ハトにおける強化前遅延と強化後遅延が選択に及ぼす効果¹

畑 佑美¹⁾・佐伯大輔¹⁾

Effects of pre- and post-reinforcer delays on choice in pigeons

YUMI HATA¹⁾ and DAISUKE SAEKI¹⁾

Abstract The present study examined effects of pre- and post-reinforcer delays on pigeons' choice using concurrent-chains schedules. Subjects were exposed to concurrent-chains schedules in which a single variable-interval 30-s schedule was arranged for the initial link, followed by different fixed-time schedules for pre- and post-reinforcer delays as the terminal links. The pre- and post-reinforcer delays were fixed at 2 s for one alternative and they were manipulated across conditions (2 s, 8 s, 20 s, or 40 s) for the other alternative. Based on the sensitivities estimated from the overall reinforcement density model, it is suggested that pigeons have higher sensitivity to the pre-reinforcer delay relative to the post-reinforcer delay. These results are consistent with those reported in a previous study using rats. Comparisons of choice proportion data from different post-reinforcer delays reveal that pigeons have sensitivity to post-reinforcer delay, although it is not high.

Key words : choice, pre-reinforcer delay, post-reinforcer delay, concurrent-chains schedule, pigeons

オペラント条件づけの手法を用いたセルフ・コントロール (self control) 選択研究では、選択肢間で強化前遅延 (pre-reinforcer delay) と強化量が異なる選択場面が設定され、即時小強化子より遅延大強化子を選択することをセルフ・コントロール、遅延大強化子より即時小強化子を選択することを衝動性 (impulsiveness) と定義している (Logue, 1988 ; Rachlin & Green, 1972)。例えば Rachlin & Green (1972) は、ハトにすぐに 2 秒間の餌呈示がなされる選択肢と、4 秒後に 4 秒間の餌呈示がなされる選択肢の間で選択を行わせた結果、ハトは前者への選

好を示すこと、すなわち、衝動性を示すことを報告している。ヒト以外の動物を対象に、このパラダイムを用いた先行研究では、(1)式の一般対応法則 (Baum, 1974) によって選好を記述できることが示されている (Logue, Rodriguez, Peña-Correal, & Mauro, 1984)。

$$\frac{R_1}{R_2} = k \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{S_a} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^{S_d} \quad (1)$$

ただし、 A は強化量、 D は強化前遅延、 R は選択反応数、数字は選択肢を示す。 S_a は強化量に対する感度、 S_d は強化前遅延に対する感度、 k はバイアスを示す経験定数である。(1)式は、強化量と強化前

1 本稿で報告される実験は、大阪市立大学杉本地区動物実験委員会の承認を受けている。

1) 大阪市立大学大学院文学研究科
〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本3-3-138
連絡先: 畑 佑美
E-mail: concurrentchains@gmail.com

1) Graduate School of Literature and Human Sciences, Osaka City University
Corresponding author: YUMI HATA

J-STAGE Advance Published Date: May 2, 2018.
doi: 10.2502/janip.68.1.6

遅延によって選好が決定されることを予測するが、強化子呈示終了から次試行開始までの遅延時間である強化後遅延 (post-reinforcer delay) も選好に影響することが、ヒト (Flora & Pavlik, 1992; Ito & Nakamura, 1998) やヒト以外の動物 (Logue, Smith, & Rachlin, 1985; Yamaguchi, Saeki, & Ito, 2015) を対象とした研究において報告されている。本研究は、強化後遅延の効果について報告例の少ないハトを対象に、後述する全体的強化密度の観点から、強化前遅延と強化後遅延の選好への効果を明らかにすることを目的とする。

Flora & Pavlik (1992) は、ヒトを対象に、離散試行型手続きを用いたセルフ・コントロール選択場面において、即時小強化選択肢での強化後に強化後遅延を付加することで、1試行の時間間隔を選択肢間で等しくした条件と、強化後遅延を付加しない条件を実施した。その結果、前者の条件ではセルフ・コントロール選択が生じたが、後者の条件では衝動性が生じた。この結果は、ヒトのセルフ・コントロール選択に影響する時間成分として、強化前遅延だけではなく、「1試行の時間間隔」といった全体的時間を考慮する必要があることを示している。従って、ヒトのセルフ・コントロール選択を記述するためには、遅延時間として強化前遅延のみを含む(1)式では不十分であり、強化量を1試行全体の時間間隔で除算した全体的強化密度 (overall reinforcement density; ORD) を考慮する必要がある。

