

2016 年度 卒 業 論 文

麻雀におけるコンビ打ちを考慮した AI に関する研究

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 ゲームサイエンス プロジェクト

学籍番号 M0113362

浜辺 文太

2017 年 3 月

2016 年度 卒 業 論 文 概 要

論文題目

麻雀におけるコンビ打ちを考慮した AI に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0113362

氏  
名

浜辺 文太

指導  
教員

渡辺 大地 講師

キーワード

麻雀、ゲーム、コンビ打ち、AI、不完全情報ゲーム

将棋や囲碁、チェス等のボードゲームは昔から様々な人が遊び、時には競技種目として採用してきた。麻雀もその中の一つである。二人零和有限確定完全情報ゲームである将棋や囲碁は、ゲーム理論におけるミニマックス法等を用いることで理論的には完全に先読みすることが出来る。そのため将棋や囲碁の AI の研究は盛んに行われてきた。実際に強い AI の実現にも至っている。しかし、不完全情報ゲームに分類される麻雀は運の要素が強く、ポーカー等と比べると取れる選択肢が多いので AI の研究は難しい部類になる。

麻雀ゲームの歴史は古く他のボードゲームと大差がない、1980 年代にはファミリーコンピュータ等で麻雀のゲームが発売されている。その頃から AI と対戦する事が出来たがあまり強くは無かった。また、たまに強い AI があっても牌の交換を行っている場合が多かったので強い AI とは言い難い。しかし、コンピュータの普及で麻雀ゲームが広まり AI の需要が高まると研究が進み、現在では純粋な思考ルーチンのみで強い AI が作られてきた。最近ではモンテカルロ法を利用した研究や不完全な情報を推測する研究も報告されている。その一方で、麻雀のゲームに使われる AI は純粋な強さ以外が求められる側面もある。その一環として安西の作成した支援をする麻雀クライアントの開発がある。また、安西の研究を参考に狙い撃ち手法による支援麻雀クライアントを開発する研究や複数クライアントによる支援麻雀の研究もあり、いずれも支援を目的とした研究である。支援とは特定の相手を多く勝たせ楽しいと感じさせる事を目的とした戦法である。

そこで本研究では麻雀のコンビ打ちに着目した。本来麻雀は 4 人が個人でプレイするのに対し、コンビ打ちは 4 人の内 2 人が協力してプレイするという少し変わった打ち方である。AI にコンビ打ちをさせ純粋な思考ルーチンの強さとは別の強さを実現することを目的とした。

# 目次

|       |                 |    |
|-------|-----------------|----|
| 第 1 章 | はじめに            | 1  |
| 1.1   | 研究背景と目的         | 1  |
| 1.2   | 論文構成            | 2  |
| 第 2 章 | 麻雀のコンビ打ちについて    | 3  |
| 2.1   | 麻雀のルール          | 3  |
| 2.2   | コンビ打ちの手法        | 6  |
| 第 3 章 | コンビ打ち AI の実現方法  | 8  |
| 3.1   | 提案手法            | 8  |
| 3.2   | 役の成立条件          | 10 |
| 3.2.1 | 断ヤオ九の成立条件       | 10 |
| 3.2.2 | 役牌の成立条件         | 10 |
| 3.2.3 | 全帯公の成立条件        | 11 |
| 3.2.4 | 三色同順の成立条件       | 11 |
| 3.2.5 | 一气通貫の成立条件       | 12 |
| 3.2.6 | 対々和の成立条件        | 12 |
| 3.2.7 | 三色同刻の成立条件       | 12 |
| 3.2.8 | 混一色の成立条件        | 13 |
| 3.3   | トップを狙う AI の実装方法 | 13 |
| 3.3.1 | 断ヤオ九の評価関数       | 14 |
| 3.3.2 | 役牌の評価関数         | 14 |
| 3.3.3 | 全帯公の評価関数        | 14 |
| 3.3.4 | 三色同順の評価関数       | 15 |
| 3.3.5 | 一气通貫の評価関数       | 15 |
| 3.3.6 | 対々和の評価関数        | 16 |
| 3.3.7 | 三色同刻の評価関数       | 16 |

|       |                           |    |
|-------|---------------------------|----|
| 3.3.8 | 混一色の評価関数 . . . . .        | 17 |
| 3.3.9 | 捨て牌に対するアクション . . . . .    | 17 |
| 3.4   | サポートをする AI . . . . .      | 18 |
| 3.4.1 | トップを狙う AI に差し込む . . . . . | 19 |
| 3.4.2 | トップを狙う AI に鳴かせる . . . . . | 19 |
| 第 4 章 | 評価実験 . . . . .            | 20 |
| 4.1   | 実験内容 . . . . .            | 20 |
| 4.2   | 実験結果 . . . . .            | 21 |
| 第 5 章 | 考察 . . . . .              | 23 |
| 5.1   | AI の強さ . . . . .          | 23 |
| 5.2   | コンビ打ちの効果 . . . . .        | 23 |
| 第 6 章 | まとめ . . . . .             | 25 |
|       | 謝辞 . . . . .              | 26 |
|       | 参考文献 . . . . .            | 27 |

# 目 次

|     |          |    |
|-----|----------|----|
| 2.1 | 対局例      | 4  |
| 2.2 | 風牌       | 5  |
| 2.3 | 三元牌      | 5  |
| 2.4 | 萬子       | 5  |
| 2.5 | 筒子       | 5  |
| 2.6 | 索子       | 5  |
| 3.1 | 手牌例      | 9  |
| 3.2 | 断ヤオ九の手牌例 | 10 |
| 3.3 | 役牌の手牌例   | 11 |
| 3.4 | 全帯公の手牌例  | 11 |
| 3.5 | 三色同順の手牌例 | 11 |
| 3.6 | 一気通貫の手牌例 | 12 |
| 3.7 | 対々和の手牌例  | 12 |
| 3.8 | 三色同刻の手牌例 | 13 |
| 3.9 | 混一色の手牌例  | 13 |

# 表 目 次

|     |                                    |    |
|-----|------------------------------------|----|
| 3.1 | 鳴いても成立する役表 . . . . .               | 8  |
| 4.1 | トップを狙う AI の和了率と振り込み率 . . . . .     | 21 |
| 4.2 | トップを狙う AI の順位の割合 . . . . .         | 21 |
| 4.3 | サポートをする AI の振り込みと差し込みの比較 . . . . . | 21 |

