

# 麻雀における不要牌類似計量方式を用いた手牌推定

中村洋太<sup>1</sup>      岡田龍太郎<sup>1</sup>      中西崇文<sup>1</sup>

**概要：**本稿では、麻雀における他プレイヤーの手牌を推定し、危険度を算出するための不要牌類似計量方式について提案する。本方式では、麻雀牌それぞれに対する距離を定義し、さらに不要牌の配列同士の距離を定義することで、現状の相手の不要牌からその不要牌に似た過去局面を検索し、現状の対局者の手牌を予測する。これによって現在の局面における牌の危険度の推定を行う。本稿では、麻雀の対戦 AI を作ることを主眼とするのではなく、人間が麻雀を扱うこととコンピュータが麻雀を扱うことの違いを考察しながら、人間が麻雀を遊び、さらに上達を目指す際の助けとなるコンピュータシステムを構築することを目指している。既存の麻雀 AI のように、結果のみを出力するのではなく、その出力の根拠として、どのような不要牌のとき、どの牌が危険なのかということを出力することで、人間が理解しやすい教育的な麻雀 AI の実現が期待できる。本稿では、オンライン麻雀サイト「天鳳」に存在する過去局面のオープンデータを利用し、過去局面との類似度計量から、相手の手牌を推定するシステムを実装した。また、可視化を行うことで、有効性の検証を行なった。

## Mahjong Tile Estimation by Using Unnecessary Tile Similarity Measurement Method

YOTA NAKAMURA<sup>1</sup>      RYOTARO OKADA<sup>1</sup>      TAKAFUMI NAKANISHI<sup>1</sup>

### 1. はじめに

ゲーム AI の分野は近年の進歩がめざましい。囲碁の世界では、AlphaGo[1]が2016年人間のプロ棋士に勝ったというニュースが話題となった。また、将棋においても、2015年に情報処理学会がコンピュータ将棋のプロジェクトとして事実上の目的を達成したと判断し、プロジェクトを終了することを宣言[2]している。このように、様々なゲーム AI が機械学習を中心とするアルゴリズムを用いることにより、人間よりも強くなりつつある。

昨今では、より複雑で運やランダム性の高いゲームについての攻略を目的としたアルゴリズムの実現が着目されるようになった。その中の一つとして麻雀が挙げられる。麻雀には、オンライン麻雀サイトがあり、そこで行われた対局のデータは保存され、日々増え続けている。これらのデータを有効活用することにより、より強い対戦アルゴリズムを構築するだけでなく、ユーザが麻雀を強くなりたい際にそれを学ぶためのツールを実現することも求められている。

本稿では、麻雀の対戦 AI を作ることを主眼とするのではなく、人間が麻雀を扱うこととコンピュータが麻雀を扱うことの違いを考察しながら、人間が麻雀を遊び、さらに上達を目指す際の助けとなるコンピュータシステムを構築することを目指している。

麻雀を人間が遊ぶ際の課題は、主に二つある。一つ目は、

ルールが複雑であることである。麻雀は、大掛かりなポーカーのようなものであり、自分の手札からカードを捨てる動作と山札から引く動作を繰り返すことで、特定の組み合わせを目指すという基本原理はポーカーと同一である。しかしながら、特定の組み合わせである役と呼ばれるものの種類が麻雀とポーカーでは異なっている。ローカルなルールの役を考慮しない場合、ポーカーの役は11種類であり、麻雀の役は40種類ある。ポーカーに比べ、役の種類は麻雀の方が4倍近く多い。さらに、ポーカーは手札が5枚と少ない枚数で行われるため、比較的役の判別が付きやすいが、一方、麻雀ではこの手札が14枚と多くなっており、役の判別が難しくなっている。加えて、役の強さのほか符という手札の形に付随する要素があり、役と符から点数を計算し、手札の価値を決定するため、複雑性に拍車をかけている。

二つ目の課題は、効率的に勝つための方法が明確ではないということである。これは、どのゲームに関しても言えることだが、麻雀には一点目にあげたルールが複雑という問題点に加え、運に強く依存するゲームであるという特徴がある。ルールの複雑性と運の要素があることで、将棋や囲碁のような最善手と呼ばれるものが存在せず、様々な人々が自分のポリシーに従ってプレイを行なっているため、麻雀には勝つための一定の指針というものが存在しない。これらの問題点から麻雀はハードルの高いゲームとなっており、手を出しにくいものとなっている。

<sup>1</sup> 武蔵野大学データサイエンス学部データサイエンス学科

人間が麻雀をプレイする際に、それを助けてくれるプログラムとして、限定的な局面でどのような手を打てば良いかというものを示す麻雀プログラムは存在する．具体的には、Microsoft が開発した Suphx[3]がある．しかしながら、人間は全ての局面の最適解を覚えることができないため、技量の上達という観点においては、そのプログラムの補助だけでは不十分である．例えば、ユーザが相対している局面の最適解が分からない場合、最適解の手だけではなく、その手を導き出した根拠もセットとして返すような麻雀 AI があれば、限定的な局面の解のみを返す既存 AI の問題点に対処できるであろう．

