

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

井手 広康^{1,a)} 奥田 隆史^{2,b)}

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、それらを牌山に積む」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（牌のかき混ぜ方）に関する機能には一定の規則性があるため、これが要因となって牌に偏りが生じている可能性がある。従来より指摘されている。そこで本研究では全自動麻雀卓をモデル化し、マルチエージェント・シミュレーションを用いて牌の攪拌率（牌の偏りの度合い）について分析した。さらに全自動麻雀卓の実機による攪拌結果との比較を行い、全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルの妥当性について検証した。

Validity Verification for Automatic Mahjong Table Model in MAS

HIROYASU IDE^{1,a)} TAKASHI OKUDA^{2,b)}

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、ゲーム中において対戦プレイヤーの手牌や場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]。さらに不完全情報ゲームは情報の不完全性が「小さい領域」と「大きい領域」に分けることができる。麻雀はこのうち情報の不完全性が「小さい領域」に属しており、心理的な要素よりも技術的な要素が強いとされている [2]。また不完全情報ゲームでは完全な情報から不完全な情報の

一部を推察する「読み」が可能である [3]。この「読み」の駆け引きや戦略が、麻雀というゲームを面白いと感じる要因のひとつであるとされている [4]。麻雀におけるこのような「読み」の駆け引きを必要とする場面では、完全な情報（あるいは不完全な情報）に加えて、ゲームの「流れ」を判断材料とすることがしばしばある。つまり確率論ではなく「流れ」という非論理的な要素から対戦プレイヤーの手牌や場の状態を判断しなければならない。

ここで麻雀におけるゲームの「流れ」とは、“それが良くなっているときには和了しやすく、悪くなっているときには和了しにくくなる一般的現象であり、時間的に連続する傾向を持つもの”と定義されている [5][6]。この「流れ」に影響していると考えられる要素のひとつとして、全自動麻雀卓における牌の攪拌に関する機能（以下、「牌の攪拌機能」と呼ぶ）に着目した。牌の攪拌機能は全自動麻雀卓の機種によって大きく異なるが、それぞれには一定の規則性がある。そのため、これが要因となって牌に偏りが生じている可能性がある。従来より指摘されている。そこで本研究では全自動麻雀卓をモデル化し、マルチエージェント・シミュレーション（以下、「MAS」と呼ぶ）を用いて牌の攪拌率（牌の偏りの度合い）について分析した。さらに全自動麻雀卓の実機による攪拌結果との比較を行い、全自動

¹ 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
1522-3, Ibaragabasama, Nagakute, Aichi 480-1198, Japan
² 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 University
1522-3, Ibaragabasama, Nagakute, Aichi 480-1198, Japan
a) k619154u@gmail.com
b) okuda@ist.aichi-pu.ac.jp

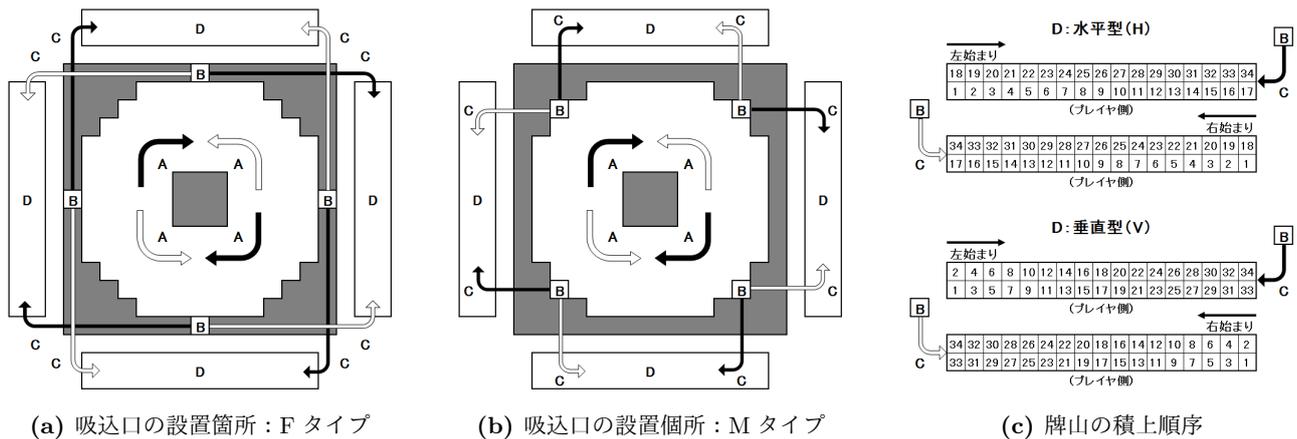


図 1: 全自動麻雀卓の牌の攪拌機能による分類 (A/B/C/D)

