

総括研究報告書

1. 研究開発課題名：計算論的アプローチを用いた実学習、フィクティブ学習、および観察学習の神経機構の解明
2. 研究開発代表者：磯田昌岐（関西医科大学医学部・生理学第二講座）
3. 相手国研究代表者：マルクス・ウルスペルガー（オットー・フォン・ゲーリケ大学マクデブルク（ドイツ））
4. 研究開発の成果

本共同研究では、学習と意思決定の計算論モデルを立て、それをヒトとサルという2つの異なる霊長類動物種において検証する。本年度日本側は、実フィードバックと社会的フィードバックに依拠した学習の神経機構を明らかにするため、サルに対して「社会的古典的条件づけ」を行い、中脳のドーパミン細胞から単一神経細胞活動を記録・解析した。この条件づけでは、対面する2頭のサルに条件刺激を提示し、一定時間後に各サルに対して異なる確率で報酬結果を与えた。すなわち、1秒間の条件刺激提示後、記録解析を行っていないサル（「他者」と表す）に報酬結果（ジュースが出るか出ないか）を先に与え、その1秒後に記録解析を行っているサル（「自己」と表す）に報酬結果を与えた。ある試行ブロックでは、条件刺激に応じて他者の報酬確率のみを変化させ、別の試行ブロックでは、自己の報酬確率のみを変化させた。条件刺激提示中にサルが示すリッキング運動の強さは、自己の報酬確率と正の相関を示したが、興味深いことに、同じ期間中のリッキング運動は、他者の報酬確率とは負の相関を示した（他者の報酬確率が高いほどサルはリッキング運動をしなくなる）。これらの結果から、他者の報酬情報によって自己の報酬価値が変化することが示唆された。続いて黒質緻密部と腹側被蓋野の、合計229個の推定ドーパミン細胞から神経活動記録を行い、条件刺激に対する応答を解析した。その結果、115個の細胞では、神経活動と自己報酬確率との間に有意な正の相関が認められた。このうち35個の細胞では、神経活動と他者報酬確率との間に有意な負の相関も認め、主観的価値を表現するものと考えられた。また、他者報酬確率のみを表現する細胞はほとんど認められなかった。さらに、自己報酬確率の違いをより明確に表現（正相関）する細胞は、他者報酬確率の違いについてもより明確に表現（負相関）することが明らかとなった。これらの結果は、ドーパミン細胞が自己報酬情報と他者報酬情報を統合し、自己報酬の主観的価値を表現することを示唆しており、本研究によって内側前頭前皮質細胞とは異なる報酬表現様式が明らかになった。

一方ドイツ側は、ヒトに対して「社会的オペラント条件づけ」を行い、実フィードバックと社会的フィードバックに依拠した学習の神経機構を明らかにした。この条件づけでは、2人の被験者が1～3試行毎に交互にスリーアームド・バンディット課題を行い（すなわちアクター役とオブザーバー役は1～3試行毎に交替する）、3つの視覚刺激のなかでどの刺激が最も高率に報酬をもたらすかを学習した。被験者の選択行動をQ学習アルゴリズムを用いて解析した結果、アクター役が連続した場合と、オブザーバー役からアクター役に替わった場合とで、学習率は同等であることが示された。すなわち、被験者は実フィードバックと観察フィードバックの重みづけにおいて、類似の計算論的アルゴリズムを用いていることが示唆される。続いて64チャンネル脳波計を用いて被験者の脳活動を測定し、試行毎にロバスト回帰を用いたモデルベース解析を行った。その結果、次の所見を得た：① 報酬フィードバックの提示から約280ミリ秒後のフィードバック関連陰性電位（FRN）には報酬予測誤差情報が表現される；② P3a成分とP3b成分の振幅は、実フィードバックや観察フィードバックと相関する；③ フィードバック提示から200～600ミリ秒後に中心・頭頂部電極から記録される陽性脳波成分は、観察フィードバックよりも実フィードバックに対して持続的かつ高振幅な応答を示す。これらの結果から、実学習と観察学習の神経機構は概して類似しているものの、実経験のほうが学習に対してより強い影響をもつことが示唆される。今後はヒト被験者に対しfMRI法を適用して神経機構の解明を一層進めるとともに、ヒト用に開発した社会的オペラント条件づけ課題を動物にも適用し、電気生理学的実験や各種介入実験を行っていきたい。