

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

井手 広康^{1,a)} 奥田 隆史^{2,b)}

概要: 全自動麻雀卓は“牌をかき混ぜて牌山に積み上げる動作”を自動で行う麻雀卓のことを指す。全自動麻雀卓の攪拌手法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と考えられる。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た全自動麻雀卓における攪拌手法のモデル化について提案し、牌の攪拌率について分析を行った。シミュレーションの結果から、全自動麻雀卓の攪拌手法によって少なからず牌に偏りが発生していることがわかった。また本シミュレーションによる攪拌手法のモデルでは、全自動麻雀卓のドラムに空回転を加えることによって攪拌率は改善され、3回転以上の空回転を加えたとき十分に牌全体が攪拌するという結果が得られた。

Modeling of Agitation Method in Automatic Mahjong Table using Multi-Agent Simulation

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

Abstract: Automatic mahjong table refers to mahjong table which automatically performs “the action of stirring tiles and stacking them on the wall”. Since the agitation method of automatic mahjong table has certain regularity, it is considered that there is a possibility that bias has occurred in the tile as a factor. Therefore, in this research, we propose modeling of agitation method in automatic mahjong table using Multi-Agent Simulation, and analyzed agitation rate of tiles. As a result, it was found that biasing of the tiles occurred to a considerable extent by agitation method of automatic mahjong table. Moreover, agitation rate was improved by adding idle rotation to the drum of automatic mahjong table, and it was found that the whole tile was agitated sufficiently when applying idle rotation more than three rotations.

1. はじめに

麻雀において得られるゲームの情報は、自分の手牌と全プレイヤーの捨て牌が主となる。そのため将棋やチェスなどは異なり、対戦相手の手牌や場の状況を正確に把握することはできない。このように「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」の

こと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、麻雀は前者に属し「技術的な要素」が強いとされている [2]。そのため完全な情報から不完全な情報の一部を推察する「読み」が可能であり、この「読み」の駆け引きが麻雀というゲームを面白くしている要因のひとつであるとされている [3][4]。このような「読み」の駆け引きを必要とする局面では、麻雀の「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自分や対戦相手の状態、あるいは場の状況を判断する。この麻雀の「流れ」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な現象であり、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]。

