

# 広島大学学術情報リポジトリ

## Hiroshima University Institutional Repository

Title	WMTを経験したラットの遅延調整課題における選択行動の検討
Author(s)	糴川, 礼菜; 松本, 姫代; 坂田, 省吾
Citation	広島大学大学院人間社会科学研究科紀要. 総合科学研究, 2 : 25 - 35
Issue Date	2021-12-31
DOI	
Self DOI	<a href="https://doi.org/10.15027/52019">10.15027/52019</a>
URL	<a href="https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00052019">https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00052019</a>
Right	掲載された論文, 研究ノート, 要旨などの出版権・著作権は広島大学大学院人間社会科学研究科に帰属する。©2021 Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University. All rights reserved.
Relation	



# WMTを経験したラットの遅延調整課題における 選択行動の検討

糴川 礼菜<sup>1)</sup>・松本 姫代<sup>2)</sup>・坂田 省吾<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 広島大学大学院人間社会科学研究科

<sup>2)</sup> 広島大学総合科学部

<sup>3)</sup> 広島大学総合科学部、広島大学大学院人間社会科学研究科

## **A Study of Choice Behavior in an Adjusting-Delay Task with Working Memory Training Experience in Rats.**

SERIKAWA Rena<sup>1)</sup>, MATSUMOTO Himeyo<sup>2)</sup>, SAKATA Shogo<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University

<sup>2)</sup> School of Integrated Arts Sciences, Hiroshima University

<sup>3)</sup> School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University

### Abstract

There are two forms of impulsivity: impulsive behavior and impulsive choice. The adjusting-delay task can measure both forms. Working memory ability is negatively correlated with impulsive choices. Working memory training in human drug-dependent participants further reduced impulsive choices than in the control group (Bickel, Yi, Landes, Hill, & Baxter, 2011). However, in male Long-Evans rats, there was no difference in impulsive choice between the working memory training group and the control group (Renda, Stein, & Madden, 2015). In the present study, we examined the effects of working memory training on impulsive choice in three male Wistar rats. The study consisted of three phases: pre-training, working memory training (WMT), and post-training. An adjusting-delay task was used for pre- and post-training, and the titrating-delay non-matching-to-position task was used for WMT. Despite the improvement in WMT performance, there was no difference in the mean adjusting delay between pre- and post-training. Focusing on the number of delay time occurrences and the selection rate of larger-later reward lever, it was suggested that after WMT, choice behavior may be based on the length of the delay time. The results of this study may help establish a training method for controlling high impulsivity.

## 序 論

衝動性 (impulsivity) は度々、望ましくない結果をもたらす。衝動性の高さは、考えの乏しさや、表現の未熟さ、過度なリスク思考や状況に適切でない行動として表出する (Evenden, 1999)。現在、衝動性には衝動的行動と衝動的選択の2つの形態があることが知られている。衝動的行動は、「待つ」こと・「止める (stopping)」ことができない行動と表現される (Robinson, Eagle, Economidou, Theobald, Mar, Murphy, Robbins, & Dalley, 2009)。衝動的選択は、遅れて生じる行動の結果に対する歪んだ評価が原因で生じる選択行動 (Evenden, 1999; Winstanley, Eagle, & Robbins, 2006)、「効果的な適応行動の欠如」 (Anker, Perry, Gliddon, & Carroll, 2009) とされ、生物の行動として不適応的であると考えられている。高い衝動的選択傾向は、薬物乱用、注意欠陥多動性障害 (attention deficit hyperactivity disorder: ADHD)、病的なギャンブルなど様々な精神疾患の特徴であるとされる (Moeller, Barratt, Dougherty, Schmitz, & Swann, 2001)。

動物を用いて衝動的選択の程度を測定する課題に、遅延調整課題 (adjusting-delay task) がある (Mazur, 1987)。遅延調整課題とは遅れて手に入る大報酬 (larger-later reward: LLR) とすぐに手に入る小報酬 (smaller-sooner reward: SSR) が提示され、被験体がどちらを選択するかによって大報酬までの遅延時間を増減させることを繰り返す課題である。LLR提示までの時間は、SSRを選択すると減少し、LLRを選択すると増加する。被験体はLLRとSSRを比較し、主観的にLLRの価値が大きいと判断すると遅延時間は延長し、SSRの価値が高いと判断すると遅延時間は短縮する。LLRとSSRの選択率が等しくなると遅延時間は安定し、その遅延時間におけるLLRとSSRの価値は主観的に等しくなったと考えられる。遅延時間の安定基準として、例えばPerry, Stairs, & Bardo (2008) は、1セッションの遅延時間の平均をMAD (mean adjusting delay) とし、MADの変動が連続5セッ

ションで5秒以内としていた。安定した遅延時間から、被験体が時間によって価値を割り引いている程度である、遅延価値割引の大きさが分かる。大きな遅延価値割引は衝動的選択が多いこと、小さな遅延価値割引は衝動的選択が少ないことを表す。

また、この課題において、事前の考慮なしに行動した場合には短い反応潜時が見られる。さらに、遅延時間や試行間隔 (inter-trial interval: ITI) 中の反応は報酬に結びつかないため、抑制すべき行動である。このことから遅延調整課題では、反応潜時と無報酬反応回数を衝動的行動の指標として用いることができる。

