モンテカルロシミュレーションを用いた
ビンゴゲーム参加者の不満度の考察

学生番号　2012830
氏名　竹ノ内　昌樹

提出年度　平成 27 年度

目次

1. はじめに

本研究はビンゴゲームについて取り上げる。このゲームは余興などで用いられるが、その特徴として明確な順位がつかず同時あがりが存在する、ゲームが終了する時間が一定でないことが挙げられる。ゲームの運営者はなるべく参加者に不満を持たせないようなゲーム設定を行う必要がある。そのため景品の個数や用いるカードの種類に注意して決めなければならない。

ビンゴゲームは親と p 人のプレイヤーによって行われる（$p \geq 2$)。各プレイヤーには、1 以上 m 以下の整数のうち、ランダムに選ばれた n^2 個が重複なく書かれた $n \times n$ 盤面が与えられる。以下、この盤面の長さ n を次数、盤面に書かれる整数をシンボル、その最大値をシンボル数 m と呼ぶことにする。親には m 個のボールの入った壺が与えられる。各ボールには 1 以上 m 以下の整数が 1 つずつ書かれている。親は 1 回のラウンド（試行）でボール 1 つを壺からランダムに取り出す。これに対しプレイヤーは、もしボールに書かれた数が自分の盤面にあれば､該当するマス目に穴を開ける。このようにラウンドを繰り返し、盤面における n 個のマス目の並び（縦 n 本、横 n 本、対角線 2 本）のいずれか 1 本において、すべてのマス目に穴を開けたプレイヤーから順にあがり（ビンゴ）とする。また、あがったプレイヤーの人数が pr 以上になったとき、ゲームは終了する（$0<r\leq1$)。なお親は 1 度取り出したボールを壺に戻さないものとする。一般には n=5、m=75 が用いられるが、r は運営者の判断で決定される。

ビンゴゲームはイベントの余興として行われることが多いが、本研究では運営者の視点に立ち、なるべく参加者に不満を持たせないようなゲーム設定（n,m,r）を考えたい。たとえば 100 人のプレイヤーが参加するビンゴゲームにおいて r=0.9 を採用したとすると、90 人のプレイヤーがあがるまでゲームを続けなければならず、先に上がった大半のプレイヤーは退屈を禁じ得ないであろう。またゲーム終盤で景品が少なくなった状態で多数のプレイヤーが同時にあがったために、渡すべき景品が足りなくなるような事態も避けたい。

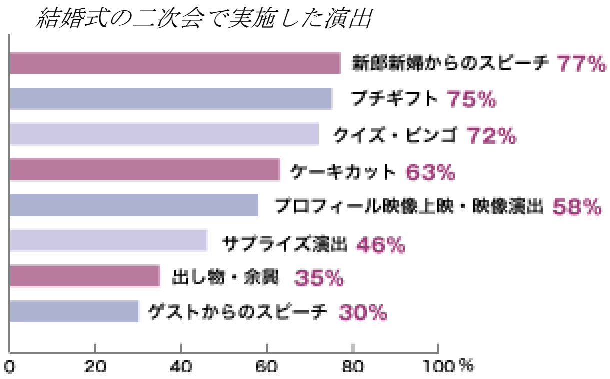
そこでゲームの進行によって不満度が変化するようなプレイヤーをモデル化し、プレイヤー全員の不満度の総和がどのように変化するかを、モンテカルロ・シミュレーションによって観察する。その結果、大きな不満なくゲームを終わらせるのに十分なラウンド数の存在が示唆された。次数とシンボル数がゲームに与える影響を考察した結果、次数の調整によって同時あがりを防ぐことができ、シンボル数の調節によってゲーム時間の調整が可

能であることがわかった。

本論文の構成は以下の通りである。2 章で先行研究について説明し、3 章では不満度のモデル化の方法と研究に使用した手法について説明する。4 章では実験で得られた結果を基に考察を行い、最後に 5 章でむすびとする。

2. 先行研究

結婚情報誌「ゼクシィ」が運営する結婚情報 SNS「ゼクシィ花嫁カフェ」が2009 年 6 月に女性を対象にアンケートを行った。結果は右記のグラフのようになり、結婚式の二次会で行われるお楽しみの演出として「クイズ・ビンゴ」は非常に人気の高いことがわかった。しかし、ゼクシィでは演出を行う際に幹事は時間に気を付けて臨機応変に場を進行させることが必要になってくると述べている[1]。



※データ出典 :「ゼクシィ花嫁カフェ」アンケート 206 人の回答を集計（2009 年 6 月実施）

さらに株式会社ぐるなびが結婚式の二次会幹事経験がある全国の男女 853 人を対象に行った会費および演出に関するアンケートではカラオケ、キャンドルサービス、シャンパンタワーなど地域によって特徴は見られたが全体の約 6 割がビンゴゲームを実施したと答え、ビンゴゲームは結婚式の二次会において全国で最も多く実施されている演出であるという結果になった。理由としては景品が当たるため、参加者全員が楽しむことができる点が大きな要因となっているようだ[2]。

しかし、ビンゴゲームは他の「くじ引き」などと違った特徴を持つ娯楽である。1915 年創業の縁日玩具、おもちゃ、花火の専門卸問屋である株式会社新井商店（以下新井商店）は、ビンゴゲームの特徴について以下のように述べている[3]。

ビンゴゲームは一般的な「くじ引き」に比べて著しい特徴がある。福引、宝くじ、三角くじ、数字合わせなどの「くじ引き」の特徴は

- *基本的には参加者の個々人の順位を決める。*
- *原則的にはたった 1 回のトライ(試行)だけで結果が出てしまう。*

ビンゴではこれがあてはまらず。

- *参加者の順位はきちんとは決まらない。複数の参加者が同時にゴールする場合がほとんどである。*
- *最低でも数回のトライをしなければ最初の勝者のゴールインはない。しかもこのゴール前の過程で抜きつ抜かれつのデットヒートが繰り返され、前方を走っている人が必*

ずしも最初にゴールするとは限らない。そこで、参加者は知らず知らずのうちに興奮の坩堝の中に投げ込まれていく。ビンゴの魅力はこの点にある。

しかし、参加者にとっては魅力のあるゲームでも、まさにこの故に主催者泣かせのゲームである。通常のくじ引きなら順序付けやそれに対応した商品などは、主催者が意図的に準備できるが、ビンゴゲームのあがり状況は主催者側ではコントロールできない。しかしそうなると明確な商品の準備が出来なくなり、ゲームの企画そのものが成り立たなくなってしまう。

