

学習・記憶の神経回路モデル

村越一支 (第7工学系, 視聴覚コア)

1 はじめに

人間・動物はすばらしい情報処理機能を持っているが、まだ解明されていない機能も多い。その機能の情報処理過程を解明し、人工的な情報処理で壁・困難な問題にぶつかったとき、生体情報処理の方法に学び打開策を検討するための基礎研究を行っている。視聴覚をはじめとした脳の中に取り入れられた情報は、学習・記憶を経て様々に利用され得る。本稿では、情報処理粒度・速度の異なる二経路を用いた情動学習を行なう神経回路モデル [a] および対象の関係性により記憶可能な対象の個数が変化する短期記憶の神経回路モデル [b] の研究を報告する。

2 情報処理粒度・速度の異なる二経路を用いた情動学習を行なう神経回路モデル [a]

ヒトを含む動物は、感情を伴う経験と記憶に基づいて学習し、感情を含む反応を通して生存確率を高めている。そのような学習は情動学習と呼ばれている [1, 2]。LeDoux[2] は、情動学習は扁桃体を中心に行われていることを明らかにし、解剖・生理学的に二つの経路、すなわち視床-扁桃体(直接)経路と視床-皮質-扁桃体(間接)経路が情動学習に重要な役割を果たしていると提案している。この直接経路は情報処理が粗い代わりに速く、間接経路は情報処理が遅い代わりに細かい処理を行っている。このような二経路の情動学習についての Armony et al. [3] のモデルがあるが、正確な時間処理を含んでいないため、情動学習の時間経過処理を説明することができないなどの問題点がある。

そこで時間経過を再現できるような情報処理粒度・速度の異なる二経路を用いた情動学習を行なう神経回路モデルを提案した [a]。提案したモデルを Fig. 1 に示し、概略を説明する。モデルは感覚入力 (Sensory Input)、視床 (Thalamus)、皮質 (Cortex)、扁桃体 (Amygdala) からなる。必ず反応を起こす無条件刺激 (US) の経路は固定されているのに対して、学習状況により反応を獲得する条件刺激 (CS) の経路は可変結合を含んでいる。視床の中で扁桃体へ直接結合している細胞群は感覚入力から一部を受け取っているのに対して、皮質へ結合している細胞群は感覚入力からすべての情報を受け取っている。このことが情報処理粒度の違いになる。ここで扁桃体の左側と右側は例えば恐怖と平静のようなお互いに対立する経路と仮定している。

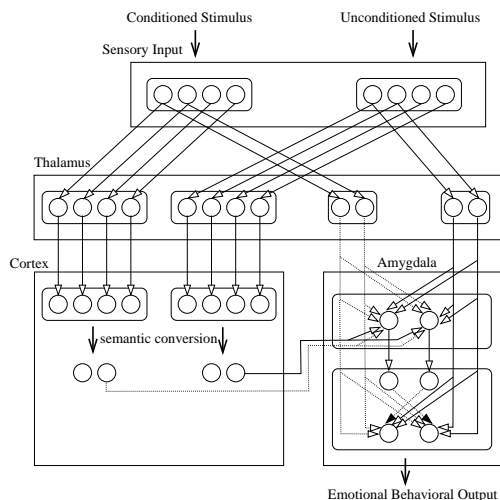


Fig. 1 情動学習を行なう神経回路モデル。実線と点線はそれぞれ固定結合、可変結合を表す。開矢印と閉矢印はそれぞれ興奮性結合、抑制性結合を表す。

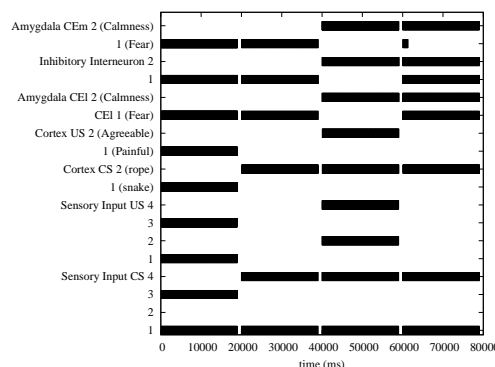


Fig. 2 ロープに対するシミュレーション結果。

ヘビを怖いと学習させた後にヘビに形が似ているロープを提示したと想定したシミュレーション結果を Fig. 2 に示す。各神経細胞が発火したところが示されており、行動出力は扁桃体の CEm 部とみなす。第1期間はヘビ (CS) を怖い (US) と結びつける学習を行い、第2期間はヘビを与えただけで恐怖が誘発されるのを確かめている。第3期間でロープ (CS) を平静 (US) と結びつける学習を行い、第4期間でロープを提示したときの結果を示している。結果は、最初の部分で恐怖が少しの間だけ出力された後消失し、平静だけ反応出力が残っている。これは最初は視床から扁桃体への直接経路の情報が速いけれども情報が粗いためにヘビに形が似ているロープを怖い物体であると誤認識するも、その後皮質経由の間接経路からの詳細情報が遅れて送られてきた時点で正しく認識できるという実際の状況をよく再現している。

3 対象の関係性により記憶可能な個数が変化する短期記憶の神経回路モデル [b]

