

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650102

研究課題名(和文) 社会的関わりによって発展・変化する報酬獲得戦略のモデル化

研究課題名(英文) Development of an animal model for studying a reward strategy process based on social interactions

研究代表者

尾崎 繁(Ozaki, Shigeru)

筑波大学・医学医療系・講師

研究者番号：60292546

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、ヒトと類似の向社会性を示すマーモセットを実験対象に、社会的関わりの中で繰り返し報酬獲得の行動戦略を実験的に再現し、その報酬獲得戦略の原理を探索することである。そのために、他個体との関わりにより報酬獲得確率が変動する社会的行動決定課題を開発し、その行動のモデル化を目指した。動物がモニタに提示される視覚刺激にタッチ応答し、報酬(ジュース)を獲得する行動を学習させた。次に、2個体を隣接させて報酬獲得課題を実施する実験記録装置の開発を行った。マーモセットの特性を活用した社会的行動決定課題の開発は、他者との関わりの中で行動選択する原理の理解と感性工学的応用に貢献できると考えられた。

研究成果の概要(英文)：The study aimed to develop an animal model for studying a reward strategy process based on social interactions. Marmoset monkeys as well as humans were known the only primates showing unsolicited prosociality. We have trained marmosets to choose visual targets on a touch-screen monitor to get a juice reward. Next, we have been developing a behavior recording system of social-related (interindividual) reward choice task for marmosets in the neighboring cages. The study suggests a possibility that development of an inetrindivisual behavioral task using marmosets can contribute to elucidate the basis of social-related reward strategy process in humans.

研究分野：感性脳科学

キーワード：感性情報学 動物モデル

1. 研究開始当初の背景

人は他者との関わりの中で、ときに虚々実々の駆け引きを行いつつ、本能的、社会的欲求を満たすために報酬をより多く得るための行動を選択する。近年、実社会の経済活動における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。しかし、将来の大きな幸福を見据えながらも、周囲との社会的な関係を破綻させることなく、より価値の高い報酬をより多く獲得するための戦略を描いていく、人の複雑な意思決定プロセスの本質に迫ることは容易ではない。そこで、社会的相互作用を反映した意思決定機構の原始型を有する実験動物を利用できれば、人の意思決定の理解とその応用研究の礎を開ける。

小型霊長類コモンマーマセットは、向社会性と長期的報酬期待に長けた特質をもつので(Burkart, et al., 2007, Stevens et al., 2005)、他個体との関わりによって報酬を得る確率が変動しうる状況下で、どのように報酬選択行動を決定するかを研究する最適な動物モデルとなり得る。しかし、人の社会に類似した環境を反映した動物実験は未だ行われておらず、そこで我々は、他者との関わりにおける長期的報酬期待や社会的情動の脳機能の解明を目指し、この動物を用いた研究開発に着手している。これらを背景に、社会的相互作用の中で獲得する報酬戦略の行動モデルを実験動物を用いて構築すれば、その情報処理機構を解明する脳科学研究を進展させるだけでなく、人の意思決定や経済活動の原理を理解し、それを社会に還元する感性工学研究へと展開し、豊かな社会の醸成に寄与できると考えた(総説: Ozaki et al., 2012)。

2. 研究の目的

一般に人を含む動物はローリスク・ローリターンとハイリスク・ハイリターンの報酬選択場面では、確率的な意志決定を行う。この意思決定プロセスは、行動決定課題により実証されてきた。本研究は、コモンマーマセットを実験に用いる。この動物の視覚認知テスト成績はアカゲザルに匹敵すると言われていたので(Crofts et al., 1999)、視覚刺激と報酬の連合学習をさせた上で、報酬の種類、量と確率などを制御した行動決定課題を開発し、選択行動における基礎的パラメータ(価値関数)を求める。その上で、他個体との関わりによって報酬を得る確率が変動しうる状況下での“社会的行動決定課題”を新規開発し、社会的な場面における報酬獲得戦略を報酬理論やゲーム理論等に基づいてモデル化する。