新井商店はこの問題に対してシミュレーションで各ラウンド数におけるビンゴ者の割合を提示し、それを参考にビンゴゲームを行うように勧めている。これに加えて、本研究ではプレイヤーが感じるであろう不満度の度合をモデル化し参加者に不満を持たせないゲーム設定をシミュレーションによって考察した。

3. 研究の方法

3.1 不満度の定量化

プレイヤーの不満度を定義する。不満の感じ方とは主観的なものであるため定義付けを行う場合様々な定義が考えられるが、本研究ではマス目に穴を開けることで「あがりに近づいた」と感じられることに着目し、以下のような定義についてシミュレーションを行う。

A　最後に穴を開けてから経過したラウンド数に比例するような不満度。(A-1) ゲーム開始直後、および穴を開けた直後のラウンドでは 0 を取る。あがった後は、ラウンド毎に単調に 1 ずつ増加する。(A-2) プレイヤーに乱数を利用した個性値を持たせ、個性値の数値分のラウンド数だけ連続で穴が開かなくてもプレイヤーは不満を感じない。(A-3) 穴が開かずにラウンドが経過するごとに不満度が増加していくがリーチになった場合に不満度を－6、ビンゴになった場合に不満度を-12 にする。

B　確率的に満足状態 0 から不満状態 1 に変化するような不満度。ゲーム開始直後、および穴を開けた直後のラウンドでは 0 を取るが、以後再び穴を開けるまでの間は、ラウンド毎に確率的に 0 のままか 1 に変わるかが決められる。一度 1 になったら、再び穴を開けるまで 0 になることはない。

A は穴が開かなければ不満は上限なく蓄積されるため大きな不満を持つプレイヤーの影響を観察できる。B は一人が不満度を最大でも 1 しか持たないため全体の傾向が観察しやすいというメリットがある。

ランダム性の高いゲームにおいて全体の傾向を観察するためにはプレイヤーが十分多い場合の不満度の平均（以後，場の不満度という）の変化を観察する必要があるため、プレイヤー数は $p=10^5$ とした。なお、あがったプレイヤーは退出せず、場の不満度の計算に考慮されるものとする。次数は 3,5,7、シンボル数は 50,75,100 とそれぞれ変化させ、傾向がどのように変わるかを考察する。

3.2 ビンゴゲームのシミュレーション

本研究はシミュレーションを用いて実験を行う。シミュレーションとは様々なモデルを構築し模擬実験を行って変化を予測するものである。一般に理論式が無い、または理論式

があっても複雑で解くことのできない現象を解くために使われる。さらにビンゴゲームのシミュレーションにはモンテカルロ法を用いる[4,5]。モンテカルロ法はシミュレーション対象を乱数を用いて観測することで対象を確率的に解くための手法である。モンテカルロ法を利用したシミュレーションをコンピュータなどによって反復試行させ、現象の推定を行う方法がモンテカルロシミュレーションと呼ばれる。ビンゴゲームのような確率的な要因を多く含む現象の傾向を観測するのには、モンテカルロシミュレーションを用いるのが適していると考えられる。

本研究においてはビンゴゲームの開始時のシンボルの配置、壺から取り出される数字の決定に乱数を用いて繰り返し試行を行うことでビンゴゲームの近似的な結果を得ることが出来る。また、今回は各プレイヤーに不満度を持たせてシミュレーションを行う。そこで、各プレイヤーが不満を感じる条件にも乱数を用いることでプレイヤーの不満の感じ方に個人差をつけている。これにより同じ境遇のプレイヤーでも不満度の値が異なるようになり、より現実に近づけている。また、モンテカルロ法は実験的方法であり、測定値には必ず誤差が含まれる。精度を高めるには十分な回数試行を繰り返す必要がある。

シミュレーションのためのプログラムは C 言語によって作成した（約 450 行）。プログラムの流れは図 1 のフローチャートの通りである。

① p の人数は最大 10^5 まで入力可能

② 同じカード内に数字が重複して存在しないように設定

③ n が 5 または 7 のとき、カードの中央のシンボルを 0 に変更

④ ②と同様、同じ数字が出ないように設定、そのため m 回の試行でシミュレーション終了、シミュレーション終了後に各ラウンドの場の不満度を表示

⑤ ④で選択された数字が各プレイヤーのカード内の数字と一致するか検証、既にビンゴしているプレイヤーは除外する。

⑥ 一致したシンボルを 0 に変更、エージェントは不満度の定義に沿って不満度が変化する。

⑦ カードの縦、横、斜めの一列で 0 の数が m－1 になった場合リーチと判断。一列の合計が 0 となった場合にビンゴと判断する。各プレイヤーのリーチ箇所、リーチの個数といった情報も取得可能。

