

遅延価値割引判断における遅延中の中断の効果

川嶋 健太郎* ・前田 愛子**
飯田 成敏*** ・蓮見 元子****

The Effects of Interruption during delay of Reward on delay discounting judgments

Kentaro KAWASHIMA, Aiko MAEDA, Naritoshi IIDA, Motoko HASUMI

要 旨

本研究では人間の遅延価値割引判断における報酬の遅延中の中断の効果について検討した。遅延中の中断により遅延報酬は獲得できなくなることから、中断が遅延価値割引の原因であることが論じられた。実験では実験協力者3名に対して、報酬量を固定したVI15s+平均中断Xsスケジュールと報酬量の変化するFI15sスケジュールを用いて、主観的等価点を測定した。実験の結果、平均中断時間の長さにより主観的等価点が変わることが示された。動物を対象にした場合には中断の影響が見られないことと対比することが必要である。

キーワード：遅延価値割引，中断，セルフコントロール，主観的価値，ヒト

1. はじめに

遅延価値割引とは

遅延価値割引 (delay discounting または temporal discounting) とは報酬が得られるまでの遅延によって、報酬の価値が低下することである (川嶋, 2009)。一般的に、すぐに獲得でき

*非常勤講師 学習心理学

**早稲田大学大学院文学研究科博士課程

***早稲田大学文学学術院

****教授 発達臨床心理学

る報酬のほうが遅延報酬よりも好まれる。例えば、「すぐにもらえる10万円」と「1年後にもらえる10万円」のどちらかを選べといわれれば、たいてい人は「すぐにもらえる10万円」を選ぶ。しかし、「すぐに獲得できる1万円」と「1年後にもらえる10万円」ではどうであろうか？ 多くの人が遅延報酬を選択するだろう。

人間を対象とした遅延価値割引実験では、遅延報酬に対してすぐに獲得できる即時報酬の量を調整することで遅延により価値がどの程度減少するか測定する。「10年後にもらえる10万円」と「すぐにもらえるx円」といった選択肢が提示されたとしよう。即時報酬の金額x円を徐々に上昇または下降させ、被験者がほぼ同じ頻度で2つの選択肢を選ぶxの金額が6万円だとすると、この6万円が遅延報酬の主観的等価点（または主観的価値、無差別点、現在価値などとも呼ばれる）である。

Mazur (1987) は遅延によって報酬の主観的価値がどのように変化するかを記述するモデルとして双曲線型割引関数を提案し、ハトを使った実験で双曲線型割引関数が最もよくデータを説明できることを示した。

$$V = \frac{A}{1 + kD} \quad (1)$$

ここでAは報酬額、Dは遅延、kは割引率、Vは遅延報酬の主観的価値（現在価値）である。双曲線型割引関数の特徴は短い遅延で急激に主観的価値が低下するものの、遅延が長くなると主観的価値の低下が緩やかになることである。双曲線型割引関数は多くの人間、動物の遅延価値割引実験の結果とよく適合する割引関数であり、報酬の価値遅延の逆数に比例している。

遅延価値割引判断に影響を与える要因がいくつか知られている。利率率やインフレ率といった経済的要因（Kawashima, 2006）、収入（Green, Myerson, Lichtman, Rosen, & Fry, 1996）や年齢（Green, Fry, & Myerson, 1994）、報酬量（Green, Myerson, & McFadden, 1997）、薬物依存（Madden, Petry, Badger, & Bickel, 1997）、フレーミング（Benzion, Rapoport, & Yagil, 1989）などによって割引率kの値は変化することが示されてきた。

遅延価値割引が起こる原因として、遅延中に報酬が獲得できなくなるリスクが考えられる。ある行動を選択した後に報酬が獲得できるまでの時間が長くなると、自然界では外敵の来襲や天候の変化などによって報酬が獲得できなくなる可能性は高くなる。一方、行動を選択してすぐに報酬を獲得できるならば、（当然だが）遅延中に報酬を獲得できなくなる可能性はない。また人間の経済においても同様のことが見られる。一般に長期金利の方が短期金利のよりも利率率が高い。これは長期の貸し出し中に企業などが破綻する可能性が高くなっている分、割引率が高くなるからである。日常生活でも報酬が遅延されるほど約束を忘れられたり、支払い能