ヒト (Shamosh, DeYoung, Green, Reis, Johnson, Conway, Engle, Braver, & Gray, 2008) やラット (Renda, Stein, & Madden, 2014) を対象とした先行研究より、作業記憶 (working memory: WM) 能力は遅延価値割引の大きさと負の相関があることが分かっている。WMとは、現在行っている活動のために一時的に保持する記憶である。また、遅延価値割引の大きさは、時間窓 (temporal window) の長さとも負の相関がある。ここにおける時間窓とは、生物が運動主体感を持つことができる時間の幅を指す。Bickel, Yi, Landes, Hill, & Baxter (2011) は、時間窓の幅を伸ばすことで遅延価値割引が改善すると仮説を立てた。この仮説のもと、覚醒剤乱用を治療中の患者を対象に作業記憶訓練 (working memory training: WMT) を行い、WMTによって衝動的選択が減少したと報告した。しかし、同様の仮説に基づいてラットを用いて研究したRenda, Stein, & Madden (2015) は、ラットはWMTによって衝動的選択を減少させなかったと報告した。

本研究は、Renda et al. (2015) の研究を参考に一部を変更したWMTが、ラットの衝動的選択に与える影響について明らかにすることを目的とした。Long-Evansラットを用いて研究したRenda et al. (2015) は、WMTとして、滴定遅延位置見本合わせ (titrating-delay matching-to-position) を採用した。この課題では、試行開始時に提示され

た左右いずれかの前方レバー (見本レバー) に対して被験体が反応を完了すると, 見本レバーが格納, 後方レバーが提示されて保持間隔 (retention interval) を開始した。保持間隔終了後, 後方レバーに一度反応すると前方の両レバー (比較レバー) が提示され, 見本レバーと同じレバーに反応すると強化子が提示された。保持間隔は遅延見本合わせにおける遅延時間であり, 被験体は保持間隔終了後10秒以内に後方レバーに反応しなければ, 見本レバーへの反応からやり直しを求められた。本研究では後方レバーの代わりに赤外線センサを用いたため, 後方の赤外線センサに反応してから保持間隔を開始した。また, 本研究ではWistar系アルビノラットを使用し, 比較レバーのうち見本レバーとは逆のレバーに反応した場合に強化する, 滴定遅延位置非見本合わせ (titrating-delay non-matching-to-position) を採用した。

先行研究 (Bickel et al., 2011; Renda et al., 2015) の仮説と同様に, WMTを経験することで被験体は運動主体感を感じることができる時間の幅である時間窓を伸長させ, 衝動的選択を減少させるという仮説を立てて実験を実施した。

## 方法

### 被験体

被験体として, 実験開始時123日齢で実験経験のない雄のWistar系アルビノラット3匹 (#1, #2, #3) を用いた。実験期間中は透明なアクリルケージ (400×250×200 mm) で個別に飼育した。被験体は明期12時間 (08:00-20:00), 暗期12時間 (20:00-08:00) の明暗サイクル下に置かれ, 実験は全て明期の14:00-20:00に行った。実験期間を通して, 自由摂食時の85-90%体重を維持するように摂食制限をかけた。水は自由摂取とした。本実験は広島大学動物実験委員会で承認を受けた実験計画の下で実施された。

### 装置

装置についてFigure 1に示した。実験箱とし

て, アクリル製オペラントボックス (210×250×380 mm) を用いた。ボックス正面の左右に格納式レバー (ENV-112CM, MED Association Inc.) を2本設置した。ボックス背面には赤外線センサ (E3JK-5, OMRON) を設置した。2本のレバーの間に餌皿を設置し, 45 mgのペレット餌 (Dustless Precision Pellets, Bio-Serv) を強化子として給餌装置を用いて提示した。天井部にLEDライトを設置した。オペラントボックスは換気扇付きの恒温槽内に設置した。ボックス外の恒温層内に音刺激提示用のスピーカを設置した。LEDライトが消灯している期間 (ITI中) も含め, ラットの行動を観察するために, 恒温層の天井部にカメラと赤色ライトを設置した。オペラントボックスの制御とデータの記録にはパーソナルコンピュータ (MT7500, EPSON) を用いた。

### 手続き

実験の流れをFigure 2に示した。数字は実施したセッション数を表す。実験は1日1セッションずつ行った。

### 【Pre-training】

#### トレーニング

秋山・新倉・坂田 (2015) を参考に, 遅延調整課題を行うためのトレーニングを, レバー押し行動形成, 交替反応トレーニング, 遅延弁別トレーニング, 量弁別トレーニングの順で実施した。