⑧ 各ラウンドのリーチ人数、ビンゴ人数、場の不満度を記録。またプレイヤーの 1,5,10～90％がビンゴとなったラウンドを表示可能。

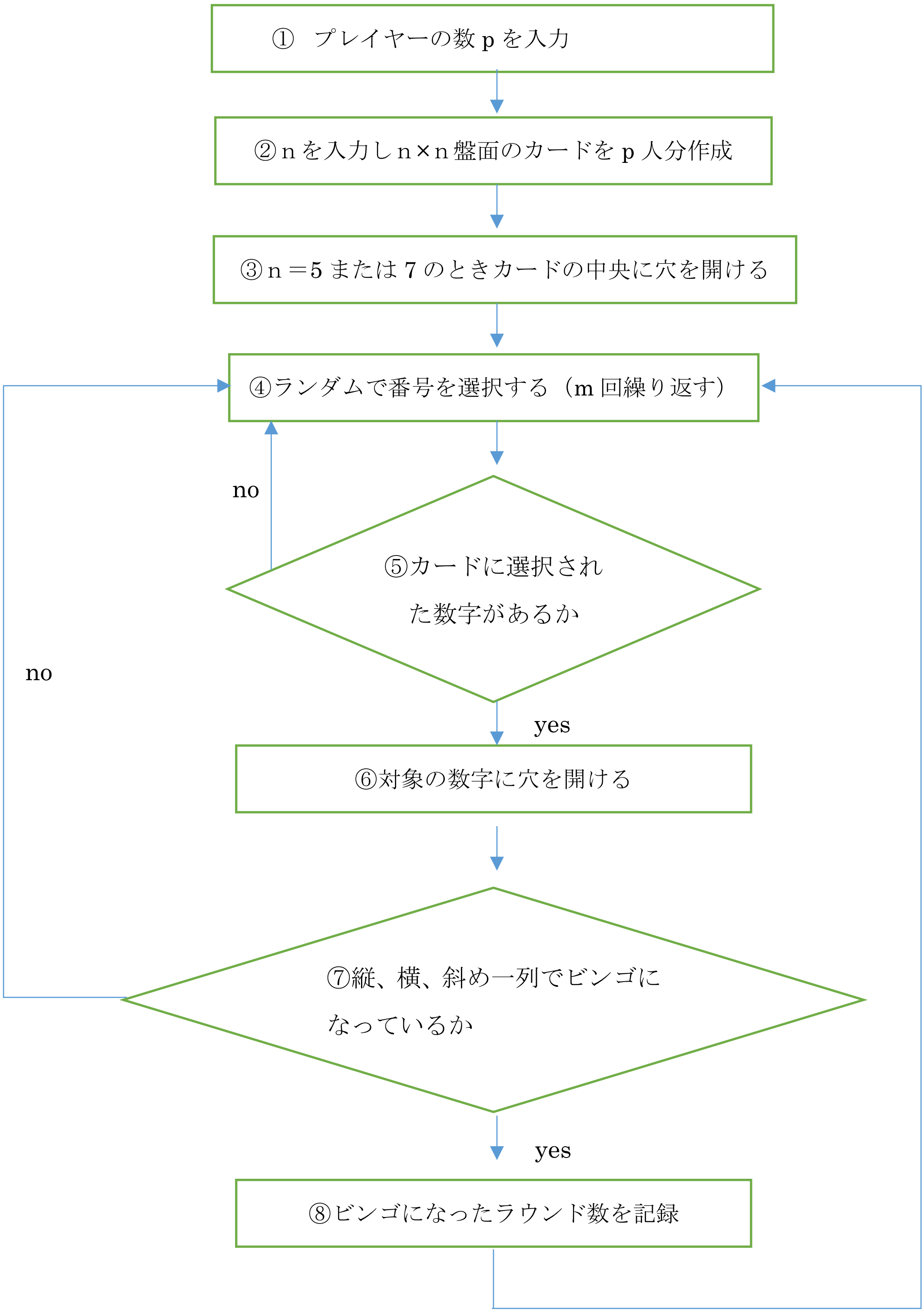


図 1.ビンゴゲームのプログラムのフローチャート

次に、シミュレーションにおけるシンボルの配置について述べる。図 2 は実際に市販されているビンゴカードである（次数 5、シンボル数 75)。市販されているカードは縦の列が B,I,N,G,O のアルファベットに連動しており B の列には 1～15、I の列には 16～30 の範囲の中からシンボルが選択されるといった具合になっている。つまり、完全にランダムとは言えない。そのため実際ゲームを行っても司会者が抽選した番号を読み上げる際は「B の 7 番です！」といった発表をする。しかし、今回ビンゴゲームの不満度をモデル化しシミュレーションを行うにあたってビンゴカード上のシンボルの割り振りを完全にランダムで行った。その理由は次数が 7 の場合、市販カードのようにシンボルの配列を平等に出来ないためである。

なお、数字配列を市販のカードと同様にした場合、N 以外の列は 15 種類のシンボルから 5 つ選択され配置されるのに対し、N の列はもともとカードの中央に穴があけられているため 31～45 のシンボルの中から 4 つまでしか選択されない。そのため、シンボルの配列を完全なランダムにするのに比べて、場の不満度が不規則に変化するということが判明した（図 3)。具体的には親が 31～45 のシンボルを選んだ 15 ラウンドにおいて場の不満度が急上昇した。

図 2.市販されているビンゴカード

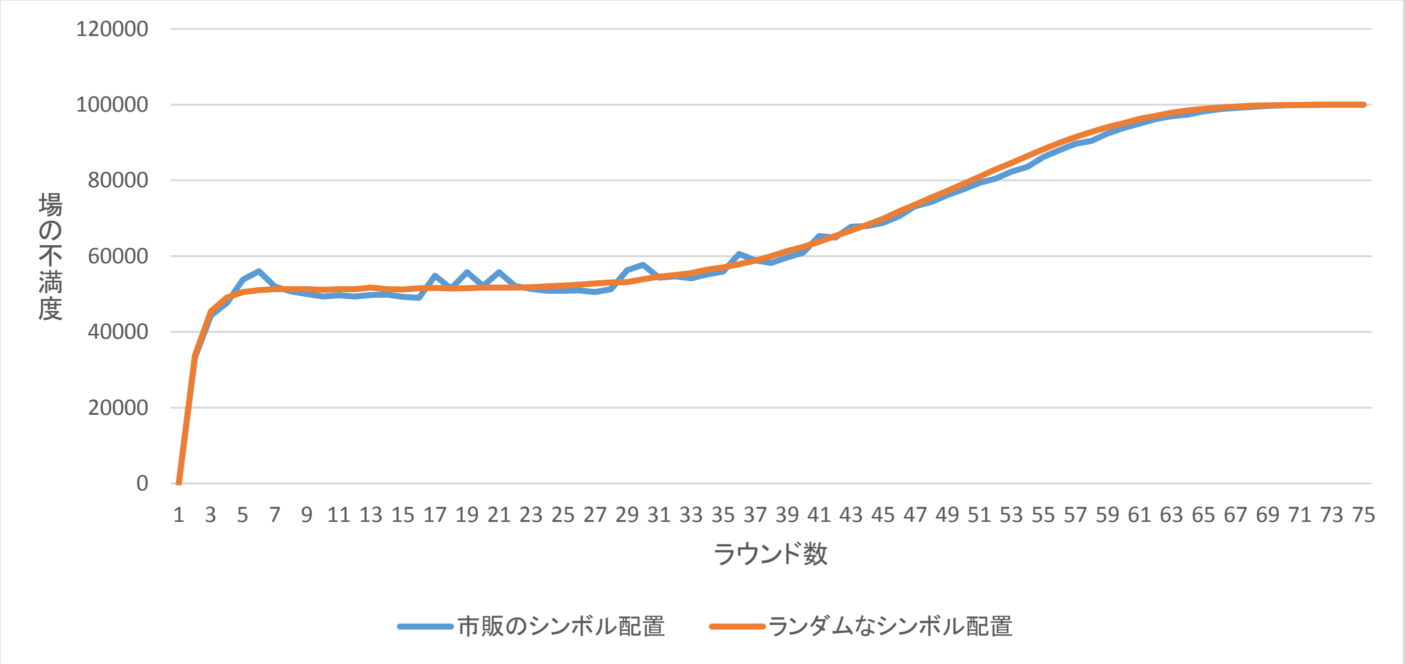


図.3 シンボル数の配置による不満度の違い（不満度の定義は B を使用）

4. 実験結果

シミュレーションの結果、いくつかの興味深い現象が観察された。予備実験により A-1,2,3 のシミュレーションの結果は酷似しているため、本論文では A-1 と B のシミュレーション結果から得られた結果について述べる。

