

‘neuron-oid’系における創発的情報処理 (第1報) :

5W-5

‘neuron-oid’の発火の創発*

稲吉 宏明†

電子技術総合研究所‡

■1 はじめに

知能や意識は、神経細胞集団の相互作用により創発する性質であると考えられる。筆者は現在“neuron-oid”(=神経細胞もどき)と名付けた研究に取り組んでおり、この研究では部品としてneuron-oidを設計し、この部品集団(=neuron-oid系)での相互作用を通じて人工的な知能/意識の創発を目指している。

本稿では、neuron-oid研究の第1報として発火現象を創発させるためのneuron-oidの設計を報告する。

■2 neuron-oid研究の方針および意義

従来の人工ニューラルネット研究では基本素子であるニューロンの振舞いが「あらかじめ方程式で」与えられている。これに対し、本研究では基本素子の振舞いがその下位部品である「レセプタやイオン&イオンチャネル」の集団的相互作用から創発するモデル(neuronoid)を構築している。つまりneuronoidにおいては、各部品(イオンやイオンチャネル)の「振舞い/状態遷移規則」を設計するのみで、誤差逆伝搬式やシグモイド関数等の数式を利用しない点を特徴としている。(学習規則は「LTP, LTD等のシナプス可塑性」に対応する「部品の(状態遷移)規則」で実現可能。)各部品の設計においては、「生物ニューロンのお手本」を参考にする[1]ものの、

- 必ずしも生物にあるものすべて持ち込む必要なし
- 「生物にない部品」の導入(仮想進化)可能

という利点がある。この後者の利点により、neuron-oidの潜在的可能性として「現実生物が到達していない高レベルの知能実現」が考えられる。

■3 neuron-oidの発火現象について

神経細胞の発火現象(細胞内外のイオン濃度の変化現象)は神経系活動の基本であることから、この現象の構築をneuron-oidのスタートとした。

*Information processing emerges in the system of ‘neuron-oid’s (I): Emergent firing events of the single ‘neuron-oid’

†Hiroaki Inayoshi (e-mail: inayoshi@etl.go.jp)

