

# 全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルによる 牌の攪拌に関するシミュレーション

井手 広康<sup>1,a)</sup> 奥田 隆史<sup>2,b)</sup>

受付日 2018年2月16日, 採録日 2018年9月7日

**概要:** 全自動麻雀卓とは「すべての牌を裏向きにしてかき混ぜ、それらを牌山に積み上げる」という作業を、プレイヤーの代わりに自動で行う麻雀卓のことを指す。しかし全自動麻雀卓における牌の攪拌手法（牌のかき混ぜ方）には一定の規則性があるため、牌に偏りが生じている可能性があるため従来より指摘されている。そこで本研究では、マルチエージェントシミュレーションを用いて全自動麻雀卓をマルチエージェントモデルとして表現し、シミュレーション結果から牌の攪拌率（牌の攪拌の度合い）について分析した。さらに実機による実験結果との比較を行い、マルチエージェントモデルの妥当性について検証した。

**キーワード:** 麻雀, 全自動麻雀卓, 牌, 攪拌, マルチエージェントシミュレーション

## Simulation on Agitation of Tiles by Multi-agent Model of Automatic Mahjong Table

HIROYASU IDE<sup>1,a)</sup> TAKASHI OKUDA<sup>2,b)</sup>

Received: February 16, 2018, Accepted: September 7, 2018

**Abstract:** An automatic mahjong table is a table which has two functions of agitating all tiles and stacking them up automatically. However, it is pointed out for a long time that there is a possibility that tiles are biased because of certain rules to agitate tiles on automatic mahjong tables. Therefore, in this study, we modeled an automatic mahjong table using multi-agent simulation, and analyzed the degree of bias of tiles in the automatic mahjong table. Furthermore, we verified the validity of the model by comparing two results of an actual machine and a multi-agent simulation.

**Keywords:** mahjong, automatic mahjong table, tiles, agitation, multi-agent simulation

### 1. はじめに

麻雀のゲーム中においてプレイヤーが得ることのできるゲームに関する情報は、大きく「自分の手牌」と「各プレイヤーの捨て牌」に分けることができる。そのため麻雀は将棋や囲碁、チェスなどと異なり、ゲームの状態を正確に把握

することはできない。このような「プレイヤーごとに得られるゲームの状態に関する情報が部分的で不完全なゲーム」を不完全情報ゲームという [1]。不完全情報ゲームの特性として、麻雀のような情報の不完全性が小さいゲームは技術的な要素が強く、ポーカーのような情報の不完全性が大きいゲームは心理的な要素が強いとされている [2]。

トランプなどのカードを使用したゲームでは、1回のゲームごとにデッキ（山札）をシャッフルすることが一般的である。これはシャッフルによってデッキのカードに偏りが生じない状態にし、ゲームの公平性を担保することが目的である。麻雀でも同様に、牌に偏りが生じない状態にするため、1回のゲーム（局）ごとに牌をかき混ぜる作業を行う。この作業は洗牌（シーパイ）と呼ばれる。洗牌は従来プレイヤー

<sup>1</sup> 愛知県立大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology,  
Aichi Prefectural University, Nagakute, Aichi 480-1198,  
Japan

<sup>2</sup> 愛知県立大学情報科学部情報科学科  
Department of Information Science and Technology, Faculty  
of Information Science and Tehnology, Aichi Prefectural Uni-  
versity, Nagakute, Aichi 480-1198, Japan

a) k619154u@gmail.com

b) okuda@ist.aichi-pu.ac.jp

によって手作業で行われていたが、全自動麻雀卓の普及により現在では自動化されていることが一般的である。しかし全自動麻雀卓には牌の攪拌手法（牌のかき混ぜ方）に一定の規則性があるため、牌に偏りが生じている可能性がある」と従来より指摘されている。また全自動麻雀卓によって生じる牌の偏りについて分析している文献は、現在のところ確認できていない。

そこで本研究では、マルチエージェントシミュレーション（以下、「MAS」と呼ぶ）を用いて全自動麻雀卓をマルチエージェントモデルとして表現し、牌の攪拌に関するシミュレーション結果から牌の攪拌率（牌の攪拌の度合い）について分析した。さらにマルチエージェントモデルによるシミュレーション結果と実機による実験結果との比較を行い、マルチエージェントモデルの妥当性について検証した。なお本研究ではマルチエージェントシミュレータとして artisoc[3] を使用している。

以下、まず2章では、牌山が完成するまでの動作について述べ、全自動麻雀卓を牌の攪拌手法の観点から分類する。次に3章では、MASの環境として「ドラム空間」、エージェントとして「牌エージェント」と「吸込口エージェント」の設定について説明する。次に4章では、評価指標である牌の攪拌率の定義、MASによるシミュレーション結果について述べ、実機による実験結果からマルチエージェントモデルの妥当性について検証する。最後に5章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 全自動麻雀卓の動作と分類

各プレイヤーは局（麻雀におけるゲームの最小単位）を開始する前に、卓上ですべての牌を裏向きにして洗牌を行い、34枚（2段17列）の牌から構成される牌山に積み上げる（全部で4つの牌山が完成する）。これらの一連の作業を自動で行う麻雀卓を全自動麻雀卓という。全自動麻雀卓にはさまざまな機種が存在し、それによって牌の攪拌手法も大きく異なる。そのため本章では、まず全自動麻雀卓での牌山が完成するまでの動作について説明し、次に牌の攪拌手法の観点から全自動麻雀卓の分類を行う。

### 2.1 牌山が完成するまでの動作

全自動麻雀卓では2セットの牌（1セットは通常136枚）を使用し、1セットを使って卓上でゲームをしている間、次局で使用するもう1セットが卓の内部で牌山に積まれるという仕組みになっている。そのため牌山が積み上がるまでプレイヤーが待機することは基本的には生じない。

1局のゲームが終了すると、まずプレイヤーの1人が卓上のボタンを押して中央部に位置する牌の投入口を開き、各プレイヤーが卓上の牌を投入口から内部へ落とし込む。次に再度ボタンを押して投入口を閉じると、これと同時に内部で積み終わったもう1セットの牌山が卓上に現れる。この

後、内部では落とし込まれた牌を牌山に積み上げるために、次に示すA～Dの順で動作する。

- A：ドラム（牌が落とし込まれた空間）が回転する。
  - B：ドラムの回転と並行して、ドラム側部の4カ所に設置された吸込口が牌を一定間隔で拾い上げる。
  - C：吸込口は拾い上げた牌を牌山に移動させる。
  - D：吸込口が移動させた牌を順番に34枚積み、1つの牌山を完成させる（全部で4つの牌山が完成する）。
- なお全自動麻雀卓の一部の古い機種では、吸込口が1カ所や2カ所のタイプ、吸込口ではなくドラムの上部で回転する「円盤」によって複数の牌を同時に拾い上げるタイプも存在する[4]。ただし本研究では、現在主流となっている吸込口が4カ所のタイプのみを取り扱う。

### 2.2 牌の攪拌手法による分類

全自動麻雀卓では2.1節に示したA～Dの動作が牌の攪拌結果に大きく影響するため、本研究ではこれらを牌の攪拌手法として位置付けている。ただし前述のとおり、牌の攪拌手法は全自動麻雀卓の機種によって大きく異なる。そこで牌の攪拌手法をA/B/C/Dと表記し、全自動麻雀卓をこの記法を用いて分類する。ただしA～Dの動作に用いる記号は以下のとおりである。