最適解を導き出す際には、自分の手だけではなく、他プレイヤーの手牌推定も行う必要がある．不要牌は他プレイヤーに見えるように置かれ公開情報となり、この情報から他プレイヤーの手を読むことが手牌推定である．麻雀では、ツモアガリの場合、3人で分担して失点を負うことになるが、放銃した場合、1人が全て失点を負うこととなっている．このように、ツモアガリより放銃の方が3倍の失点を負うこととなるため、放銃を避けることが推奨される．放銃を避けるためには、他プレイヤーの手牌を推定することが必要となってくる．

本稿では、不要牌類似計量方式を提案し、そこから他プレイヤーの手牌を推定する方式について示す．本方式は、現状の相手の不要牌から、その不要牌に似た過去局面を不要牌類似計量方式により検索した上で、その手牌から現状の対局者の手牌を予測する手法である．本稿では、オンライン麻雀サイト「天鳳」[4]に存在する過去局面のオープンデータを利用し、過去局面との類似度計量から、新規局面の手牌の危険度を推定するシステムを実装した．

## 2. 関連研究

麻雀において、放銃する確率は実力に大きく関わってくるため、様々な書籍で取り扱われている事項である．中でも、麻雀研究の草分け的存在となっているとつげき東北による「おしえて!科学する麻雀」[5]があり、これには、以下のような麻雀における期待値の算出方法が記載されている．

$$D = (1 - p)\{wW - h(H + r) - t(T + r)\} - pH + oT \quad (1)$$

ただし

$p$  : 今切る牌が放銃になる確率  
 $w$  : 安全牌を切って攻めた場合のアガリ率  
 $h$  : 安全牌を切って攻めた場合の放銃率  
 $t$  : 安全牌を切って追いかけた場合のツモられ率  
 $o$  : オリた場合のツモられ率  
 $W$  : アガった場合の収入  
 $r$  : リーチ棒を出すなら 1,000, 出さないなら 0  
 $H$  : 放銃した場合の平均失点  
 $T$  : ツモられた場合の平均失点である．

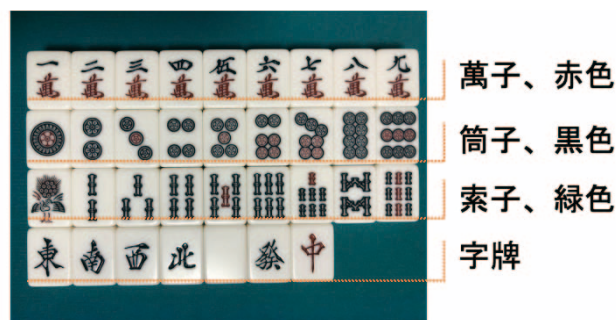


図 1 麻雀牌の種類

式(1)から見て取れるように3つの項のうち、2つの項の係数に放銃する確率変数  $p$  が存在する．つまり、放銃する確率変数  $p$  は麻雀の期待値計算において非常に多くのウェイトを占めることとなる．

また、機械学習を用いた研究では、ロジスティック回帰を用いることにより、聴牌(テンパイ)する確率と放銃する確率の推定を行った水上らの研究[6]や、多層ニューラルネットワークを用いた萩原らの研究[7]がある．

本稿では、これらの研究とは異なり人間の感覚に沿った麻雀牌の独自の距離系を定義することで、プレイヤーにとって理解しやすい放銃する確率の推定手法を提案する．

## 3. 麻雀における手牌推定

本章では、麻雀というゲームに関する基本的なルールの説明を通して、手牌推定の重要性や、不要牌類似計量方式に関する概略に関して説明する．

### 3.1 基本ルール

本節では、不要牌類似計量方式のための前準備として、麻雀の基本的なゲームの流れから、麻雀で行われる固有の宣言について説明する．

#### 3.1.1 ゲームの流れ

麻雀とは、全 34 種類の麻雀牌と呼ばれる直方体状のものを用い、4 人のプレイヤーが正方形の卓を囲んで行うボードゲームである．牌には、1 種類につき 4 枚ずつ同一のものが存在し、1 種類につき 4 枚なので全部で 136 枚の牌がある．この牌の種類を分類すると、数牌と字牌がある．さらに数牌は、萬子、筒子、索子というように分類される．これらの数牌は、赤色、黒色、緑色を主に用いて作られているため、数牌は色にも喻えられる．図 1 に、麻雀牌の種類を示す．

麻雀では、この麻雀牌を 14 枚組み合わせて役を作ることを目指し、役が完成すると役の内容に応じた点数を得ることができる．最終的に最も得点が高いプレイヤーの勝利となる．

最初に親と呼ばれるプレイヤー 1 人には、牌を 14 枚配り、その他の子と呼ばれる 3 人には 13 枚ずつ配ることで対局が始まる．また、対戦開始直後の対局での親を起家(チーチャ)、手札を手牌、山札を壁牌(ピーパイ)と呼ぶ．次に親が