力がないと言われて、その報酬を獲得できなくなるリスクが高まる。

遅延中に報酬が獲得できないリスクについてはいくつかの研究において理論的に検討されている。Sozou (1998) はリスクがある場合に遅延された報酬が獲得できないかもしれないことから割引関数を導いている。これは一般に知られていることだが、もしも単位時間当たりでの獲得できない率（ハザード率）が遅延のどの時点でも一定であるならば、割引関数は指数関数型割引である。Sozou (1998) は双曲線型割引関数となるのはこのハザード率が一定ではなく不確実であり、しかもその分布が指数分布であるときであることを示した。

Benson & Stephens (1996) は採餌行動における割引を連続時間マルコフ過程としてモデル化している。このとき割引率は採餌者が感じている採餌の中断の可能性に依存することが示された。Stephens (2002) では遅延価値割引が起こる原因を想定し、その中で終了リスク（termination-risk：報酬系列を獲得する可能性がすべて失われるリスク）、中断リスク（interruption-risk：報酬系列のうちの1つの報酬が獲得できないリスク。報酬系列自体は停止されない）を取り上げている。ただし多くの遅延価値割引実験のように選択後の報酬が1つしかない場合には、終了リスクと中断リスクは区別できない。これら2つは報酬が獲得できないリスクであり、指数関数型割引と非常に密接に関連しているが、遅延価値割引実験で見られるいくつかの現象を説明できないとした。

遅延中の中断リスクについての実験的研究として、Henly, Ostdiek, Blackwell, Knutie, Dunlap, & Stephens (2007) は Blue Jay（アオカケス）を被験体として、セルフコントロール実験における中断率（interruption rate）の違いがセルフコントロール選択肢への選択比率に与える影響を調べた結果、中断率は選択比率にほとんど影響を与えなかった。このことから遅延中の報酬が獲得できないリスクによっては遅延価値割引を説明できないとした。一方、Kawashima, Maeda, & Iida (2008) では人間を被験者として、Continuous FT+VTBnakruptcy スケジュールを考案し、中断確率の違いによって遅延報酬系列（一方の選択肢を選ぶと報酬が一つではなく複数、間隔において呈示される）の主観的等価点がどう変化するかを検討した。この結果、中断確率の違いにより主観的等価点が増加すること、および中断確率から計算された合理的な値よりも主観的等価点が低いことが示された。

このように報告された研究が少なく、結果も異なるため遅延中に報酬の獲得できないリスクが遅延価値割引に与える影響はまだ明らかではない。異なる結果となった要因として、Kawashima et al. (2008) と Henly et al. (2007) では手続きに大きな違いがあることが考えられる。遅延中に中断が起こる確率は指数分布に従うという点では同じであったが、被験体の違い（ヒト／Blue Jay）・報酬の時間配分（遅延報酬系列／単なる遅延報酬）・手続き（主観的等価

点測定／セルフコントロール）といったいくつかの点で異なっていた。特に被験体の違いと報酬の時間配分の影響は大きいものと思われる。ヒトにとって、遅延報酬系列は経済活動の中で非常に一般的（例えば、株券を購入すると1年ごとに配当という遅延報酬系列がある）であるのに対し、動物では不明である。

そこで本研究では試行開始から経過した時間の関数として強化確率が増加するが、同時に試行自体が中断する確率も増加する状況での遅延報酬の主観的価値を検討する。中断は報酬を提供する他の強化スケジュールと組み合わせて用いるもので、本研究では Variable Interval (VI) 15s スケジュールを用いるため、VI15s+ 平均中断 Xs スケジュールと呼ぶこととする。

図 1A は本研究でも用いられた VI15s スケジュールにおいて、試行開始からの経過時間による強化確率の変化を表している。VI スケジュールでは指数分布に従って経過時間が長くなるほど反応に対して報酬が呈示される確率が増加している。図 1B は平均中断時間 20s 条件における、試行開始からの経過時間による中断確率の変化を表している。VI スケジュールの場合と同様に、本実験では中断確率は指数分布に従うように設定した。図 1C は本研究における中断がある場合の強化確率を示している。VI15s スケジュールに基づいて強化がされるが、同時に平均中断時間 20s で試行が中断されてしまうため、経過時間に対する実際の強化確率は図