#### A：ドラムの回転方向

ドラムが回転する方向（牌の回転方向）を表しており、この部分に使用する記号を次に示す。

- R：右回転（図1(a), (b)の黒矢印Aが該当）
- L：左回転（図1(a), (b)の白矢印Aが該当）

#### B：吸込口の設置位置

ドラム側部の4カ所に設置された吸込口の位置を表しており、この部分に使用する記号を次に示す。

- F：各プレイヤーの正面（図1(a)のBが該当）
- M：各プレイヤーの中間（図1(b)のBが該当）

ただし吸込口が1カ所のタイプはS、2カ所のタイプはD、円盤のタイプはOの記号を使用する。

#### C：牌の移動方向

吸込口が拾い上げた牌を牌山に移動させる方向を表しており、この部分に使用する記号を次に示す。

- R：右方向（図1(a), (b)の黒矢印Cが該当）
- L：左方向（図1(a), (b)の白矢印Cが該当）

#### D：牌山の積上順序

牌山へ牌を積み上げる順序を表しており、この部分に使用する記号を次に示す。

- H：水平型（図1(c)の上側2つの牌山が該当）
- V：垂直型（図1(c)の下側2つの牌山が該当）

なお図1(c)の牌を積み上げる順序を表す1～34の番号は、「C：牌の移動方向」がRの場合は牌山の「左始まり」、Lの場合は牌山の「右始まり」となる。

たとえば本研究で使用した実機（詳細は3章で説明する）

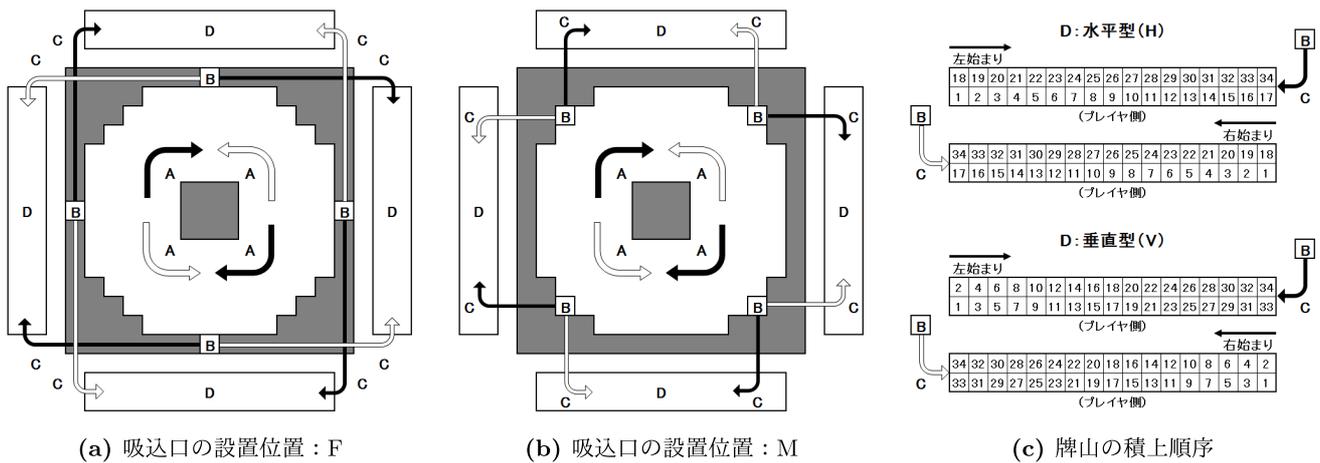


図 1 牌の攪拌機能による全自動麻雀卓の分類

Fig. 1 Classification of automatic mahjong tables by agitation functions of tiles.

表 1 全自動麻雀卓 AMOS VIERAL の仕様

Table 1 Specification of an automatic mahjong table “AMOS VIERAL”.

項目	記号	名称/値
製品名	-	AMOS VIERAL (アモス ヴィエラ)
牌の攪拌手法	-	L/M/R/H
本体サイズ	-	幅 850 mm × 奥行 850 mm × 高さ 790 mm
牌サイズ	-	幅 20.5 mm × 奥行 16.5 mm × 高さ 28.0 mm
ドラムサイズ (半径)	-	約 180 mm (このうち牌の可動範囲は約 140 mm)
ドラム (牌) の回転速度	$T_P$	4.5 秒/回転
吸込口がドラムの回転開始から牌の取得開始までに待機する時間	$T_W$	0 秒
吸込口が牌を取得する間隔の時間	$T_G$	0.75 秒
すべての牌山が完成するまでの所要時間	$T_E$	48.2 秒 (50 回の実験における平均値)

は、「A：ドラムの回転方向」が左回転 (L)、「B：吸込口の設置位置」が各プレイヤの中間 (M)、「C：牌の移動方向」が右方向 (R)、「D：牌山の積上順序」が水平型 (H) であった。そのため牌の攪拌手法は L/M/R/H という表記になる。また L/M/R/H の場合、牌山は「左始まり」となり、図 1(c) 水平型 (H) の上側の牌山がこれに該当する。

### 3. マルチエージェントモデル

本章では MAS の環境として「ドラム空間」、エージェントとして「牌エージェント」と「吸込口エージェント」の設定を行い、全自動麻雀卓をマルチエージェントモデルとして表現する。なお本研究では大洋技研株式会社の全自動麻雀卓 AMOS VIERAL (アモス ヴィエラ) [5] を実機として使用している。そのため以下、「実機」とは AMOS VIERAL を意味する。ここで実機から計測した実験データのうち、「ドラム (牌) の回転速度」を  $T_P$ 、「吸込口がドラムの回転開始から牌の取得開始までに待機する時間」を  $T_W$ 、「吸込口が牌を取得する間隔の時間」を  $T_G$ 、「すべての牌山が完成するまでの所要時間」を  $T_E$  とおき、実機の仕様を含めて表 1 に示す。

### 3.1 ドラム空間

全自動麻雀卓の内部に位置するドラムを図 2(a) のように  $15 \times 15$  のセルを使用して表現する (以下、「ドラム空間」と呼ぶ)。また図 2(a) の白色のセルがドラム空間における牌の可動範囲を表し、灰色のセル上を牌が移動することはできない (実機の中央部は支柱となっている)。なお牌の可動範囲は合計 136 セルとなっており、この「牌の可動範囲のセル数」と「牌の枚数」とを一致させている。これは実機での牌の落下直後、図 3(b) のようにドラムに隙間なく牌が埋まっており、空セル (詳細は 3.2 節で説明する) が発生していないことが理由である\*1。

次にドラム空間の各セルに対して図 2(b) のように高低  $H = 1, 2, 3, 4, 5$  を設定する (便宜上、灰色のセルは  $H = 9$  としている)。この設定は図 2(c) に示す牌の移動方向の設定に使用するものであり、詳細は 3.2 節で説明する。

次にドラム空間における牌の初期配置 (落下直後の状態) について説明する。まず図 2(a) の下側に位置するプレイヤが東家 (トンチャ) であると仮定したとき、東家から左

\*1 全自動麻雀卓の内部構造が似ている「AMOS」や「センチュリー」では牌の落下直後、ドラムに空セルは発生していない。しかし空セルが発生する「雀友」や「雀豪」では本モデルがそのまま適用できる可能性は低いと考えられる (詳細は 4.3 節で説明する)。