牌を1枚捨て、目の前に置く。その牌は他プレイヤーから見ることのできる公開情報となる。この捨てられ、公開情報となった牌のことを不要牌、捨牌もしくは、河という。その後、反時計回りの順番で1枚山札から引き、1枚捨てるという動作を繰り返し行う。引く動作をツモといい、引く動作や捨てる動作を総称して打牌と呼ぶ。また、打牌を行う際、引いたものをそのまま捨てることをツモ切り、引いたものと元々手牌に合ったものを交換してから捨てることを手出しという。打牌を繰り返し行うことで手牌の14枚の牌を特定の形になるように牌を集め、アガるまでの速さを競い合う。この14枚の特定の形は、面子と呼ばれる3枚のセットを4組と雀頭と呼ばれる2枚のセットを1組作ることでアガることができる。面子とは、全く同一の牌を3枚もしくは、同一色のものを連番で3枚揃えたもののことである。それぞれ刻子(コーツ)、順子(シュンツ)と呼ばれる。ただし、順子の場合、萬子の8, 9, 1のように1と9を繋げて面子とすることは禁止されている。雀頭とは、全く同一の牌を2枚揃えたもののことである。特例として、雀頭を7組揃えて14枚にした形でもアガることが許されている。

最短であと $n$ 回の打牌でアガリの形を作ることができるとき、その状態のことを $n-1$ 向聴(シャンテン)と呼び、手牌の向聴数を減らすことができる牌を有効牌という。麻雀では、ポーカーのように複数枚を同時に引くことが許されていないため、1回の打牌ごとに向聴数は最大で1しか減らすことができない。特に、残り1回の打牌でアガリの形を作ることができるとき、つまり0向聴の場合を聴牌(テンパイ)と呼ぶ。

聴牌の状態のときのみ、他プレイヤーがその場で捨てた牌も含めてアガリの形を作っても良いこととなっている。例えば、プレイヤーAが聴牌の状態で萬子の5でアガることができるとき、プレイヤーBが萬子の5を捨てたとすると、プレイヤーAはアガリの宣言をした後、アガることができる。この宣言やその行為自体のことをロンアガリもしくは、単純にロンといい、ロンされることを放銃と呼ぶ。放銃してしまったプレイヤーは、ロンアガリしたプレイヤーに対して手牌の役と符を計算した後、その点数を全て1人で負担することとなる。また、他プレイヤーが捨てた牌ではなく、ツモった牌でアガった場合、点数は残りの3人のプレイヤーで分担して失点することになる。

1回の対局でアガることができるのは、基本的には1人だけである。1回の対局ごとに点数の移動が行われ、それを1ゲームで約8回繰り返す。最終的に点数の高い順に1~4位までが決定する。図2に、特定のプレイヤーから見た麻雀の局面を示す。

### 3.1.2 宣言

麻雀では、ある特定の動作を行う際、必ずその動作を行うということを他プレイヤーに宣言する必要がある。本節で



図2 特定のプレイヤーから見た麻雀の局面

は、鳴きや、リーチ、アガった場合や、全プレイヤーがアガることができなかった場合など全部で、チー、ポン、カン、リーチ、ツモアガリ、ロンアガリ、テンパイの7種類の宣言について説明する。

#### 鳴き(チー、ポン、カン)

他プレイヤーが打牌を行った際、捨てられた牌を自分のものにすることができる。この行為を鳴くといい、主に3種類の鳴きがある。まず、チーがある。チーは、あと1枚で順子を構成できる2枚の牌が自分の手牌にあり、かつ自分の左隣のプレイヤーが捨てた牌がその順子を構成するための残りの1枚だった場合に行うことができる。チーをしたプレイヤーは、手牌から順子を構成するための2枚を他プレイヤーに公開し、他プレイヤーの不要牌から残りの1枚を取り除く。完成した順子は自分の手牌の右側に置き、アガる際に1組の面子として数えて良い。不要牌から1枚引いたことになるので、その後、牌を1枚捨てる。チーをした後は、右隣の人から打牌が再開される。また、打牌を行う際、公開した牌から捨てる牌を選ぶことはできない。これは、全ての鳴きに共通するルールである。

次に、ポンがある。ポンはチーと異なる点が三点存在する。一点目は、順子ではなく刻子を作ること。二点目は、どのプレイヤーからでも行うことができるという点である。三点目は、次の自分の打牌が行われるまでに打牌を行う予定だった他プレイヤーに関しても打牌がスキップされる点である。

最後に、カンがある。カンはさらに明カン、加カン、暗カンと3種類に細分化される。まず、カンには共通事項があり、本来3枚で刻子とするところをカンでは、4枚で刻子として捉える。4枚で面子として数えるため、手牌が1枚足りなくなってしまう。これを解消するために壁牌から余分に打牌を行うことができる。明カンは、ポンを4枚で行うことに等しい。ポンが2枚の牌を公開するのに対して、3枚の牌を公開するという違いがある。残りの2つのカンは、打牌時に行われる。加カンは、自分がポンをした牌と

同一の牌が手牌に存在する際に行うことができる。手牌にある最後の1枚を他プレイヤーに公開し、ポンした牌に隣接させる。暗カンは、同一の牌4枚全てが手牌にあるとき4枚全てを他プレイヤーに公開する。鳴きは最大で4回まで行うことができる。また、暗カン除く鳴きが1回も行われていない状態のことを面前という。

#### リーチ

リーチとは、麻雀の役の一つである。面前かつ聴牌の状態、打牌を行う際に宣言することができる。つまり、後1枚でアガることができることを宣言することに等しい。また、リーチ後は、対局が終了するまで手出しを行うことができない。