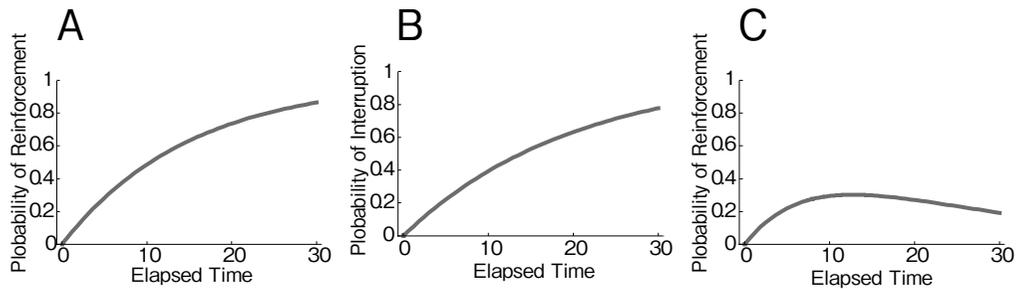


図 1 本研究における中断がある場合の強化確率。A：VI15s スケジュールでの強化確率。B：平均中断 20s での中断確率。C：VI15s+ 平均破綻 20s スケジュールでの場合の強化確率。

表 1 各条件での 1 試行での強化確率・中断確率・試行終了確率

| 条件 | 強化確率 | 中断率 | 未強化試行終了確率 |
|----------|------|------|-----------|
| 平均中断 10s | 0.38 | 0.62 | 0 |
| 平均中断 15s | 0.51 | 0.47 | 0.02 |
| 平均中断 20s | 0.54 | 0.43 | 0.03 |
| 途中中断なし | 0.87 | 0 | 0.13 |

1Cのように経過時間が長くなっても強化確率は大きく上昇しない。

VIによる強化および中断の確率は指数分布に従っていたため、被験者が高頻度で反応をしたときに強化される確率、中断される確率が計算できた。表1には本実験での各条件で試行中に強化が与えられる確率、中断する確率、およびどちらも起こらずに制限時間により試行が終了する確率を示した。ここで試行終了確率があるのは強化がない場合でも強化段階を一定時間(30s)で終了し、試行間隔(inter-trial-interval: ITI)に移行するためである。

2. 方法

手続き

被験者

大学生(男性1人女性2人、平均年齢22.3歳)が被験者として参加した。どの被験者も以前に行動分析学の授業はとったことがなく、また強化スケジュールに関する実験を受けた経験がなかった。被験者は実験に参加することでアルバイト時給程度の報酬を獲得できた。

材料

IBM PC/AT 互換のコンピュータ、マウス、キーボード、液晶モニター(30.4 cm × 22.8 cm)を使用した。実験制御プログラムはBorland社製Delphi7を利用して作成した。

手続き

被験者は1日当たり約1時間20分の実験に4日間参加した。最初の実験日は練習であり、すべての被験者で平均中断15s条件の実験を行った。その後、1日に1条件で平均中断10s、平均中断20s、途中中断なし条件を被験者間でカウンターバランスした順序で行った。各実験日では練習試行16回の後に12分間のセッションを6回繰り返した。1セッションは18試行で構成されていた。

実験第1日の最初に、被験者は実験中の被験者自身の行動によってアルバイトの時給程度の報酬が得られること、実験室に指輪やプレスレット、時計、携帯電話などを携帯しないことなどについて簡単な説明を受けた。被験者が椅子に座ると被験者の目の前にある液晶モニターに以下の教示文が表示され、実験者が読み上げた。

この実験ではキーボードの左・右矢印キーを上手に押して、出来るだけポイントを稼いでください。ポイントは8ポイント当たり1円でお金に交換します。

操作方法：左矢印キーまたは右矢印キーを利き手の人差し指で押します。そのほかの指は

使用しないでください。

画面左上の○は左矢印キーに、画面右上の○は右矢印キーに対応しています。キーを押しているとポイントを獲得できることがあります。何ポイント獲得できたか注意してください。ポイントは画面下半分に表示され、「現在のポイント」に貯まっていきます。