Fig. 1 Classification by agitation function of tiles in automatic mahjong table

麻雀卓の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 MAS には artisoc[7] を使用している。

以下、まず 2 章では全自動麻雀卓の一般的な機種に共通する機能と、機能的観点による分類について説明する。次に 3 章では MAS における各エージェントの設定と、牌の攪拌率の定義について説明する。次に 4 章では実機および MAS による攪拌結果について述べ、全自動麻雀卓の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

全自動麻雀卓が登場するまでは、局（麻雀におけるゲームの最小単位）の開始前に各プレイヤーが卓上で牌をかき混ぜ、34 枚（2 段 17 列）の牌山を積む作業を行っていた。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機能も大きく異なる。そのため本章では、まず牌山が完成するまでの動作について説明し、次に牌の攪拌機能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 1 局が終了すると、まずプレイヤーの一人が卓上の中央部にあるボタンを押すことから始まる。これにより卓上の中央部の一部が開き（または中央部が上昇し）、そこから各プレイヤーが牌を卓の内部へと落とし込む。次にもう一度ボタンを押すと開いていた卓上の中央部の一部が閉じ（または中央部が下降し）、同時に卓の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。ここで卓上では次局の開始となるが、内部では牌山を積むために大きく分けて次のように 4 つの動作をする。

- ドラム（牌が落とし込まれた空間）が回転する
- ドラムの回転と並行して、ドラム側部に位置する 4 箇所の吸込口が牌を一定間隔で拾い上げる

- 吸込口は拾い上げた牌を牌山に移動させる
- 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）

2.2 牌の攪拌機能による分類

全自動麻雀卓は機種によって 2.1 節に示した 4 つの動作に対する牌の攪拌機能が大きく異なる。そこでこれらの動作を上から順に A, B, C, D と表記し、各動作に対して牌の攪拌機能の観点から分類を行い、これらを A/B/C/D で表記する。ただし A~D で表現する動作は以下の通りである。

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「右回転（時計回り）」と「左回転（反時計回り）」に分類し、それぞれ「R」と「L」で表記する。図 1(a) と図 1(b) の中央にある矢印 A がこれに該当し、黒矢印が右回転 (R)、白矢印が左回転 (L) を表す。

B: 吸込口の設置箇所

ドラム側部の 4 箇所に設置された吸込口の位置を「各プレイヤーの正面」と「各プレイヤーの中間」に分類し、それぞれ「F」と「M」で表記する。図 1(a) と図 1(b) にあるそれぞれ 4 つの B が吸込口を表し、図 1(a) が F タイプ、図 1(b) が M タイプを示している。

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「右方向」と「左方向」に分類し、それぞれ「R」と「L」で表記する。図 1(a) と図 1(b) にある 4 つの吸込口 B から伸びる 2 つの矢印 C がこれに該当し、黒矢印が右方向 (R)、白矢印が左方向 (L) を表す。

D: 牌山の積上順序

牌山へ牌を積み上げる順序を「水平型」と「垂直型」に分類し、それぞれを「H」と「V」で表記する。図 1(a) と図 1(b) では吸込口 B から伸びる矢印 C の先が

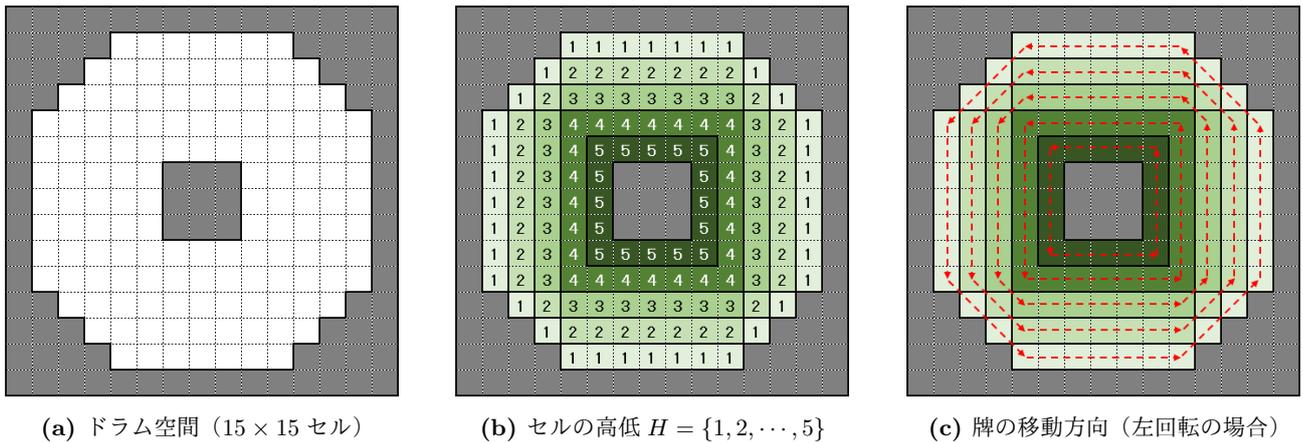


図 2: ドラム空間とセルの高低 $H = \{1, 2, \dots, 5\}$ による牌の移動方向
Fig. 2 Drum space and moving direction of tiles using height of cells H



