

麻雀におけるプレイヤーの副露率の分布が 対局に与える影響について

山崎 陽介^{1,a)} 川端 英之^{1,b)} 弘中 哲夫^{1,c)}

概要：麻雀は4人で行う不完全情報ゲームで、配牌に対して不要な牌を切りつつ自摸や副露で牌を揃え、他のプレイヤーより早く役を完成させるゲームである。副露とは、他のプレイヤーの打牌を取得することにより、メンツを完成させる行為である(ポン、チー、カン)。多くの場合、副露すると和了までが早くなり、点数が下がる。一方、副露しないと和了までが遅くなり点数が上がる。1局あたりに副露する割合である副露率は、プレイヤーのスタイルを表すための一つの指標である。そのため、実際の麻雀の対局では相手の副露率を意識しながら対局することが多いが、現在まで、相手の副露率を意識した麻雀 AI は我々の知る限り開発されていない。本研究では、期待値と和了率を基準にして副露判断をすることで副露率を可変にすることができる麻雀 AI を作成する。本発表では、4人の副露率の違いによって、対局に与える影響について議論する。

キーワード：麻雀、副露率、シミュレーション

1. はじめに

近年、将棋や囲碁といった完全情報ゲームの人工知能はめざましい進化を遂げており、人間のトッププレイヤーよりも優れた実力を持っていることがわかっている [6]。しかし、不完全情報ゲームである麻雀においては、人間のトッププレイヤーと同等の実力を持つものは実現されているが [8]、完全なものではない。そもそも、麻雀は、将棋などの完全情報ゲームと異なり、実力差が大きくても、圧倒的な成績を残すことが難しい。ランダムな要素が入っていることにより、ある程度自由な選択が許されるためであると考えられる。その中でも副露率

は、その最たる例である。トッププレイヤーの中でも、副露率が様々であることから、自由な選択の範疇であり、プレイヤーのスタイルを表すよい指標であると考えられる。

実際の麻雀で既知の相手と対局をする際には、相手の打ち方を考慮しながら対局することが多い。その中でも相手の副露率は特に重要な指標だと考える。相手の副露率が異なる場合、同一の局面で副露をしたときに相手の手牌の想定が異なるものになることが多いように思える。そのため、副露率によって相手の手牌を予測することがよくある。しかし、現在までに我々の知る限りでは相手の副露率を意識した麻雀 AI は開発されていない。多くの麻雀 AI は天鳳 [4] という麻雀ゲームプラットフォームで打つように作られており、天鳳で良い成績を収めるように作られている。天鳳は相手のレベルと局面の情報しかわからないため、相手の副

¹ 広島市立大学

^{a)} zaki@ca.info.hiroshima-cu.ac.jp

^{b)} kawabata@hiroshima-cu.ac.jp

^{c)} hironaka@hiroshima-cu.ac.jp

露率を見る必要がないということは言えるかもしれない。歴史は浅いが人気が上がっている雀魂 [3] というプラットフォームは相手の情報を見ることができ、その中に副露率も含まれる。雀魂は、AI 打ちが禁止されているため今後も天鳳が AI 開発には使用されることが予想されるが、麻雀 AI がこれ以上の発展を遂げるために相手の副露率を考慮することが一つの有力な手法であるように考える。そこで、実際に相手の副露率を考慮することがどれほど意味のあるものなのかを調査する必要がある。

本研究では、副露判断の基準を一人麻雀における和了率と点数期待値にすることで副露率を可変にすることができる麻雀 AI「Ofuro」*1を開発した。Ofuro 同士を様々な副露率の組み合わせの一局戦を多数回行い、麻雀における副露率の違いによって対局に与える影響について調査した。本論文では、4 人麻雀に絞って議論する。

2. 麻雀のルール

麻雀は、一般的には 3 人や 4 人のプレイヤーで行うものである。牌の種類は、萬子、筒子、索子と呼ばれる 1 から 9 までのいずれかの数字が書かれた数牌と文字が書かれた字牌 7 種からなる。この 34 種の牌がそれぞれ 4 枚、計 136 枚ある。麻雀の試合は、局と呼ばれる単位に分割され、8 局を消化した時に終了する。この試合形式を半荘という。局の初めに、各プレイヤーは山と呼ばれる伏せられた牌の集合から 13 枚をとる。自身が所持している牌を手牌と呼ぶ。局が始まると親から順に、1 枚山から牌をとり、14 枚になった手牌から 1 枚捨てるという行為を繰り返す。14 枚の手牌または、13 枚の手牌と他のプレイヤーが捨てた牌が特定の条件を満たせば和了することができる。麻雀には、細かい部分で様々なルールが存在するが、ここでは最高位戦ルール*2を前提とする。麻雀用語については付録 A.1 を参照。

2.1 副露と副露率について

副露は、他のプレイヤーの打牌した牌を取得して順子を作る「チー」、刻子を作る「ポン」、槓子を作る「カン」の 3 種類の行為である。副露することで副露したプレイヤーの手が和了に一手近づくが、多くの場合和了時の点数が門前時よりも低くなることが多い。副露によって、早く和了することで他のプレイヤーの和了を間接的に阻止することができるため、失点を防ぐことができるという意味では、点数以上の価値があることも多くある。

