

## 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 5 月 31 日現在

機関番号：32639

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2008～2011

課題番号：20680020

研究課題名（和文） 注意と階層的意識決定の神経機構

研究課題名（英文） Neural mechanisms of attention and hierarchical decision making

研究代表者

鮫島 和行（SAMEJIMA KAZUYUKI）

玉川大学・脳科学研究所・准教授

研究者番号：30395131

研究成果の概要（和文）：

我々の意思決定は、具体的な運動から抽象的な目標まで様々である。このような階層的で多様な意思決定の神経機構を調べるために、認知的に目標を決定する過程と具体的に運動を決定する過程を時間的に分離した課題を動物に行わせている際の大脳基底核の神経細胞活動を観測・解析した。その結果、線条体内のサブ領域において認知的に目標の比較と選択に必要な情報と、選択後に現れる情報がコードされていることが明らかになった。このことは、大脳皮質と大脳基底核を結ぶ多重ループ回路が、様々なレベルでの意思決定に関与する事を示唆する。

研究成果の概要（英文）：

In order to investigate our hierarchical decision process that includes from choosing an abstract goal to a concrete movement, we investigate striatal neural activity during monkeys performing a decision task of selecting cognitive goal-stimulus that temporally dissociated from selecting actual movement. By the neural representation recorded from anterior striatum, we found the pre-decisive possible offered-target information and also post-decisive chosen-target information in the striatum. These result of the study suggest that the multiple cortico-basal ganglia circuit might involves multiple abstract-levels of decision making, especially anterior-medial part of the caudate nucleus might be involved in abstract target selection process.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	9,200,000	2,760,000	11,960,000
2009 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2010 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2011 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	19,800,000	5,940,000	25,740,000

研究分野：神経科学一般

科研費の分科・細目：神経科学、神経科学一般

キーワード：脳・神経、機械学習、認知科学、モデル化、生理学

## 1. 研究開始当初の背景

我々の意思決定には、様々な階層がある。1つの意思決定が非常に長期に亘り大きな結果に影響する場合もあれば、1つの意思決定

の結果がその都度小さな影響を及ぼすだけの場合もある。このように時間的／空間的に様々な影響が混ざり合う複雑な状況において、私たち人間を含む動物は意思決定を行わ

なければならない。これまでの意思決定の研究では特に1回1回の試行において非常に短時間に与えられる餌や水などの報酬を結果として受け取る場合において、神経の機能が調べられてきた。特に、意思決定を行っている際の大脳皮質と大脳基底核の神経生理学や非侵襲脳活動計測の知見では、ある運動を選択しその結果がすぐに与えられる課題を用いて調べられ、線条体の神経活動が「選択の報酬価値」をコードすること (Samejima 2005) や、皮質-線条体シナプスの可塑性が行動の強化に関係する事などが明らかになってきている。しかし、行動のみならず、注意や記憶の操作など運動を伴わない、後の行動に影響する認知的操作に関する選択も、報酬の影響を受けて強化される可能性が、解剖学的な結合や損傷実験などから示唆されている。キンソン病の症状においても、運動の障害のみならず、認知的機能に障害がおこることが報告されている。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究課題では、多重の大脳皮質-大脳基底核ループ結合回路が、認知的高次の意思決定から、具体的運動で低次の意思決定までの多様な階層に亘る意思決定に関わる、という仮説を検証した。特定の運動を報酬の大小や確率によって選択する課題のみならず、注意や記憶を認知的に操作する課題を動物やヒトに行わせ、その課題中の大脳皮質と大脳基底核の神経活動を電気生理学的に、またヒトの場合には非侵襲脳活動計測を行う事によって、認知的意思決定に関わる大脳皮質-基底核のサブグループや運動的意思決定に関わるサブグループなどを機能的に示し、それぞれの情報コードや働きを明らかにする。