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

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 Uni-
versity

a) k619154u@gmail.com

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

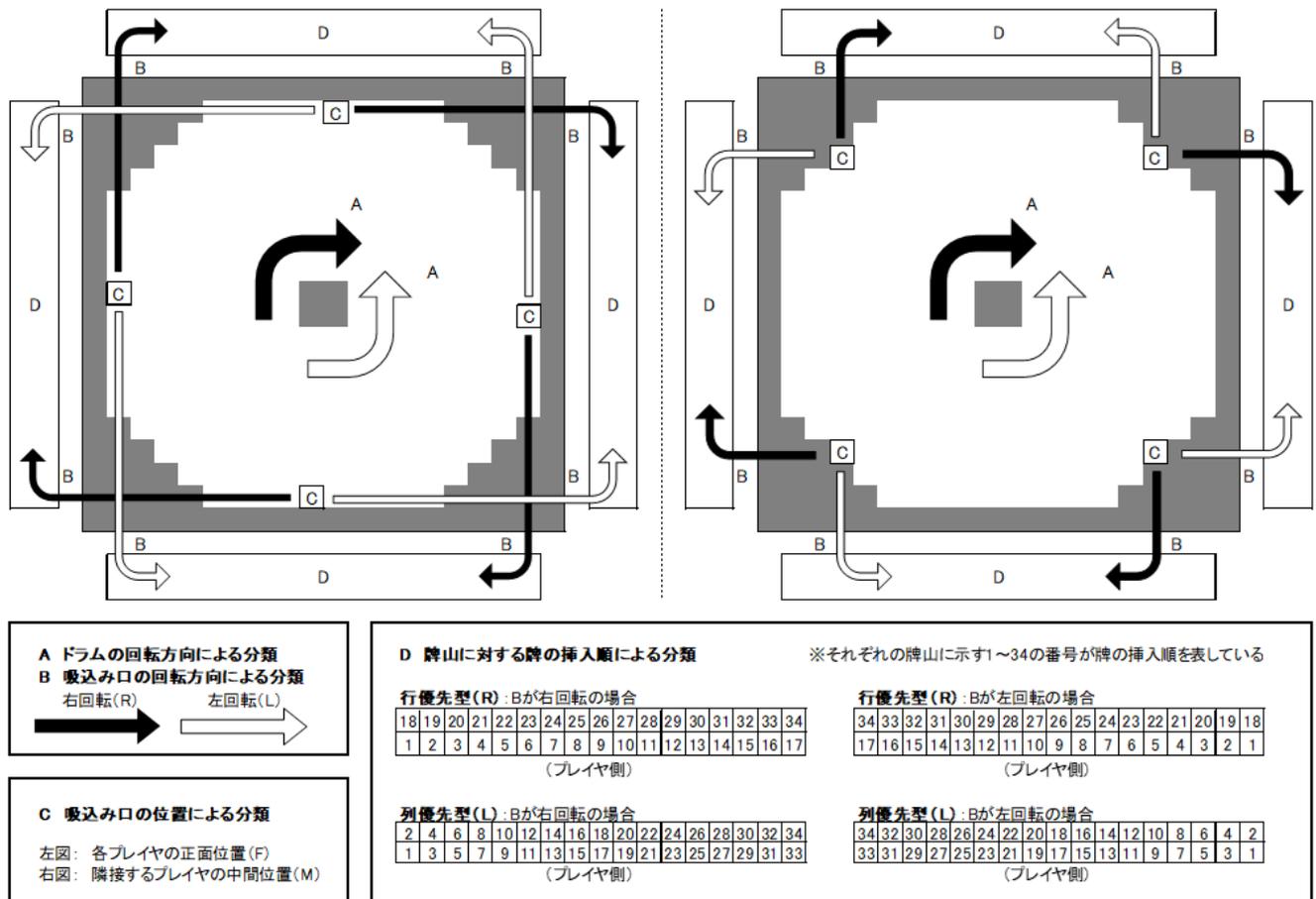


図 1: 全自動麻雀卓の攪拌手法の違いによるモデル化 (A/B/C/D モデル)

Fig. 1 Modeling Based on Difference in Agitation Method

ここで麻雀の「流れ」に影響している可能性がある要素のひとつとして、全自動麻雀卓の攪拌手法（牌のかき混ぜ方）に着目した。全自動麻雀卓の攪拌手法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と考えられる。しかし現在のところ全自動麻雀卓やその攪拌手法に関する研究は行われていない。そこで本研究では、マルチエージェント・シミュレーションを用いた全自動麻雀卓における攪拌手法のモデル化について提案し、牌の攪拌率について分析を行う。なお本研究で用いているシミュレーションには artisoc[7] を使用した。

2. 全自動麻雀卓の分類

2.1 一般的な機種に共通する動作

全自動麻雀卓が登場するまでは、4人のプレイヤーが卓上で136枚の牌をかき混ぜて（この行為は「洗牌」と呼ばれる）、自身の牌山（34枚の牌から構成させる2段17列の牌の山）へ積み上げる作業を行っていた。この作業を自動で行う麻雀卓が全自動麻雀卓と呼ばれる。全自動麻雀卓にもさまざまな種類が存在するが、一般的な機種に共通する卓内部での動作は次のとおりである。

- 全自動麻雀卓内部にあるドラムと呼ばれる空間で、すべての牌を回転させる
- ドラムの回転と並行して、ドラム内部にある4箇所の吸込み口が牌をランダムに吸い上げる
- それぞれの吸込み口は、吸い上げた牌を順に積み上げ、対応するプレイヤーの牌山を完成させる

なお全自動麻雀卓では背色の異なる136枚の牌が2セット用意されており、1セットを使って卓上でゲームをプレイしている最中に、もう一方のセットを卓内部で積み上げ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つという行為は基本的には発生しない。しかし稀に局（最小のゲーム単位であり、1回のゲームは基本8局で構成される）が早く終了してしまうと、牌山が積み上がるまで待機しなくてはならない。