Ito & Nakamura (1998) は、ヒトを対象に、並立連鎖スケジュールを用いて、(1)式の一般対応法則と、選択比が全体的強化密度の比と対応することを示した(2)式の全体的強化密度モデルのうち、どちらがより良くセルフ・コントロール選択を記述できるかを検証した。

$$\frac{R_1}{R_2} = k \left(\frac{ORD_1}{ORD_2} \right)^{S_{ord}} \quad (2)$$

ただし、ORD は全体的強化密度、 S_{ord} は全体的強化密度比に対する感度を示す。その他の記号の意味は、(1)式と同様である。Ito & Nakamura (1998) では、即時小強化選択肢での強化後に強化後遅延が付加され、1試行の時間間隔が選択肢間で等しい条件と、強化後遅延が付加されず1試行の時間間隔が選択肢間で異なる条件が実施された。その結果、(2)式の方が(1)式よりも選好をうまく記述した。この結果から、ヒトの強化後遅延に対する感度は強化前遅延と同様に高いことが推測される。

セルフ・コントロール選択場面では、より全体的強化密度の高い選択肢を選好することが、一定時間

あたりに獲得できる強化量の最大化をもたらす。強化後遅延は、全体的強化密度の構成要素であるため、強化後遅延に対して感度を持つことは、獲得強化量の最大化にとって重要である。このことを踏まえると、Flora & Pavlik (1992) や Ito & Nakamura (1998) の実験参加者は、全体的時間を考慮してより多くの強化量を獲得するような選択が可能であったと考えられる。一方、(2)式は、強化前遅延と強化後遅延を区別しないため、強化前遅延を10秒延長することと、強化後遅延を10秒延長することは、個体の選好に対して同様の効果をもたらすことを予測する。従って、もし、ある個体について、強化前遅延と強化後遅延の間で感度が異なるのであれば、選択肢間で強化密度が同じであっても、強化前遅延と強化後遅延の長さが異なる場合には、選好は異なることが予測される。

この問題を検討するために、Yamaguchi et al. (2015) はラットを対象に、各選択肢に変時隔 (variable interval; VI) スケジュールを配置した並立連鎖スケジュールを用いて、セルフ・コントロール選択場面における選好に及ぼす強化前遅延と強化後遅延の効果を検討した。実験では、強化子である餌ペレットが、一方の選択肢では3個、他方の選択肢では1個に設定され、大強化選択肢の強化前遅延または強化後遅延が、0秒～120秒の間で、条件間で操作された。得られた選択データに(2)式を適用した結果、全体的強化密度比に対する感度 (S_{ord}) は、強化後遅延が変化した場合 (0.55) よりも、強化前遅延が変化した場合 (2.21) の方が高いことがわかった。この結果は、ラットのセルフ・コントロール選択は、強化後遅延よりも強化前遅延によって強く影響を受けていることを示している。ただし、Yamaguchi et al. (2015) では、選択肢間で強化量が異なっていたため、もし、遅延条件間で強化量に対する感度が変化していたならば、その効果が結果に混入した可能性がある。

Logue et al. (1985) は、離散型試行手続きを用いて、ハトのセルフ・コントロール選択に及ぼす強化後遅延の効果を検討した。セルフ・コントロール選択場面において、1試行の時間間隔を選択肢間で等しくするために強化後遅延を挿入した条件では、ハトは常に衝動性を示した。さらに、選択肢間で強化量と強化前遅延が等しく、強化後遅延が、0秒と30秒と異なる条件では、強化後遅延が0秒の選択肢を選好した。この結果から、ハトは強化後遅延に対して感度を持つが、その効果は強化前遅延よりも小さいことが推測できる。ハトを対象に強化後遅延の効果を報告した研究は、Logue et al. (1985) を含めて少数であり、強化後遅延が選択に及ぼす効果を