## 3. 研究の方法

動物実験では課題遂行中の大脳基底核線条体からの単一神経活動記録を行った (図1)。また、ヒトにおいても同様の行動実験を行い脳活動の非侵襲計測を行った。この研究で用いる課題では、複数の刺激属性と報酬量との関連性を変化させ、関連性を学習させると同時に、複数の刺激からその属性から予測される報酬価値に従った選択を行わせる。動物やヒトの報酬に基づく選択価値のみならず、刺激の属性に関する情報や、現在注目すべき属性による線条体の神経活動の変化を観測することにより、大脳基底核が認知的に複数の刺激から1つを選択する過程と、実際に運動によって選択する過程の選択の機構について調べることができる。

意思決定課題では、4種類の色と形の属性を持つ16種類の刺激からランダムに異なる色と形を持つ提案刺激を2つ呈示したのち、それぞれを1つずつ再呈示される。動物はど

ちらかの再呈示された刺激に対して反応することによって刺激に応じた報酬を得る。4種類の色または形の一方の属性にのみ4段階の報酬量が1ブロック144試行の間関連づけられる (図2)。次のブロックでは刺激属性と報酬の関係は再びランダムに関連が変更されるため、毎ブロック探索によってより多くの報酬を得るような選択を学習し直さなければならない。また、比較と選択を行わないコントロール課題として、強制的に1つの刺激を選択させる課題も同時に訓練した。この課題では、最初に呈示される1つの刺激を記憶し、その図形が再び呈示された時に反応する事で報酬が与えられる。異なる刺激が呈示された場合に反応した場合にはエラーとなり報酬は与えられない。

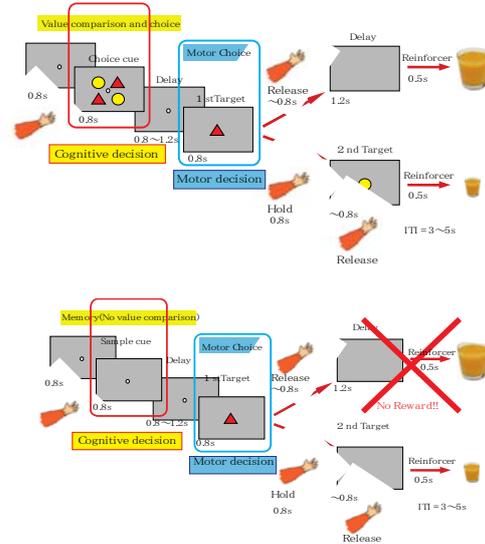


図1. 課題の時間経過。自由選択課題 (上段) と強制選択課題 (下段)

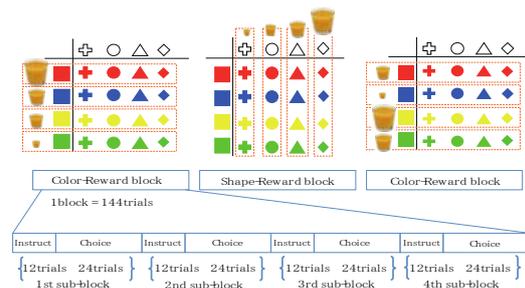


図2. 刺激と報酬の関係の時系列。

## 4. 研究成果

サルは、報酬と刺激の関係を試行錯誤によって学習し、より大きな報酬に関連した刺激を選択する事ができた。また、サルの行動選択の正確さは、2つの刺激が予告する報酬量の差によって変化していた。さらに、サルの行動時の反応時間を計測したところ、予測される報酬の量に従って反応時間が短くなっ

ていた。このことから、サルは各図形の報酬量を認知し、2つの刺激からの報酬予測を比較することでより多くの報酬を得る選択肢に対して正しい意思決定を行っていることが示唆された。

この課題を遂行中のサルの線条体の神経活動を計測した。2つの提案刺激を呈示する期間、すなわち2つの報酬量を予測し選択する期間においてタスク関連神経細胞の約40%が最大発火を行っていた。運動を決定する期間や報酬を得る期間に最大の活動を示す神経細胞の割合よりも多くの神経細胞が図形から報酬を予測/比較し選択する期間に活動を示していた。