この実験は5回に分かれていて、各回の終了時に休憩があります。休憩時、また実験終了時には、「今回のポイント」が画面の下半分に表示されます。8ポイント当たり1円で計算された「今回の金額」も表示されます。各回の休憩中に「今回の金額」と同額をお支払いします。

注意1：この実験での矢印キーの押し方はあなたの自由です。押しても、押さないでいても全く自由です。

注意2：矢印キーの押し方で獲得できるポイントが変化します。できるだけ多くポイントを稼ぎましょう。

被験者から質問があった場合には教示文の適切な部分を読み上げた。被験者がコンピュータ画面上の実験開始ボタンを押すと練習試行が開始した。

実験課題の概観は図2のようであった。画面の上半分には反応可能であるか否かを示す弁別刺激として左右に2つの円型刺激が表示されていた。左の円はキーボードの左矢印キー、右の円は右矢印キーに対応していた。中央には現在までに獲得したポイント総計が表示された。画

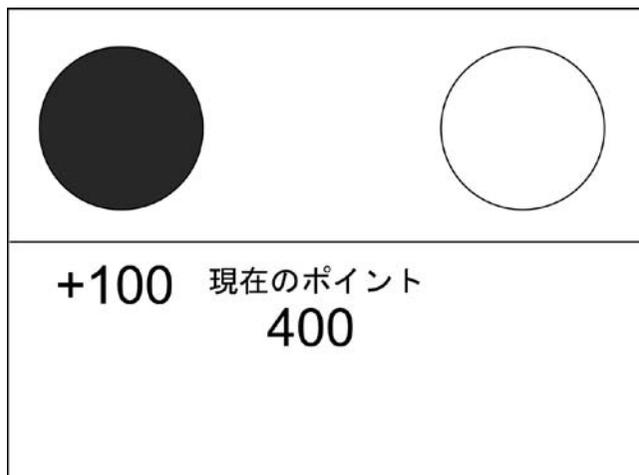


図2 実験課題の概観

面下半分には、反応することによって獲得できたポイントが表示された。左矢印キーを押した場合には左の円の下方に、右矢印キー押した場合には右の円の下方に、それぞれ獲得ポイントが表示された。

練習試行は各実験日の最初に毎回あり、各実験条件でVIによる強化・FIによる強化を経験すること、また試行の中断を被験者に経験させることを目的としていた。練習試行での実験課題の概観は左右の弁別刺激の一方のみが表示されていた点で本実験と異なっていた。円型の弁別刺激は左矢印キーでの練習の時には左の円型刺激のみ、右矢印キーでの練習の時には右の円型刺激のみが表示された。

練習試行は左矢印キー4回、右矢印キー4回、左矢印キー4回、右矢印キー4回の順で行った。VI+平均中断Xs（途中中断なし条件を除く）が割り当てられたキーについては、4回の試行のうち2回で中断が必ず起こった。どちらのキーでも本試行と同じ設定で選択段階での選択後、強化段階での各スケジュールにより強化・中断が起こった。

練習が終了すると、「これで練習を終了します。実験者を呼んでください、」と表示するダイアログボックスが表示された。実験者は画面中央に表示された今回の金額と同額を支払った。報酬の受け取り後に被験者がEnterキーを押すと本実験試行が開始した。

実験試行では左右両方の円型弁別刺激が表示され、左矢印キー・右矢印キーともに有効であった。実験での事象系列の外観は図3のとおりである。図3は強化段階において左矢印キーにVI15s+平均中断Xs、右矢印キーにFI15sが設定された場合を示している。図3においてWは白色、Rは赤色、Bは青色の弁別刺激が表示されていたことを示している。

1回の試行は選択段階と強化段階に分かれていた。試行が開始するとコンピュータモニタの左右に円形の弁別刺激（左：赤、右：青）が表示された（選択段階）。被験者がキーボードの左または右矢印キーを押すことで一方が選択され、強化段階に移行した。

