

# 最小報酬の経験順序が ラットのギャンブルタスクに及ぼす影響

曲 若衡・坂田 省吾

広島大学大学院総合科学研究科

## The Effects of Minimum Rewards' Experience Order in Rats Gambling Task

QU Ruoheng and SAKATA Shogo

Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

**Abstract:** Gambling-like activities are more familiar than traditional gambling in everyday life. Games such as gacha, fukubukuro, and social online games have been linked to problematic behaviors that are similar to those seen in pathological gamblers. However, it is difficult to distinguish gambling from gambling-like activities. In this study, we examined one of the most remarkable differences, which is the existence of minimum rewards, i.e., rewards in “lost trials.” We trained four male Long-Evans Rats to make a choice between a fixed-reward and a variable-reward in a 2-lever Skinner box. According to whether the rat won or lost the trial, selecting a variable-reward resulted in a stimulus that predicted 0 or 4 food pellets in the gambling sessions (GB), and choosing a variable-reward in the gambling-like sessions (semiGB) resulted in a different stimulus that predicted 1 or 3 food pellets. The mean amount of reinforcer was same between fixed-reward choice and variable-reward choice. However, we found that rats with previous GB experience (GB-semiGB) had higher response rates

for the variable-reward choice. In contrast, those without previous GB experience (semiGB-GB) did not show higher response rates in the GB sessions.

### 序論

私たちの日常生活には、ギャンブルやリスク的意思決定をする場合が溢れている。カジノやパチンコなどの伝統的ギャンブルはもちろん、ガチャや福袋など「リスク要素入り」項目もよくある。このような「リスク要素入り」でも普段「gamble」（以下はGBと略称）とは呼ばれない項目は「semi-gamble」（以下はsemiGBと略称）と定義することができる。GBよりリスクが低く、また「負けても少なくとも何かもらえる」という特徴があるため、GBと違ってルールや法律などから制限されなかった。しかしIT技術の発展に伴って、GBとsemiGBの形も変化している。特に近年若者たちに流行っているスマホの課金制ソーシャルゲームに代表されるようなことは最近になってギャンブル依存症と類似の問題を引き起こすことが報告され出した(King, Delfabbro, Kaptsis, & Zwaans, 2014)。このため、semiGBとGBの比較研究や依存

性に関する考察が必要であると考えられる。

しかし、先行研究は極めて少ない。semiGBを考察する時、「負けても少なくとも何かもらえる」こと、いわゆる「最小報酬の存在」が一つの共通点だと思われる。最小報酬の存在がGBとsemiGBの「分ける基準」になれるか否かについては先行研究がないため、本研究では最小報酬の存在の有無を着眼点として検討をしていく。

GBやsemiGBを検討する前に、ギャンブルそのものについてギャンブル依存症の発症メカニズムを確認する必要がある。ギャンブル依存症患者は、世界の人口の約1%～3%であり(Petry, 2005), その発症メカニズムはまだすべては解明されていない。今までの研究では、GBやリスク的意思決定を統制しているのは、一つの脳エリアや部位ではなく、いくつかの認知プロセスを組み合わせることであることが報告されている(Winstanley & Floresco, 2016)。各研究の着眼点や使われたタスクが違うため、考察された脳の部位も違う。局所損傷やドーパミン作動薬の注射などにより、被験体がギャンブルタスクに示したリスク性、衝動性、反応潜時、摂食量などの指標から、Barrus & Winstanley (2017)が今までの研究を以下のようにまとめている：注目する脳部位に、側坐核(NAC)がある。NACは「辺縁系—運動野のインタフェース」と呼ばれ、目標への動機をコントロールする。扁桃体基底外側核(BLA)は感情的刺激の処理や条件強化プロセスの役にたつ。内側前頭前皮質(mPFC)は最適選択の役割を担っている。眼窩前頭皮質(OFC)は報酬の価値判断を担当する。前部帯状皮質(ACC)は認知的努力や「チャレンジを乗り越え感」の役割を果たしている。島皮質(insula)の活動がギャンブル依存と薬物依存の関連性を示唆した研究も報告されている。

以上の研究はほとんど実験動物で検証されてきたが、「動物にもギャンブルができるのか」という疑問もあるので、動物におけるギャンブルモデルについて紹介をする。

動物の行動は最適採餌理論(optimal foraging theory)に従って、一番有利な行動をすることが一般的であるが、実験室や自然界においては準最適選択行動(suboptimal choice behavior)、つまり

リスク的行動や不利な行動をすることも観察されている。霊長類・げっ歯類・魚類など、さまざまな動物はリスク的な意思決定をする(Heilbronner, 2017)。さらにギャンブル研究をするとき、研究倫理の面から人では実験検証をすることができず、特に生理的検討やギャンブル形成に関する課題や高額なお金が使われる実験は実施が難しい。そのために、動物ギャンブルモデルの開発と実施が必要である。

スキナーの時代からVR(variable ratio, 変動比率)スケジュールやVI(variable interval, 変動間隔)スケジュールを用いたギャンブルの動物モデルが探索された(Skinner, 1953)。今までに動物のギャンブルモデルがいくつか開発された。

スロットマシンにある「near-loss/near-win」効果を検討するためにスロットマシンタスクが開発された(Jeffrey N. & Derenne, 2007; Peters, Hunt, & Harper, 2010; Winstanley, Cocker, & Rogers, 2011)。次に「near-loss/near-win」効果を説明する。ラットが前パネルの「スタート」レバーを押すことによって試行が開始、後ろパネルの5つのライトが点灯された数によって「win」か「lose」かを判断し、「win」の場合に前パネルの「コレクト」レバーを押すことが課された課題である。5つすべてが点灯された試行のみが「win」試行とみなされたが、4つ点灯の「near-win/near-miss」試行には「win」試行と類似の反応パターンが観察された。また前試行の報酬量によって、次の試行へ移行するまでの潜時にも影響があることが示唆された。

