

全自動麻雀卓における牌の攪拌率に関する分析

井手 広康^{1,a)} 奥田 隆史^{2,b)}

概要：昭和 50 年代に日本で全自動麻雀卓が登場してから麻雀荘を中心に広く普及することになった。全自動麻雀卓は本来プレイヤーが手で行っていた“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。しかし全自動麻雀卓の攪拌手法（牌のかき混ぜ方）には一定の規則性があるため、これが要因となって牌に偏りが生じ、結果的に麻雀の「流れ」に影響している可能性があると考えられる。そのため本研究では全自動麻雀卓の攪拌手法についてモデル化し、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（牌の攪拌の度合い）について検証した。その結果、現在の全自動麻雀卓の攪拌手法では牌の攪拌率は低く、攪拌手法の変更によっても結果にほとんど差が生じないことが分かった。しかし全自動麻雀卓内部で牌を回転させる空間であるドラムに空回転（吸込み口が牌を取得しない回転）を 3 回転以上加えることによって、牌の攪拌率を大幅に改善できることが分かった。

キーワード：麻雀, 全自動麻雀卓, 攪拌手法, マルチエージェント・シミュレーション, artisoc

Analysis on Agitation Method of Tiles in Automatic Mahjong Table

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

Abstract: Automatic Mahjong Table appeared in Japan in the Showa 50's, and it became popular mainly in mahjong parlor. This Automatic Mahjong Table refers to the mahjong table which automatically carries out "the action of stirring tiles and stacking them on walls" that players originally performed. However, there are certain rules on Agitation Method(how to stir tiles) of Automatic Mahjong Table, so there is concern that it may be affecting the game as becoming biased tiles. Therefore, in this study, we modeled Automatic Mahjong Table from Agitation Method of tiles and verified Agitation Rate of tiles with Multi-Agent Simulation. As a result, Agitation Rate of tiles is low in Automatic Mahjong Table, and it was found that even when Agitation Method was changed, there was hardly any difference in the result. However, it was found that Agitation Rate changes greatly by adding more than three idle rotations (rotation in which the suction mouth does not acquire any tiles) to the drum which is the space of stirring tiles.

Keywords: Mahjong, Automatic Mahjong Table, Agitation Method, Multi-Agent Simulation, artisoc

1. はじめに

麻雀ではゲーム中に関してプレイヤーに見えているものは自分の手牌と捨て牌（カードゲームでいう「手札」と「捨て札」のようなもの）だけである。そのため将棋やチェスなどと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その中でも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。不完全性が小さい領域では技術的な要素が強く、不完全性が大きい領域では心理的な要素が強いとされている [2]。麻雀は不完全性が小さい領域に属しているため技術的な要素が強く、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]。東ら (2000) は、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している [4]。

¹ 愛知県立大学 大学院 情報科学研究科

² 愛知県立大学 情報科学部 情報科学科

^{a)} h.ide@aichi-j.com

^{b)} okuda@ist.aichi-pu.ac.jp

実践においてこのような「読み」の駆け引きを必要とする場面では、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相手の状態を判断するのである。とつげき東北(2004)は、この麻雀の「流れ」について“それが良くなっているときには和了(麻雀用語で「あがる」こと)しやすくなり、それが悪くなっているときには和了しにくくなる一般の現象であり、時間的に連続する傾向を持つもの”と定義している[5]。同時に“統計学的に検証すると麻雀に「流れ」は存在せず、多くの場合この言葉だけでさまざまな現象を片付けがちである”と指摘している。この見解に対しては賛否両論あるが、一般的に麻雀には「流れ」が存在すると考えられている[6]。

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)に着目する。全自動麻雀卓は本来プレイヤーが手で行っていた“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。しかし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、麻雀の「流れ」に影響している可能性があると考えられる。なお全自動麻雀卓やその攪拌手法に関連した先行研究は現在のところ見当たらない。そこで本研究では、全自動麻雀卓の攪拌手法によって生じる牌の偏りについてマルチエージェント・シミュレーション(以下、「MAS」と呼ぶ)である artisoc[7] を用いて検証を行う。

2. 全自動麻雀卓の概要

本章では全自動麻雀卓の概要について説明する。まず2.1節では全自動麻雀卓が誕生するまでの麻雀卓の歴史について述べる。全自動麻雀卓における牌の攪拌手法は各社製品モデルによって若干の違いが存在するが、すべてのモデルに共通する動作について2.2節で述べる。最後に2.3節では全自動麻雀卓のモデルによる攪拌手法の違いを分類し、それを「A/B/C/D」によって略記表記で表現する。

2.1 麻雀卓の歴史

麻雀の歴史に関する文献[8]によると、1920年から1930年にかけて世界各国で使用されていた麻雀卓は、一般家庭にある座卓で代用されることが多かった。しかし麻雀専用の座卓(「パンウデーツ」と呼ばれていた)も当時から存在していたようである。それは一般の座卓に加えて用具を収納する引き出しを備え、座卓の桌面にラシャが敷かれたものであったと記録されている。