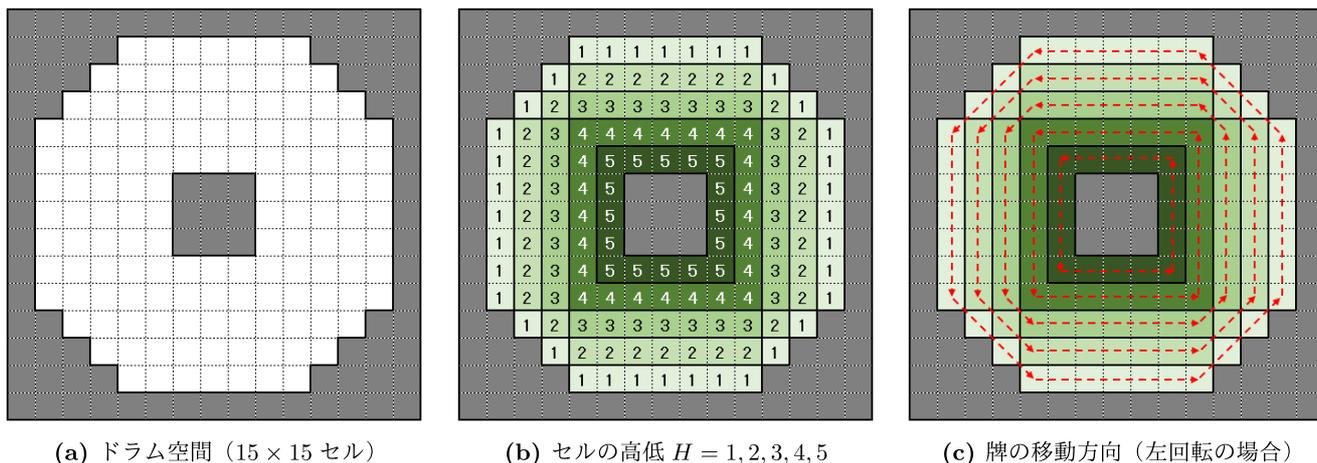


図 2 全自動麻雀卓の内部に位置するドラム空間の設定

Fig. 2 Setting of the drum space located inside the automatic mahjong table.



図 3 ドラム空間における牌の落下範囲  $Q_i$  および牌の初期配置の例

Fig. 3 Falling range of tiles  $Q_i$  and examples of initial placement in the drum space.

回りに南家 (ナンチャ), 西家 (シャーチャ), 北家 (ペーチャ) となり, 順に  $i = 1, 2, 3, 4$  とおく. 次に牌が落とし込まれる範囲を牌の落下範囲と呼び, 図 3(a) のように 4 つの範囲  $Q_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) に分割する. プレイヤ  $i$  の位置と牌の落下範囲  $Q_i$  の関係から, たとえば東家 ( $i = 1$ ) がドラムへ落とし込んだ牌は, おおよそ  $Q_1$  を中心に落下すると予測できる. ここで各プレイヤーの  $Q_i$  に対する牌の落下枚数について, 実機を用いて次のとおり調査した.

まず実機における牌の初期配置の例を図 3(b) に示す. 実機ではこのように背の色が異なる 4 色の牌 (赤, 青, 緑, 黄) を 34 枚 (136 枚/4 人) ずつ使用し, 牌を落とし込んだプレイヤーを特定できるようにしている (通常の使用では牌は 1 色であるため特定できない). なお色の設定は「赤」が東家 ( $i = 1$ ), 「青」が南家 ( $i = 2$ ), 「緑」が西家 ( $i = 3$ ), 「黄」が北家 ( $i = 4$ ) としている. 次に以下の手順から各プレイヤーの  $Q_i$  に対する牌の落下枚数を算出する.

- (1) 136 枚の牌を色 (プレイヤー) ごとに各 34 枚に分ける.
- (2) すべての牌を同時にドラムへと落とし込む.

- (3) 各プレイヤーの牌の落下範囲に配置された牌の色 (牌を落とし込んだプレイヤー) をすべて記録する.
- (4) (1)~(3) の作業を 10 回繰り返して, 牌の落下枚数の平均値を算出する.

この結果, 牌は自身の落下範囲へ 20 枚 (58.8%), 両側の落下範囲へそれぞれ 6 枚 (17.6%), 向側の落下範囲へ 2 枚 (5.9%) が落下しているというデータが得られた. そこで MAS では, このデータに基づきドラム空間への牌の初期配置を行う. たとえば東家 ( $i = 1$ ) の場合,  $Q_1$  へ 20 枚,  $Q_2$  と  $Q_4$  へ各 6 枚,  $Q_3$  へ 2 枚の牌 (固定値) を配置する.

ここで MAS における牌の初期配置の例を図 3(c) に示す. なお MAS ではシミュレーション中の「牌の重なり」については考慮していないため, 牌の初期配置では図 3(c) のように隙間なく牌が配置される. また図 3(b) のように牌は表 (文字側) や裏 (背の側) など「向き」に関して不規則な状態で配置されていることが分かる. ただし MAS では便宜上, 初期配置の牌に対して確率  $2/3$  で「表」, 確率  $1/3$  で「裏」の属性を与える. この牌の向きに関する属性

は吸込口エージェントの設定に使用するものであり、詳細は 3.3 節で説明する。

### 3.2 牌エージェント

本研究で取り扱う牌は、日本の麻雀ルールで一般的に使用されている 34 種 136 枚を想定する [6], [7], [8], [9]. MAS ではこれらの牌に  $n = 1, 2, \dots, 136$  を割り振り、牌エージェント  $P_n$  とおく. すべての  $P_n$  をドラム空間において回転させるため、 $P_n$  の動作を次のとおり設定する。

まず  $P_n$  は図 2 (b) に示した自身が位置しているセルの高低  $H$  を調べ、ドラムの回転方向に対して  $H$  の等高線上に位置するセルへと移動する. たとえば「A: ドラムの回転方向」が左回転 (L) の場合、 $P_n$  は図 2 (c) に示す矢印の方向に対して 1 ステップ\*2 ごとに 1 セル移動する. しかしドラムの「中央付近に位置する  $P_n$ 」と「外周付近に位置する  $P_n$ 」とは等高線上のセル数が異なり、後者の方がドラムの 1 回転に時間を要することになる. そこでまず各  $H$  における等高線上のセル数を  $C_H$  とおき、図 2 (b) から  $C_1 = 36, C_2 = 32, C_3 = 28, C_4 = 24, C_5 = 16$  を得る. これら  $C_H$  の値が、各  $H$  に位置する  $P_n$  の「ドラムの 1 回転に要するステップ数」と考えることができる. 次にすべての  $P_n$  の移動速度をドラムの最も外側 ( $H = 1$ ) に位置する  $P_n$  に合わせるため、同じ等高線上に位置するすべての  $P_n$  を確率  $C_H/C_1$  で次のセルへ移動させるように設定する. つまり次の確率で  $P_n$  が移動することになる.