図 3: ドラム空間における牌の落下範囲 Q_i と初期配置の例
Fig. 3 Falling range of tiles Q_i and an example of initial placement in drum space

牌山に該当し、図 1(c) が牌を積み上げる順序を表している。なお図 1(c) の 1~34 の番号は、「C: 牌の移動方向」が右方向 (R) の場合は牌山の左始まり、左方向 (L) の場合は牌山の右始まりとなる。

なお本研究で実機として使用した全自動麻雀卓は、「A: ドラムの回転方向」が左回転 (L), 「B: 吸込口の設置個所」が各プレイヤーの中間 (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) であったため、L/M/R/H という分類表記になる。

3. 全自動麻雀卓のモデル化

本章では全自動麻雀卓を MAS において再現するために、2.1 節に示した 4 つの動作に関する要素として「ドラム空間」「牌エージェント」「吸込口エージェント」の設定を行う。さらに牌の攪拌の度合いを示す指標として牌の攪拌率を定義する。以下、本研究では全自動麻雀卓のモデル化および実機による攪拌実験において、大洋技研株式会社製のアモス ヴィエラ [8] を使用する。ここで実機から計測し

たデータのうち、ドラム (牌) の回転速度を T_P , 吸込口が牌の取得を開始するまでの待機時間を T_W , 吸込口が牌を取得する間隔時間を T_G , 牌山完成までの所要時間を T_E と置き、実機の仕様を含めて表 1 に示す。

3.1 ドラム空間

全自動麻雀卓のドラムサイズ (半径) は約 180mm, うち牌の可動範囲は約 140mm であった (ドラムの中央部は支柱となっている)。まずドラムを図 2(a) のように 15 × 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。なお牌の可動範囲のセル数は合計して 136 セルであり、この値は牌の枚数 (1 セット) と一致させている。

次にドラム空間における牌の可動範囲にある各セルに対して、図 2(b) のように高低 $H = \{1, 2, \dots, 5\}$ を設定する (便宜上、灰色のセルは $H = 9$ としている)。また図 2(b) では色が濃くなるほどセルが高いということを示している。この設定は図 2(c) に示す牌の移動方向の設定に使用す

表 1: 全自動麻雀卓アモス ヴィエラの仕様
 Table 1 Specification of AMOS VIERAL

項目	値
製品名	アモス ヴィエラ
牌の攪拌機能	L/M/R/H
本体サイズ	約 850 × 850 × 790mm
牌サイズ	20.5 × 16.5 × 28.0mm
ドラムサイズ (半径)	約 180mm
ドラム (牌) の回転速度 T_P	4.5 秒/回転
牌の取得までの待機時間 T_W	0 秒
牌を取得する間隔の時間 T_G	0.75 秒
牌山完成までの所要時間 T_E	48.2 秒 (50 回の平均値)

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。まずドラム空間の南側に位置するプレイヤーが東家 (トンチャ) であると仮定したとき、東家から左回りにプレイヤーが南家 (ナンチャ)、西家 (シャーチャ)、北家 (ペーチャ) となり、それぞれを順に $i = \{1, 2, 3, 4\}$ と置く。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 つの落下範囲 $Q_i (i = 1, 2, 3, 4)$ に分割する。これら各プレイヤー i の位置と牌の落下範囲 Q_i の関係から、例えば東家 ($i = 1$) 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。これらを踏まえて、実機から各プレイヤーの牌の落下範囲に対する牌の落下率について調査した。まず実機における牌の初期配置の例を図 3(b) に示す。なお図 3(b) のように実機では背の色が 4 色の牌 (赤, 青, 緑, 黄) を使用し、これらの色は図 3(a) に示した Q_i の色分けと一致させている。つまり図 3(b) における牌の色は、「赤」が東家 ($i = 1$)、「青」が南家 ($i = 2$)、「緑」が西家 ($i = 3$)、「黄」が北家 ($i = 4$) が落とし込んだ牌であることを意味している。