その後もしばらくこのような麻雀卓がゲームで使用されるが、全自動麻雀卓が誕生するのは1970年代になってからのことである。意外なことに実は全自動麻雀卓は日本で誕生している。昭和30年代から40年代にかけて日本で麻雀ブームが起こった際、麻雀牌の需要増加に伴いこれまで

の手彫り牌から機械化された練り牌が大量生産されるようになった。必然的に麻雀牌だけでなく麻雀卓自体も機械化の方向へシフトするようになる。そして昭和50年代のコンピュータの登場とともに、全自動麻雀卓が誕生することになった[9]。現在ではほぼすべての麻雀荘に設置されるようになるほど広く普及している。

2.2 共通動作

麻雀は基本的には4人でプレイするゲームである。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自身の牌山(34枚の牌から成る2段17列の牌の山)を完成させていた。この動作を自動で行う麻雀卓が全自動麻雀卓と呼ばれる。全自動麻雀卓の動作は次のとおりである(以下、「共通動作」と呼ぶ)。

- すべての牌を全自動麻雀卓内部にあるドラム(牌を攪拌させる空間)で回転させる
- 牌の回転と並行して、各プレイヤーに対応した4つの吸込み口が牌をドラムからランダムに吸い上げる
- それぞれの吸込み口は吸上げた牌を順番に移動させ、自身に対応する牌山を完成させる

全自動麻雀卓を使用したゲームでは背色の異なる136枚の牌が2セット分用意されており、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、内部でもう一方のセットを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。

2.3 牌の攪拌手法

2.2節では全自動麻雀卓の共通動作について述べたが、各社製品モデルによって牌の攪拌手法に若干の違いが存在する。この攪拌手法の違いが全自動麻雀卓の「癖」と呼ばれるものである。本研究では全自動麻雀卓における牌の攪拌手法の違いを次のようにAからDに分け、「A/B/C/D」によって略記表記で表現する。

A：ドラムの回転方向

ドラムの回転方向(牌を回転させる方向)から「右回転(時計回り)」と「左回転(反時計回り)」に分類する。分類記号は右回転を「R」、左回転を「L」と表記する。図1では左図、右図それぞれの中心に位置する2つの矢印がこれに当たる。

B：吸込み口の回転方向

吸込み口が牌を吸込んだ後、それを牌山へと送る回転方向から「右回転」と「左回転」に分類する。分類記号は右回転を「R」、左回転を「L」と表記する。図1では左図、右図それぞれにある4箇所の吸込み口から伸びる2つの矢印がこれに当たる。