- $H = 1$  に位置する  $P_n$ :  $C_1/C_1 = 1.00$  (36/36)
- $H = 2$  に位置する  $P_n$ :  $C_2/C_1 = 0.89$  (32/36)
- $H = 3$  に位置する  $P_n$ :  $C_3/C_1 = 0.78$  (28/36)
- $H = 4$  に位置する  $P_n$ :  $C_4/C_1 = 0.67$  (24/36)
- $H = 5$  に位置する  $P_n$ :  $C_5/C_1 = 0.44$  (16/36)

ここで  $P_n$  がドラムの 1 回転に要する平均ステップ数を  $S_P$  とおく. すべての  $P_n$  は確率  $C_H/C_1$  で次のセルへ移動するため、ここでは  $S_P = C_1$ , つまり  $P_n$  がドラムの 1 回転に平均 36 ステップ要すると考えることができる.

次に  $P_n$  に対して、上記の移動の後 (確率による移動の可否は問わない) に「半径 1 セル内において自身が位置する  $H$  よりも低く、かつ  $P_n$  がいないセル (以下、「空セル」と呼ぶ) が 1 つ以上存在すれば、その中からランダムに選択したセルへ移動する」ように設定する. このため牌の初期配置の段階では空セルがない状態であるが、 $P_n$  が取得されるごとに空セルが発生し、これを埋めるようにして周辺の  $P_n$  が外側へ移動するようになる. ここで  $P_n$  の動作をフローチャートに表したものを図 4 に示す. このように MAS では、 $P_n$  は吸込口エージェント (3.3 節で述べる) によって取得されるまでセルの移動を繰り返す.

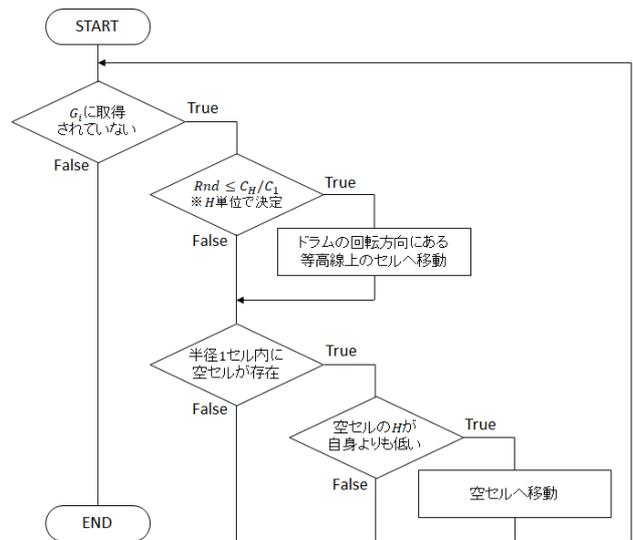


図 4 MAS における牌エージェント  $P_n$  の動作  
Fig. 4 Flowchart of a pai agent  $P_n$  in MAS.

### 3.3 吸込口エージェント

プレイヤー  $i$  の牌山へ牌を送る吸込口に  $i$  を割り振り、それぞれを吸込口エージェント  $G_i$  とおく. たとえば L/M/R/H では図 1 (b) の右下の  $\boxed{B}$  が  $G_1$ , 右上の  $\boxed{B}$  が  $G_2$ , 左上の  $\boxed{B}$  が  $G_3$ , 左下の  $\boxed{B}$  が  $G_4$  となる. また図 1 (c) に示した牌の積上順序を表す番号を  $j \in \{1, 2, \dots, 34\}$  とおき、プレイヤー  $i$  の牌山における牌の位置を  $W_{i,j}$  と表記する. そのためプレイヤー  $i$ , 吸込口エージェント  $G_i$ , 牌の位置  $W_{i,j}$  は  $i$  で一組をなしていると考えられる. たとえば  $G_1$  が 2 回目の  $P_n$  を取得すると、それを東家 ( $i = 1$ ) の牌山に送り、牌山の位置  $W_{1,2}$  へ積むという流れになる.

ただし  $G_i$  は取得した  $P_n$  の属性が「表」であった場合は牌山へ送ることができるが、「裏」であった場合は牌山へ送らずに「表」に戻すという動作をとる. これは全自動麻雀卓で使用する牌は内部に磁石が埋め込まれており、吸込口は磁石によって牌を拾い上げることに起因する. ただし牌が「表」以外の向き (裏, 縦, 横) であった場合には、磁石の極性を利用して「表」に戻す仕組みとなっている. また吸込口は牌が「裏」以外の向きであれば高い確率で拾い上げることができる. そのため図 3 (b) に示した牌の向きを調査し、MAS では便宜上、「表」を確率 2/3、「裏」を確率 1/3 で  $P_n$  に与えている.

ここで MAS において、「 $G_i$  が最初の  $P_n$  の選択までに待機するステップ数」を  $S_W$ , 「 $G_i$  が  $P_n$  を選択する間隔のステップ数」を  $S_G$ , 「1 回のシミュレーションの平均ステップ数」を  $S_E$  とおき、次にこれらの値について求める. まず  $S_W$  について実機を調査したところ、表 1 に示したように吸込口はドラムの回転開始と同時に牌の取得を開始 ( $T_W = 0$ ) していたため、 $S_W = 0$  と設定する. 次に  $S_G$  および  $S_E$  の値を求めるために、実時間 (秒) と MAS におけるステップとを対応させる. 実機におけるドラム (牌) の

\*2 このステップとは artisoc において時間を表す単位である. なお 1 ステップは「すべてのエージェントに対する命令が、それぞれ 1 回実行される時間区間」を意味する.

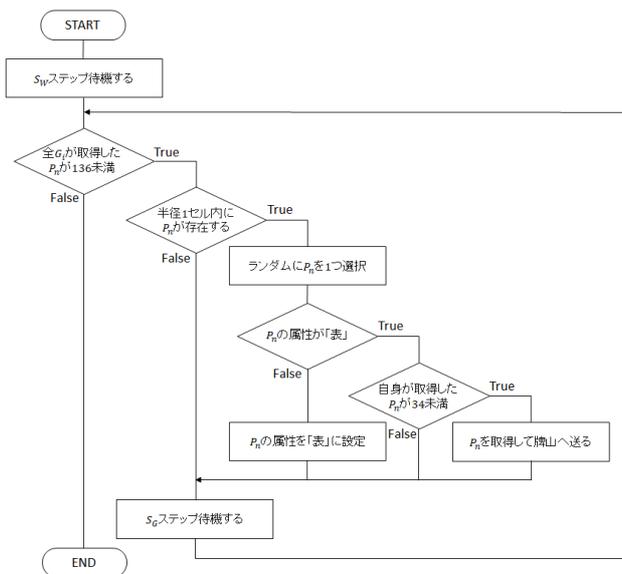


図 5 MAS における吸込口エージェント  $G_i$  の動作  
 Fig. 5 Flowchart of a get agent  $G_i$  in MAS.

