

岡本論文へのコメント

定 藤 規 弘

岡本論文へのコメント

定 藤 規 弘

自然科学研究機構生理学研究所

岡本(2010)は、人間の非合理的な行動決定は、認知バイアスと社会的選好により発生するとの立場から、伝統的経済理論、心理学からのプロスペクト理論に関する歴史的経緯にはじまり、近年の比較認知的アプローチ並びに神経科学的アプローチによる知見までを概観している。比較認知的アプローチは認知バイアスと社会的選好の進化的起源を探るために重要であり、神経経済学と称される神経科学的アプローチは、認知バイアスと社会的選好並びにその相互作用の神経基盤を明らかにすることによって、人間の情報処理アルゴリズムについてのさらなる理解に資すると結論づけている。近年脳科学領域で注目を集めている「社会脳」研究の中心的話題であり、非常にタイムリーで有用な総説である。

導入部分において、意思決定の重要性について述べ、続いて古典経済学における「合理的で利己的な意思決定者」という扱いが、必ずしも現実的な人間の経済行動を説明出来ないこと、このため、「それほど合理的でない」人間の非合理的な意思決定を扱う領域として、心理学のアプローチ及び研究成果を用いた行動経済学が発展してきていることに言及している。この領域で扱われている「意思決定時における認知的バイアス」を、比較認知的アプローチと神経科学的アプローチによって概観することを目的としている。前者は、ヒト以外の動物の選択行動をヒトのそれと比較するものであり、ヒトの「非合理で利己的でない」行動選択の進化的起源を探る一方、後者は、意思決定に関与する神経基盤を明らかにすることにより、理論的モデルの構築に寄与するものである。特に、リスク及び不確実性の元での意思決定と、社会的意思決定に関して言及している。

まず、伝統的な期待効用仮説では説明のつかない「非合理」で、しかし系統的なバイアスのかかった行動選択を説明する試みとして登場したプロスペクト理論について概説している。プロスペ

クト理論の特徴として、(1) 参照点依存(利益に対する捉え方は各個人の参照点からの変動に依存する)、(2) 損失回避(意思決定において同額の利得と損失は対照的なインパクトを持たず、利得が与える満足感よりも損失に対する不満足感の方がより大きく感じられる)、(3) 反射効果(利得局面で危機回避的、損失局面で危機志向的に選択する)を解説している。その一方で、「利己的でない」行動要因として、社会的選好を挙げ、その内容として、利他的行動、平等志向/不均衡回避、相互応報的/互惠的行動を取り上げている。

子どもや動物を対象とする比較認知的アプローチでは、プロスペクト理論で予想される授かり効果、参照点依存、反射効果が確認されるとともに、社会的選好も利他行動や不均衡回避が観察されることから、「ヒト以外の動物およびヒトの幼児が認知バイアスや社会的選好の行動原理を共有する可能性がみえてきた」としている。

行動経済学における神経科学的アプローチとしての神経経済学の強みは、対応する神経活動を検証すべき行動・実験経済学のゲーム理論のモデルと課題を持っている点であり、意思決定における報酬、感情、学習の役割について、神経経済学が今後果たす役割は非常に大きいことが期待される。これまでに、決定効用ならびに経験効用に対する神経基盤が明らかになりつつあり、危険回避と損失回避の神経相関など、プロスペクト理論の神経基盤解明へ向けて着実な進展があることを記述している。

一方、社会選好と社会的意思決定についても、その神経基盤が明らかになりつつある現状を概観したのち、著者自身の取り組みについて説明している。即ち、著者らは、社会的意思決定における相互応報的行動の非対称性(他者の不親切に非常に敏感)に着目し、これがプロスペクト理論における損失回避により説明できるとの仮説を、信頼