2.2 牌の攪拌手法による分類

全自動麻雀卓には機種によって牌の攪拌手法に若干の違い（一般的に「全自動麻雀卓の癖」と呼ばれる）がある。本研究では全自動麻雀卓における牌の攪拌手法について、以下に示す4つの違い（A～D）から分類する。

A : ドラムの回転方向による分類

ドラムの回転方向（牌が回転する方向）から「右回転（時計回り）」と「左回転（反時計回り）」に分類し、それぞれを「R」、「L」と表記する。図1では左図、右図それぞれの中心に示す2つの矢印がこれに該当する。

B : 吸込み口の回転方向による分類

吸込み口が対応する牌山へ牌を送る回転方向から「右回転」と「左回転」に分類し、それぞれを「R」、「L」と表記する。図1では左図、右図それぞれに示す4箇所の吸込み口から伸びる2つの矢印がこれに該当する。

C : 吸込み口の位置による分類

ドラム内部の4箇所に設置されている吸込み口の位置から「各プレイヤーの正面位置」と「隣接するプレイヤーの中間位置」に分類し、それぞれを「F」、「M」と表記する。図1では左図がF、右図がMを示している。

D : 牌山に対する牌の挿入順による分類

吸込み口から送られた牌の牌山に対する挿入順（牌の積み方）から「行優先型」と「列優先型」に分類し、それぞれを「R」、「C」と表記する。図1では牌の挿入順を表す1~34の番号が振られた4つの牌山がこれを示している。なお1~34の番号は「B : 吸込み口の回転方法による分類」が右回転（R）の場合は「左始まり」、左回転（L）の場合は「右始まり」となる。

以上のA~Dによる分類方法を用いて、任意の攪拌手法を「A/B/C/Dモデル」と略記表記する。例えば、Aが「左回転（L）」、Bが「右回転（R）」、Cが「各プレイヤーの正面位置（F）」、Dが「行優先型（R）」であった場合、攪拌手法は「L/R/F/Rモデル」と表記する。

3. エージェントベースモデル**3.1 ドラム空間と投入範囲 Q_i**

牌を攪拌させるドラム空間を図2のように20×20のセルで区切り、0~360°を45°間隔で8つの象限に分割する。各象限は35セル（8.75%）、合計は280セル（70%）であり、この範囲で牌が回転することになる。さらに「各プレイヤーが卓上からドラムへ流し込む牌の投入範囲」をこれらの象限を使用して次のように表す。

まず4人のプレイヤーを卓の下側のプレイヤー（ここでは「東家」と仮定する）から反時計回りに $i = \{1, 2, 3, 4\}$ と置く（麻雀のルール上、順に「東家」「南家」「西家」「北家」となる）。次にドラム空間の8つの象限を2つずつ各プレイヤーに割り当て、これを牌の投入範囲 Q_i と置く。具体的には次のように各プレイヤー i と投入範囲 Q_i を対応付ける。

- 東家 ($i = 1$) : 投入範囲 Q_1 (第6・7象限)
- 南家 ($i = 2$) : 投入範囲 Q_2 (第1・8象限)
- 西家 ($i = 3$) : 投入範囲 Q_3 (第2・3象限)
- 北家 ($i = 4$) : 投入範囲 Q_4 (第4・5象限)