レバー押し行動形成は実験箱馴化, ハンドシェ

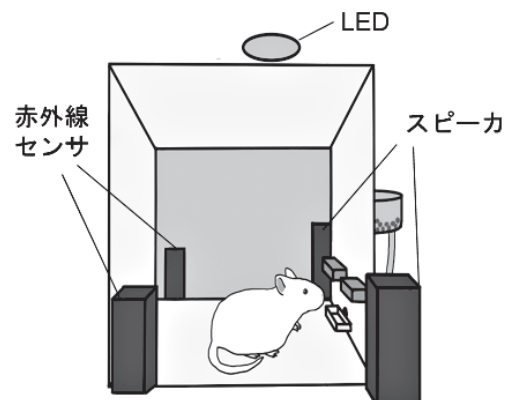


Figure 1. 装置の図

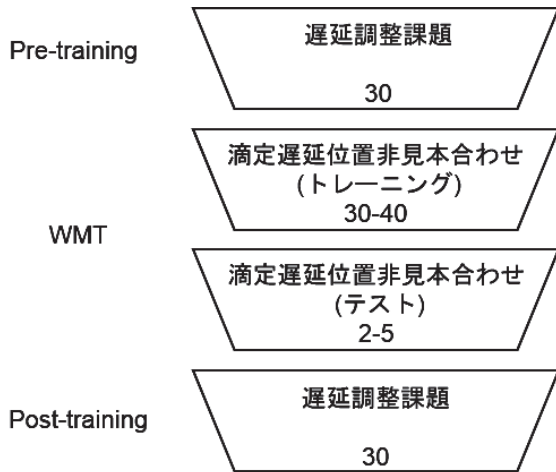


Figure 2. 実験の流れ  
数字はセッション数を表す。

イピング, 連続強化で構成された。実験箱馴化は実験初日に20分間実施した。ハンドシェイピングは被験体に行動と強化の関係を学習させるために行った。被験体がレバーに顔を向けたり近づいたりすると強化子を提示することからはじめ, 標的反応であるレバー押し行動を表出させた。1セッションは強化が100回行われるか30分経過した時点で終了した。連続強化はレバー押し1回に対して強化を1回行う手続きであった。1セッションは左右のレバーに対して各50回ずつ反応するか30分経過した時点で終了した。30分以内に合計100回のレバー押し行動を達成したとき, 交替反応トレーニングに移行した。

交替反応トレーニングは, 連続強化で一方のレバーに連続10回反応した後, もう一方のレバーに連続10回反応することを1セットとし, これを繰り返すトレーニングであった。5セットを30分以内に達成できるまで実施した。

遅延弁別トレーニングでは, 一方のレバーを押すと8秒の遅延後に1粒の餌を提示し, もう一方のレバーを押すとすぐに1粒の餌を提示した。遅延調整課題におけるLLRのレバーを遅延レバー, SSRのレバーを即時レバーとして対応づけた。1セッションは60試行, タイムアウトは100分, ITIは遅延時間を含めて74秒になるように設定した (被験体の反応の74秒後に次の試行が始まった)。被

験体に自由に選択させ, 1回のセッションで即時レバー選択率が75%以上になった時点で, 量弁別トレーニングに移行した。

量弁別トレーニングでは, 一方のレバーを押すとすぐに3粒の餌を提示し, もう一方のレバーを押すとすぐに1粒の餌を提示した。遅延調整課題におけるLLRのレバーを3粒レバー, SSRのレバーを1粒レバーとして対応づけた。1セッションは60試行, タイムアウトは100分, ITIは74秒とした。被験体に自由に選択させ, 1回のセッションで3粒レバー選択率が75%以上になった時点でトレーニングを終了した。

### 遅延調整課題

遅延調整課題を30セッション行った。1セッションは15ブロック, 60試行で構成されていた。1ブロックは4試行で構成された。1試行目と2試行目はLLRレバーかSSRレバーのいずれかのみがランダムな順で提示され, 被験体に遅延時間と報酬量を学習させる強制選択試行であった。被験体がLLRレバーを押したときには遅延時間の後に3粒の餌を提示し, SSRレバーを押したときにはすぐに1粒の餌を提示した。強化後にITIに移行した。3試行目と4試行目は両方のレバーが提示され, 被験体に自由に選択させる自由選択試行であった。自由選択試行でも強制選択試行と同様に, LLRレバーを押したときには遅延時間の後に3粒の餌を提示し, SSRレバーを押したときにはすぐに1粒の餌を提示した。

主観的時間尺度は対数的である (石井, 2008) ため, 遅延増減可能閾1-64秒, 遅延時間を2の累乗とした。しかし遅延増減幅が大きいとMADの変動が大きくなることが知られている (Mazur, 1988)。そのため, 最大32秒の遅延増減幅は被験体の行動を安定させない可能性があった。そこで, 遅延時間の増減を1-16秒は2の累乗, 16-64秒は $\pm 8$ 秒とする, 1, 2, 4, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64秒の11段階とした。遅延時間は自由選択試行における選択によって増減させた。LLRを選択したときには次の試行から遅延時間を1段階延長し, SSRを選択した

時には1段階短縮させた。強制選択試行における選択は遅延時間に影響しなかった。1セッション目の遅延時間は1秒から開始し、2セッション目以降は前のセッションの最後の自由選択に応じて、続きの遅延時間から開始した。ITIは遅延時間を含めて74秒に設定した。