4.1 不満度の急上昇

実験に用いたすべての 次数とシンボル数の組合せにおいて、場の不満度は序盤では大きく変化することはないが、あるラウンド数（以下臨界点）を越えると急上昇し始める現象を確認することができた(図 4)。この現象はいずれの不満度の定義においても観察された。また、図 5 は前章の不満度の定義 B において、満足状態 0 から不満状態 1 に変化する確率を二分の一、三分の一と変化させてシミュレーションを行った結果である。この結果から場の不満度の数値は違っていても臨界点はさほど変わらないということがわかった。また満足状態 0 から不満状態 1 に変化する確率が百分の一というほとんど不満状態になることが無いと考えられるプレイヤーを用いてシミュレーションを行った。それでもやはり一定の臨界点の付近から不満状態 1 の人が出始めるということが判明した。このことは前半であがったプレイヤーがゲーム終了時まで動きがなく不満を感じているためと考えられる。

たとえば次数が 5、 シンボル数が 75 の場合、大きな不満なくゲームを終わらせるにはどのようなゲーム設定を取ればよいのだろうか。35 ラウンド前後から場の不満度の急上昇が起きる。35 ラウンド目ではプレイヤーの約 2 割があがっていることから、r=0.2 とすればよいのではないか。さらに、35 ラウンド目というのは、リーチ（あるマス目が存在して、それを開ければあがりとなるような状態）しているプレイヤーの数が、全ラウンドを通じて最も多いラウンド（以下最高点）ということもわかった（図 6)。そのようなプレイヤーは自身のあがりを今か今かと待ち望んでいると考えられ、その最高点を越え、あがったプレイヤーが増えだすと不満度が急上昇するというのは、理にかなった現象のように考えられる。しかし、次数を変化させた場合にはこの限りではないということも判明した。次数が 5、シンボル数が 75 の場合は臨界点と最高点が一致しているが、そこから次数が減少すると最高点が過ぎた後に臨界点を迎えることになり、逆に次数が増加すると最高点が訪れる前に迎えることになる。これは次節で説明する次数の変化がゲーム中のビンゴ人数の分布に影響を与えるためであると考えられる。次数が 5 のというのは実験したどのシンボル