#### アガリ

アガる際に行う宣言は、3.1.1節で示したようにツモアガリとロンアガリの2種類のみ存在する。全プレイヤーがアガることができずに対局が終了した際、聴牌しているプレイヤーは同名のテンパイという宣言をすることができる。テンパイを宣言していないプレイヤーは、宣言をしたプレイヤーに対して失点を負う。全員が宣言をした場合や、全員が宣言をしない場合は、点数の移動は行われない。

### 3.2 手牌推定

プレイヤーが捨てた牌は、そのプレイヤーにとって不要なものだったということになる。麻雀のメカニズムとして、3.1.1節で示したように、4組の面子と1組の雀頭を作らなければアガることができない。このことから牌を捨てる理由として、その牌と同一の牌や、その牌の周辺の牌を持っていない、もしくは、その牌の周辺の形が整っており、価値が低くなってしまったなどが挙げられる。このように、不要牌から他プレイヤーの手牌の状況はある程度予測することができる。また、プレイヤーAとBの不要牌の並びが近いものであった場合、そこから読み取れる情報に差異がなくなるため、プレイヤーAとBの手牌も同じようなものになることがある。つまり、過去の情報と比べることで危険牌を推定することができると考えられる。

放銃を完全になくすために必要な情報として、他プレイヤーの向聴数と有効牌の二つがある。よって、他プレイヤーの手牌推定では、不要牌からこれらの情報を出力すれば良いこととなる。

不要牌類似計量方式では、それぞれの牌の種類に対して人間の理解に沿った類似度を定義し、不要牌に対する総和を求めることで類似度計量を行い、手牌の向聴数と有効牌を統計的に求めることをポリシーとしている。

## 4. 不要牌類似計量方式

本章では、人間が実戦の中でどのようにして不要牌から手牌の推定を行っているのかを考察し、その感性に基づいた方式を提案する。本方式では、34種類の牌を3次元空間内にプロットし、各点のユークリッド距離が牌それぞれの

類似度であると定義する。また、定義した類似度を用いて不要牌から他プレイヤーの手牌を推定する手法について提案する。手牌の推定では、3.2節で示したように向聴数と有効牌を出力することができれば良いので、新規の不要牌に対して類似度が高い過去局面を検索することで、牌ごとの危険度を算出する。

### 4.1 人間が行う手牌推定

3.1.1節で示したように、順子を作る際8, 9, 1のように1と9がループするような面子は作ることができない。よって、1や9などの端の牌ほど面子を構成しづらく、4, 5, 6などの真ん中の牌ほど面子を構成しやすい。面子を構成しづらい牌はその周辺の牌を持っていたとしても捨てられる傾向にあるため、不要牌に並んでいたとしても、周辺の牌を持っているかどうかなどの情報はあまり得ることができない。しかしながら、面子が構成しやすい牌は周辺に牌が無かったとしても手牌に残される傾向にあるので、不要牌に並んだ場合、その牌の周辺は持っていないであろうことが推定できる。つまり、4, 5, 6などの牌を捨てることは、大きな情報を持っている。このことから1や9は、数値的には離れているが、手牌を推定することが困難であるという点において類似性がある。また、これは色に依存しない性質であるため、ほかの色色の1や9に関しても類似度が高くなる。しかしながら、4, 5, 6などの手牌を推定しやすい牌は、ほかの色との類似度は低くなる。これは、捨てられている色によって手牌が大きく異なることが推定されるためである。例えば、萬子の5が捨てられている場合と筒子の5が捨てられている場合を比較すると、前者は、手牌に筒子や索子が多くあることが推定でき、後者は、手牌に萬子や筒子が多くあることが推定できる。このように、4, 5, 6などの牌は色が異なると、推定結果に大きな差が生まれるため、類似度は低くなると考えられる。

### 4.2 同色内における距離

麻雀牌34種類それぞれの距離を定義するために、まず数牌内での距離を考える。数牌には、萬子、筒子、索子があり、それぞれ1~9までの牌を持っているため、対称性が成り立っている。このことから3次元空間内に牌をプロットする際は、萬子、筒子、索子の各色が対称的に配置されている必要がある。また、萬子の5, 6と筒子の7を用いて面子を作ることができないように、面子や雀頭を作るときには色同士の関係が断たれているため、それぞれの色間の距離は遠いものとして考えた。

本節では、まず、数牌の色に注目し、同色内における距離系について定義する。4.1節で述べたように、1と9の類似度は高くなると考えられるため、なるべく近い距離におきたい。また、1と2, 2と3のような隣り合った数同士の距離は、等距離にあると考えた。これらを満たすようなプロット方法として、平面上に正九角形を用意し、それぞれの頂点と色の1~9を対応させるという方針を立てた。



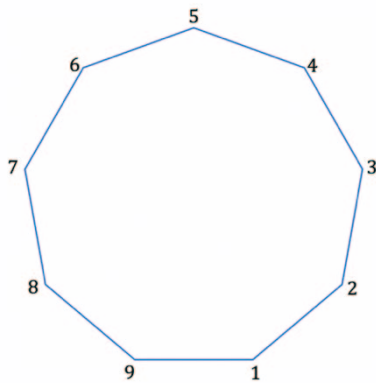


図 3 1~9 と正九角形の対応

本方式では、半径 1 の円に内接する正九角形の各頂点に、それぞれの色の 1~9 を対応させることで、そのユークリッド距離を同色における類似度とした。この距離系は、1 と 9 の類似度と 1 と 2 の類似度は同じであることを示している。図 3 に、数牌の 1~9 と正九角形の頂点との対応を示す。