報酬量の差への感知を研究するためによく使用されたアイオワギャンブルタスク(Iowa gambling task, IGT)にもげっ歯類版が開発された(rodent gambling task, RGT)(Rivalan, Coutureau, Fitoussi, & Dellu-Hagedorn, 2011; Zeeb & Winstanley, 2011)。人間を被験者としたIGTと同じ課題で、ラットでは報酬量・勝率・罰程度が違う4つのカードデッキの中から選ばせる課題である。小報酬高勝率低罰程度のデッキは論理的報酬量(勝率×報酬量)が最も高く、相対的に大報酬低勝率高罰程度のデッキが一番低い。生理的損傷や薬物が用いられる研究によく使用される課題である。

不確実性に注目する場合、確率割引課題

(probability discounting task, PDT) がよく使われ (Chow, Smith, Wilson, Zentall, & Beckmann, 2017; Gipson, Alessandri, Miller, & Zentall, 2009; Zoratto, Laviola, & Adriani, 2016), 被験体を固定報酬選択肢と変動報酬選択肢の間に選ばせる課題である。今までにいろいろな確率や報酬量について研究が発表され、特に確率割引フェーズの勝率を下げていくことによって、被験体の変動報酬への選択率も下げてきたことが観察された。しかし最小報酬の「有無」に関する研究はなかったので、本研究は最小報酬の「有無」に絞って、PDTを使って検討をして行く。

また、ギャンブル課題の選択だけでなく、障害物ありと障害物なしの走路を用いて、ギャンブルの体力消耗がリスク的意思決定に及ぼす影響を検討する研究も発表された (Salamone, Cousins, & Bucher, 1994)。ギャンブルの認知的努力に着目し、ラット認知努力課題 (rat cognitive effort Task, rCET) を開発した研究も報告された (Cocker, Hosking, Benoit, & Winstanley, 2012)。それ以外に、時間的cost-benefitを中心に所要時間と報酬量を連立する「Do More – Get More (DM-GM)」課題も報告された (Tang, Sun, Li, & Luo, 2017)。これはラットのnose-poke行動の持続時間 (鼻を穴に入れている時間) の長さによって提供される報酬の量が変わる課題である。

上記のタスクには餌量の操作によって報酬の変化を表したが、「最小報酬の有無」に関する研究はなかった。確かに数学の視角から見ると、例えば最小報酬が餌1粒としたら、最小報酬の有無、つまり「0と1」も餌量の操作ではないかというふうに結論が出てくるかもしれない。ではなぜ有無が大事なのか、今までの報酬量に関する研究とはどこが違うのかを次から紹介する。

本実験で使われたPDTに関する先行研究では、勝率が下がることとともに、変動報酬選択肢への選択率も下がった (Chow et al., 2017; Gipson et al., 2009)。また、報酬の差のマグニチュードからの影響はげっ歯類において観察された (Zoratto et al., 2016)。報酬量の増加によって、被験体は大報酬への主観的価値判断が増え、小報酬への主観的価値判断が減ったことが示唆された。つまり失敗へ

の敏感性が低く、大報酬をずっと求める形になった。しかし、この「マグニチュード効果」の有無は先行研究において不一致であった (Grace, 1999; Ong & White, 2004)。また一部の先行研究に「無報酬」を含む実験設定が使われ、「無報酬あり」の選択肢の選択率が「無報酬なし」の選択肢より選択率が高くことが報告され、無報酬は独特な役割を果たす可能性が示唆された (Zentall, 2014)。

本研究は最小報酬の有無がラットのギャンブルタスクに及ぼす影響を明らかにすること、およびGBとsemiGBの経験順序がどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的とした。つまり最小報酬の有無という「存在効果」と実験順序による「順序効果」を検討する。

仮説1として、最小報酬の存在は変動報酬選択肢への選択率を上昇させるだろう。その理由は最小報酬の存在が「損失」への意識を弱化する可能性があるからである。

また仮説2として、semiGB経験のある被験体は経験のない被験体よりGBセッションにおいて変動報酬選択肢への選択率が高いだろう。その理由はギャンブル依存と薬物依存の類似性にある (Potenza, 2008)。大麻はほかの薬物より手に入れやすいが、毒性や依存性が比較的低いので、一部の国とエリアでは禁止されていない。しかしある薬物使用が別の薬物使用につながるという踏み石仮説 (stepping-stone hypothesis) に従い、大麻がさらに有害性の高い違法薬物につながる門戸開放薬 (gateway drug) であるという報告がある。その生理的原因は大麻の使用に伴って、カンナビノイド受容体 (CB1) の感受性の閾値が高くなって、一定レベルの快感に達するためにより多くの用量あるいはより刺激的な薬物が必要となるからである (Olsson, Wall, Liu, & Blanco, 2018)。ギャンブル依存症は受容体レベルの具体的な生理的メカニズムは異なるけれど、依存によって「感受性の閾値が上がる」ことは共通である。対比的に考えてみると、semiGBを大麻と同じような「踏み石」としての役割を果たす可能性があると考えられるため、上記の仮説が推定された。

