

小型霊長類動物モデルの報酬獲得行動課題の開発

Development of a reward-seeking task in marmoset monkeys

(キーワード：報酬，意思決定，行動課題，動物モデル)

(KEYWORDS: reward, decision-making, behavioral task, animal model)

○尾崎 繁(筑波大学)，大島直樹(北海道情報大学)，久野節二(筑波大学)

1. 目的

人はより価値の高い報酬をより多く得られる行動を選択する。一方、他者との関わりの中で、人は損を承知で無私の奉仕をする等、経済学的には不合理な行動を選択することも多く、むしろ単純な利害から考えると不合理な行動に価値を見出すことが人の生活に安らぎと潤い、さらには幸福感をもたらすと考えられる。近年、人を含む動物の意思決定の情報処理機構の脳科学的理解は急速に進展し、実社会における経済活動の行動選択の仕組みを解明する神経経済学が発展してきた[1]。また、人の意思決定プロセスに関する感性工学的研究も精力的に展開され、多くの成果が生まれている(e.g. [2])。

意志決定の脳内情報処理機構を解明するために、動物モデルの開発は重要である。小型霊長類のコモンマーモセット(*Callithrix jacchus*)は認知能力が高く[3-4]、他個体の表情や視線から相手の意図を理解し、順位に応じた社会的行動をとる[5]。また、家族単位の社会構造を基本とし、個体間で餌を分け合う等、人と類似の愛他的協力関係も発達している[6]。したがって、人の意思決定を支える情報処理機構の原始型の観察と評価に適した小型霊長類動物モデルとして役立つことが期待される[7]。動物モデルにより、人では不可能な環境的、遺伝的条件等を統制あるいは操作できれば、意志決定プロセスの基盤となる脳機構の理解に寄与すると共に、その要素を活用した感性工学的応用の道が拓ける。本研究では、人と類似の特質を有する動物が、種々の環境下においてどのような報酬獲得行動を選択するのか、その行動モデルを構築するための行動課題を開発した。

2. 実験方法

本研究は筑波大学動物実験委員会の承認を得て実施した。実験にはコモンマーモセット(雌4頭)を用いた。

【動物飼育】 米国立衛生研究所(NIH)の基準に準拠した飼育環境(飼育室室温：26 ± 2°C，湿度：50 ± 10%，照明：点灯11時間，消灯13時間に設定)において、動物を管理した。動物には専用飼料を主食として与え、給水瓶から水を自由に摂取させた。動物の健康状態等を毎日観察し、記録した。

【行動課題】 タッチパネルモニタに視覚弁別刺激を提示し、動物がそれに対して応答(画面上ボタンの操作)すると、適切な応答に対して報酬装置を作動させる実験装置のハードウェアとソフトウェアを開発した。動物に視覚弁別課題のトレーニング

を行い、実験システムに改良を加えながら、4頭の動物に行動課題を学習させた。

3. 結果

3.1 実験装置の開発

I/Oインターフェースモジュール(Gainer PSoC Development Board, SparkFun Electronics)とタブレット型コンピュータ(Iconia Tab, Acer, OS: Windows 7)を組み合わせて、報酬装置とする2個の電磁弁の開閉を制御した。報酬とするジュースは電磁弁を通過して実験ケージに装着したノズル(12G ステンレス管)から滴下させ、動物に与えた。報酬装置の作動(電磁弁制御電圧)と動物の行動のビデオ動画を同期させてデータ収録解析装置(PowerLab, ADI)で記録した(図1)。解析はオフラインで行った。