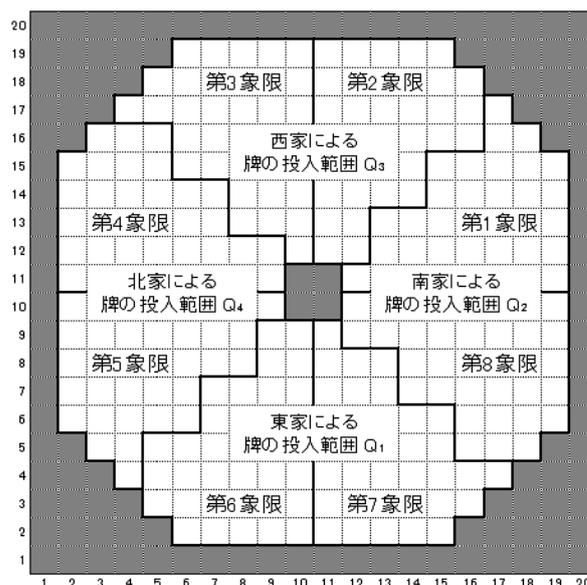


図 2: 8象限ドラム空間モデル

Fig. 2 Octant Drum Space Model

シミュレーション開始時に136枚の牌が象限全体にランダムに配置され、各牌は自身が配置された投入範囲 Q_i を記録する。すべての牌は自身に記録された Q_i から、どのプレイヤーから投入された牌であるかを判断することができる。例えば、ある牌がシミュレーション開始時に Q_2 に配置された場合、自身は「南家 ($i = 2$) より投入された牌である」と判断することになる。

3.2 牌エージェント P_n

本研究では日本の麻雀ルールにおいて一般的に使用される麻雀牌136枚を想定する[8][9]。ドラム空間で回転させる136枚の牌に $n = \{1, 2, \dots, 136\}$ を割り振り、それぞれを牌エージェント P_n と置く。すべての P_n をドラム空間で自律的に回転させるために、ドラム空間を「奇数象限」と「偶数象限」に分け、各 P_n は現在置かれている象限によって進行方向を次のように変化させる。

奇数象限にいる場合

- (1) 70%の確率でドラムの回転方向に対して直進方向へ1セル進む
- (2) 30%の確率でドラムの回転方向に対して外側45°の方向へ1セル進む

偶数象限にいる場合

- (1) 70%の確率でドラムの回転方向に対して外側45°の方向へ1セル進む
- (2) 30%の確率でドラムの回転方向に対して直進方向へ1セル進む

ただし既に進行方向に他の P_n が存在していれば、もう一方の確率による進行方向への移動を試みる。さらにここでも移動できない場合には移動を中止する。ここで「 P_n のドラム空間の1回転に要する平均時間」を T_P と置く。

3.3 吸込み口エージェント G_i と牌山 $W_{i,j}$

ドラム空間の4箇所に設置されている吸込み口をそれぞれ吸込み口エージェント G_i と置く。ここでドラム空間から G_i が吸い込んだ牌は牌山 $W_{i,j}$ へ積み込むことを想定する ($j = \{1, 2, \dots, 34\}$ は牌の挿入順を表す)。つまり「プレイヤー i 」, 「吸込み口エージェント G_i 」, 「牌山 $W_{i,j}$ 」は i で一組を成している。例えば G_2 がドラム空間から P_n を吸い込むと、その P_n を $W_{2,j}$ へ挿入することになる。なお G_i の動作に関しては次のとおりである。

- ドラム空間の P_n の回転と並行して、自身の半径1セル内にある P_n をランダムに1つ選択する
- ランダムに選択した P_n をドラム空間から削除し、 P_n を自身に対応した $W_{i,j}$ へ挿入する
- 次の P_n を選択するまで一定時間待機する（ここで待機する時間を T_H と置く）

各 G_i は i に対応する $W_{i,j}$ が $W_{i,34}$ となるまで上記の動作を繰り返す（計34回 P_n を取得する）。ここで「 G_i がすべての P_n 取得に要する平均時間」を T_G , 「 G_i が P_n 取得開始までに待機するドラムの回転数（以下、ドラムの空回転数と呼ぶ）」を N と置く。

3.4 牌の攪拌率 $A_{i,j}$ の定義

任意の $W_{i,j}$ に位置する牌の「攪拌の度合いを示す指標」を $A_{i,j}$ と置き、これを牌の攪拌率と呼ぶ。ここで定数 $\{S, G\}$, 変数 $\{Q'_i\}$ について次のように定義する。

- S : シミュレーション回数 ($S = 10^3$)
- G : 吸込み口の設置数 ($G = 4$)
- Q'_i : 任意の $W_{i,j}$ に挿入された P_n に記録されている S 回の Q_i のうち i ごとの累計回数 ($0 \leq Q'_i \leq S$)