組織的に調べた研究はない。

そこで本研究では、ハトを対象に、並立連鎖スケジュールを用いて、選択肢間で強化量を等しくした選択場面において、強化前遅延と強化後遅延を組織的に変化させることで、それぞれの遅延が選択に及ぼす効果を測定し、得られた選択データに(2)式を適用して全体的強化密度比に対する感度を推定・比較することで、2つの遅延が選択に及ぼす効果を定量的に明らかにすることを目的とする。

方 法

被験体

実験経験がある、雄のデンショバト (*Columba livia*) 8個体を用いた。実験期間中、被験体の体重は, Logue et al.(1985), Yamaguchi et al.(2015)と同様に、自由摂食時安定体重の80%前後に維持された。被験体は平均109月齢 (SEM $\pm$ 11.44) で、食事制限前の安定体重は平均490.50 g (SEM $\pm$ 23.99)であった。本実験で使用された被験体は、オペラント条件づけを用いた選択行動の実験に使用されてきたが、並立連鎖スケジュールを用いて強化後遅延を操作した実験の経験がないため、それまでの実験歴が今回の実験結果に影響する可能性は低いと考えられる。被験体は、7:00を基点とする12時間明暗サイクルの飼育室で、水が自由に摂取できる個別ケージで飼育された。飼育室の室温は24℃前後に維持された。実験は明期に行った。

装置

ハト用実験箱 (高さ32.0 cm $\times$ 幅32.0 cm $\times$ 奥行き32.2 cm) を4台用いた。実験箱は前面がステンレス製で、後面、天井、両側面はアクリル製であった。実験箱はそれぞれ木製の防音箱 (高さ50.0 cm $\times$ 幅66.0 cm $\times$ 奥行き52.0 cm) に格納された。防音箱内に設置された換気扇を駆動させることで、無関係音を遮断した。実験箱内部の前面パネルの上部に、左右2つの円形の反応キー (直径2 cm, 中心間隔8 cm) を含む長方形 (高さ8 cm $\times$ 幅18 cm) の透明アクリル製のキーパネルが設置されていた。キーの中心は床から20 cm上方にあった。被験体はキーパネルを通して実験箱外部正面に設置された液晶カラーディスプレイ (CF-L10, Panasonic 製) を見ることができた。前面パネル下部には、床から3 cm上方に、開口部 (高さ5.0 cm $\times$ 幅4.5 cm) があり、強化時には自動給餌装置 (ENV-203M-20, Med 製) が作動し、そこに、餌ペレット (1個20 mg, Bio-Serve 製) が呈示された。開口部内部天井には、フィーダーランプ (24VDC) が1つあり、強化期に点灯した。

実験箱の天井にはルームランプ (24VDC) が2つ設置され、実験中常に点灯していた。実験箱の床には金属製の網が敷かれていた。刺激や餌ペレットの呈示、反応の検出などの実験制御には、パーソナルコンピュータ (CF-R6AC1AXS, Panasonic 製)、入出力用のPCカード (REX-5055, Ratoc 製)、インターフェイス (RYI-8, Ratoc 製; PHO-8, Ratoc 製) を用いた。

手続き

被験体は実験経験があったので、反応形成や予備訓練は省略した。本研究で使用した並立連鎖スケジュールの模式図を、Figure 1に示した。選択期にはVI 30秒スケジュール、強化前遅延と強化後遅延には定時間 (fixed time; FT) スケジュールを配置した。選択期は、左右のどちらの選択肢で強化されるのかがあらかじめ決められた、強制選択手続き (Stubbs & Pliskoff, 1969) を用いた。従って、各実験セッションでは、左右の選択肢において、無作為な順序、かつ等頻度で強化がなされた。VI値の系列は、Fleshler & Hoffman (1962) に基づき作成した。

