

# 機械学習を用いた PointLine への図形画像認識・文字認識 アドインの構想と実装

明治大学大学院・先端数理科学研究科 石戸谷 遼河 (Ryoga Ishitoya)  
Graduate School of Advanced Mathematical Sciences,  
Meiji University  
明治大学・総合数理学部 阿原 一志 (Kazushi Ahara)  
School of Interdisciplinary Mathematical Sciences,  
Meiji University

## 1 はじめに

近年, 教育現場のデジタル化が進んでいる. それに伴い教育に使用する資料の作成や管理もデジタルで行うことが必要となってくる. 生徒が問題を解く技術を身につける際, 様々なパターンの問題演習に取り組む必要がある. しかし, 図形問題の類似問題を作成することや見つけてくることは容易ではなく, 手間や時間がかかってしまうと考えられる.

そこで本研究では, 図形画像に関して主に直線・円などの幾何要素の検出・抽出を可能とし, 直感的に教育的利用が可能となるような PointLine へのアドインの構想と実装を試みた.

## 2 PointLine とは

PointLine は明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科阿原研究室で作成された動的幾何学ソフトウェアのひとつである. 動的幾何学ソフトウェアとはおもに平面幾何学の作図を行うことができるコンピュータソフトウェアの総称である. 従来のソフトウェアでは手順ののっとり作図を行う必要があるが, PointLine では作図後に図形の条件を後付けすることができるため, 作図手順が分からないような図形の作図が可能になっている. たとえ作図手順が分からなくても, 作図したい図形の条件さえわかれば作図することができてしまうのが PointLine を利用する最大の利点である.

もともとプログラミング言語は C# で実装していたが機械学習の導入に伴い, python への移行を行っている.

## 3 和算画像について

本研究では, 円や直線などの幾何要素を抽出する図形画像として主に和算図形画像を用いた.

和算とは中国の伝統数学の系譜を引き, 江戸時代に日本で独自の発展を示した数学であり, 和算図形とはその数学で出てくる幾何図形のことである. 和算画像に現れる幾何

図形は人の手によって刷られたものであり, かすれやにじみ, 線の途切れなど正確な円・直線ではないことがほとんどである.

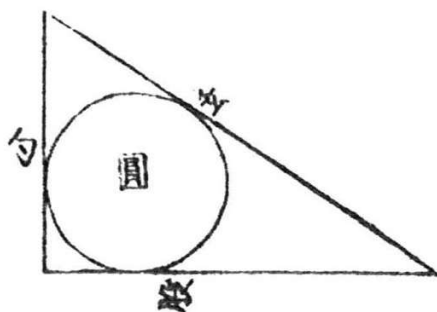


図 1: 和算図形の例

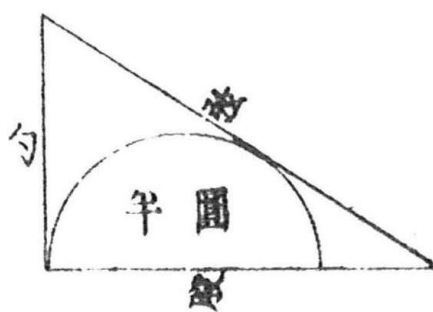


図 2: 和算図形の例

前述したように和算画像の幾何図形は鮮明でないことがほとんどであり, 和算画像で幾何要素の認識・再現ができるのであれば教科書などの挿絵にも適応することができると考えたことが, 本研究で図形画像として和算図形画像を用いた理由である.

## 4 関連研究

和算画像についての関連研究として「画像認識を用いた和算図形問題に対する自動タグ付けと問題の類似度評価」(土橋, 脇, 阿原 2018)がある. この研究は幾何図形の形状特徴にタグをつけることにより特徴に基づいた資料検索を可能にしている. タグの種類としては  $n$  角形 ( $n > 3$ ), 円,  $n$  角形と円の関係などをはじめとして様々な種類がある.

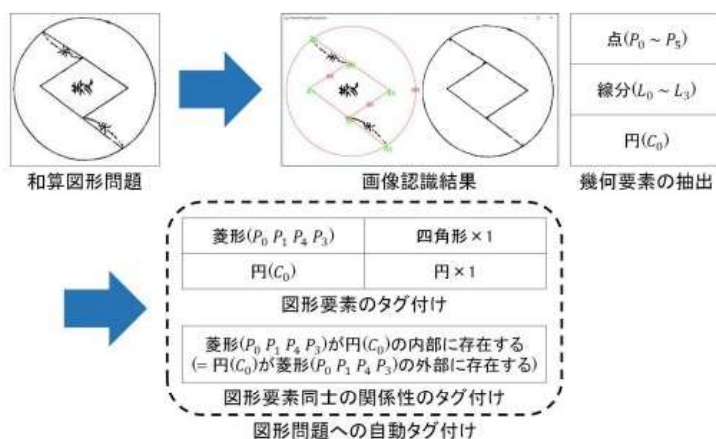


図 3: 関連研究の仕組み

この研究は主に和算資料データベースにおける和算問題の特徴を利用した資料検索への寄与を目的としている. また, タグ付けをした特徴を基に三角形, 四角形などに分類し画

像同士の類似度を評価している. この類似度評価という行為には, 見た目では関連性が分からないような問題同士のつながりや応用関係に気付くことができるという利点がある.