次に牌の落とし込みを複数回繰り返して調査したところ、自身の落下範囲へ約 61%、両側の落下範囲へそれぞれ約 17%、向側の落下範囲へ約 5% の割合で落下していることがわかった。例えば東家 ($i = 1$) が 34 枚の牌 (136 枚/4 プレイヤ) をドラムへ落とし込んだ場合、 Q_1 へ約 20.7 枚、 Q_2 へ約 5.8 枚、 Q_3 へ約 1.7 枚、 Q_4 へ約 5.8 枚が落下する (配置される) 計算となる。

MAS ではこの牌の落下率に基づいた確率分布に従い、ドラム空間への牌の初期配置を行う。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「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、すべてのセルに対して隙間なく牌が配置されることになる (牌の回転中も同様である)。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わかる。ただし MAS では便宜上、すべての牌に対して確率 2/3 で「表」、確率 1/3 で「裏」の属性を与える。この牌の向きに

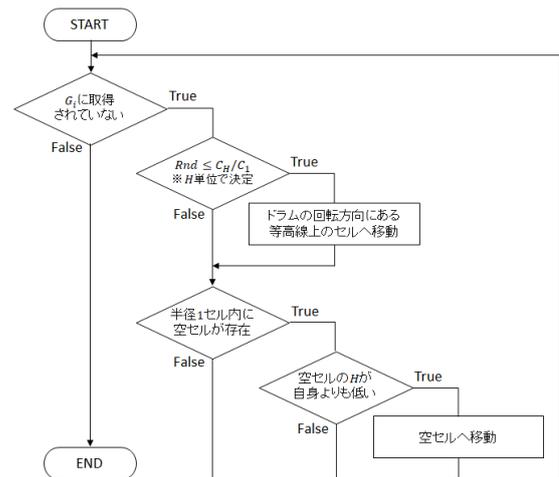


図 4: MAS における牌エージェント P_n の動作
 Fig. 4 The flowchart of pai agents P_n in MAS

関する属性は吸込口のモデル化において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 [9]-[12]。なお実機で使用した牌のサイズは 20.5 × 16.5 × 28.0mm であり、これは全自動麻雀卓で使用される牌の標準的なサイズとなっている。全自動麻雀卓ではドラムが回転することで牌が連動して回転運動を起こすが、MAS ではドラムを固定した状態で牌自体を回転させるため次のように設定する。

牌に $n = \{1, 2, \dots, 136\}$ を割り振り、これを牌エージェント P_n と置く。すべての 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等高線上 (H が等しい円上) に位置するセルへと移動する。例えば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 ステップごとに 1 セル移動する。なお「ステップ」とは artisoc における時間の単位のことであり、1 ステップは「全エージェントに対する命令が 1 回実行されるまでの範囲」を表す。

しかしドラムの中央付近にいる P_n と、外周付近にいる P_n とでは等高線上のセル数が異なり、外周付近にいる P_n ほどドラムの 1 回転に時間を要することになる。そのため、まず各 H における等高線上のセル数を C_H と置き、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 にいる 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もっとも外側 ($H = 1$) にいる P_n に合わせるため、同じ等高線上にいるすべての P_n を次のように確率 C_H/C_1 で移動させる。

- $H = 1$ の $P_n : C_1/C_1 = 1.00(36/36)$
- $H = 2$ の $P_n : C_2/C_1 = 0.89(32/36)$

- $H = 3$ の P_n : $C_3/C_1 = 0.78(28/36)$
- $H = 4$ の P_n : $C_4/C_1 = 0.67(24/36)$
- $H = 5$ の 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 と置く. 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.

ただしこの段階では P_n が同じ等高線上のセルを回転し続けるため, P_n に「回転と並行してドラムの外側へ移動する」という動作を加える必要がある. そこで P_n は上記の移動の後 (確率による移動の可否は問わない), 「半径 1 セル内において自身がいる 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」という設定を加える. 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 G_i (3.3 節で述べる) によって取得されるまでステップ単位で移動を繰り返す.

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 と置く. 例えば 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) に示した牌を積み順序を表す番号を $j = \{1, 2, \dots, 34\}$ と置き, プレイヤ 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 で一組を成していると考えられる. 例えば 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 $W_{1,2}$ の位置へ積むという流れになる. このように各 G_i は「 P_n を取得して対応する牌山に送り, 牌山の所定の位置に積む」という動作を 34 回 (合計して 136 回) 繰り返す. 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.

