

神経コラム集団内の群れ創発

稲吉 宏明†

産総研 ヒューマンライフテクノロジー研究部門†

概要：新規の神経情報表現・処理様式として「(相互作用する)神経コラム集団中で創発する群れ現象に基づく方法」を提案する。各神経コラムは複数の(興奮性・抑制性)神経細胞で構成され、個々の発火ではなく「時間窓中の発火順序系列」を情報の単位とする。無入力 or 無タスク下では、(default-mode-network 状態として)コラム間での相関性の低い系列が各コラムで現れるのに対して、入力 or タスク存在時には「それに対応するコラム集団の部分集合」での「(相関性の高い)発火系列集合の群れ」として情報が表現され、群れ集合間の競合・協調による「群れの動的遷移」により、情報処理が実現される。なお「(経験による)群れの初期形成過程」はSTDP-Hebb 規則での「系列間共起学習」による。

1. はじめに

ドーキンスが“selfish gene”という新たな見方を提供したことにより、genetic dynamics の新たな理解が可能となったこととのアナロジで、本稿では neural dynamics の新たな理解が期待される、“flocking columns”という新たな神経情報表現・処理様式を提案する。

2. 3つの前提

(1) 空間的な構造単位としての「**神経コラム**」、(2) 時間的な構造単位としての「**時間窓**」(3) **発火系列**による(部分的な)情報表現の3つを本稿の前提とする。まずこれらを順に説明しておく。(1) 神経コラムの機能的な役割に関しては、否定的な意見もある一方[1]で、新規の機能モデルの提案もされており[2]、本稿では「**工学的な応用重視**」の立場から、(生物でコラムが何かの機能を有するか否かは深く追求せず)「**機能的なコラム**」の存在を仮定した場合に、それを部品として用いた「**有益な何か**」が構築可能であるならば、良しとする。(2) 「時間

“Emergent flocking within population of neural columns” by Hiroaki Inayoshi, Human Technology Research Institute, AIST.

窓」は「周期的な同期抑制入力の中の興奮性発火可能な期間」を意味し、Fries らの提唱する「ガンマサイクル[3]」では、30-100Hz の時間窓が利用されている。時間窓を利用した最近の研究例としては「時系列学習[4]」などがある。(3) 文献[5-7]等で、発火系列による情報表現の議論がされているが、本稿の新規性は「**発火系列の集合体**」を導入した点にある。即ち、個々の系列は部品であり、それらが同時に組み合わせられることにより、部品集合体=全体が構築される。

3. 神経コラム集団内の群れ創発

図1に「群れの初期形成過程」を示す。同図左側は(遺伝的に指定される)生れたて・白紙状態、右側は初期の入力体験過程に対応し、黄色の四角1つがコラム1つを表す。コラム内の複数の矢印が「個別の発火系列」を表し、“unbound”状態の系列が赤色、青色で示した「**反復される(系列間の)共起経験**」を通じてSTDP-Hebb 規則により「**結びつけ**」られる。

図2は、ある程度学習が進んだ段階でどのように群れによる情報処理がなされるかを示しており、左中右は順に{無入力&無タスク、タスクA, タスクB}の3通りに対応する。個々の丸

Flocking Columns [initial formation]

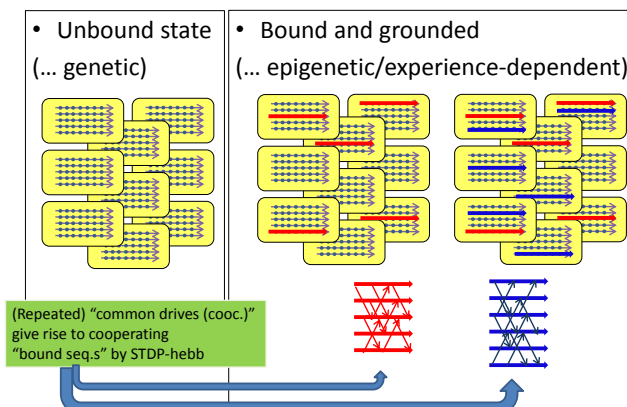


図1: 「群れの初期形成過程」

がコラムに対応し、赤・青・緑・紫は(視覚野、聴覚野等の)領野を表し、丸の中の矢印の向きで異なる発火系列を示す。左の無入力&無タスクの際には(**default-mode-network 状態**として)コラム間での相関性の低い系列が各コラムで現れるのに対して(**バラバラの向き**)、入力 or タスク存在時には「それに対応するコラム集団の部分集合」での「**(相関性の高い=向きの合致)発火系列集合の群れ**」として情報が表現される。どの領野・コラムが使用されるかはタスクに依存する。