## 方法

### 被験体

実験経験のない雄のLong-Evans系ラット5匹を用いた。1匹は病気のために除外され、実験開始時点には4匹を用いた。すべての被験体は広島大学内の実験動物施設内で繁殖させて出産・生育された。実験の訓練開始時点で約7ヶ月齢であった。実験動物飼育施設内は、室温・湿度が管理され、12時間の明暗サイクル(明期は08:00~20:00)が保たれていた。実験期間中は個別ケージで飼育され、体重が自由摂食時の85%となるように餌を制限した。水は自由摂取であった。訓練及び実験はすべて明期に行われた。本実験は広島大学動物実験委員会の承認を得て行われた。

### 装置

ギャンブルテストにはオペラント箱(260×300×250 mm, ENV-007CT, Med Associates Inc.)を用いた。箱の前壁には、格納式レバー2本が左右に設置された。上部にはハウスライト(28V, 0.5W)とスピーカー(2000Hz, 75dB)を、下部には強化子である45mgペレット餌(Dustless Precision Pellets, Bio-serv)を与えるための餌皿が設置された。オペラント箱は換気扇の付いた恒温ボックス内に置かれ、実験の様子はモニターカメラによって観察された。実験装置の制御および反応の記録は外部に設置されたチップコンピューター(Raspberry Pi 3B, Raspberry Pi Foundation)よりPython 3.54(Python Software Foundation)を使用して行われた。実験プ

ログラムが個人のGithubページに公開される。

### 手続き

Figure 1に実験手続きのフローチャートを示した。ギャンブルタスクは、実験箱馴化、レバー押し反応形成、片レバー交替押しトレーニング、両レバー交替押しトレーニングが終わった後、ラットを2グループに分け、一つはGB-semiGBの順、もう一つはsemiGB-GBの順で実験を行った。各トレーニングは1日1セッション行われ、基準に達したら次の段階へ移行した。1セッションは100試行で構成されていた。

### 実験箱馴化

ラットをオペラント箱に馴化させるために、30分間の自由探索を行わせた。1セッション(1日1回)後次の段階に移行した。

### レバー押し反応形成

このトレーニングでは、ラットにレバー押し反応を獲得させた。各セッションは条件によって、左レバーのみか右レバーのみを提示することによって開始された。このトレーニングの1試行は、ラットによってレバーが1回押されたら、ブザーの強化音(0.5秒, 2000Hz)とともに45mgペレット餌が与えられることとした。但し、1分間以内にラットがレバー押し反応をしなかった場合、強化音の提示とともに強化子の45mgペレット餌が1粒与えられ、自動強化とした。1セッションは60分間経過、あるいはレバー押し反応が100回強化さ

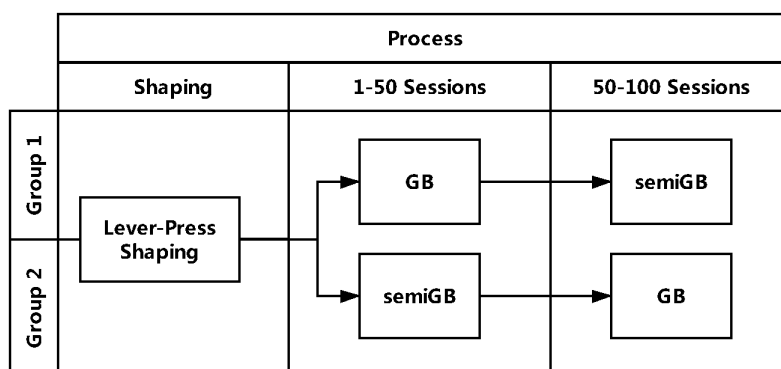


Figure 1. 実験手続きのフローチャート

れることによって終了した。達成基準は60分以内に100回レバー押しを得ること、および自動強化が発生しなかったこととした。左条件を達成した後、右条件に移った。両条件が全部完成した後、次の段階に移行した。

#### 片レバー交替押しトレーニング

このトレーニングでは、ラットに両レバー押し反応を獲得させた。左側のレバーの提示によって開始され、ラットが同じレバーへの押し反応を2回連続行うこと (FR2) によって、レバーが格納され、ブザーの強化音とともに45mgペレット餌が1粒与えられた。30秒間の試行間隔 (inter trial interval: ITI) 後に、再度左側のレバーが提示され、次の試行が開始された。第11試行から第20試行まで、提示されたレバーは左レバーから右レバーに変わった。このトレーニングの間、ラットは左10回と右10回の交替レバー押し反応が課された。1セッションが60分間経過、あるいはレバー押し反応が100回強化されること (左50回と右50回) によって終了した。達成基準は60分以内に100回レバー押しを得ることとした。達成した後、右レバーの提示によって開始される逆交替順序で同じトレーニングが実施された。全部完成した後、次の段階に移行した。

#### 両レバー交替押しトレーニング

このトレーニングでは、ラットにサンプリング選択を獲得させた。サンプリングとは、すべての選択肢を複数回試し、各選択肢の勝率・報酬量・罰か遅延の有無を感知することであった。このトレーニングでは、片レバー交替押しトレーニングと類似、但し両側のレバーの提示によって開始された。ラットには同じく左10回右10回の交替レバー押し反応が課された。そして、30秒間の試行間隔後の、再度両側のレバーが提示され、次の試行が開始された。1セッションが60分間経過、あるいはレバー押し反応が100回強化されること (左50回と右50回) によって終了した。達成基準は60分以内に100回レバー押しを得ることとした。達成した後、右10回左10回の順で交替レバー押し反応が課されたトレーニングが実施された。全部完成した後、ギャンブルテストに移行した。