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景と目的

将棋や囲碁、チェス等のボードゲームは昔から様々な人が遊び、時には競技種目として採用してきた。麻雀もその中の一つである。二人零和有限確定完全情報ゲーム [1] である将棋や囲碁は、ゲーム理論におけるミニマックス法 [2] 等を用いることで理論的には完全に先読みすることが出来る。そのため将棋や囲碁の AI の研究 [3][4] は盛んに行われてきた。実際に強い AI の実現にも至っている [5]。しかし、不完全情報ゲームに分類される麻雀は運の要素が強く、ポーカー等と比べると取れる選択肢が多いので AI の研究は難しい部類になる。

また、将棋等と比べると麻雀の歴史は浅く、将棋は 16 世紀後期には現在のような形になった [6] と言われているのに対し、麻雀は 19 世紀後半と言われている [7]。日本では、昭和 40 年代に今のルール [8] で広まった。その要因として、昭和 44 年に連載した「麻雀放浪記」 [9] や昭和 47 年に発行した麻雀専門誌「近代麻雀」 [10] 等のメディアを上げることができる。現在では、麻雀を題材としたアニメ [11] やゲーム [12]、漫画 [13] といったものにより若者にも親しみ深いものになっている。このように、アナログの麻雀は他のアナログのボードゲームと比べて比較的新しい為、その点からも研究があまり進んで無いことが伺える。

一方で麻雀のビデオゲームの歴史は古く他のボードゲームのビデオゲームと大差がない。1980年代にはファミリーコンピュータ等で麻雀のゲームが発売 [14] されている。その頃から AI と対戦する事が出来たがあまり強くは無かった。また、強い AI があってもプレイヤーに見えない範囲で、牌を不正に交換している場合が多かった。しかし、コンピュータの普及で麻雀ゲームが広まり AI の需要が高まると研究が進み、現在では純粋な思考ルーチンのみで強い AI [15] が作られてきた。最近ではモンテカルロ法を利用した研究 [16] や不完全な情報を推測する研究 [17][18] も報告されている。その一方で、麻雀のゲームに使われる AI は純粋な強さ以外が求められる側面もある。その一環として安西の作成した支援をする麻雀クライアント [19] がある。また、安西の研究を参考に狙い撃ち手法による支援麻雀クライアントを開発する研究 [20] や複数クライアントによる支援麻雀の研究 [21] もあり、いずれも支援を目的とした研究である。支援とは特定の相手を多く勝たせ楽しいと感じさせる事を目的とした戦法である。

本研究では、純粋に思考ルーチンのみで勝率を高める AI とは別の AI を作成しようと考えた。そこで本研究では麻雀のコンビ打ちに着目した。本来麻雀は 4 人が個人でプレイするのに対し、コンビ打ちは 4 人の内 2 人が協力してプレイするという少し変わった打ち方である。少し変わった打ち方であるコンビ打ちを AI で実現する事を目的とした。

## 1.2 論文構成

本論文は全 6 章にて構成する。構成は 2 章にて麻雀の説明とコンビ打ちについて述べ、3 章ではコンビ打ち AI の実装方法について述べる。そして 4 章では、実際に検証を行い、5 章で実験の考察を述べ、6 章にてまとめを述べる。



## 第 2 章

# 麻雀のコンビ打ちについて

### 2.1 麻雀のルール

基本的に麻雀は、4人でプレイするゲームである。まずはじめに、山と呼ばれる牌のまとまりから各プレイヤーに13枚ずつ牌を配る。これを「配牌」と言い、各プレイヤーが持っている牌のまとまりを「手牌」と言う。配牌が終わったら各プレイヤーが順番に牌を山から1枚取ってきて手牌に加える。これを「ツモ」と言う。そして要らない牌を手牌から1枚捨てる。この牌を捨て牌と言う。これを繰り返して誰が一番早く手牌を特定の形にできるかを競うゲームである。手牌を特定の形にする事を「和了」と言う。

ゲームを始める時に、どのプレイヤーからツモをするか決める。最初につもをするプレイヤーを「親」または「東家」と呼ぶ。東家から見て反時計回りのプレイヤーを順番に「南家」「西家」「北家」と呼ぶ。ゲームの進行は東家、南家、西家、北家の順番に行い、北家が終わったらまた東家に戻る。山から全ての牌が無くなるか誰かが和了することで1セット終了となる。この1セットの事を「局」と言う。局が終わると南家だったプレイヤーが親となり新しい局を始める。親が1巡するまでの4局のことを「場」と呼び、最初の場のことを「東場」、親が2巡目に入ると「南場」と呼ぶ。南場に入る際点数は持ち越しになる。東場だけでゲームを終わらせる場合を「東風戦」、

南場までゲームを続ける場合を「半荘戦」と呼ぶ。図 2.1 は麻雀の対局時の例である。下のプレイヤーが東家、右のプレイヤーが南家、上のプレイヤーが西家、左のプレイヤーが北家である。