ゲームの変法 (moon-lighting game) を用いて機能的 MRI と行動解析により検証した。信頼ゲームの変法である moon-lighting game では、受託者が投資者に対して相互応報的に行動することができる (報酬を与える, 保持する, 投資者から取り返す) 点が特徴である。これを用いた結果, 受託者は自らの予測額に基づいてゲームのラウンドごとに参照点を更新し, それより高く知覚された利得は報酬を与える行動を導かないが, 知覚された損失はより強い制裁 (投資者から取り返す) を導くという非対称性が観察された。対応する神経活動は, 前者は報酬系, 後者は扁桃体に対応しており, 著者はこれを期待以上の送金はポジティブな感情を導き, 期待以下の場合にはネガティブな情動反応として捉えられる, と解釈している。プロスペクト理論を適用することによって利他行為を導出するメカニズムに迫ろうとする, 非常に興味深い取り組みであり, 学会発表されたこれらの研究の詳細について, 原著論文の刊行が待たれる。

最後に社会的意思決定における遺伝的, 内分泌遺伝的要因について言及している点は重要で, 神経経済学や比較認知的アプローチで理論化されたヒトの社会行動の生物学的基盤を理解する必要性を示している。高次脳機能である社会性の神経基盤を明らかにすることは, 科学技術の加速度的な発展による社会環境の劇的な変化を特徴とする現代社会において, その問題の多くが関連する人間の精神や社会的行動の解明に必要なかつ喫緊の研究である。そのためには, ヒトの行動を対象とする心理学的, 行動経済学的アプローチと, 動物実験を主体として社会能力の神経基盤を様々な階層 (遺伝子, 機能分子, 細胞, 神経回路, 領域連関) で探る神経科学的アプローチを組み合わせ, 種間差の大きい高次脳機能である社会性の神経基盤を明らかにする必要がある。岡本 (2010) により概観された機能的 MRI を用いた神経科学的アプローチは, 神経科学研究を形成する一階層 (領域連関) へ架橋する取り組みであり, ここから, 他の階層へどのように研究上の連携を形成するか, が今後の重要な転回点となろう。

社会性発現の脳神経基盤については, その破綻の理解から進める戦略がこれまで精力的に進められてきた。そのなかでも, 破綻の早期発症として

の自閉症と成熟期発症の統合失調症をターゲットに, ヒトにおける行動的な特徴と類似性を示す各種遺伝子改変マウスを用いて, 精神疾患発現の脳内基盤の解明が進められている。しかし, ヒトとモデル動物の種間の高次脳機能の違いは大きく, 表現型¹⁾の類似性だけではヒトにおける高次脳機能の破綻の理解について真の展開は望めないことが明らかとなってきた。そのため, 原因遺伝子についてヒトと共通性を有するモデル動物を用い, 脳活動領域, 神経回路からシナプスおよび分子まで, 各階層における社会性の中間表現型²⁾を見出し, ヒトとの対比によって社会性発現ならびに破綻の脳神経基盤を解明する研究戦略が不可欠である (順遺伝学的方法論³⁾)。このような戦略に基づき, 遺伝子, 神経活動, 神経回路から行動レベルまで一貫して扱うシステムを確立する必要があるだろう。たとえば,

- (1) 社会性の脳領域レベルでの中間表現型を, 機能的 MRI をはじめとする非侵襲的脳機能画像法により, ヒトを対象として描出する。
- (2) 動物モデルにおいて, 分子・細胞・神経回路異常についての各種電顕による形態解析, 電気生理学的手法と光操作法⁴⁾を組み合わせ

1) 表現型 (phenotype): 個体を持つ遺伝子の構成である遺伝子型が形質 (生物のもつ性質や特徴) として表現されたもの。

2) 中間表現型 (intermediate phenotype): 遺伝子型と表現型の間に想定される, 遺伝的に規定された生物学的因子のこと。動物では定義不能な精神疾患の表現型の代わりに, 動物でも定量可能な中間表現型を用いることで, 精神疾患を動物モデルで研究することが可能となる。