これらを用いて牌の攪拌率 $A_{i,j}$ を次のように定義する。

まず Q'_i の標準偏差 σ について式 (1) を得る。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^G \left(\frac{S}{G} - Q'_i\right)^2}{G}} \quad (1)$$

次に Q'_i の最大標準偏差 σ_{max} について、式 (1) に $Q'_1 = S$, $Q'_2 = 0$, $Q'_3 = 0$, $Q'_4 = 0$ を代入して式 (2) を得る。

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

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 $A_{i,j}$ と定義する ($0 \leq A_{i,j} \leq 1$)。

$$A_{i,j} = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^G \left(\frac{S}{G} - Q'_i\right)^2}{\left(\frac{S}{G} - S\right)^2 + (G-1)\left(\frac{S}{G}\right)^2}} \quad (3)$$

表 1: シミュレーションのパラメータ設定
Table 1 Parameter Setting of Simulation

パラメータ	記号	値
P_n のドラム空間の1回転に要する平均時間	T_P	53
G_i が次の P_n を選択するまで待機する時間	T_H	10
G_i がすべての P_n 取得に要する平均時間	T_G	424
ドラムの空回転数	N	0
吸込み口の設置数	G	4
シミュレーション回数	S	10^3

式 (3) から Q'_i がそれぞれ均等 (S/G) であるとき $A_{i,j} = 1$ となり、「もっとも牌が攪拌している状態（牌の偏りが最小）」を表す。一方、 $\sigma = \sigma_{max}$ であるとき $A_{i,j} = 0$ となり、「もっとも牌が攪拌していない状態（牌の偏りが最大）」を表す。本研究ではすべての $W_{i,j}$ に対して $A_{i,j} \geq 0.9$ を満たすとき、十分に牌全体が攪拌していると評価する。

4. シミュレーション結果

4.1 パラメータ設定

実際のある全自動麻雀卓を調査したところ、牌の攪拌手法は L/R/F/R モデルであることがわかった。また本研究のシミュレーションに使用するパラメータのうち、「 P_n のドラム空間の1回転に要する平均時間 T_P 」, 「 G_i が次の P_n を選択するまで待機する時間 T_H 」, 「 G_i がすべての P_n を取得するまでに要する平均時間 T_G 」について、調査した機種を再現したところ、それぞれ $T_P = 53$, $T_H = 10$, $T_G = 424$ となった。なおこれらの単位は artisoc の最小単位時間「ステップ」を表している。またドラムの空回転数 N は $N = 0$ であることがわかった。そのため本研究のシミュレーションでは、全自動麻雀卓の攪拌手法には L/R/F/R モデル、パラメータには表1の値を用いて牌の攪拌率 $A_{i,j}$ について分析する。

4.2 シミュレーション結果 1

シミュレーション結果を図3に示す。図3(a)は「東家の牌山 $W_{1,j}$ 」, 図3(b)は「南家の牌山 $W_{2,j}$ 」, 図3(c)は「西家の牌山 $W_{3,j}$ 」, 図3(d)は「北家の牌山 $W_{4,j}$ 」における「牌の攪拌率 $A_{i,j}$ 」および「 Q_i 比率」を示している。なお Q_i 比率は「 S 回のシミュレーション結果における i ごとの Q'_i の比率 (Q'_i/S)」を表している。

まず各図の $A_{i,j}$ を比較すると、グラフ傾向はほぼ等しくなっているため、プレイヤーによる牌の偏りの違いはないことがわかる。また各図ともに $A_{i,1} = 0$ となっているが、 $j = 10$ 前後において $A_{i,j} = 0.9$ に達していることがわかる。なおこれ以降は若干の増減を繰り返すものの、各図ともに $A_{i,j} \geq 0.9$ の状態を保っている。つまり $j \geq 10$ において各牌山とも十分に牌が攪拌している状態にあるといえる。