副露においては、他のプレイヤーの打牌した牌を取得して面子を完成させる代わりに、副露によって完成された面子を他のプレイヤーに公開しなければならない。面子を他のプレイヤーに公開することで、手牌や和了時の点数が推定されやすくなる [11]。また、副露した面子を打牌することはできないので他のプレイヤーに攻められた時に守備をすることが難しくなる。

あるプレイヤーの副露率は、これまでの総局数に対するそのプレイヤーが副露した割合である。麻雀のプロリーグである M リーグでは、2018 から 2020 シーズンまでは 10% から 32% の分布となっており [2]、ばらつきが大きいことがわかる。副露率の大小は、対戦プラットフォームによっても変化する。オンライン麻雀天鳳の 7 段以上の平均副露率は約 35% [5] と、M リーグに比べてかなり高いことがわかる。この違いはポイント制度の違いに起因すると考えてられる。M リーグは 1 位を取ることが重要なポイントシステムであるが、天鳳は 4 位を回避することが重要なポイントシステムになっている。

このように副露率は、麻雀においてとても興味深い指標の一つである。

3. 麻雀 AI Ofuro の設計

3.1 概要

Ofuro の行う事は、どの牌を河に捨てるかを決定する打牌選択と、副露するか否かを決定する副露判断の 2 つである。本論文で作成した Ofuro は副露率を可変にできるという特徴を持つ。様々な副露率の組み合わせをシミュレートできるように

*1 A janshi who obeys his given **Furo** rate.

*2 <https://saikouisen.com/about/rules/>

するために指定された副露率に従って振る舞うことができる。より実践的にするために、向聴数と残り自摸回数に応じて攻撃的あるいは守備的な態度をとる。打牌選択と副露判断には、和了しやすさの指標である和了率、得られる得点の期待値である点数期待値、放銃しやすさの指標である危険度で判断する。これらは一人麻雀によって算出する (3.3 節参照)。

3.2 基本的な振る舞い

3.2.1 攻撃的な態度をとるかの決定

攻撃的な態度をとる基準を表 1 に示す。これを満たす場合は攻撃的な態度を選択し、満たさない場合は守備的な態度を選択する。

表 1 攻撃的な態度をとる基準

残り自摸回数 (n)	向聴数 (N)
$7 \leq n$	$N \leq 3$
$n < 7$	$N \leq 2$

3.2.2 攻撃的な副露判断および打牌選択

打牌選択では、自身の手牌が和了に向かうことを最大の目的とする。基本的には、点数期待値が最も高い牌を打牌するが、最も高い点数期待値とほとんど同じ点数期待値の牌が存在する場合には、牌の危険度が高い方を打牌する。点数期待値が最も高い牌を P_1 、点数期待値が 2 番目に高い牌を P_2 、それぞれの期待値を $exp(P_1)$, $exp(P_2)$ 、それぞれの危険度を $den(P_1)$, $den(P_2)$ とする。

以下の式を満たす時に限り P_2 を打牌し、それ以外は P_1 を打牌する。

$$(exp(P_2) + 150 > exp(P_1)) \wedge (den(P_2) > den(P_1))$$

副露判断では閾値曲線を基に作られる副露判断関数により決定する (3.5.1 節)。

3.2.3 守備的な副露判断および打牌選択

打牌選択では、他のプレイヤーからの立直や副露に備えて安全な牌を残しつつ手を進める。守備的な打牌選択ではさらに 4 つの戦略に分けられる。副露判断では副露判断関数によらず副露しないという振る舞いをすることがある。詳細は 3.4 参照。

3.2.4 聴牌済みと予想されるプレイヤーがいる場合の打牌選択

他のプレイヤーから立直を受けた時には、そのプレイヤーは聴牌していることがわかる。そのため立直者に対して放銃する牌が存在するので、プレイヤーの都合のみでは打牌できなくなる。立直をしていなくても他のプレイヤーが聴牌している可能性はある。特に副露時は聴牌しても立直が打てないので、いつ聴牌していてもおかしくない状況になる。プレイヤーは打牌する際に相手に放銃しないようにしながら、和了に向かうようにしなければならない。立直を受けたり他のプレイヤーが副露した時にどのように守備を行うかについて説明する。

立直を受けたときには、手牌の価値と捨てる牌の危険度 (3.3.4 節) によって押すか降りるかを判断する。手牌の中で立直者の現物または危険度が 4 未満の牌で期待値が最も高い牌を打牌候補 P_1 とする。手牌の中で危険度が 6 未満の牌で期待値が最も高い牌を打牌候補 P_2 とする。それぞれの期待値を $exp(P_1)$, $exp(P_2)$ とする。

以下の式を満たす時に限り P_2 を打牌し、そうでなければ P_1 を打牌する。

$$exp(P_2) > exp(P_1) + 500$$

他のプレイヤーが副露した時には、副露数によって押すか降りるかを判断する。

3.3 打牌選択に用いる指標

打牌選択や副露判断に用いる評価指標は、一人麻雀における和了率と点数期待値、放銃する可能性を表す危険度の 3 つである。ここで一人麻雀とは、場に見えている牌を除く全ての牌が山に積まれた状態から連続で残りの自摸回数分引く。