## 5 OpenCVについて

OpenCV(Open Source Computer Vision Library) はロボット工学など学術的なシーンだけでなく, 本格的なシステム開発, プログラミング学習など幅広い用途で用いられている画像処理・画像解析および機械学習等などの処理機能をまとめたオープンソースのライブラリである.OpenCV は1999年にIntelによって開発されたライブラリであり, オープンソースライブラリとして提供されているため誰でも無料で使用することができる. また, Windows や Linux はもちろん, IOS や Android など様々な OS に対応している.

## 6 機械学習

Hough 変換の検出精度にはノイズの量が大きく関係してくる. 和算図形画像には漢字が使用されているものも多く, 漢字を取り除くことは Hough 変換による幾何要素の検出精度を向上において欠かせないことだと考えた. また, 和算図形画像に用いられる漢字はある程度決まっており, その数もあまり多くないことから機械学習を漢字を取り除くことを検討した.

機械学習には 1. 教師あり学習, 2. 教師なし学習, 3. 強化学習の 3 種類あり, ここでは教師あり学習を用いた. 図 4 のように和算図形画像の漢字部分を点で囲うアノテーションという作業を行い, それをもとに生成したマスク画像を教師データとして使用しており, 教師データには 197 枚の和算図形画像を用いた. 本研究ではセグメンテーションという手法を使用した. 機械学習においてセグメンテーションとは, 画像をいくつかのオブジェクトに分割するタスクのことを指しており, 和算図形画像を背景と漢字の 2 つのオブジェクトに分類するために用いている.

図 5 は和算図形画像に対してセグメンテーションを行った結果である.

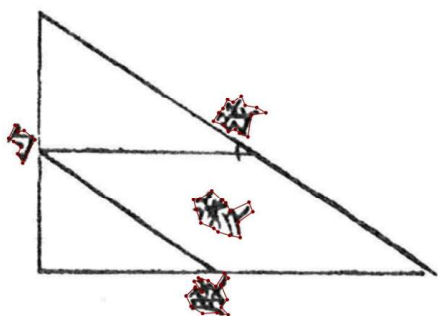


図 4: アノテーション

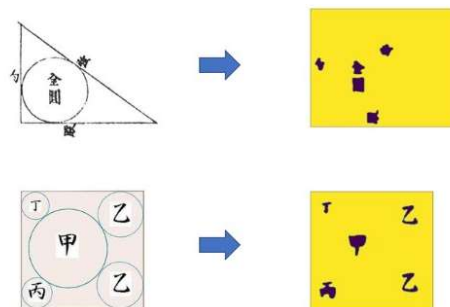


図 5: セグメンテーション

## 7 Hough 変換

本研究では円や直線の検出手法として Hough 変換を用いている。Hough 変換はデジタル画像処理で用いられる特徴検出法のひとつで、古典的には直線の検出を行うものであったが、現在では一般化されており様々な形態に対して用いられている。ある一点を通る直線は無数に存在するが、2点を通る直線は一つしか存在しない。そこで、Hough 変換の目的は、ある点を通る無数の直線の中から画像の特徴点を最も多く通るものを決定することである。特徴点を利用した検出した方法であるため、画像にノイズが多いと誤検出が頻発してしまう。そこで、本研究では誤検出を少なくするため、Hough 変換を行う前に画像に二値化処理を行いノイズを除去している。

本研究では直線検出、円検出において OpenCV に実装されている HoughLinesP、HoughCircles を使用している。

### 7.1 直線検出

Hough 変換を用いた直線の検出では、図のように  $xy$  平面上の直線に対して原点から引いた法線の長さを  $r$ 、法線と  $x$  軸とがなす角を  $\theta$  と定義する。こうすることで、点  $(x, y)$  を通る直線を  $r = x \cos \theta + y \sin \theta$  と表すことが可能となる。もし、いくつかの点が同一線上にあるならば、 $(r, \theta)$  の組み合わせは同じになる。そして、同じ  $(r, \theta)$  の組み合わせが最も多いとき、そのパラメータに直線が存在する可能性が高いと判断される仕組みである。