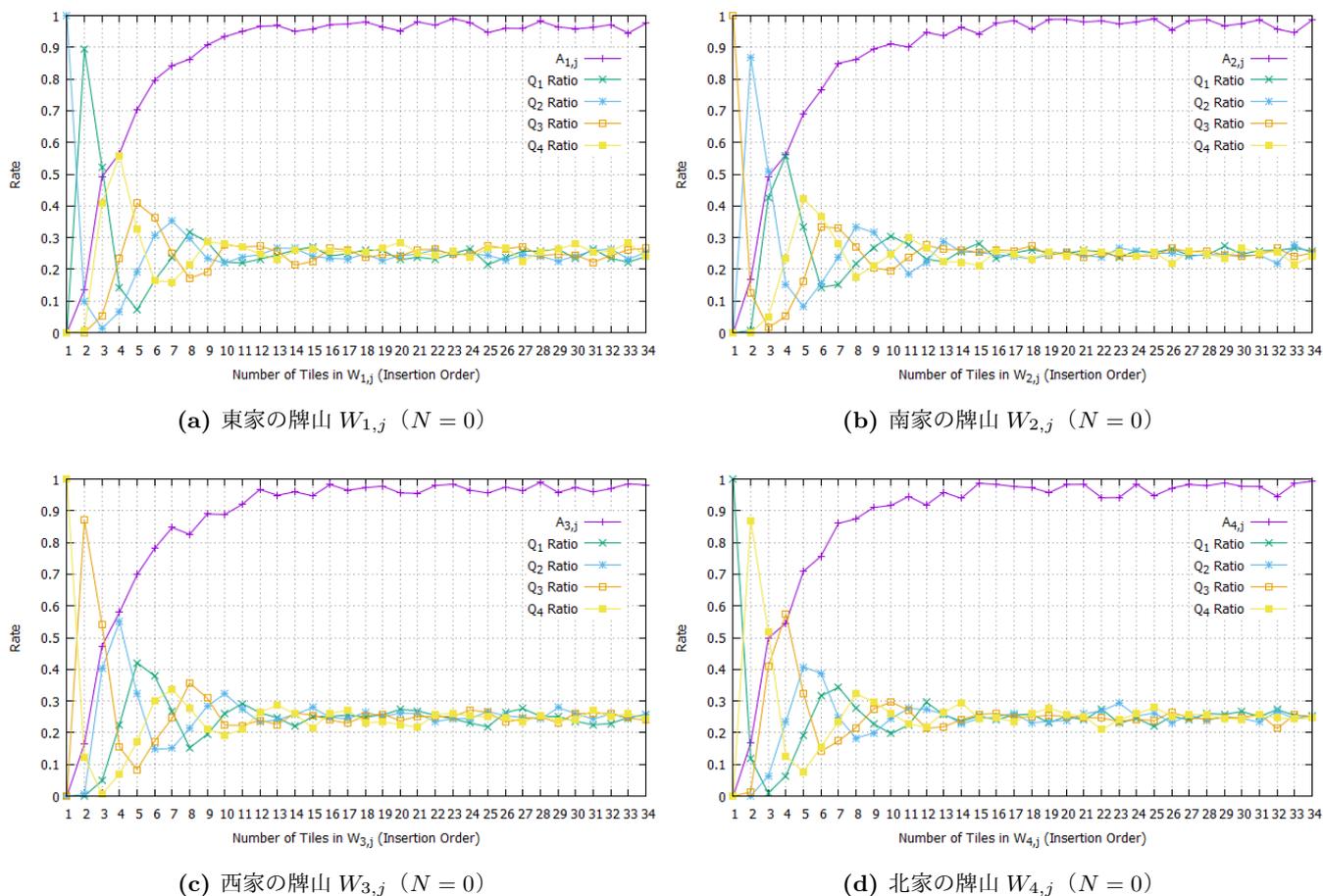


図 3: 各プレイヤーの牌山 $W_{i,j}$ における牌の攪拌率 $A_{i,j}$ および Q_i 比率 ($N = 0$)