3.3.1 一人麻雀に基づく評価値計算

一人麻雀は以下の手順で行う [9]。

- (1) 手牌を現在の手牌とする。
- (2) 手牌から一枚打牌する。
- (3) 打牌した合計が残り自摸回数と一致したら終了し、そうでないなら (4) に進む。
- (4) 山から一枚自摸る。この時手牌が和了形ならば終了し、そうでないなら (2) に戻る。

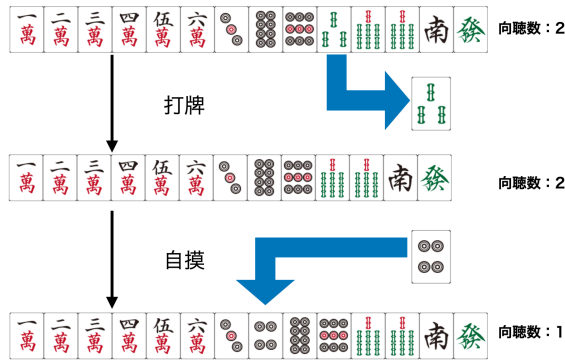


図 1 通常の手の進み方

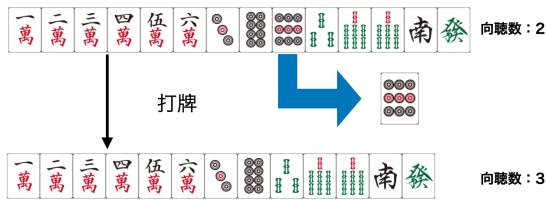


図 2 向聴戻し

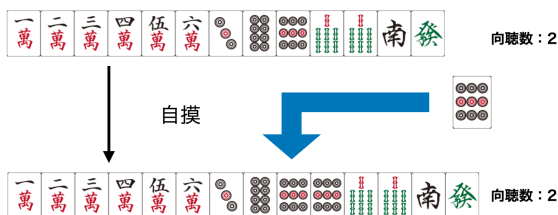


図 3 手変わり

和了率と点数期待値計算は、一人麻雀の (2) と (4) の部分を網羅的に行い決定する。(2) と (4) は図 1 のように有効牌を自摸り不要牌を打牌し手が和了に近づくパターンと、(2) の時に向聴数が一つ

上がる向聴戻し (図 2) と (4) の時に向聴数が増えない手変わり (図 3) がある。向聴戻しと手変わりは、和了から一歩遠ざかるため合計 1 回までとして計算する。

3.3.2 和了率

和了率は手牌から残り自摸回数分山から牌を引いた時に和了できる確率のことである。和了率が高いと最終自摸番までに和了できる確率が高くなる。ただし、一人麻雀における和了率のため他のプレイヤーに和了されるなどは考慮していない。

3.3.3 点数期待値

点数期待値は和了率に和了時に発生する点数の重みをつけたものである。

3.3.4 危険度

危険度は、任意の牌の放銃しやすさを表した指標である。全ての牌から、自身から見えている牌を除いたものの中で、放銃するパターンが何通りあるかを示したものである。麻雀の待ちは、タンキ、リャンメン、カンチャン、ペンチャン、シャンポンの 5 つに分類される。麻雀の待ちについての危険度を以下に示す。各牌は (c, n) で表せる。 c は牌の色 (萬子, 筒子, 索子, 東など), n は牌の数字を表している。字牌の n は全て 0 とする。任意の牌 (c, n) の自身から見えている牌を除いた数を $rest_{c,n}$ とする。ペンチャンはリャンメンに含まれる。

$$tanki = rest_{c,n}$$

$$ryanmen = rest_{c,n-1} \times rest_{c,n-2} + rest_{c,n+1} \times rest_{c,n+2}$$

$$kanyan = rest_{c,n-1} \times rest_{c,n+1}$$

$$syanypon = rest_{c,n} C_2$$

$$denger_eval = tanki + ryanmen + kanyan + syanypon$$

危険度評価値は $denger_eval$ である。

3.4 打牌選択に用いる戦略

攻撃的な打牌選択では点数期待値が最も高い牌を選択する。守備的な打牌選択では以下の 4 つの

戦略を用いる。

3.4.1 国士無双戦略

手牌の中で、国士無双に必要な牌が9種類以上所持していた場合にこの戦略をとる。副露はしない。捨てる牌は、国士無双に必要なでない牌の中から、最も危険な牌を選択。

3.4.2 七対子戦略

手牌に対子が3つ以上存在する場合にこの戦略をとる。副露はしない。対子になっている牌以外で最も危険な牌を選択。

3.4.3 染め手戦略

手牌の中の数牌で最も多く持っている種類の枚数と字牌の枚数の合計が11枚以上であった場合にこの戦略をとる。副露は通常の副露判断と同じ。捨てる牌は、数牌の中で最も多く持っている種類以外から、最も危険な牌を選択。