‡Electrotechnical Laboratory

1-1-4 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305 Japan

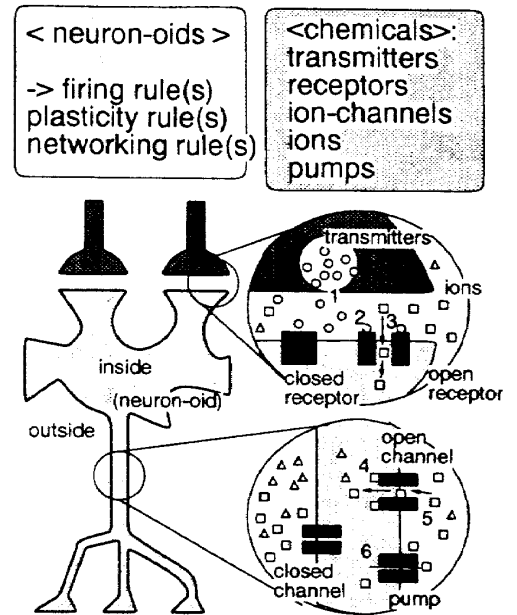


図1: neuron-oidの発火の概念的説明図

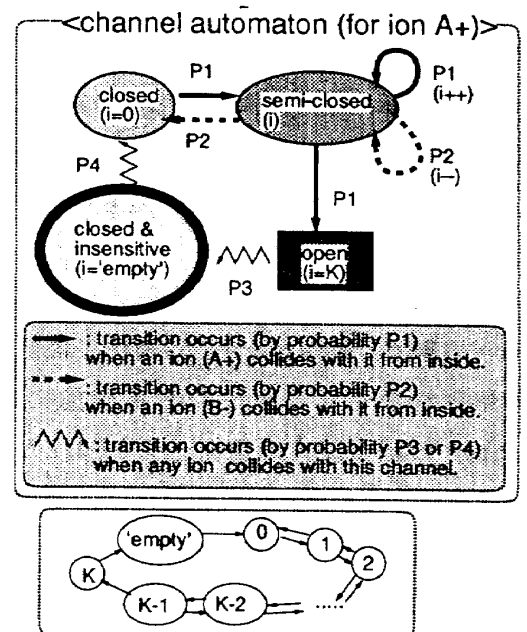


図2: イオンチャネルの状態遷移図

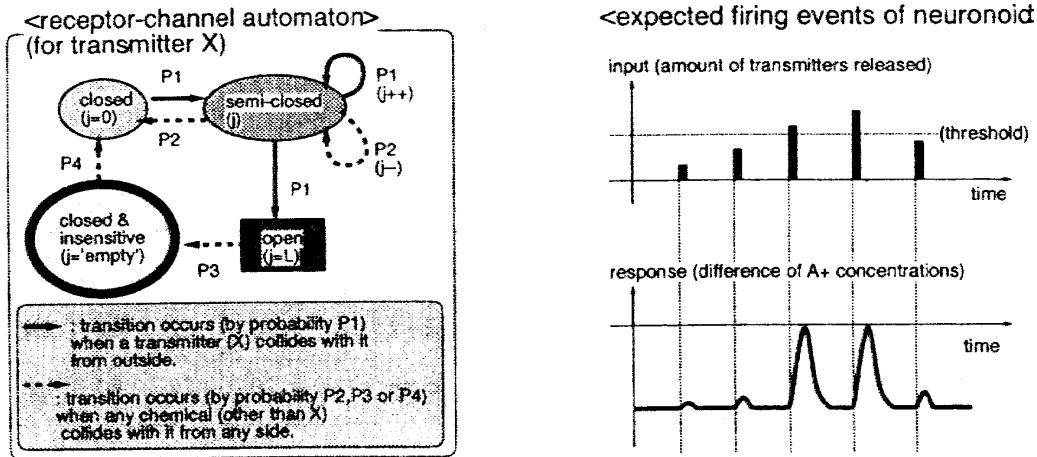


図 3: (左) 「レセプタチャネルの状態遷移」 (右) 「期待される定性的振舞い」

発火モデルの概念的説明を図1に示す：

- まず、(1) 「伝達物質=(neuro)transmitter」が放出され、(2) 伝達物質が「レセプタチャネル」に作用することによりチャネルが開き、(3) イオンが流入可能となる。
- (4) 流入したイオンが内側から「イオンチャネル」に作用することにより、チャネルが「閉→開」状態遷移し、(5) 自己増幅的にさらにイオンが流入可能となる。(6) 流入したイオンは「イオンポンプ」により細胞外部に送られ、もとの「濃度差」が回復する。

■ 4 'neuron-oid' モデル

このモデルとして、次の4項目を設定した：(1) 部品；(2) 空間；(3) 状態遷移／反応規則；(4) 振舞い規則。以下で、これらについて順に説明する。

1 (部品)：◆系は6種類の部品 {I, P, C, T, R, U} で構成される (図1参照)。

- (1) I=Ions (A^+ , B^- の2 types);
- (2) P=Pumps (各 ion 別);
- (3) C=(ion)Channels (各 ion 別);
- (4) T=(neuro)Transmitters (興奮性&抑制性);
- (5) R=Receptor-channels (各 ion 別&各 T 別);
- (6) U=Uptakers of T's (各 T 別);

- 上記の(1)&(4)は「ほぼ自由に空間移動可能」で他方(2),(3),(5),(6)は「不動部品 (= 細胞膜上に存在)」だが「内部状態」を持ちこの状態遷移が前者(特に(1))の移動時の「動的境界条件」を与える！
→ 「移動体」は「不動体の状態変化」を起こし、「不動体」は「移動体の移動制約」を与える。(= 移動体&不動体の相互作用)
- (4)は「生成 (= 外部入力/前細胞発火による)&消滅 (= U と衝突時)」有りだが、(4)以外は「保存される (= 消滅しない)」。

2 (空間)：3次元格子空間 ($W*H*D$) 内に ($w*h*d$) の「直方体状」に neuronoid の境界=細胞膜を存在させる。この膜上に「不動部品」が配置される。

3 (反応規則)：図2 & 図3左参照。◆ イオンポンプに関しては、 A^+ -pump は A^+ -ion のみを選択的に B^- -pump は B^- -ion のみを選択的に移動させる。Prob(in)で「流入確率」Prob(out)で「流出確率」を示せば、「排出型ポンプ」では $Prob(out) < 1$; $Prob(in) \approx 1$ 「吸収型ポンプ」では $Prob(out) < 1$; $Prob(in) \approx 1$ である。

4 (振舞い規則)：基本的には、各時間ステップにおいて、ランダムに1イオン(または1伝達物質)を選び、それに対して、◆(1)ランダムに選んだ隣接格子に移動；◆(2)移動時に細胞境界を通過する場合は、ランダムに同境界中の「不動部品」を選び、同部品と(可能ならば)確率的に相互作用(不動部品の状態遷移&自分の移動)する；◆(3)何もしない；
のいずれかを行なう、というプロセスを反復する

■ 5 期待される定性的振舞い

図3右に期待される定性的振舞いを示す。実験結果は残念ながら本稿に間に合わなかったため、興味ある方はWWW(<http://www.etl.go.jp/etl/People/inayoshi@etl.go.jp/noid.html>)を参照されたい。

■ 6 おわりに

本稿では、比較的単純な反応規則&振舞い規則を設定された部品集団において各部品は盲目的に移動や衝突(&状態遷移)を反復しているに過ぎないにもかかわらず、マクロレベルでは神経細胞の発火現象的振舞いの創発が期待されるモデルを報告した。

参考文献

[1] Shepherd G.M. "Neurobiology (3rd ed.)", Oxford Univ. Press, (1994)