コモンマーマセットは、群行動下において他個体の表情や視線から相手の意図を理解し、順位に応じた行動をとることが知られている(Burkart & Heschl, 2007)。さらに、個体間で餌を分け合う等、人と類似した愛他的社会協力関係が発達している(Burkart et

al., 2007)。また、この動物は、即時性の少ない報酬よりも遅延性の多い報酬を選択する傾向を示す(Stevens et al., 2005)。

本研究はコモンマーマセットが示す向社会性と長期的報酬期待の能力に着目し、他者への思いやりと将来の予測に基づいた決定をする、人の社会的報酬獲得行動原理を実験環境下で再現する“社会的行動決定課題”を開発する。他個体と関わりながら構築する報酬獲得戦略のモデル化は、報酬情報処理の脳機能の解明に迫る可能性を有する。さらに、コモンマーマセットの報酬獲得選択行動の価値関数を決定し、人のそれとの比較することで、人の特質と報酬獲得戦略の関係を実験検証できるであろう。本研究は、実社会における人の社会経済活動の原理を動物モデルにより検証するシステムを開発し、社会性や意思決定を基盤とした様々な観点の感性工学的应用へと展開する感性脳科学研究に繋げることを目的とする。

3. 研究の方法

筑波大学動物実験委員会の承認を得て実験を実施した。

【動物飼育】 米国立衛生研究所の基準に準拠した飼育設備(室温: 26 ± 2 、湿度: $45 \pm 10\%$ 、照明: 点灯 11 時間、消灯 13 時間)で、コモンマーマセットを飼育した。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】(1) タッチパネルモニタに視覚弁別刺激画像を提示し、動物がそれに対して応答(画面上ボタンの操作)すると、適当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、報酬獲得行動課題のタスクを組んだ(図1)。

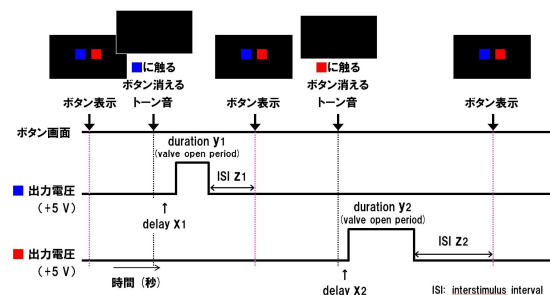


図1: 報酬獲得行動課題のタスク

タッチパネルモニタ(W 225 × H 127 mm)に視覚弁別刺激となる赤と青の正方形のタッチボタン(27 × 27 mm)を表示する。タッチボタンの一方に触ると、トーン音(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、刺激呈示間隔(z 秒)において赤青ボタンを再表示する。両ボタンの各設定値(x, y, z 秒)は、個別に設定できる。

(2) 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

頭の動物に報酬獲得行動課題を学習させた。(3)他個体との関わりの中で報酬を獲得しようとするときの個体間行動を解析するための実験記録装置を製作した。

【ストレス刺激に対する応答測定】(1) 飼育の過程で生じる環境変化をストレス刺激(ストレッサ)とした。(2)各個体から朝一番の新鮮尿(早朝尿)を非拘束・非侵襲条件下で採取する方法を開発し、環境変化の前後にサンプリングした。(3) ストレス応答の指標とする尿中コルチゾール濃度をELISA法により測定した。各サンプルのクレアチニン濃度をJaffe法により測定し、コルチゾール濃度のクレアチニン補正値を算出した。

4. 研究成果

(1) 視覚弁別報酬獲得行動課題

動物はジュース(100%リンゴ果汁)を報酬として得るために(通常:約0.2 ml/回)、自発的に試行錯誤を行いながら、報酬獲得行動を学習した。動物が青または赤のボタンを任意のタイミングで選択し、報酬のジュースを獲得できるようになった。

赤と青のボタンに異なる報酬価値(報酬量)を与え、その意味を理解させるトレーニングを行った。まず、報酬量の大小に応じた選択行動を観察した(図2)。次に、正解(報酬あり)ボタンを5回連続で選択した後に正解と不正解(報酬なし)のボタンを入れ替え、報酬の有無に応じた選択行動の変化を観察した(図3)。この変化は、連続逆転弁別学習を反映していると考えられる。行動課題を繰り返し行うことで、各個体は報酬の価値(量)を適切に見積もり、行動を効率的に選択できるようになった。

