

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：82609
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22650055
 研究課題名（和文）ニホンザルにおける「囚人のディレンマゲーム」とディレンマ関連脳活動
 研究課題名（英文）“Prisoner’s dilemma game” in Japanese monkeys and its neural correlates.

研究代表者
 渡辺 正孝（WATANABE MASATAKA）
 財団法人東京都医学総合研究所・認知症・高次脳機能研究分野・特任研究員
 研究者番号：50092383

研究成果の概要（和文）：協調・競争の起源やメカニズムを調べるため、サルに繰り返しのある「囚人のディレンマゲーム」を行わせる試みを行った。8段階ほどのステップを踏みながら訓練し、2頭のサルがこのゲームで対戦する段階まで実験を進めた。しかし2頭のサルでのゲーム事態では、サルがゲームの性質を十分理解しているとは言えない反応を示したことから、反応傾向を分析し、新たな手続きに基づく実験を開始した。

研究成果の概要（英文）：We trained Japanese macaque monkeys to play a “iterated prisoner’s dilemma game” by successive approximation procedure. Monkeys attained the level where they continuously played the game. However, analyses of their behaviors revealed that they did not necessarily comprehend the game structure. We thus devised a new task situation where the monkey could better understand the game structure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	0	1,500,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	420,000	3,320,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：囚人のディレンマゲーム、サル、競争、協力、報酬

1. 研究開始当初の背景

社会行動における協調と競争のプロセスは経済学、社会学や心理学において長く調べられてきており、多くのことが明らかになっている。最近では協調・競争の起源や、メカニズムを調べるために、霊長類における社会行動の研究も増加している。例えば、フサオマキザルは、相手が見知っている存在で、自分も相手と同等の分け前がもらえる限りにお

いて、相手に「思いやりのある」行動もとること(de Waal et al. Giving is self-rewarding for monkeys. Proc Natl Acad Sci U S A. 2008 105:13685-9.)、マーモセットは、血縁関係や協力関係にない相手にも餌を分け与えるという利他的行動を示すこと(Burkart et al. Other-regarding preferences in a nonhuman primate: common marmosets provision food altruistically.

Proc Natl Acad Sci USA 2007 104:19762-6)、しかしより進化した霊長類と考えられるチンパンジーでは、利他的行動はあまり見られないこと(Silk et al. Chimpanzees are indifferent to the welfare of unrelated group members. Nature 2005 437:1357-9)、ニホンザルの属するマカクザルでは、どのサルとどのサルがペアになるのかにより利他的行動が見られることも、見られないこともあること(Colman et al. A method for studying altruism in monkeys. The Psychological Record, 1969 19: 401-405)、といった結果が示されている。

協調行動が必ずしも進化した動物ほど見られるわけではないという研究結果は、協調と競争の起源やメカニズムを考える上で多くの研究者の興味を引いている。申請者は、二頭のニホンザルに競争的シューティングゲームを訓練して、競争に伴う「勝ち・負け」に関わるニューロンメカニズムを調べる研究を行ってきた。ニホンザルでは、競争があるときは、競争がないときに比べて反応のスピードも、正確さも増すことが示されている。

2. 研究の目的

社会行動における協調と競争のプロセスは経済学、社会学や心理学において多くのことが明らかになっている。最近では協調・競争の起源やメカニズムを調べるために、霊長類における社会行動の研究も増加しているが、協調行動が必ずしも進化した動物ほど見られるわけではなく、動物における協調行動の脳メカニズムの解明が、協調と競争のプロセスを理解するカギになると考えられる。

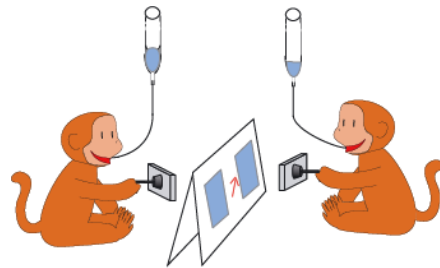
そこで「協調と競争」の両方の側面を見るために、その両方の側面を含むゲームである「囚人のディレンマゲーム」を用いるのが適当であると考えた。このゲームはヒトの協調・競争行動を調べる上で広く用いられており、パラメーターの変化に伴う行動の変化や、その関係の数式化などについても多くの研究の蓄積がある。相互の関係についても統制しやすいニホンザルにこのゲームをさせることにより、言語機能を介さない、より純粋な形でゲーム行動を調べ、協調と競争のプロセスの理解と、ゲーム中の脳活動を調べることによる協調・競争の脳メカニズムの解明を目的とした。