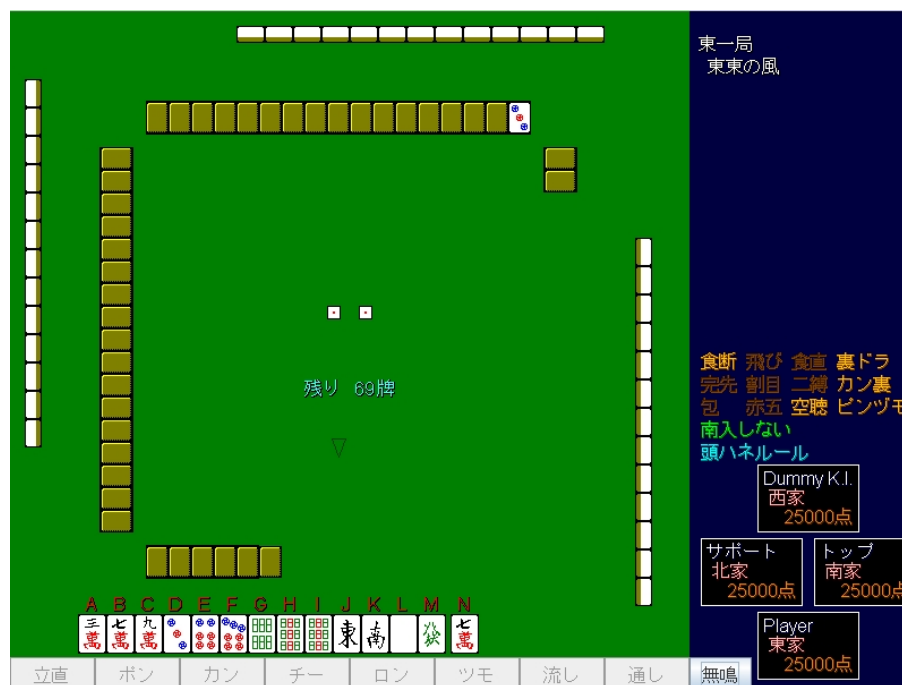


図 2.1 対局例

牌の種類は大きく分けて「字牌」と「数牌」の二つに分ける事が出来る。字牌は東南西北の方角が書いてある「風牌」4種類と白撥中の「三元牌」3種類の合計7種類がある。図 2.2 は風牌の参考画像であり、左から東、南、西、北の牌である。図 2.3 は三元牌の参考画像であり、左から白、撥、中の牌である。また図 2.2 以降の画像は雀のお宿の牌姿専用タグ生成 [22] を利用し作成した。数牌は1から9の数字が書いてあり、漢字で書いてある「萬子」と、丸の数で数字を表している「筒子」と、竹で数字を表している「索子」の3種類がある。図 2.4 は萬子の牌、図 2.5 は筒子の牌、図 2.6 は索子の牌の参考画像である。左から順番に1から9まで並んでいる。麻雀ではこの36種類の牌をそれぞれ4枚ずつ使ってゲームを行う。麻雀では基本的に、3枚1組のまとまりを4つと2枚1組のまとまりを1つの形の手牌を目指す。3枚1組のまとまりを「面子」、2枚1組のまとまりを「雀頭」と言う。雀頭は同じ牌を2枚揃える。面子は「順子」「刻子」「槓子」の3種



图 2.2 風牌



图 2.3 三元牌

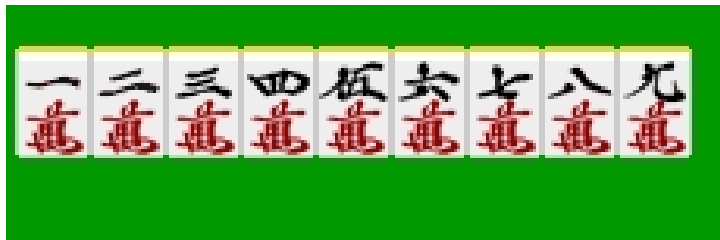


图 2.4 萬子

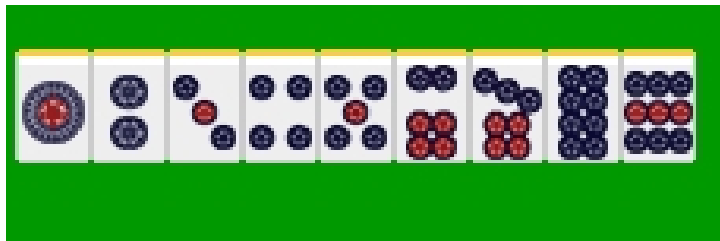


图 2.5 筒子

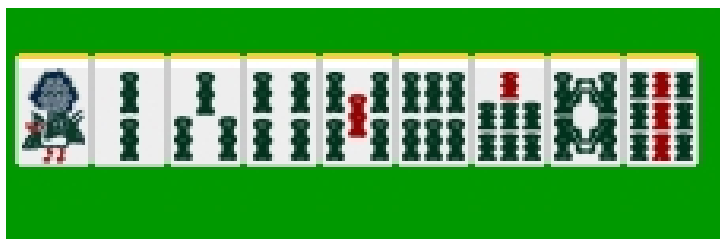


图 2.6 索子

類がある。順子とは、連続した同じ種類の3つの数字牌のまとまりのことを言う。刻子とは、3つの同じ牌のまとまりのことを言う。槓子とは4つの同じ牌のまとまりのことを言い、例外的に槓子だけ4枚で1組の面子として扱う。残り1手で1雀頭4面子の形が完成する状態を「聴牌」と呼び、あえて自分が聴牌していると宣言をし、和了時の得点を高くすることも可能である。この宣言を「リーチ」と呼ぶ。1雀頭4面子のある特定の組み合わせを「役」と呼び、揃えるのが困難な役ほど得点が高い。

また、麻雀ではゲームの途中で自分以外の誰かが捨てた牌を自分の手牌に加える事が出来る。この行為を「鳴く」と言う。鳴きには「ポン」「チー」「カン」の3種類がある。誰かが捨てた牌と自分の手牌の牌で刻子が完成する時はポンを、順子が完成する時はチーを、槓子が完成する時はカンをすることができ、捨て牌を面子として自分の手牌に加える。自分のツモの代わりとして扱う為、ツモの順番を意図的に変更するという目的の際にも有効であるが、局中に1度でも鳴いてしまうと、その局中自分はリーチができなくなり、特定の役が成立しなくなるといった欠点も存在する。

## 2.2 コンビ打ちの手法

麻雀のコンビ打ちとは、4人のプレイヤーが2人ずつのチームに分かれて行う2対2のチーム戦のことを言う場合と、4人の内2人だけが協力してゲームを有利に進めるイカサマのことを言う場合がある。本研究では後者の意味で用いる。またコンビ打ちのイカサマの中に、2人の手牌で必要な牌を交換しあうものや、自動卓で無い場合に（山を自分たちの手で積む場合）に山に任意の牌を積むといったイカサマがある。しかし、このような牌を直接操作するようなイカサマは本研究では考慮しない。

実際のコンビ打ちは、目線等の合図によりお互いの必要な牌の情報を交換しその情報を元に行動する。本研究は合図を送るすべが無いので、合図の代わりに内部で情報を交換することによ

て実装する。

麻雀のコンビ打ちの手法は以下が挙げられる。

- 差し込み

意図的に味方の和了牌を捨てること。オーラス（最後の局）で味方のトップを確定させる時や、味方が親の時に連チャン（親が上がるともう一度親ができる）させる時によく用いられる。