3.4.4 通常の守備的戦略

他3つの戦略に該当しないときにこの戦略をとる。副露判断は通常の副露判断と同じ。捨てる牌は、残りの自摸回数が9回以上の時は有効牌の残り枚数が最も多くなる牌を選択する。それ以外は、危険度基準(3.4.5節)を満たしていれば向聴数を維持する中で最も危険な牌を選択。危険度基準を満たしていなければ、手牌の中で最も危険な牌を選択。

3.4.5 危険度基準

手牌が以下の2つの条件を満たしているとき、危険度基準を満たしているとする。

- 手牌の中で全員の現物または危険度1以下の牌が存在。
- 手牌の中で危険度が4以下の牌または、危険度が10以下の牌が複数枚存在。

3.5 副露率に従った振る舞いについて

副露するか否かは、副露が可能な局面において副露した時と副露しなかった時の和了率と点数期待値の差で判断する。以下ではそれぞれ和了率差および点数期待値差と呼ぶ。Ofuroの副露判断をとり除いた(副露しない)AI同士で対戦させて和了率差と点数期待値差のデータを8000局集め、それぞれの副露率による和了率と点数期待値の差分の閾

Algorithm 1 閾値曲線決定関数

Require: $turnlist$ {(局 No, 和了率の差, 点数期待値の差) が格納されたデータセット}, a {パラメータ}, b {パラメータ}, c {パラメータ}

```
1:  $N \leftarrow 17$ 
2:  $samplelist \leftarrow []$ 
3: while  $N \neq 0$  do
4:    $over \leftarrow a \times b^{(17-N)} + c$ 
5:    $list \leftarrow head(turnlist)$  //先頭の要素を取得
6:    $turnlist \leftarrow tail(turnlist)$  //先頭以外を取得
7:   while  $list \neq []$  do
8:      $(i, hora, kitaiti) \leftarrow head(list)$ 
9:      $list \leftarrow tail(list)$ 
10:    if not  $listexists(samplelist, i)$  then
11:       $threshold \leftarrow over \times hora^2$ 
12:      if  $kitaiti > threshold \wedge hora > 0$  then
13:         $samplelist \leftarrow insert(samplelist, i)$ 
14:      end if
15:    end if
16:  end while
17:   $N \leftarrow N - 1$ 
18: end while
19:  $length(samplelist)$ 
```

値曲線を設定する。

和了率と点数期待値の関係から副露するかどうかを判断するための閾値を設定する。図4、図5は、副露ができる時の和了率差と点数期待値差の分布である。横軸を和了率差、縦軸を点数期待値差としている。それぞれ副露時から現在の手牌時を引いたものとなっており、正の数値は副露時の方が優れており、負の数値は現在の手牌時の方が優れている。横軸が負で縦軸が正の部分が極端に少ないことがわかる。この部分は、副露した方が和了する可能性は低くなるが、点数期待値は上がるという状態を示す。この部分を無視しても大きな差はないと考え、和了率の差が正の時のみを副露判断の対象とする。

3.5.1 閾値曲線と副露判断関数

各副露率における閾値曲線は、閾値曲線決定関数(Algorithm 1)を S 、収集した局の和了差と点数期待値差のデータセット $turnlist$ 、副露率 F 、収集した局数 N を用いる。(1) となるような閾値曲線計算の入力 a , b , c を設定する。

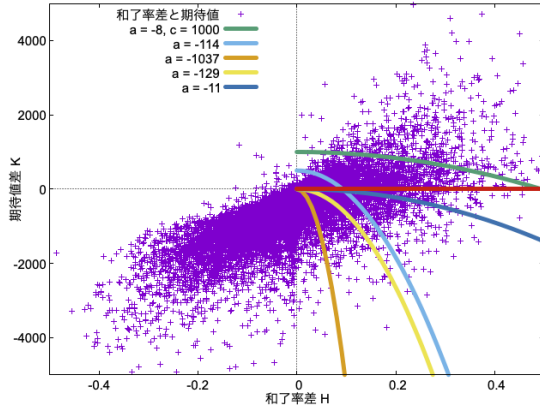


図 4 副露チャンスにおける和了率差と点数期待値差の分布と残り自摸回数 8 回時の閾値曲線 ($b = 2$)

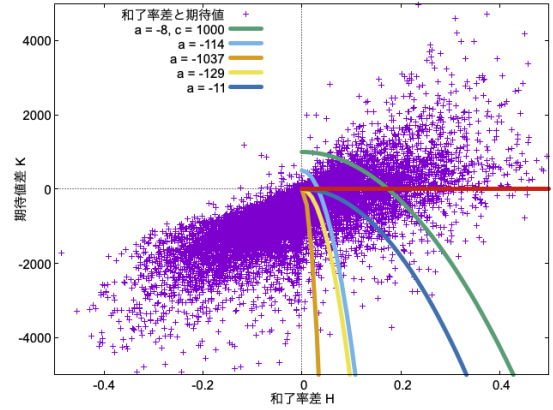


図 5 副露チャンスにおける和了率差と点数期待値差の分布と残り自摸回数 5 回時の閾値曲線 ($b = 2$)