回転速度は表 1 から  $T_P = 4.5$  である。また  $T_P$  に対して  $P_n$  がドラムの 1 回転に要する平均ステップ数は  $S_P = 36$  であり、この値が「MAS におけるドラム (牌) の回転速度」と考えることができる。そのため  $T_P$  と  $S_P$  の関係から  $S_P/T_P = 8.0$  となり、MAS における 8 ステップが実時間の 1 秒に対応していることが分かる。これらの結果から、 $S_G$  については  $T_G \times 8$  より  $S_G = 6$ 、さらに  $S_E$  についても  $T_E \times 8$  より  $S_E \approx 386$  を得る。

これらのパラメータをふまえたうえで、MAS において  $G_i$  の動作を次のとおり設定する。また  $G_i$  の動作をフローチャートに表したものを図 5 に示す。

- シミュレーション開始時に  $S_W$  ステップ待機する ( $S_W = 0$  の場合はそのまま牌の選択を開始する)。
- 自身の半径 1 セル内に  $P_n$  が存在すれば、その中からランダムに 1 つを選択する。
- 選択した  $P_n$  の属性が「表」かつ自身が取得した  $P_n$  が 34 未満であれば  $P_n$  を取得し、属性が「裏」であれば「表」に変更する ( $P_n$  は取得しない)。
- 次の  $P_n$  を選択するまで  $S_G$  ステップ待機する。

なお図 5 からも分かるように、自身が取得した  $P_n$  が 34 となった場合でも、すべての  $G_i$  が取得した  $P_n$  の合計が 136 未満であれば  $P_n$  の属性を変更する動作は継続する。

#### 4. 数値例

本章では牌の攪拌の度合いを評価するために、まずシミュレーション結果に対する評価指標として牌の攪拌率  $A_{i,j}$  を定義する。次に MAS に設定するパラメータについて説明し、シミュレーション結果から牌の攪拌率  $A_{i,j}$  について分析する。さらに実機による実験結果からマルチエージェントモデルの妥当性について検証する。

#### 4.1 牌の攪拌率の定義

MAS ではすべての  $P_n$  に対して「自身をドラムへ落とし込んだプレイヤー」を記録することで、「各プレイヤーが落とし込んだ牌に対する牌山の積まれやすい位置  $W_{i,j}$ 」を特定することができる。そこで各プレイヤーの牌山のすべての牌の位置  $W_{i,j}$  (136 カ所) に対して、全体のシミュレーション結果から牌を落とし込んだ各プレイヤーの割合を求め、牌の攪拌の度合いを評価する。

たとえば東家 ( $i = 1$ ) の牌山の 2 番目に牌が積まれた位置  $W_{1,2}$  について、100 回のシミュレーション結果のうち各プレイヤーから均等に 25 回ずつ牌が積まれていた場合、「牌が最も攪拌されている状態」とであると評価できる。一方、100 回のシミュレーション結果のうち 1 人のプレイヤーから 100 回 (他の 3 人のプレイヤーからは 0 回) とも牌が積まれていた場合、「牌が最も攪拌されていない状態」と評価できる。このような牌の位置  $W_{i,j}$  に対する「牌の攪拌の度合いを示す指標」を牌の攪拌率  $A_{i,j}$  とおき、以下の手順から牌の攪拌率  $A_{i,j}$  を算出する。

まず牌の攪拌率  $A_{i,j}$  に関するパラメータ  $n, s, x_i$  について次のとおり定義する。

- $n$  : プレイヤの人数 ( $i$  の最大値)
  - $s$  : シミュレーション回数
  - $x_i$  :  $s$  回の結果において、牌山の  $W_{i,j}$  に位置する牌を落とし込んだ各プレイヤー  $i$  の累積値 ( $0 \leq x_i \leq s$ )
- 次に  $x_i$  の標準偏差  $\sigma$  について式 (1) を得る。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\frac{s}{n} - x_i)^2}{n}} \quad (1)$$

次に  $x_i$  の最大標準偏差  $\sigma_{max}$  について、式 (1) に  $x_1 = s, x_2 = 0, x_3 = 0, x_4 = 0$  を代入して式 (2) を得る。

$$\sigma_{max} = \sqrt{\frac{(\frac{s}{n} - s)^2 + (n-1)(\frac{s}{n})^2}{n}} \quad (2)$$

最後に  $\sigma/\sigma_{max}$  の値を 1 から減算し、ここで得られた式 (3) を牌の攪拌率  $A_{i,j}$  ( $0 \leq A_{i,j} \leq 1$ ) と定義する。

$$A_{i,j} = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\frac{s}{n} - x_i)^2}{(\frac{s}{n} - s)^2 + (n-1)(\frac{s}{n})^2}} \quad (3)$$

式 (3) では  $x_1, x_2, x_3, x_4$  がそれぞれ均等に  $s/n$  であるとき  $A_{i,j} = 1$  となり、これが「牌が最も攪拌されている状態」を表す。一方、 $\sigma = \sigma_{max}$  を満たす場合、たとえば  $x_1 = 0, x_2 = s, x_3 = 0, x_4 = 0$  であるとき  $A_{i,j} = 0$  となり、これが「牌が最も攪拌されていない状態」を表す。