- 鳴かせ

仲間に鳴くことができる必要牌を鳴かせること。

- ブラフ

河（捨てた牌を置く場所）で点数が高い手牌を装い相手に警戒させ、捨て牌を絞らせる。

- 海底送り

鳴いてツモ順をずらし、海底牌（局の最後にツモる牌）を味方にツモらせる。海底牌で和了すると点数が高くなる。

- ドラ増やし

槓をしてドラ（持ってるだけで点数が上がる牌）を増やす。味方がリーチをしている時により有効になる。

- 相手の危険牌を切って味方の安牌を増やす

相手の危険牌（和了する可能性の高い牌）を捨ててその牌が安牌（相手が和了できない牌）かを確認し、味方が捨てられる牌を増やす。

- 味方の危険牌を切らないで安牌を増やさない

味方がリーチ等をして聴牌している際に、その味方の危険牌を捨て、味方が和了できない場合、その牌が安牌となり対戦相手に有利に働く為、味方の危険牌は捨てない。

## 第 3 章

# コンビ打ち AI の実現方法

### 3.1 提案手法

本研究では”まうじゃん for java”[23] 上でトップを狙う AI とそれをサポートする AI の 2 つの AI を実装する。サポートする手法は 2.2 節で記述したコンビ打ちの手法の内、「鳴かせ」と「差し込み」を実装する。「鳴かせ」をする場合、鳴いても和了が成立する役を作る必要がある。鳴いても成立する役は 29 つあり、表 3.1 は役成立時の得点毎にまとめた表である。

表 3.1 鳴いても成立する役表

|    |            |            |           |      |     |      |      |
|----|------------|------------|-----------|------|-----|------|------|
| 一翻 | 断ヤオ九<br>槍槓 | 白<br>海底撈月  | 發<br>河底撈魚 | 中    | 門風牌 | 莊風牌  | 嶺上開花 |
| 二翻 | 全帶公<br>三槓子 | 混老頭<br>小三元 | 三色同順      | 一氣通貫 | 対々和 | 三色同刻 | 三暗刻  |
| 三翻 | 純全帶        | 混一色        |           |      |     |      |      |
| 六翻 | 清一色        |            |           |      |     |      |      |
| 役満 | 大三元        | 字一色        | 四喜和       | 大四喜  | 緑一色 | 清老頭  | 四槓子  |

上記以外にも一部のルールで採用される役があるが、本研究では考慮しない事とする。また本研究では、トップを狙う AI は和了時の点数が高くなることよりも、聴牌までの手順が少なくなる

ことを重視し、サポート方法もその目標に準ずる。目標を踏まえ、トップを狙う AI が目指す役は先述した 29 の内、8 つ（断ヤオ九、役牌、全帯公、三色同順、一气通貫、対々和、三色同色、混一色）となる。これらに絞った理由は、大きく分けて以下の 2 つある。

まず、状況によって成立する役を除外する。状況によって成立する役とは、聴牌している場合その手牌の組み合わせに関わらず、特定条件下で成立する役である。特定条件とは、その局の最後のツモが自分であり、かつ、そのツモ牌で和了が成立するといったものである。嶺上開花、槍槓、海底撈月、河底撈魚の 4 役は特定条件がそれぞれ異なるが、全て自牌の組み合わせに依存しない状況による成立役の為、偶然性が高いという点から本手法では対象外とする。

次に、上位の役が存在する役は全てその下位の役にまとめる。上位の役、下位の役とは、例を上げると大三元と役牌である。仮に、白 3 枚、撥 3 枚、中 3 枚、萬子の 5 を 2 枚、索子の 4、5、6 という図 3.1 の様な手牌があるとする。この手牌は三元牌の刻子を 3 つ作る、という条件を満たしているので大三元が成立する。しかし、役がつく字牌で刻子を作る、という条件も満たしているので自動的に役牌も成立している。このように役 A の条件を満たすと自動的に役 B の条件も満たされるような場合、役 A は役 B の上位の役である。また、麻雀は点数が低い役程条件が少なくなり、聴牌しやすくなる。本研究では点数の高さより聴牌までの速度を重視しているため、点数が低い役にまとめて評価する。



図 3.1 手牌例

## 3.2 役の成立条件

本研究で使用する役の成立条件について述べる。本研究の AI はここで述べる条件を成立させる様に開発する。

### 3.2.1 断ヤオ九の成立条件

断ヤオ九は、中張牌と言う牌のみで手牌を構成すると成立する。中張牌とは数牌の 2 から 8 までの 21 種類の牌のことである。

図 3.2 は断ヤオ九が成立する手牌の例である。



図 3.2 断ヤオ九の手牌例

### 3.2.2 役牌の成立条件

役牌は、役が付く字牌で刻子もしくは槓子を作れば他の面子と雀頭をどの牌で構成していても成立する。役が付く字牌には、まず三元牌がある。三元牌はどの場合においても役が付く牌である。次に場風牌と自風牌がある。場風牌とは場が東場なら東の牌、場が南場なら南の牌と現在の場に応じて変化する。自風牌とは自分が東家なら東の牌、南家なら南の牌と現在の局のツモ順に応じて変化する。

図 3.3 は役牌の成立する手牌の例である。





図 3.3 役牌の手牌例

### 3.2.3 全帯公の成立条件

全帯公は、全ての面子と雀頭にヤオ九牌と言う牌を含めて手牌を構成すれば成立する。ヤオ九牌とは数牌の 1、9 と字牌全ての 13 種類の牌のことを言う。なお、全ての手牌をヤオ九牌にする必要はない。

図 3.4 は全帯公が成立する手牌の例である。

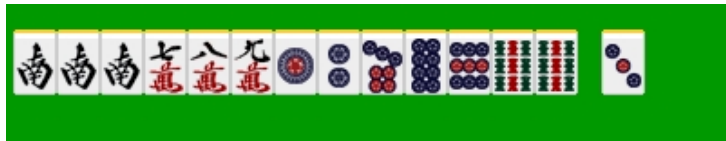


図 3.4 全帯公の手牌例

### 3.2.4 三色同順の成立条件

三色同順は、萬子筒子索子 3 種類の数牌で同じ数字の順子を 1 つずつ揃えることで成立する。この際他の面子、雀頭はどの牌でも良い。

図 3.5 は三色同順が成立する手牌の例である。



図 3.5 三色同順の手牌例

### 3.2.5 一気通貫の成立条件

一気通貫は、数牌の1種類を1から9まで1つずつ揃えることで成立する。この際、数牌の1、2、3を1面子、4、5、6を1面子、7、8、9を1面子として数える。また他の面子、雀頭はどの牌でも良い。