ここで MAS において, G_i が最初の P_n を選択する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 (ステップ数) を S_G , G_i がすべての P_n を取得するまでに要する平均ステップ数 (1 回のシミュレーションあたりの平均ステップ数) を S_E と置き, 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, ここでは $S_W = 0$ と設定した. 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. まず実機にお

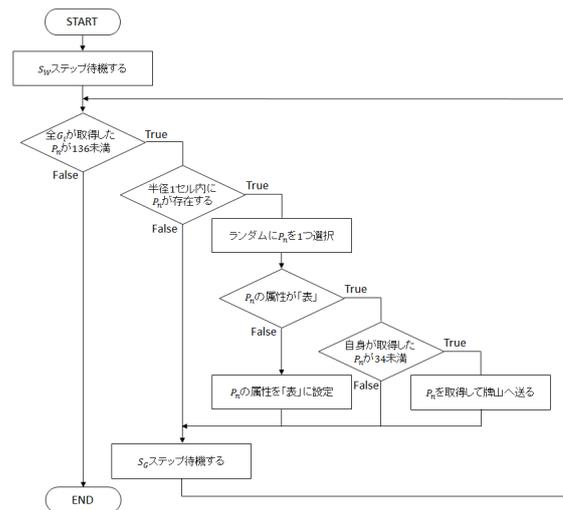


図 5: MAS における吸込口エージェント G_i の動作
 Fig. 5 The flowchart of get agents G_i in MAS

けるドラム (牌) の回転速度は表 1 から $T_P = 4.5$ であることがわかる. 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 1 秒に対応していることがわかる. これらの結果から $T_G \times 8$ より $S_G = 6$, さらに S_E についても $T_E \times 8$ より $S_E = 386$ を得ることができる.

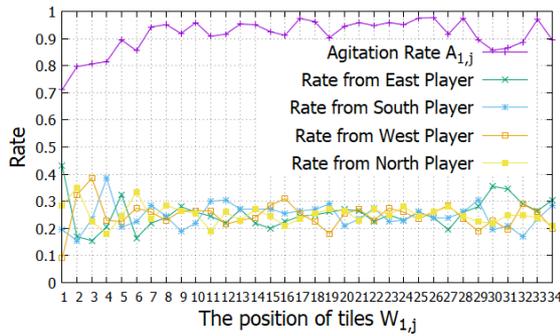
これらのパラメータを踏まえた上で, MAS では次のように G_i の動作を設定する.

- 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 (削除) して牌山へ送り, 「裏」であれば P_n は取得せずに「表」に変更する
- 次の P_n を選択するまで S_G ステップ待機する (P_n 取得の可否は問わない).

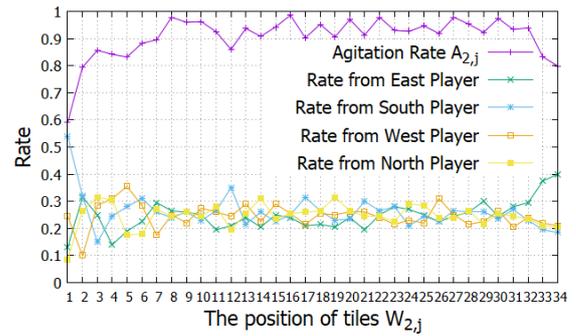
ここで G_i の動作をフローチャートに表したものを図 5 に示す. このように G_i は, すべての G_i が取得した P_n の合計が 136 となるまで動作する.

3.4 牌の攪拌率の定義

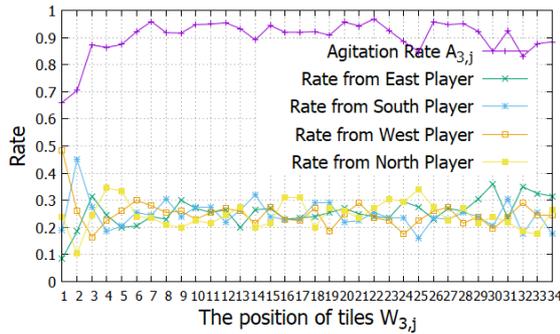
実機では 4 色の牌を使用することで, また MAS では各 P_n に対して自身をドラムへ落とし込んだプレイヤーを記録することで, 「各プレイヤーが落とし込んだ牌に対する牌山の積みれやすい位置」を特定することができる. そこで各プレイヤーの牌山のすべての牌の位置 $W_{i,j}$ (136 箇所) に対して, 全体の攪拌結果から牌を落とし込んだ各プレイヤーの割合を求め, 牌の攪拌の度合いを評価する. 例えば東家 ($i = 1$) の牌山の 2 番目に牌が積まれた位置 $W_{1,2}$ につい