表 2 パラメータを指定したときの副露率

想定した副露率	実際の副露率	a	b	c
35%	31.5%	-1037	2	0
30%	30.1%	-129	2	0
25%	25.8%	-11	2	0
22%	21.0%	0	0	0
22%	19.5%	-114	2	500
10%	10.6%	-8	2	1000

$$S(\text{turnlist}, a, b) = F \times N \quad (1)$$

式 (1) が満足されるような閾値曲線計算の入力 a , b を設定する。残り自摸回数を n , 和了率差 (副露時 - 門前時) を H , 点数期待値差 (副露時 - 門前時) を K とする。副露判断関数 D は以下のようになる。

$$D(K, H) = (K > a \times b^{17-n} \times H^2) \wedge (H > 0)$$

$D(K, H)$ が真になるときに副露する。パラメータ a , b と副露率の関係を表 2 に示す。 a , b , c が共に 0 の場合は、副露によって和了率と期待値が共に上がるもののみを副露することを示している。図 4 と図 5 は、それぞれ残り自摸回数 8 回, 5 回の時点での表 2 に示したパラメータを持つ閾値曲線である。閾値曲線は残り自摸回数が減少するごとに副露する範囲が広がっていく。

副露を和了率が副露時の方が良いものに限定した場合、35%程度が上限であることが確認できる。2.1 節で述べた副露率よりも 5%程度低くなること

がわかる。これは、自身の和了に結びつかない副露や、相手の妨害をするような副露があるためだと考えられる。

4. Ofuro の実装

Ofuro は、場の状況から適切な打牌選択と副露判断を行う。また、Ofuro は自己対戦用の麻雀シミュレータと麻雀対戦サーバ mjai[1] で対局することができる。麻雀シミュレータと接続すると、Ofuro の各プレイヤーの副露率を設定して対局することができる。mjai に接続すると、mjai に繋ぐことができる他の麻雀 AI と対局することができる。

4.1 Ofuro のシステム構成

Ofuro のシステム構成を図 6 に示す。図 6 に示されている 2 つの構成要素 (制御部および計算部) からなる。麻雀 AI 対戦サーバ mjai に接続する際は図 7 のように通信部が加わる。mjai ではプロセス間通信によって全ての動作がクライアントに通知される。しかし、自己対戦ではプロセス間通信を行わず動作が起こせるときに制御部に通知するので、自己対戦の方が高速となっている。

以下に個々の機能と概略を述べたのち、制御部における打牌時の動作を 4.2 節で述べる。

- **和了率期待値計算部** 制御部から与えられた情報を基に手牌の和了率と期待値を算出しその結果を制御部に返す。打牌する際には、手牌

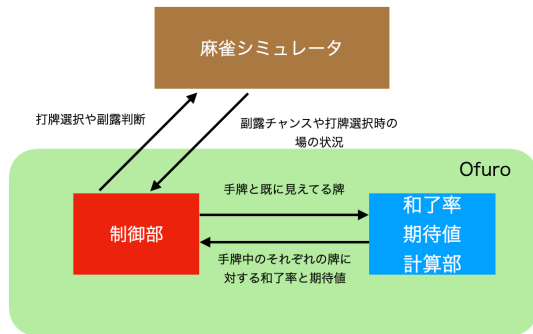


図 6 Ofuro のシステム構成 (自己対戦)

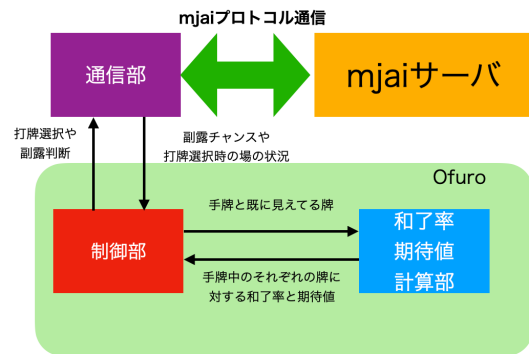


図 7 Ofuro のシステム構成 (mjai)

の中から 1 牌取り除いた時の和了率と期待値のリストを返す。制御部とは、プロセス間通信で繋がれている。

- **制御部** 通信部やシミュレータから与えられた情報を基に打牌選択や副露判断を行う。その際に、和了率期待値計算部から帰ってきた計算結果を利用する。
- **通信部** mjai サーバと Ofuro を結ぶ役割。mjai で定められたプロトコルに対応しており、mjai から送られたメッセージに対して必要に応じて制御部とやり取りをする。

麻雀シミュレータ、制御部、通信部は OCaml、和了率期待値計算部は C++ で実装している。ソースコードは [10] で公開している。計算部の実装は [9] を参考にしている。

4.2 自摸から打牌までの制御の流れ

図 8 に Ofuro の自摸から打牌までの流れを示す。Ofuro は、場の状況の確認の後に打牌選択を行う。聴牌済みと予想されるプレイヤー (3.2.4 節) がいるかどうかを確認して、いる場合は危険度を考慮した打牌選択を行う。いない場合は、攻撃的な態度 (3.2.2 節) をとるかどうかを確認して打牌選択を行う。聴牌済みと予想されるプレイヤーがいる場合と攻撃的な態度をとる時には和了率期待値計算部とやり取りをして打牌選択を決定する。和了率期待値計算部には、牌の残り枚数を記したテーブルと手牌の情報を渡す。