3) 順遺伝学的方法論: ヒトや動物種を越えて特定病態と遺伝子を結びつける研究は, 2つの方向で進められている。一つは順遺伝学的方法論であり, ヒトにおいて特定の病態を引き起こす疾患原因遺伝子を実験動物に導入し, 表現される生体機能の共通性をもとに, 分子・細胞・神経回路基盤を解明する戦略である。これに対し, 逆遺伝学的方法は, 実験動物において不特定の遺伝子进行操作し, 表現される生体 (脳) 機能とヒトにおける病態表現系の共通性をもとに, 病態モデルとして用いる。後者は動物種による生体 (脳) 機能発現の特異性が考慮されていないため, 特に動物種により大きな相違が見られる高次脳機能 (精神疾患など) においては, ヒト疾患の発現基盤の理解につながるのか, 議論が絶えない。

4) 光操作法 (脳活動操作システム): 近年, 時間・空間的な制御に優れている光を利用して脳機能进行操作する技術の確立が進められている。特に, 脳など生きた個体組織の深部の極微細構造を観察可能な革新的光技術である 2 光子励起法 (一つの光ノ

- せた回路レベルの中間表現型を解析する。
- (3) 分子の挙動を生きた個体というシステム内で画像化できる PET による分子イメージング⁵⁾によって、分子レベルでの中間表現型を種間で比較する。

というような、画像化によるアプローチが考えられる。

そのような取り組みの一端として、生理学研究所では、光操作システムの前提となる多光子励起顕微鏡システムを安定的に運用し、ヒトとサルを対象に脳血流計測による脳賦活実験のできる高磁場 MRI 共々、共同利用に供している⁶⁾。特に人間の社会行動の神経基盤を解析することに注力しており、高磁場 MRI 2 台からなる同時計測システムにより個体間の社会的相互作用中の神経活動を同時に記録解析している (Saito et al., 2010)。いずれにしても、ヒトの社会性について、その物質レベルから個体ならびに集団行動レベルにいた

る統合的理解を目指し、心理学、経済学、認知科学、神経科学、医学、工学、進化生物学、霊長類学からコンピュータ科学にいたるまで、広汎にわたる真に学際的な研究の推進が強く望まれる。

文 献

- 岡本早苗 (2010) 意思決定研究における比較認知的および神経科学的アプローチ 心理学評論, 53, 458-477.
- Saito, D. N., Tanabe, H. C., Izuma, K., Hayashi, M. J., Morito, Y., Komeda, H., Uchiyama, H., Kosaka, H., Okazawa, H., Fujibayashi, Y., & Sadato, N. (2010). "Stay tuned": Inter-individual neural synchronization during mutual gaze and joint attention, *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 4, Article 127.

— 2010. 11. 29 受理 —

感受性分子に 2 個の光子を同時にあてる技術)を用いた 2 光子励起顕微鏡の生物学への応用が我が国および欧米で急速に広まっている。この 2 光子励起法を生体内の導入した光活性化物質の極局所での活性化技術として応用し、細胞や神経回路の活動を操作する。これにより、これまで、培養細胞や脳から取り出した標本でしか行なわれてこなかったシナプス、細胞および局所神経回路の生体での機能の解明が可能となる。

5) PET と分子イメージング: 脳は部位により機能が異なり、それら様々な部位が統合的に作動して個体における脳機能を発揮している。これに従い、脳機能分子の発現分布も部位によって異なっており、それらが統合的に働いて脳の正常機能を生み出している。脳機能分子の動きはその反応・機能の“場”との関係において理解することが不可欠である。これは、生物科学

一般の要請と軌を一にしている。即ち生命現象のより深い理解には、分子レベルから個体レベルまでの各レベルにおける分子挙動を知る必要がある。それゆえ試験管内実験系で培われてきたこれまでの生物科学から、in vivo (生体) ライフサイエンスへの発展は必然である。その鍵となる研究分野が分子イメージングであり、その中核的技術が陽電子断層画像法 (PET: positron emission tomography) である。PET とは、陽電子 (positron) が消滅するときに放射する消滅ガンマ線を計測することにより、生体内の陽電子放出同位元素 (たとえば、C-11 など) で標識された分子プローブの局所濃度分布を算出し、断層画像にする技術である。適切な分子プローブを用いることにより様々な生体機能分子の定量的計測が生きた個体において可能となる。

6) <http://www.nips.ac.jp/research/collabo/>