1試行目と4試行目は、被験体の反応後すぐにレバーを格納した。2試行目と3試行目の反応後には両レバーを提示し、遅延時間・ITI中の強化に結びつかない無報酬反応を測定した。

LEDライトは試行開始時に点灯し、各試行の強化後に消灯した。強化されるレバー押し時と強化時にはスピーカからビープ音を提示した。60試行終了または100分経過した時点でセッションを終了した。左右のレバーの条件は、ラット#1とラット#2は左レバーがLLR、右レバーがSSRとした。ラット#3は右レバーがLLR、左レバーがSSRとした。

## 【WMT】

### トレーニング

トレーニングとして、赤外線センサへの反応形成、レバーに対する固定比率トレーニング、無誤学習を行った。

赤外線センサへの反応形成では、ボックス後方の赤外線センサが反応するごとに強化子を提示した。30分以内に強化が100回行われるまで実施した。固定比率トレーニングは、試行ごとに交互に入れ替わる左右どちらかのレバーに決められた回数反応した後、後方センサに反応すると強化子を提示した。レバーに反応する回数は1回からはじめ、80分以内に80試行を達成すると比率を1段階上げて2回、5回、10回の順に行った。無誤学習では、擬似ランダムに提示される左右のレバー（見本レバー）に10回反応させてから後方センサに反応させた。その後に見本レバーと逆のレバー（比較レバー）のみを提示して反応すると強化した。無誤学習は1セッション80試行で構成され、10セッション行った。

## WMT

WMTとして滴定遅延位置非見本合わせ課題をラット#1、ラット#2は40セッション、ラット#3は30セッション実施した。

1試行の流れをFigure 3に示した。試行開始時に、見本レバーを提示した。左右のレバーの提示順序は、片方のレバーが連続で4回以上提示されないように疑似ランダムにした系列を用いた。被験体が見本レバーに10回反応するとレバーを格納し、LEDライトを点灯させ、赤外線センサへの反応を測定した。後方センサに反応するとLEDライトは消灯し、正反応率によって変動する遅延時間（保持間隔）を開始させた。保持間隔の経過後に比較レバーとして両レバーを提示し、被験体に選択させた。片方のレバーに連続で3回反応するとビープ音を提示し、両レバーを格納した。見本レバーと逆のレバーを選択すると正反応として記録し、強化子を提示して試行は終了とした。見本レバーと同じレバーを選択すると誤反応として記録し、強化子を提示せずに試行は終了とした。ITIは20秒であった。

後方センサと比較レバーの反応には制限時間を設定した。10回目の見本レバーへの反応から60秒、後方センサ反応後または比較レバーへの直前の反応から10秒の間反応がなかった場合、omission

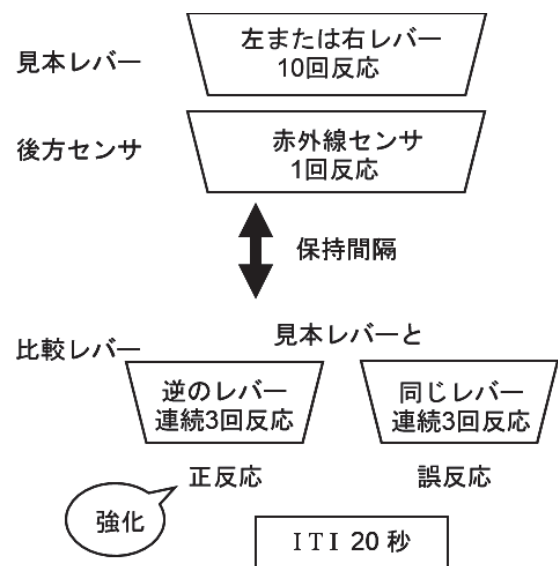


Figure 3. WMT 1試行の流れ

として記録し、その試行の開始時(見本レバーへの1回目の反応)からやり直した。

保持間隔は遅延調整課題と同様に、1, 2, 4, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64秒の11段階とした。2セッション目以降の各セッションにおいて、セッション開始時と8試行終了ごとに保持間隔を調整した。保持間隔の調整時には、必要に応じて前のセッションの正誤も用いて直前20試行の正反応率を算出した。正反応率90%以上で1段階延長し、70%未満で1段階短縮させた。それ以外の場合には保持間隔は変化させなかった。正反応時に提示する強化子の量は、保持間隔が24秒以下では1粒、32秒以上では3粒とした。

1セッションは80試行が終了するか、80分終了経過した時点で終了した。終了した試行数が20試行以下であるセッションが3回続いた場合には、次のセッションは保持間隔1秒から始めた。

## テスト

トレーニング終了後、テストとして同様の位置非見本合わせ課題を保持間隔1秒から行った。5セッション終了または保持間隔が64秒に到達するまで行った。手続きはWMTと同様であった。