実験が開始すると、ルームランプと白色画面上の各キーの位置に対応する場所に黒円 (直径2 cm) が呈示され、選択期が開始した。VI値が満たされた後の最初の反応が、その試行で強化されることが決まっている反応キーになされた場合には、強化前遅延期へと移行した。強化前遅延期に移行すると、両方の黒円が消失し、画面の背景色が選択肢に応じて赤色または緑色に変化し、選択された側の強化スケジュールがFTスケジュールへと切り替わった。条件ごとに設定されたFT値が満たされると強化前遅延期が終了し、強化期が開始した。強化期では、フィーダーランプが9秒間点灯し、強化子 (餌ペレット3個) が呈示された。強化期が終了すると、フィーダーランプが消灯し、強化後遅延期が開始した。条件ごとに設定されたFT値が満たされると強化後遅延期が終了した。以上を1試行とし、1セッションあたり、40試行を個別に行った。強化前遅延条件と強化後遅延条件について4種類の遅延条件 (計8条件) をそれぞれ最低14セッション行い、以下の安定基準が満たされるまで個体ごとに継続した。最終6セッションにおいて、連続する2セッションごとに選択期における平均選択率を算出し、3つの平均選択率が上昇系列及び下降系列になく、なおかつ平均選択率の差が互いに0.05以内であれば安定基準を満たしたものとした。ただし、20セッション実施しても安定基準を満たさない場合には、その条件を終了し、次の条件へと移行した。

Figure 1. Schematic diagrams of the concurrent-chains schedules used for the 8-s pre-reinforcer delay condition (left one) and the 8-s post-reinforcer delay condition (right one) in the present experiment.

強化前遅延条件 強化前遅延は、一方の選択肢では常に2秒であり、他方の選択肢では2秒、8秒、20秒、40秒のいずれかに設定され、その値は条件間で変化した。強化後遅延はいずれの選択肢においても2秒であった。

強化後遅延条件 強化後遅延は、一方の選択肢では、常に2秒であり、他方の選択肢では2秒、8秒、20秒、40秒のいずれかに設定され、その値は条件間で変化した。強化前遅延はいずれの選択肢においても2秒であった。

も2秒であった。

すべての条件を個体内要因として操作した。条件の実施順序と背景色の色（赤または緑）は、個体間でカウンターバランスした。Table 1に個体ごとの条件実施順序を示した。

結 果

各条件の最終6セッションの選択データの平均値

Table 1. Order of conditions and number of sessions (in parentheses) for each subject in the experiment.

Subject	Pre-reinforcer delay condition				Post-reinforcer delay condition			
	2 s	8 s	20 s	40 s	2 s	8 s	20 s	40 s
M0929	1 (16)	3 (15)	2 (16)	7 (20)	4 (15)	6 (14)	5 (20)	8 (20)
M0352	1 (16)	2 (20)	3 (17)	7 (20)	4 (20)	5 (17)	6 (18)	8 (17)
M0467	1 (19)	3 (15)	2 (20)	8 (17)	4 (18)	6 (14)	5 (20)	7 (14)
M0913	1 (14)	2 (20)	3 (20)	8 (14)	4 (15)	5 (17)	6 (20)	7 (14)
M0439	4 (17)	5 (15)	6 (14)	7 (20)	1 (16)	2 (20)	3 (14)	8 (18)
M0903	4 (17)	6 (16)	5 (16)	7 (20)	1 (17)	3 (20)	2 (19)	8 (20)
M0849	4 (14)	5 (19)	6 (20)	8 (19)	1 (14)	2 (15)	3 (20)	7 (15)
M0973	4 (15)	6 (20)	5 (19)	8 (20)	1 (20)	3 (20)	2 (19)	7 (19)

を分析対象とした。(2)式の両辺を対数変換すると、 S_{ord} を傾きとする一次関数として表すことができる(Yamaguchi et al., 2015) ため、各条件で得られた ORD 値の比と選択反応比の対数変換値を用いて直線回帰を行うことで S_{ord} 値を推定した。ORD 値は、強化量(3個)÷1試行の時間間隔により算出した。例えば強化前遅延が8秒の場合、選択期(30秒)+強化前遅延(8秒)+強化期(9秒)+強化後遅延(2秒)の合計である49(秒)で、強化量3(個)を除算した0.061を用いた。

Figure 2に、全体的強化密度比の対数変換値の関数としての、選択期における選択反応比の対数変換値を示した。選択反応比は、8個体の平均値に基づいて算出した。 S_{ord} 値は、強化前遅延条件(2.81)の方が、強化後遅延条件(0.32)よりも高いことがわかる。個体レベルでの選択反応比について同様の直線回帰を行った結果、回帰直線の傾きの平均値は、強化前遅延条件($M = 3.19$)の方が、強化後遅延条件($M = 0.32$)よりも有意に高いことが明らかになった($t(7) = 6.20, p < .001$)。

Figure 2. The logarithm of the response ratio during the choice phase as a function of the logarithm of the overall reinforcement density ratio. Data points indicate the average response ratio of eight pigeons. The broken line shows the locus of perfect matching between the response ratio and overall reinforcement density ratio. The solid lines are best-fitting lines estimated by the least-squares method.