同色内では、図 3 に示した正九角形の頂点同士のユークリッド距離が類似度となる。

#### 4.3 3 色への拡張

本節では、4.2 節で定義した同色間における距離系の拡張を行い、異色間の距離に関して定義を行う。

距離系に内在する集合を定義する。

$M_i = \{1, \dots, 9\}$  萬子の 1~9 の集合

$P_i = \{1, \dots, 9\}$  筒子の 1~9 の集合

$S_i = \{1, \dots, 9\}$  索子の 1~9 の集合

$Z_i = \{1, \dots, 7\}$  東, 南, 西, 北, 白, 發, 中にそれぞれ対応する集合

4.1 節で述べたように、異色間において、1 や 9 の類似度は高く、4, 5, 6 などの類似度は低いと考えられる。したがって、 $M_1$  と  $P_1$  と  $S_1$  などは、近い場所にプロットし、 $M_5$  と  $P_5$  と  $S_5$  などは、遠い場所にプロットしたい。また、4.2 節で述べたように、それぞれの色には対称性が成り立っているため、この対称性が崩れないようにプロットする必要がある。これらを満たすようなプロット方法として、全ての辺の長さが同じ正三角柱を用意し、その一辺の長さを図 3 に示した正九角形の一辺の長さと同じにする。正三角柱の底面を  $M_i$ ,  $S_i$ ,  $P_i$  と対応させ、上面は  $M_9$ ,  $S_9$ ,  $P_9$  と対応させる。さらに  $M_5$ ,  $S_5$ ,  $P_5$  が最も離れるように正九角形の各頂点を移動させる。これより、萬子、筒子、索子の 27 種類の牌に関して互いの距離を定義することが可能となる。図 4 に、三次元空間内での  $M_i$ ,  $P_i$ ,  $S_i$  の位置関係について示す。

#### 4.4 字牌と数牌の距離

$Z_i$  は、1 や 9 などと同様に他プレイヤーの手牌を推定することが困難な牌であるため、1 や 9 に近い距離にプロットしたい。また、色の対称性を崩すことのないようにプロッ

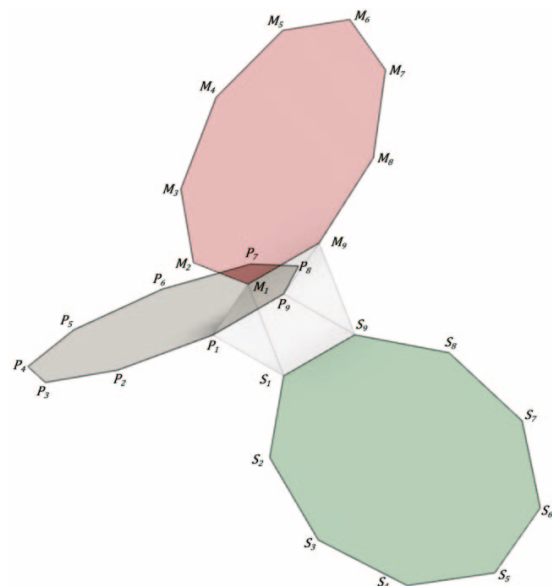


図 4 三次元での  $M_i$ ,  $P_i$ ,  $S_i$

表 1 牌の距離の例

牌	距離
$M_2$ と $M_6$	1.9696
$M_1$ と $P_9$	0.96738
$P_4$ と $S_5$	3.8962
$S_2$ と $M_8$	2.2561
$M_1$ と $Z_9$	0.52244

トできる点は、図 4 において 1 点しか存在しない。この問題は、 $Z_1 \sim Z_7$  を全て同じ牌として扱うことで対処する。つまり、図 4 にある正三角柱の各頂点から等距離にある点、すなわち、正三角柱の中心に  $Z_i$  をプロットする。表 1 に、いくつかの牌の距離の例を示す。

#### 4.5 不要牌の情報に基づく危険度の推定

本節では、4.4 節までに求めた 34 種類の牌それぞれに対する距離系を用いた不要牌の類似度の計量方式を提案する。1 章でも示した通り、麻雀は運の要素が強いため、他プレイヤーの手牌を完璧に予測することは不可能であり、出力結果は、確率として提示することしかできない。

本稿では、任意の閾値を用意し類似度がその閾値を超えたときに、それらの不要牌を似ているものとして扱うことで、統計的に手牌を推定することとした。

##### 4.5.1 不要牌の類似性に基づく局面の検索

不要牌は牌の配列とみなすことができ、可変長であるため、不要牌同士の類似度計量は困難なものとなっている。これは、長さが異なるもの同士の比較は困難であることに起因する。そこで、過去局面のデータを不要牌の長さごとに分類することで解決を図った。過去の不要牌との類似度を計量する際には、新規の不要牌(以後、新規不要牌)と同じ長さの過去の不要牌(以後、過去不要牌)のみを用い、類似度計量を行えば良い。