3. 研究の方法

サルにこのゲームを理解させ、その上で反応することができるように、8段階ほどのステップを踏みながら、少しずつサルを訓練した。最初は、「協調」と「競争」に相当する選択肢を選ぶと、一定の割合で報酬が与えられたり、与えられなかったりすることを経験させた。次いでコンピューターが相手となる条件で、ゲームを訓練した。その過程で、サルが刺激の意味するところと、ゲームのルールを理解していることを、様々な行動的指標を用いて確認しつつ、訓練を行った。最後にサル対サルの間でこのゲームをさせた。

実際のゲームでは、図1に示すように2頭のサルを相対して座らせ、手前にあるジョイスティックを操作することにより右か左の選択肢を選ぶようにした(2頭のサルは同じ画面が見せられる)。2つの選択肢は協調と競争の2つである。報酬は液体報酬(ジュース)を用い、自分のもらえるジュースの量も、相手ももらえるジュースの量も両方のサルがそれぞれみることができるようにした。

図1



ここで例えば図2のようなマトリックスの表を用いた場合、

図2

2頭のサルがともに協調を選べばお互いが2単位ずつのジュースが得られる。両方の

相手の手 (→)	協調	競争
自分の手 (↓)		
協調	(2, 2)	(1, 4)
競争	(4, 1)	(0, 0)

サルが競争すると、ともにジュースは全く与えられない。片方が協調反応をし、もう片方が競争反応をすると、競争反応をしたサルは4単位のジュースが得られるが、協調したサルは1単位しか与えられない。

サルにこの課題ルールを理解させるために、次のようなステップで訓練を行った。

(1) サルには、まず中央に出る四角のカー

ソルが、サルの手前にあるジョイスティックを操作することにより動かすことができることを学ばせた

(2) 次に「青い長方形」の中の図が意味をもつこと、すなわち中に「○」があればジュースが与えられる、「X」があればジュースは与えられないことを学習させた。

(3) サルが○とXの意味を理解していることを確認するため、左右ランダムに○とXを含む「長方形」を提示した。サルがジョイスティックで動かすカーソルは各サルに固有の色（黄色または緑色）とした。カーソルが青い長方形を捉えると、その長方形の色はカーソルの色に変化し、サルに選択肢を捉えたことを知らせるようにした。

(4) 次に左右にそれぞれいろいろな数の○とXを含む長方形を提示し、サルにどちらかを選ばせた。

(5) 次に長方形の中の○の数を増し、いろいろなバージョンを使い、サルがどちらを選ぶかを調べた。サルは確実により多くの報酬が得られる方を選んだ。

(6) 次に実際に囚人のディレンマゲームで用いる○やXの数を持つ長方形を提示して、サルに選んだ側の長方形の内容に応じて50%の確率で報酬が与えられることを十分に学習させた。図3の例では、黄色のカーソルのサルが、Xと○3つを持つ青い長方形を捉えたときに、長方形の色が黄色に変わったところを示す（ここではサルは3単位の報酬か、無報酬を得ることとなった）。

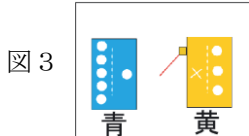


図3

(7) この段階からコンピューターを相手にしたゲームを開始した。ゲームに入ると、カーソルが長方形を捉えたときの色の変化はコンピューターとのゲームに特有のものとなった。それと同時に、マトリックスに従って与えられるべき報酬に応じてソレノイドバルブがその回数だけ開き、開いた分の量のジュースがサルの目の前のシリンジに提示された。その報酬は2秒後にサルに与えられた。

(8) この段階であらかじめ(7)までの訓練が終わっている2頭のサルを導入した。ここで囚人のディレンマゲームが始まった。サルにはそれぞれ緑あるいは黄色のカーソル

を割り当てた。ここでは(7)でコンピューターが果たした役割を、もう1頭のサルが担うことになった。こうした訓練が完成した後は、マトリックスをいろいろ変えて、サルの行動を見た。

4. 研究成果

(1) サルは1頭だけでの訓練では、より多くの報酬が得られる選択肢を確実に選んだ。コンピューターが相手のときにも、そうした傾向が見られた。

(2) 2頭のサルでのゲーム事態では、これまでのところサルにゲームの性質が十分理解されているとは言えない段階にしか至っていない。すなわち、右が左の選択肢のみに反応する、あるいはランダムな反応をする、というような、訓練が十分でないときにサルがよくとる行動が多く見られ、より多くの報酬を得るための適切は反応ができるところまでは至っていない。

A (Monkey 1)

B (Monkey 2)