図 3.6 は一気通貫が成立する手牌の例である。

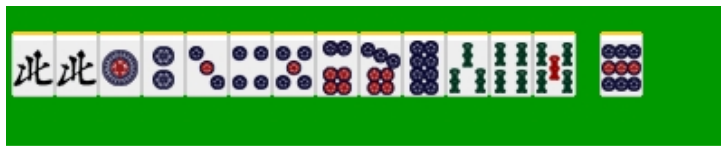


図 3.6 一気通貫の手牌例

### 3.2.6 対々和の成立条件

対々和は、全ての面子を刻子もしくは槓子で揃え、さらに鳴きを1回以上使って手牌を構成すると成立する。なお、鳴きを1回も使わないで構成した場合四暗刻と言う上位役になる。

図 3.7 は対々和が成立する手牌の例である。



図 3.7 対々和の手牌例

### 3.2.7 三色同刻の成立条件

三色同刻は、萬子筒子索子3種類の数牌で同じ数字の刻子もしくは槓子を1つずつ揃えることで成立する。この際他の面子、雀頭はどの牌でも良い。

図 3.8 は三色同刻が成立する手牌の例である。

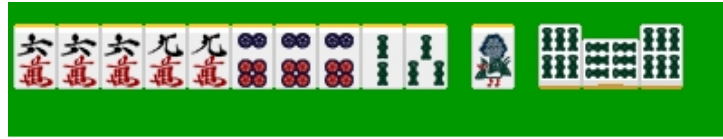


図 3.8 三色同刻の手牌例

### 3.2.8 混一色の成立条件

混一色は、数牌の内どれか 1 種類及び字牌の中から手牌を構成することで成立する。

図 3.9 は混一色が成立する手牌の例である。



図 3.9 混一色の手牌例

## 3.3 トップを狙う AI の実装方法

トップを狙う AI について述べる。トップを狙う AI に実装する機能は主に自分の手番の時の手牌作りと他家の捨て牌に対するアクションの 2 つである。手牌の完成度の高さを数値化し評価点を算出する関数を本研究では手牌の評価関数とする。自分の手番の時の手牌作りでは 3.1 節で記述した 8 つの役の完成を目指す。自分の手番では、それぞれの役に対する手牌の評価点を計算し評価点が一番高い役を目指す。また、その役を目指す為の捨て牌を決める。評価関数の実装方法は以下に述べる。また、搭子と対子に対する待ち牌の、まだ見えていない牌の数を待ちの残り牌の数とする。搭子とはあと 1 つで順子となる 2 枚の牌、対子とは同じ種類の牌 2 枚のことをいう。

初めにツモ牌を含む 14 枚の手牌情報を取得する。その内任意の 1 枚を仮捨て牌とし、残りの 13 枚に対し役毎の評価関数を用いて評価点を算出する。仮捨て牌を別種類の 1 枚に変更した後同

様の処理を行う。これを手牌内の全種類が仮捨て牌になるまで繰り返し行う。算出した評価点より、本捨て牌を決定する。

### 3.3.1 断ヤオ九の評価関数

13枚の牌の中からさらにヤオ九牌を取り除く。この時牌の数が1以下になった場合評価値は0点を返す。2枚以上ある場合は、刻子、順子、対子、搭子がそれぞれ幾つあるかを算出する。対子はさらに、1つ目の対子は仮の雀頭とする。2つ目以降の対子と刻子、順子、搭子、の数の合計が4つ以下になるようにし、5つ目以降は計算に入れない。この際、対子、刻子、順子、搭子の順番を入れ替えて全てのパターンを計算し、刻子と順子と雀頭は1つにつき20点、対子と搭子は $2 \times$  (待ちの残り牌の数) 点を加算する。仮決定した雀頭を別の対子と入れ替えて再度評価点の計算を行う。これを対子の数だけ繰り返し、一番評価の高い組み合わせが評価点になる。

### 3.3.2 役牌の評価関数

13枚の牌の中から刻子、順子、対子、搭子がそれぞれ幾つあるかを算出する。対子はさらに、1つ目の対子は仮の雀頭とする。2つ目以降の対子、刻子、順子、搭子の数の合計が4つ以下になるようにし、5つ目以降は計算に入れない。この際、対子、刻子、順子、搭子の順番を入れ替えて全てのパターンを計算する。その結果から、役が付く字牌の刻子は80点、それ以外の刻子と順子と雀頭は20点、役が付く字牌の対子は $5 \times$  (待ちの残り牌の数) 点、それ以外の対子と搭子は $2 \times$  (待ちの残り牌の数) 点を加算する。仮決定した雀頭を別の対子と入れ替えて再度評価点の計算を行う。これを対子の数だけ繰り返し、一番評価の高い組み合わせが評価点になる。

### 3.3.3 全帯公の評価関数

13枚の牌の中からさらに数字牌の4、5、6を取り除く。この時牌の数が1以下になった場合評価値は0点を返す。2枚以上ある場合は、刻子、順子、対子、搭子がそれぞれ幾つあるかを算出す

る。対子はさらに、1つ目の対子は仮の雀頭とする。2つ目以降の対子、刻子、順子、搭子の数の合計が4つ以下になるようにし、5つ目以降は計算に入れない。この際、対子、刻子、順子、搭子の順番を入れ替えて全てのパターンを計算する。その結果から、刻子と順子と雀頭は1つにつき20点、対子と搭子は $2 \times$  (待ちの残り牌の数) 点を加算する。仮決定した雀頭を別の対子と入れ替えて再度評価点の計算を行う。これを対子の数だけ繰り返し、一番評価の高い組み合わせが評価点になる。