## 【Post-training】

**遅延調整課題** Pre-trainingと同様の手続きを用いて、遅延弁別トレーニングと量弁別トレーニングを行った。完了後に、Pre-trainingと同様の手続きを用いて遅延調整課題を30セッション行った。

## 分析

Pre-training, Post-trainingの遅延調整課題について、遅延時間と選択したレバーを記録した。多くの先行研究では1セッションの遅延時間や遅延段階の平均をMADとして、安定基準や条件間の比較に使用していた(e.g. Anker et al., 2009; Mazur, 1988; Moore, Blasio, Sabino, & Cottone, 2018; Perry, Larson, German, Madden, & Carroll, 2005)。本研究でも同様に、Pre-training, Post-trainingのそれぞれにおいて、各ブロックの遅延時間を幾何平均した。これをMADとして、衝動的選択の指標に用いた。

WMTとテストにおける保持間隔も同様に幾何平均し、全体とセッションごとの平均保持間隔を算出してWMTの成績の指標に用いた。

主観的時間尺度は対数的である(石井, 2008)ため、MADと平均保持間隔の算出には幾何平均を用いた。

## 結果

### Pre-training

Table 1の上段に、Pre-trainingの遅延調整課題30セッションにおけるMADを示した。

### WMT

Table 2の上段・中段にWMTの最初と最後の各5セッションの平均保持間隔について算出したものを示した。全てのラットで最初よりも最後

Table 1. 遅延調整課題の全セッションのMAD (秒)

	#1	#2	#3	3匹の平均
Pre-training	6.36	16.69	14.42	11.53
Post-training	10.31	6.82	13.07	9.69

Table 2. WMTの最初と最後の5セッション、テストにおける各個体の平均保持間隔 (秒)

	#1	#2	#3	3匹の平均
最初の5セッション	1.23	2.13	8.06	2.76
最後の5セッション	56.59	21.00	64.00	42.37
テスト	18.13	16.22	17.42	17.19

の5セッションの平均保持間隔が大きくなった。Figure 4の左に、各被験体におけるセッションごとの平均保持間隔の推移を示した。ラット#3の5・7・11-13セッションにおいて、各セッションの試行数が20以下であったため、続く8・14セッションは保持間隔を1秒から開始した。全てのラットが64秒の保持間隔を経験したが、ラット#1・2の保持間隔はばらつきがあり、ラット#3のみが64秒の保持間隔を維持し続けた。

テストをラット#1、ラット#2は5セッション(202試行、323試行)、ラット#3は2セッション(98試行)実施した。テストにおける平均保持間隔をTable 2の下段に示した。3匹の被験体全てで、トレーニングの最初の5セッションよりもテストの保持間隔が長くなった。テストにおけるセッショ

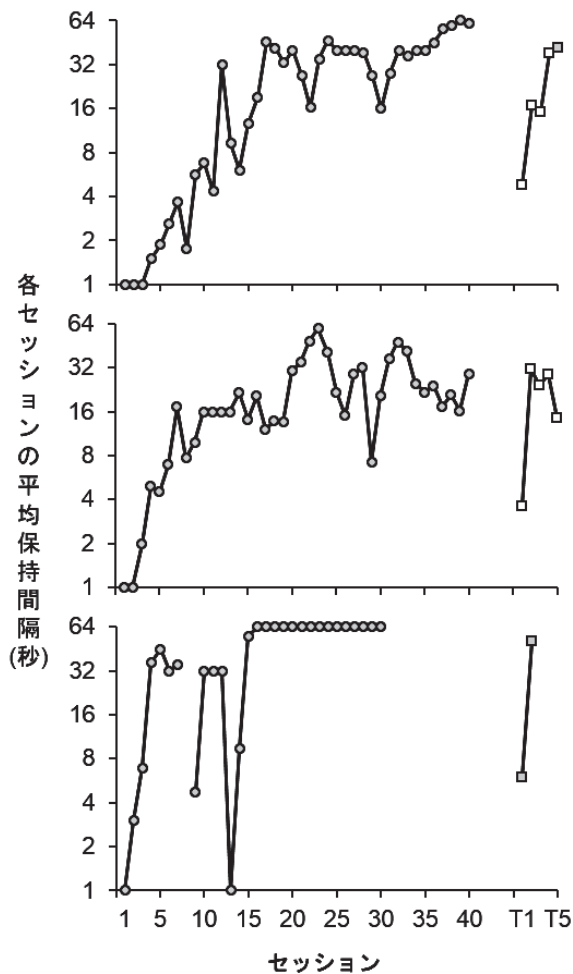


Figure 4. WMTにおける平均保持間隔の推移上からラット#1、#2、#3について示した。

ンごとの平均保持間隔の推移をFigure 4の右に示した。テストにおける各被験体の最長保持間隔は、ラット#1が48秒、#2が40秒、#3が64秒であった。

### Post-training

Table 1の下段に、Post-trainingの遅延調整課題30セッションにおけるMADを示した。3匹の平均MADは、Pre-trainingと比較してPost-trainingで1.84秒減少した。各被験体ごとのMADは、Pre-trainingと比較してPost-trainingでラット#1は3.95秒増加し、ラット#2・ラット#3はそれぞれ9.87秒、1.35秒減少した。