#### GBタスク

Figure 2 AにGBタスクのフローチャートを示した。このタスクには、左レバーが固定報酬選択肢、右レバーが変動報酬選択肢とした。両側のレバーを提示することによって試行が開始された。左レバーが連続2回押されたら、提示音とともに45mgペレット餌が必ず2粒与えられ、固定報酬とした。

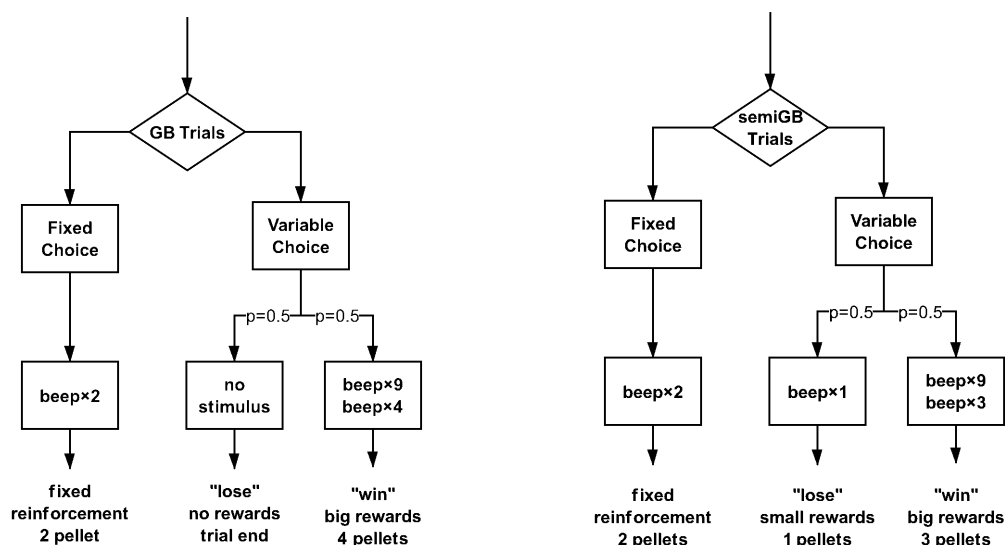


Figure 2. ギャンブルタスクのフローチャート。AはGB課題、BはsemiGB課題を示した。

右レバーが連続2回押されたら、「lose」と「win」がそれぞれ50%の可能性に導かれた。「lose」の場合には、報酬は与えられず、無報酬とした。「win」の場合には、9回の勝利提示音の後に、強化音とともに45mgペレット餌が4粒与えられ、大報酬とした。変動報酬選択肢には、「lose」と「win」の確率が50%に設定された。報酬が与えられた後、両レバーが格納され、ITIに移り、次の試行に移行された。1セッションが60分間経過、あるいはレバー押し反応が100回強化されることによって終了した。

### semiGBタスク

Figure 2 BにsemiGBタスクのフローチャートを示した。このタスクでは、同じく左レバーが固定報酬選択肢、右レバーを変動報酬選択肢とした。両側のレバーを提示することによって試行が開始された。左レバーが連続2回押されたら、提示音とともに45mgペレット餌が必ず2粒与えられ、固定報酬とした。右レバーが連続2回押されたら、「lose」と「win」がそれぞれ50%の可能性に導かれた。「lose」の場合には、強化音とともに45mgペレット餌が1粒与えられ、小報酬とした。「win」の場合には、9回の勝利提示音の後に、強化音とともに45mgペレット餌が3粒与えられ、大報酬とした。変動報酬選択肢では、「lose」と「win」の確率が50%に設定された。報酬が与えられた後、両レバーが格納され、ITIに移り、次の試行に移

行された。1セッションが60分間経過、あるいはレバー押し反応が100回強化されることによって終了した。

### 分析

セッション毎に各被験体の変動報酬選択肢への選択率を算出、リスク選好の指標とした。加えて、小報酬が1試行/2試行/3試行出た後、固定報酬選択肢への移行率（移行試行数/総試行数）を算出、リスク選好の持続性の指標とした。さらにこれらのグループとタスクの平均も算出した。Figure3に示されたように、最小報酬の存在効果には、GB-semiGBグループのGBタスクとsemiGB-GBグループのsemiGBの間が比較され、タスク×セッションの2要因分散分析が行われ、有意水準は $p < 0.05$ とした。semiGBの経験順序には、GB-semiGB群のGBとsemiGB-GB群のGBが比較された。これらにおいて実施順序×セッションの2要因分散分析（タスクは対応なし、セッションは対応あり）が行われ、有意水準は $p < 0.05$ とした。

## 結果

### ギャンブルタスク

#### 変動報酬選択肢への選択率

#### 存在効果

Figure 4 から、第7セッションからグループによってGBセッションとsemiGBセッションの反応

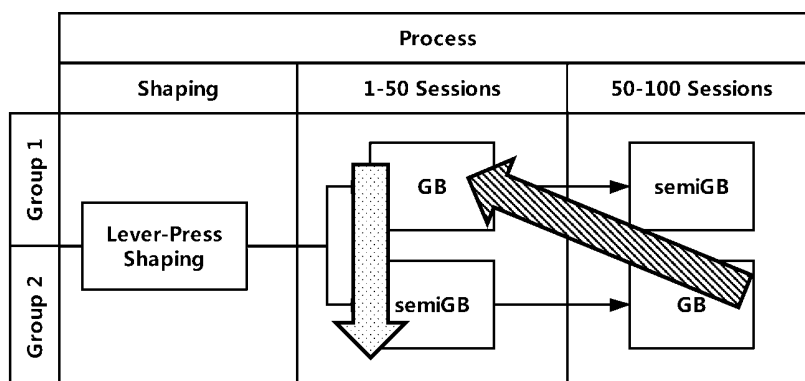


Figure 3. 最小報酬の存在効果とsemiGBの経験順序効果を検討する時比較された部分

点矢印は最小報酬の存在効果を検討する時比較された部分を示した。斜線矢印はsemiGBの経験順序効果を検討する時比較された部分を示した。

パターン異なっていたが、semiGBセッションの被験体差が大きく変動したことが観察された。そのために、前半25セッションと後半25セッションそれぞれに絞って検討が行われた。