数を組み合わせても臨界点と最高点が一致していることから、市販されているビンゴカードの次数が 5 である理由にもなっているのではないだろうか。

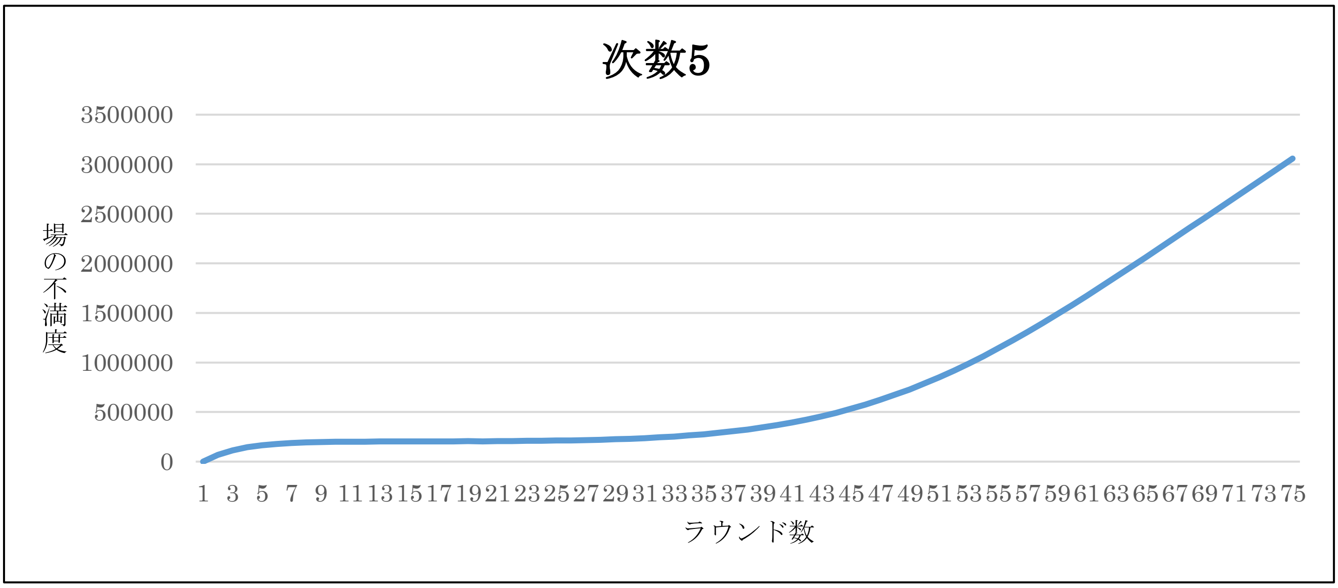


図 4.不満度の定義 A-1 での場の不満度

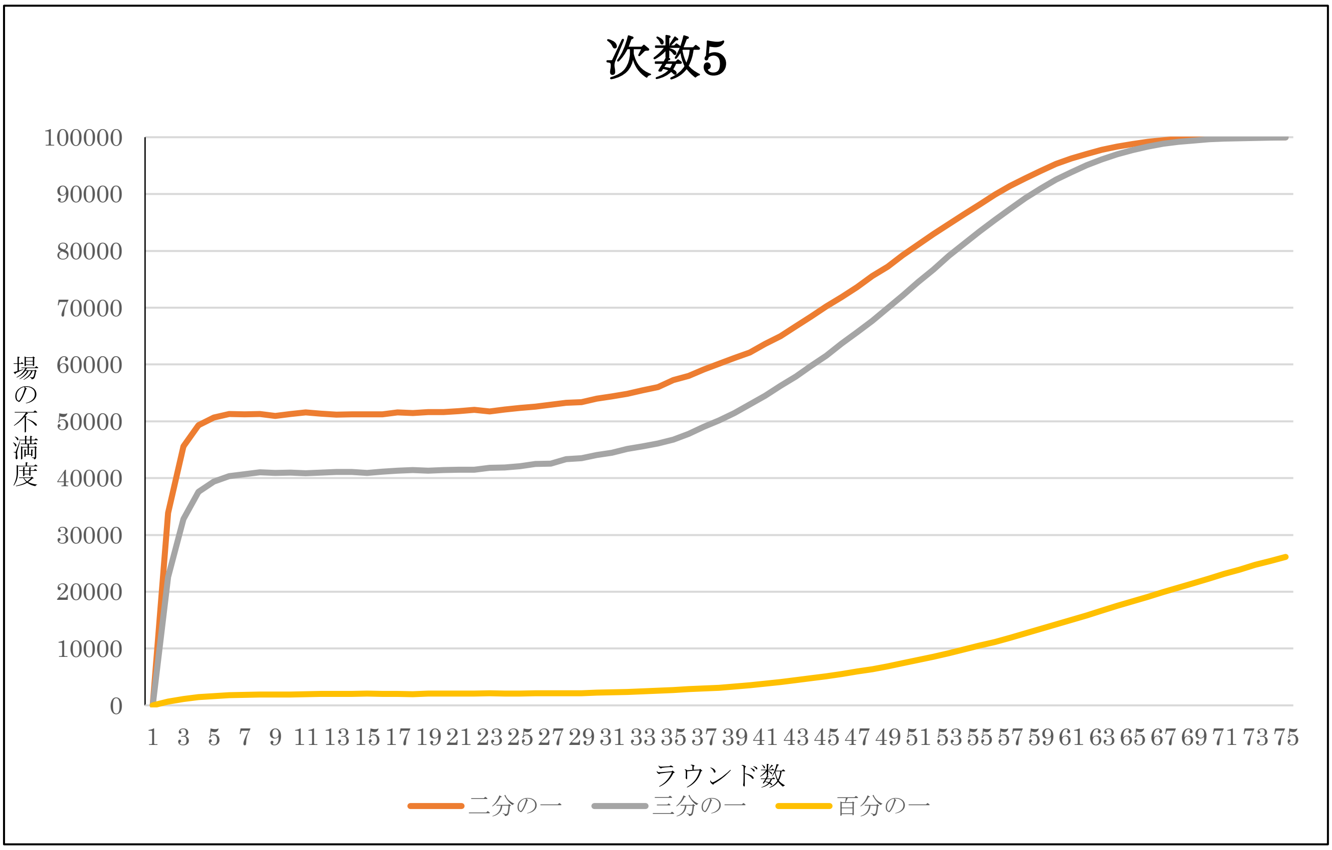


図 5.不満度の定義 B での場の不満度

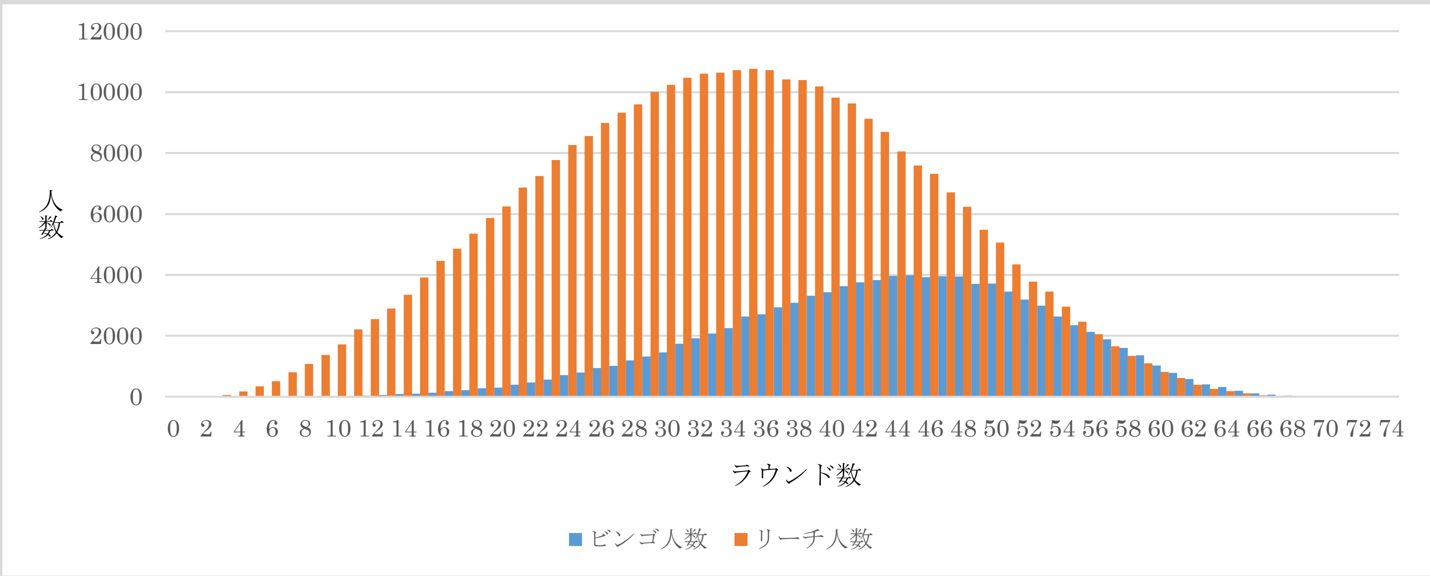


図 6.ラウンド毎のビンゴ人数とリーチ人数

4.2　次数 n の変化が与える影響

前節でゲームが進んでいくにつれて場の不満度が急上昇することを説明した。本節では次数がゲームに与える影響について述べる。実験の結果、次数の変化は穴が開く確率を変化させることが判明した。さらにゲーム中の同時あがりとなるプレイヤーの人数にも影響を与えることが出来ることが判明した。