#### 4.2 シミュレーションに基づく牌の攪拌率の分析

牌の攪拌率  $A_{i,j}$  についてシミュレーションから分析する

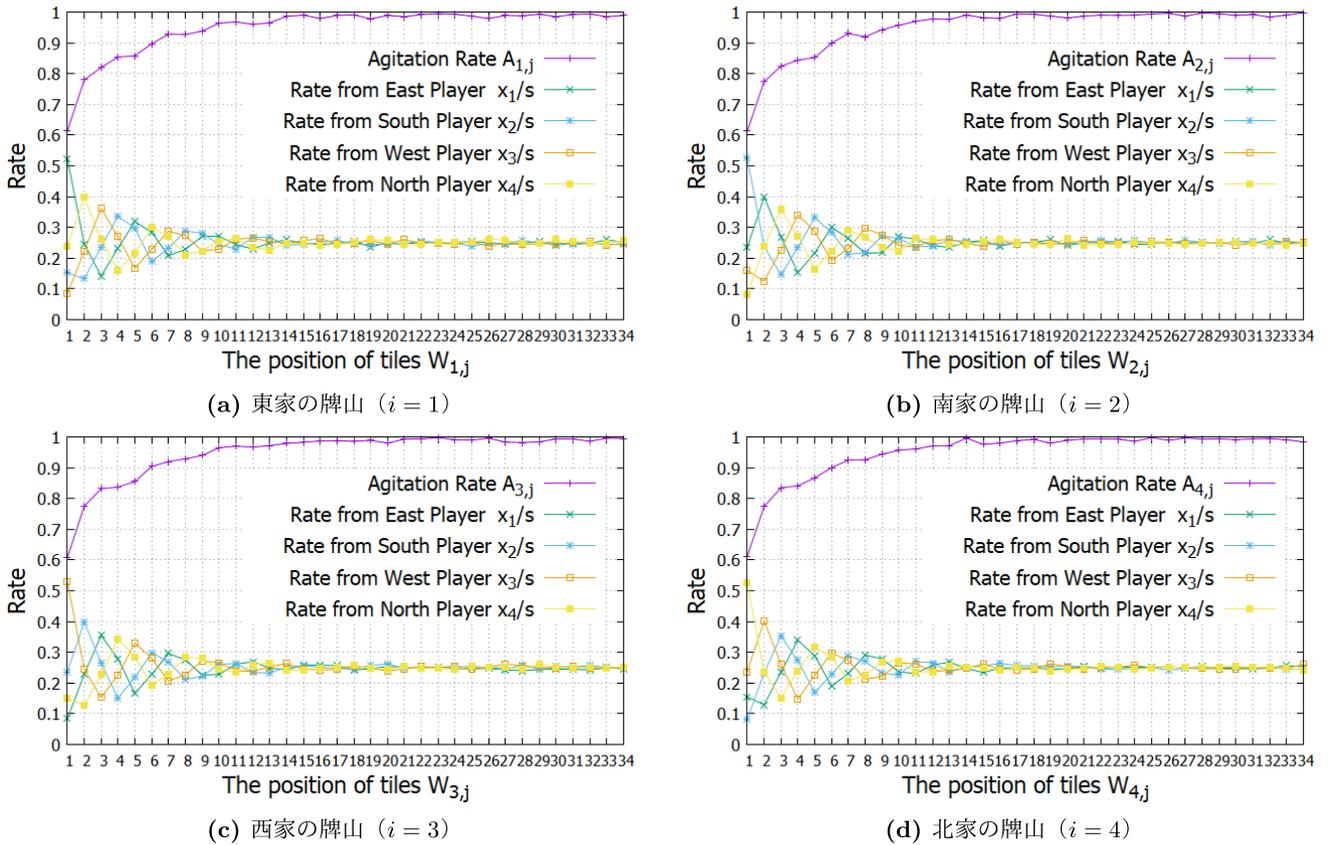


図 6 各プレイヤーの牌山の  $W_{i,j}$  に対する牌の攪拌率  $A_{i,j}$  (シミュレーション結果)  
 Fig. 6 Agitation rate  $A_{i,j}$  in  $W_{i,j}$  of each player's walls (A result of simulations).

表 2 MAS のパラメータ設定  
 Table 2 Parameter setting in MAS.

パラメータの説明	記号	値
$P_n$ がドラムの 1 回転に要する平均ステップ数	$S_P$	36
$G_i$ が最初の $P_n$ の選択まで待機するステップ数	$S_W$	0
$G_i$ が $P_n$ を選択する間隔のステップ数	$S_G$	6
1 回のシミュレーションの平均ステップ数	$S_E$	386
プレイヤーの人数 ( $i$ の最大値)	$n$	4
シミュレーション回数	$s$	$10^4$

ために、MAS のパラメータを表 2 のように設定する。実機から換算したパラメータは  $S_P = 36$ ,  $S_W = 0$ ,  $S_G = 6$ ,  $S_E = 386$  としている。またプレイヤーの人数 ( $i$  の最大値) は  $n = 4$ , シミュレーション回数は  $s = 10^4$  とした。

まず図 6 にシミュレーション結果を示す。図 6(a) は東家 ( $i = 1$ )、図 6(b) は南家 ( $i = 2$ )、図 6(c) は西家 ( $i = 3$ )、図 6(d) は北家 ( $i = 4$ ) における「牌山における牌の攪拌率  $A_{i,j}$ 」と「牌を落とし込んだ各プレイヤーの割合  $x_i/s$ 」をそれぞれ示している。

次に表 3 に「各プレイヤーの牌山における牌の攪拌率  $A_{i,j}$ 」, 「 $x_i$  の適合度検定 (有意水準  $\alpha = 0.05$ ) におけるカイ二乗値  $\chi^2$ 」, 「帰無仮説  $H_0$  の採択の可否 ( $H_0$  が採択された場合に「○」を表記)」を示す。なおこの場合の帰無仮説  $H_0$  は「牌山における牌の位置  $W_{i,j}$  に偏りが無い」、一

方で対立仮説  $H_1$  は「牌山における牌の位置  $W_{i,j}$  に偏りがある」となる。また  $\chi^2$  は式 (4) から求めることができる。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{n}{s} \left(x_i - \frac{s}{n}\right)^2 \sim \chi^2(n-1) \quad (4)$$

なお牌の攪拌率  $A_{i,j}$  は、式 (4) に示したカイ二乗値  $\chi^2$  を用いて式 (5) として表すことができる。そのため牌の攪拌率  $A_{i,j}$  は、 $x_i$  の適合度検定におけるカイ二乗値  $\chi^2$  を  $[0, 1]$  に正規化した結果であるともいえる。

$$A_{i,j} = 1 - \sqrt{\frac{\chi^2}{s(n-1)}} \quad (5)$$

また式 (5) から、牌の攪拌率  $A_{i,j}$  が増加するとカイ二乗値  $\chi^2$  が指数的に減少することは明白であり、表 3 に示した適合度検定の結果からもその傾向が見て取れる。

これら図 6 と表 3 を用いて牌の攪拌率  $A_{i,j}$  について分析する。まず図 6 と表 3 の各プレイヤーの牌山における  $j = 1$  に位置する  $W_{i,1}$  に着目する。牌の攪拌率  $A_{i,j}$  は各プレイヤーとも  $A_{i,1} \approx 0.61$  であり、おおむね低い数値となっている。しかし  $j$  の増加にともない牌の攪拌率  $A_{i,j}$  は上昇していき、 $j \approx 14$  を界に大きな変化が現れなくなる。表 3 の帰無仮説  $H_0$  の採択の可否からも、 $j = 14$  においてはじめて帰無仮説  $H_0$  が採択されていることが分かる。また全体で帰無仮説  $H_0$  が採択された割合は 50% (68/136) であった。

表 3 シミュレーション結果に対する適合度検定の結果  
Table 3 Result of goodness-of-fit test for the simulation result.

$j$	$A_{1,j}$	$\chi^2$	$H_0$	$A_{2,j}$	$\chi^2$	$H_0$	$A_{3,j}$	$\chi^2$	$H_0$	$A_{4,j}$	$\chi^2$	$H_0$
1	0.6140	4468.849		0.6130	4493.774		0.6083	4603.914		0.6120	4515.319	
2	0.7796	1456.994		0.7744	1527.530		0.7754	1513.994		0.7739	1534.126	
3	0.8199	973.326		0.8241	928.454		0.8324	842.218		0.8349	817.966	
4	0.8542	637.443		0.8436	733.830		0.8372	795.420		0.8412	756.556	
5	0.8581	604.342		0.8518	658.614		0.8551	629.531		0.8669	531.070	
6	0.8972	316.751		0.8987	307.610		0.9039	277.079		0.9000	299.967	
7	0.9277	156.784		0.9295	149.098		0.9200	192.233		0.9248	169.830	
8	0.9274	158.086		0.9204	190.282		0.9288	152.278		0.9264	162.426	
9	0.9385	113.594		0.9429	97.759		0.9399	108.200		0.9441	93.737	
10	0.9644	37.978		0.9570	55.412		0.9646	37.517		0.9566	56.626	
11	0.9677	31.230		0.9698	27.394		0.9704	26.225		0.9614	44.674	
12	0.9597	48.823		0.9782	14.278		0.9670	32.726		0.9707	25.814	
13	0.9654	35.958		0.9756	17.802		0.9724	22.786		0.9721	23.416	
14	0.9855	6.298	○	0.9901	2.919	○	0.9795	12.610		0.9958	0.540	○
15	0.9903	2.844	○	0.9819	9.847		0.9833	8.323		0.9764	16.721	
16	0.9791	13.119		0.9787	13.644		0.9870	5.092	○	0.9800	12.014	
17	0.9895	3.326	○	0.9943	0.970	○	0.9883	4.072	○	0.9884	4.020	○
18	0.9912	2.311	○	0.9932	1.391	○	0.9857	6.137	○	0.9919	1.991	○
19	0.9780	14.506		0.9871	4.967	○	0.9889	3.708	○	0.9800	11.975	
20	0.9891	3.591	○	0.9808	11.004		0.9805	11.442		0.9894	3.348	○
21	0.9855	6.332	○	0.9867	5.340	○	0.9929	1.520	○	0.9924	1.740	○
22	0.9917	2.055	○	0.9895	3.278	○	0.9936	1.223	○	0.9919	1.982	○
23	0.9948	0.826	○	0.9889	3.699	○	0.9979	0.130	○	0.9931	1.418	○
24	0.9933	1.334	○	0.9896	3.265	○	0.9909	2.474	○	0.9861	5.794	○
25	0.9867	5.269	○	0.9939	1.126	○	0.9899	3.041	○	0.9976	0.174	○
26	0.9795	12.610		0.9960	0.476	○	0.9959	0.516	○	0.9893	3.421	○
27	0.9886	3.881	○	0.9875	4.714	○	0.9833	8.378		0.9968	0.298	○
28	0.9880	4.328	○	0.9971	0.254	○	0.9825	9.225		0.9930	1.486	○
29	0.9929	1.532	○	0.9953	0.663	○	0.9838	7.918		0.9936	1.210	○
30	0.9848	6.969	○	0.9885	3.958	○	0.9922	1.846	○	0.9913	2.282	○
31	0.9916	2.115	○	0.9917	2.078	○	0.9920	1.922	○	0.9943	0.970	○
32	0.9942	1.009	○	0.9844	7.262	○	0.9864	5.552	○	0.9953	0.663	○
33	0.9849	6.870	○	0.9896	3.259	○	0.9957	0.558	○	0.9906	2.671	○
34	0.9890	3.611	○	0.9978	0.140	○	0.9947	0.842	○	0.9838	7.842	