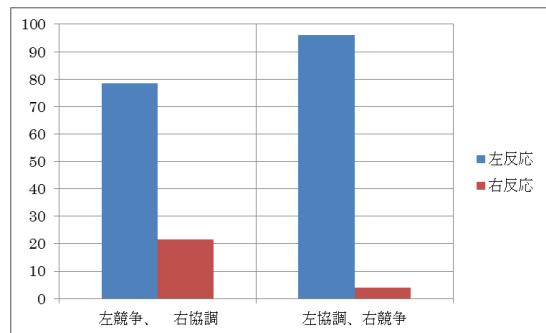
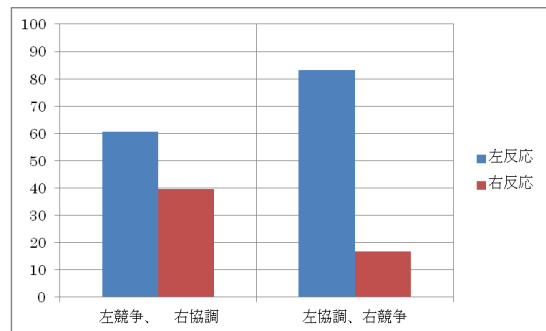


図4



ここでは競争反応のターゲットを選ぶと、もらえる報酬は4単位か0単位、というようにリスクが大きいのに対し、協調反応のターゲットを選ぶと、もらえる報酬は1単位か2単位で、安全な選択、というゲーム構造であつ

た。

もし競争か協調のどちらかを好んで選択するとしたら、競争ターゲットと協調ターゲットが右になっても左になっても、同じように競争か協調のターゲットを選んだはずである。ところが、リスクが高いターゲットが左に来ても、右に来ても、どちらのサルも左のターゲットを選ぶ割合がはるかに大きかった。

(3) 訓練が成功しなかった原因として、サルが自分と相手の報酬量がどのくらいに十分注意を払わないという傾向が見られたことが関係していると考えられることから、今後はサルに相手の、そして自分の報酬に十分に注意がいくような設定にして新たな実験を行いたいと考えている。

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4件)

①Hosokawa T, Watanabe M. (2012) Prefrontal neurons represent winning and losing during competitive video shooting games between monkeys *Journal of Neuroscience* (in press). (査読あり)
<http://www.jneurosci.org/content/>

②渡辺正孝 (2011) デフォルト脳活動 *Clinical Neuroscience* 29(11): 1314-1315. (査読なし)
https://www.chugaiigaku.jp/modules/shop/index.php?main_page=product_info&cPath=3_71&products_id=1203

③渡辺正孝 (2011) 脳活動から見える動物のこころ *動物心理学研究* 61(2): 131-139. (査読あり)
[DOI:10.2502/janip.61.2.1](https://doi.org/10.2502/janip.61.2.1)

④Watanabe M. (2011) Do monkeys think? Default brain activity in humans and nonhuman primates. *Behavioral Brain Research* 221: 295-303. (査読あり)
[DOI:10.1016/j.bbr.2011.02.032](https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.02.032)

[学会発表] (計1件)

①Kojima T, Kodama T, Honda Y, Hosokawa

T, Watanabe M. Oral administration of methylphenidate increases dopamine release in the prefrontal cortex and striatum in the monkey - a microdialysis study *Society for Neuroscience*, Washington DC, USA, (2011-11-14)

[図書] (計3件)

①渡辺正孝(2012) サルに内的思考過程は存在するか? - サルにおけるデフォルト脳活動 シリーズ社会脳、第1巻、「社会神経科学の展望——脳から社会をみる」 荻阪直行編、新曜社 pp.145-162.

②Watanabe M. (2012) Cognitive and Motivational Control of Behavior and the Primate Prefrontal Cortex. In Stuss DT & Knight RT (eds.) *Principles of Frontal Lobe Function*, 2nd Edition, Oxford University Press (in press).

③鹿取 廣人, 金城 辰夫, 鈴木 光太郎, 鳥居 修晃, 渡辺正孝 (2011) 翻訳 行動の機構——脳メカニズムから心理学へ (D. O. ヘップ 著), (上) (下) (岩波文庫) (担当: 第10章、情動障害、72ページ分)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 正孝 (WATANABE MASATAKA)
財団法人東京都医学総合研究所・認知症・高次脳機能研究分野・特任研究員
研究者番号: 50092383

(2) 研究協力者

児玉 亨 (KODAMA TOHRU)
財団法人東京都医学総合研究所・認知症・高次脳機能研究分野・副参事研究員
研究者番号: 20195746

本多 芳子 (HONNDA YOSHIKO)
財団法人東京都医学総合研究所・認知症・高次脳機能研究分野・研究員
研究者番号: 50142154

小島 崇 (KOJIMA TAKASHI)
財団法人東京都医学総合研究所・認知症・高次脳機能研究分野・研究員
研究者番号: 30225429