前半25セッションの分散分析の結果、タスクの主効果 ( $F_{1,24} = 1.632, n.s.$ )、セッションの主効果 ( $F_{1,24} = 0.789, n.s.$ )、及びタスク×セッションの交互作用 ( $F_{1,24} = 1.731, n.s.$ ) は有意でなかった。そして、後半25セッションから反応パターンが安定され、GBセッションとsemiGBセッションのパターンが二極的だった。分散分析の結果、タスクの主効果 ( $F_{1,24} = 2948.19, p < .001$ ) は有意差があった。セッションの主効果 ( $F_{1,24} = 0.577, n.s.$ ) 及び

タスク×セッションの交互作用 ( $F_{1,24} = 1.377, n.s.$ ) は有意でなかった。

#### 順序効果

semiGB-GBグループ後半のGBセッションは反応パターンが相対的に安定していたので、50セッション分のデータを全て使用して分析した。

分散分析の結果、実施順序の主効果 ( $F_{1,44} = 1068.65, p < .001$ )、セッションの主効果 ( $F_{1,49} = 5.13, p < .001$ ) 及び実施順序×セッションの交互作用 ( $F_{1,44} = 3.69, p < .001$ ) は有意差があった。下位検定の結果、GB-semiGB群のGBにおけるセッションの単純主効果が有意であった

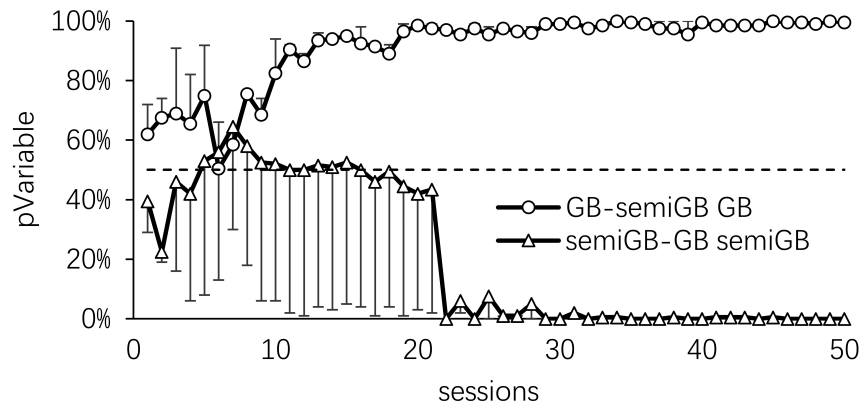


Figure 4. 存在効果における変動報酬選択肢への平均選択率

変動報酬選択肢への平均選択率を示した。横軸がセッション数、縦軸が変動報酬選択肢への選択率を示した。丸実線はGB-semiGBグループのGBセッション、三角実線はsemiGB-GBグループのsemiGBセッションを示した。

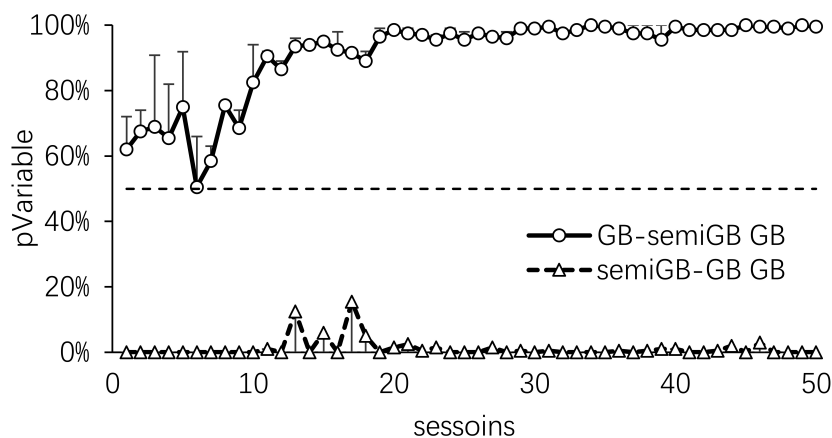


Figure 5. 順序効果における変動報酬選択肢への平均選択率

順序効果における変動報酬選択肢への平均選択率を示した。横軸がセッション数、縦軸が変動報酬選択肢への選択率を示した。丸実線はGB-semiGBグループのGBセッション、三角点線はsemiGB-GBグループのGBセッションを示した。

( $F(44,88)=7.42, p<.001$ ) が, semiGB-GB群のGBにおけるセッションの単純主効果は有意ではなかった( $F(44,88)=0.48, n.s.$ )。

