

記憶の固定化に関する皮質間と側頭葉内側部を結ぶ二重記憶経路モデルの性能について

On the Memory Consolidation about the Dual Route Model Between Cortex and Medial Temporal Lobe

浅川伸一
Shin-ichi Asakawa

東京女子大学
Tokyo Woman's Christian University
asakawa@ieee.org

Abstract

This article shows numerical simulations about the memory consolidation. The model consisted of two cortices and one medial temporal lobe. A short term memory was mediated via fast weight changes in the medial temporal lobe, and a long term memory was mediated via slow weight changes between cortices. Numerical simulations revealed quantitative properties these weights changes.

Keywords — Memory Consolidation, Medial Temporal lobe, numerical simulation

1. はじめに

側頭葉内側部 (medial temporal lobe: 以下 MTL と略記) とは、海馬、嗅内皮質、嗅周皮質、海馬傍回を含む脳内の構造であり、短期記憶 (Short term memory: STM) の形成にとって重要だと言われている。実際、海馬を含む MTL のほとんどを除去した患者 H.M. では顕著な逆行性健忘を示したことが知られている [7], [2], [6]。一方、H.M. の症例からも MTL の除去手術によって、長期記憶 (Long term memory: LTM) は影響を受けなかったことから、MTL は LTM に関与しないと考えられる。このことから、一旦 MTL 上の回路 STM に蓄えられた記憶が、LTM へと変換される記憶の固定化 (memory consolidation) を考えるモデルが考案されている [1]。

記憶の変換過程についてはこれまでに多くの提案がなされてきており、その多くは海馬に関するものである。Marr [3] は海馬が短期記憶の保持に関与し、皮質は長期記憶の保持に関与するという可能性を示唆した。Marr によれば、皮質への入力には海馬の細胞に収斂し、短期記憶の表象を形成するという。このようにして多くの皮質と海馬とに関するニューラルネットワークモデルが提案されてきている (例えば、[1], [4], [5])。

Alvarez and Squire [1] は、MTL 記憶システムは STM として動作し、皮質は LTM として振る舞う

というニューラルネットワークモデルを提案した。すなわち、LTM の形成と維持とは、皮質間のコネクションを形成することであり、MTL の役割は、そのための STM を形成することにあるという。このモデルによれば、LTM は MTL にある STM システムとの結合を媒介として、皮質間の結合として徐々に形成されるとされる。

本研究では、2 つの皮質領域と 1 つの MTL からなる記憶領域のモデルを構築し、各領域の情報伝達の流れと記憶の固定化、安定性についての計算論的役割をシミュレーションによって明らかにする。

2. モデル

以下の仮定の元でモデルを作成した。

1. 長期記憶 (陳述的記憶) の形成、維持、検索のために重要なイベントは、位置的に離れた多重の新皮質領野間と MTL 構造の相互作用によってなされる。
2. 新皮質のニューロンは、MTL のニューロンと、嗅内皮質、嗅周皮質、海馬傍回の双方向の結合を通じて通信する。
3. 新皮質内において、記憶は、多重の位置的に離れた皮質領野の結合として徐々に形成される。このゆっくりとした結びつけが記憶変換過程の生物学的実体である。
4. MTL では記憶は素早く形成されるが記憶容量が限られている。新皮質での学習は MTL と比較するとゆっくりであるが大容量である。両者の場合学習はヘップ則に従うものとする。換言すれば、MTL 内、皮質 MTL 間の結合ではヘップ則の学習定数は大きく (速く)、皮質間の学習定数は小さい (遅い)。
5. 短期記憶から長期記憶への記憶の変換は以下のようにして生じる。まず MTL の神経活動が複数の皮質領野間の活動を共起させる。新皮質のニューロンは小さな初期値で初期化されており、MTL からの信号を通じて繰り返し共