### 3.3.4 三色同順の評価関数

13枚の牌の中で1から7の数字の中から一つピックアップする。萬子、筒子、索子の中からピックアップした数字の牌とその上2つまでの牌が手牌にあるか確認する。ピックアップした数字の牌とその上2つまでの牌が順子の場合20点、搭子は $2 \times$  (待ちの残り牌の数) 点、1枚しかない場合は2点を加算する。次に上記の計算で使った牌以外の牌で、刻子、順子、対子、搭子がそれぞれ幾つあるかを算出する。対子はさらに、1つ目の対子は仮の雀頭とする。2つ目以降の対子、刻子、順子、搭子の数の合計が1つ以下になるようにし、2つ目以降は計算に入れない。この際、対子、刻子、順子、搭子の順番を入れ替えて全てのパターンを計算する。その結果から、刻子と順子と雀頭は1つにつき10点、対子と搭子は $1 \times$  (待ちの残り牌の数) 点を加算する。仮決定した雀頭を別の対子と入れ替えて再度評価点の計算を行う。これを対子の数だけ繰り返す。ここで数字のピックアップに戻り、1から7の数字全てをピックアップするまで繰り返す。この時一番高い点数が選択した捨て牌に対する評価点になる。

### 3.3.5 一气通貫の評価関数

まずは萬子、筒子、索子で場合分けをする。萬子の場合、萬子の1、2、3、の中から手牌にあるものをピックアップし、それが順子なら20点、搭子なら $2 \times$  (待ちの残り牌の数) 点、1枚しか

なら 2 点を加算する。萬子の 4、5、6、と 7、8、9、でも同様に計算する。次に上記の計算で使  
した萬子以外の萬子 (同じ牌が 2 枚以上ある萬子) と萬子以外の牌で刻子、順子、対子、搭子がそ  
れぞれ幾つあるかを算出する。刻子、順子、刻子になる前の対子、搭子の数の合計が 1 つになる  
ようにし、2 つ目以降は計算に入れない。この際、対子、刻子、順子、搭子の順番を入れ替えて全  
てのパターンを計算する。その結果から、刻子と順子と雀頭は 1 つにつき 10 点、対子と搭子は  $1$   
 $\times$  (待ちの残り牌の数) 点を加算する。ここまでの合計が萬子での評価点となる。筒子と索子でも  
同様に計算する。萬子と筒子と索子で一番点数が高いものを最終的な評価点とする。

### 3.3.6 対々和の評価関数

13 枚の牌の中で刻子と対子がそれぞれ幾つあるかを算出する。対子はさらに、1 つ目の対子は  
仮の雀頭とする。2 つ目以降の対子、刻子、数の合計が 4 つ以下になるようにし、5 つ目以降は計  
算に入れない。この際、対子、刻子の順番を入れ替えて全てのパターンを計算する。その結果か  
ら、刻子と雀頭は 1 つにつき 20 点、対子は  $2 \times$  (待ちの残り牌の数) 点を加算する。仮決定した  
雀頭を別の対子と入れ替えて再度評価点の計算を行う。これを対子の数だけ繰り返し、一番評価  
の高い組み合わせが評価点になる。

### 3.3.7 三色同刻の評価関数

13 枚の牌の中で 1 から 9 の数字の中から一つピックアップする。萬子、筒子、索子の中から  
ピックアップした数字の牌が何枚あるか確認する。ピックアップした数字の牌が刻子の場合 20  
点、対子は  $2 \times$  (待ちの残り牌の数) 点、1 枚しかない場合は 2 点を加算する。次に上記の計算で  
使った牌以外の牌で、刻子、順子、対子、搭子がそれぞれ幾つあるかを算出する。対子はさらに、  
1 つ目の対子は仮の雀頭とする。2 つ目以降は対子、刻子、順子、搭子の数の合計が 1 つ以下にな  
るようにし、2 つ目以降は計算に入れない。この際、対子、刻子、順子、搭子の順番を入れ替えて

全てのパターンを計算する。その結果から、刻子と順子と雀頭は1つにつき10点、対子と搭子は $1 \times$  (待ちの残り牌の数) 点を加算する。これを対子の数だけ繰り返し、一番評価の高い組み合わせが評価点になる。ここで数字のピックアップに戻り、1から9の数字全てをピックアップするまで繰り返す。この時一番高い点数が選択した捨て牌に対する評価点になる。

### 3.3.8 混一色の評価関数

まずは萬子、筒子、索子で場合分けをする。萬子の場合、その13枚の中からさらに萬子以外の数字牌を取り除く。この時牌の数が1以下になった場合評価値は0点を返す。2枚以上ある場合は、刻子、順子、対子、搭子がそれぞれ幾つあるかを算出する。対子はさらに、1つ目の対子は仮の雀頭とする。2つ目以降は対子、刻子、順子、搭子の数の合計が4つ以下になるようにし、5つ目以降は計算に入れない。この際、対子、刻子、順子、搭子の順番を入れ替えて全てのパターンを計算する。その結果から、刻子と順子と雀頭は1つにつき20点、対子と搭子は $2 \times$  (待ちの残り牌の数) 点を加算する。仮決定した雀頭を別の対子と入れ替えて再度評価点の計算を行う。これを対子の数だけ繰り返し、一番評価の高い組み合わせが評価点になる。ここまでの合計が萬子での評価点となる。筒子と索子でも同様に計算する。萬子と筒子と索子で一番点数が高いものを最終的な評価点とする。

### 3.3.9 捨て牌に対するアクション

次に他家の捨て牌に対するアクションの実装について述べる。他家の捨て牌に対するアクションは聴牌していないときに牌を鳴く、聴牌しているときにロン和了をする2つがある。ロン和了については”まうじゃん for java”に元から実装してあるアルゴリズムを使用する。他家の捨て牌を鳴くときのパターンはポンをする場合、面子の左端をチーする場合、面子の真ん中をチーする場合、面子の右端をチーする場合の4パターンがある。

ポンをする場合、まず捨て牌と同じ牌が手牌に 2 枚以上ある事を確認する。2 枚以上無ければポンはできないので評価点は 0 を返す。次に、捨て牌と手牌の 3 枚を刻子として上記の評価関数を使い計算し、捨て牌を含めない手牌の評価点より捨て牌を含めた手牌の評価点が高くなればポンをする。