Fig. 3 Agitation Rate $A_{i,j}$ and Q_i Rate in Walls of Each Players $W_{i,j}$

次に各図の Q_i 比率を比較すると、一定の周期間隔で減衰曲線を描きながら 0.25 ($1/G$) へ収束していることがわかる。この Q_i 比率の収束の度合いと $A_{i,j}$ とは比例関係にあるため、 $A_{i,j}$ の上昇にともない Q_i 比率は 0.25 へ収束している。しかし Q_i 比率は $A_{i,j}$ と異なり各図で差異が見られる (グラフの形状は同じであるが、各図 i が異なる)。これは牌の攪拌手法である A~D の分類が影響していると考えられる。次に示す「減衰曲線の各周期における極大の出現順」を見るとその違いは明らかである。

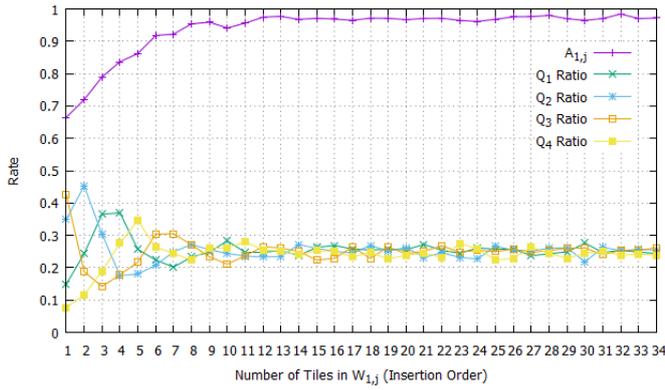
- 図 3(a) 東家の牌山 $W_{1,j}$: $Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_3$
- 図 3(b) 南家の牌山 $W_{2,j}$: $Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_4$
- 図 3(c) 西家の牌山 $W_{3,j}$: $Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_1$
- 図 3(d) 北家の牌山 $W_{4,j}$: $Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_2$

例えば図 3(a) から $W_{1,1}$ へは 100% の頻度で Q_2 に配置された P_n (南家が投入した牌) が挿入されていることがわかる。同様に $W_{1,2}$ へは約 90% の頻度で Q_1 に配置された P_n (東家が投入した牌) が挿入される。このように牌の偏りが大きい $W_{i,j}$ では「どのプレイヤーから投入された牌であるのか」ある程度の予測が可能であるといえる。

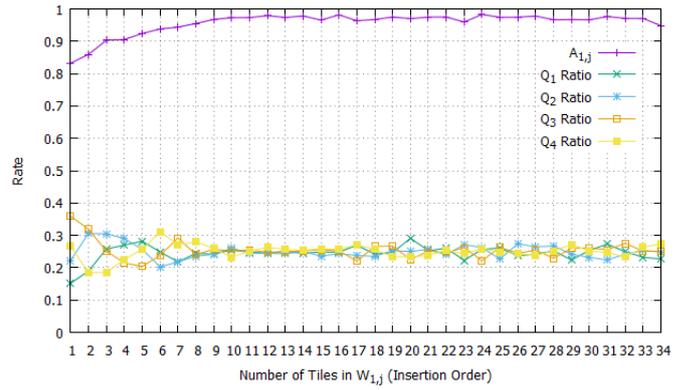
4.3 シミュレーション結果 2

ある全自動麻雀卓の製造メーカーに問い合わせたところ、「現在普及している機種はほぼ $N = 0$ であり、一部の最新機種に関しては $N = 1$ としている」という回答を得ることができた。つまり現行の多くの機種において、吸込み口はドラムの回転開始と同時に牌の取得を開始している。そこで次に N を変動させることで生じる牌の攪拌率の変化について分析する。シミュレーション結果を図 4 に示す。