次に図 6 の各プレイヤーの牌山において、 $j = 1$  に位置する  $x_i/s$  に着目する。 $j = 1$  において  $x_i/s$  は「自身の牌山に位置するプレイヤー」が最も高い値を示していることが分かる。たとえば図 6(a) の東家の牌山 ( $i = 1$ ) における  $j = 1$  を見ると、 $x_i/s$  が高い順に東家 ( $x_1/s = 0.523$ )、北家 ( $x_4/s = 0.240$ )、南家 ( $x_2/s = 0.153$ )、西家 ( $x_3/s = 0.085$ ) となっている。つまり牌山の位置  $W_{i,1}$  には、50%を超える確率で「自身の牌山に位置するプレイヤー」が落とし込んだ牌が積まれていることが分かる。しかしその後は  $j$  の増加にともなって  $x_i/s$  の振幅が収まり、 $j \geq 14$  ではおおよそ  $x_i/s = 0.25$  に収束している。

これらの結果から、牌山の 1/2 程度の位置  $W_{i,j}$  に牌の偏りが存在し、特におおむね  $j < 14$  では牌の偏りが顕著であると結論付けることができる。

#### 4.3 マルチエージェントモデルの妥当性検証

全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルの妥当性を検証するために、実機を用いて牌の攪拌実験を 200 回行い、シミュレーションの場合と同様の手順で牌の攪拌率  $A_{i,j}$  を算出した。ここで図 7 に実機による実験結果とシミュレーション結果を比較したグラフを示す。なおここでの牌の攪拌率  $A_{i,j}$  は、両グラフとも各プレイヤー  $i$  の牌の攪拌率  $A_{i,j}$  を平均した値である。また双方の条件を一致させるため、ここではシミュレーションも  $s = 200$  としている。

図 7 から実機による実験結果 (A result of an actual machine) とシミュレーション結果 (A result of a simulation) が同じグラフ傾向を示していることが分かる。ただし図 7 の 2 つの結果において牌の攪拌率  $A_{i,j}$  の最大値が 0.95 程度であるのに対し、図 6 では牌の攪拌率  $A_{i,j}$  の最大値は限りなく 1 に近い値となっている。これは図 7 の実験回数

表 4 マルチエージェントモデルの他機種への適応可能範囲  
Table 4 Adaptable range of a multi-agent model to other models.

製造会社	製品名	牌の攪拌手法	配牌機能	適応可能性	備考
大洋技研	AMOS REXX	L/M/R/H	○	△	配牌機能が OFF の場合に適応可
大洋技研	AMOS ULTIMA	L/M/R/H	○	△	配牌機能が OFF の場合に適応可
大洋技研	AMOS VIERAL	L/M/R/H		◎	実機として使用
大洋技研	AMOS SEVIOR	L/M/R/H		○	実機と内部構造が同じ
大洋技研	AMOS CHARME	L/M/R/H		○	実機と内部構造が同じ
大洋技研	AMOS CUBE	L/M/R/H		○	実機と内部構造が同じ
大洋技研	AMOS PLEASURE	R/S/R/V		×	吸込口が 1 カ所のため適応不可
大洋技研	AMOS MATER	R/S/R/V		×	吸込口が 1 カ所のため適応不可
大洋技研	AMOS KONG	R/S/R/V		×	吸込口が 1 カ所のため適応不可
大洋技研	AMOS KONG BATTLE 4	R/S/R/V		×	吸込口が 1 カ所のため適応不可
大洋技研	AMOS MONSTER	R/S/R/V		×	吸込口が 1 カ所のため適応不可
大洋技研	AMOS NINJA	R/S/R/V		×	吸込口が 1 カ所のため適応不可
大洋技研	AMOS GABIN	R/S/R/V		×	吸込口が 1 カ所のため適応不可
マツオカメカトロニクス	センチュリー 龍鳳	L/M/R/H	○	△	仕様を調査する必要あり
マツオカメカトロニクス	センチュリー フェニックス	R/M/L/H		△	仕様を調査する必要あり
マツオカメカトロニクス	センチュリー PAL	R/M/L/H		△	仕様を調査する必要あり
マツオカメカトロニクス	センチュリー NEXT MORE	R/M/L/H		△	仕様を調査する必要あり
エムテックスマツムラ	雀友 ドラジャン	R/O/R/V		×	円盤タイプのため適応不可
エムテックスマツムラ	雀友 α	R/O/R/V		×	円盤タイプのため適応不可
電元オートメーション	雀豪 昇龍	L/M/R/H	○	△	仕様を調査する必要あり
電元オートメーション	雀豪 WONDER	L/F/R/V		△	仕様を調査する必要あり
電元オートメーション	雀豪 DOME	L/O/L/H		×	円盤タイプのため適応不可
電元オートメーション	雀豪 MK-3	L/O/L/H		×	円盤タイプのため適応不可

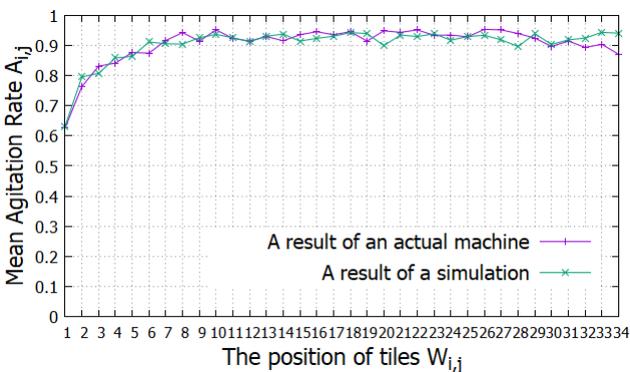


図 7 実機による実験結果とシミュレーション結果の比較  
Fig. 7 Results of an actual machine and a simulation.