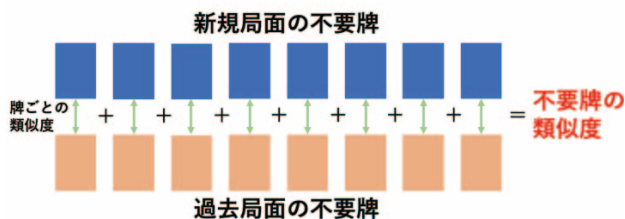


図 5 不要牌の類似計量方式

不要牌においては、捨てられる順番も重要であるため、新規不要牌と過去不要牌の類似度計量においては、順序を考慮した計量方式を提案する。

類似度計量は、新規不要牌と過去不要牌を先頭の牌から順番に 4.4 節までに求めた距離系を用いて、牌ごとの類似度を求め、その総和を算出することで行うことで、最終的な不要牌同士の類似度とした。さらに、計量した類似度を任意に設定した閾値で分類する。具体的な閾値の設定については、5.4.1 節にて、説明する。この分類を全ての過去不要牌に対して行い、似ていると判断された過去不要牌を用いて、現在の他プレイヤーの手牌を統計的に判断する。図 5 に、新規不要牌と過去不要牌の類似度計量の概略図を示す。

#### 4.5.2 向聴数と有効牌に基づく危険度の推定

4.5.1 節で似ていると判断された過去不要牌と紐付いている手牌状況を採用して、牌の危険度の推定を行う。採用された手牌状況を本稿では、採用手牌と呼ぶこととする。

3.2 節で示したように手牌推定では、向聴数と有効牌を求めることが重要である。そのため、採用手牌から向聴数と有効牌を抽出することで、危険度を推定する。採用手牌の向聴数ごとにデータを集計することにより、新規局面の手牌の向聴数を確率的に示すことができる。また、採用手牌から聴牌しているもののみを抽出し、有効牌を種類ごとにカウントすることで、新規局面の手牌に対して放銃する可能性のある牌の危険度を示すことができる。

## 5. 実装

本章では、4 章で提案した不要牌類似計量方式の具体的な実装方法について述べる。また、実装した計量方式がどのようなものとなるのか実例を示し、有効性について検証を行う。

### 5.1 使用するオープンデータ

1 章で示したように、オンライン麻雀サイト「天鳳」[4]に存在する牌譜データを用いて実装を行った。「天鳳」[4]は、2020 現在、アクティブユーザーが 20 万人以上存在する日本最大級の麻雀サイトである。級位、段位制のシステムを敷いており、七段以上の上級者は全体の約 1%しか存在していない。さらに、最高段位である十段の上には、天鳳位というものが存在している。天鳳位ともなれば麻雀のプロになることも可能であるほど「天鳳」[4]のプレイヤーレベ

表 2 mjscore 形式の記法

麻雀の動作	記法
ツモ	G
手出し / ツモ切り	d / D
チー	C
ポン	N
カン	K
リーチ	R
アガリ	A

ルは高いものとなっている。対戦におけるマッチング方式は、レベルごとに卓が用意されており、そのレベルに応じた卓に入れるようになっている。最高レベルの卓として七段以上のプレイヤーのみが入場できる鳳凰卓が存在し、鳳凰卓で行われた対局は全てオープンデータとして公開されている。

本研究で鳳凰卓のデータを用いる際の注意点として、「天鳳」[4]は段位を決定するポイント計算において特殊な方式を採用しているため、戦略に偏りが生じている可能性がある。この特殊な方式とは、4 位になると大幅にポイントが減らされてしまうということを指している。これにより、「天鳳」[4]では、1 位を目指すための戦略でなく、4 位を回避するための戦略が取られている。特に高段位が存在する鳳凰卓では、この傾向は顕著である。よって、現実での麻雀や、ほかの麻雀サイトでのデータとは異なる結果が得られることが予測される。しかしながら、プレイヤー人口の多さやオープンデータの処理が容易であることから本稿では、「天鳳」[4]の鳳凰卓のオープンデータを用いることとした。また、2013 年 1 月 1 日~5 日までの 5 日間、約 3,000 局分のデータを用いて実装を行った。

### 5.2 データ形式の変換

「天鳳」[4]に存在するデータは mjlog 形式で書かれており、これは解析しづらい形で記述されている。これを mjscore 形式と呼ばれる解析しやすい形に変換する必要がある。これには、「天鳳」[4]が公式でサポートしているアプリケーション[8]を用いて、データ形式の変換を行なった。表 2 に、mjscore 形式における麻雀の動作の記法について示す。

mjscore 形式では、最初に全員分の配牌が示され、その後の対局の流れを差分で表示している。差分は、どのプレイヤーがどの動作をどの牌に対して行ったかを示している。どのプレイヤーかは起家から反時計回りに 1 から 4 までの値が ID として振り分けられる。牌は萬子ならば m、筒子ならば p、索子ならば s で表記している。各色の何番目の牌なのかは、色を表すアルファベットの前にその番号が入れられる。例えば、萬子の 2 ならば 2m となる。字牌は名称と同一の漢字を用い表現される。例えば、起家が索子の 5 のチーを