(2) 個体間の報酬獲得行動実験

“社会的行動決定課題”を開発するための第一歩として、他個体と関わりながら報酬を獲得するときの行動を解析するための実験記録装置を製作した。Burkartら(2007)の研究では、エサ(ココロギ)を手にとれるドナーと手が届かないレシピエントの2頭のコモンマーモセットを隣接する実験ケージに配置し、ドナーがレシピエントに対して自発的に餌を分配する愛他的行動を観察している。ジュースを報酬とする本研究では、図4のようにドナー(個体A)とレシピエント(個体B)に与える報酬量の条件を電磁弁制御によりそれぞれ任意に調整可能である。例えば、ドナーとなる個体Aが、自分のみが報酬を得る赤ボタンと個体AとBの両方が報酬を得る青ボタンに対して、どのような報酬条件の時にどのような選択確率を示すのかを調べることで、愛他的協力関係の程度を定量的に解析することができる。

本研究で製作した実験記録装置に2頭の個体(AとB)を配置し、個体Aのボタン選択に応じて、等量のジュースを2頭に与える報酬実験を行った。図5の例では、個体Aは赤と

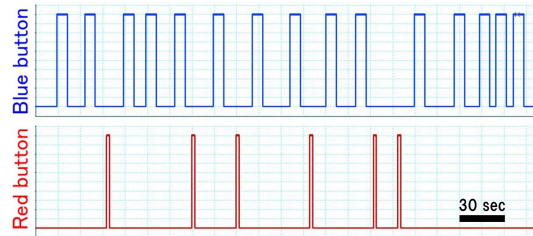


図2: 報酬量の違いによる選択行動の例

報酬量を青ボタン>赤ボタン(2:1)としたときの選択行動の変化。試行錯誤を経て、動物は青ボタンを連続して選択するようになった。横軸は時間。縦軸は電磁弁制御パルス信号。

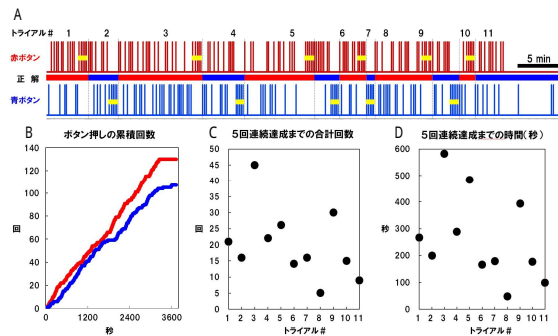


図3: 報酬の有無に応じた選択行動の例

A: 正解(報酬あり)ボタンの5回連続選択(黄線)を終えたところで正解ボタンを切り替え、報酬の有無の逆転を繰り返した(トライアル数:11回)。B: 赤・青ボタンの累積選択回数。横軸は時間(秒)。各トライアルにおける5回連続の報酬獲得までの試行回数(C)と時間(D:秒)を計測した。横軸はトライアル番号。

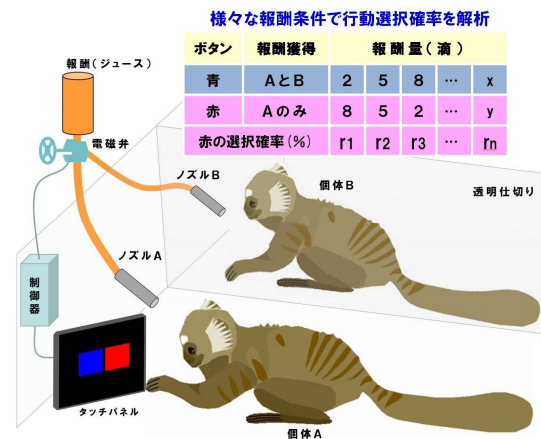


図4: 個体間報酬獲得行動実験の模式図

個体A(ドナー)と個体B(レシピエント)を隣接ケージに配置。表は、青・赤のボタンに割り振る報酬条件の例。個体Aが報酬を選択する。個体Aが利己的選択をすれば、赤の選択確率は $r_1 > r_2 > r_3$ と予想される。様々な報酬条件を設定し、行動選択確率と愛他的協力関係の相関を解析する。