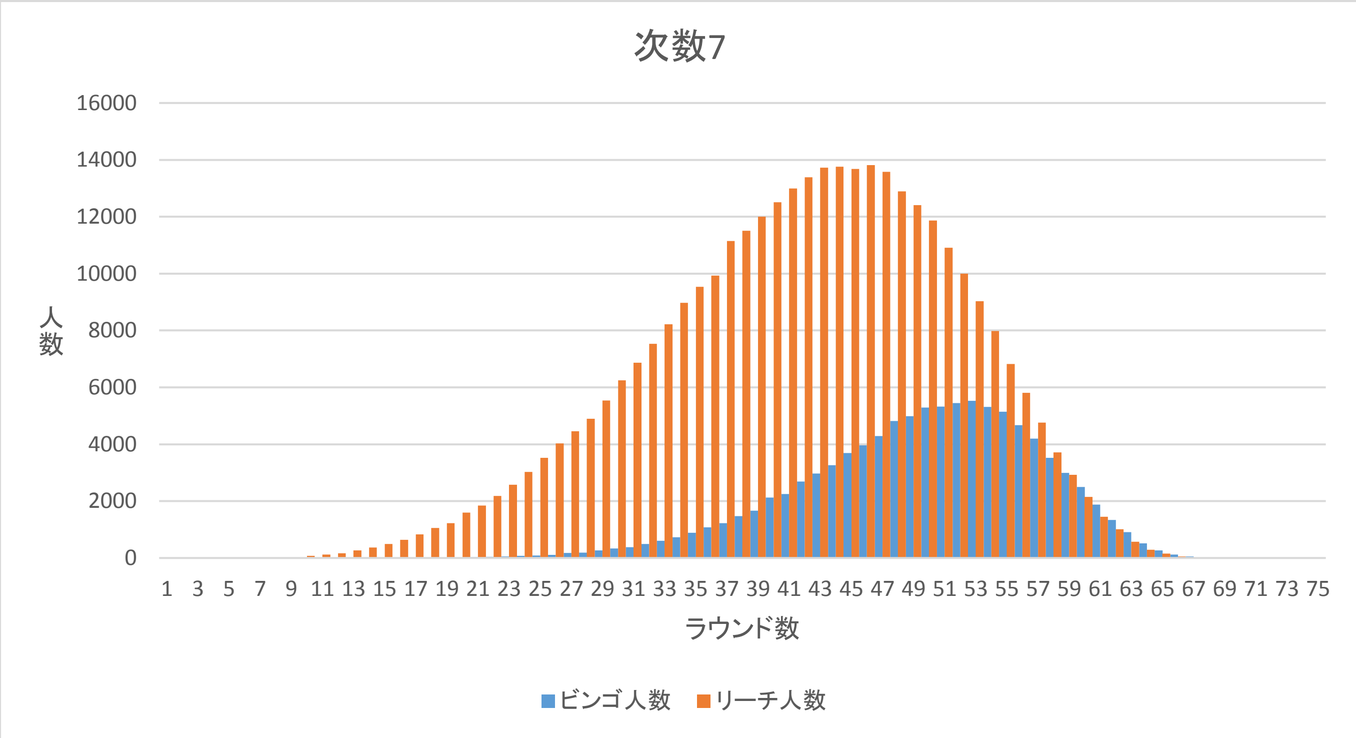
大人数が参加するビンゴゲームの景品について一位にはペア旅行チケット、二位には1000 円分の商品券､といった景品のグレードに差がある場合には同時にビンゴ者が出現するというのはトラブルの原因になり得るだろう。また、司会者が 1 人のみで抽選や当選確認、景品交換まで行う場合は同時あがりが続出してしまうと進行が滞ってしまうことも考えられる。しかし、次数の変化はこのような問題の解決につながると考えられる。

次数が増加するほど序盤のラウンドでのビンゴ者の人数は少なく、中盤以降のラウンドになるとビンゴ者が急増した（図 7)。つまり、序盤に同時にビンゴ者が出現する確率が低くなるため同時あがりによる景品の分配でもめるリスクを下げることが出来ると考察できる。しかし、その分ゲームが進むにつれて同時あがりの確率が急上昇するため r の値が大きい場合に次数を大きくすることは望ましくないということがわかる。具体的には、市販のカードを使用して 100 人でビンゴゲームを行う場合、33 ラウンドあたりから毎回 2 人

以上同時にあがる確率が高くなり最もビンゴ人数が多い 45 ラウンド前後では 4 人以上同時にあがるだろうということが推測できる。一方、次数 7 のカードを使用した場合、同じシンボル数でも 40 ラウンド前後まで同時あがりは出てこないが 53 ラウンドあたりでは 7 人以上もの同時あがりが出現すると推測できる。7 人もの同時ビンゴが出てしまうとカードの確認に時間がかかりプレイヤーの待ち時間が増えるだけでなく、景品が足りなくなることも考えられる。司会者はゲームを早いタイミングで終了する必要があるだろう。

次数が減少すると穴が開きづらくなるためゲーム中のプレイヤーの動きが少なくなるということも判明している。そのため、司会者は次数に応じて進行のスピードを早めたり場を盛り上げるためのトークを用意する必要があるだろう。

このように、次数の調整は、会場の景品交換所の必要数、景品のグレード、進行の方法を決定する資料となるだろう。また次数の変化は、場の不満度の臨界点には大きく変化しない。つまり、次数に関わらず、同じ臨界点付近で不満を感じ始めることがわかった（図 8)。そのためビンゴゲームを長く楽しんでもらうためにマス目の多いカードを用意することは効果が低いと考えられる。