#### 連続小報酬後の固定報酬選択肢への移行率

##### 存在効果

Figure 6. が存在効果における連続小報酬後の固定報酬選択肢への平均移行率を示した。

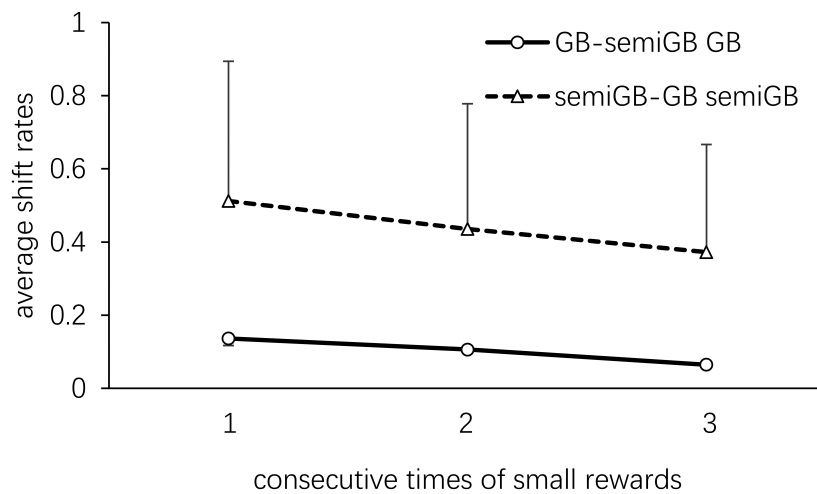


Figure 6. 存在効果における連続小報酬後の固定報酬選択肢への平均移行率

存在効果における連続小報酬後の固定報酬選択肢への平均移行率を示した。横軸は小報酬試行の連続回数, 縦軸は次の試行固定報酬選択肢への平均移行率を表した。丸実線はGB-semiGBグループのGBセッション, 三角点線はsemiGB-GBグループのsemiGBセッションを示した

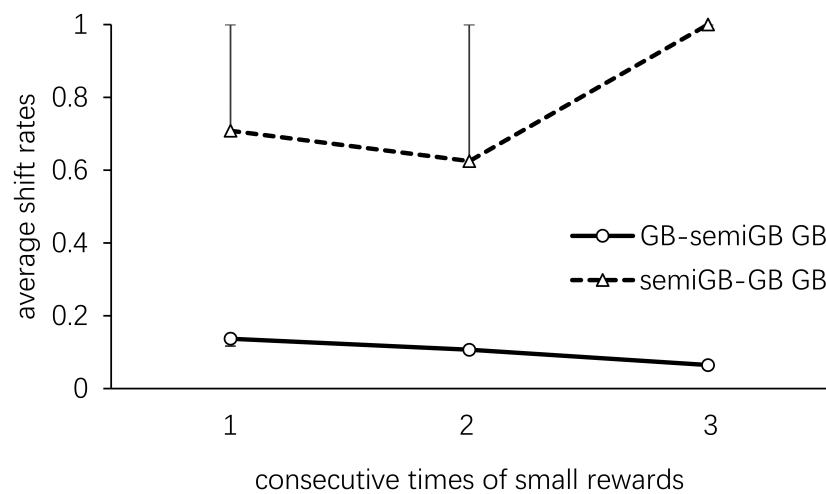


Figure 7. 順序効果における連続小報酬後の固定報酬選択肢への平均移行率

順序効果における連続小報酬後の固定報酬選択肢への平均移行率を示した。横軸は小報酬試行の連続回数, 縦軸は次の試行固定報酬選択肢への平均移行率を表した。丸実線はGB-semiGBグループのGBセッション, 三角点線はsemiGB-GBグループのGBセッションを示した。

分散分析の結果, タスクの主効果 ( $F_{1,2} = 0.99, n.s.$ ) は有意ではなかった。連続回数の主効果 ( $F_{1,2} = 5.44, p < .10$ ) は有意傾向が見られたが, タスク×連続回数の交互作用 ( $F_{1,2} = 0.58, n.s.$ ) はなかった。

##### 順序効果

Figure 7 に順序効果における連続小報酬後の固定報酬選択肢への平均移行率を示した。



行動パターンが安定したsemiGB-GBグループの被験体には、semiGBセッションもGBセッションも変動報酬選択肢をほとんど選ばないことが観察された。「変動報酬選択肢が選ばなかった」ので、「変動報酬選択肢から固定報酬選択肢へ移行する確率」を計算するのは難しく、さらに1回もないため計算不可能な試行もかなりあった。一方、「変動報酬選択肢を選ばない」ということはリスク性が極めて低いということの証拠だと考えられるので、上記のような「選ばない」試行の移行率は「100%」と換算するほうが妥当だと考えられた。

分散分析の結果、実施順序の主効果は有意傾向があったが ( $F_{1,2} = 9.22, p < .10$ )、連続回数の主効果 ( $F_{1,2} = 0.74, n.s.$ ) と実施順序×連続回数の交互作用 ( $F_{1,2} = 1.32, n.s.$ ) は見られなかった。

## 考察

### リスクの選好

被験体データから見ると、すべての被験体は始めにサンプリング行動が観察された。また、semiGB-GBグループの被験体LE014が前半に行動パターンが逆転した具体的な原因はコンピューターが変動報酬選択肢のレバー押し反応を拾わず、「餌提供」コマンドが出てこないからであった。この故障は消去セッションに相当する作用があり、ラットが固定報酬選択肢に移った理由だと考えられた。しかし故障の影響を除くために、故障の次のセッションはギャンブルタスクではなく、両レバー交替押しトレーニングを1回実施したが、ラットは元の行動パターンに戻らず、固定報酬選択肢をメインにして選び続けた。その原因はタスク間の論理的報酬量が一致したからだと推定された。

### リスク的選好の持続性

先にGBセッションを経験した被験体はsemiGBセッションにリスク傾向の変化が見られず、反対に先にsemiGBセッションを経験した被験体は後半のGBセッションでリスク傾向が下がり、リスク傾向の持続性も減少させた結果が見られた。