青のボタンのうち、青ボタンの選択を自発的に繰り返しながら、報酬投与のタイミングに合わせてノズルを舐めていることがわかる。

一方、ボタンの選択権がない個体Bは、隣接するケージ内で報酬を期待して投与ノズルを頻繁に舐めていた。個体Aのボタン選択に伴う報酬投与合図(トーン音)を手掛かりにして報酬を獲得することができたが、合図があっても報酬獲得のタイミングを逃すこともあった(*)。また、実験装置内の2個体は、協調的あるいは示威的な個体間行動を示さず、互いの報酬獲得に対する注意が薄かった。

個体間報酬獲得行動実験システムを改善するためには、以下の対策を講じる必要がある。

選択行動(ボタン押)と報酬獲得の関係について、各個体にさらに強力な連合学習を形成する。個体間の注意を促進するため、タッチパネルモニタの配置とボタン提示方法を改良する。他方の報酬獲得状況の明示的伝達を補助する聴覚刺激等を活用する。

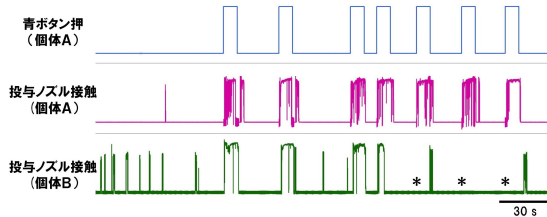


図5：2個体の報酬獲得行動実験の例

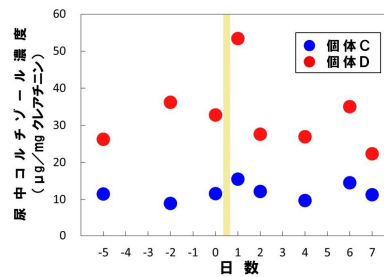
個体Aの青ボタン選択による電磁弁制御信号(上段)。個体AとBそれぞれによる投与ノズル接触タイミングの検出電気信号(中段・下段)。個体Aは自発的に青ボタンを選択して報酬を獲得した。個体Bは頻繁にノズルを舐めたり、個体Aの選択に依存した報酬を獲得した。一方、報酬投与に気づかないこともあった(*)。

(3) 個体間関係樹立の観察とストレス応答

雌雄ペアの交配による動物の繁殖を視野に入れ、個体間関係の樹立を試みた。その際、ストレスによる変調や攻撃による傷害等が動物に生じないように注意した。コンパートメント式飼育ケージの間仕切り板の一部を金網に改造し、安全に軽微な接触が可能な条件で2頭の動物(個体C、個体D)の行動を観察した。しかしながら、交配ペアとしての適否判定に至る前に個体Dが急死したため、個体間関係樹立の観察は中断した。

社会環境の変化はストレス刺激となり、様々なストレス応答を引き起こす。本研究では、コモンマームセットのストレス応答の指標として尿中コルチゾール濃度を解析した。各個体から早朝尿を非拘束・非侵襲で採取し、尿中コルチゾール濃度のクレアチニン補正值を求めた。個体CとDの新規搬入および飼育馴化過程のストレス応答(尿中コルチゾール濃度)を観察したところ、両個体と既存個体(3頭)の尿中コルチゾール濃度は、搬入後に増加し、馴化に伴い減少した(尾崎 久野, 2013)。次に馴化完了後、ペアリングに向けて個体Cの隣へ個体Dを移動させた際のストレス応答も観察した(図6)。飼育環境変化

の直後に、個体Dの尿中コルチゾール濃度と行動に影響が見られたが、隣接の個体Cに対してはほとんど変化を及ぼさなかった。



日数	動物の行動観察	
	個体C(♂) 【移動なし】	個体D(♀) 【個体Cの隣へ移動】
1 移動翌日	隣の緊張が伝染? 食欲不振?	緊張、食欲不振 軟便
2	特に変化なし	緊張気味 食欲回復

図6：個体Cの隣への個体Dの移動に伴うストレス指標と行動の変化

グラフ：移動前後12日間に採取した早朝尿サンプル中の尿中コルチゾール濃度(縦軸)。横軸は日数(移動当日を0日)。0日の午後(黄縦線)に個体Dの飼育ケージを移動。表：移動後の容態変化。