強化後遅延条件では決定係数が0.22と低く、回帰直線の傾きについて、高い信頼性が得られなかった。被験体が強化後遅延に対して感度を持つかどうかを確かめるために、強化後遅延条件における選択率に対して1要因分散分析を行った。分析には、逆正弦

変換した値を用いた。もし、強化後遅延に対して感度が無いのであれば、遅延条件間で選択率に違いが見られないことが予測される。分散分析の結果、強化後遅延の主効果が有意傾向であったので($F(3, 21) = 2.90, p = .059$), Bonferroni 法による下位検定を行った結果、平均選択率は、40秒条件($M = 0.52$)の方が、2秒条件($M = 0.60$)や20秒条件($M = 0.61$)よりも有意に低いことが明らかとなった(2秒条件: $F(3, 21) = 2.90, p < .05$, 20秒条件: $F(3, 21) = 2.90, p < .05$)。

強化前遅延条件を先に行った個体と、強化後遅延条件を先に行った個体の間に、強化前遅延条件における S_{ord} の平均値に有意な差はなかった($t(6) = 0.76, n.s.$)。一方で、強化後遅延条件における S_{ord} の平均値は、強化前遅延条件を先に行った個体の方が、強化後遅延条件を先に行った個体よりも有意に高かった($t(6) = 2.12, p < .05$)。

考 察

本研究は、ハトを対象に、強化前遅延と強化後遅延が選択に及ぼす効果を、全体的強化密度比に対する感度を指標として検討した。その結果、全体的強化密度比に対する感度は、強化前遅延を操作した場合の方が、強化後遅延を操作した場合よりも高いことが明らかになった。この事実は、ハトにおいて、強化前遅延に対する感度の方が強化後遅延に対する感度よりも高いことを示唆しており、1試行の時間間隔を選択肢間で等しくしたセルフ・コントロール選択場面において、ハトが衝動性を示すことを報告した Logue et al. (1985) の結果と整合的である。

また、本研究の結果は、ラットにおける強化密度比に対する感度について、強化前遅延を操作した場合の方が、強化後遅延を操作した場合よりも高いことを示した Yamaguchi et al. (2015) の結果とも整合的である。この事実は、強化前遅延と強化後遅延の感度の大小関係について、ラットとハトの間で一般性があることを示している。ただし、Yamaguchi et al. (2015) では、選択肢間で強化量が異なっていたこと、選択期に2つの VI スケジュールを配置した自由選択手続きが用いられたこと、セッションが試行数ではなく時間の長さ(50分)で定義されたこと等、本研究との間で手続き上の相違点があるため、これらの相違点が結果にどのような影響をもたらしたかを検討することは今後の課題である。

強化後遅延条件では、(2)式を適用した結果、高い決定係数が得られなかったため、回帰直線の傾き以外の指標を用いて強化後遅延に対する感度の有無を示す必要が生じた。そこで選択率について強化後遅

延条件間で比較した結果、40秒条件の選択率は、2秒条件や20秒条件の選択率よりも有意に低かった。この結果は、ハトが強化後遅延に対して、低い感覚を持つことを表しているとともに、選択肢間で強化量と強化前遅延が等しく、強化後遅延が0秒と30秒と異なる条件では、ハトは前者を偏好することを報告した Logue et al. (1985) の結果と整合的である。

強化後遅延条件における S_{ind} 値に対する感覚は、強化前遅延条件を先に行った個体の方が、強化後遅延条件を先に行った個体よりも有意に高かった。この結果は、強化前遅延条件と強化後遅延条件で同じ背景色を用いたことによる持ち越し効果が生じたためと考えられる。