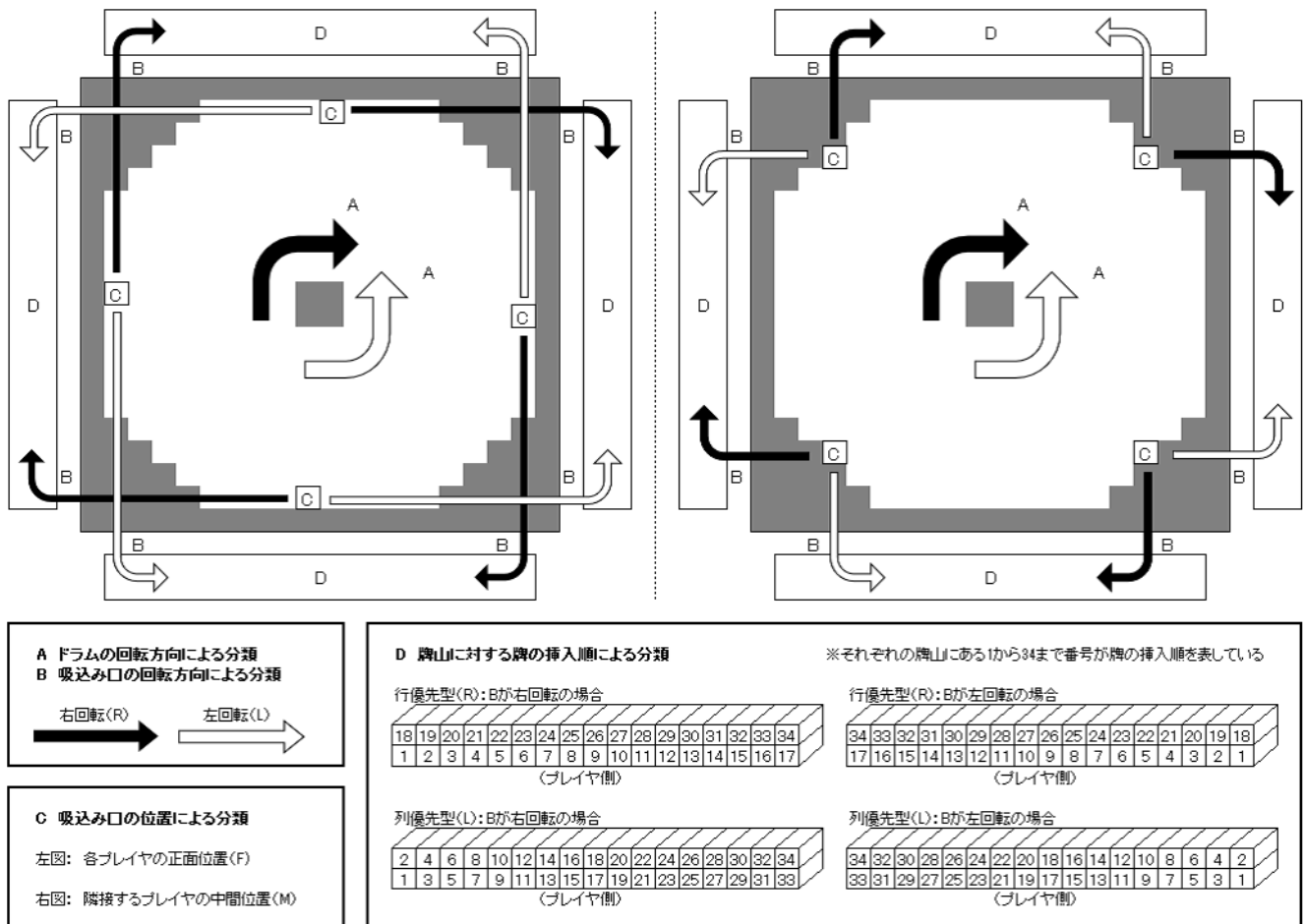


図 1: 全自動麻雀卓の A/B/C/D モデル表記

Fig. 1 A/B/C/D Model Notation of the Automatic Mahjong Table

C: 吸込み口の位置

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」に分類する。分類記号は各プレイヤーの正面位置を「F」、隣接するプレイヤーの中間位置を「M」と表記する。図1では左図がFタイプ、右図がMタイプを示している。

D: 牌山に対する牌の挿入順

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」に分類する。分類記号は行優先型を「R」、列優先型を「C」と表記する。図1では牌の挿入順を表す1から34までの番号が振られた4つの牌山がこれを示している。なおBの吸込み口の回転方法によって、この牌山に対する牌の挿入順が「左始まり」か「右始まり」かで異なる。Bが右回転の場合は挿入順が「左始まり」、Bが左回転の場合は挿入順が「右始まり」となる。

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、これを「L/R/F/R」と表記する。

3. エージェントベースモデル

本章では全自動麻雀卓をエージェントベースモデルで表現する。まず3.1節では牌を攪拌させる空間であるドラム空間のモデル化を行う。次に3.1節では牌を挿入する牌山配列 $W_{i,j}$ を定義する。次に牌および吸込み口エージェントについて3.3節と3.4節で定義する。最後に3.5節では牌の攪拌の度合いを示す攪拌率 $A_{i,j}$ について定義する。

3.1 ドラム空間モデルの定義

牌を攪拌させるドラム空間を図2のように 20×20 セルでモデル化し、これを「8象限ドラム空間モデル」と呼ぶ。このモデルではドラムを1つの円と考え、 0° から 360° までも 45° 間隔で8つの象限に分割している。それぞれの象限は35セル(8.75%)で全体が280セル(70%)となっており、これがドラム空間で牌が回転する範囲となる。

これらの象限を使用して、4人のプレイヤーが牌を卓上からドラム内部へ流し込む範囲（以下、「投入範囲」と呼ぶ）を表す。4人のプレイヤーに対応するそれぞれの投入範囲を、卓の下側のプレイヤー（東家）から反時計回りに $Q_i (i = 1, 2, 3, 4)$

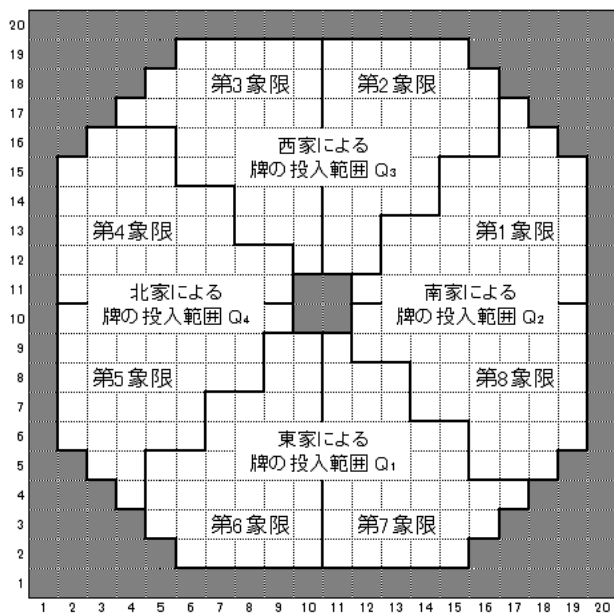


図 2: 8 象限ドラム空間モデル
Fig. 2 Octant Drum Space Model

と置き、次のように対応付ける。

- Q_1 (第 6, 7 象限): 卓の下側のプレイヤー (東家)
- Q_2 (第 1, 8 象限): 卓の右側のプレイヤー (南家)
- Q_3 (第 2, 3 象限): 卓の上側のプレイヤー (西家)
- Q_4 (第 4, 5 象限): 卓の左側のプレイヤー (北家)