3匹の被験体のMADの変動の結果が一貫していなかったため、各遅延時間の平均発生回数とLLRレバー選択率から被験体の行動について検討した。遅延調整課題ではラットの選択によって遅延時間が変動する。LLRとSSRの値が主観的に等しくなる遅延時間よりも、現在の遅延時間が短い場合はLLRを選択して遅延時間は延長し、現在の遅延時間が長い場合はSSRを選択して遅延時間は短縮する。LLRとSSRの値が主観的に等しい遅延時間ではLLRとSSRを同程度選択する。武川(2010)は各遅延時間に至った回数を棒グラフ、各遅延時間におけるLLRレバー選択率を折れ線グラフにして1つのグラフに表し、安定基準として①遅延時間の発生回数がLLRとSSRの主観的な値が等しくなる遅延時間を頂点とする正規分布状になり、②LLRレバー選択率が発生回数のピークがある遅延時間で約50%となり、③発生回数のピーク前後でレバーの選好が逆転するという3要素を満たすとした。被験体が遅延時間と報酬量を比較して選択行動をしたときにこの3要素を満たすと考えられるため、本研究でも被験体の選択行動と照らし合わせて検討した。

Figures 5に、Pre-training、Post-trainingの26-30セッションにおける各遅延時間の平均発生回数とLLRレバー選択率について個体データを示した。

ラット#1において、Pre-trainingでは発生回数のピークが遅延時間1秒に見られるものの、LLRレバー選択率は直線状ではなく、遅延時間との対応



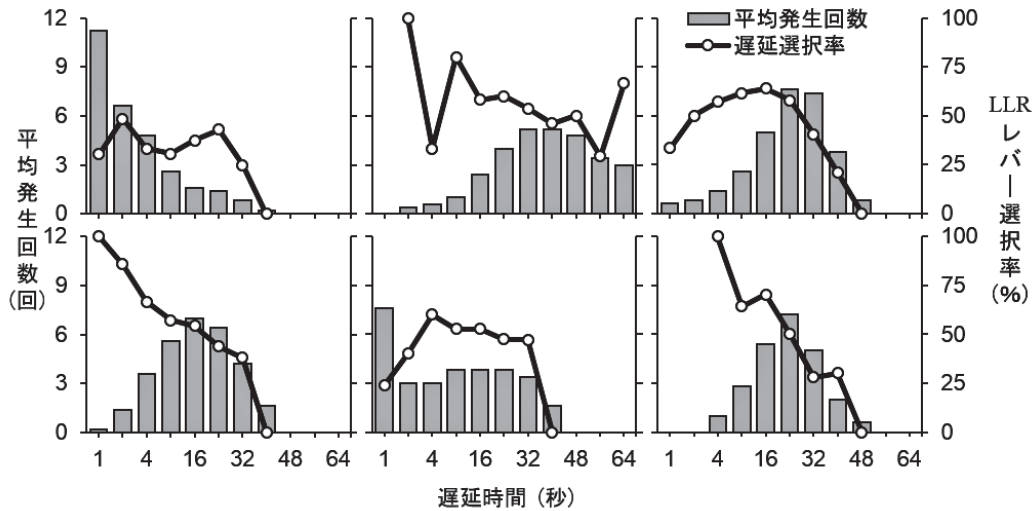


Figure 5. Pre-training, Post-trainingの遅延調整課題26-30セッションにおける各遅延時間の平均発生回数とLLRレバー選択率

が見られなかった。Post-trainingでは、発生回数は正規分布状になり、選択率の傾きが急になった。さらに、遅延時間40秒のLLRレバー選択率は0%であった。

ラット#2において、Pre-trainingではLLRレバー選択率は直線状ではなく、遅延時間との対応が見られなかった。Post-trainingにおいてもLLRレバー選択率は直線状ではなかったが、遅延時間40秒のLLRレバー選択率は0%であった。

ラット#3において、Pre-trainingでは発生回数のピークは24秒に見られ、16秒以降のLLRレバー選択率は直線状であった。ただし、16秒以下の遅延時間に対してはLLRレバー選択率と遅延時間の対応が見られなかった。Post-trainingでは、発生回数のピークは同様に24秒であったが、LLRレバー選択率は直線状となり、どの遅延時間とも対応が見られた。

## 考 察

本研究の目的は、Renda et al. (2015) を一部変更したWMTが、ラットの衝動的選択に与える影響について検討することであった。WMTを経験することで被験体は運動主体感を感じることができる時間の幅である時間窓を伸長させ、衝動的選択

を減少させるという仮説を立てて実験した。

WMTの成績について、3匹の被験体全てが保持間隔64秒を経験し、最初よりも最後の5セッションで平均保持間隔の値が大きくなった (Table 2)。Figure 4より、平均保持間隔は増減を繰り返しながら推移し、最終セッションではラット#1は61.21秒、ラット#2は29.21秒、ラット#3は64.00秒まで増加した。ここから、セッションを重ねるにつれてWMTの成績が向上していたと言える。ラット#1、#2は最長の保持時間64秒を維持し続けたため、適切な難易度だったと言える。ラット#3は15セッション連続で保持時間64秒を維持していた。Renda et al. (2015) の実験では、保持間隔が100秒を超える被験体が1匹存在していたという報告もあり、ラット#3は64秒より長い保持間隔であってもトレーニングを行うことができたと考えられる。