強化段階では、VI15s+平均中断XsまたはFI15sスケジュールのいずれかで行われた。強化段階においては制限時間があり、被験者の反応や強化のあるなしに関わらず30sとなっていた。このため強化または中断が起こった場合にはITIの時間を調整することで強化段階の時間を一定に保った。強化段階に移行すると、選択段階で最後に選択されたキーのみが有効となり、モニター上の弁別刺激も変更された。左矢印キーが選択された場合には、左側の弁別刺激は赤色に変化し、右側の刺激は取り除かれた。逆に右矢印キーが選択されていた場合には右側の弁別刺激は青色に変化し、左側の刺激は取り除かれた。また選択段階と同様に左右のキーを押すとそれぞれドラム音が鳴った。

VI15s+平均中断XsスケジュールではVI15sスケジュールによる強化または平均中断Xsス

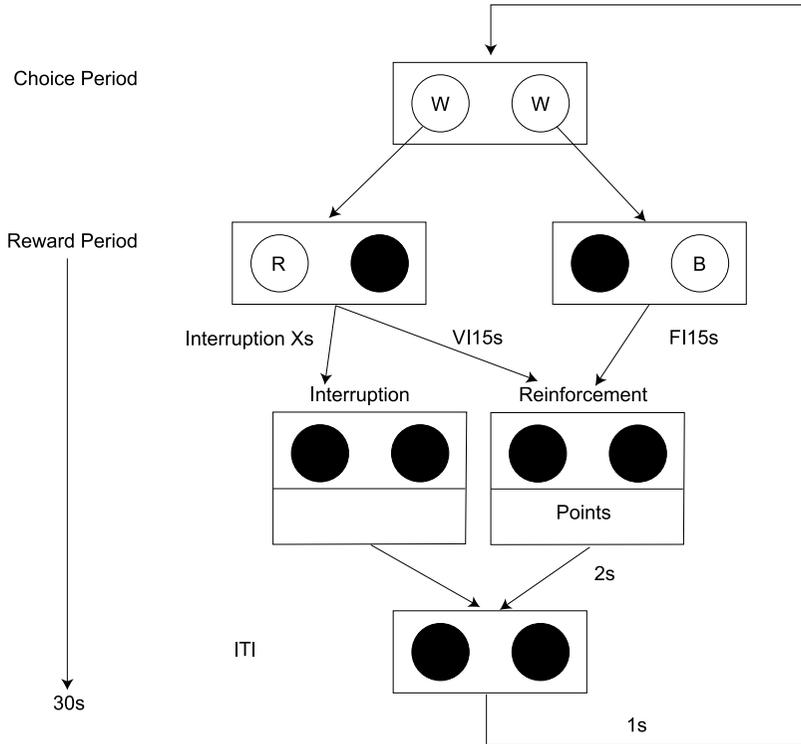


図3 実験での事象系列の概略図

スケジュールによる強化段階での試行の終了が起こった。VI15s スケジュールでの VI 時間と中断時間は Fleshler & Hoffman (1962) による constant probability VI の方法と同様に指数分布に従ってランダムに決められた。VI15s での VI 時間が経過したあとに被験者が反応をすると、強化を示す音が呈示され、弁別刺激の下に「+100」とポイントが2s間表示された。2s後、このポイントはモニター上の「現在のポイント」に加算され表示された。また平均中断 Xs によって設定された中断時間が経過すると被験者の反応と関係なく、強制終了を示す音とともに試行が終了した。このため VI 時間が経過しても被験者が反応をせずに中断時間が経過してしまうと強化は与えられなかった。FI15s スケジュールでは VI15s での強化と同様に、15s 経過後に被験者が反応すると強化を示す音が呈示され、弁別刺激の下に「+100」とポイントが2s間表示された。2s後、このポイントはモニター上の「現在のポイント」に加算され表示された。

強化または中断による試行の終了が起こると、モニター上の弁別刺激は取り除かれた。ITI は強化または中断による試行の終了が起こってから制限時間の 30s までの間に更に 1s を加え