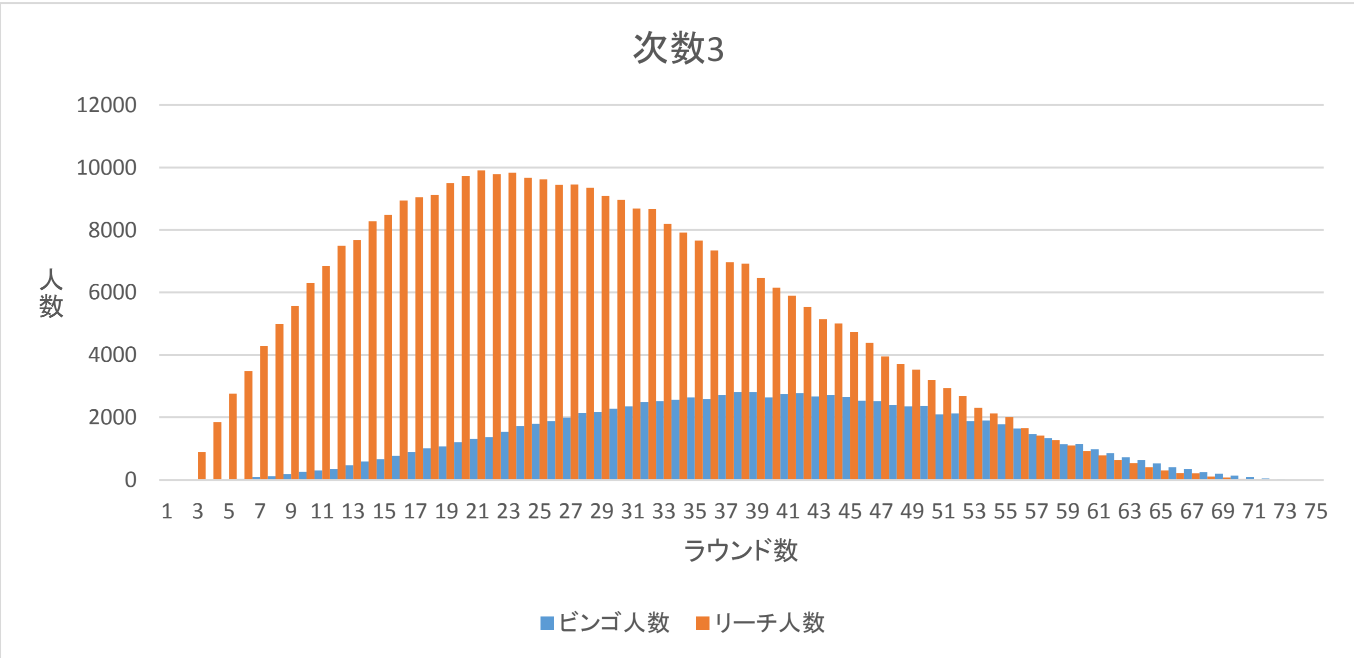


図 7.ビンゴ人数とリーチ人数の変化

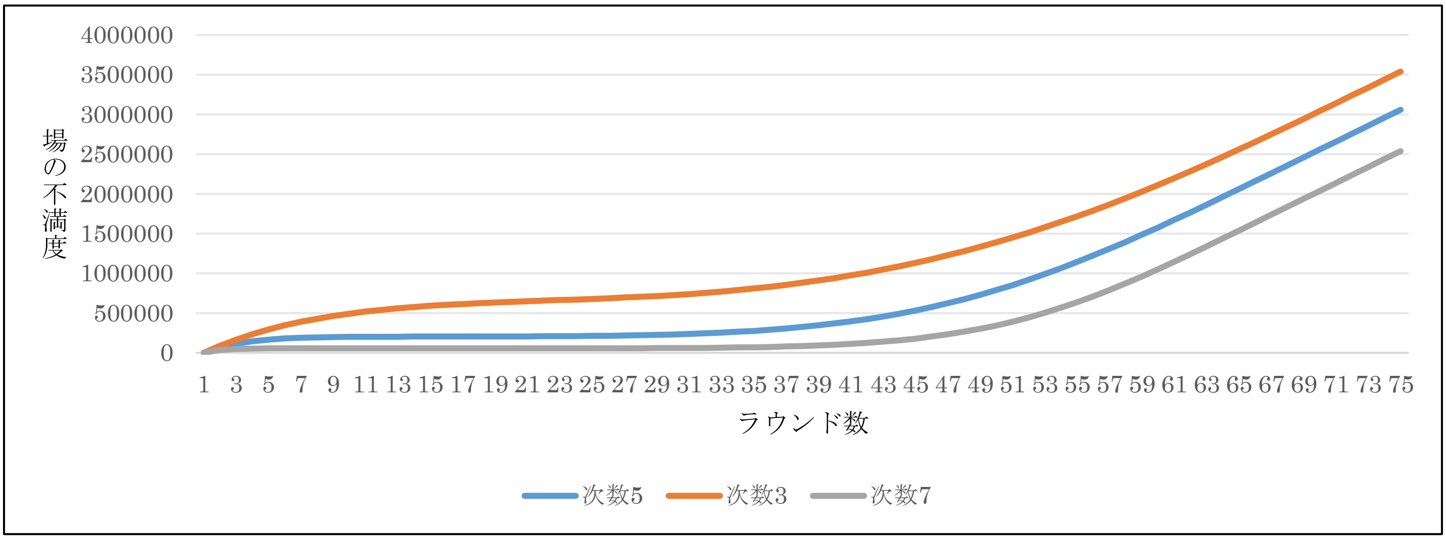


図 8.各次数における場の不満度の変化

4.3　シンボル数mの変化が与える影響

本節では次数は変化させずにカードのシンボル数の変化がどのようにゲームに影響を与えるかを考察する。

実験の結果、臨界点は、シンボル数を変化させることで調整可能なことが判明した。これによりビンゴゲームの所要時間をラウンド数から推測することが可能であると考察できる。例えば、40 ラウンドでプレイヤーに大きな不満を感じさせることなくゲームを終了させたい場合に一般的なルール設定（次数 5、シンボル数 75）では 35 ラウンドが臨界点となっており、それ以降に場の不満度が急上昇することが判明しているためゲーム終了時には大きな不満を持つプレイヤーが多いと推測できる。しかし、次数を 5、シンボル数を 100 とした場合、臨界点が 46 ラウンド前後まで延びているため大きく不満を持たせないことが可能であると考えられる（図 9）。

また、前節で述べた次数の変化が大きく影響する穴の開きやすさについて、シンボル数の値が増減するとカードの穴の開きやすさもある程度増減することがわかった。しかし、次数の変化に比べてシンボル数による変化は小さく、シンボル数の変化で臨界点も変化してしまうため穴の開きやすさを調整するためにシンボル数を変化させるべきではないと考察できる。

表 1 は次数が 3,5,7、シンボル数が 50,75,100 の各組合せにおいて、会場のビンゴ者の割合と各ゲーム設定でのその時点のラウンド数を記したものである。この表から運営者が設定した r の値でゲームを行うにはどのくらいの時間と景品を用意する必要があるかということが容易に推測することが出来る。さらにシンボル数の変化による臨界点を調べたところシンボル数が 50 のときは 24 ラウンド、シンボル数が 75 のときは 35 ラウンド、シンボル数が 100 のときは 46 ラウンド前後が臨界点であることが分かった。前節で次数の変化は臨界点は大きく影響がないことが判明しているため、このことを基に図 10 を見ると次数 3 のときには 40%、次数 5 のときには 20%、次数 7 のときには 5%のプレイヤーがビンゴになったあたりが臨界点となっているということがわかる。運営者はこのデータを利用して r を決定することで用意した景品や持ち時間の中で参加者の不満が大きくなる前にゲームを終了させることが可能であると考えられるだろう。