暗算や文章を理解する際などには短期記憶が重要な役割を担っているとされている。短期記憶に一度に保持できる情報の容量には限界があり、Miller[4]によれば、個々のチャンクの複雑さとは関係なく 7 ± 2 チャンクといわれている。これまでの心理実験により、記憶対象が関係性を持つとき、それらを一つのチャンクにまとめることで、短期記憶に記憶できる対象の個数が変化することが示唆されている [5][6]。7チャンクという短期記憶容量 [4] を再現できる神経回路モデルが Lisman ら [7] によって提案されているが、一つのチャンクが一つの対象で構成される場合しか想定していないため、対象間関係性による記憶可能な対象の個数の変化を説明できない。

そこで本研究では、心理実験によって示された、関係性による記憶可能な対象の個数の変化を再現する神経回路モデルを提案する。提案モデルは、対象間関係性を、パターン間に共通発火細胞がある場合と、パターン間に興奮性結合がある場合の二種類で表現し、計算機シミュレーションでモデルに記憶可能な対象の個数を比較した。これらの関係性は、生得的なものではなく、学習により獲得されると考えられる。そのため、モデルの興奮性結合は、生体で観測されているスパイクタイミング依存シナプス可塑性 (Spike-Timing-Dependent synaptic Plasticity:STDP) により形成されるものとした。

提案したモデルを Fig. 3 に示し、概略を説明する。提案モデルは、Lisman ら [7] の神経回路モデルと同じく、情報入力、錐体細胞、フィードバック抑制、 θ 波入力を持つ。提案モデルでは、個々の錐体細胞は、記憶対象の部分的な特徴に対応しており、複数の錐体細胞が同時に発火することで一つの対象を表すものとする。さらに細胞間には興奮性結合を設定し STDP により学習を行う。

共通発火細胞数を変化させた条件において、モデルに記憶された発火パターンの数を Fig. 4 に示す。この結果は心理実験の結果と一致している。

4 まとめ

本稿では、ヒトの学習・記憶に関する研究を報告した。これらは、脳の情報処理の極一部であり、さらに研究を進める必要がある。

参考文献

- [1] T. Uwano and T. Ono, "Amygdala role in emotional learning and memory," *Shinkei Kenkyu no Shinpo*, vol.41, pp.574-589, 1997.

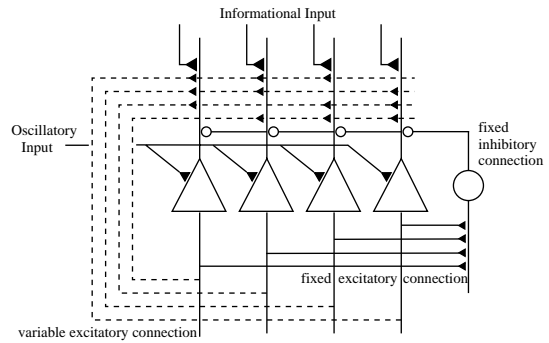


Fig. 3 記憶可能な対象の個数が変化する神経回路モデル

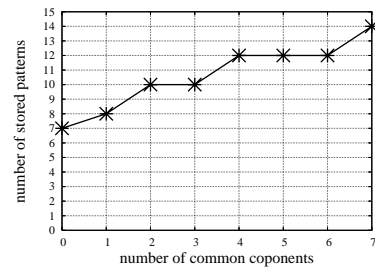


Fig. 4 神経集団同士の共通要素数に対する記憶できたパターン数。

- [2] J. LeDoux, "The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life," Simon and Schuster, New York, 1996.
- [3] J. L. Armony, D. Servan-Schreiber, L. M. Romanski, J. D. Cohen, and J. E. LeDoux, "Stimulus generalization of fear responses: Effects of auditory cortex lesions in a computational model and in rats," *Cereb. Cortex*, vol.7, pp.157-165, 1997.
- [4] G. A. Miller, "The magical number seven, plus or minus two: Some limits of our capacity for processing information," *Psychological Review*, vol.63, pp.81-87, 1956.
- [5] 三宅統一, 内田勇三郎, "記憶に関する臨床の実験成績 (上、中、下)," *神経学雑誌*, vol.23:458-488,23:523-565,24:12-45, 1923.
- [6] S. Lupien, A. R. Lecours, I. Lussier, G. Schwartz, N.P.V.Nair, and M. J.Meaneay, "Basal cortisol levels and cognitive deficits in human aging," *The Journal of Neuroscience*, vol.14, pp.2893-2903, 1994.
- [7] J. E. Lisman and M. A. Idiart, "Storage of 7 ± 2 short-term memories in oscillatory subcycles," *Science*, vol.267, pp.1512-1515, 1995.

発表論文

- [a] Kazushi Murakoshi and Mayuko Saito: "A neural circuit model of emotional learning using two pathways with different granularity and speed of information processing", *Biosystems*, Vol. 95, No. 2, pp. 150-154 (Feb. 2009).
- [b] Kazushi Murakoshi and Tora Sawaguchi: "A neural circuit model for changing in the amount of information maintained in short-term memory depending on stimuli relationships", *Biosystems*, Vol. 95, No. 1, pp. 26-29 (Jan. 2009).