[1東]6m8m4p5p6p8p9p1s1s6s東西北  
 [2南]2m5m5m9m2p3p4p9p2s4s9s南西  
 [3西]1m7m2p2p3p4p5p8p2s南北白中  
 [4北]1m2m3m4m4m8m1p1p3p6p9p1s5s  
 [表ドラ]東[裏ドラ]発

\* 1G2s 1d西 2G5s 2d西 3G7m 3d1m 4G7s 4d9p 1G発 1d北 2G2m 2d9s 3G中 3d2s  
 \* 4G東 4D東 1G8s 1d東 2G西 2D西 3G9p 3d7m 4G3s 4d8m 1G5p 1d発 2G4p 2d9p  
 \* 3G4s 3d7m 4G発 4D発 1G5P 1d8m 2G北 2D北 3G南 3d4s 4G7m 4D7m 1G7p 1d6m  
 \* 2G9s 2D9s 3G2s 3D2s 4G1p 4d1s 1G2p 1d2s 2G4s 2d9m 3G9m 3d白 4G9m 4D9m  
 \* 1G9s 1D9s 2G7p 2D7p 3C8p9p 3d北 4G7s 4d3p 1G西 1D西 2G1m 2d2s 3G5M 3D5M  
 \* 4G6s 4d3s 1G6p 1d2p 3N2p2p 3d9m 4G3s 4D3s 1G8s 1d5p 2G3m 2d2m 3G3s 3D3s  
 \* 4G白 4D白 1G7p 1R 1d6s 2C4s5s 2d2p 3G白 3D白 4G1p 4d6s 1G7p 1D7p 2G白  
 \* 2D白 3G5s 3D5s 4G3m 4d5s 1G8m 1D8m 2G発 2D発 3G2m 3D2m 4G4m 4d1p 1G5m  
 \* 1D5m 2G6m 2d5m 3G7m 3D7m 4G1m 4d1p 1G6m 1D6m 2G4s 2d6m 3G5S 3D5S 4G8m  
 \* 4d1p 1G1s 1A

図 6 mjscore 形式での牌譜

4, 6 から行ったならば, 1C4s6s と表記され, 東をポンしたならば, 1N 東東と表記される. 図 6 に, mjscore 形式で記述された麻雀の対局について示す.

### 5.3 打牌時点ごとの手牌状況の算出

5.2 節で示した mjscore 形式の牌譜データをパースし, 差分から打牌動作ごとに 4 人の手牌がどのようになっているのかを求める. 不要牌が特定枚数になった際, そのときのプレイヤーの不要牌, 向聴数, 有効牌をデータベースに保存する. これを不要牌の枚数ごとに行う. 不要牌の長さを揃えることで, 可変長である不要牌の枚数が固定長となり, 過不足なく比較することが可能となる.

### 5.4 不要牌をクエリとした検索例

4 章で提案した手法を用いて, 不要牌の類似度計量や, 危険度の算出を行う. また, 算出した危険度について可視化を行う. そして, その実例を示し, 結果がどの程度現実 に即しているのか考察を行う.

#### 5.4.1 類似度計量と危険度の算出

新規不要牌を入力とし, 過去の似た不要牌を検索する. まず, 4.5.1 節で示した方式を用いて, 新規不要牌と保存されている全ての過去不要牌との類似度を計量する. その後, 任意の閾値を設定し, その閾値を超えた不要牌を類似する過去不要牌として採用する.

閾値の設定は, 絶対的に設定する方法と, 相対的に設定する方法が存在する. 出現頻度の低い不要牌の並びを検索する場合, ほとんどの過去不要牌に対して距離が遠くなる. 一方, 出現頻度の高い不要牌の並びを検索する場合, ほとんどの過去不要牌に対して距離が近くなる. 5.1 節で示したように使用したオープンデータは 3,000 局分と少ないため, 絶対的な閾値を用いると検索されるデータ数の差が推定結果に大きな影響を及ぼしてしまう. このことから, 相対的に閾値を設定する方法を採用した. 具体的には, 全ての過去不要牌に対する類似度の平均値を求め, それを 0.8 倍したものを閾値として用いることとする. 大量のデータを用

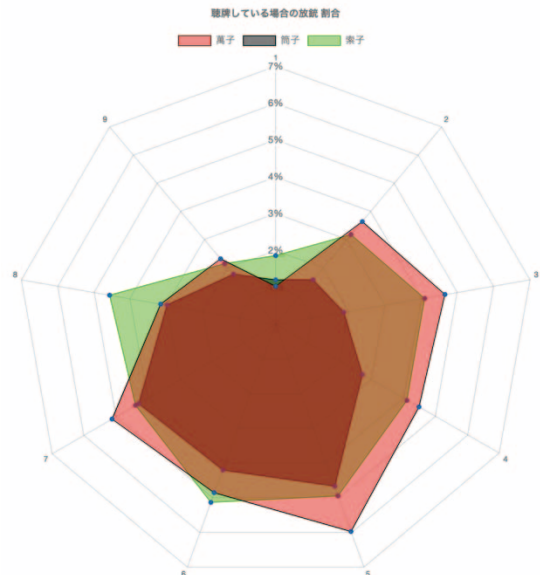


図 7 牌の放銃率の出力

いて本手法を行う場合, 出現頻度の低い不要牌で検索されるデータ数と出現頻度の高い不要牌で検索されるデータ数の差は, 推定結果に対する影響が小さくなる. そのため, 一定の基準で推定することができるよう絶対的な閾値の設定方法を用いる方が良いと考えられる.