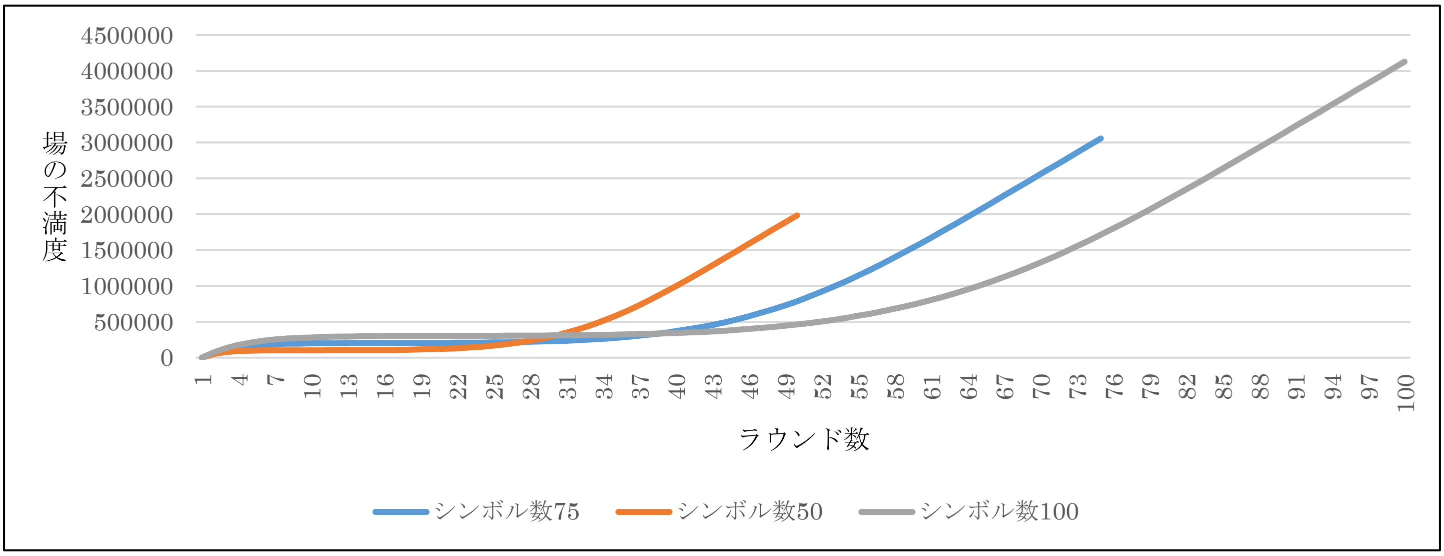


図 9.シンボル数の違いによる臨界点の変化

表 1.次数とシンボル数の組合せ毎のビンゴ人数の割合とそのラウンド数

	（3,50）	（3,75）	（3,100）	（5,50）	（5,75）	（5,100)	(7,50)	(7,75)	(7,100)
ビンゴ人数 （%）									
1	7	11	13	13	19	24	20	28	37
5	12	17	22	18	26	34	24	35	46
10	14	21	28	21	30	40	26	38	51
20	18	27	35	24	35	46	29	43	56
30	21	31	41	26	39	51	31	45	60
40	24	35	46	28	42	55	32	47	63
50	26	39	51	30	44	59	33	49	66
60	28	42	56	31	47	62	34	51	68
70	31	46	61	33	49	66	35	53	71
80	34	50	67	35	52	69	37	55	74
90	37	56	74	37	56	74	38	58	77

5. まとめ

ビンゴゲームの進行にともない、場の不満度がどのように変化するかをシミュレーションした。その結果、次数とシンボル数の値がどのような影響を与えるのか、その傾向を観察することができた。具体的な結果は以下の通りである。

- ビンゴゲーム参加者は臨界点以降に不満度が急上昇する。
- 次数が 5 の場合、臨界点と最高点は一致する。次数が変化すると最高点が変化するため一致しない。
- 次数の値が増加すると、カードに穴が開きやすくなる。また、序盤のビンゴ人数が減少し中盤のビンゴ人数が上昇する。
- プレイヤーに配られるカードのシンボル数が増加すると臨界点を延ばすことが出来る。

運営者がビンゴゲームの企画をする上での参考資料としてのデータを取得出来た。今後このデータを利用することでイベントなどにおいてビンゴゲームを企画することが今までよりも容易になると考えられる。大人数で行う宴会や家族で遊ぶイベントなど状況に応じて設定を工夫することでさらに楽しめるだろう。

今後の展望としては、本研究では次数は 3,5,7　シンボル数は 50,75,100 でデータを採取したが、これをより細分化し、得たデータをもとにプログラムを作成することでビンゴの運営をすることになった場合に参加人数、持ち時間、景品数を入力すれば、推奨ゲーム設定を提案するシステムの開発などが挙げられるだろう。他にも本研究では不満度の定義を「プレイヤーがあがりに近づいた実感」に着目したものを使用したため大きく不満を持たせないゲーム設定の考察ができた。しかし、プレイヤーにより楽しんでもらう方法を考察するためにゲーム中プレイヤーが楽しいと感じる場面を想定し満足度として定義を行う、というようにモデル化する感性の定義を変更する必要がある。

ビンゴゲームというのはルールが派生させやすく、特別なルールを創作しゲームを行う場合や、運営者によってルールが工夫されてゲームが行われるということがしばしば存在する。例えば、同窓会などで参加者に空のマスだけが書かれたカードが配られ、参加者はそのマスの中にクラスメイトの名前を好きなように配置できる。司会者は名簿から抽選を行ってビンゴゲームを進めるといったルールや、他にも、結婚式の二次会などで司会者が

新郎新婦に対して「プロポーズしたのは何月？」というような質問をしてその答えの数字をカードのシンボルから探し出し穴を開けてビンゴゲームを進めていく。といった具合にビンゴゲームの枠組みの中でイベントや時期に合わせたルールで楽しまれることがある。この際にも運営者はプレイヤーに不満を持たせずにビンゴゲームの設定を考えていかなければならない。カードの次数とシンボル数がビンゴゲームに与える影響を知ることでそのような派生ルールでビンゴゲームを行う場合にも盛り上がらずにしらけてしまうという事態を回避することができるだろう。

ビンゴゲームは結婚式のような大切なイベントにおいて人気のあるゲームである。しかしながら、ゲームの性質上ゲーム設定次第では参加者が不満を感じてしまうかもしれないリスクが存在した。本論文はそのようなリスクを減少させる手助けになると考えられる。

また、今研究ではビンゴゲームを対象にモンテカルロシミュレーションに感性のモデル化を組み合わせるという方法を使用した。しかし、シミュレーション中のエージェントの感性をモデル化し傾向を観察するという方法はビンゴゲームだけでなくスロットやルーレットといった他の遊戯を対象に行っても興味深いデータが得られるだろう。

謝辞

本論文は、多くの方々からのご指導・ご助言を賜り、執筆することが出来ました。学生論文賞の審査・評価をしてくださった審査員の方々、発表を聞いていただいた学生の皆様に心からの感謝を申し上げます。最後になりますが、論文執筆や学生論文賞 1 次審査において応援してくださった先生方、家族、友人に心よりお礼申し上げます。

参考文献

[1]結婚情報ゼクシィ（http://zexy.net/mar/manual/nijikai_kiso/chapter4.html）

[2]株式会社ぐるなび（http://zexy.net/mar/manual/nijikai_kiso/chapter4.html）

[3]株式会社新井商店（http://www.araitoys.co.jp/project/image/bingo.pdf）

[4]『モンテカルロ法』宮武修、中山隆（1960,日刊工業新聞社）

[5]『モンテカルロ法・シミュレーション』三根久（1994,コロナ社）