(4) まとめ：課題と展望

人と類似の愛他的社会協力関係が発達しているコモンマームセットを用いた報酬獲得行動課題を開発した。継続的なトレーニングにより、異なる条件の報酬獲得行動課題に対して、動物はより多くの報酬を獲得するための選択を習得した。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。本実験システムは、報酬(ジュース)の価値(量・種類)を任意に変更可能なので、動物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る。“社会的行動決定課題”の開発の完成に向けては、各個体の行動成績を詳しく解析し、習熟度を定量的に評価する必要がある。そのうえで、動物の選択行動と報酬獲得の間により強力な連合学習を形成すること、個体間の注意を促進し、他個体の報酬獲得等を把握できる実験システムへの改善を進めなければならない。

社会環境、他者(他個体)との関係はストレス刺激となり、種々のストレス応答を引き起こすと考えられる。本研究は、尿中コルチゾール濃度変化を指標とするストレス応答の解析を行った。個体間関係樹立の観察と交配・繁殖は、動物の死亡により中断してしましたが、新規個体を導入し、計画を練り直す。

人が社会的関わりの中で構築する報酬獲得戦略の原理の理解を深めるために、愛他的社会協力関係を特徴とする動物モデルの実験系を適用すれば、人の実験系では不可能な環境的、遺伝的条件等を統制あるいは操作した脳科学研究を展開できる(総説：Ozaki et al.,

2012)。コモンマーマセットの“社会的行動決定課題”による報酬獲得戦略のモデル化は、意志決定プロセスの基盤となる脳機構の解明に貢献するのみならず、その原理を活用した感性工学的応用展開の道も拓く可能性を有している。

<引用文献>

Burkart, J.M., Fehr, E., Efferson, C. and van Schaik, C.P. (2007) Other-regarding preferences in a non-human primate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* 104:19762-19766.

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.

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: 207-214.

Ozaki, S., Iwamoto, Y., Hisano, S. Potency of animal models in kansei engineering: a basic approach from neuroscience. *Kansei Engineering International Journal*, 11(3): 127-132, 2012.

Stevens, J.R., Elizabeth, J.R., Hallinan, V. and Hauser, M.D. (2005) The ecology and evolution of patience in two New World monkeys. *Biology Letters* 1: 223-226.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計7件)

尾崎 繁、大島直樹、久野節二 小型霊長類動物モデルの報酬獲得行動課題の開発、第16回日本感性工学会大会、2014年9月5日、中央大学(東京都文京区)。

尾崎 繁 好みの感性に迫るための脳科学の流儀、シンポジウム「脳科学の流儀：好みの感性に迫る」、第16回日本感性工学会大会、2014年9月4日、中央大学(東京都文京区)。

尾崎 繁、久野節二 霊長類動物モデルにおけるストレス応答の評価、第15回日本感性工学会大会、2013年9月7日、東京女

子大学(東京都杉並区)。

尾崎 繁 感性を測るための脳科学の流儀、シンポジウム「脳科学の流儀：感性を測るということ」、第15回日本感性工学会大会、2013年9月6日、東京女子大学(東京都杉並区)。

岩本義輝、尾崎 繁 感性とヒューマンダイナミクス 神経生理学の視点を入れて、JSME Symposium: Sports and Human Dynamics 2012、2012年11月15日、愛知大学(愛知県豊橋市)

緒方洋輔、山本三幸、尾崎 繁 数量判断課題時における事象関連電位の測定と解析、第14回日本感性工学会大会、2012年8月31日、東京電機大学(東京都足立区)。

尾崎 繁 縁(えにし)の感性工学、シンポジウム「縁(えにし)の感性工学」、第14回日本感性工学会大会、2012年8月30日、東京電機大学(東京都足立区)。

[図書](計1件)

尾崎 繁(編著者)他、筑波大学出版会、感性認知脳科学への招待、2013、199

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

http://www.md.tsukuba.ac.jp/basic-med/p_hysiology/sys-neurosci/index.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

尾崎 繁 (OZAKI, Shigeru)

筑波大学・医学医療系・講師

研究者番号：60292546

(2)研究分担者

水挽 貴至 (MIZUHIKI, Takashi)

筑波大学・医学医療系・助教

研究者番号：60463824

(3)連携研究者

なし