本研究の結果は、セルフ・コントロールの数理モデルである一般対応法則や全体的強化密度モデルに対して、いくつかの重要な示唆を与える。まず、本研究では、高くないが、ハトが強化後遅延に対して感覚を持つことが明らかになった。このことは、強化前遅延と強化量のみで選好が決定されるとする(1)式の一般対応法則の限界を示すものである。

次に、Yamaguchi et al. (2015) も指摘するように、ある個体について強化前遅延と強化後遅延に対する感覚が異なることは、全体的強化密度を構成する時間成分間で重みが異なることを意味する。そのため、試行を構成する各時間成分を単純に加算することによって全体的強化密度を算出する(2)式の全体的強化密度モデルでは、選好をうまく記述できないことになる。この問題を解決するには、例えば、試行を構成する各時間成分に対して重みづけを施した全体的強化密度モデルを構築する必要がある。

さらに、従来のセルフ・コントロール選択のパラダイムに基づく、個体の強化量に対する感覚が高いほど、また、強化前遅延に対する感覚が低いほど、高水準のセルフ・コントロール選択が生起することになるが、本研究や先行研究の結果は、強化前遅延と強化後遅延に対する感覚の相対的關係が、セルフ・コントロール選択の生起に重要な役割を果たすことを示している。すなわち、セルフ・コントロール選択場面において、強化前遅延に対する感覚が強化後遅延に対する感覚よりも高い場合には衝動性が生起する傾向があり、強化前遅延と強化後遅延に対する感覚が同程度の場合にはセルフ・コントロールが生起する傾向が強まると予測される。

最後に、ヒトとヒト以外の動物では、遅延に対する感覚の相対的關係において大きく異なる可能性があるが、この問題については、今後の研究での検討が期待される。また、ヒト以外の動物においても、動物種によって強化後遅延が選択に及ぼす効果は異

なる可能性がある。例えば Blanchard, Pearson, & Hayden (2013) は、サルが強化後遅延の選択肢間での相違に対して敏感ではないことを報告している。この事実は、ハトやラットを対象とした本研究や先行研究 (Logue et al., 1985; Yamaguchi et al., 2015) の結果と異なる。しかし、これらの研究には、対象となった動物種だけではなく、手続きや強化子においても相違点がある。従って、今後は、同一の方法を用いて選択測定を行い、結果を比較することで、強化後遅延に対する感覚における種差を明らかにすることが期待される。

引用文献

- Baum, W. M. 1974 On two types of deviation from the matching law: Bias and undermatching. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **22**, 231-242.
- Blanchard, T. C., Pearson, J. M., & Hayden, B. Y. 2013 Postreward delays and systematic biases in measures of animal temporal discounting. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **110**, 38, 15491-15496.
- Fleshler, M., & Hoffman, H. S. 1962 A progression for generating variable-interval schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **5**, 529-530.
- Flora, S. R., & Pavlik, W. B. 1992 Human self-control and the density of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **57**, 201-208.
- Ito, M., Nakamura, K. 1998 Humans' choice in a self-control choice situation: Sensitivity to reinforcer amount, reinforcer delay, and overall reinforcement density. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **69**, 87-102.
- Logue, A. W. 1988 Research on self-control: An integrating framework. *Behavioral and Brain Sciences*, **11**, 665-709.
- Logue, A. W., Rodriguez, M. L., Peña-Correal, T. E., & Mauro, B. C. 1984 Choice in a self-control paradigm: Quantification of experience-based differences. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **41**, 53-67.
- Logue, A. W., Smith, M. E., & Rachlin, H. 1985 Sensitivity of pigeons to prereinforc-

- er and postreinforcer delay. *Animal Learning & Behavior*, **13**, 181-186.
- Rachlin, H., & Green, L. 1972 Commitment, choice and self-control. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **17**, 15-22.
- Stubbs, D. A., & Pliskoff, S. S. 1969 Concurrent responding with fixed relative rate of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **12**, 887-895.
- Yamaguchi, T., Saeki, D., & Ito, M. 2015 Sensitivity to pre- and post-reinforcer delays in self-control choice. *Behavioural Processes*, **121**, 8-12.
- (2017. 9. 12 受稿, 2018. 2. 27 受理)