チーをする場合、捨て牌が字牌でないことを確認する。捨て牌が字牌の場合は評価点は 0 を返す。次に、3 パターンのチーに対して、チーができるか確認する。確認方法は、面子の左端をチーする場合は捨て牌の数字の 1 つ上の数字の牌と 2 つ上の数字の牌、面子の真ん中をチーする場合は捨て牌の数字の 1 つ上の数字の牌と 1 つ下の数字の牌、面子の右端をチーする場合は捨て牌の数字の 1 つ上の数字の牌と 1 つ下の数字の牌、が手牌にある事を確認する。確認後、チーが不可能ならば 0 点を返す。最後に、捨て牌と手牌にある事を確認した 2 枚を含めた 3 枚を順子として上記の評価関数を使い計算し、捨て牌を含めない手牌の評価点より捨て牌を含めた手牌の評価点が高くなればチーをする。

### 3.4 サポートをする AI

サポートをする AI の実装方法について述べる。本研究での実装方法ではまず、トップを狙う AI の手牌情報を取得する必要がある。本研究ではテキストファイルに一度トップを狙う AI の手牌情報を出し、その手牌情報を、サポートをする AI で読み込むことで実装した。読み込むタイミングはサポートをする AI がツモをして捨て牌を決める時である。また、サポートをする AI 自体は鳴いて手作りはしないので、実装するのは自分の手番の時の機能のみである。自分の手番の時の機能はトップを狙う AI に差し込むのとトップを狙う AI に鳴かせるの 2 つである。また、そのどちらもできない状況では”まうじゃん for java”に元から実装してあるアルゴリズムを使い、捨て牌を決める。



### 3.4.1 トップを狙う AI に差し込む

差し込みの実装には”まうじゃん for java”に元から実装してある、手牌が聴牌しているか判断し、聴牌しているなら和了牌を返り値として返す関数を使う。この関数を使いトップの AI が聴牌しているか判断し、和了牌がサポート AI の手牌にあるならばその牌を切る。

### 3.4.2 トップを狙う AI に鳴かせる

まずはツモ牌を含む 14 枚の手牌情報を取得する。その中から 1 枚を選択する。この 1 枚の牌は仮の捨て牌とする。トップを狙う AI の手牌に対して 3.3.9 節の鳴きに対する評価関数を使い、仮の捨て牌を捨てた場合の評価を計算する。手牌 14 枚全てでこれを行い評価が一番高かった牌を捨てる。

## 第 4 章

# 評価実験

### 4.1 実験内容

コンビ打ち AI が強さの向上に有効かどうか評価する。

まず AI の強さの検証として本研究で開発した AI の内トップを狙う AI と”まうじゃん for java”に付属していた AI（以下既存の AI と呼ぶ）3 つと規定回数だけ対局させ和了率、振り込み率、順位率を集計する。本実験では半荘戦 50 回とした。

次にコンビ打ちが有効かどうかの検証として、本研究で開発したトップを狙う AI とサポートをする AI の 2 つの AI と既存の AI2 つとで規定回数だけ対局させトップを狙う AI の和了率、振り込み率、順位率を集計し、トップを狙う AI と既存の AI3 つとを対局させた時の結果と比較する。またサポート AI のトップを狙う AI への差し込み数と全体への振り込み数を集計し本研究で実装したコンビ打ちの手法の 1 つである差し込みが有効であるか検証する。

今回の実験で採用した麻雀のルールは、4 人打ちで、持ち点 25,000 点スタートでハコ下なし（誰かの持ち点が 0 点未満になった場合即終了）である。

## 4.2 実験結果

半荘 50 回を対局させたところ、局数はコンビ打ちの場合が 577 局、トップを狙う AI のみの場合が 570 局になった。局数に差が出たのは親の連チャンやハコ下による半荘の途中で終了した為である。

表 4.1 はトップを狙う AI が単独で打った場合とコンビを組んで打った場合の和了率と振り込み率の表である。表 4.1 から、トップを狙う AI の和了率はコンビ打ちをした場合約 5.6 % 向上し

表 4.1 トップを狙う AI の和了率と振り込み率

|              | 和了率    | 振り込み率  |
|--------------|--------|--------|
| コンビ打ち        | 17.0 % | 11.6 % |
| トップを狙う AI のみ | 11.4 % | 16.7 % |

た。また、振り込み率もコンビ打ちをした場合約 5.1 % 下がった。

表 4.2 はトップを狙う AI が単独で打った場合とコンビを組んで打った場合の勝率の表である。

表 4.2 トップを狙う AI の順位の割合

|              | 1 位  | 2 位  | 3 位  | 4 位  |
|--------------|------|------|------|------|
| コンビ打ち        | 10 % | 26 % | 42 % | 22 % |
| トップを狙う AI のみ | 4 %  | 12 % | 42 % | 42 % |

表 4.2 からトップを狙う AI の順位はコンビ打ちをした場合、1 位の割合が 6 %、2 位の割合が 14 % それぞれ向上した。また 4 位の割合が 20 % 減った。

表 4.3 はサポートをする AI の振り込みとトップに対する差し込みを比較したものである。

表 4.3 サポートをする AI の振り込みと差し込みの比較

|      | 回数   | 割合     |
|------|------|--------|
| 振り込み | 73 回 | 12.7 % |
| 差し込み | 36 回 | 6.2 %  |

表 4.3 からサポートをする AI が振り込んだ回数に対し、差し込んだ回数が約 2 分の 1 となっている。これは、サポートをする AI が他の 3 つの AI にそれぞれ均等に振り込んだ場合と同じ数なので、ここでは有効な結果は得られなかった。

## 第 5 章

# 考察

### 5.1 AI の強さ

実験結果からトップを狙う AI のみでの順位は、3 位と 4 位を合計すると 8 割を超えてしまう。このことからトップを狙う AI は、比較的弱い AI であると言える。

弱い原因として考えられることの一つは、振り込み率の高さである。次に、和了点の低さである。麻雀というのは基本的に面前（鳴きを入れない）で手を作った方が点数が高くなる。しかし、今回の研究方針では鳴きを入れることが前提であるため、全体的に和了点が低くなってしまった。

### 5.2 コンビ打ちの効果

実験結果からトップを狙う AI のコンビ打ちをした場合としなかった場合の和了率を比較すると、コンビ打ちをした場合の方が和了率が上昇している。しかし、サポートをする AI はトップを狙う AI に特別多く差し込んでいる訳ではないので、この和了率の上昇は本研究で実装したコンビ打ちの手法の内、鳴かせによる聴牌速度の向上が要因であると考察できる。また、振り込み率はコンビ打ちの方が下がっている。これは、コンビ打ちをした場合振り込んでしまう対象が 3 人から 2 人に減ったためであると考察できる。

