

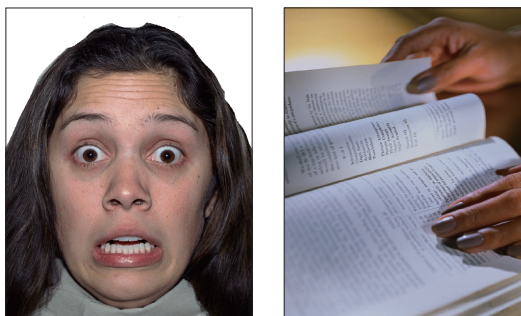
情動が学習を促進する脳メカニズム

Watanabe N, Sakagami M, & Haruno M

Reward prediction error signal enhanced by striatum-amygdala interaction explains the acceleration of probabilistic reward learning by emotion.

The Journal of Neuroscience, 33(10) 4487-4493, 2013

私たちが日々生活の中で行っている「学習」の出来不出来は、学習によって得られる報酬量や報酬確率などの客観的情報のみに左右されるだけでない。例えばクラスの雰囲気や、先生が恐いかなど、学習とは直接は関係ないがその場で誘起される情動（感情）や社会的要因が学習のレベルに影響することもあるだろう。しかしながら、どのように情動が学習を変化させているのか、またどのような神経基盤によって学習と情動の相互作用が実現されているのかについてはこれまで明らかにされてこなかった。そこで、より現実社会で起こっている学習の脳内メカニズムを理解するために、情動と学習の関係に着目し、その相互作用を解明することを目的として研究を行った。



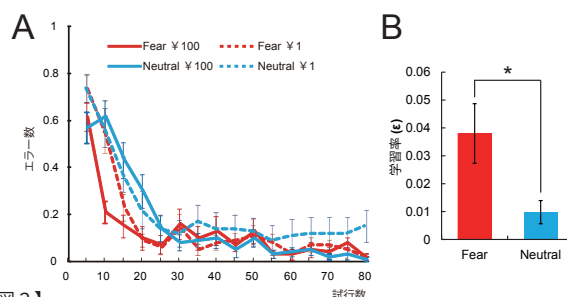
【図1】学習（連合学習）過程は情動を喚起させられること（恐怖表情刺激提示*）で影響を受ける。

本研究ではまず行動実験で、確率的連合学習中に報酬とは無関係な情動を喚起する刺激（恐怖表情）を報酬予期刺激（Cue）の直前に提示すると、情動を喚起させない中立表情刺激を提示したときと比較して学習のスピードを加速させられることを明らかにした。そして強化学習モデルを用いた解析により、この現象は報酬予測誤差を調節する「学習率」が増加することで引き起こされていることが判明した。この学習率という要因は、強化学習理論においては報酬予測誤差信号の大きさを変化させる役割がある。そこで行動実験に対応した機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を用いた実験によって、情動を喚起させる恐怖表情刺激が線条体の報酬予測誤差信号に相関する fMRI 信号強度を調節し、強めるかを検証した。

fMRI による検証の結果、我々の仮説と一致して報酬予測誤差（Reward prediction error）に相関する活動は

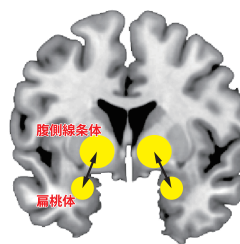
中立表情刺激を提示した時より恐怖表情刺激を提示した際の方が大きくなることが明らかとなった。一方で、予測値（Expected value）に相関する信号は変化しなかった。また顔が提示されたタイミングの扁桃体の活動は中立表情より恐怖表情刺激で有意に強かった。

情動の中枢である扁桃体は、報酬予測誤差情報を持った線条体と強い神経線維結合もあり、我々の発見した情動による報酬予測誤差の修飾現象も、この扁桃体からの信号によって実現されている可能性がある。そこで、増加した報酬予測誤差信号に一致する線条体の活動と、表情刺激が提示された際の扁桃体の活動との間に相関関係があるかを psychophysiological interaction (PPI) analysis を用いて検証した。結果、扁桃体と線条体の間に機能的リンクが見出された。



【図2】(A) 学習曲線。特に学習の初期で Fearful face 条件においてエラーは早く低下する。(B) 学習率。強化学習モデルを用いて学習率を計算した結果、Fearful face 条件で高い学習率が見られた。

本研究によって情動が刺激報酬連合学習を促進させることが明らかとなり、また情動による報酬予測誤差信号の増大は扁桃体 - 線条体の相互作用によって生み出されていることが明らかとなった。



【図3】腹側線条体の報酬予測誤差信号は、情動刺激によって 増強された扁桃体の活動と相互作用する。この相互作用によって学習（連合学習）が亢進される。

（工学研究科 脳情報専攻・2012年修了 渡邊言也）

*Development of the MacBrain Face Stimulus Set was overseen by Nim Tottenham and supported by the John D. and Catherine T. MacArthur Foundation Research Network on Early Experience and Brain Development. Please contact Nim Tottenham at tott0006@tc.umn.edu for more information concerning the stimulus set.