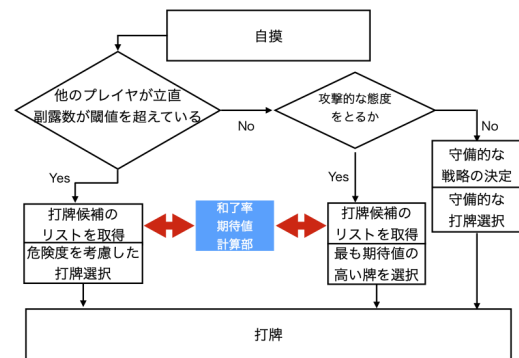


図 8 制御部における自摸から打牌までの流れ

5. 実験と考察

副露率が異なるプレイヤーの組み合わせによって、成績がどのように変化するかを調べる。

また、既存の麻雀 AI と対戦し Ofuro の挙動の妥当性を検証する。

5.1 実験方法

副露率の様々な組み合わせで一局戦を行う。各組み合わせで一局戦を 2000 局行った後に全ての一局戦の得点と失点を合計した局収支を基に評価する。

一局戦のルールは、通常の麻雀のルールとほとんど同じだが供託の扱いだけ異なる。流局時に立直棒が出ていた場合は、全プレイヤーに立直棒獲得^{*3}のチャンスがあると考え、立直棒一本につき 250 点

^{*3} 通常は次に和了したプレイヤーが立直棒を獲得する。

表 3 Ofuro と Manue[7] のシミュレーション結果

副露率	Ofuro, Manue
31.5%	1.4, -1.4
30.1%	1.1, -1.1
25.8%	126.1, -126.1
21.0%	110.7, -110.7
19.5%	133.6, -133.6
10.6%	24.9, -24.9

ずつ各プレイヤーに分配する．立直者からは，立直棒分 (1000 点) マイナスする．

副露率は，表 2 の 4 種類を用いて調査を行う．4 種類の中の 2 種類を選択して，2 対 2, 3 対 1, 1 対 3 の 3 パターンについて調査する．調査にあたっては，他のプレイヤーを聴牌とみなす副露数を変化させる 2 種類の設定を用いる．設定 1 は聴牌とみなす副露数を 2 回，設定 2 は 3 回とする．これらは，打牌選択に影響する．

既存の麻雀 AI との対戦には Manue[7] を用いる．Ofuro それぞれの副露率に対して一局戦を 500 回行い局収支を基に評価する．

5.2 実験環境

本研究の実験にあたっては，OS が ubuntu 20.04, CPU コア数が 24 個で，スレッド数が 48 で，メモリ容量が 125.6GiB である AMD Ryzen Threadripper 3960X Processor を搭載した機材を用いて計算する．2000 局シミュレートするのに約 3 時間程度要する．

5.3 実験結果

5.3.1 Ofuro の副露率を変えての実験結果

実験結果を設定 1 の場合を表 4, 表 5, 表 6, 設定 2 の場合を表 7, 表 8, 表 9 に示す．表 6 および表 7 は副露率 A が 3 人，副露率 B が 1 人の場合，表 5 および表 8 は副露率 A と副露率 B がそれぞれ 2 人の場合，表 4 および表 9 は副露率 A が 1 人，副露率 B が 3 人の場合である．それぞれの表中の数字は一局あたりの平均スコアである．セルの左上は副露率 A，右下は副露率 B の平均スコアを示している．太字はそれぞれの表中で最も差が開いた 5 つを示している．

表 6 では副露率の高いプレイヤーが多くの場合で優勢な様子である．特に副露率 A が 31.5% の時には顕著に表れている．設定 2 では，副露率の低いプレイヤーが多くの場合で劣勢な様子である．表 7 の副露率 B が 10.6% の時には顕著に現れている．設定 1 と設定 2 を比べると副露率の低いプレイヤーが設定 1 と比べて設定 2 では大きく負け越している．

5.3.2 Manue との対戦結果

Manue との対戦結果を表 3 に示す．シミュレーションに用いたいずれの副露率の設定でも Ofuro が Manue に対して優勢であった．Ofuro が麻雀 AI として適切に振る舞っていることを示している．

Ofuro の自己対戦では副露率の高い方が優勢だったが，Manue に対しては副露率の低い方が優勢になっている．

5.4 考察

実験結果から，副露率の高いプレイヤーが全体的に優勢になることがわかった．特に，副露率の高いプレイヤーが複数人いる場合にはプレイヤーも副露率の高いプレイヤーのような振る舞いをすることが望ましい．反対に，副露率の低いプレイヤーが 3 人存在する時は副露率を上げることで必ずしも優位になるとは言えない．同じ副露率のプレイヤーが 3 人いる方が多くの場合で有利になることがわかる．これらは，副露率が同じことで和了のタイミングが同じになりやすいことが影響していると考ええる．低副露率のプレイヤーが孤立している場合は，そのプレイヤーが和了するまでに局が終了してしまい，和了のチャンスが減っていることが原因と考える．反対に，高副露率のプレイヤーが孤立している場合は，その他のプレイヤーに普段よりも多くの和了のチャンスが巡ってくることで，和了時の平均点数の低い高副露率のプレイヤーにとっては，多く和了しても一回の和了でそれを上回られることが原因と考える．