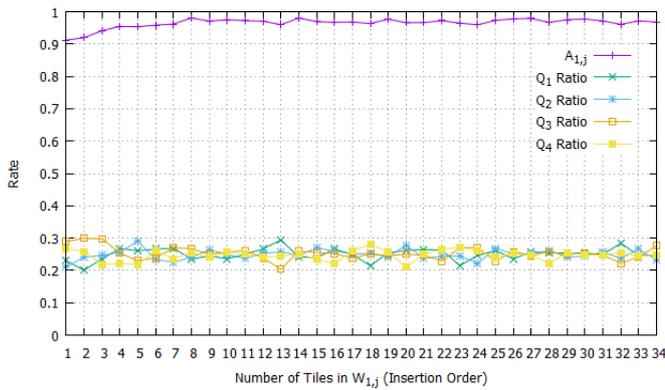
図 4(a) は $N = 1$, 図 4(b) は $N = 2$, 図 4(c) は $N = 3$, 図 4(d) は $N = 4$ としたときの「東家の牌山 $W_{1,j}$ における牌の攪拌率 $A_{1,j}$ および Q_i 比率」を示している。各図から N に比例して $A_{1,j}$ および Q_i 比率の収束率が向上していることがわかる。例えば $N = 0$ を示した図 3(a)~(d) ではすべて $A_{1,1} = 0$ であったが、図 4(a) : $N = 1$ では $A_{1,1} = 0.66$, 図 4(b) : $N = 2$ では $A_{1,1} = 0.83$, 図 4(c) : $N = 3$ では $A_{1,1} = 0.91$, 図 4(d) : $N = 4$ では $A_{1,1} = 0.96$ まで上昇している。ここで $N \geq 3$ ではすべての j に対して $A_{1,j} \geq 0.9$ を満たしている (同時に Q_i 比率も区間 $[0.2, 0.3]$ を満たしている) ため、十分に牌全体が攪拌しているといえる。



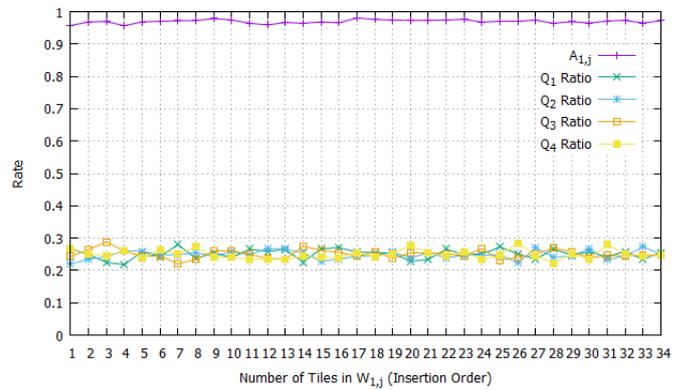
(a) 東家の牌山 $W_{1,j}$ ($N = 1$)



(b) 東家の牌山 $W_{1,j}$ ($N = 2$)



(c) 東家の牌山 $W_{1,j}$ ($N = 3$)



(d) 東家の牌山 $W_{1,j}$ ($N = 4$)

図 4: 東家の牌山 $W_{1,j}$ における牌の攪拌率 $A_{1,j}$ および Q_i 比率 ($N = 1, 2, 3, 4$)

Fig. 4 Agitation Rate $A_{1,j}$ and Q_i Rate in the Wall of East Player $W_{1,j}$

5. おわりに

本研究では、まず全自動麻雀卓の攪拌手法について「A/B/C/D モデル表記」を用いてモデル化した。次に実物の全自動麻雀卓を再現した L/R/F/R モデルにおいて、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に関する分析を行った。シミュレーション結果からは、牌山 $W_{i,j}$ において $j = 10$ 程度までは少なからず牌に偏りが発生していることがわかった。またドラムに空回転 N を加えることによって牌の攪拌率は向上し、 $N \geq 3$ のとき十分に牌全体が攪拌するという結果が得られた。

しかし本研究ではシミュレーションと実物の全自動麻雀卓との比較実験ができていない。そのためモーション・トラッキング等を使用して、マルチエージェント・シミュレーションの再現性（特に牌の回転動作）を検証することが今後の課題としてあげられる。

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）[10] において発表している。

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－artisooc 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] Amy Lo：The Complete Book of Mah Jongg：An Illustrated Guide to the Asian, American and International Styles of Play，TUTTLE (2001)．
- [9] Scott D. Miller：Riichi Mahjong：The Ultimate Guide to the Japanese Game Taking the World by Storm，Psionic Press (2015)．
- [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 (2017)．