全自動麻雀卓では 1 局のゲームが終了すると、プレイヤーは卓上にあるすべての牌をドラムへ流し込む。プレイヤーが牌の流し込みを完了させると、今度はあらかじめ内部でセットされた 4 つの牌山が卓上に現れ、次の局が開始される。本研究の MAS ではこの 1 局が 1 回のシミュレーションに該当し、シミュレーション開始時にそれぞれの牌は象限全体にランダムに配置される。その際にそれぞれの牌は自身が配置された Q_i を記憶し、攪拌終了時にどのプレイヤーから投入されたものなのか判断することができる。

3.2 牌山配列 $W_{i,j}$ の定義

ドラム空間における牌の回転と並行して、吸込み口は一定の間隔で牌を吸上げ自身に対応した牌山へと挿入する。それぞれの牌山 (Wall) における牌の位置を牌山配列 $W_{i,j}$ を使って表現する。 $W_{i,j}$ の i は各プレイヤーに対する牌山を示し、卓の下側のプレイヤー (東家) の牌山から反時計回りに $i = 1, 2, 3, 4$ と置き、次のように対応付ける。

- $W_{1,j}$: 卓の下側のプレイヤー (東家) の牌山
- $W_{2,j}$: 卓の右側のプレイヤー (南家) の牌山
- $W_{3,j}$: 卓の上側のプレイヤー (西家) の牌山
- $W_{4,j}$: 卓の左側のプレイヤー (北家) の牌山

また $W_{i,j}$ の j は牌山に対する牌の挿入順 (牌山の番号) を表し $j = 1, 2, \dots, 34$ と置く。この j は図 1 の D に表記している牌山の番号に該当する。

3.3 牌エージェント P_i の定義

世界各国において麻雀のルールは大きく異なり、ゲームで使用される牌の種類にも違いが見られる [10]。本研究では日本の 4 人麻雀ルールにおいて一般的に使用されている 136 枚の牌 [11] を想定し、これらを牌エージェント $P_i (i = 1, 2, \dots, 136)$ と定義する。 P_i をドラム空間で回転させるために、8 象限ドラム空間モデルを奇数象限と偶数象限に分け、 P_i が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

上記の方法で選択された進行方向に既に他の P_i が存在していれば移動を中止し、今度は選択されなかった進行方向への移動を試みる。さらにこの進行方向でも移動できない場合には移動を諦めその場に留まる。artisoc では時間軸にステップという単位が使われ、すべての P_i がランダムな順序 (並列では動作しない) で上記の移動を完了させるまでが 1 ステップとなる [7]。ここでドラム空間にすべての P_i がいる状態で P_i がドラム空間を 1 回転するステップ数を M と置く。すべての P_i に対して M を計測し平均値を求めたところ $M = 53$ という結果が得られた。

3.4 吸込み口エージェント G_i の定義

ドラム空間の 4 箇所に設置されている吸込み口を吸込み口エージェント $G_i (i = 1, 2, 3, 4)$ と定義する。ここでそれぞれの G_i と $W_{i,j}$ は i で対応しているものとする。例えば G_2 がドラム空間から P_i を取得すると、それを自身に対応する $W_{2,j}$ へ挿入することになる。 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_i の回転と並行して、自身の半径 1 セル内にいる P_i をランダムに 1 つ選択する
- ここで選択した P_i をドラム空間から削除し、自身に対応した $W_{i,j}$ へ挿入する
- 次の P_i を選択するまで一定のステップ数の間隔で待機する (このステップ数を I と置く)

それぞれの G_i は自身に対応した $W_{i,j}$ が完成するまで上記の動作を繰り返す (計 34 回 P_i を取得する)。ここで G_i がドラムの回転開始から最初の P_i を取得するまで待機するドラムの回転数 (1 回転を M ステップとする) を N と置き、これを「ドラムの空回転数」と呼ぶ。

表 1: シミュレーションのエージェントに関するパラメータ設定
Table 1 Parameter Setting of Agents in the Simulation

対象となるエージェント	パラメータの説明	記号	設定値
P_i (牌エージェント)	ドラム空間を P_i が 1 回転する平均ステップ (ドラムが 1 回転する平均ステップ)	M	53
G_i (吸込み口エージェント)	G_i がひとつの P_i を取得してから次の P_i を取得するまで待機するステップ	I	10
G_i (吸込み口エージェント)	G_i がすべての P_i 取得に要する平均ステップ (1 回の平均シミュレーションステップ)	R	424
G_i (吸込み口エージェント)	G_i がドラムの回転開始から P_i の取得を開始するまでのドラムの空回転数	N	0

3.5 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 $\{S, n\}$, 変数 $\{x_i\}$ について次のように定義する.