さらにトップを狙う AI のコンビ打ちをした場合としなかった場合の順位率を比較すると、コンビ打ちをした場合 4 位の割合が減り、1 位と 2 位の割合が増えている。これは、トップを狙う AI の振り込み率が減少し失点が減り、和了率が向上したことにより獲得点が増えた為であると考察できる。

サポートをする AI に関しては、トップを狙う AI と比較しても振り込み率が高く、またその 2 分の 1 しか差し込みができていない。振り込み率が高くなってしまった原因は、トップを狙う AI に対して有効な牌をサポートをする AI が持っていた場合他の AI への危険度を無視してその牌を捨ててしまっていることであると考察できる。

以上のことから本研究で実装したコンビ打ちの手法は、トップを狙う AI の和了率を向上し、順位率の向上に貢献した。このことから本研究で実装した手法はコンビ打ち AI に有効だと考察できる。

## 第 6 章

### まとめ

本研究では、AI でコンビ打ちの実現を目的とし、コンビ打ちに着眼して研究を行った。本研究の提案手法ではコンビ打ちの手法なのである鳴かせと差し込みの主眼を置き聴牌速度を向上させると共に和了率を向上させるという方針で実装した。今回の検証結果から、本研究の提案手法を実装することで、トップを狙う AI の和了率と順位率が向上した。このことから本研究で実装したコンビ打ちの手法の中の 1 つである鳴かせに関しては有効であるという結果が得られた。

しかし、本研究で実装したコンビ打ちの手法の内のもう 1 つである差し込みについては、サポートをする AI の振り込み率がトップを狙う AI と比べても高く、また差し込み率は振り込み率の約 3 分の 1 となり、サポートをする AI が他のプレイヤー全てに沢山振り込んでいるだけという結果になってしまった。

今後の展望としては、サポートをする AI に危険度を実装することである。そうすればサポートをする AI の差し込み率を軽減することができる可能性がある。また、他のプレイヤーへの危険牌の回避とトップを狙う AI への鳴かせや差し込みをうまく両立することができれば、トップを狙う AI の順位率のさらなる向上を目指せる可能性がある。

# 謝辞

本論文制作に当たり、ご指導くださった先生方に感謝します。また、研究室のメンバーも心の支えになりました。ありがとうございました。



## 参考文献

- [1] 笠井易, 齊藤実. 二人零和有限確定完全情報ゲームの考察. 山梨学院大学経営情報学論集, Vol. 16, pp. 9–18, 2010.
- [2] 岡田章. ゲーム理論の成立と展開. 現代思想, Vol. 36, pp. 58–71, 2008.
- [3] 鶴岡慶雅, 横山大作, 丸山孝志, 近山隆. 局面の実現確率に基づくゲーム木探索アルゴリズム. ゲームプログラミングワークショップ 2001 論文集, pp. 17–24, 2001.
- [4] 内野貴弘, 中村貞吾. シミュレーションを用いた囲碁局面の温度発見探索. 平成 24 年度電気関係学会九州支部連合大会 (第 65 回連合大会) 講演論文集, Vol. 65, , 2012.
- [5] 日本将棋連盟. 棋戦一覧. <https://www.shogi.or.jp/match/denou/>. 参照:2017.1.18.
- [6] 将棋の歴史. 将棋の歴史. <http://www.jvnet.or.jp/~badz9005/tendo/rekisi.htm>. 参照:2017.1.18.
- [7] Come together All gamers. 麻雀の元になったゲーム. <http://www.h-eba.com/heba/majan/history1.html>. 参照:2017.1.18.
- [8] 百貫. 競技ルール. [http://www.ma-jan.or.jp/guide/game\\_rule.html](http://www.ma-jan.or.jp/guide/game_rule.html). 参照:2017.1.18.
- [9] 阿佐田哲也. 麻雀放浪記. 双葉社, 日本, 1969-1972.
- [10] 竹書房. 近代麻雀 the web. <http://kinma.takeshobo.co.jp/>. 参照:2017.1.18.

- [11] 咲全国編製作委員会. Tv アニメ「咲-saki-」シリーズスペシャルサイト. <http://www.saki-anime.com/>. 参照:2017.1.18.
- [12] SEGA. セガ net 麻雀 mj. <http://sega-mj.com/>. 参照:2017.1.18.
- [13] 福本伸行. アカギ ～闇に降り立った天才～. 竹書房, 日本, 1992-現在.
- [14] NEVER まとめ. 【ファミコン】100万本以上売れたソフト. <https://matome.naver.jp/odai/2135604180733823201>. 参照:2017.1.18.
- [15] e frontier. Ai 麻雀. <http://game.e-frontier.co.jp/ai/mahjong13/>. 参照:2016.12.22.
- [16] 三木理斗. 多人数不完全情報ゲームにおける最適行動決定に関する研究. 東京大学工学系研究科電気系工学専攻修士論文, Vol. 51, , 2010.
- [17] 我妻敦, 原田将旗, 森田一, 古宮嘉那子, 小谷善行. Svr を用いた麻雀における捨て牌の危険度の推定. 研究報告ゲーム情報学, Vol. 31, pp. 1-3, 2014.
- [18] 根本佳典, 古宮嘉那子, 小谷善行. Crf を用いた麻雀の不完全情報推定. ゲームプログラミングワークショップ 2012 論文集, pp. 155-158, 2012.
- [19] 安西諒祐. 接待もできる麻雀 ai の開発. 東海大学情報数理学科卒業論文, 2012.
- [20] 浅尾豪, 大西建輔. 狙い撃ち手法による支援麻雀クライアントの開発. 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 13, pp. 289-290, 2014.
- [21] 浅尾豪, 大西建輔. 複数クライアントによる麻雀の協調支援手法の提案. ゲームプログラミングワークショップ 2015 論文集, pp. 88-91, 2015.
- [22] 日本麻雀連盟. 雀のお宿. <http://suzume.hakata21.com/5zats/reptxt2.html>. 参照:2017.2.18.
- [23] 石畑恭平. コンピュータ麻雀のアルゴリズム. 工学社, 日本, 2007.