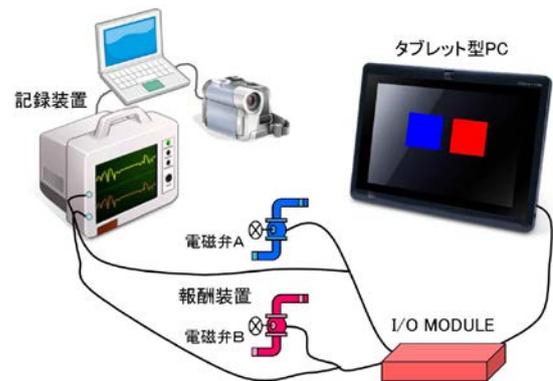


図1: 実験装置システム構成の模式図

3.2 視覚弁別課題の開発

Flash (Adobe)をプラットフォームとし、視覚弁別課題提示ソフトウェアを作製した。10.1インチ型ワイド画面(W 225 × H 127 mm)に赤と青の正方形(27 × 27 mm)の視覚弁別刺激のタッチボタンを提示した(図1)。一方のタッチボタンに触ると、純音(4 kHz, 100 ms)の合図と同時に両方のボタンが消灯する。遅延時間(x 秒)の後に、電磁弁を開けるパルス電圧(持続時間: y 秒)が出力される。電磁弁を閉じた後に刺激呈示間隔(z 秒)において両方のボタンが再点灯する。赤と青のボタンの設定時間(x, y, z 秒)は、それぞれ別々に設定できるようにした。ひとつのタッチボタンがひとつの電磁弁を制御するので、報酬(ジュース)の量と種類を別個に設定可能である。

3.2 動物のトレーニング

動物の報酬として100%果汁リンゴジュースを選択した。最初に、動物が自発的に実験ケージに入り、報酬のジュースを飲むようになるための馴化トレーニングを行った。実験ケージの格子の隙間から動物が手を出し、タッチパネル画面に触れることができる位置にタブレットを配置した。動物がジュースを飲みやすい高さになり、両方のタッチボタンの間になるようノズルを装着した。実験者がタブレットを遠隔操作し、動物が音合図とリンゴジュースの滴下を連合させて学習するトレーニングを行った。この時、報酬装置の遅延時間を1秒、電磁弁開放のパルス電圧持続時間を7秒、次の刺激提示までの間隔を2秒に設定し、1回のタスクで0.2～0.3 mlのリンゴジュースを滴下した。いずれの動物も1日1回約1時間の訓練を5回程度行うことで、音を合図にノズルからジュースを飲むことを覚えた。

次に、同じ実験環境下において、動物が自ら赤あるいは青のタッチボタンを押して報酬を獲得するためのトレーニングを行った。実験ケージ内の動物は、ジュースを飲むために自発的に試行錯誤を行いながら、適切な報酬獲得行動を学習した。その行動の一例を図2に示す。動物がいずれかのボタンを選択し、電磁弁が作動したタイミングをパルス表示(時間幅7秒)した。動物は5回程度のトレーニング(1日1回約1時間)によって、自発的に青または赤のボタンを任意のタイミングで選択し、報酬としてジュースを獲得できるようになった。

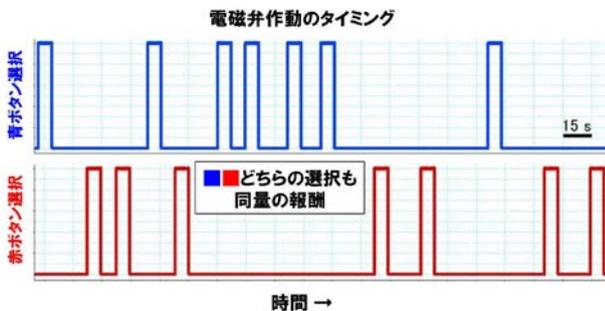


図2. 報酬獲得行動課題時のマーマセットの選択行動の例

さらに、赤と青のボタンに異なる報酬価値(一方は報酬あり、他方は報酬なし)を与え、その意味を理解させるトレーニングを行った。その結果の一例を図3に示す。青が正解(報酬あり)、赤が不正解(報酬なし)のとき、動物は赤を一度選択した後に青を5回連続で選択し、正解の報酬としてジュースを得た。ここで正解ボタンを青から赤に変更すると(図中点線)、動物は初めは青を選ぶ傾向があるものの、数回の試行錯誤を経ながら正解のボタン(赤)を理解するようになり、報酬を連続して獲得することができた。