- S : シミュレーション回数 ($S = 1000$)
- n : 吸込み口の設置数 ($n = 4$)
- x_i ($i = 1, 2, 3, 4$): S 回のうち $W_{i,j}$ に挿入された P_i が記憶している Q_i それぞれの回数 ($0 \leq x_i \leq S$)

このうち x_i に関して, x_i と Q_i は i で対応しているものとする. 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 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 $A_{i,j}$ ($0 \leq A_{i,j} \leq 1$) と定義する.

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

式 3 では x_i がそれぞれ S/n で均等である場合に $A_{i,j} = 1$ となり, これが牌が最も攪拌している状態 (牌の偏りが最小) を表す. 一方 $\sigma = \sigma_{max}$ の場合に $A_{i,j} = 0$ となり, これが牌が最も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 $A_{i,j} \geq 0.9$ となる時, これを「理想の攪拌率の状態」と呼ぶ.

4. 数値例

本章ではシミュレーションの結果から牌の攪拌率 $A_{i,j}$ について考察する. まず 4.1 節ではシミュレーション条件として各エージェントのパラメータ設定について述べる. 次に 4.2 節では L/R/F/R モデルにおけるシミュレーション

結果について述べる. 次に 4.3 節では A/B/C/D の各要素を変更した場合のシミュレーション結果について述べる. 最後に 4.4 節ではドラムの空回転数 N を変動させた場合のシミュレーション結果について述べる.

4.1 シミュレーション条件

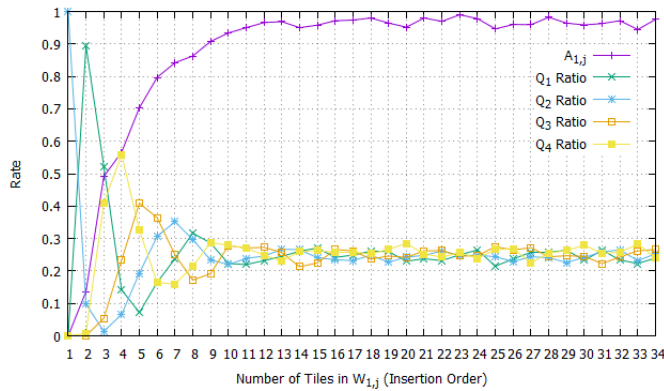
実際のある全自動麻雀卓を調査したところ, 牌の攪拌手法は L/R/F/R であり, ドラムの回転開始から牌山の完成までに約 8 回転 ($N = 0$) 要していることが分かった. そのため MAS では $M = 53$ より 1 回のシミュレーションを 424 ステップ (これを R と置く) 程度で完了させる必要がある. そこで I を変動させてシミュレーションを行ったところ, $I = 10$ のときに $R = 424$ 付近で 1 回のシミュレーションが終了するようになった. 以上のことから, シミュレーションにおける牌の攪拌手法は L/R/F/R モデルを使用し, 各エージェントのパラメータについては表 1 のとおり設定した. この条件下でシミュレーションを 1000 回実行し, 牌の攪拌率 $A_{i,j}$ について分析した.

4.2 シミュレーション結果 1

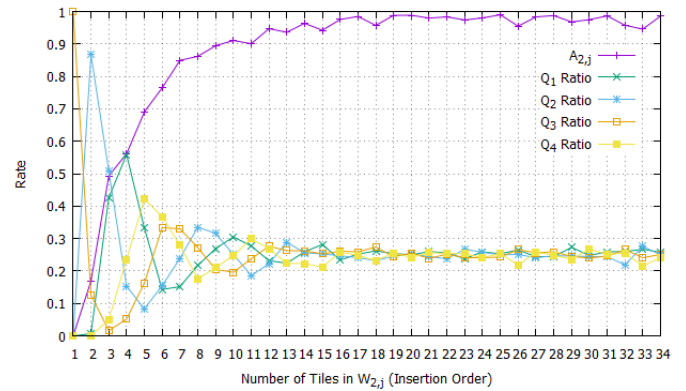
L/R/F/R モデルにおけるシミュレーション結果を図 3 に示す. 図 3(a) は東家の牌山 $W_{1,j}$, 図 3(b) は南家の牌山 $W_{2,j}$, 図 3(c) は西家の牌山 $W_{3,j}$, 図 3(d) は北家の牌山 $W_{4,j}$ に対する $A_{i,j}$ および Q_i 比率をそれぞれ示している. この Q_i 比率は S 回のシミュレーションにおける x_i ($i = 1, 2, 3, 4$) の比率 (x_i/S) を表している.

