和算図形問題への自動タグ付け

- 図形問題から画像認識で形状を抽出し、それに基づくタグを自動で付与する。自動タグ付け手法をプロトタイプで実装した。

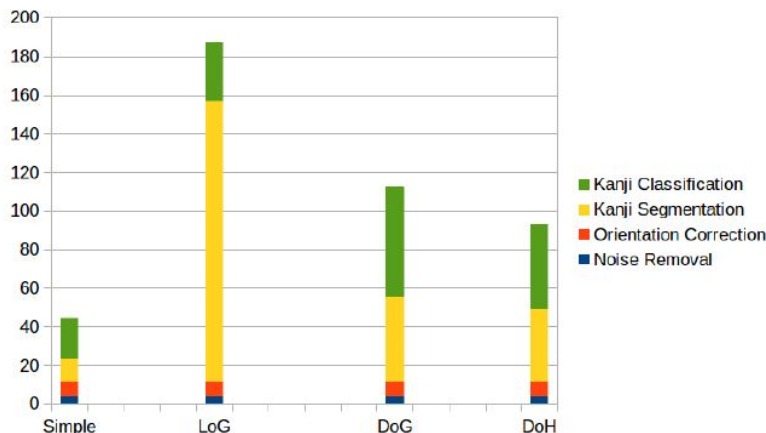
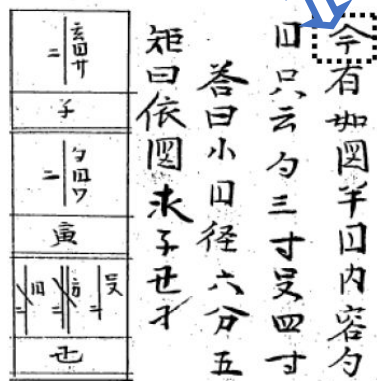
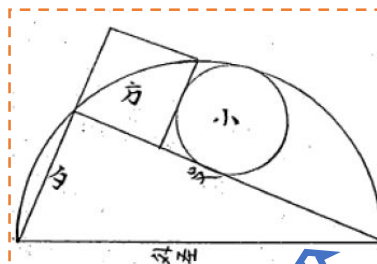
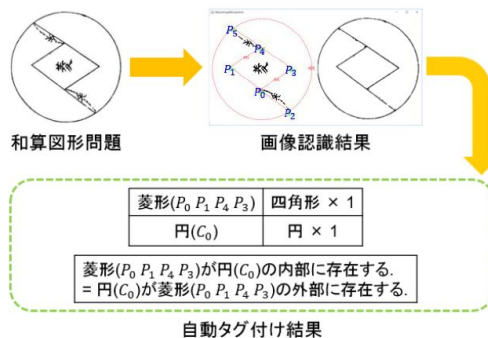


Figure 4: Runtimes for the 4 algorithm variants tested.

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Yago Diez, Toya Suzuki, Marius Vila and Katsushi Waki,  
Computer Vision and Deep Learning Tools for the Automatic Processing of Wasan Documents  
8th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, January  
2019, 757-765.  
DOI: 10.5220/0007555607570765

〔学会発表〕(計 5 件)

脇克志、土橋拓馬、阿原一志、NMF による和算図形問題類似評価、2018 年日本数学会年会

土橋拓馬、脇克志、阿原一志、画像認識の基づく和算図形問題への自動タグ付け、2018 年  
日本数学会年会

脇克志、Geogebra を使った和算幾何図形の作図、数学ソフトウェアとフリードキュメント  
24 (2017 年 3 月)

脇克志、図形検索を可能とする和算データベースの構築、2017 年日本数学会年会

脇克志、作図情報を含む和算データベース構築の試み、2016 年全国和算研究会

〔その他〕

ホームページ等

デジタルアーカイブ会田算左衛門安明の算法天生法指南 (巻一及び巻二)、  
<https://www.geogebra.org/m/MT4Arzpa>

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。