Flocking Columns [typical operation]

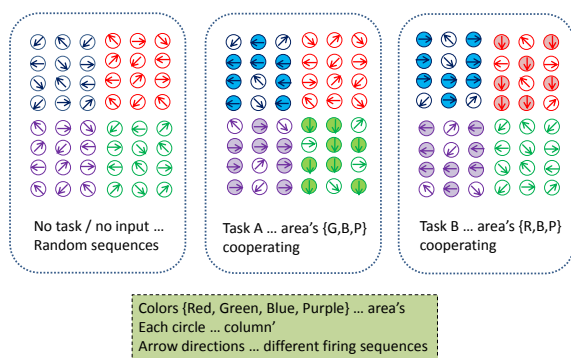


図 2: 「群れの情報処理様式」

図 3&4 は、「静電誘導」のアナログで「5層のコラムネット」中での「群れの誘発過程」を(1)-(4)の時間順で表しており、丸がコラム、四角が1層(左端がセンサ層)を示す。左層での「共起構造」がそこから入力を受ける右層での「(別種の)「共起構造(=群れ)」を誘発する、という形態で「群れの伝搬」が起きる。図3と4の違いは、「同一情報源(人物)」由来の「時間依存した異なる情報(例えば、顔向き変化(視覚)や発話内容変化(聴覚)」に対応し、「緑群れ(図3)」と「赤群れ(図4)」間の「遷移有無・頻度」による「誘起連続体」のイメージである。(時間的近接性に基づく誘起連想。) ネットワークに領野間結合のような**再帰性・並列性**を与えることにより、**群れ間の競合・協調動作**が期待できる。

4. おわりに

大脳皮質の dynamics を理解する上で有益な見方を提供すると期待される、「flocking columns」という新たな神経情報表現・処理様式紹介した。このアイデアは実装にかなり自由度があり、多様な実装を歓迎したい。

Flocking Columns [induction (1/2)]

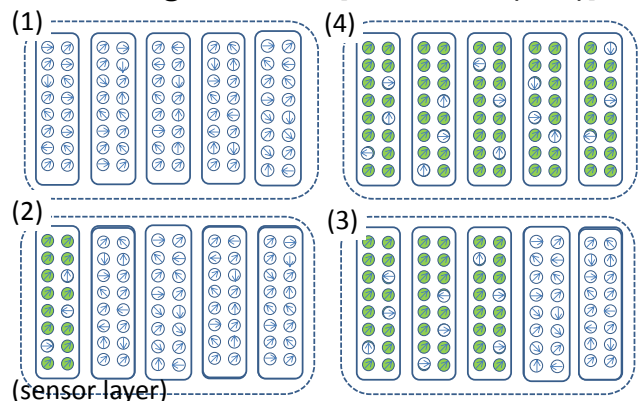


図 3: 「群れの誘発過程」 (1/2)

Flocking Columns [induction (2/2)]

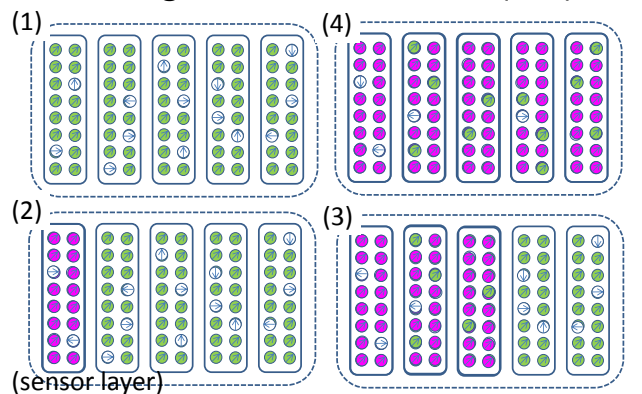


図 4: 「群れの誘発過程」 (2/2)

文献

[1] Horton and Adams: “The cortical column: a structure without a function”, Phil. Trans. R. Soc. B (2005)
 [2] Rinkus: “A cortical sparse distributed coding model linking mini- and macrocolumn-scale functionality”, frontiers (2010).
 [3] Fries, et al.: “The gamma cycle” tins (2007)
 [4] Byrnes, et al.: “Learning a Sparse Code for Temporal Sequences Using STDP and Sequence Compression”, neur comp. (2011)
 [5] Na´dasdy: “Spike sequences and their consequences” J. Physiol. (Paris) (2000)
 [6] Harris: “Neural signatures of cell assembly organization” Nat. Rev. Neurosci. (2005)
 [7] Buzsaki: “Neural Syntax: Cell Assemblies, Synapsembles, and Readers” Neuron (2010)