まずそれぞれの図における $A_{i,j}$ を比較すると, グラフ傾向はほぼ等しくなっていることが分かる. $A_{1,1}$, $A_{2,1}$, $A_{3,1}$, $A_{4,1}$ はともに 0 であるが, j に比例して指数的に上昇傾向を示している. また $j = 10$ 前後において $A_{i,j}$ は 0.9 に達し, 理想の攪拌率の状態になっていることが分かる. これ以降の j に対して $A_{i,j}$ は若干の増減を繰り返すものの, 理想の攪拌率の状態を保っている.

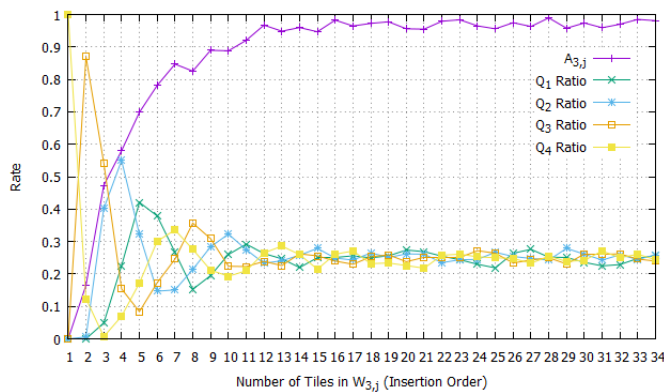
次にそれぞれの図において 4 つの Q_i 比率を比較すると, 一定の周期間隔で減衰曲線を描き, $1/n$ である 0.25 へ収束していることが分かる. この減衰曲線の収束の度合いと $A_{i,j}$ は比例関係にあり, 減衰曲線が収束するほど $A_{i,j}$ は上昇している. またそれぞれの図において減衰曲線の極大の出現順 (以下, 「 Q_i 遷移」と呼ぶ) が異なっており, 次のような規則性を持っていることが分かる.



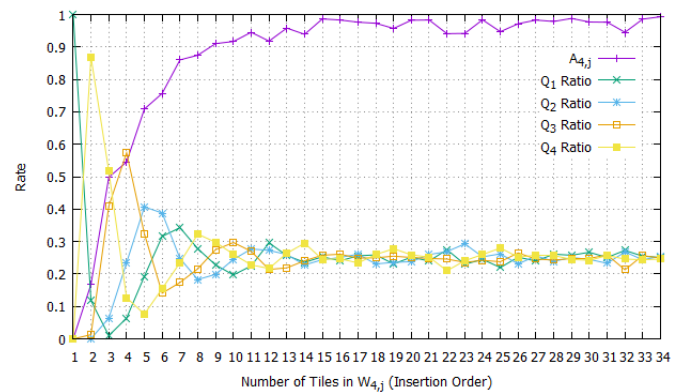
(a) 東家の牌山 $W_{1,j}$ ($N = 0$)



(b) 南家の牌山 $W_{2,j}$ ($N = 0$)



(c) 西家の牌山 $W_{3,j}$ ($N = 0$)



(d) 北家の牌山 $W_{4,j}$ ($N = 0$)

図 3: L/R/F/R モデルの $W_{i,j}$ における $A_{i,j}$ および Q_i 比率 ($N = 0$)

Fig. 3 $A_{i,j}$ and Q_i Rate in $W_{i,j}$ of the L/R/F/R Model ($N = 0$)

- $W_{1,j}$ の Q_i 遷移: $Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow \dots$
- $W_{2,j}$ の Q_i 遷移: $Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow \dots$
- $W_{3,j}$ の Q_i 遷移: $Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow \dots$
- $W_{4,j}$ の Q_i 遷移: $Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow \dots$

ここで図 3(a) の $W_{1,j}$ を見ると, $W_{1,1}$ へは 100% の確率で Q_2 に配置された P_i が挿入されていることが分かる. 同様に $W_{1,2}$ へは約 90% の確率で Q_1 に配置された P_i が挿入されていることが分かる. このように $A_{i,j}$ が低い位置ではどの Q_i に配置された P_i なのかある程度予測することができる. 以上のことから, L/R/F/R モデルでは牌の偏りが大きく理想の攪拌率の状態ではないと言える.

4.3 シミュレーション結果 2

本節では A/B/C/D モデルの各要素を変更した場合におけるシミュレーション結果について考察する.

4.3.1 A : ドラムの回転方向

まず A/B/C/D モデルの A を変更した結果について考察する. A を変更したシミュレーション結果 (R/R/F/R モデル) では $A_{i,j}$ に変化は見られなかった. しかし Q_i 比率

に関して Q_i 遷移が図 3 と比較して反転する結果となった.