保持間隔1秒から開始したWMTの最初の5セッションとテストのセッションを比較した結果 (Table 2, Figure 4), 3匹の被験体すべてでテストの平均保持間隔が大きく、トレーニングを経てWMTの成績が向上した。ラット#3は2セッション目で保持間隔64秒に達したため、WM能力を正確に測定できなかった可能性がある。

Table 1より、遅延調整課題の結果をWMTの前

後で比較すると、3匹の被験体の平均MADは増加しなかった。この結果は、WMTの有無によって、ラットの遅延調整課題の成績に差が見られなかったという先行研究 (Renda et al., 2015) と一致する。また、ヒトはWMTによって衝動的選択を減少させると示した先行研究 (Bickel et al., 2011) においても、実際に遅延時間を体験したときには衝動的選択を減少させなかった。これらより、実際に遅延時間を体験する課題の成績にはWMTが影響しない可能性がある。

遅延調整課題の結果を被験体ごとに比較すると、WMTの前後で異なる変化の仕方を示した。Pre-trainingにおいてMADの値が最も小さかったラット#1は、Post-trainingにおいてMADを増加させた。この結果から、衝動的選択傾向が高い個体に対してWMTが有効である可能性が示唆される。Bickel et al. (2011) は、覚醒剤乱用の治療中の患者を対象にWMTを行って衝動的選択を減少させた。衝動的選択傾向の高さは薬物乱用と関連する (Moeller et al., 2001) ことから、Bickelらの研究の対象となった患者の衝動的選択傾向は高いと考えられる。Pre-trainingの遅延調整課題でMADの値が3匹の平均より高かったラット#2、ラット#3は、WMTの前後でMADを減少させた。この結果からも、衝動的選択傾向が比較的低かったためにWMTの効果がなかった可能性がある。

WMTの前後におけるMADの変化にばらつきがあった要因として、遅延調整課題において被験体はランダムに選択していてもMADが安定する (Cardinal, Dew, Robbins, & Everitt, 2002) ことや、遅延調整課題においてMADは遅延の長さと同量の両方に感度を持っていて分けることができない (Yates, Gunkel, Rogers, Hughes, & Prior, 2017) という点が挙げられる。このような要因によってMADの変化のみを基準に被験体の選択行動の変化を記述することには限界がある。

そこで、武川 (2010) を参考に、Pre-trainingとPost-trainingそれぞれの遅延調整課題26-30セッションについて、各遅延時間の平均発生回数とLLRレバー選択率から被験体の選択行動を検討し

た (Figure 5)。

ラット#1において、Pre-trainingの遅延調整課題で発生回数のピークは1秒に見られるものの、LLRレバー選択率は直線状ではなく、遅延時間との対応が見られなかった。遅延時間1秒におけるLLRレバー選択率が低く、遅延時間2秒や24秒におけるLLRレバー選択率が高いことから、ラット#1はPre-trainingでは遅延時間に基づかないランダムな反応をしていると考えられる。一方、Post-trainingの遅延調整課題では発生回数が正規分布状になり、選択率の傾きが急になった。さらに、遅延時間1秒におけるLLRレバー選択率は100%、発生した中で最長の遅延時間40秒のLLRレバー選択率は0%であった。これらの結果より、ラット#1はPost-trainingの遅延調整課題において、遅延時間の長さと同量を比較して行動していたと考えられる。

ラット#2は、Pre-trainingの遅延調整課題でLLRレバー選択率は直線状ではなく、遅延時間との対応が見られなかったため、ランダムな選択行動をしていたと考えられる。また、遅延時間64秒のLLRレバー選択率が高く、遅延時間64秒の試行が繰り返されたためにMADが大きくなった可能性がある。Post-trainingの遅延調整課題においてもLLRレバー選択率は直線状ではなく、遅延時間1秒において低いLLR選択率が見られた。発生した中で最長の遅延時間である40秒でLLRレバー選択率が0%となった。WMTを経験した後は長い遅延時間に対する感度が高まっていると考えることができる。

ラット#3は、Pre-trainingとPost-trainingの遅延調整課題の両方で発生回数のピークは遅延時間24秒に見られた。Pre-trainingの遅延調整課題においては16秒以降のLLRレバー選択率は直線状であったが、16秒以下の遅延時間に対してはLLRレバー選択率と遅延時間の対応が見られなかった。短い遅延時間においてLLRレバー選択率が低下した要因としては、2つの可能性がある。まず1点目に、遅延時間1-8秒の平均発生回数が少ないために偶然の反応によってLLRレバー選択率が低下した

という可能性がある。そして2点目は、短い遅延時間に対して感度が低く、遅延時間と報酬量の比較を行っていない可能性である。Post-trainingの遅延調整課題ではLLRレバー選択率は直線状となり、どの遅延時間とも対応が見られた。ラット#3のMADの変動は小さかったが、平均発生回数とLLRレバー選択率から見ると、選択行動を変化させていた可能性がある。