副露率のパターンによって結果が変わることが確認できたため，相手の副露率によって自身の副露率を変化させることで対局を優位に進めることができる可能性があると考ええる．

表 4 副露率の分布が得失点に与える影響（副露率 A が 3 人、B(<A) が 1 人、副露 2 回のプレイヤを聴牌済みと見做して警戒する場合）

副露率 A	副露率 B				
	30.1%	25.5%	21.0%	19.5%	10.6%
31.5%	2.6 \ -7.9	2.8 \ -9.0	15.5 \ -46.5	7.7 \ -23.1	13.2 \ -39.5
30.1%	—	2.0 \ -6.1	14.1 \ -42.6	4.7 \ -14.0	4.1 \ -12.3
25.8%	—	—	-8.1 \ 24.3	4.9 \ -14.7	12.4 \ -37.3
21.0%	—	—	—	17.4 \ -52.1	8.3 \ -24.8
19.5%	—	—	—	—	-9.2 \ 27.5

表 5 副露率の分布が得失点に与える影響（副露率 A が 2 人、B(<A) が 2 人、副露 2 回のプレイヤを聴牌済みと見做して警戒する場合）

副露率 A	副露率 B				
	30.1%	25.5%	21.0%	19.5%	10.6%
31.5%	-13.3 \ 13.3	6.8 \ -6.8	8.3 \ -8.3	19.7 \ -19.7	54.4 \ -54.4
30.1%	—	8.9 \ -8.9	16.5 \ -16.5	-58.4 \ 58.4	45.9 \ -45.9
25.8%	—	—	-13.3 \ 13.3	31 \ -31	31.5 \ -31.5
21.0%	—	—	—	-11.1 \ 11.1	-130.6 \ 130.6
19.5%	—	—	—	—	51.3 \ -51.3

6. まとめと今後の課題

本研究では、他のプレイヤの副露率を考慮した麻雀 AI がほとんどないことに注目した。副露率を可変にすることができる麻雀 AI を開発し、副露率の違う AI 同士でシミュレーションさせた。プレイヤの副露率の高低によって副露率がプレイヤと同じ者が複数いる場合といない場合で結果が異なることがわかった。

麻雀 AI の副露判断は一人麻雀の和了率と点数期待値を基に行った。プレイヤの和了に関する副露のみを扱うと副露率が 35%程度が上限である。しかし、実際は 2.1 節のような高い副露率は一般に存在する。このような高い副露率を模倣しようとなると形式聴牌や海底ずらしなどの別の要素を取り入れる必要がある。

Manue に対しては勝ち越すことができたが、他

の麻雀 AI に対して勝ち越すことができるかはわからないのため、他の既存の AI と対戦して強さの評価をすることが求められる。

今後の課題としては、Ofuro が強くなるには他のプレイヤの副露率によって自身の副露率を変化させるだけでなく他のプレイヤが聴牌かどうかを予測する基準を動的にすることなどが考えられる。高副露率のプレイヤと低副露率のプレイヤでは副露によって聴牌に近いかな否か、点数が高いかなどが大きく異なる。そのため、副露したプレイヤを聴牌とみなす基準を変えることでより聴牌かどうかを見極めやすくなるなどということが考えられる。

参考文献

- [1] : mjai 麻雀 AI 対戦サーバ, <https://gimite.net:443/pukiwiki/index.php?Mjai%20%E9%BA%BB%E9%9B%80AI%E5%AF%BE%E6%88%A6%E3%82%B5%E3%83%BC%E3%83%90>

表 6 副露率の分布が得失点に与える影響 (副露率 A が 1 人, B(<A) が 3 人, 副露 2 回のプレイヤを聴牌済みと見做して警戒する場合)

副露率 A	副露率 B				
	30.1%	25.5%	21.0%	19.5%	10.6%
31.5%	36.4 \ -12.1	26.7 \ -8.9	24.8 \ -8.3	20.7 \ -6.9	-40.6 \ 13.5
30.1%	—	-22.8 \ 7.6	-11.4 \ 3.8	-14.7 \ 4.9	56.0 \ -18.7
25.8%	—	—	14.6 \ -4.9	-1.0 \ 0.3	-24.7 \ 8.2
21.0%	—	—	—	-28.7 \ 9.6	4.2 \ -1.4
19.5%	—	—	—	—	4.2 \ -1.3

表 7 副露率の分布が得失点に与える影響 (副露率 A が 3 人, B(<A) が 1 人, 副露 2 回のプレイヤを聴牌済みと見做して警戒する場合)