4. 考察

人と類似の特質を有するコモンマーマセットが、視覚弁別刺激に対する報酬獲得行動を自発的に選択する課題を開発した。コモンマーマセットは認知能力が高く、マカクサルと同程度の複雑な視覚弁別課題を遂行できることが先行研究により示さ

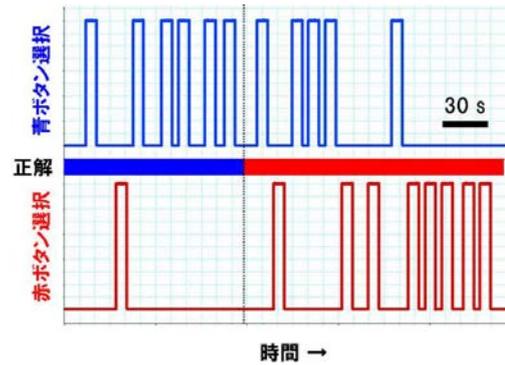


図3. 報酬の有無による選択行動の変化の例

れている[3-4]。本研究では、市販のタブレット型コンピュータと電磁弁を活用すること、ウェブデザインを含む様々な環境で汎用されているソフトウェアプラットフォームを用いることにより、視覚弁別報酬獲得課題の動物実験システムを比較的安価に開発できた。このソフトウェアに改良を加えることで、より複雑な行動課題実験の構築が可能である。

本実験システムでは、動物の報酬にジュースを選択した。その投与量(報酬量)は、電磁弁開放時間の調整により細かく制御することが容易である。また、複数の電磁弁を用いることで、異なる味のジュースや水を動物の嗜好に応じて提供できるので、報酬の質が行動に与える影響を調べることもできる。

馴化トレーニングを含め、コモンマーマセットは5回程度のトレーニングで本研究で行った行動課題の基本的習得を達成できた。この学習過程は、各個体の報酬獲得を目指した自発的な行動の生起と、その試行錯誤による強化学習の様式に従うと考えられる。今後はそれぞれの行動成績を詳しく解析して、習熟度を定量的に評価し、見極めようとして、報酬獲得行動のモデルを構築する。報酬の価値(質・量)と報酬獲得までのコスト(労働負荷)との兼ね合いが行動決定に強く影響する。報酬価値可変型の本実験システムは、コモンマーマセットの行動選択を報酬の価値とコストをパラメータとする関数でモデル化し、その行動決定様式を神経経済学的に精査するための有用なツールとなり得る。

5. 参考文献

- [1] Glimcher, P. W. (2008) Neuroeconomics: Decision making and the brain, Academic Press, San Diego.
- [2] 竹村和久(2010) 特集「意思決定」に寄せて。感性工学, 9(4):197.
- [3] Crofts, H.S., Muggleton, N.G., Bowditch, A.P., Pearce, P.C., Nutt, D.J. and Scott, E.A.M. (1999) Home cage presentation of complex discrimination tasks to marmosets and rhesus monkeys. Laboratory Animals, 33(3): 207-214.
- [4] Atsushi Takemoto, A., Izumi, A., Miwa, M. and Nakamura, K. (2011) Development of a compact and general-purpose experimental apparatus with a touch-sensitive screen for use in evaluating cognitive functions in common

marmosets. *Journal of Neuroscience Methods*, 199(1): 82-86.

- [5] Burkart, J.M. and Heschl, A. (2007) Understanding visual access in common marmosets, *Callithrix jacchus*: perspective taking or behaviour reading? *Animal Behaviour* 73(3): 457-469.
- [6] Burkart, J.M., Fehr, E., Efferson, C. and van Schaik, C.P. (2007) Other-regarding preferences in a non-human primate: Common marmosets provision food altruistically. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 104(50): 19762-19766.
- [7] Ozaki, S., Hisano, S. and Iwamoto, Y. (2012) Potency of animal models in KANSEI engineering: a basic approach from neuroscience. *Kansei Engineering International Journal*, 11(3): 127-132.

科学研究費補助金：21240020(S.H.), 23300082, 24650102(S.O.)