およびシミュレーション回数として設定した  $s = 200$  が、図 6 の  $s = 10^4$  と比較して極端に少ないことに起因する。

また図 7 における  $s = 200$  のシミュレーションに対して、1 回の平均シミュレーション時間を計測したところ 371 ステップであった。この値と表 2 の  $S_E$  (実機からの換算値) との誤差は 15 ステップ (約 2 秒) であるため、実機とシミュレーションにおける 1 回の攪拌に要する時間はほぼ同じであるといえる。これらの結果から、本研究において使用した実機に対するマルチエージェントモデルの妥当性は高いと結論付けることができる。

ただし本研究の結果はあくまで全自動麻雀卓の中の一機

種に対するものであるため、これらの結果を一般的な全自動麻雀卓の性能として結論付けることはできない。そこで表 4 に本研究で用いたマルチエージェントモデルの他機種への適応可能範囲について示す。なお表 4 の「配牌機能」、「適応可能性」、「備考」は次を意味する。

配牌機能

配牌機能 (自動で配牌を行う機能) を搭載している機種に「○」を示す。この配牌機能を搭載している機種は、牌山の積み方が根本的に異なるため本研究のモデルは適応外である (ただし配牌機能を OFF にすれば適応可となる)。

適応可能性

該当する機種に本研究のマルチエージェントモデルが適応できる可能性を次のとおり示している。

- ◎ : 適応可 (実機として使用)
- ○ : 適応可 (実機と内部構造が同じ)
- △ : 適応できる可能性あり (別途要調査)
- × : 適応不可 (実機と内部構造が大きく異なる)

備考

上記「適応可能性」に関する補足事項を説明している。基本的に製造会社と牌の攪拌手法が同じであれば、全自動麻雀卓の内部構造も同じである。

なお牌の攪拌手法が同じ機種であっても、表 1 に記載されている「ドラムのサイズ (空セルの割合)」、「ドラムの回

転速度」, 「吸込口が牌を取得する間隔」などは製造会社によって異なる可能性がある. そのため他社の機種に本研究のマルチエージェントモデルを適応する場合, 新たに実機の仕様を調査する必要があると考えられる.

## 5. おわりに

本研究では MAS を用いて全自動麻雀卓をマルチエージェントモデルとして表現し, シミュレーション結果から牌の攪拌率  $A_{i,j}$  について分析した. その結果, 本研究で使用した実機 (AMOS VIERAL) には, 牌山の 1/2 程度の位置  $W_{i,j}$  に牌の偏りが存在し, 特におおむね  $j < 14$  では牌の偏りが顕著であることが明らかとなった.

さらに本研究では実機による実験結果からマルチエージェントモデルの妥当性を得ることができた. そのため実機では困難な設定, たとえばドラムの回転速度や牌の取得間隔を調節してシミュレーションすることが可能となる. 今後の課題として, 牌の攪拌率を向上させるための新たな牌の攪拌手法の提案があげられる.

またシミュレーションの各ステップにおける牌の詳細な状態, つまり「牌のドラムへの落とし込みから回転運動, そして吸込口によって取得され牌山に積まれるまでの過程」について把握することも可能である. これら一連の流れは「各状態に依存した確率的遷移」と見ることができ, 全体としてマルコフ決定過程として表現することができる. そのためシミュレーションステップ数と牌の攪拌率との相関についても, 今後の課題として分析していきたい.

なお本研究の一部は, 情報処理学会第 79 回全国大会 (2017 年 3 月) [10], 第 22 回ゲームプログラミングワークショップ (2017 年 11 月) [11], 第 39 回ゲーム情報学研究会 (2018 年 3 月) [12] において発表している.

謝辞 実機による実験では, 愛知県立大学奥田研究室の伊神聖人氏, 森友哉氏, 鈴木一輝氏にご協力いただいた.

## 参考文献

- [1] 西野哲朗: 不完全情報ゲーム, 情報処理, Vol.53, No.2, pp.112-117 (2012).
- [2] 作田 誠: 不完全情報ゲームの研究, オペレーションズ・リサーチ, Vol.52, No.1, pp.27-34 (2007).
- [3] 山影 進: 人工社会構築指南—artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門, 書籍工房早川 (2008).
- [4] 麻雀ウォッチ: 全自動麻雀卓図鑑, 入手先 (<https://mj-news.net/column/takuzukan>) (参照 2018-02-06).
- [5] 大洋技研株式会社: 麻雀卓ラインナップ, AMOS VIERAL (アモス ヴィエラ) カタログ, 入手先 (<http://www.taiyo-chemicals.co.jp/business/mahjong/amos-vieral.pdf>) (参照 2018-02-06).
- [6] Lo, A.: *The Complete Book of Mah Jongg: An Illustrated Guide to the Asian, American and International Styles of Play*, TUTTLE (2001).
- [7] Miller, S.D.: *Riichi Mahjong: The Ultimate Guide to the Japanese Game Taking the World by Storm*, Psionic Press (2015).

- [8] 大谷通順: 麻雀の誕生, 大修館書店 (2016).
- [9] 野口恭一郎: 麻雀の文化と歴史—麻雀博物館図録, 竹書房 (2005).
- [10] 井手広康, 奥田隆史: 全自動麻雀卓における牌の攪拌率に関するマルチエージェント・シミュレーションを用いた研究, 情報処理学会第 79 回全国大会講演論文集, 7P-04, pp.483-484 (2017).
- [11] 井手広康, 奥田隆史: マルチエージェント・シミュレーションを用いた全自動麻雀卓の攪拌手法に関するモデル化, 第 22 回ゲームプログラミングワークショップ予稿集, P-14, pp.171-176 (2017).
- [12] 井手広康, 奥田隆史: 全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルに関する妥当性検証, 情報処理学会研究報告, Vol.2018-GI-39, No.15, pp.1-8 (2018).



井手 広康 (正会員)

修士 (情報科学). 2009 年鳴門教育大学学校教育学部学校教育教員養成課程卒業. 2009 年~現在, 愛知県立衣台高等学校教諭 (情報). 2014~2016 年愛知県立大学客員共同研究員. 2018 年愛知県立大学大学院情報科学研究科

情報システム専攻博士前期課程修了. 現在, 同大学院情報科学研究科情報科学専攻博士後期課程に在学. 情報教育やゲーム情報学に関する研究に従事. 日本情報科教育学会, 日本産業技術教育学会各会員.



奥田 隆史 (正会員)

1985 年豊橋技術科学大学情報工学課程卒業. 1987 年同大学大学院修士課程修了. 1987 年よりセイノー情報サービス (株) において VAN に関する研究に従事. 1988 年より豊橋技術科学大学 (情報工学系・教務職員, 助手)

において通信システムの設計・制御法に関する研究に従事. 1993 年朝日大学経営学部講師, 1996 年助教授, 1997 年愛知県立大学情報科学部地域情報科学科助教授・准教授を経て, 2008 年より同大学情報科学部情報科学科教授. 現在は, 情報通信システムの性能評価・信頼性, ネットワークロボットに関する教育研究に従事. この間, 1994~1995 年 Weber State University にて客員助教授, 2002~2003 年 Duke University にて客員研究員. 工学博士 (豊橋技術科学大学, 1992 年 9 月). 計測自動制御学会, 電子情報通信学会, IEEE, 日本教育工学会, 経営情報学会, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 電気学会各会員.