- $W_{1,j}$ の Q_i 遷移: $Q_2 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_1 \rightarrow \dots$
- $W_{2,j}$ の Q_i 遷移: $Q_3 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_2 \rightarrow \dots$
- $W_{3,j}$ の Q_i 遷移: $Q_4 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_3 \rightarrow \dots$
- $W_{4,j}$ の Q_i 遷移: $Q_1 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_4 \rightarrow \dots$

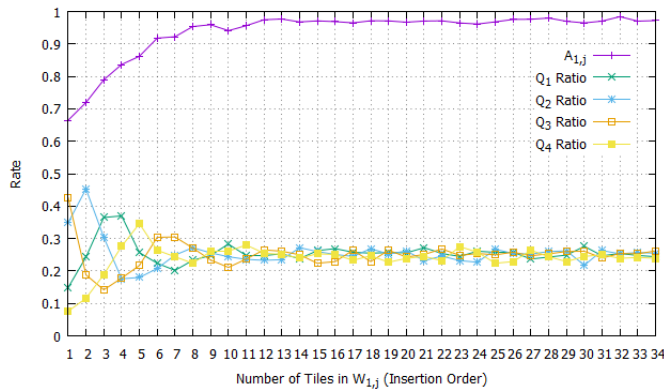
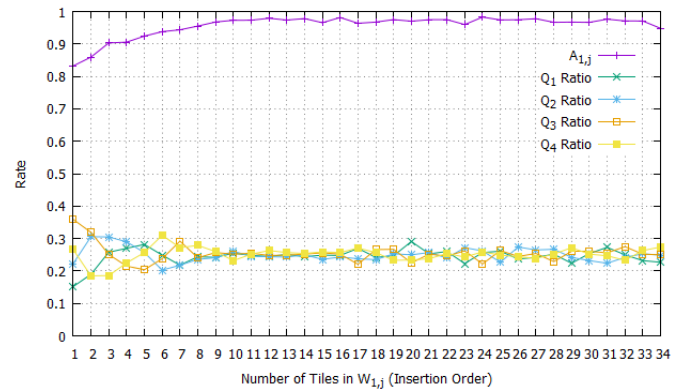
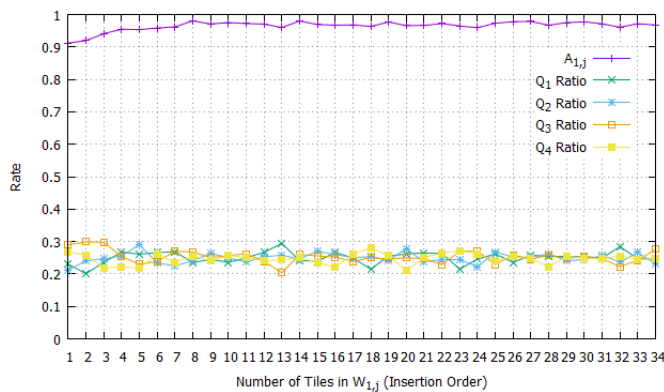
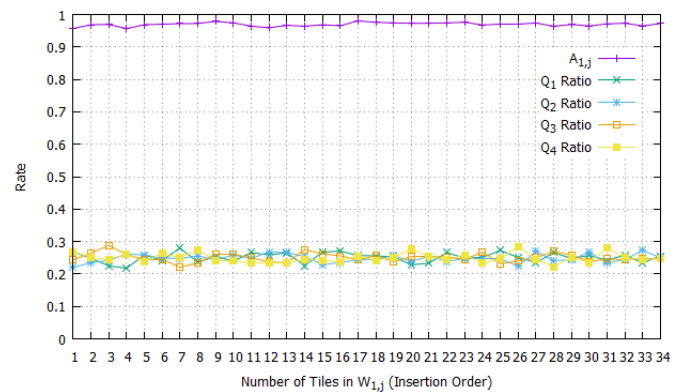
4.3.2 B : 吸込み口の回転方向

次に A/B/C/D モデルの B を変更した結果について考察する. B を変更したシミュレーション結果 (L/L/F/R モデル) では $A_{i,j}$ に変化は見られなかった. しかし Q_i 比率に関して Q_i 遷移の初期 Q_i が図 3 と比較して 2 つズレるという結果となった.

- $W_{1,j}$ の Q_i 遷移: $Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow \dots$
- $W_{2,j}$ の Q_i 遷移: $Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow \dots$
- $W_{3,j}$ の Q_i 遷移: $Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow \dots$
- $W_{4,j}$ の Q_i 遷移: $Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow \dots$

4.3.3 C : 吸込み口の位置

次に A/B/C/D モデルの C を変更した結果について考察する. C を変更したシミュレーション結果 (L/R/M/R モデル) では $A_{i,1}$ に変化が見られた. これは吸込み口の位置

(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: L/R/F/R モデルの $W_{1,j}$ における $A_{1,j}$ および Q_i 比率 ($N = 1, 2, 3, 4$)Fig. 4 $A_{1,j}$ and Q_i Rate in $W_{1,j}$ of the L/R/F/R Model ($N = 1, 2, 3, 4$)

が関係しており、吸込み口が F タイプの場合では $W_{i,1}$ に対する Q_i は一意に決まるが、M タイプの場合では吸込み口に隣接するどちらかの Q_i に二分されるためであると推測できる。そのためシミュレーション結果では $A_{i,1} = 0.5$ 程度まで上昇したが、 $j \geq 2$ では 4.2 節とほぼ同様の傾向を示している。また Q_i 比率に関して Q_i 遷移の初期 Q_i が図 3 と比較して 1 つズレるという結果となった。