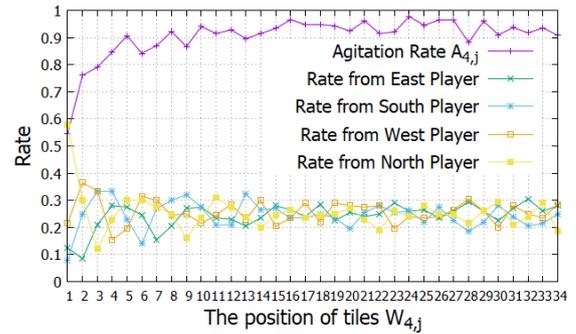
(a) 東家の牌山



(b) 南家の牌山



(c) 西家の牌山



(d) 北家の牌山

図 6: 各プレイヤーの牌山の $W_{i,j}$ に対する牌の攪拌率 $A_{i,j}$ (実機による攪拌結果)

Fig. 6 Agitation rate $A_{i,j}$ in $W_{i,j}$ of each player's walls (A result of the real machine)

て、100回の攪拌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、「牌がもっとも攪拌している状態」として評価できる。一方、100回の攪拌結果のうち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、「牌がもっとも攪拌していない状態」として評価できる。

このような牌の攪拌の度合いを示す指標を牌の攪拌率 $A_{i,j}$ と置き、以下の手順から $A_{i,j}$ を求める。まずパラメータ n, s, x_i について次のように定義する。

- n : プレイヤの人数 (i の最大値)
- s : 実験またはシミュレーションの回数
- x_i : s 回の攪拌結果のうち、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 の回数 ($0 \leq x_i \leq s$)

次に x_i の標準偏差 σ について式1を得る。

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

次に x_i の最大標準偏差 σ_{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。

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

最後に σ/σ_{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。

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

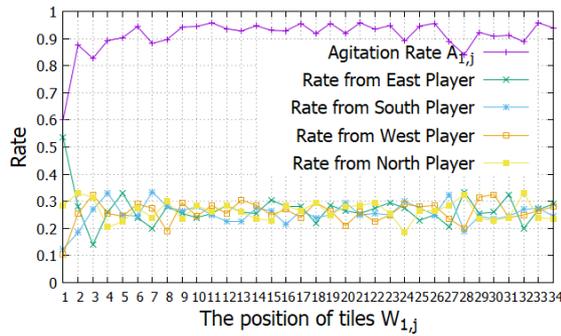
式3では x_1, x_2, x_3, x_4 がそれぞれ均等に s/n であるとき $A_{i,j} = 1$ となり、これが「牌がもっとも攪拌している状態」を表す。一方、 $\sigma = \sigma_{max}$ を満たす場合、例えば $x_1 = 0, x_2 = s, x_3 = 0, x_4 = 0$ であるとき $A_{i,j} = 0$ となり、これが「牌がもっとも攪拌していない状態」を表す。

4. モデルの妥当性検証

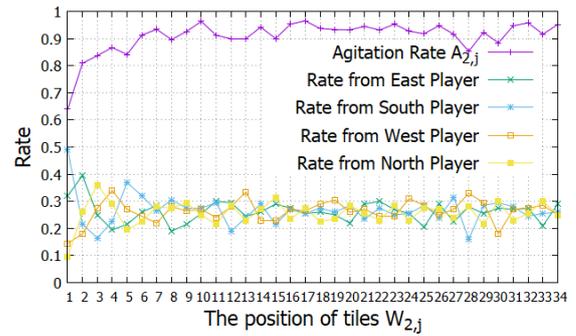
本研究では実機およびMASによる攪拌結果から牌の攪拌率 $A_{i,j}$ について調査した。これは実際の全自動麻雀卓における牌の攪拌の度合いを調査するとともに、実機による攪拌結果から全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルの妥当性を検証する目的のためでもある。本章では実機およびMASによる攪拌結果から牌の攪拌率 $A_{i,j}$ に関してそれぞれ述べ、これらを踏まえた上で全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルの妥当性について検証する。

4.1 実機による攪拌結果

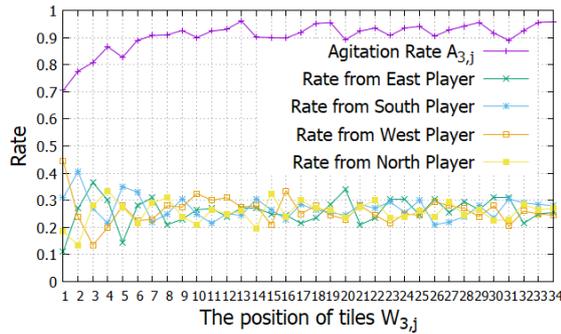
実機による攪拌結果から牌の攪拌率 $A_{i,j}$ について分析した。なお実機による攪拌の実験には、前述したようにアモス ヴィエラと4色の牌を使用している。また実験の手順は以下の通りである。