### 7.2 円検出

Hough 変換を用いた円の検出では、図のように  $xy$  平面上の  $(a, b)$  を中心とした半径  $r$  の円を  $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$  で表す。円検出においては3つのパラメータを用いているため  $abr$  の3次元空間を用いて考える。 $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$  は  $abr$  空間において、点  $(x, y)$  を通る全ての円を表している。画像処理においては、画像にある黒画素  $(x_n, y_n)$  について、この方程式を満たすような  $(a_n, b_n, r_n)$  について投票を行い、多数決によって円が存在する可能性が高いとされるパラメータを決定し、そのパラメータを基に逆変換をすることで円を検出する仕組みである。

## 8 実装とその例

ここでは本研究で開発したアドインの現状について説明する。まず本システムの具体的な手順を説明する。初めに、PointLine を用いて和算画像を画像ファイルとして読み込む。次に、機械学習により文字の取り外しを行う。その後、文字を取り外した和算図形画像に対して Hough 変換処理を行い幾何要素のパラメータ等のデータを抽出し、抽出したデータを基に PointLine で幾何図形の再現を行うという流れである。現在使用できる画像の拡張子は png, jpg である。

図6は機械学習により和算図形画像から文字を取り除いた例である.

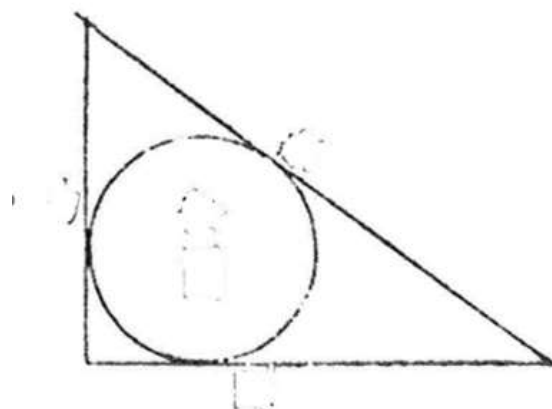


図 6: 文字を取り外した和算図形画像

本研究では約 50 枚の和算画像を用いて開発したアドインの検証を行った。図7は文字を取り外していない和算図形画像と取り外した和算図形画像, それぞれに対して Hough 変換処理を行いその検出精度を比較したものの一例である。左図では円の誤検出が発生したが, 右図では誤検出が発生しなかったことから, 機械学習による文字の除去は幾何要素の抽出精度向上に効果的であることが明らかになった。また, 漢字の一部に対して直線であるという判定をしてしまっているため, 漢字の取り外しは必須であると考えられる。

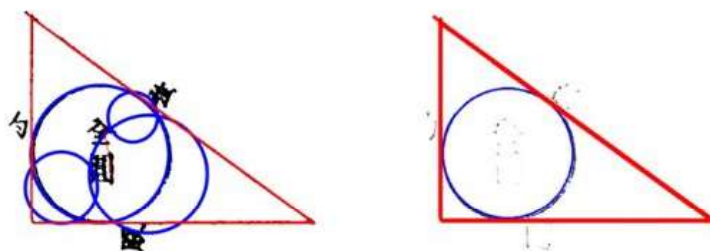


図 7: 文字の取り外しによる Hough 変換の精度の比較

## 9 まとめと今後の展望

教育的利用が可能となるようなアドインの構想・実装を試みた結果, いくつかの課題が見られた。まず, 最優先で取り組む必要があると考えられるのが, Hough 変換に必要なパラメータについて理解し, より高い精度での幾何要素の抽出を実現することである。本研究は幾何要素の抽出を目的としているため, これは大前提の課題である。この課題

を解決するためにより有効的に機械学習を利用する必要がある。今回は文字の取り外し  
のみに機械学習を用いたが、ノイズとなりうるものは漢字だけではなく円弧や点線など  
様々なものがあるため、機械学習の導入をはじめとしたシステムの改良など、それへの対  
応もしていかななくてはならない。

最後に実用化に関して、教科書の挿絵などにも適応できるようにする必要がある。そ  
して、教育現場で実用化する際にどのような機能が必要であるか、操作を直感的に行うこ  
とができるかどうかなど、応用に関して検討すべきことが多くある。これを検討するう  
えで、実際に教育現場で働く人の声を聞くことも重要になってくる。

## 参考文献

- [1] 土橋拓馬, 脇克志, 阿原一志: 画像認識に基づく和算図形問題への自動タグ付け, 数  
理解析研究所講究録別冊 2019, B73: 65-81