

氏 名 出馬 圭世

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1261 号

学位授与の日付 平成 21 年 3 月 24 日

学位授与の要件 生命科学研究科 生理科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 **The neural basis of social reward and decision-making**

論文審査委員 主 査 教授 伊佐 正  
教授 定藤 規弘  
教授 柿木 隆介  
教授 岡沢 秀彦（福井大学）

Among animals, the complexity of social behaviors exhibited by humans is outstanding. Although the question of how humans make a decision in social situations has been a central theme in a social psychology context, findings are largely limited to behavioral data. On the other hand, while considerable progress has been made in understanding the neural basis of the decision-making process in neuroscience, the findings are largely based on neurophysiological studies with experimental animals, and how well the same neural process can account for human decision-making in social situations remains unclear. To bridge this gap and improve models of human social decision-making, three human neuroimaging studies using functional magnetic resonance imaging (fMRI) were conducted. In doing so, he based my research questions on the social exchange theory, which states that the behaviors of individuals in social situations are no different from their economic behaviors, as each person tries to maximize the ratio of rewards to costs, and not only materialistic rewards, such as food or money, but also non-material social rewards, such as social approval or good reputation, play a key role in social decision-making.

In the first study, he tested the basic claim of the social exchange theory, that is, whether the abstract social reward of good reputation from others is processed in the same reward-related brain areas (e.g., striatum) as monetary reward. In total, 19 human subjects participated two fMRI experiments; one involving monetary reward and one involving social reward. It was found that perceiving one's good reputation among others activated the striatum, and these areas overlapped with the areas activated by monetary rewards, suggesting that the abstract social reward of good reputation is processed in the similar manner with materialistic reward in the human brain. It was also found that medial prefrontal cortex (mPFC) was activated when subjects perceived their own reputation, which is the result consistent with the idea that mPFC's function of forming meta-cognitive representation might be crucial for understanding one's reputation.

In the second study, he investigated the neural correlates of valuation computation during prosocial decision-making (e.g., charitable donation) in front of observers. When making a donation especially in front of other people, good reputation (or social approval) from them should work as an incentive for such a prosocial behavior and thus be processed in the brain. While their brains were scanned by fMRI, 23 human subjects performed a donation task in the presence or absence of real observers. Behavioral data showed that the mere presence of observers increased donation rates, and neuroimaging results revealed that activation in the ventral striatum before the same choice ("donate" or "not donate") was significantly modulated by the presence of observers. Particularly high striatal activations were observed when a high social reward was expected (donation in public) and when there was the potential for monetary gain without social cost (no donation in the absence of observers). These results suggest that invisible social reward is certainly processed in our brain, notably the striatum, during social decision-making and affects actual prosocial behaviors.

In the third and final study, he tested the roles of the mPFC and the striatum in reputation processing. It was hypothesized that processing one's own reputation would require reputation

representation in the mPFC and value representation in the striatum. This idea was directly tested by having 26 human subjects disclose their behavioral tendencies with reference to social norms in the presence or absence of other people, which is the manipulation known to greatly affect individual's reputational concern. It was found that the mPFC activity during the self-referential task was significantly enhanced by the mere presence of observers. Moreover, the striatum was also strongly activated during self-presentation in front of others. These results suggest that the mPFC together with the striatum play a crucial role in processing one's reputation.

The results of three studies consistently showed that the abstract social reward of good reputation, which is an important incentive for human social behaviors, were processed as a "common neural currency" in the striatum, and it codes the value of the social reward when experiencing it (the study 1), when making a decision to acquire it (the study 2), and when anticipating or being motivated for it (the study 3). The data from the studies 1 and 3 also indicated that the mPFC plays an essential role in understanding one's reputation. Whereas the function of the striatum in reward processing is shared by other animals, the function of the mPFC to represent other's mind is said to be uniquely-human. Therefore, the findings indicate not only that the mPFC and the striatum play an important role in regulating human social behaviors in everyday life and but also that these two brain areas may be the key neural structures which make uniquely human altruistic behaviors possible.