副露率 A	副露率 B				
	30.1%	25.5%	21.0%	19.5%	10.6%
31.5%	14.5 \ -43.5	-6.4 \ 19.3	12.4 \ -37.3	26.0 \ -78.0	17.8 \ -53.3
30.1%	—	17.1 \ -51.6	-9.2 \ 27.7	-5.5 \ 16.5	14.7 \ -44.0
25.8%	—	—	-16.6 \ 49.8	10.8 \ -32.5	7.8 \ -23.5
21.0%	—	—	—	7.3 \ -21.9	-0.4 \ 1.1
19.5%	—	—	—	—	14.4 \ -43.3

- (accessed 2022-11-30)
- [2] : M リーグ個人副露データ, <https://mj-news.net/news/mleague/m-column/20210406157300> (accessed 2022-11-30)
- [3] : 雀魂, <https://mahjongsoul.com> (accessed 2022-11-30)
- [4] : 天鳳, <https://tenhou.net> (accessed 2022-11-30)
- [5] : 天鳳段位別ランキング, <https://tenhou.net/ranking.html> (accessed 2022-11-30)
- [6] Grimbergen, R.: The 17th CSA World Computer Shogi Championship, *ICGA Journal*, Vol. 30, No. 3, pp. 167–170 (2007).
- [7] Ichikawa, H.: Manue, , <https://github.com/gimite/mjai-manue> (accessed 2022-11-30)
- [8] Li, J., Koyamada, S., Ye, Q., Liu, G., Wang, C., Yang, R., Zhao, L., Qin, T., Liu, T.-Y. and Hon, H.-W.: Suphx: Mastering mahjong with deep reinforcement learning, *arXiv preprint arXiv:2003.13590* (2020).
- [9] nekobean: Miscellaneous programs about Japanese Mahjong, , <https://github.com/nekobean/mahjong-cpp> (accessed 2022-11-30)

- [10] Yamasaki, Y.: Ofuro, , https://github.com/zaki5m/mahjong_ai (accessed 2022-11-30)
- [11] 保木邦仁栗田萌: 麻雀における他家の手牌と待ちの予測に基づく放銃確率推定, 研究報告ゲーム情報学 (GI), Vol. 2017, No. 5, pp. 1–8 (2017).

付 録

A.1 麻雀の用語集

てはい
手牌 自分の手元にある牌のこと.

だはい
打牌 手牌から 1 枚捨てる行為.

つ も
自摸 山牌から 1 枚手牌に加える行為.

すてはい
捨て牌 打牌によって捨てられた牌.

ほうら
和了 麻雀の上がりの意味しており, その局での勝利を意味する.

てんぱい
聴牌 残り一枚で和了の状態.

しゃんてんまう
向聴数 和了まで最短で何枚引けば聴牌するかを表す数.

表 8 副露率の分布が得失点に与える影響（副露率 A が 2 人、B(<A) が 2 人、副露 3 回のプレイヤーを聴牌済みと見做して警戒する場合）

副露率 A	副露率 B				
	30.1%	25.5%	21.0%	19.5%	10.6%
31.5%	19.3 \ -19.3	7.1 \ -7.1	7.0 \ -7.0	36.3 \ -36.3	121.8 \ -121.8
30.1%	—	14.7 \ -14.7	7.0 \ -7.0	21.2 \ -21.2	126.5 \ -126.5
25.8%	—	—	4.8 \ -4.8	-12.4 \ 12.4	-34.7 \ 34.7
21.0%	—	—	—	34.0 \ -34.0	34.6 \ -34.6
19.5%	—	—	—	—	20.7 \ -20.7

表 9 副露率の分布が得失点に与える影響（副露率 A が 1 人、B(<A) が 3 人、副露 2 回のプレイヤーを聴牌済みと見做して警戒する場合）

副露率 A	副露率 B				
	30.1%	25.5%	21.0%	19.5%	10.6%
31.5%	-30.1 \ 10.0	28.9 \ -9.6	53.6 \ -17.9	-43.6 \ 14.5	58.8 \ -19.6
30.1%	—	49.6 \ -16.5	-11.2 \ 3.8	47.1 \ -15.7	41.8 \ -13.9
25.8%	—	—	-34.1 \ 11.4	18.0 \ -6.0	32.3 \ -10.8
21.0%	—	—	—	38.6 \ -12.9	28.5 \ -9.5
19.5%	—	—	—	—	50.6 \ -16.9

副露 自分の手牌の面子で後一枚足りない状態から、他のプレイヤーの打牌した牌を取得して面子を完成させる行為。

門前 副露していない状態のこと。

有効牌 手牌に加えたときに、向聴数が下がる牌。

不要牌 手牌の中で、打牌しても向聴数が変化しない牌。

流局 誰も和了せずに局が終了すること。

立直 面前で聴牌したときに、1000 点を支払い宣言する行為。立直後は、ツモ切りか暗カンしかできなくなる。

放銃 他のプレイヤーの当たり牌を打牌し、点数を失うこと。

副露率 一局あたりの副露する割合のこと。

現物 立直者の捨て牌に存在する牌のこと（そのプレイヤーに対して放銃することがない）。

押す 他のプレイヤーから立直を受けているときに、

そのプレイヤーの危険牌を打牌し、和了に向かうこと。

降りる 他のプレイヤーから立直を受けているときに、自身の和了を諦め、放銃しないように打牌すること。