- $W_{1,j}$ の Q_i 遷移: $Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow \dots$
- $W_{2,j}$ の Q_i 遷移: $Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow \dots$
- $W_{3,j}$ の Q_i 遷移: $Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow Q_4 \rightarrow \dots$
- $W_{4,j}$ の Q_i 遷移: $Q_4 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_1 \rightarrow \dots$

4.3.4 D: 牌山に対する牌の挿入順

最後に A/B/C/D モデルの D を変更した結果について考察する。A を変更したシミュレーション結果 (L/R/F/C モデル) では $A_{i,j}$ および Q_i 遷移に変化は見られなかった。これは D が牌の攪拌後の牌山への挿入順を示しているためであり、牌の攪拌に直接的には影響がない。しかし本稿では扱わないが、D はプレイヤーが牌山から牌を取得する行為である自摸や配牌に対しては影響を及ぼすことになる。

4.4 シミュレーション結果 3

ここまでのシミュレーションは表 1 にあるとおりドラムの空回転数 N が 0 の場合で実行している。つまり P_i の回転開始と同時に G_i は P_i の取得を開始している。ここで N を 1 から 4 まで変動させてシミュレーションを実行した。この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 $N = 4$ とした場合の東家の牌山 $W_{1,j}$ における $A_{1,j}$ および Q_i 比率を示している。図を見ると N に比例して $A_{1,j}$ と Q_i 比率の収束の度合いが向上していることが分かる。 $N = 0$ の場合 (図 3) ではすべての i に対して $A_{i,1} = 0$ であったが、 $N = 1$ では $A_{1,1} \simeq 0.66$ 、 $N = 2$ では $A_{1,1} \simeq 0.83$ 、 $N = 3$ では $A_{1,1} \simeq 0.91$ 、 $N = 4$ では $A_{1,1} \simeq 0.96$ まで上昇している。 $N \geq 3$ ではすべての j に対して $A_{1,j} \geq 0.9$ となっているため、理想の攪拌率の状態であると言える。さらに Q_i 比率についても N に比例して 0.25 へと収束していき、 $N \geq 3$ ではすべて 0.2 から 0.3 の間に収まっていることが分かる。また $A_{1,j}$ および Q_i 比率はともに $N = 3$ と $N = 4$ の場合と比較してほとんど差は見られない。

以上のことから、ドラムの空回転数 N を変動させた場合に $A_{i,j}$ を大きく改善できることが分かった。特に $N \geq 3$ の場合、つまり3回転以上ドラムが空回転した後で G_i が P_i の吸上げを開始したとき、すべての j に対して $A_{1,j} \geq 0.9$ となり理想の攪拌率の状態になることが分かった。なお付録 A.1 より、 $N = 3$ とした場合のゲームの進行に対する影響は小さいと考えられる。

5. おわりに

本研究では MAS を用いて全自動麻雀卓の攪拌手法をモデル化し牌の攪拌率について検証した。その結果、現在の全自動麻雀卓では牌の攪拌率は低く（牌の偏りが大きい）、攪拌手法の違いによっても攪拌率にはほとんど差がないことが分かった。しかし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、空回転が3回転以上の場合に理想の攪拌率の状態となる結果が得られた。

このように牌の攪拌率についてシミュレーションから結果が得られたが、この攪拌率が実際のゲームにどのような影響を及ぼしているのかについてまだ明確にできていない。また麻雀の「流れ」への影響についても不明なままである。そのため全自動麻雀卓において牌の軌跡について調査し、そこから麻雀の「流れ」という現象について分析することが今後の課題として挙げられる。

付 録

A.1 $N = 3$ がゲームの進行へ与える影響

$N = 3$ の場合にはじめて理想の攪拌率の状態となることが分かったが、ドラムに3回転の空回転を加えることによるゲームの進行への影響が懸念される。ここでは $N = 3$ とした場合にどのような変化が起こり得るのか考察する。

4.1 節で調査した全自動麻雀卓ではドラムの回転開始から牌山の完成までに約8回転を要したが、これは時間にして約50秒であることが分かった。このことからドラム1回転あたり6.25秒かかっている計算となる。そのため $N = 3$ とした場合、通常の $N = 0$ の場合と比較して牌山の完成までに約20秒余分にかかることになる。

麻雀では1回のゲームに平均して12回の局（12回分のシミュレーションに該当）を繰り返す。全自動麻雀卓を使用した1回のゲーム（12局）が約40分で終了する（著者の体感による）ため、1局あたり約200秒かかる計算となる。1局に要する時間が200秒であるのに対して牌山の完成までに要する時間が110秒（50+20）であるため、 $N = 3$ がゲームの進行へ与える影響は小さいと考えられる。

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