注意すべきなのは、小報酬が連続になった回数

を最大3回に制限したので、またsemiGB-GBグループは変動報酬選択肢への選択率が非常に低く、1セッションに1,2回のみ測定されたため、一部の被験体の本来の「最大持続性」を測定することが難しいと考えられた。

### リスク的選好と最小報酬有無の関連

存在効果、および被験体行動が安定した後の順序効果のところから見ると、最小報酬の存在は変動報酬選択肢への選択率を減少させることが示唆され、仮説と反対の結果を示した。

### リスク的選好とsemiGBの経験順序の関連

semiGB経験のある被験体は経験のない被験体よりGBセッションにおいて変動報酬選択肢への選択率が低くなり、仮説と反対の結果を示した。

### 未使用データについて

GB-semiGBグループのsemiGBデータは分析に使用されなかった。その原因として、本研究は「ギャンブルタスクに及ぼす影響」が目的、いわゆるGBに観察された変化に基づいて検討を行ったことである。例えもし本研究は課金ゲームの開発者の立場から、「一般人とギャンブル好きな人がゲーム中の課金比較」を行ったら、GB-semiGBグループのsemiGBが分析の重心になるだと思われる。

本研究は、最小報酬の有無がラットのギャンブルタスクに及ぼす影響を明らかにすること、及びGBとsemiGBの経験順序がどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを目的として行われた。ラットにGBとsemiGBタスクを違う順に経験させ、変動報酬選択肢への選択率と連続小報酬の後の固定報酬に移った移行率を測定した。

その結果、存在効果について、最小報酬の存在によって、ギャンブルタスクにリスク傾向が軽減されることが示唆され、仮説と逆であった。順序効果について、報酬量に関わらず、semiGB経験のある被験体は経験のない被験体よりGBセッションにおいてリスク傾向が低くなることが示唆され、仮説と逆であった。

結論として、最小報酬の有無はGBとsemiGBの分ける基準になれる可能性が高く、そして、semiGB経験のある被験体は経験のない被験体よりGBにリスク傾向が低くなる結果が得られた。

仮説と逆になった理由として、まず、当該フェーズのタスク間の論理的報酬量が一致したこと、及び選択肢間の論理的報酬量が一致したことだと思われる。論理的報酬量が同じなので、「最適選択肢」という概念を生じさせなかったことが考えられる。次の確率割引フェーズに移ったら、論理的報酬量が変動するため、より意味のある結果が導かれる可能性が考えられた。しかし、「半々確率」は独特な研究意義があると思われ、実際に先行研究として報告されている(Cocker, Dinelle, Kornelson, Sossi, & Winstanley, 2012; St Onge & Floresco, 2009)。例えばCocker et al. (2012)は「半々確率」セッションは被験体の不確実性への選好を表すことが可能だと考えられ、ラットのリスク的選好の被験体差を判明する方法となる可能性が高いと思われた。

もう一つの理由は顕著な被験体差であった。人間においてもギャンブルへの好みが人によって違うことと同じように、数多くの先行研究からラットもリスク的選好の被験体差の存在が示唆された(Cocker, Hosking, et al., 2012; Rivalan, Ahmed, & Dellu-Hagedorn, 2009; Rivalan et al., 2011)。特に(Rivalan et al., 2009)は158匹のラットを用いて、被験体差と被験体分類をした。その結果、最適戦略として、まずはサンプリングをすることで見られた。次に、サンプリングをした後、論理的報酬量が最も高い選択肢を選び続けるのは最適戦略の第二歩であった。また、元の最適選択肢に縛られることなく、タスクや報酬内容が変わった場合に再サンプリングを行い、新しい最適選択肢を選ぶことも不可欠であった。Rivalan et al. (2009)はラットを3群に分けた。サンプリングをして、有利な選択肢を選ぶGood Decision-Maker。サンプリングを行わず、リスク性が高い選択肢を選ぶBad Decision-Maker。どちらもでないIntermediatesの三種類に分類した。しかしこの先行研究は主に薬物投与に基づいて各脳の各部位が意思決定プロセスにどのような影響を及ぼすのかを検証したが、「被

験体差が生じた生理的原因」についての研究は少なく、人間のギャンブル依存症患者を被験者として発表された医学界の論文が主流である(Fujimoto et al., 2017)。被験体差の影響を除く方法の一つは被験体の数を増加させることと、もう一つは新たな弁別方法から本実験前に分類することだと考えられた。

本研究は「最小報酬の存在」に焦点を絞った初めての論文である。そのオリジナリティがある一方で、実験計画及び手順において多くの改善の余地が見られた。

この課題は今後進めていきたいと思う。まずは確率割引フェーズを行い、同じような結果が出てくるのか否かを検証していきたいと思う。もし今までの結論と一致するような結果が出てくれば、semiGBがギャンブル依存症を治療する可能性が示されるかもしれない。また、ITI中のラットの行動にSign-TrackingとGoal-Tracking行動が観察された。これは「選択向き(レバー向き)」と「報酬向き(餌口向き)」の行動と考えられる。これらの行動は意思決定に関係があり、特にSign-Trackingの確率が報酬量の減少によって増加することが報告され通り、価値判断プロセスと関連が深いと先行研究から示唆された(Morrison, Bamkole, & Nicola, 2015)。確率割引フェーズにおいて、Sign-TrackingとGoal-Trackingの測定を加えて検討したいと考えられる。