本研究の結果、WMTを経験することで各遅延時間に対する行動を変化させた被験体が存在した。WMTを経験する前の遅延調整課題において遅延時間と報酬量に基づかないランダムな選択行動をしていた被験体が、WMTを経験した後は遅延時間の長さに基づく選択をするようになった。このWMTの前後の遅延調整課題で得られた変化が、WMTによってもたらされたものなのか、遅延調整課題を続けたことによる変化なのかは判別できない。今後、被験体数を増やし、統制群と比較することで、被験体の選択行動を変化させる要因を明らかにできる。

結論として、ラットを用いてWMTの前後の遅延調整課題を比較した結果、各遅延時間に対する行動を変化させた被験体が存在した。この結果は、被験体や実験参加者が実際に遅延時間を体験する遅延調整課題における選択行動の検討に应用可能である。現実の社会において、行動の結果得られる将来の価値を予測し、正確に判断することは適応につながる。今回の研究は高い衝動性を抑制するためのトレーニング方法を確立する一助になるかもしれない。

## 引用文献

秋山 美美・新倉 怜・坂田 省吾 (2015). 先行経験の違いがラットの衝動性の指標に及ぼす影響. 広島大学大学院総合科学研究科紀要 I 人間科学研究, 10, 1-7.

Anker, J. J., Perry, J. L., Gliddon, L. A., & Carroll, M. E. (2009). Impulsivity predicts the escalation of cocaine self-administration in rats. *Pharmacology Biochemistry*

*and Behavior*, 93, 343-348.

Bickel, W. K., Yi, R., Landes, R. D., Hill, P. F., & Baxter, C. (2011). Remember the future: Working memory training decreases delay discounting among stimulant addicts. *Biological Psychiatry*, 69, 260-265.

Cardinal, R. N., Daw, N., Robbins, T. W., & Everitt, B. J. (2002). Local analysis of behaviour in the adjusting-delay task for assessing choice of delayed reinforcement. *Neural Networks*, 15, 617-634.

Evenden, J. L. (1999). Varieties of impulsivity. *Psychopharmacology*, 146, 348-361.

石井 拓 (2008). 動物のインターバル計時の諸理論の論点 I—静的特徴を中心として— 心理学評論, 51, 526-546.

Mazur, J. E. (1987). An adjusting procedure for studying delayed reinforcement. In M. L. Gommons, J. E. Mazur, J. A. Nevin, & H. Rachlin (Eds.), *Quantitative analyses of behavior: The effect of delay and of intervening events on reinforcement value* (Vol.5, pp. 55-73). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Mazur, J. E. (1988). Estimation of indifference points with an adjusting-delay procedure. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 49, 37-47.

Moeller, F. G., Barratt, E. S., Dougherty, D. M., Schmitz, J. M., & Swann, A. C. (2001). Psychiatric aspects of impulsivity. *American Journal of Psychiatry*, 158, 1783-1793.

Moore, C. F., Blasio, A., Sabino, V., & Cottone, P. (2018). Impulsive choice does not predict binge-like eating in rats. *Behavioural Pharmacology*, 29, 726-731.

Perry, J. L., Larson, E. B., German, J. P., Madden, G. J., & Carroll, M. E. (2005). Impulsivity (delay discounting) as a predictor of acquisition of IV cocaine self-administration in female rats. *Psychopharmacology*, 178, 193-201.

Perry, J. L., Stairs, D. J., & Bardo, M. T. (2008). Impulsive choice and environmental enrichment: Effects of d-amphetamine and methylphenidate. *Behavioural Brain Research*, 193, 48-54.

Renda, C. R., Stein, J. S., & Madden, G. J. (2014).

- Impulsive choice predicts poor working memory in male rats. *Plos One*, 9, e93263.
- Renda, C. R., Stein, J. S., & Madden, G. J. (2015). Working - memory training: Effects on delay discounting in male Long Evans rats. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 103, 50-61.
- Robinson, E. S. J., Eagle, D. M., Economidou, D., Theobald, D. E. H., Mar, A. C., Murphy, E. R., Robbins, T. W., & Dalley, J. W. (2009). Behavioural characterisation of high impulsivity on the 5-choice serial reaction time task: Specific deficits in 'waiting' versus 'stopping'. *Behavioural Brain Research*, 196, 310-316.
- Shamosh, N. A., DeYoung, C. G., Green, A. E., Reis, D. L., Johnson, M. R., Conway, A. R. A., Engle, R. W., Braver, T. S., & Gray, J. R. (2008). Individual differences in delay discounting: Relation to intelligence, working memory, and anterior prefrontal cortex. *Psychological Science*, 19, 904-911.
- 武川 和憲 (2010). 遅延調整課題を用いたラットの選択行動についての検討 広島大学大学院総合科学研究科修士論文 (未公刊)
- Winstanley, C. A., Eagle, D. M., & Robbins, T. W. (2006). Behavioral models of impulsivity in relation to ADHD: Translation between clinical and preclinical studies. *Clinical Psychology Review*, 26, 379-395.
- Yates, J. R., Gunkel, B. T., Rogers, K. K., Hughes, M. N., & Prior, N. A. (2017). Effects of N-methyl-D-aspartate receptor ligands on sensitivity to reinforcer magnitude and delayed reinforcement in a delay-discounting procedure. *Psychopharmacology*, 234, 461-473.