過去不要牌の検索後は, 4.5.2 節で示したように, 採用手牌から向聴数の確率と放銃する可能性のある牌の危険度を算出する. また, 向聴数ごとの出現回数をカウントする際には, 3 向聴以上のものは出現回数が低いため, 影響が小さいと考えまとめてカウントを行った.

#### 5.4.2 可視化と検証

5.4.1 節で求めた向聴数ごとの確率と放銃する危険のある牌の可視化を行う. 可視化は, CGI と Chart.js を用いて行った. 使用言語は Python である. 実例を示し, その有効性について検証する.

2m, 4p, 2z, 2p, 1s, 3p, 1z という新規不要牌について考える. このときの手牌は, 566m3457s555777z であった. 図 7 に, この局面での各数牌の放銃率について示す.

図 7 は, 上記の局面における各数牌の放銃率を表している. 図中上から時計回りに 1~9 の番号が振られており, それぞれが数牌の番号に対応している. レーダーチャートの色は, 赤が萬子, 黒が筒子, 緑が索子を表しており, パーセンテージが高い方がより危険な牌となっている. 例えばこの局面では, 萬子の 5 が放銃率 6% となっており, 一番危険な牌であることが示されている.

過去不要牌で似ていると判断されたものは 9364 件あり, その類似度の平均値は, 10.933 であった. つまり, 閾値は, これを 0.8 倍した 8.7464 となる. 推定された向聴数ごとの確率は, それぞれ, 聴牌が 6%, 1 向聴が 32.5%, 2 向聴が 43.7%, 3 向聴以上が 17.8% となった. 7 巡目における聴牌率の平均は, 約 13%[9]と言われている

が、実際の新規局面の手牌は聴牌していないことから、推定された聴牌している確率である 6% という数値は、局面の傾向を捉えていると言える。また、筒子が多く捨てられていることから、手牌に筒子があまりなく、萬子や索子が危険牌となることが予測され、図 7 に示した通り、推定結果も萬子や索子が危険であると出力されている。さらに、実際の手牌の中にも筒子はなく、将来的に萬子もしくは、索子が危険牌になる可能性が高くなっている。これらのことから不要牌類似計量方式は、一定の有効性が見込める手法だと考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、麻雀における他プレイヤーの手牌を推定し、危険度を算出するための不要牌類似計量方式の提案と実装を行った。本方式では、麻雀牌それぞれに対する距離を定義し、新規不要牌の配列と過去不要牌の配列の類似度を定義することで、過去局面のデータに対する類似計量を行う。これにより、過去局面から牌の危険度の推定を行うことが可能となった。また、可視化を行うことで、その有効性の検証を行った。

既存の麻雀 AI のように、結果のみを出力するのではなく、その出力の根拠として、どのような不要牌のとき、どの牌が危険なのかということもセットで出力することで、人間が理解しやすい教育的な麻雀 AI の実現が期待できる。

今後の課題として、ドラ、自風、場風、点数状況、手出しかつモ切りかという公開情報をどのように扱うのかということや、総合的に不要牌を判断する方法、打点を考慮した推定方法など、不要牌類似計量方式には、考慮していない要素が数多く存在する。また、2 章で示した麻雀における期待値計算の式において、本稿では求めることが出来なかった変数に関しても導出することが必要である。

[9] “天鳳統計(2) ～ 巡目ごとの向聴数・立直率・和了率 – kob a::blog” 入手先 <<https://blog.kobalab.net/entry/20180118/1516202840>> (参照 2020-05-18).

## 参考文献

- [1] Silver, David, et al. “Mastering the game of go without human knowledge.” *Nature* 550.7676, pp.354-359, 2017.
- [2] 情報処理学会, コンピュータ将棋プロジェクトの終了宣言, 2015, 入手先 <<http://www.ipsj.or.jp/50anv/shogi/20151011.html>> (参照 2020-05-18).
- [3] Junjie, Li, et al. “Suphx: Mastering Mahjong with Deep Reinforcement Learning.” 2020, 入手先 <<https://arxiv.org/pdf/2003.13590.pdf>> (参照 2020-05-18).
- [4] “天鳳(てんほう) | 最高峰の対戦麻雀サイト” 入手先 <<https://tenhou.net/>> (参照 2020-05-18).
- [5] とつげき東北, おしえて!科学する麻雀, 洋泉社, 2009.
- [6] 水上直紀, 中張遼太郎, 浦晃, 三輪誠, 鶴岡慶雅, 近山隆. 多人数性を分割した教師付き学習による四人麻雀プログラムの実現, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.11, pp.1-11, 2014.
- [7] 萩原涼太, 山田渉央, 佐藤直之, 池田心, 麻雀における相手のアグリ点数予測法の性能評価, 情報処理学会研究報告. GI, Vol.2016-GI-35, No.11, pp.1-8, 2016.
- [8] “オンライン対戦麻雀 天鳳 / Flash 版専用ブラウザ” 入手先 <<https://tenhou.net/0/wb.html>> (参照 2020-05-18).