遅延価値割引判断における遅延中の中断の効果

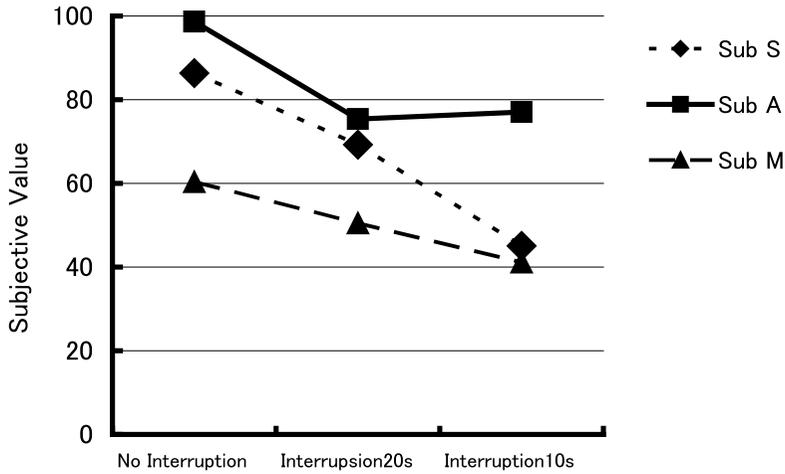


図4 各条件での主観的等価点

た時間であった。また強化段階の制限時間である30sが過ぎた場合にも弁別刺激は取り除かれ、1sのITIとなった。

VI15s+ 平均中断 Xs スケジュールでのポイントを100ポイントに固定し、FI15s スケジュールでのポイントを被験者の選択に応じて Richards et al. (1999) の Random Adjusting Amount 手続きを用いて変化させることで、報酬の主観的等価点を測定した。FI15s での報酬量は0から100ポイントの間で被験者の反応に応じてランダムに1ポイント刻みで変動した。

1セッションは15試行で構成されていた。15試行目の終了時に「ここでいったん休憩します。実験者を呼んでください。」と表示されたダイアログボックスが表示された。またモニター中央にはこれまでのポイント×0.125円(8ポイントあたり1円)で計算された「今回の金額」が表示され、被験者はその金額を受け取った。2分間の休憩の後、実験者に促されて被験者がEnterキーを押すことで次の実験試行が開始した。1日の実験では5回のセッションを行った。1日の実験で支払われた報酬額の平均は759円であった。

3. 結果と考察

各条件での主観的等価点は、第4から6セッションでの15から18試行における Random Adjusting Amount 手続きにおける Minimum Top Limit と Minimum Bottom Limit の平均値とした。図4は被験者ごとに各条件での VI15s+ 平均中断 Xs スケジュールで獲得できる100ポ

イントと無差別となった FI15s スケジュールでのポイント（主観的等価点）を表している。被験者による個人差も大きいですが、途中中断なし、平均中断 20s、平均中断 10s 条件の順序で主観的等価点が低下していることがわかる。これは Kawashima et al (2008) と同様の結果であり、Blue Jay を被験体とした Henly et al (2008) では中断率の効果が見られなかったこととは対照的である。

ただし図 4 のように主観的等価点が平均中断時間に応じて低下したのは、単に 1 試行での強化確率が低下したからだとも言える。被験者の反応にもよるが、もしも被験者が高い反応率で反応をしている場合には、表 1 のように途中中断なしでは 1 試行での強化確率は 0.87 程度であり、平均中断 20s 条件では 0.54、平均中断 10s 条件では 0.38 程度であった（途中中断なしでも強化確率が 1 でないのは 30 秒経過で試行が中断されるため）。

本研究のように中断を実験要因として用いると、時間と中断確率が一見するとともに変化してしまうため注意が必要である。例えば、指数分布に従った中断の中断率が 1 分当たり 1 回だとすると、報酬の遅延時間が 10 秒の時には $1/6$ の確率で、遅延時間が 30 秒の時には $1/2$ の確率で遅延時間中に中断が起こる。このように遅延時間が長いほど中断確率が高くなる（逆に言うと 1 試行での強化確率が下がる）と、主観的等価点の変化が遅延によるものなのかそれとも強化確率によるものであるのか不明となる。