特に、前方の線条体においてより多くの神経細胞が認知的な意思決定を行う期間に強い活動を示していた。さらに、この期間の神経細胞を呈示刺激に分類して詳細に検討した結果、その活動が刺激の色によって活動を変化させるが刺激の形には関係のない神経細胞や、逆に形によって活動を変化させるが、色には活動の変化の無い神経細胞が多数みつかった。このことは、線条体における各細胞が1つの刺激に与えられた色と形という属性を独立とした情報コードをもっている事を示唆している。

さらに、この期間の活動は、呈示された刺激のみならず、その後動物が選択した刺激によって活動を変える事がわかった。提案刺激の情報表現は、その刺激が消失して遅延期間に入ると減少していたが、選択された刺激の情報は遅延期間中と再呈示されるまで持続した。すなわち、2つの刺激を認知・一次記憶するのみならず、それぞれの刺激の報酬の比較によって選択を行い、選択された情報を有している事が示唆された。

このような神経細胞群が、自ら選択した刺激に特異的に反応するのか、それとも外部からの刺激によっても駆動されるのかを調べるために、提案刺激を2種類ではなく1種類として強制的にその刺激を後で選択させるコントロール課題中の神経活動と比較を行った。その結果、比較を行う時により強い活動を示す神経細胞は、線条体のより吻側に多く、内側尾状核により多く見られる事がわかった。

この線条体の部分領域は、内側前頭前野や眼窩皮質領域の内側ネットワークからの情報を受ける事が、解剖学的先行研究から知られている。内側前頭前野や眼窩皮質領域は、経済的価値に基づく意思決定やコンフリクトに関わると考えられている。これまでの知見では大脳皮質が認知的な情報処理に関わり、大脳基底核は運動や習慣化された行動選択に関わるという、大脳皮質-皮質下の違いによる階層的制御が考えられて来た。しかし、本研究課題によって、大脳基底核の一部も

より高次の認知的情報処理に関わることが明らかになった。大脳皮質-大脳基底核の多数あるループ回路の一部分の情報表現がより認知的な色や形を比較し選択するという過程に関わる事が単一神経細胞レベルの情報表現を見る事によって、その機能的な役割が示唆された。この結果は、大脳基底核の機能における階層的な意思決定機能を考える上で重要な知見である。

#### 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)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 野々村聡, 鮫島和行, 他, Neural activity in the anterior striatum during comparison of reward values, 日本神経回路学会21回全国大会 2011年12月15日(沖縄科学技術大学院大学, 沖縄)
- ② Nonomura S, Samejima K, et al, Neural activity in rostral striatum during cognitive decision making, Annual meeting of Society for neuroscience 2011年11月12日 (Washington DC, USA)
- ③ 野々村聡, 鮫島和行, 他, 認知的意思決定における背側線条体の神経活動, 第22回日本神経科学大会, 2010年9月3日(神戸コンベンションセンター, 兵庫)
- ④ 鮫島和行, 他, Cognitive decision and option value representation in dorsal striatum, Joint Tamagawa-Caltech Lecture Course on Decision Making, 2010年3月3日(玉川大学, 東京)
- ⑤ 鮫島和行, 他, 認知的意思決定における背側線条体の神経活動, 脳と心のメカニズムシンポジウム, 2010年1月12日(ルスツリゾートホテル, 北海道留寿都村)
- ⑥ 鮫島和行, *Reward-Based Action Selection and Cortico-Basal Ganglia Network*, Neuro Social Science Workshop 2009年2月24日(千里阪急ホテル, 大阪)

[その他]

ホームページ等

<http://www.tamagawa.ac.jp/teachers/samejima/samejima-j/Aboutme.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鮫島 和行 (SAMEJIMA KAZUYUKI)  
玉川大学・脳科学研究所・准教授  
研究者番号：30395131

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し