## 論文の審査結果の要旨

我々ヒトは高度に社会的な動物であり、その社会性はほかの動物と比べ群を抜いている。社会心理学ではヒトの社会性に関して多くの知識が蓄積されているが、その知見のほとんどは行動データに限定されている。一方、報酬処理や、報酬に基づいた意思決定の神経基盤については主に実験動物を対象とした神経科学の研究により、近年非常に目覚ましい進歩が見られているものの、その知見がどこまでヒトの特に社会的状況における意思決定・行動を説明できるのかは不透明なままである。そこで申請者では、この二つの分野の橋渡しをし、ヒトの社会的意思決定についての統合的モデルを構築することを目的とし、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を使用した三つの研究を行った。社会的交換理論によると、複雑で多岐にわたるヒトの社会的行動も報酬の最大化を目的とした合理的な行動と捉えることができるとしている。つまり、この理論ではヒトは状況が経済的であるか社会的であるかにかかわらず、自分の利益の最大化を意図して行動を選択するはずだとし、さらにその場合の利益にはお金や食べ物などの物質的な報酬だけでなく、他者からの称賛や名声などの社会的な報酬も含めている。本研究ではこの理論を基礎とし、ヒトの社会的意思決定の神経基盤を検討した。

まず一つ目の実験においては、社会的交換理論の基礎となる主張を検討した。具体的には、「抽象的な社会的報酬である他者からの良い評判の処理は、物質的報酬である金銭報酬と同様に脳の報酬系(線条体)で処理されているか」ということを検討した。計19名の被験者にfMRIスキャン中に金銭報酬と、他者から被験者への良い評判を知覚させると、この二つの報酬は共に線条体で同じ活動パターンを見せた。これはつまり、他者からの良い評判という社会的な報酬も脳内では金銭報酬同じように処理されているということを示している。また、内側前頭前野(mPFC)は社会的報酬獲得時に特異的な活動を見せており、この結果はこの部位におけるメタ認知表象形成機能が自分の評判を理解する上で必要となるということを示唆している。

二つ目の研究においては、人前での向社会的意思決定(寄付行為の選択)時における価値査定にかかわる神経基盤を検討した。人前で寄付のような社会的に良い行動を行う場合は、その行為を見た他者からの良い評判や社会的受容といった社会的報酬がその誘因となり、脳内でその価値が処理されていると考えられる。そこで23名の被験者にfMRI内で寄付課題を行わせ、その際に自分の選択が他者から見られているか否かを操作した。その結果、同じ行動選択時(i.e., “寄付する”、または “寄付しない”)の線条体の活動は観察者の有無に影響を受け、人前で寄付を選択した場合(高い社会的報酬を期待)と他者が見ていない時に寄付をしないという選択をした場合(社会的コストなしで金銭報酬を期待)に特に高い活動を示した。これは、眼には見えない社会的報酬も社会的意思決定時に確かに線条体でその価値情報が処理されており、それに基づいて実際の社会的行動が選択されているということを示唆している。

三つ目の研究においては、「社会的報酬である評判の処理には、mPFCにおける評判の表象と線条体におけるその価値の表象という二つの脳機能が関与している」という仮説を検討した。fMRIスキャン中に人前で自分を呈示するという課題を行わせることにより自分が他者からどう見られているか、つまり自分の評判が非常に気になる状況において脳活動を計測すると、mPFCと線条体の活動が高まるということがわかり、この二つの部位が評判の処理に重要な役割を果たしていることが示唆された。

三つの研究の結果は、ヒトの社会的行動選択において重要な誘因である社会的報酬は線条体においてその他の報酬と同様に共通の通貨(common currency)として処理されているということを示している。社会的報酬である良い評判は、それを実際に獲得(知覚)した時(研究①)、その獲得のために意思決定を行う時(研究②)、その獲得を予期・期待している時(研究③)、共通して線条体を活動させることが見出された。また、研究①と③においてはmPFCにおけるメタ認知表象形成が評判の表象に重要な役割を果たすということが示唆された。このmPFCの機能はヒト特有であると言われていることから、この二つの脳部位は我々の日常での社会的行動の選択に重要な役割を果たしているだけでなく、ヒ

ト特有の利他性を可能とする重要な脳機能を担っていると考えられる。

本研究は機能的 MRI を有効に活用し、人間の社会行動の基盤となる他者による評価という社会的報酬の脳内での処理機構における線状体の役割を明確に示したすぐれた研究であり、学位論文として十分にふさわしい内容であるものと判定した。