何らかの確率を制御する場合にはどの観点から見た確率を制御しているかが重要であろう。今回の実験では指数分布に従った中断であったため、単位時間当たりの中断回数（中断率）は遅延の長さにかかわらず一定であった。もしも別の方法を用いると（例えば遅延の長さにかかわらず 1 試行当たりの中断確率を一定に保つなど）、単位時間当たりで見た場合の中断確率は 1 試行ごとに大きく異なってしまっていただろう。今回は検討できなかったが、中断確率が遅延時間とともに変化する場合と、遅延時間にかかわらず固定している場合とで中断確率が遅延報酬の主観的価値に与える影響を検討する必要があるだろう。

今後の課題として実験参加者にとって中断確率はどのような影響があったのか、主観的等価点を測定すること以外の方法でも検討することが必要であると思われる。本研究では行っていないが、人間を実験参加者とした場合には遅延時間中の中断の主観的確率を評定させることも可能である。Takahashi, Ikeda, & Hasegawa (2007) では実験中の中断を経験してはいないが、実験参加者に対して様々な長さの遅延により報酬が獲得できる主観的な確率を評定させた。この結果、この遅延時間に対する報酬獲得の主観的確率は双曲線割引関数に従うことが示された。これまでのところ中断を経験した後に主観的な中断確率の評定と遅延報酬の主観的価値を測定したものはないため、今後検討が必要であると思われる。

4. 引用文献

- Benson, K.E. & Stephens, D.W. (1996). Interruptions, tradeoffs and temporal discounting. *American Zoologist*, 36, pp.506–517.
- Benzion, U., Rapoport, A., & Yagil, J. (1989). Discount rates inferred from decisions: An experimental study. *Management Science*, 35, pp.270–284.
- Green, L., Fry, A., & Myerson, J. (1994). Discounting of delayed rewards: A life span comparison. *Psychological Science*, 5, pp.33–36.
- Green, L. & Myerson, J., Lichtman, D., Rosen, S., & Fry, A. (1996). Temporal discounting in choice between delayed rewards: The role of age and income. *Psychology and Aging*, 11, pp.79–84.
- Green, L., Myerson, J., & McFadden, E. (1997). Rate of temporal discounting decreases with amount of reward. *Memory & Cognition*, 25, pp.715–723.
- Henly, S. E., Ostdiek, A., Blackwell, E., Knutie, S., Dunlap, A. S., & Stephens, D. W. (2008) . The discounting-by-interruptions hypothesis: model and experiment. *Behavioral Ecology*, 19, pp.154–162.
- Kawashima, K. (2006). The effects of inflation and interest rates on delay discounting in human behavior, *Psychological Record*, 56, pp.551–568.
- 川嶋健太郎, 2009, 「行動選択における反応間隔と遅延時間の影響」, 早稲田大学出版部
- Kawashima, K., Maeda, A., & Iida, N (2008).. The subjective value of sequential delayed rewards under risk in a time course. Poster session at the 34th Annual ABAI Convention in Chicago May 26.
- Madden, G. J., Petry, N. M., Badger, G. J., & Bickel, W. K. (1997). Impulsive and self-control choices in opioid-dependent patients and non-drug-using control patients: Drug and monetary rewards. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 5, pp.256–262.
- 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.
- Richards, J. B., Zhang, L., Mitchell, S. H., & de Wit, H. (1999). Delay or probability discounting in a model of impulsive behavior: effect of alcohol. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71, pp.121–143.
- Sozou. (1998). On hyperbolic discounting and uncertain hazard rates. *Proceedings: Biological Sciences*, 265, pp.2015–2020.
- Stephens, D. W. (2002). Discrimination, discounting and impulsivity: a role for an informational constraint. *Philosophical Transactions of Royal Society London B*, 357, pp.1527–1537
- Stephens, D. W., Kerr, B., & Fernandez-Juricie, E. (2004). Impulsiveness without discounting: the ecological rationality hypothesis. *Proceedings of Royal Society London B*, 271, pp.2459–2465.
- Takahashi, T., Ikeda, K., & Hasegawa, T. (2007). A hyperbolic decay of subjective probability of obtaining delayed rewards, *Behavioral and Brain Functions*, 3, p.52.