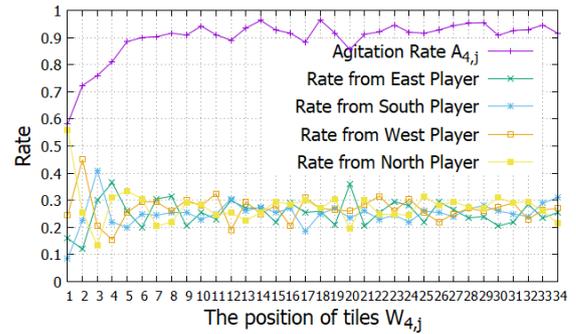
(a) 東家の牌山



(b) 南家の牌山



(c) 西家の牌山



(d) 北家の牌山

図 7: 各プレイヤーの牌山の $W_{i,j}$ に対する牌の攪拌率 $A_{i,j}$ (MAS による攪拌結果)

Fig. 7 Agitation rate $A_{i,j}$ in $W_{i,j}$ of each player's walls (A result of simulations)

- 4色の牌を色分けして各プレイヤーの前に配置する
- 色分けされた牌をドラムへ一斉に落とし込む
- 牌山の完成後、すべての牌の投入元 i を記録する

これらの一連の作業を 200 回繰り返して得た実験データから、実機における牌の攪拌率 $A_{i,j}$ を算出した。この結果を図 6 に示す。まず各プレイヤーの牌山において $j = 1$ に位置する $W_{i,1}$ に着目する。牌の攪拌率 $A_{i,j}$ は多少の誤差はあるが概ね $0.6 \leq A_{i,1} \leq 0.7$ を満たし、牌の投入元率 x_i/s (牌を落とし込んだ各プレイヤーの割合) は $0.4 \leq x_i/s \leq 0.6$ で自身の牌山に対応するプレイヤーがもっとも高い値を示している。例えば牌の攪拌率 $A_{i,j}$ に関してもっとも低い値を示した図 6(d) を見ると、北家 ($i = 4$) の牌山では $A_{4,1} = 0.546$ 、牌の投入元率 x_i/s は高い順に北家 (0.580)、西家 (0.215)、東家 (0.125)、南家 (0.080) となっている。このように各プレイヤーの牌山の位置 $W_{i,1}$ には、おおよそ 5 割程度の確率で自身が落とし込んだ牌が積まれており、牌の偏りが大きいことがわかる。

しかし牌の攪拌率 $A_{i,j}$ は j に比例して徐々に上昇し、おおよそ $5 \leq j \leq 8$ において $A_{i,j} \geq 0.9$ を満たすようになる。またこれ以降も概ね $A_{i,j} \geq 0.9$ を維持していることがわかる。なおすべての牌の位置 $W_{i,j}$ (136 箇所) に対して、 $A_{i,j} \geq 0.9$ を満たしている割合は 69.1%(94/136) であった (最小 0.546, 最大 0.986, 平均 0.906, 標準偏差 0.070)。なお本研究ではこの割合が 90%(123/136) 以上であるとき、「牌が十分に攪拌されている状態」とであると評価する。

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 回の平均シミュレーション時間 (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	200

4.2 MAS による攪拌結果

本節では、まず MAS による攪拌結果について説明する。次に 4.1 節で述べた実機による攪拌結果との比較を行い、全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルの妥当性について検証する。ここで MAS のパラメータ設定を表 2 に示す。3 章で述べたように $S_P = 36$, $S_W = 0$, $S_G = 6$, $S_E = 386$, $n = 4$ としている。なお S_E は実機のデータから換算した値 (概算値) であり、これはモデルの妥当性検証において使用する。またシミュレーション回数 s は、4.1 節で述べた実機による実験回数と合わせるため $s = 200$ としている。ここで MAS による攪拌結果を図 7 に示す。

まず図 7 において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 $A_{i,j}$ は図 6 と同様に多少の誤差はあるが概ね $0.6 \leq A_{i,1} \leq 0.7$ を満たし、牌の投入元率 x_i/s は $0.4 \leq x_i/s \leq 0.6$ で自身の牌山に対応するプレイヤーがもっとも高い値を示している。その後、牌の攪

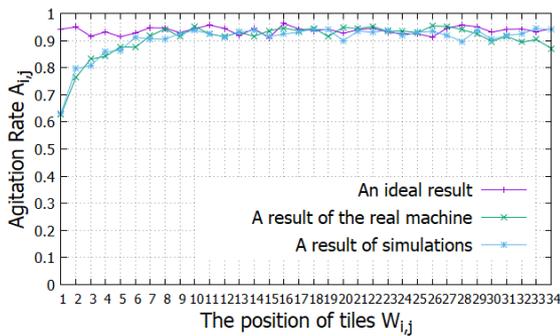


図 8: 牌の攪拌率 $A_{i,j}$ (各プレイヤーの平均値) の比較

Fig. 8 Comparison of agitation rate of tiles $A_{i,j}$ (The average value of each player)