## 引用文献

- Barrus, M. M., & Winstanley, C. A. (2017). Preclinical models and neurocircuitry of gambling and impulsive behavior. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, **13**, 99-105.
- Chow, J. J., Smith, A. P., Wilson, A. G., Zentall, T. R., & Beckmann, J. S. (2017). Suboptimal choice in rats: Incentive salience attribution promotes maladaptive decision-making. *Behavioural Brain Research*, **320**, 244-254.
- Cocker, P. J., Dinelle, K., Kornelson, R., Sossi, V., & Winstanley, C. A. (2012). Irrational choice under uncertainty correlates with lower striatal D2/3 receptor

- binding in rats. *Journal of Neuroscience*, **32**(44), 15450-15457.
- Cocker, P. J., Hosking, J. G., Benoit, J., & Winstanley, C. A. (2012). Sensitivity to cognitive effort mediates psychostimulant effects on a novel rodent cost/benefit decision-making task. *Neuropsychopharmacology*, **37**(8), 1825-1837.
- Fujimoto, A., Tsurumi, K., Kawada, R., Murao, T., Takeuchi, H., Murai, T., & Takahashi, H. (2017). Deficit of state-dependent risk attitude modulation in gambling disorder. *Translational Psychiatry*, **7**(4), e1085-6.
- Gipson, C. D., Alessandri, J. J. D., Miller, H. C., & Zentall, T. R. (2009). Preference for 50% reinforcement over 75% reinforcement by pigeons. *Learning and Behavior*, **37**(4), 289-298.
- Grace, R. (1999). The matching law and amount-dependent exponential discounting as accounts of self-control choice. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **71**(1), 27-44.
- Heilbronner, S. R. (2017). Modeling risky decision-making in nonhuman animals: Shared core features. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, **16**, 23-29.
- Jeffrey N., W., & Derenne, A. (2007). Rats playing a slot machine: A preliminary attempt at an animal gambling model. *Analysis of Gambling Behavior*, **1**(2), 79-89.
- King, D. L., Delfabbro, P. H., Kaptis, D., & Zwaans, T. (2014). Adolescent simulated gambling via digital and social media: An emerging problem. *Computers in Human Behavior*, **31**, 305-313.
- Morrison, S. E., Bamkole, M. A., & Nicola, S. M. (2015). Sign tracking, but not goal tracking, is resistant to outcome devaluation. *Frontiers in Neuroscience*, **9**, 468.
- Olfson, M., Wall, M. M., Liu, S.-M., & Blanco, C. (2018). Cannabis use and risk of prescription opioid use disorder in the United States. *The American Journal of Psychiatry*, **175**(1), 47-53.
- Ong, E. L., & White, K. G. (2004). Amount-dependent temporal discounting? *Behavioural Processes*, **66**(3), 201-212.
- Peters, H., Hunt, M., & Harper, D. (2010). An animal model of slot machine gambling: The effect of structural characteristics on response latency and persistence. *Journal of Gambling Studies*, **26**(4), 521-531.
- Petry, N. M. (2005). Pathological gambling: Etiology, comorbidity, and treatment. American Psychological Association.
- Potenza, M. N. (2008). The neurobiology of pathological gambling and drug addiction: An overview and new findings. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, **363**(1507), 3181-3189.
- Rivalan, M., Ahmed, S. H., & Dellu-Hagedorn, F. (2009). Risk-prone individuals prefer the wrong options on a rat version of the Iowa Gambling Task. *Biological Psychiatry*, **66**(8), 743-749.
- Rivalan, M., Coutureau, E., Fitoussi, A., & Dellu-Hagedorn, F. (2011). Inter-individual decision-making differences in the effects of cingulate, orbitofrontal, and prefrontal cortex lesions in a rat gambling task. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, **5**(April), 1-10.
- Salamone, J. D., Cousins, M. S., & Bucher, S. (1994). Anhedonia or anergia? Effects of haloperidol and nucleus accumbens dopamine depletion on instrumental response selection in a T-maze cost/benefit procedure. *Behavioural Brain Research*, **65**(2), 221-229.
- Skinner, B. F. (1953). Science and human behavior. *Science and Human Behaviour*, 45-224.
- St Onge, J. R., & Floresco, S. B. (2009). Dopaminergic modulation of risk-based decision making. *Neuropsychopharmacology*, **34**(3), 681-697.
- Tang, H., Sun, X., Li, B. M., & Luo, F. (2017). Neural representation of cost-benefit selections in medial prefrontal cortex of rats. *Neuroscience Letters*, **660**(May), 115-121.
- Winstanley, C. A., Cocker, P. J., & Rogers, R. D. (2011). Dopamine modulates reward expectancy during performance of a slot machine task in rats: Evidence for a near-miss effect. *Neuropsychopharmacology*, **36**(5), 913-925.
- Winstanley, C. A., & Floresco, S. B. (2016). Deciphering decision making: Variation in animal models of effort- and uncertainty-based choice reveals distinct neural circuitries underlying core cognitive processes. *Journal of Neuroscience*, **36**(48), 12069-12079.

- Zeeb, F. D., & Winstanley, C. A. (2011). Lesions of the basolateral amygdala and orbitofrontal cortex differentially affect acquisition and performance of a rodent gambling task. *Journal of Neuroscience*, **31**(6), 2197-2204.
- Zentall, T. R. (2014). Reprint of “Suboptimal choice by pigeons: An analog of human gambling behavior.” *Behavioural Processes*, **104**, 99-107.
- Zoratto, F., Laviola, G., & Adriani, W. (2016). The subjective value of probabilistic outcomes: Impact of reward magnitude on choice with uncertain rewards in rats. *Neuroscience Letters*, **617**, 225-231.

本実験に使われた装置統制プログラム・データ分析プログラムの公開ページは以下のURLで閲覧・使用をすることができる。

<https://github.com/qukoyk/semigb>