起することにより徐々に結合が強化される。
モデルの概略図を図1に示す。

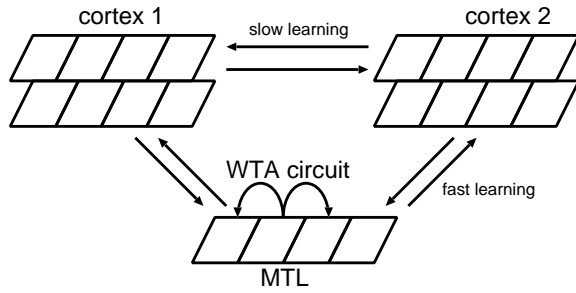


図1 モデルの概略図

モデルは以下のように振る舞うものとした。各ユニットは以下の動作方程式に従うものとした。

$$a_i = \delta a_i + (1.0 - \delta) \sum a_j w_{ij} + \epsilon \quad (1)$$

ここで δ は減衰パラメータである。 a_j は j 番目ユニットの活性値であり w_{ij} は j 番目のユニットから i 番目のユニットへの結合係数である。また、 ϵ はノイズである。

結合係数 w_{ij} の変化は以下のようなヘップ則を若干変形した学習方程式に従うものとした。

$$\Delta w_{ij} = \lambda a_i (a_j - \bar{a}) \quad (2)$$

ここで λ は学習係数である。 \bar{a} はユニット間の平均活性度である。このヘップ則の変形によって、平均活性度よりも高い活性値を持つユニット間の結合は強められ、平均活性度より低い活性値を持つユニット間の結合は減弱することになる。一般にオリジナルのヘップ則を用いると結合係数が発散することが知られているが、この変形により、結合係数を一定のレベルに押さえる効果があると考えられる。さらに、 $\lambda_{MTL} > \lambda_{CORTEX}$ なる制約を置くことで、MTLにおける短期記憶の形成と皮質における長期記憶の影響とを考慮することとした。さらに各結合係数は減衰係数 ρ に従って減衰するものとした。

$$\Delta w_{ij} = -\rho w_{ij} \quad (3)$$

ここで、 $\rho_{MTL} < \rho_{CORTEX}$ なる制約を置くことで、MTLにおける短期記憶の形成と皮質間の長期記憶の形成とを考慮することとした。

3. シミュレーション

ρ_{MTL} を 0.1 から 0.9 まで変化させた時の想起すべきターゲットの MTL の結合係数の変化を図2に示す。同様に、 ρ_{CORTEX} を 0.1 から 0.9 まで変化させたときのグラフを図3示す。

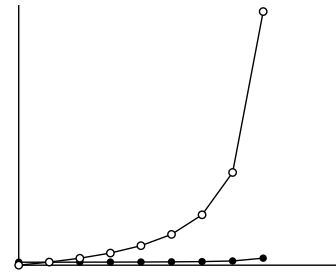


図2 ρ_{MTL} の変化による結合係数の変化。 ρ_{CORTEX} が MTL, w_{ij} がCORTEXの結合係数を表す

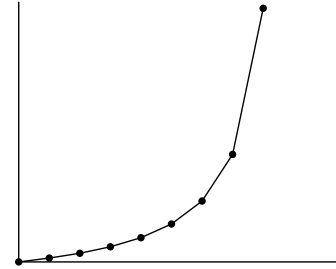


図3 ρ_{CORTEX} の変化による結合係数の変化

両グラフはスケールは異なるものの、 ρ の変化により結合係数の変化を表しており、Alvarez and Squire[1]らのシミュレーション結果などは用いるパラメータによって変動することを示しており、さらなる考察が必要になると思われる。

参考文献

- [1] Alvarez, P. and Squire, L. R. (1994). Memory consolidation and the medial temporal lobe: a simple network model, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol, 91, 7041–7045.
- [2] Corkin, S. (2002). What's new with the amnesic patient H.M.?, Nature Reviews Neuroscience 3 (2): 153–160.
- [3] Marr, D. (1971). Simple memory: A theory for archicortex. Phil. Trans. R. Soc. London B 262, 23–81.
- [4] McClelland, J. L., McNaughton, B. L., and O'Reilly, R. C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: Insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory, Psychological Rivew. Vol. 102, 419–457.
- [5] O'Reilly, R. C. and Rudy, J. W. (2001). Conjunctive representations in learning and memory: principles of cortical and hippocampal function, Psychological Review, Vol. 108, No.2, 311–345.
- [6] Schmolck, H., Kensinger, E.A., Corkin, S., and Squire, L. (2002). Semantic knowledge in Patient H.M. and other patients with bilateral medial and lateral temporal lobe lesions. Hippocampus 12: 520–533.
- [7] Scoville, W. B., and Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry 20: 11–21.