攪拌率 $A_{i,j}$ は j に比例して徐々に上昇し、おおよそ $5 \leq j \leq 8$ において $A_{i,j} \geq 0.9$ を満たすようになる。またこれ以降も概ね $A_{i,j} \geq 0.9$ を維持していることがわかる。なおすべての牌の位置 $W_{i,j}$ (136 箇所) に対して、 $A_{i,j} \geq 0.9$ を満たしている割合は 72.1%(98/136) であった (最小 0.581, 最大 0.965, 平均 0.905, 標準偏差 0.064)。そのため全体では「牌が十分に攪拌されていない状態」であるといえる。

4.3 攪拌結果の比較

実機および MAS による攪拌結果に加えて、理想的な攪拌結果における各プレイヤーの平均値を取ったものを図 8 に示す。なおここでいう理想的な攪拌結果とは、各プレイヤーが落とし込む牌を 34 枚で固定したとき、これらの牌を乱数によって発生させた i, j に従って牌山の任意の位置 $W_{i,j}$ に積むことで算出した結果である (最小 0.845, 最大 0.992, 平均 0.937, 標準偏差 0.028)。まず図 8 の理想的な攪拌結果 (An ideal result) を見ると、牌山のほぼすべての位置 $W_{i,j}$ において $A_{i,j} \geq 0.9$ を満たしていることがわかる。次に実機による攪拌結果 (A result of the real machine) を見ると、牌の位置 $W_{i,1}$ において $A_{i,1} = 0.627$ を示し、その後徐々に上昇していき、 $j = 9$ 付近で理想的な攪拌結果と一致していることがわかる。さらに MAS による攪拌結果 (A result of simulations) を見ると、牌の位置 $W_{i,1}$ において $A_{i,1} = 0.632$ を示し、その後徐々に上昇していき、 $j = 9$ 付近で理想的な攪拌結果と一致していることがわかる。このように実機による攪拌結果と MAS による攪拌結果のグラフ傾向はほぼ一致しているといえる。

また MAS による 200 回の攪拌結果において、1 回の平均シミュレーション時間 (ステップ数) を計測したところ平均 369 ステップであった。表 2 に示したように、実機のデータから換算した 1 回の平均シミュレーション時間は $S_E = 386$ であり、その誤差は 17 ステップ (約 2 秒) である。これらの結果より、本研究における全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルは妥当性を有すると結論付けることができる。

5. おわりに

本研究では全自動麻雀卓をモデル化し、MAS を用いて牌の攪拌率について分析した。さらに実機による攪拌結果との比較を行い、全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルの妥当性について検証した。そして実機と MAS による攪拌結果から、本研究における全自動麻雀卓のマルチエージェントモデルは妥当性を有すると結論付けることができた。また本研究で使用した実機 (アモス ヴィエラ) には、牌山において部分的に牌の攪拌率が低い箇所が存在し、全体では「牌が十分に攪拌されていない状態」であることがわかった。そのため今後は、牌の攪拌率を向上させるための手法について提案し、牌の攪拌率の変化について分析していく予定である。

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) [13], 第 22 回ゲームプログラミングワークショップ (2017 年 11 月) [14] において発表している。

謝辞 本研究の実機による実験において、愛知県立大学の奥田隆史教授、研究室の伊神聖人氏、森友哉氏、鈴木一輝氏に御協力頂いたことに深謝の意を表す。

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] 谷岡一郎: ギャンブルの情報学, 情報処理, Vol.53, No.2, pp.118-125 (2012).
- [4] 東育生, 橋本剛, 飯田弘之: 完全情報ゲームと不完全情報ゲームの戦略的架け橋: 麻雀を題材として, 情報処理, 研究報告 (ゲーム情報学), Vol.3, No.9, pp.65-70 (2000).
- [5] とつげき東北: 科学する麻雀, 講談社 (2004).
- [6] とつげき東北, 福地誠: おしえて! 科学する麻雀, 洋泉社 (2009).
- [7] 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).
- [8] 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).
- [9] 大谷通順: 麻雀の誕生, 大修館書店 (2016).
- [10] 野口恭一郎: 麻雀の文化と歴史 - 麻雀博物館図録, 竹書房 (2005).
- [11] Amy Lo: *The Complete Book of Mah Jongg: An Illustrated Guide to the Asian, American and International Styles of Play*, TUTTLE (2001).
- [12] Scott D. Miller: *Riichi Mahjong: The Ultimate Guide to the Japanese Game Taking the World by Storm*, Psionic Press (2015).
- [13] 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 (2017).
- [14] 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.141-146 (2017).